

רבייה בטבע

בצמחים, באדם ובבעלי חיים



© כל הזכויות שמורות למשרד החינוך

יצא לאור במימון האגף לתכנון ולפיתוח תכניות לימודים במשרד החינוך
ומינהלת מל"מ, המרכז לחינוך מדעי-טכנולוגי ע"ש עמוס דה-שליט.



האוניברסיטה העברית בירושלים, המרכז להוראת המדעים
משרד החינוך, המזכירות הפדגוגית, האגף לתכנון ולפיתוח תכניות לימודים
מינהלת מל"מ, המרכז הישראלי לחינוך מדעי-טכנולוגי ע"ש עמוס דה-שליט
תשע"ב



■ צוות שכתוב וכתיבה:

ד"ר רות אמיר
דידה פרנקל
ד"ר דליה קווה
בתי גלעד
רחל נוסינוביץ

■ ייעוץ מדעי:

פרופסור עודד כאנר, מכללת הדסה ירושלים (פרקים: א-ה)
ד"ר אורי פרגמן-ספיר, הגן הבוטני, ירושלים (פרק ו, פרק ז (צמחים))
פרופסור שנאן הרפז, מכון וולקני (פרק ז (בעלי חיים))

■ עריכה פדגוגית: סמדר כהן

■ מורים קוראים: אורה הירש, מורין סהר, סמדר כהן, נילי גילוני

■ עריכת הלשון: עירית עמיאל

■ עריכת מגדר: איריס צור

■ איורים, עיצוב והפקה: יוליה אגרנוביץ', גדעון דן - סטודיו דן

■ תחקיר תמונות: שילי דור-חיים, רונית נאמן-נעמן

■ טיפול בזכויות יוצרים: רונית נאמן-נעמן, שושנה הראל

■ מלבה"ד: שושנה הראל

זר של תודות

לאלה שקראו, העירו והאירו בשלבים השונים של הכתיבה:

ד"ר נעה אבולעפיה, האגף לתכנון ולפיתוח תכניות לימודים, משרד החינוך
ד"ר נטע עורבי, האגף לתכנון ולפיתוח תכניות לימודים, משרד החינוך
ד"ר יהודית עתידיה (פרק א)

לצלמים שהתמונות שצילמו מעטרות את דפי הספר (פירוט השמות בסוף הספר).

התמונות שעל העטיפה:

נבט אבוקדו (Dontworry [wiki comm]), גוזלים בקן (benjamint 444 [Wikipedia]),
תינוק בעריסה (ר. אמיר), חרצית ומאביק (ש. אלחרר)

© כל הזכויות על החומרים ממקורות חיצוניים ששובצו בספר זה שמורות לבעליהן.

אין לשכפל, להעתיק, לצלם, לתרגם או לאחסן במאגרי מידע, בכל דרך ובכל אמצעי אחר כל חלק שהוא מהחומר בספר זה.

אל הקוראים

הספר "רבייה בטבע: בצמחים ובבעלי חיים" עוסק בתהליך הרבייה שהוא אחד ממאפייני החיים. חשיבותו של תהליך הרבייה אינה לקיום הפרט עצמו, שיכול להשלים את מחזור חייו ללא רבייה, אלא להמשך קיום המין ולאבולוציה של המינים.

לאורך פרקי הספר מודגשים שני היבטים: **האחידות** בעקרונות שעליהם מבוססים תהליכי הרבייה ובכלל זה ההתאמה בין המבנה של איברי הרבייה לתפקודיהם בצמחים ובבעלי חיים **והשונות** הרבה המתבטאת במגוון דרכי הרבייה במינים השונים ובצורות של איברי הרבייה. האחידות מצד אחד והשונות מצד שני הם תוצרים של תהליכים אבולוציוניים רבי שנים.

הספר פותח בהצגת הרבייה כמאפיין חיים המבטיח את המשך קיומו של המין ובהצגת העקרונות המשותפים לרבייה של כל האורגניזמים. בהמשך הספר תמצאו פרקים נפרדים לרבייה באדם, לרבייה בבעלי חיים אחרים ולרבייה בצמחים. שני פרקים עוסקים בהתערבות האדם בתהליכי הרבייה בבני האדם, בבעלי חיים ובצמחים. התערבות זו מבוססת על התקדמות המחקר והטכנולוגיה בתחומי הרפואה והחקלאות, אך לצד התועלת היא לעיתים מעוררת דילמות אתיות. הפרק הסוגר את הספר עוסק באסטרטגיות רבייה של אורגניזמים שונים, ומציג מבט מסכם על תהליך הרבייה ברמות הארגון הביולוגי השונות החל בתאים, דרך האיברים והאורגניזם השלם ועד לתהליכים המתרחשים ברמת המערכת האקולוגית.

בפרקי הספר משולבים מדורים קבועים ובהם קטעי הרחבה וכן תכנים הקשורים באופן ישיר לתוכנית הלימודים ומדגימים את הרלבנטיות של הנושאים הנלמדים:

"מעניין לדעת" - סיפורים המקשרים בין הנושא הנלמד לחיי היום-יום.



"אשנב למחקר" - קטעי מחקר עדכניים רבים, מלווים בשאלות המפנות לניתוח תוצאותיהם.



"הרחבה" - תכנים שהם מעבר לנדרש בתכנית הלימודים.



"שאלות" - במגוון רחב של רמות חשיבה המזמנות שימוש במגוון מיומנויות חשיבה.



"דילמות" - סוגיות אתיות העולות מהתכנים הנלמדים והדורשות הכרעה ערכית.



מושגים חשובים בפרק מודגשים בצבע בטקסט.

כדי לסייע לכם לקשר בין הנושאים השונים הנלמדים מוצגות לצד הטקסט תיבות אלה:

עוד על

הפניה לנושאים שיורחבו בהמשך הספר.

רעיון מרכזי

קישור החומר הנלמד לרעיונות מרכזיים בביולוגיה.

קשר לנושא

קישור החומר הנלמד לנושאי הליבה.

קריאה מהנה ולימוד פורה!

צוות הפיתוח

תוכן העניינים

א	רבייה כמאפיין חיים	9
1.א	רבייה מאפשרת את המשכיות המין	10
2.א	צורות רבייה בטבע	12
3.א	הבסיס התאי של הרבייה	13
1.3.א	מיטוזה - הבסיס התאי של רבייה אל-זוויגית ושל גדילה	14
2.3.א	מיוזה - הבסיס התאי של רבייה זוויגית	15
3.3.א	מה בין מיוזה ומיטוזה?	18
4.א	שונות תורשתית ומוטציות	20
	עיקרי הנושאים הפרק	21
	מושגים חשובים בפרק	21

ב	עקרונות ברבייה זוויגית	23
1.ב	צאצאי הרבייה הזוויגית מאופיינים בשונות תורשתית	24
2.ב	ברבייה זוויגית מתלכדים שני תאי רבייה שונים	25
3.ב	רבייה זוויגית מתקיימת בין פרטים מאותו מין (species) ביולוגי	26
4.ב	סביבה מימית או לחה חיונית להפריה	27
5.ב	עוברים זקוקים למזון ולסביבה מוגנת להתפתחותם	27
6.ב	פעילות מערכת הרבייה מווסתת על ידי מנגנוני בקרה	28
7.ב	מבט אבולוציוני: רבייה זוויגית ושונות תורשתית	29
	עיקרי הנושאים בפרק	31
	מושגים חשובים בפרק	31

ג	רבייה באדם*	34
1.ג	מבנה מערכות הרבייה	34
1.1.ג	מערכת הרבייה של האישה	35
2.1.ג	מערכת הרבייה של הגבר	36

* פרק זה מבוסס בחלקו על פרק 9 בספר "ביולוגיה של האדם", המרכז להוראת המדעים, האוניברסיטה העברית בירושלים, תשס"ג, 2002.

ג.2.	מילדות לבגרות	37
1.2ג	השינויים הגופניים בגיל ההתבגרות	37
2.2ג	תאי הזרע: ייצור, התפתחות ומבנה	40
3.2ג	תא הביצה: התפתחות ומבנה	41
ג.3.	מחזור הווסת	44
ג.4.	פגישת תאי הרבייה וההפריה	48
1.4ג	מסלול תאי הרבייה בדרכם להפריה	48
2.4ג	ההפריה - התלכדות תאי הרבייה	49
ג.5.	מזיגוטה ליילוד	50
1.5ג	התפתחות העובר	51
2.5ג	הלידה	57
ג.6.	התרבות של אוכלוסיית בני האדם	60
	עיקרי הנושאים בפרק	61
	מושגים חשובים בפרק	62

7	התערבות בתהליכי הרבייה באדם	63
ד.1.	הפריה חוץ-גופית: פתרון למצבים רבים של אי-פוריות	65
1.1ד	שלבים בתהליך ההפריה החוץ-גופית	65
2.1ד	יישומים של הפריה חוץ-גופית	67
ד.2.	הטכנולוגיה מסייעת אך גם יוצרת דילמות	72
ד.3.	תכנון משפחה	74
	עיקרי הנושאים בפרק	76
	מושגים חשובים בפרק	77

ה	רבייה בבעלי חיים	80
	רבייה זוויגית בבעלי חיים	80
ה.1.	לקראת רבייה	80
1.1ה	בגרות מינית	80
2.1ה	עונת הרבייה	81
3.1ה	סימני זוויג משניים	82
4.1ה	תקשורת בין זכרים לבין נקבות	83

ה2. רבייה בבעלי חיים במים	85
ה1.2 רבייה בדגים	85
ה2.2 רבייה בדו־חיים	86
ה3. רבייה בבעלי חיים ביבשה	88
ה1.3 רבייה בעופות	90
ה2.3 רבייה ביונקים	96
ה4. רבייה בבעלי חיים ביבשה	101
רבייה אל־זוויגית בחד־תאיים ובבעלי חיים	102
ה5. רבייה אל־זוויגית על ידי חלוקה או הנצה	102
ה6. רביית בתולים	103
ה7. רבייה אל־זוויגית בשיטות ביוטכנולוגיות	105
עיקרי הנושאים בפרק	106
מושגים חשובים בפרק	108

1 רבייה בצמחים	111
ה1. רבייה אל־זוויגית	111
ה2. רבייה זוויגית	113
ה1.2 פריחה	115
ה2.2 מבנה הפרח ואיברי הרבייה	118
ה3.2 האֵבָקָה	122
ה4.2 הפריה	127
ה3. מזיגוטה לעובר	129
ה1.3 התפתחות הזרע: עובר, אנדוספרם ופסיגים	129
ה2.3 זרעים: הגנה על העוברים והתאמה להפצה	131
ה3.3 פירות: הגנה על הזרעים וגם הפצה למרחק	131
ה4. מזרע לצמח	136
ה1.4 נביטה	136
ה2.4 מנבט לצמח	139
ה5. היבטים אבולוציוניים של רבייה זוויגית בצמחים	140
עיקרי הנושאים בפרק	141
מושגים חשובים בפרק	143

ז 145 התערבות האדם בתהליכי רבייה בבעלי חיים ובצמחים

1.1	התערבות החקלאים בתהליכי הרבייה בבעלי חיים	146
1.1.1	ויסות משטר ההארה והשפעתו על רביית בעלי חיים	147
2.1	הזרעה מלאכותית והשריית ייחום בבקר	148
3.1	השריית ייחום בבקר	150
2.2	התערבות החקלאים בתהליכי הרבייה בצמחים	151
1.2	ריבוי אל-זוויגי (וגטטיבי) של צמחים	151
2.2	התערבות החקלאים במחזור החיים וברבייה זוויגית בצמחים	158
3.2	סיכום: התערבות החקלאים בשלבים שונים של מחזור חיי הצמח	164
	עיקרי הנושאים בפרק	166
	מושגים חשובים בפרק	166

ח 169 מבט מסכם על רבייה בצמחים ובבעלי חיים

1.	היבטים אבולוציוניים של תהליכי רבייה	170
2.	הרבה צאצאים או מעט? - אסטרטגיות רבייה	171
3.	עקרונות משותפים ברמות ארגון	175
	עיקרי הנושאים בפרק	177
	מושגים חשובים בפרק	177

מילון מונחים	178
מפתח	189
מקורות התמונות	197

רבייה כמאפיין חיים



א1. רבייה מאפשרת את המשכיות המין

א2. צורות רבייה בטבע

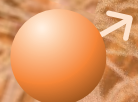
א3. הבסיס התאי של הרבייה

א4. שונות תורשתית ומוטציות

עיקרי הנושאים בפרק

מושגים חשובים בפרק

א



פרק א: רבייה כמאפיין חיים

א.1. רבייה מאפשרת את המשכיות המין

הרבייה היא תופעה כה מוכרת ונפוצה שלכאורה היא מובנת מאליה. הרי אם האורגניזמים (היצורים) לא היו מתרבים, לא הייתה המשכיות לחיים על-פני כדור הארץ! תהליך הרבייה מתקיים בכל ממלכות החי: חידקים, חד-תאיים, פטריות, צמחים ובעלי חיים.

יש הרואים ביכולת להתרבות את המאפיין העיקרי בהבחנה בין חי לבין דומם. על אף שרבייה היא מאפיין בסיסי של אורגניזמים חיים, היא אינה חיונית לחיים של הפרט עצמו (בהשוואה לתפקודים חיוניים, כמו אכילה, נשימה והפרשה), שהרי פרט יכול לחיות תקופות ארוכות בלי להתרבות ואף לא להתרבות כלל כל חייו!

עם זאת רבייה חיונית להמשכיות הקיום של האוכלוסייה ושל המין (species) כולו. הודות לתהליך הרבייה המין ממשיך להתקיים ונשמרת המשכיות הדורות על אף שהפרטים עצמם מתים. באמצעות תהליך הרבייה עובר המידע התורשתי הייחודי למין הביולוגי מדור לדור.

רעיון מרכזי

המשכיות תורשתית
ורבייה, העברת מידע
מדור לדור.

קשר לנושא

אקולוגיה:
רמות ארגון - פרט,
אוכלוסייה ומין.



התרבות בבעלי חיים ובצמחים
מימין: נבטים אחרי גשם ראשון
משמאל: נקבת עז וגדי



על מושגים

מין וזוויג

למילה "מין" יש שתי משמעויות בתחום הביולוגיה:

1. יחידת מין - מין ביולוגי (species)

מין ביולוגי הוא קבוצת פרטים המתרבים בטבע בינם לבין עצמם ומעמידים צאצאים פוריים.

כך לדוגמה שני מינים של **רקפת** הם: **רקפת מצויה** ו**רקפת יוונית**. שני מינים של **לוויתן** הם: **לוויתן מצוי** ו**לוויתן כחול**.

2. הבחנה בין זכר לנקבה - זוויג (sex)

כאשר אנו שואלים: "מה מינו של גור הכלבים שקיבלת?" אנו מצפים שיאמרו לנו אם הוא זכר או נקבה, ולא את המין הביולוגי - **כלב הבית**.

כדי למנוע בלבול בין שתי המשמעויות של המילה "מין" קבעה האקדמיה ללשון העברית את המילה **זוויג**, הנגזרת מהמילה זוג, כדי לציין זכר או נקבה, וכך ננהג בספר זה: המילה "מין" תיוחד למשמעותה כיחידת מין, והמילה זוויג - לזכריות או לנקביות של פרט מסוים.

אני בן ואות בת
אך שנינו מאותו
המין



קשר לנושא

התא - מבנה ופעילות:
כל תא נוצר מתא חי
קודם.

מבט אל העבר - חי נוצר מחי

כיום אין לאף אחד מאתנו ספק שכל האורגניזמים החיים בעולם נוצרו מהתרבות של אורגניזמים חיים שקדמו להם. אולם עד המאה ה-19 היו כאלה שסברו שבנוסף לדרך הרבייה של אורגניזמים חיים קיימת גם **בריאה ספונטאנית**, כלומר היווצרות של אורגניזמים חיים מחומר דומם. רבים, וביניהם גם מדענים, חשבו שזבובים נוצרים מבשר רקוב, שדגים וצלופחים נוצרים מבוץ בקרקעית הים, שצפרדעים נוצרות מקרקע לחה, עכברים - מזיעה ושצמחים וסרטנים נוצרים משכבת האצות המכסה לעתים את פני המים.

הוויכוח בין המצדדים בבריאה ספונטאנית לבין השוללים אותה הוכרע בשנת 1862 על ידי הכימאי הצרפתי **לואי פסטר** (Louis Pasteur, 1822-1895).

פסטר היה משוכנע שבאוויר סביבנו יש אורגניזמים זעירים ובלתי נראים לעין - מיקרואורגניזמים - והם אלה שמתפתחים על מצעים שונים וגורמים לקלקול המזון ולמחלות. ניסויים שערך פסטר תמכו בהשערתו וכך נשללה התפיסה שקיימת בריאה ספונטאנית. התפיסה שהתקבלה בסוף המאה ה-19 ומקובלת עד היום היא **שכל אורגניזם חי נוצר מאורגניזם חי שקדם לו ושהתרבה**.

אשנב למחקר



בשנת 1862 ערך פסטר את הניסוי המתואר באיור א-1. פסטר מזג מצע מזון לבקבוקי זכוכית בעלי צוואר צר וארוך. את צווארם של חלק מהבקבוקים כופף באמצעות חימום, ואילו את צווארם של הבקבוקים האחרים השאיר ישרים. קצה הפייה היה פתוח ואפשר חדירה של אוויר. גם הצוואר המכופף מאפשר כניסת אוויר, אך הוא לא מאפשר למיקרואורגניזמים להגיע למצע המזון שכן הם שוקעים באזור הכיפוף ונשארים שם.



לואי פסטר

לאחר מכן הרתיח פסטר את המצע שבבקבוקים וחשף את כל הבקבוקים לאוויר החופשי. כעבור שבועות מספר היה המצע שבבקבוקים בעלי הצוואר הישר עכור ועשיר במיקרואורגניזמים, ואילו המצע בבקבוקים בעלי הצוואר המכופף נותר צלול כפי שהיה בתחילת הניסוי.

לאחר שבועות מספר

א. תחילת הניסוי -
בקבוקים עם מצע מזון שהורתח
בשני הבקבוקים מצע המזון צלול.

ב. סוף הניסוי -
רק בבקבוק בעל הצוואר הישר
מצע המזון עכור.

איור א-1: הניסוי של פסטר

א. מדוע היה צורך להרתיח את מצע המזון בתחילת הניסוי?
ב. ציינו שלושה גורמים קבועים בניסוי של פסטר.
ג. מה החשיבות של הכלי הפתוח בעל הצוואר המכופף?
ד. סכמו את המידע הנוגע לניסוי של פסטר.

ההשערה	
התוצאה	
המסקנה	

אם אין בריאה ספונטאנית, איך החלו החיים?!

שאלה זו נמצאת במוקד של מחקרים רבים, ואין לה לפי שעה תשובה מדעית יחידה. עם זאת יש הסכמה שבעבר הרחוק מאוד, לפני מאות מיליוני שנים, התקיימו תנאים מיוחדים השונים מאלה של היום. בתנאים אלה החלו חיים להיווצר מחומר דומם כלשהו שהתארגן למבנה שמתקיימים בו תהליכי חיים, כמו חילוף חומרים וניצול אנרגיה, ובנוסף על כך הייתה לו גם יכולת לשכפל את החומר התורשתי שלו - כלומר להתרבות.

2. צורות רבייה בטבע

בעולם החי מוכרות שתי צורות רבייה: **רבייה אל-זוויגית** (רבייה אל-מינית) ו**רבייה זוויגית** (רבייה מינית).

רבייה אל-זוויגית היא הקדומה מבחינה אבולוציונית ומתקיימת בחיידקים, בפטריות, בצמחים ובמיני בעלי חיים פשוטים. רבייה זוויגית התפתחה מאוחר יותר, היא מורכבת יותר מרבייה אל-זוויגית ומתקיימת בכל המינים שבתאיהם יש גרעין (אוקריוטים). יש מינים המתרבים בשתי צורות הרבייה - זוויגית ואל-זוויגית.

מהם ההבדלים בין שתי צורות הרבייה?!

איור א-2 מציג את ההבדלים העיקריים בין שתי צורות הרבייה. ברבייה אל-זוויגית החומר התורשתי של הצאצא מקורו בהורה אחד ולכן כל הצאצאים זהים זה לזה ולהורה שממנו נוצרו (חוץ מכמה יוצאים מן הכלל אותם נכיר בהמשך הספר). התהליך התאי שעליו מבוססת רבייה אל-זוויגית הוא **מיטוזה**. הזרות והאחידות בקרב צאצאי הרבייה האל-זוויגית הן יתרון לאוכלוסייה בסביבה שתנאיה יציבים (לא משתנים). כל הפרטים מותאמים לסביבה זו, וההתאמה נשמרת מדור לדור.

ברבייה זוויגית החומר התורשתי של הצאצא מתקבל מהתלכדות בתהליך ה**הפריה** של שני תאי רבייה (גמטות) שונים שנוצרו בתהליך **מיטוזה**, וכל אחד מהם נושא מידע תורשתי ייחודי. מקורם של שני תאי הרבייה הוא או בהורה יחיד (כמו בצמחים רבים שבהם יש האבקה עצמית) או בשני הורים.

שני האירועים - יצירת תאי רבייה במיטוזה והתלכדות שני תאים שונים בהפריה - יחד עם אירועים נוספים אותם נכיר בהמשך, תורמים לכך שהצאצאים המתקבלים ברבייה זוויגית אינם זהים זה לזה וכן אינם זהים להוריהם. כל אחד מהם נושא בתאיו צירוף חדש וייחודי של מידע תורשתי. לכן **שונות תורשתית** היא המאפיינת את צאצאי הרבייה הזוויגית. לשונות התורשתית יש יתרון בתנאי סביבה משתנים, שכן יש סיכוי שמקצת הצאצאים ישרדו גם אם יחול שינוי בסביבה.

עוד על
רבייה אל-זוויגית בבעלי חיים, בפרק ה', עמודים 106-102.
רבייה אל-זוויגית בצמחים ויישומיה בחקלאות, בפרק ו' עמודים 111-113, בפרק ז' עמודים 151-158.



איור א-2: צורות רבייה - הורים, תהליכים וצאצאים

א.3. הבסיס התאי של הרבייה

כדי להבין תופעות הקשורות לרבייה של אורגניזמים נדון תחילה בתהליכים המתרחשים ברמת התא: חלוקות הגרעין - מיטוזה ומיטוזה. בגרעין התא של אורגניזמים אוקריוטיים מצויים כרומוזומים. כל כרומוזום מורכב ממולקולת DNA ארוכה ומחלבוני DNA. מהווה את החומר התורשתי ובו מוצפן המידע על מבנים ותהליכים בתא, המקנים לו את תכונותיו התורשתיות. לפיכך העברה מדויקת של תכונות התא מדור לדור מותנית במידה רבה בהעתקה מדויקת של ה-DNA.

קשר לנושא

התא - מבנה ופעילות:
שכפול מדויק של DNA לפני חלוקת התא.

בשלב מסוים בחיי התא, לקראת החלוקה, מוכפל ה-DNA בצורה מדויקת. כתוצאה מכך, לפני החלוקה, כל **כרומוזום** בנוי משתי **כרומטידות אחיות**.

שאלה א-1



לאחר שכפול ה-DNA כל כרומוזום בנוי משתי כרומטידות אחיות. כמה גדילי DNA יש בכל כרומוזום שעבר שכפול? הציגו את תשובתכם בכתב ובעזרת איור.

1.3.3 מיטוזה – הבסיס התאי של רבייה אל-זוויגית ושל גדילה

שני תהליכים מרכזיים בחייהם של אורגניזמים רב-תאיים מבוססים על תהליך המיטוזה: **גדילה** – תוספת של תאים לגופם ו**רבייה אל-זוויגית** – תוספת של פרטים לאוכלוסייה. באורגניזמים חד-תאיים חלוקת תא משמעותה רבייה, שכן כל תא הוא אורגניזם עצמאי.

במהלך המיטוזה, הגרעין שמכיל כמות כפולה של חומר תורשתי מתחלק בצורה מדויקת לשני גרעינים שכל אחד מהם זהה לגרעין לפני שהוכפל בו החומר התורשתי. גם הציטופלסמה עם האברונים שבה מתחלקת בין שני תאי הבת (אם כי חלוקת האברונים לא בהכרח מדויקת). **מיטוזה** היא, אם כן, חלוקת גרעין שבעקבותיה מתקבלים מתא אחד שני תאי-בת זהים זה לזה מבחינת החומר התורשתי וזהים לתא האם שממנו נוצרו.

קשר לנושא

- התא – מבנה ופעילות:**
- מחזור התא
 - חלוקת תא – מיטוזה

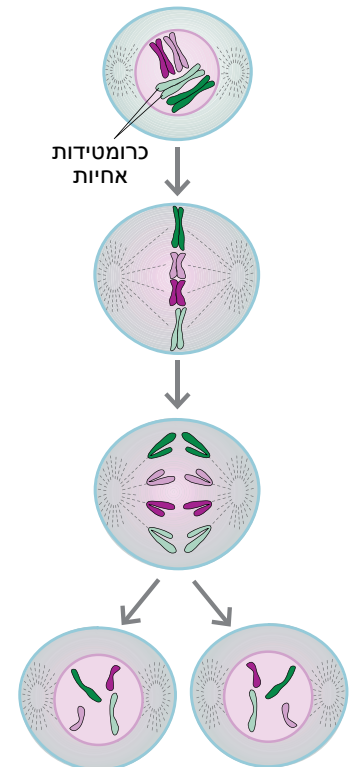
איור א-3 מתאר את האירועים המתרחשים במיטוזה בתא של בעל חיים שבו 4 כרומוזומים.

א. הכרומוזומים שהוכפלו לקראת החלוקה נדחסים ומתקצרים עד שניתן להבחין (באמצעות מיקרוסקופ) שכל אחד מהם מורכב משתי כרומטידות הקשורות זו לזו – כרומטידות אחיות. (רוב הזמן הכרומוזומים בתא פרושים כחוטים דקים מפותלים, ואי אפשר להבחין בהם).

ב. הכרומוזומים מסתדרים זה לצד זה במישור המרכזי של התא (מישור המשווה), קרום הגרעין מתפרק.

ג. הכרומטידות האחיות בכל כרומוזום נפרדות ונודדות לקטבים מנוגדים של התא. כל כרומטידה נקראת עכשיו כרומוזום.

ד. התא מתחלק לשני תאי בת. בכל תא נוצר גרעין מוקף קרום ובו מערכת שלמה של כרומוזומים, כמו בתא האם. הציטופלסמה על תכולתה מתחלקת בין שני תאי הבת.



איור א-3: סכמה של מיטוזה – מחלוקה של תא בעל 4 כרומוזומים מתקבלים שני תאים שלכל אחד מהם 4 כרומוזומים

שלבי המיטוזה בצמחים, בפטריות ובבעלי חיים הם אחדים באופן עקרוני. אחדות זו היא עדות נוספת התומכת בתיאוריה בדבר המוצא האבולוציוני המשותף של האורגניזמים החיים.

2.3 א מיוזה - הבסיס התאי של רבייה זוויגית

רבייה זוויגית מבוססת על התלכדות של תאי רבייה (מכונים גם תאי זוויג או גמטות). תאי הרבייה נוצרים בעקבות חלוקת גרעין התא הנקראת **מיוזה**. שימו לב! תאי הרבייה נוצרים בתהליך המיוזה, אך התפתחות הזיגוטה לאורגניזם בוגר כרוכה בהתרבות תאים (על ידי חלוקות מיטוזה), גדילה והתמיינות.

עוד על

גדילה והתמיינות,
בפרק ג', עמ' 53.

בכל התאים של אורגניזם רב-תאי (פרט לתאי הרבייה) יש מערכת כרומוזומים כפולה והם נקראים **דיפלואידיים** ($2n$ =diploos, כפול, n =eidos=צורה). לעומת זאת, תאי הרבייה מכילים רק מערכת כרומוזומים אחת והם נקראים **הפלואידיים** (n =haploos=פשוט). בשפה המדעית נהוג לציין את המערך הכפול של הכרומוזומים הקיים בתאי הגוף הדיפלואידיים בסימון $2n$ ואת מערך הכרומוזומים בתאי הרבייה ההפלואידיים בסימון n . בתאי הגוף של האדם יש 23 זוגות של כרומוזומים $2n=46$.

במערכת הכרומוזומים הכפולה לכל כרומוזום יש בן זוג הדומה לו במבנה ובסוג המידע שבו. (יוצאים מכלל זה הם כרומוזומי הזוויג שעליהם נרחיב מעט בהמשך). מקורו של כרומוזום אחד מהאב ובן זוגו - מהאם. שני כרומוזומים היוצרים זוג נקראים **כרומוזומים הומולוגיים** ($homos$ =שווה, $logos$ =דבר).

בשני הכרומוזומים ההומולוגיים יש מידע תורשתי לגבי אותן תכונות, אך אופי המידע עשוי להיות שונה. לדוגמה: באחד מזוגות הכרומוזומים ההומולוגיים שבתאי האדם מצוי מידע לסוג הדם. מידע זה נמצא רק בזוג זה של כרומוזומים. אבל כרומוזום אחד יכול לכלול מידע לסוג דם A, והכרומוזום ההומולוגי יכול לכלול מידע לסוג דם B.

כיצד מתקבלים תאי רבייה הפלואידיים בעלי n כרומוזומים?

תאי רבייה מתקבלים בעקבות חלוקת גרעין התא הנקראת **מיוזה**. חלוקה זו ייחודית לאורגניזמים המתרבים ברבייה זוויגית.

חלוקת המיוזה נקראת גם **חלוקת הפחתה** מכיוון שבסיומה, אחרי שתי חלוקות עוקבות, מתקבלים מתא דיפלואידי אחד ארבעה תאים הפלואידיים שבכל אחד מהם רק מחצית ממספר הכרומוזומים שהיו בתא שהתחלק. בכל אחד מהתאים יש **נציג אחד** מכל זוג כרומוזומים הומולוגיים שהיו בתא האם, כלומר בכל תא הפלואידי שנוצר יש מידע עבור כל סוגי התכונות של האורגניזם שיתפתח מהזיגוטה.

עוד על

התפתחות תאי הרבייה
בעקבות מיוזה, בפרק ג'
עמודים 40, 42-43.
בפרק ו' עמודים 119-120.

באיור א-4 מוצגים שלבי המיוזה והאירועים המתרחשים בתא במהלכה.

לקראת המיוזה, כמו גם לקראת המיטוזה, מוכפל ה-DNA בצורה מדויקת וכל **כרומוזום** בנוי בשלב זה משתי כרומטידות זהות הנקראות **כרומטידות אחיות**. חלוקת המיוזה מורכבת למעשה משתי חלוקות.

החלוקה הראשונה של המיזזה:

א. כרומוזומים שהוכפלו לקראת החלוקה נדחסים ומתקצרים עד שניתן להבחין (באמצעות מיקרוסקופ) שכל אחד מהם מורכב משתי כרומטידות הקשורות זו לזו (כרומטידות אחיות).

ב. זוגות הכרומוזומים ההומולוגיים מסתדרים זה מול זה באופן אקראי במרכז התא המתחלק.

ג. הזוגות ההומולוגיים נפרדים, ולכל קוטב נודד אחד מהכרומוזומים ההומולוגיים.

ד. בתום החלוקה הראשונה מתקבלים שני תאי-בת, בכל תאי-בת - נציג אחד מכל זוג כרומוזומים ההומולוגיים (כל כרומוזום - מורכב משתי כרומטידות).

החלוקה השנייה של המיזזה:

ה. הכרומוזומים מסתדרים (שוב) במישור המשווה.

ו. שתי הכרומטידות של כל כרומוזום נפרדות, אחת לכל תאי-בת (כל כרומטידה הופכת לכרומוזום, בדומה למתרחש במיטוזה).

ז. מתקבלים 4 תאים הפלואידיים שבכל אחד מהם "נציג" אחד מתוך ארבע הכרומטידות שהיו בכל זוג כרומוזומים ההומולוגיים בתחילת המיזזה.

בארבעת התאים שנוצרו בעקבות המיזזה, יש מספר זהה של כרומוזומים (n) אולם המידע התורשתי בכל אחד מהם שונה, ומהם יתפתחו תאי רבייה (גמטות).

כרומוזומים הומולוגיים

כרומטידות אחיות

חלוקה ראשונה

חלוקה שנייה

איור א-4: סכמה של מיזזה - מחלוקה של תא בעל 4 כרומוזומים (2 זוגות כרומוזומים הומולוגיים, $2n=4$), מתקבלים ארבעה תאים המכילים 2 כרומוזומים (נציג אחד מכל זוג הומולוגיים)

שאלה א-2

בתום חלוקת המיזזה מתקבלים 4 תאים הפלואידיים. מה אפשר להסיק מכך על כמות החומר התורשתי (DNA) הקיימת בתא בתחילת המיזזה? האם כמותו:

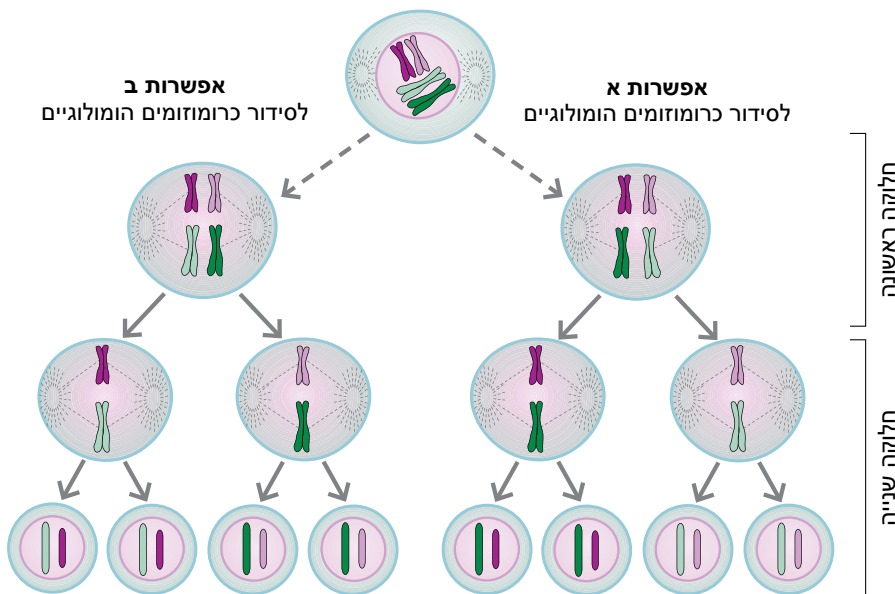
1. זהה לזו שבכל אחד מהתאים המתקבלים בתום החלוקה השנייה?
 2. כפולה מזו שבכל אחד מהתאים המתקבלים בתום החלוקה השנייה?
 3. גדולה פי 4 מזו שבכל אחד מהתאים המתקבלים בתום החלוקה השנייה?
- בחרו בתשובה הנכונה ונמקו.

מיזוג ושונות תורשתית

שני תהליכים המתרחשים במהלך המיזוג תורמים לשונות תורשתית בקרב צאצאי הרבייה הזוויגית:

א. הפרדות בלתי תלויה (אקראית) של כרומוזומים

לאחר שהכרומוזומים ההומולוגיים מסתדרים בזוגות במרכז התא המתחלק, נודד בן זוג אחד לקוטב אחד של התא, ובן הזוג השני נודד לקוטב השני. האופן שבו מסתדר זוג מסוים של כרומוזומים ההומולוגיים במרכז התא, ובהתאם לכך הקביעה איזה בן זוג (האם זה שמקורו באב או זה שמקורו באם) נודד לאיזה קוטב בתא – הוא אקראי, כלומר אינו תלוי באופן שבו מסתדרים יתר זוגות הכרומוזומים. מכאן שבכל אחד מקטבי התא המתחלק יש קבוצה מעורבת של כרומוזומים, חלקם מקורם באם וחלקם מקורם באב.



לדוגמה: בתא שבו $n=2$ ($2n=4$) יכולים הזוגות ההומולוגיים להסתדר בשני אופנים (איור א-5). מכל אחד מאופנים אלה יכולים להיווצר שני תאי־בת השונים זה מזה בצירופי הכרומוזומים שבהם.

ככל שמספר הכרומוזומים גדול יותר, כך גדל מספר הצירופים האפשריים ביניהם, וכמובן מתקבל מגוון גדול יותר של תאי־בת.

איור א-5: סידור שונה של זוגות הכרומוזומים ההומולוגיים מוביל למגוון של צירופי כרומוזומים בתאי הבת

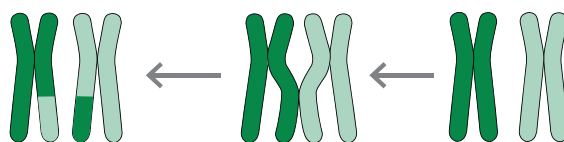
שאלה א-3



- מה היה מספר הכרומוזומים בתאי העובר אילו לא חלה הפחתה במספר הכרומוזומים בעת יצירת תאי הרבייה?
- מהי החשיבות של ההפחתה במספר הכרומוזומים בתהליך יצירת תאי הרבייה להמשכיות הדורות? הסבירו.
- מה היה ההרכב הכרומוזומלי של תאי הרבייה אם לא הייתה מתקיימת הפרדות בלתי תלויה? הסבירו.
- כמה טיפוסים של תאי־בת יכולים להתקבל מתא שיש בו 3 זוגות של כרומוזומים ההומולוגיים? הציעו כלל מתמטי שעל־פיו אפשר לחשב את מספר הצירופים שיתקבלו מתא שיש בו 4 כרומוזומים ויותר?

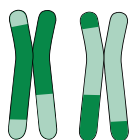
ב. שחלוף

בחלוקה הראשונה של המיוזה, כאשר הכרומוזומים ההומולוגיים נערכים בזוגות זה מול זה, הם נצמדים האחד לשני. כרומטידה של כרומוזום אחד נצמדת לכרומטידה של הכרומוזום ההומולוג. במהלך ההיצמדות מקצת הכרומטידות מחליפות ביניהן קטעים של חומר תורשתי. תהליך זה של חילופי קטעים נקרא **שחלוף** (crossing over) (איור א-6).



איור א-6: שחלוף יחיד בזוג כרומוזומים הומולוגיים

החלפת הקטעים היא מדויקת: חלק מכרומוזום אחד מוחלף בחלק זהה לו (באורכו ובסוג המידע שהוא נושא) מהכרומוזום ההומולוגי שלו. בעקבות השחלוף נוצרים כרומוזומים שבהם נמצאים קטעים שמוצאם "אמהי" וגם קטעים שמוצאם "אבהי".



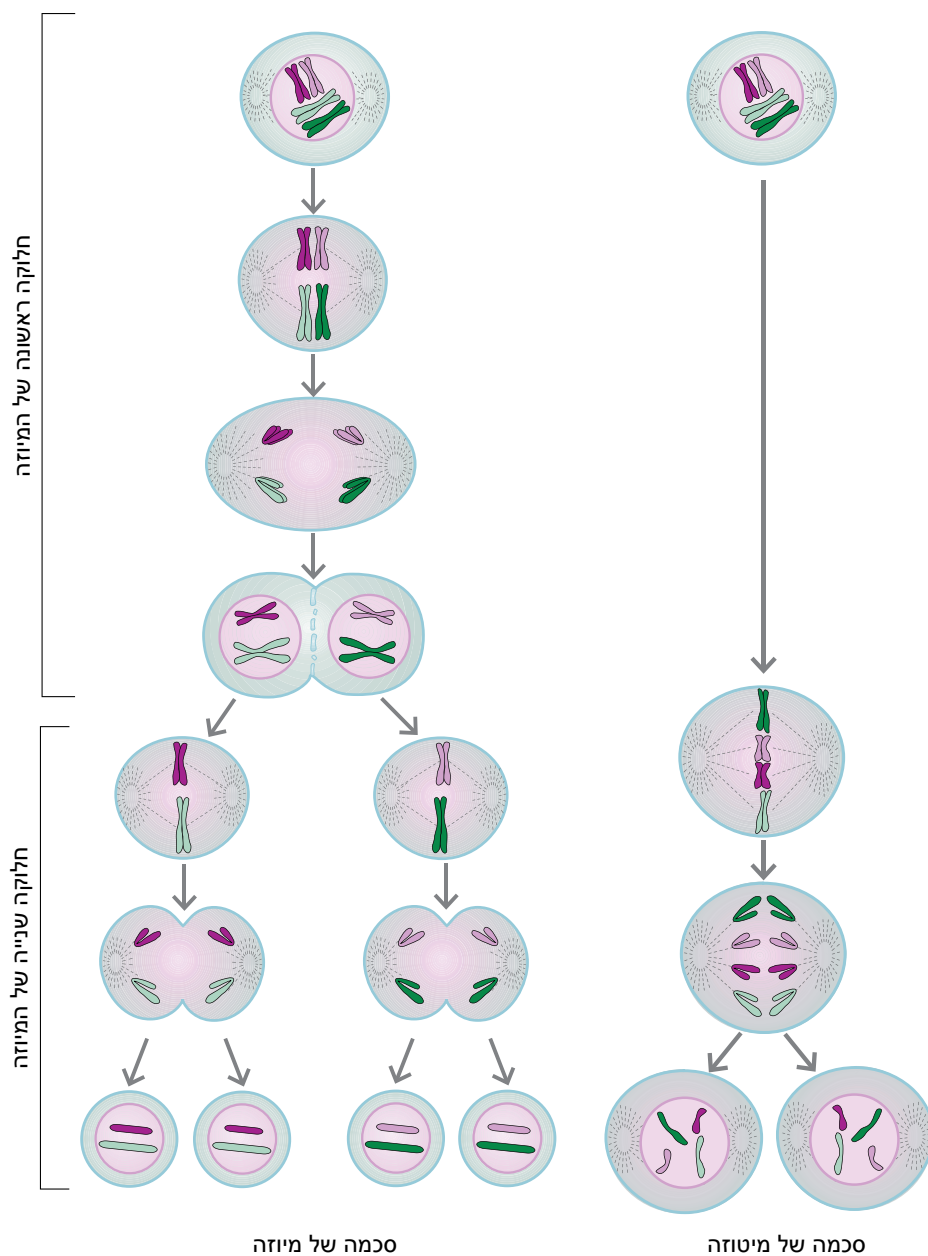
איור א-7: זוג כרומוזומים הומולוגיים לאחר שלושה שחלופים

התברר ששחלוף קורה בשכיחות גבוהה למדי, דהיינו בכמה מקומות לאורך הכרומוזום. איור א-7 מציג זוג כרומוזומים הומולוגיים לאחר 3 שחלופים. המקומות בכרומטידות שבהם מתבצע השחלוף, כמו גם מספר השחלופים לכרומוזום או לתא, יכולים להיות שונים בתאים שונים העוברים מיוזה.

התוצאה של שני התהליכים – הפרדות בלתי תלויה של כרומוזומים ושחלוף – היא שכל תא רבייה (הפלואידי) שנוצר בפרט מסוים מכיל מערך שלם של מידע תורשתי, אך צירוף תורשתי שונה מתאי רבייה אחרים שייווצרו או שנוצרו באותו פרט, ושונה מהצירוף התורשתי שהיה קיים בתאי הרבייה מהם הפרט עצמו נוצר.

3.3 א מה בין מיוזה ומיטוזה?

תהליכי המיטוזה והמיוזה שונים זה מזה בהיבטים אחדים אך יש גם נקודות דמיון ביניהם כפי שאפשר לראות באיור א-8. שני התהליכים מתחילים לאחר הכפלה מדויקת של החומר התורשתי וכל כרומוזום מורכב לקראת החלוקה משתי כרומטידות. לפני החלוקה לשני תאים מסתדרים הכרומוזומים במרכז התא, אולם בעוד שבמיטוזה הם מסתדרים בשורה יחידה במיוזה הם מסתדרים בזוגות: כל כרומוזום מול ההומולוג שלו.



איור א-8: השוואה בין מיטוזה (מימין) ומיטוזה (משמאל)

הסידור של הכרומוזומים ההומולוגיים בזוגות זה מול זה הוא המאפשר את ההיפרדות האקראית ואת השחלוף שהם התורמים לשונות בין תאי הבת במיטוזה. כך יוצא שבכל אחד מתאי הבת של המיטוזה יש צירוף אחר של כרומוזומים (חלקם מהורה אחד וחלקם מההורה האחר) וגם הכרומוזומים עצמם כבר אינם זהים לאלה של ההורים שכן בעקבות השחלוף הוחלפו קטעים של כרומוזומים.

שאלה א-4

א. השוו בין מיטוזה ומיטוזה באמצעות הטבלה הבאה:

מיטוזה	מיטוזה		קריטריון
	חלוקה II	חלוקה I	
			הכפלת DNA לפני החלוקה
			היפרדות כרומוזומים הומולוגיים
			היפרדות כרומוטידות אחיות
			מספר תאי הבת
			מספר כרומוזומים בתאי הבת
			שחלוף
			התוצאה הסופית של התהליך

ב. סכמו במה דומה המיטוזה לחלוקה הראשונה של המיטוזה, ובמה היא דומה לחלוקה השנייה.

שאלה א-5

גם חלוקת המיטוזה וגם חלוקת המיטוזה מדויקות עד כדי כך שמתקבלים תאים שיש בהם מידע עבור כל תכונות התא. מה מאפשר את הדיוק בחלוקת התאים במהלך המיטוזה ובמהלך המיטוזה? הסבירו.

4. שונות תורשתית ומוטציות

ראינו שלשונות התורשתית בין צאצאי רבייה זוויגית תורמים המיטוזה וההפריה. אך יש לזכור שגם מוטציות המתרחשות בתאים תורמות לשונות.

מוטציה היא שינוי ברצף הבסיסים ב-DNA והיא מקור נוסף למגוון בחומר התורשתי שהוא תנאי הכרחי להתפתחות אבולוציונית. מוטציה יכולה להיגרם מטעות בשכפול DNA ולהתבטא בהחלפה של נוקליאוטיד אחד באחר, בהחסרת נוקליאוטיד או בהוספת נוקליאוטיד. סוג אחר של מוטציות נגרם משברים בכרומוזום. לא כל הסיבות להתרחשות מוטציות ידועות למדענים, אולם ידוע כי קרינה (כגון קרינת UV, קרינת רנטגן וקרינה רדיואקטיבית) יכולה לגרום למוטציה. החוקרים סבורים שגורמים נוספים כמו חומרים מסוימים ונגיפים גם הם יכולים לגרום למוטציות.

באורגניזמים המתרבים ברבייה זוויגית מוטציה תשפיע על הצאצאים רק אם תתרחש בתאי הרבייה. מוטציה בתאי הגוף שאינם תאי רבייה – לא תשפיע על הצאצאים.

באורגניזמים המתרבים ברבייה אל-זוויגית שונות בצאצאים נוצרת רק בעקבות מוטציות, אך זהו אירוע נדיר למדי. אם המוטציה התרחשה בתאים שמתחלקים שוב ושוב ומשתתפים ביצירת הצאצא אזי יתקבלו צאצאים שונים מההורה בתכונה זו או אחרת.

באורגניזמים חד-תאיים המוטציה תעבור לצאצאים בין אם הם מתרבים ברבייה זוויגית או ברבייה אל-זוויגית.

קשר לנושא

התא - מבנה ופעילות:
לפני חלוקת התא ה-DNA משוכפל בצורה מדויקת, אך לעיתים מתרחשות מוטציות.

עוד על

שונות תורשתית והישרדות, בפרק ב' עמ' 30.

שאלה א-6



קרינה גרמה למוטציה בחומר התורשתי בתאי העור. האם לדעתכם מוטציה זאת תעבור בתורשה אל הצאצאים של אותו אורגניזם המתרבה ברבייה זוויגית? הסבירו מדוע.

שאלה א-7



סכמו את ההבדלים בין רבייה אל-זוויגית לרבייה זוויגית בעזרת הטבלה הבאה:

מאפיינים	רבייה אל-זוויגית	רבייה זוויגית
מספר ההורים/מקורות החומר התורשתי		
התהליך התאי שעליו מבוסס תהליך הרבייה		
מידת השונות בקרב הצאצאים		
מקור השונות בקרב הצאצאים		
יתרונות להמשך קיום המין		
חסרונות להמשך קיום המין		

עיקרי הנושאים בפרק



- רבייה חיונית להמשכיות של האוכלוסייה ושל המין.
- בסוף המאה ה-19 התקבלה התפיסה שכל אורגניזם חי נוצר מאורגניזם חי אחר שהתרבה.
- בעולם החי מוכרות שתי צורות רבייה: רבייה אל-זוויגית ורבייה זוויגית.
- התהליך התאי שעליו מבוססת רבייה אל-זוויגית הוא מיטוזה והתהליך התאי שעליו מבוססת רבייה זוויגית הוא מיוזה.
- מיטוזה היא גם התהליך התאי עליו מבוססות צמיחה וגדילה.
- התהליכים המתרחשים במיוזה - הפרדות בלתי תלויה של כרומוזומים ושחלוף - תורמים לשונות התורשתית של צאצאי הרבייה הזוויגית.
- צאצאי הרבייה האל-זוויגית זהים זה לזה ולהוריהם, ואילו המאפיין את צאצאי הרבייה הזוויגית הוא השונות התורשתית.
- מוטציות אקראיות תורמות לשונות התורשתית.

מושגים חשובים בפרק



זוויג	רבייה אל-זוויגית
מוטציה	רבייה זוויגית
מידע תורשתי (חומר תורשתי)	שונות תורשתית
מיוזה (חלוקת הפחתה)	שחלוף
מיטוזה	תאי רבייה (גמטות)
מין (species)	

עקרונות ברבייה זוויגית



1. צאצאי הרבייה הזוויגית מאופיינים בשונות תורשתית
2. ברבייה זוויגית מתלכדים שני תאי רבייה שונים
3. רבייה זוויגית מתקיימת בין פרטים מאותו מין (species) ביולוגי
4. סביבה מימית או לחה חיונית להפריה
5. עוברים זקוקים למזון ולסביבה מוגנת להתפתחותם
6. פעילות מערכת הרבייה מווסתת על ידי מנגנוני בקרה
7. מבט אבולוציוני: רבייה זוויגית ושונות תורשתית

עיקרי הנושאים בפרק
מושגים חשובים בפרק

ב



פרק ב: עקרונות ברבייה זוויגית

רעיון מרכזי

אחידות ושוני:
בכל האורגניזמים מתקיימים תהליכי רבייה, אולם יש שונות בפרטי התהליך והאיברים המשתתפים בו.

רוב מיני האורגניזמים הרב־תאיים מתרבים ברבייה זוויגית שהיא תהליך מסובך ומורכב בהשוואה לרבייה אל־זוויגית.

בפרק זה יוצגו העקרונות המשותפים לכל האורגניזמים המתרבים ברבייה זוויגית ובכללם האדם. בעקרונות אלה מתגלית לעינינו **האחידות** הרבה הקיימת בתהליכים המתרחים באורגניזמים חיים.

אמנם קיימים הבדלים בפרטי תהליך הרבייה הזוויגית במינים שונים (דוגמאות לכך יובאו בפרקים ה', ו'), אך רב המשותף על המפריד. בפרק הקודם הכרנו את תהליך המיזוג, שהוא שלב הכרחי ביצירת תאי הרבייה בכל האורגניזמים המתרבים ברבייה זוויגית. בפרק זה נסקור עקרונות משותפים נוספים.

ב.1. צאצאי הרבייה הזוויגית מאופיינים בשונות תורשתית

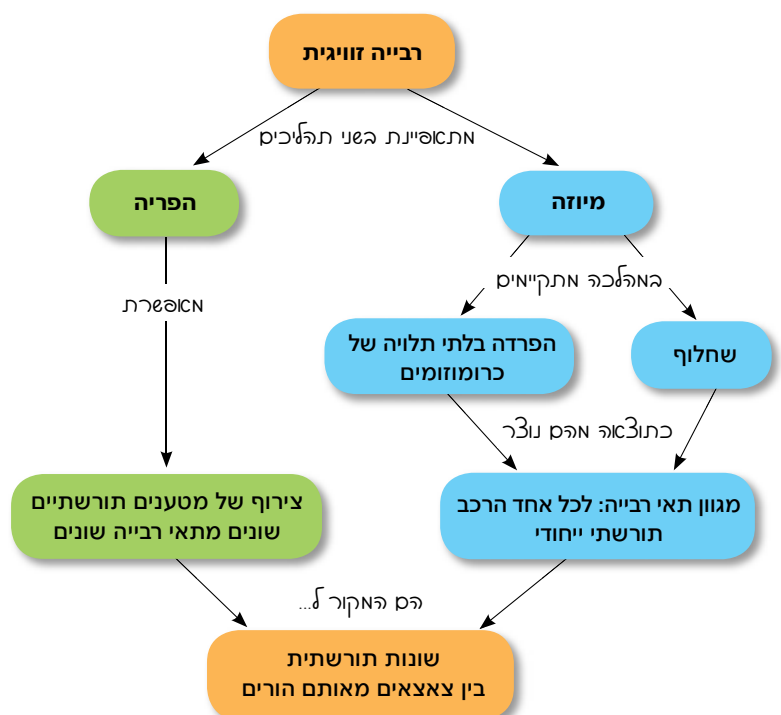
צאצאי הרבייה הזוויגית מאופיינים **בשונות תורשתית** (גנטית). שני אירועים חשובים המתרחסים בתהליך הרבייה הזוויגית באורגניזמים רב־תאיים תורמים לשונות התורשתית בקרב הצאצאים:

- יצירת **תאי רבייה** בתהליך **המיזוג**.
- הפריה**: התלכדותם של שני תאי רבייה שונים לתא אחד – **זיגוטה** – שממנו יתפתח הצאצא.

במהלך המיזוג מתרחשים תהליכי שחלוף והיפרדות בלתי תלויה של כרומוזומים, שמובילים ליצירת תאי רבייה בעלי הרכב תורשתי ייחודי.

בתהליך ההפריה מתקיים מפגש אקראי בין תאי רבייה שונים. כתוצאה מכך ההרכב התורשתי של כל זיגוטה ושל הפרט שמתפתח ממנה שונה מהוריו ושונה מהצאצאים האחרים של אותם הורים. לכל פרט שנוצר ברבייה זוויגית יש הרכב תורשתי ייחודי רק לו. חשבו על כך: כל אחת ואחד מאתנו, אם אין לנו תאום או תאומה זהים – הרינו יחידים ומיוחדים.

איור ב-1 מסכם את התהליכים התורמים לשונות התורשתית.



איור ב-1: התהליכים התורמים לשונות התורשתית בקרב צאצאי רבייה זוויגית

ב. ברבייה זוויתית מתלכדים שני תאי רבייה שונים

לרוב המינים המתרבים ברבייה זוויתית יש תאי רבייה משני טיפוסים הנבדלים בגודלם ובצורתם. תאי הרבייה הזכריים מכונים **תאי־זרע**. לתאים אלו יש יכולת תנועה עצמאית והם קטנים יחסית. תאי הרבייה הנקביים מכונים **תאי־ביצה**. לתאים אלו אין יכולת תנועה עצמאית ובדרך כלל הם גדולים בהשוואה לתאי הזרע. מספר המיטוכונדריה בתאי הזרע גדול יחסית למספרם בתאי הביצה.

בבעלי החיים שנבדלים לזכרים ולנקבות כל פרט מסוגל לייצר רק אחד משני הטיפוסים של תאי הרבייה: נקבות מייצרות תאי־ביצה וזכרים מייצרים תאי־זרע. יש מינים (species) שבהם אותו פרט מסוגל לייצר את שני הטיפוסים של תאי הרבייה. כאלה הם לדוגמה חלזונות, שלשולים ומיני סרטנים. מין שפרטיו מייצרים את שני הטיפוסים של תאי הרבייה מכונה **הֶרֶמְפְּרֹדִיט** (על פי המיתולוגיה היוונית הרמפרודיט היה בנם של שליח האלים **הֶרַס** ושל אלת האהבה והפוריות **אֶפְרֹדִיטָה**).

עוד על

פרחים חד־זוויגיים
ופרחים דו־זוויגיים,
בפרק ו', עמוד 121.



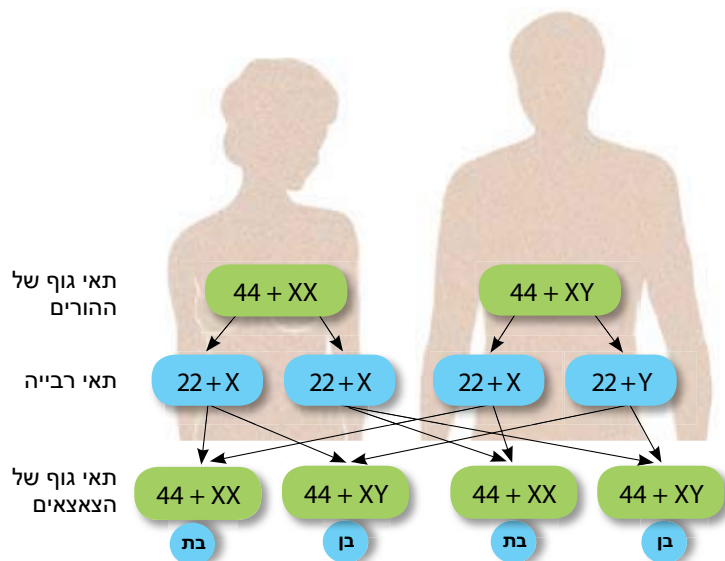
רוב מיני הצמחים הם הרמפרודיטים. הפרחים שלהם הם דו־זוויגיים, כלומר יש בהם איבר רבייה נקבי (שחלה) ואיבר רבייה זכרי (אבקנים) (איור ב-2). אולם יש מיני צמחים כגון התמר והחרוב שבהם הפרחים הם חד־זוויגיים ותאי הרבייה השונים נוצרים בפרטים שונים.

איור ב-2: פרח דו־זוויגי ממשפחת השושניים
שימו לב לשחלה השחורה ולאבקנים שסביבה.

מהו הבסיס התורשתי לקביעת הזוויג?

היכולת לייצר תאי רבייה זכריים או תאי רבייה נקביים תלויה במידע התורשתי שבתאי הפרט. ביונקים למשל, אחד מבין כל זוגות הכרומוזומים ההומולוגיים שבתאים הוא זוג

שונה מהזוגות האחרים, זהו זוג **כרומוזומי זוויג** (יש המכנים אותם **כרומוזומי מין**). בכרומוזומי הזוויג (או באחד מהם) מצויים חלק מהגנים הקשורים בזוויגיות. בתאי הנקבות האדם (וביונקים בכלל) מצויים שני כרומוזומי זוויג הומולוגיים, והם מכונים כרומוזומי X. בתאי הזכרים מצויים שני כרומוזומי זוויג שונים: כרומוזום X כמו בנקבה וכרומוזום נוסף - כרומוזום Y. כרומוזומי הזוויג, כמו יתר הכרומוזומים, מצויים בכל אחד מתאי הגוף שלנו (איור ב-3).



איור ב-3: כרומוזומים בתאי הגוף, בתאי הרבייה ובצאצאים באדם

אם נתבונן מבעד למיקרוסקופ באחד מהתאים של אדם נוכל לדעת על פי כרומוזומי הזוויג שלו אם הוא גבר או אישה. בדיקה זאת יכולה להיעשות רק בתאים במצב של חלוקה, כי במצב זה, החומר התורשתי נדחס למבנים שקל לזהותם.



פרטים נקביים נושאי פירות של עצי תמר

בעופות, בפרפרים ובעשים הזוויג נקבע באופן הפוך לזה שבאדם: לזכרים שני כרומוזומי זוויג זהים, ולנקבות שני כרומוזומי זוויג שונים. בכמה מיני **חגבים** יש כרומוזום זוויג אחד, כרומוזום זה מצוי רק בתאי נקבות ונעדר בתאי זכרים.

במיני צמחים שבהם יש פרטים זכריים ופרטים נקביים נפרדים, כגון: **בחרוב** ו**בתמר**, קביעת הזוויג נעשית בדרך דומה לזו שביונקים.

הרחבה



עוד על קביעת זוויג

במינים הרמפרודיטים, שבהם כל פרט מסוגל לייצר את שני הטיפוסים של תאי הרבייה, אין כרומוזומי זוויג. כך הדבר ב**שלשולים** וב**חלזונות** וברוב מיני הצמחים. בצבים קביעת הזוויג תלויה בטמפרטורה שבה שהו הביצים עד לבקיעתן. בגומה שבה הוטלו הביצים הטמפרטורה משתנה בהתאם לעומק: קרוב יותר לפני השטח הטמפרטורה גבוהה יותר מאשר בעומק הגומה. בטמפרטורות העולות על 30°C תבקענה מהביצים נקבות ובטמפרטורות נמוכות יותר 24°C – 27°C , יבקעו יותר זכרים. בדגים מסוימים וב**צפרדעים** הזוויג נקבע על ידי כרומוזומי זוויג, אך השפעות סביבתיות כמו טמפרטורה יכולות לשנות את כיוון ההתפתחות של הצאצאים הצעירים ולהפוך נקבות לזכרים ולהיפך.

3. רבייה זוויגית מתקיימת בין פרטים מאותו מין (species) ביולוגי

הפריה תיתכן רק בין שני תאי רבייה שונים שמקורם בפרטים השייכים לאותו **מין ביולוגי** (species). בין תאי רבייה שיכולים להתלכד לזיגוטה קיימת היכרות ביוכימית, המתבטאת ביכולת התקשרות בין מבנים בקרום תא הזרע עם אתרי קישור ייחודיים (קולטנים) בקרום תא הביצה. התקשרות כזו תיתכן רק בין תא זרע ותא ביצה השייכים לאותו מין ביולוגי. אחת הדוגמאות המהוות "יוצא מן הכלל" הזה היא האפשרות ליצירת זיגוטה מתאי רבייה של **חמור** ו**סוסה**. מזיגוטה כזו אמנם מתפתח צאצא (פרד) אך הוא עצמו עקר ואינו יכול להתרבות.

4. סביבה מימית או לחה חיונית להפריה

תהליך ההפריה ותהליך התפתחות העובר יכולים להתרחש רק **בסביבה מימית** או לחה. הצורך בסביבה מימית או לחה להפריה נובע מכך שתאים, ובכלל זה תאי הרבייה, אינם יכולים להתקיים באוויר היבש, שם הם חשופים לסכנת התייבשות ולמוות. לאורגניזמים החיים במים, כמו אצות ודגים, הסביבה המימית משמשת מקום מפגש טבעי לתאי הרבייה. ההפריה עצמה מתרחשת גם היא בסביבה המימית החיצונית לגוף ונקראת על כן **הפריה חיצונית**.

באורגניזמים החיים ביבשה תאי הרבייה מועברים בדרכים שונות מהזכר אל גוף הנקבה בלי להיחשף לסכנת ההתייבשות הכרוכה בשהייה באוויר, וההפריה מתקיימת בתוך גוף הנקבה. הפריה כזאת נקראת **הפריה פנימית**. ההפריה באדם היא דוגמה מובהקת להפריה פנימית, אך גם בצמחים בעלי זרעים ההפריה היא פנימית!

באורגניזמים שבהם מתקיימת הפריה פנימית איברי הרבייה כוללים את האיברים שבהם נוצרים תאי הרבייה ואיברים נוספים הקשורים בהובלתם ובהפגשתם: בזכר נמצא אמצעים המסייעים להעברת תאי הרבייה הזכריים אל גוף הנקבה. בגוף הנקבה קיימים מבנים שבהם נוצרים תאי הרבייה, מבנים שבהם מתקיימת ההפריה וכן מבנים המסייעים בהגנה על העוברים המתפתחים.

5. עוברים זקוקים למזון ולסביבה מוגנת להתפתחותם

העובר הוא ראשיתו של הדור הבא והוא זקוק לחומרי הזנה ולסביבה מימית מוגנת להתפתחותו. בעניין זה אין הבדל בין אורגניזמים פשוטים למורכבים, בין כאלה שחיים במים לבין כאלה החיים ביבשה ובין בעלי חיים לבין צמחים. אולם האמצעים שבהם מסופקים צורכי העוברים והמבנים שבהם הם מתפתחים הם שונים (איור ב-4, טבלה ב-1). **הביצה** של זוחלים ועופות, המוטלת לסביבה, היא מבנה מורכב המכיל את הזיגוטה (תא הביצה שהופרה), חומרים הדרושים להתפתחות העובר (חלבון, מים, חלבון) קרום וקליפה. עוברי יונקים מתפתחים ברחם ומקבלים מדם האם מזון וחמצן. עוברי צמחים מוגנים בתוך הזרע וניזונים במהלך הנביטה מחומרים שנאגרו בו.

קשר לנושא

אקולוגיה:

העברת גמטות בסביבה מימית.

רעיון מרכזי

אחידות ושוני:

עוברים זקוקים למזון, להגנה ולסביבה מימית, אך האמצעים והמבנים לכך - שונים.

עוד על

ביצים כמקום

התפתחותם של עוברים, בפרק ה', עמודים 88, 93.



איור ב-4: התפתחות עוברים

מימין לשמאל: נבט של אבוקדו, אפרוח בוקע מביצה, תינוק ברחם



טבלה ב-1: מבנים ואמצעים להגנה על עוברים ולאספקת מזון, חמצן ותנאי סביבה

המבנה	קיים אצל	אמצעי ההגנה על העובר	אספקת מזון לעובר	אספקת חמצן	איך מובטחים לעובר תנאי סביבה חיצונית מתאימים?
ביצה	בעלי חיים המתרבים במים: דגים, דו-חיים	יש קרומים, אין מעטה קשיח	חומרי תשמורת בביצה	דיפוזיה דרך הקרומים	הטלת הביצה בעונה נוחה
	בעלי חיים המתרבים ביבשה: זוחלים, עופות	יש קרומים וקליפה קשיחה	חומרי תשמורת בביצה	דיפוזיה דרך הקרומים והקליפה	דגירה על הביצה, הטלה בעונה נוחה או הטמנה בקרקע
רחם	יונקים ביבשה ובמים	מבנה שרירי בתוך גוף האם	מדם האם באמצעות השליה וחבל הטבור	בדיפוזיה מדם האם באמצעות השליה	העובר מתפתח בגוף האם
זרע	צמחים בעלי זרעים	קליפות הזרע והפרי	חומרי תשמורת בזרע	דיפוזיה מהסביבה	אמצעים להשהיית נביטה בתנאי סביבה לא נוחים

6. פעילות מערכת הרבייה מווסתת על ידי מנגנוני בקרה

רוב האורגניזמים - צמחים ובעלי חיים - מתרבים רק בהגיעם לגיל מסוים ורק בעונה המתאימה לגידול הצאצאים. המועד המתאים להתרבות חשוב להצלחת הרבייה הזוויגית. התבוננות בטבע שסביבנו מצביעה על כך שברוב המקרים, ההתרבות מתרחשת כך שהצאצאים ייוולדו בעונה שתנאיה נוחים להתפתחותם: הטמפרטורה נוחה והמשאבים, כמו מזון ומים - זמינים. עובדה זו מעידה על קיום **מנגנוני ויסות ותקשורת** שבאמצעותם מבוקרת הפעילות של מערכת הרבייה. רוב המידע בעניין זה מקורו במחקרים שעסקו בצמחים, בעופות וביונקים, והרבה פחות ידוע על בקרת הרבייה באורגניזמים פשוטים יותר כגון חרקים.

מאחר שבאורגניזמים רבים הרבייה היא עונתית, הגיוני להניח שאותות חיצוניים (סביבתיים) כמו אורך יום, טמפרטורה, גשמים וזמינות מזון הם המניעים את התהליכים הפנימיים ובעקבות כך גם את התהליכים וההתנהגויות המאפשרים תזמון מדויק של המפגש בין תאי הרבייה של שני הזוויגים.

אחד האותות החשובים בהכוונת מועד הרבייה הוא **האור**. השפעת האור על פריחה בצמחים נחקרה רבות, אך גם בבעלי חיים רבים, כגון עופות וכבשים, נמצאה תגובה לשינוי במספר שעות האור והשפעה על תהליכים פנימיים כגון הפרשת הורמונים. בפרק ז' נראה כיצד הידע הזה מנוצל על ידי החקלאים להכוונת הפריחה, להגברת שיעור הטלת הביצים בלולים ולהכוונת ההתרבות בחיות המשק.

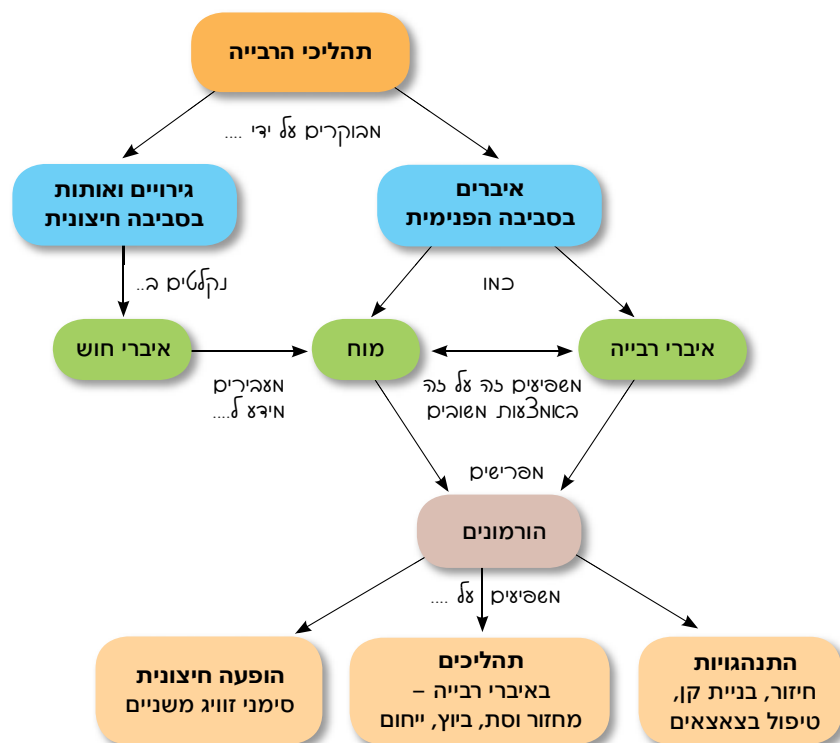
בבעלי חיים האותות החיצוניים נקלטים על ידי איברי חוש ומועברים באמצעות מערכת התקשורת העצבית אל המוח. מהמוח מופרשים **הורמונים** המשפיעים ישירות על איברי הרבייה המגיבים בהפרשת הורמונים אחרים (איור ב-5). פרטי האירועים האלה יוסברו בפרק ג' העוסק ברביית האדם.

קשר לנושא

הביולוגיה של האדם:
מנגנוני ויסות ותקשורת.

עוד על

השפעת אור על פריחה, בפרק ו', עמודים 115-116.
השפעת אור על הטלת ביצים ורבייה, בפרק ז', עמוד 147.



איור ב-5: יסודות ותקשורת בבקרה על תהליכי רבייה בבעלי חיים

האותות החיצוניים משפיעים באמצעות ההורמונים המופרשים מהמוח גם על מכלול התופעות הקשורות למוכנות לרבייה כגון: שינויים בהופעה החיצונית, גרימת ביוץ והתנהגויות בניית קן וחיזור. בשלב גידול הצאצאים משפיעים ההורמונים גם על ההתנהגויות הקשורות בטיפול בצאצאים כגון דגירה, הגנה עליהם והפרשת חלב (ביונקים). בעופות וביונקים מסוימים גם נוכחות בן זוג מתאים מהווה גירוי חיצוני הפועל על המוח וגורם להפרשת ההורמונים.

ההשפעות ההדדיות בין המוח לבין איברי הרבייה והפרשת ההורמונים מהם מבוקרות באמצעות מנגנוני משוב שליליים וחיוניים. להזכירכם, במשוב שלילי תוצאת התהליך מעכבת את המשכו. במשוב חיובי קורה דבר הפוך: תוצאת התהליך מגבירה אותו. בפרק ג' העוסק בתהליכי הרבייה באדם תכירו דוגמאות לשני הסוגים של מנגנוני המשוב.

קשר לנושא

הביולוגיה של האדם:
ההומיאוסטזיס בגוף מושג באמצעות מנגנוני בקרה ומשוב.
התא - מבנה ופעילות:
משוב שלילי וחיוני בבקרה על פעילות אנזימטית.

7. מבט אבולוציוני: רבייה זוויתית ושונות תורשתית

בטבע אפשר לראות שבדרך כלל, מספר הפרטים בדור הצאצאים גדול בהרבה ממספר הפרטים בדור ההורים. לדוגמה: חלק גדול מבעלי החיים המטילים ביצים, כמו דגים וחרקים, מטילים מאות ואף אלפי ביצים בהטלה אחת. גם רוב היונקים ממליטים במהלך חייהם יותר משני צאצאים לזוג של הורים. גם בצמחים מוכרת התופעה שמספר הזרעים הנוצר בכל פרט הוא גדול מאוד (בכל צמח של עגבנייה יש פירות רבים, ובכל פרי - זרעים רבים). כאשר תנאי הסביבה יציבים מספר הפרטים באוכלוסייה נשאר יציב פחות או יותר במרוצת הדורות היות וחלק גדול מהצאצאים שאינם מותאמים לסביבה אינם שורדים.

מה קורה כאשר חל שינוי בתנאי הסביבה?!

נתאר לעצמנו אוכלוסייה מסוימת הכוללת פרטים השונים זה מזה בתכונותיהם ולו במעט. סביר שאם יתחולל שינוי בתנאי הסביבה ימצאו באוכלוסייה פרטים בעלי תכונות שמאפשרות להם לשרוד למרות השינוי. הפרטים האלה, המותאמים לסביבת הגידול שהשתנתה, מנצלים את משאבי בית הגידול ביעילות, עמידים בפני מחוללי מחלות וטפילים ומצליחים להימלט מטורפיהם. הפרטים ששרדו למרות השינוי מתרבים ומורישים לצאצאיהם מידע תורשתי הכולל גם את המידע לתכונות התורמות להישרדותם. כעבור כמה דורות גדל מספרם היחסי של הפרטים באוכלוסייה שהם בעלי צירוף התכונות התורם להישרדות. בדרך זו, במרוצת דורות רבים של התרבות, יכולה להיווצר אוכלוסייה שבה רוב הפרטים מותאמים לשינוי שחל בסביבתם.

קשר לנושא

אקולוגיה:
התאמה של אורגניזמים לסביבה וחשיבותה להישרדות.

התהליך שתואר לעיל - הישרדות של פרטים המותאמים לסביבתם - הוא תהליך ה**הִבְרָיָה הטבעית**, שתואר על ידי **צ'ארלס דרווין** (Charles Darwin, 1809-1882) בספרו "מוצא המינים" שיצא לאור בשנת 1859. בתקופתו של דרווין היו רבים, וביניהם חוקרי טבע וכמרים, שטענו שהמינים קבועים בתכונותיהם ובמספרם מאז בריאת העולם. דרווין לעומת זאת, טען שבתהליך ארוך ומתמשך של שינויים אקראיים העוברים בתורשה, האורגניזמים משתנים ומינים חדשים מתפתחים. לתהליך ההתפתחות ההדרגתי קוראים **אבולוציה**. הברירה הטבעית היא ההסבר לאופן שבו הסביבה משפיעה על ההישרדות של פרטים מסוימים, בעוד שאחרים, שונים במקצת ופחות מותאמים לסביבה זו - נכחדים. **השונות התורשתית** היא "חומר הגלם" של האבולוציה. בלי שונות, כאשר כל הפרטים זהים בכל המידע התורשתי שלהם, לא הייתה מתרחשת ברירה טבעית, שכן ברירה אפשרית רק בין שונים.

רעיון מרכזי

תיאוריית האבולוציה:
המינים השונים של אורגניזמים משתנים בהדרגה במשך הזמן (עידנים) בהשפעת גורמים סביבתיים וגורמים פנימיים.

תיאוריית האבולוציה התפתחה והשתנתה מאז פרסומה במאה ה-19, לאור הצטברות הידע וההבנה על תהליכי התורשה והתהליכים המולקולריים המתרחשים בתאים. עם זאת תיאוריית האבולוציה היא התיאוריה המדעית המקובלת היחידה המסבירה את מגוון האורגניזמים ואת תהליכי השתנותם במהלך העידנים. התפתחות תיאוריית האבולוציה והשינויים שעברה במהלך השנים מדגימים את **מהות המדע** ואת דרך צבירת הידע המדעי.

למה להתרבות ברבייה זוויגית?!

העובדה שרבייה זוויגית נפוצה כל כך עוררה את השאלה בנוגע ליתרונותיה. הרי התהליך התאי - מיזוג - מסובך לאין ערוך בהשוואה למיטוזה. לרבייה זוויגית נחוצים איברים מיוחדים וברוב המקרים יש להשקיע אנרגיה רבה בפיתוח אברי רבייה (למשל פרחים ובלוטות רבייה), בחיפוש בני זוג מתאימים לרבייה, במאבק בין פרטים על בני זוג, בייצור של תאי רבייה רבים מאוד ובטיפול בצאצאים. בנוסף לכך - לרבייה האל-זוויגית יש יתרון על פני הרבייה הזוויגית: הרי ידוע מראש שהצאצא ידמה בכל להורה!

אז מה הם בכל זאת היתרונות של רבייה זוויגית? שתיים מהתשובות שמציעים החוקרים לשאלה הן אלה:

- ברבייה זוויגית יש שונות בין הצאצאים המאפשרת ברירה טבעית ואבולוציה מהירה יחסית תוך התאמה לתנאי הסביבה המשתנים.

■ מאחר שברבייה זוויתית משתתפים שני פרטים, סביר שכאשר אצל פרט אחד יש מוטציה מזיקה ואצל הפרט השני הגן תקין אזי בחלק ניכר מהצאצאים המוטציה לא תתבטא. בדרך זו הרבייה הזוויתית מונעת התבטאות של מוטציות מזיקות. (כמובן שזה יהיה גם גורלה של מוטציה לתכונה התורמת להישרדות).

עיקרי הנושאים בפרק



- ברבייה זוויתית נוצרים צאצאים שונים זה מזה ושונים מהוריהם.
- תאי הרבייה נוצרים בעקבות מיוזה.
- לרוב המינים המתרבים ברבייה זוויתית יש תאי רבייה (גמטות) משני טיפוסים: תאי זרע קטנים ובעלי כושר תנועה ותאי ביצה גדולים יותר וחסרי כושר תנועה עצמאית.
- הפעילות של מערכת הרבייה מבוקרת על ידי מנגנוני ויסות ותקשורת, שבאמצעותם מתאפשר תזמון של תהליכי הרבייה בפרטים של שני הזוויגים, המעלה את הסיכוי למפגש מוצלח בין תאי הרבייה.
- אותות חיצוניים (סביבתיים) כמו אורך יום וטמפרטורה משפיעים על פעילות מנגנוני הויסות ועל התקשורת.
- הפריה - התלכדות תאי הרבייה - יכולה להתרחש רק בסביבה מימית או לחה.
- הפריה חיצונית מתרחשת מחוץ לגוף והפריה פנימית - בתוך הגוף.
- העובר המתפתח מהזיגוטה זקוק לחומרי הזנה ולסביבה מימית מוגנת.
- לשונות התורשתית בין צאצאי הרבייה הזוויתית יש חשיבות להישרדות האוכלוסייה והיא "חומר הגלם" לאבולוציה.
- במהלך האבולוציה התפתחותם של מינים החיים ביבשה הייתה מלווה בהתפתחות מגוון אמצעים המגינים על תאי הרבייה ומאפשרים להם להיפגש בסביבה מימית או לחה וכן בהתפתחות אמצעים המגינים על העובר מפני התייבשות.

מושגים חשובים בפרק



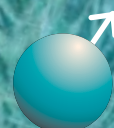
עובר	אבולוציה
עונתיות (עונת רבייה)	ביצה
רבייה זוויתית	בקרה הורמונלית
רחם	ברירה טבעית
שונות תורשתית	הפריה (חיצונית, פנימית)
תאי ביצה	זיגוטה
תאי זרע	זרע
תאי רבייה (גמטות, תאי זוויג)	סביבה מימית

רבייה באדם



1. מבנה מערכת הרבייה
2. מילדות לבגרות
3. מחזור הווסת
4. פגישת תאי הרבייה וההפריה
5. מזיגוטה ליילוד
6. גידול של אוכלוסיית בני האדם

עיקרי הנושאים בפרק
מושגים חשובים בפרק



פרק ג: רבייה באדם

הרבייה היא חלק בלתי נפרד מחייהם של כל האורגניזמים לרבות בני האדם. למרות זאת נטו תרבויות שונות לאורך ההיסטוריה להסתייג מעיסוק ברביית האדם מטעמים של אמונה ומוסכמות תרבותיות. לא בכל תקופה ולא בכל מקום ראו בני האדם צורך להבין את תהליך הרבייה שלהם עצמם כתהליך טבעי והכרחי להמשכיות החיים.

באנגליה של המאה התשע־עשרה אסרו מוסכמות החברה כל אזכור, ולו ברמז, של מגע בין גברים לנשים. כך אפשר למצוא בספר נימוסים והליכות מאת **ליידי גאוג'י** (Lady Gough) משנת 1863 כי "המארכת המושלמת תקפיד על כך שספריהם של סופרים ושל סופרות יהיו מופרדים כראוי על מדפי ארון הספרים".

הטאבו שנקשר לנושא מומחש בחריפות רבה בספר ללימוד פיזיולוגיה שיצא לאור בשנת 1866. מחבר הספר **תומס הקסלי** (Thomas Huxley) שיצא באומץ רב להגן על תורת האבולוציה של **דרווין**, לא העז לשבור את הטאבו סביב הרבייה ולא התייחס בספרו לנושא זה.

במרוצת המאה העשרים צמחה בהדרגה ההכרה כי הסתרה עיקשת של תהליך הרבייה, אין בה כדי לדכא את רצונם של אנשים לדעת ולהבין איך מתרחש תהליך זה בגופם. יתר על כן, נמצא כי ההסתרה וטשטוש העובדות מובילים בעיקר לבורות שנזקיה רבים. כיום לא נוכל לתאר לעצמנו ספר העוסק בביוולוגיה של האדם בלא לעסוק במבנה ובתפקוד של מערכות הרבייה.

1. מבנה מערכת הרבייה

במהלך התפתחותו של העובר נוצרות כל מערכות הגוף ובכללן גם המערכות הקשורות לרבייה. למעשה, כבר במהלך ההיריון אפשר להבחין באמצעות אולטרה־סאונד (מערכת הדמיה הפועלת באמצעות גלי קול) האם לעובר יש מערכת רבייה נקבית או זכרית. חשוב לציין שבעת הלידה אמנם נמצאת בגופו של כל ילוד מערכת שלמה של איברי רבייה, אך חלקים ממנה לא השלימו את התפתחותם.

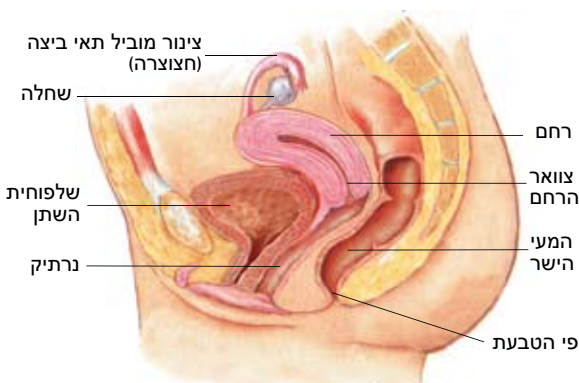
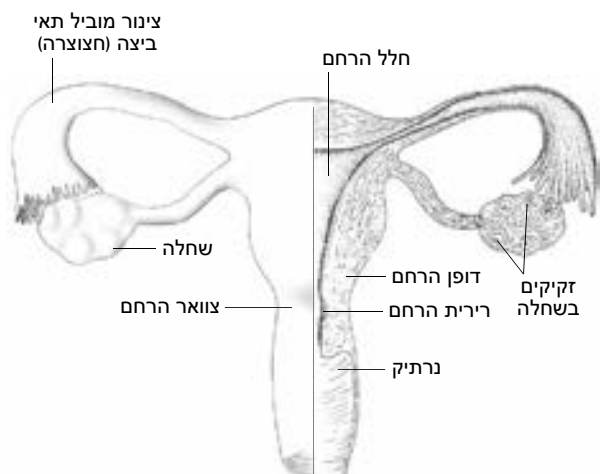
המבנה של איברי הרבייה מאפשר את קיומם של ארבעה תהליכים ששילובם מאפשר את תהליך הרבייה, ואלה הם:

1. **ייצור תאי רבייה**
2. **ייצור והפרשה של הורמונים המווסתים את תהליכי הרבייה**
3. **מפגש תאי רבייה של הגבר עם אלה של האישה**
4. **התפתחות העובר ברחם בגוף האישה.**

נכיר את מבנה מערכת הרבייה של הגבר ושל האישה ונראה איך מאפשר המבנה את קיומם של התהליכים האלה.

1.1 מערכת הרבייה של האישה

מערכת הרבייה של האישה נמצאת בחלל הבטן והיא כוללת ארבעה חלקים עיקריים: זוג שחלות, זוג צינורות מובילי תאי ביצה (חצוצרות), רחם ונרתיק. באיור ג-1 תוכלו לראות את מערכת הרבייה של האישה.



איור ג-1: מערכת הרבייה של האישה
מימין: במבט מהצד, משמאל: במבט מלפנים

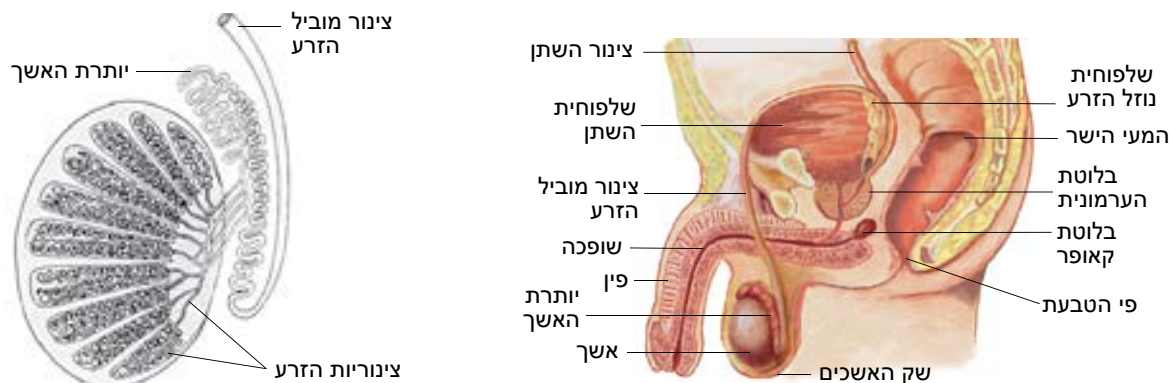
בשחלות נמצאים תאי רבייה ראשוניים וכן תאים המייצרים הורמונים. תאי הרבייה הראשוניים קיימים כבר בעובר, אך בעת לידת התינוקת הם עדיין אינם בשלים. בעתיד יבשילו חלקם ויתפתחו ל**תאי ביצה**. כל תא ביצה לעתיד מוקף בשכבה אחת של תאים. תא הביצה והתאים המקיפים אותו נקראים **זקיק ראשוני**. בכל אחת מהשחלות של עובר (נקבה) נמצאים כשלושה מיליון זקיקים ראשוניים. אולם רובם של הזקיקים מתנוונים ומתים בעודם בעובר, לפני הלידה, ורוב הנותרים מתים בשנות החיים הראשונות. כך בהגיעה לגיל ההתבגרות נמצאים בשחלות הנערה כ־300,000 עד 400,000 זקיקים ראשוניים. רק כ־400 מהם יגיעו אי-פעם לכלל הבשלה עם תאי הביצה שבתוכם, וכל השאר יתנוונו וימותו במרוצת השנים.

סמוך לכל שחלה נמצא פתח דמוי משפך של **צינור מוביל תאי ביצה**. צדו שני של הצינור נפתח לחלל הרחם (איור ג-1). בצינור מוביל תאי הביצה, המכונה בשל צורתו גם **חצוצרה** מתרחשת הפריית תא הביצה על ידי תא זרע. **שימו לב!** אין כל מגע או חיבור בין השחלה לבין פתח החצוצרה.

הרחם הוא איבר המונח במרכז אגן הירכיים. אורכו כ־7 ס"מ בממוצע ומשקלו כ־50 גרם. מבנה הרחם מותאם לקליטת העובר, להזנתו, להגנה עליו ולתמיכה בהתפתחותו. דופן הרחם בנויה משכבה עבה של שרירים חזקים (איור ג-1 משמאל). החלל הפנימי של הרחם מצופה בשכבה עבה של רקמה רכה עשירה בכלי דם הנקראת **רירית הרחם** שתאיה מפרישים הורמונים שונים. הרחם מותאם לתפקודיו בין השאר בכך שבזמן ההיריון הוא גדל פי כמה ולאחר הלידה הוא חוזר למידותיו המקוריות. החלק התחתון של הרחם בנוי כמעבר צר המכונה **צוואר הרחם**. מצוואר הרחם אל מחוץ לגוף מוביל צינור בשם **נרתיק** (vagina) שדרכו חוזרים תאי הזרע פנימה ודרכו יוצא היילוד.

2.1 ג מערכת הרבייה של הגבר

מערכת הרבייה של הגבר נמצאת בחלק התחתון של אגן הירכיים. חלקה נמצא בחלל הבטן וחלקה נמצא מחוצה לו. המערכת כוללת שלושה מרכיבים עיקריים: זוג אשכים, זוג צינורות המובילים תאי זרע ונוזלים נוספים ופין. מערכת הרבייה של הגבר כוללת גם בלוטות אותן נכיר בהמשך. באיור ג-2 תוכלו לראות את מערכת הרבייה של הגבר.



איור ג-2: מערכת רבייה של הגבר; מימין: מבט מהצד, משמאל: חתך אורך באשך

האשכים (ביחיד אֶשֶׁךְ) הם האיברים שבהם נוצרים תאי הרבייה הזכריים - **תאי הזרע**. האשכים נמצאים בשק האשכים, מחוץ לחלל הבטן. בעת שהתינוק נולד מצויים באשכיו תאים ראשוניים שיתחלקו ויתמיינו, החל בגיל ההתבגרות ובכל מהלך חייו הבוגרים, לתאי זרע. במהלך ההיריון, האשכים של העובר מתפתחים בחלל הבטן, אך הם יורדים לשק האשכים זמן קצר לפני הלידה, כשהעובר הזכר מגיע לגמר התפתחותו. הטמפרטורה בשק האשכים, הנמצא מחוץ לחלל הבטן, נמוכה מזו של פנים הגוף - היא מגיעה ל- 35°C בלבד, וזוהי הטמפרטורה האופטימלית לתהליך ייצור תאי הזרע באדם (וגם ביונקים רבים אחרים). בטמפרטורות גבוהות יותר, כמו טמפרטורת הגוף שהיא בין 36.5°C ל- 36.9°C , ייצור תאי הזרע נפגע.

מעניין לדעת



פוריות ואורח החיים בעידן המודרני

במחקרים נמצא כי פוריות הגברים ירדה בחמישים השנים האחרונות ירידה משמעותית. ישנם כמה גורמים משוערים לירידה זו, שחלקם בשליטתנו וחלקם לא. בין הגורמים שבשליטתנו נציין: קרינה ממכשירי טלפון וממחשבים ניידים, לבישת מכנסיים צמודים המקרבים את האשכים לבטן וגורמים לעליית הטמפרטורה באשכים, עישון סיגריות ועישון סמים.

עדיין לא ברור אם הפגיעה בתאי הזרע בגלל גורמים אלה היא הפיכה. עם זאת, מכיוון שתאי זרע חדשים נוצרים מדי יום, ייתכן שייצור הזרע יחזור לתיקונו כאשר מכנסי הג'ינס ההדוקים יוחלפו במכנסיים פחות הדוקים וגברים יימנעו מעישון ומצריכת סמים. בין הגורמים העלולים לפגוע בפוריות ושאינם בשליטתנו הישירה נציין: זיהום אוויר הנגרם מפליטת גזים מכלי רכב ומהתעשייה, קרינה מסוגים שונים (קרינת גלי רדיו, קרינת UV וקרינה אלקטרומגנטית), שאריות של חומרי ריסוס במזון וכן חומרי שימור וצבעי מאכל המוספים למזונות המעובדים.

כל אשך בנוי ממספר גדול של צינוריות דקיקות, ארוכות מאוד ומפותלות, שבהן נוצרים תאי הזרע. בין הצינוריות מצויים תאים המייצרים את ההורמונים הזכריים. הצינוריות מתלכדות בקצותיהן לצינור אחד היוצא מהאשך. הקטע הראשון שלו, שנמצא מחוץ לאשך, נקרא **יותרת האשך**. בחלק זה, שהוא ארוך (כ-5 מטר!) ומפותל מאוד, נאגרים תאי הזרע שנוצרו בצינוריות האשך. המשכו הוא צינור שנקרא **צינור מוביל זרע** היוצא משק האשכים. שני הצינורות מובילי הזרע משני האשכים מתלכדים לצינור מוצא משותף - **שופכה** - המגיע אל פתח ה**פיין**. דרך פתח זה יוצאים בעת המגע המיני תאי הזרע כשהם נמצאים בתוך נוזל הזרע. לשופכה מתנקזת גם מערכת השתן, אך הזרע והשתן אינם יוצאים באותו הזמן, היות ובמהלך הפליטה מופעל שריר הסוגר את צוואר שלפוחית השתן ומונע הפרשת שתן. הפין נמצא מחוץ לחלל הגוף ומונח מעל לאשכים. הוא מורכב מרקמות ספוגיות עשירות בכלי דם ובקצהו ישנה התרחבות המכונה עטרה, העשירה בתאים רגישים למגע. אזור זה עטוף בקפל עור המכונה עורלה, שאותו מסירים בטקס ברית-המילה.

שאלה ג-1



ערכו השוואה (רצוי בטבלה) בין מערכות הרבייה של הגבר ושל האישה. התייחסו לחלקי המערכות ולתפקודיהם.

2. מילדות לבגרות

כל תינוק ותינוקת נולדים עם מערכת שלמה של איברי רבייה הנקראים **סימני זוויג (מין) ראשוניים**: בתינוק - אשכים ופיין ובתינוקת - שחלות, רחם ונרתיק. יחד עם זאת בעת הלידה אין בגופם של התינוק והתינוקת תאי רבייה בשלים להפריה. בשחלות התינוקת (ולאחר מכן אצל הילדה) נמצאים זקיקים ראשוניים ובהם תאי ביצה שאינם מוכנים להפריה, ובאשכי התינוק (ולאחר מכן אצל הילד) יש תאים שיתפתחו בעתיד לתאי זרע. שינויים דרמטיים מתחוללים בבנים ובבנות עם הגיעם לגיל ההתבגרות. עדיין לא ידוע מהו האירוע הראשון המעורר את המעבר מילדות לבגרות.

1.2.1 השינויים הגופניים בגיל ההתבגרות

הסימנים הראשונים לגיל ההתבגרות מתבטאים בהופעתם של שינויים גופניים הנקראים **סימני זוויג (מין) משניים**. אלה הם שינויים בתווי גוף ובסימנים חיצוניים אחרים האופייניים לזוויג.

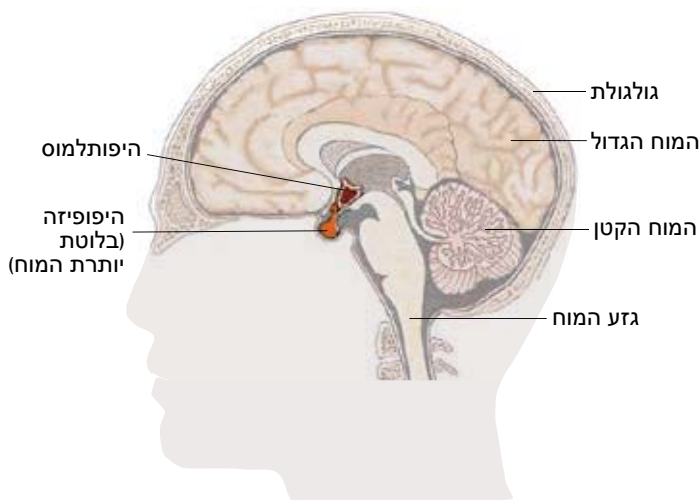
סימני הזוויג המשניים אצל ה**נערים** הם: שינוי הקול לנמוך יותר (כתוצאה מהתארכות מיתרי הקול), התארכות עצמות הגוף והשרירים, האצת קצב הגדילה וצמיחת שיער על הפנים, בבתי השחי ובמפשעה (אצל חלק מהנערים גם על החזה, הזרועות והרגליים).

סימני הזוויג המשניים העיקריים אצל ה**נערות** הם: התפתחות השדיים וצמיחת שיער בבתי השחי ובמפשעה. בדרך כלל בחודשים הראשונים של תחילת ההתבגרות מואץ קצב גדילתן של הנערות, אך לאחר הופעת הווסת הראשונה נעשה קצב הגידול איטי יותר עד שהוא נעצר. בדרך כלל מתפתחת אצל הנערות רקמת שומן מתחת לעור באזורים שונים בגוף, אצל כל אחת במידה שונה.

התפתחות סימני הזוויג המשניים היא עדות לתהליך פנימי המתבטא בהפרשת הורמוני זוויג ובייצור של תאי רבייה בשלים המסוגלים להשתתף בהפריה. כל התהליכים הפנימיים והשינויים החיצוניים הנלווים אליהם מכונים **התבגרות מינית**.

חשוב להדגיש כי ההתבגרות המינית והתפתחות סימני זוויג משניים אמנם משותפת לרוב בני האדם, אך יש הבדלים ניכרים בין אדם לאדם. הגיל שבו מופיעים הסימנים שונה מאדם לאדם, כמו כן לא כל סימני ההתבגרות מתבטאים באותה צורה או מתרחשים באותו קצב אצל כולם.

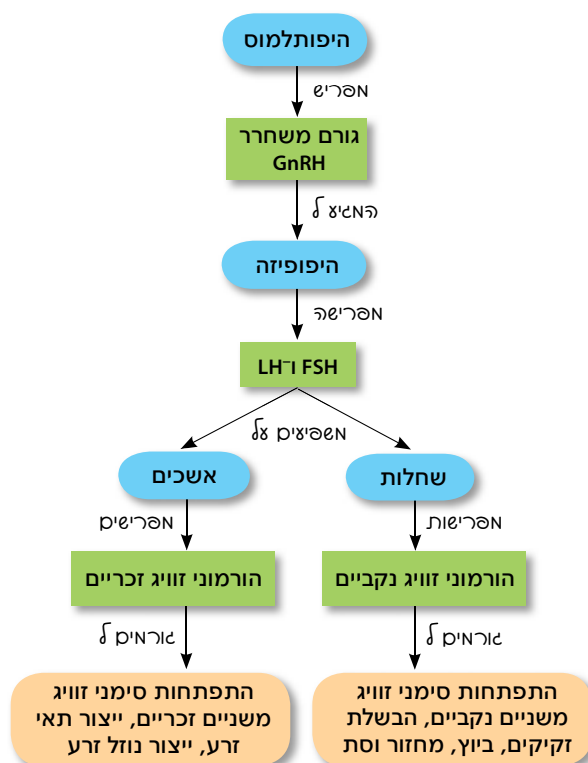
התפתחות סימני הזוויג המשניים היא, כאמור, ביטוי חיצוני לשינויים פנימיים המתבטאים בעיקרו של דבר בהפרשה מוגברת של הורמונים במוח, **מההיפותלמוס** ו**מההיפופיזה** (בלוטת יותרת המוח) (איור ג-3). ההיפותלמוס מקשר בין המוח לבין בלוטת יותרת המוח, שיש לה תפקיד מרכזי בויסות ובבקרה של שחרור הורמונים במערכת ההפרשה הפנימית.



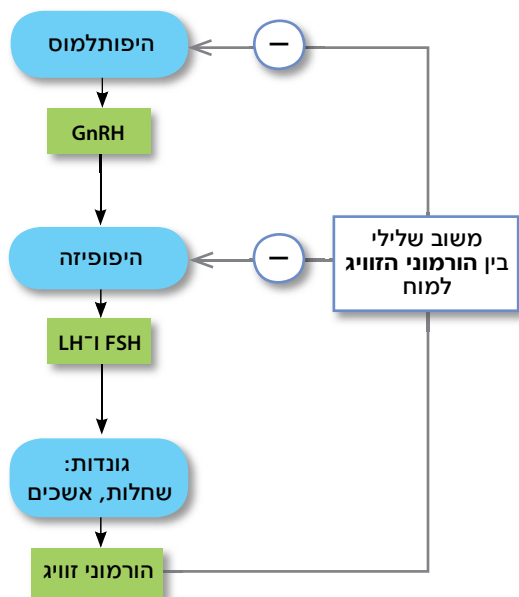
איור ג-3: מיקום ההיפותלמוס וההיפופיזה במוח

בגיל ההתבגרות מתחיל ההיפותלמוס להפריש הורמון משחרר הנקרא GnRH (קיצור מאנגלית: Gonadotropin Releasing Hormone) שמשמעו: הורמון משחרר גונדוטרופינים. הגונדוטרופינים הם הורמונים המשפיעים על הגונדות - השחלות והאשכים (איור ג-4). ה-GnRH מגיע ישירות להיפופיזה ובהשפעתו מופרשים מהחלק הקדמי של ההיפופיזה שני **הורמונים גונדוטרופינים**: הורמון מעורר זקיק - **FSH** (קיצור מאנגלית: Follicle Stimulating Hormone) והורמון הביוץ - **LH** (קיצור מאנגלית: Luteinizing Hormone) הקרוי גם הורמון ההצהבה. בתגובה לשני ההורמונים מפרישים איברי הרבייה הורמוני זוויג: באישה השחלות מפרישות בעיקר **אֶסְטְרוֹגֶן ופרוגסטרון** ובגבר האשכים מפרישים בעיקר **טֶסְטוֹסְטֶרוֹן**.

הורמוני הזוויג המופרשים לדם משפיעים על האשכים והשחלות, שבתאיהם יש קולטנים להורמונים אלה. בעקבות הפעילות ההורמונלית מתחילים להיווצר אצל הנערים תאי זרע כשירים להפריה, ואצל הנערות



איור ג-4: הגורמים המשפיעים על ההתבגרות המינית



איור ג-5: משב שילי בין המוח ואיברי הרבייה

שימו לב! המשב השילי המתואר באיור זהה בנערים ובנערות.

מתחילים להבשיל זקיקים ובהם תאי ביצה לקראת הופעת **מחזור הווסת** (המחזור החודשי).

הורמוני הזויג המופרשים לדם משפיעים גם על תאי ההיפופיזיס וההיפופיזיס שגם בתאיהם יש קולטנים להורמונים אלה.

רוב הזמן הורמוני הזויג מפעילים על המוח **משב שילי** (איור ג-5): כאשר רמתם בדם עולה, קטנה הפרשת ההורמונים מההיפופיזיס ומההיפופיזיס וכתוצאה מכך יורדת רמת הורמוני הזויג בדם. מכאן שפעילות המוח, ובכלל זה הפרשת ה-GnRH וההורמונים LH ו-FSH, מושפעת מרמת הורמוני הזויג שבדם.

קשר לנושא

הביולוגיה של האדם:
השפעת הורמונים על איברי מטרה.
התא - מבנה ופעילות:
קולטנים בקרום התא.

אותם הורמונים מופרשים מההיפופיזיס הן אצל האישה והן אצל הגבר. למרות שההורמונים זהים הם גורמים לתהליכים שונים לחלוטין אצל כל אחד משני הזויגים! ההסבר לכך טמון בעובדה שהשפעת ההורמון תלויה לא רק בהורמון עצמו אלא גם באיבר המטרה שלו. רקמות האשך מגיבות להורמונים LH ו-FSH בצורה שונה מהתגובה של רקמות השחלה להורמונים אלה.

אצל הנערים, לאחר שהחלה הפעילות בהיפופיזיס, היא נמשכת באופן רצוף וקבוע במשך כל חייהם ומבוקרת באמצעות משב שילי. אצל הנערות, הפעילות בהיפופיזיס ובעקבותיה פעילות ההיפופיזיס מתרחשות בצורה מחזורית ומכוונות את מהלך **מחזור הווסת**. פעילויות אלה מבוקרות באמצעות משב שילי ומשב חיובי.

מעניין לדעת

למרות שההורמונים LH ו-FSH מופרשים ופועלים הן בגבר והן באישה, השמות שלהם קשורים להשפעותיהם על מערכת הרבייה באישה. LH הוא הורמון הגורם ליצירת הגופיף הצהוב ו-FSH הוא הורמון המעורר את התפתחות הזקיק.

שאלה ג-2

א. ההיפופיזיס, האשכים והשחלות הם בלוטות מפרישות הורמונים וגם איבר מטרה. הסבירו.

ב. אם נעקוב אחר רמת הטסטוסטרון בדם של גברים נגלה שרמתו יציבה מגיל ההתבגרות לאורך השנים. כיצד ניתן להסביר זאת לאור הכתוב לעיל?

2.2ג תאי הזרע: ייצור, התפתחות ומבנה

ייצור תאי הזרע

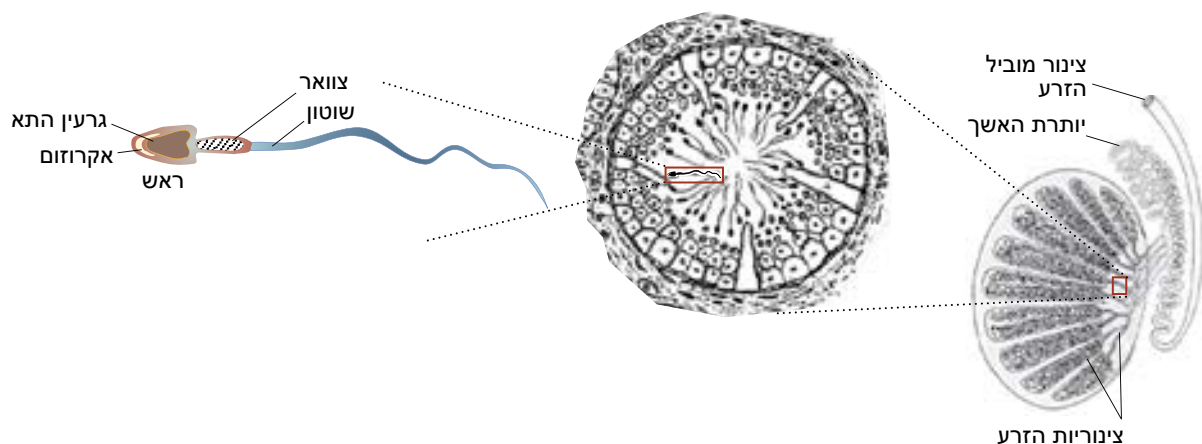
תא הזרע הוא הגמטה הזכרית. תאי הזרע מתחילים להיווצר באשכיו של הילד רק בגיל ההתבגרות. יצירת תאי הזרע היא רציפה ולא מחזורית. גבר בוגר בריא מייצר כ־50-70 מיליון תאי זרע מדי יום! הגבר ממשיך לייצר תאי זרע רוב חייו הבוגרים אם כי כמות תאי הזרע ואיכותם יורדות עם השנים.

ייצור תאי הזרע והבשלתם מוסדרים על ידי הורמוני זווּיג המופרשים בגוף מגיל ההתבגרות. כאמור, בתגובה להורמונים FSH ו-LH המופרשים מההיפופיזה, האשכים מתחילים לייצר ולהפריש הורמוני זווּיג זכריים, שהמוכר ביותר מביניהם הוא **טסטוסטרון**. בהשפעת הטסטוסטרון מופיעים אצל הנער סימני הזווּיג המשניים ומתחיל ייצור של **תאי זרע** ונוזל זרע.

ייצור תאי זרע הוא תהליך מורכב מאוד המתרחש ברציפות במשך כל שעות היממה. בדופן צינוריות הזרע באשך מצויים תאים לא ממוינים שעוברים מספר חלוקות מיטוזה רצופות. התאים שמתקבלים הם תאי זרע ראשוניים שעוברים חלוקת **מיזוג** שבסופה מתקבלים תאים הפלואידיים המתפתחים בהדרגה לתאי זרע בשלים (איור ג-6).

במהלך החלוקות נדחקים התאים לכיוון חלל צינורית הזרע עד שהם ניתקים מדופן הצינורית. התאים הפלואידיים נודדים לאורך צינורית הזרע ועוברים **ליתרת האשך**. במעבר של התאים הפלואידיים לאורך **ליתרת האשך** הם עוברים תהליכי הבשלה. בסופו של התהליך מתקבלים **תאי זרע** בשלים בעלי כושר תנועה עצמאית. תא דיפלואידי שמתחיל את התהליך מתפתח לתא זרע (הפלואידי) בשל בתוך כ־70 ימים.

תאי הזרע הבשלים מאוכסנים בליתרת האשך עד פליטתם מהגוף דרך פתח המין. תאי הזרע יוצאים מהגוף כשהם בתוך נוזל שנוצר ב**בלוטות עזר**: בלוטת **הערמונית**, שתי **שלופוחיות נוזל הזרע** ושתי **בלוטות קאופר**. הפרשותיהן של בלוטות העזר מתנקזות לתוך **צינור מוביל זרע**. ככל הנראה תפקידו של הנוזל קשורים בהבשלת תאי הזרע, בשטיפתם



איור ג-6: ייצור תאי זרע

מימין לשמאל: חתך אורך באשך, חתך רוחב בצינורית זרע המראה שלבים שונים בהיווצרות תאי זרע, מבנה תא הזרע (אורכו כ־60 מיקרומטר)

ממערכת הרבייה של הגבר, בסיכה וביצירת תנאים מתאימים לנוכחותם במערכת הרבייה של האישה.

תאי זרע שאינם נפלטים מגוף הגבר מתפוררים ונספגים בגוף, ותאים חדשים תופסים את מקומם.

מבנה תא הזרע

לתא הזרע יש צורה אופיינית הכוללת ראש וזנב (איור ג-6). מבנה תא הזרע תואם את תפקודו ומאפשר לו להגיע אל תא הביצה שבגוף האישה ולהפירות אותו. את רוב הנפח של ראש תא הזרע ממלא גרעין התא שבו אצור החומר התורשתי. בקדמת הראש יש שלפוחית הנקראת **אקרוזום** ובה מרוכזים אנזימים הפעילים בשלב ההפריה. הזנב מניע את תא הזרע בסביבה הלחה בתוך גוף האישה. ב"צוואר" - האזור שבין הראש לבין הזנב של תא הזרע - מרוכזים מיטוכונדריה רבים שבהם מופקת האנרגיה המשמשת לתנועות הנמרצות של הזנב. מהירות התנועה שלהם מגיעה ל-1-4 מילימטר בשנייה.

רעיון מרכזי

התאמת מבנה לתפקוד:

מבנה תא הזרע מותאם לתנועה מהירה ולהפריה.

מעניין לדעת



קרי לילה

נערים רבים בראשית גיל ההתבגרות חווים אירוע שעלול להיות מבין ולא נעים, אף כי מדובר בתופעה רגילה לגמרי. בתקופה הראשונה של ייצור הזרע, כאשר מתחילה הפרשת נוזלים מהבלוטות, קורה שעקב הצטברות יתר של תאי זרע ביותרת האשך, הם נפלטים בעת שהנער ישן והוא אף אינו מודע לכך. יש נערים החוששים שהם מרטיבים בשנתם, ולאחרים נדמה כי העובדה שהם פולטים זרע בשנתם מעידה כי "משהו לא בסדר אצלם". אולם תופעה זו רגילה לחלוטין וחולפת עם הזמן, ולכן ואינה סיבה לדאגה.

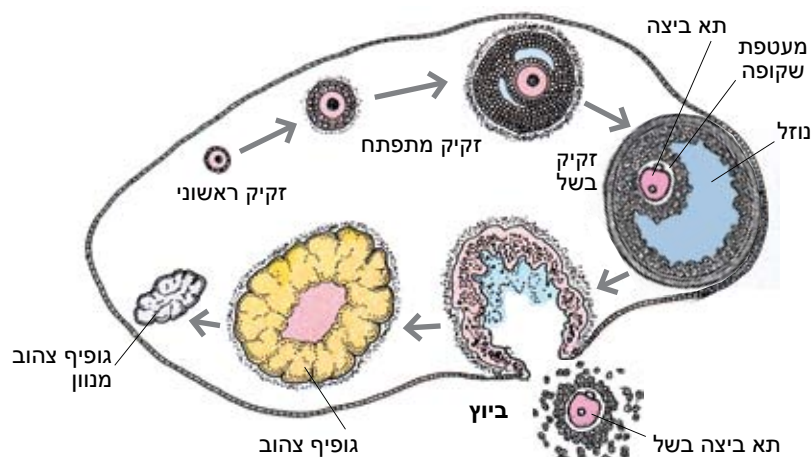
3.2 ג תא הביצה: התפתחות ומבנה

תא ביצה הוא הגמטה הנקבית. יש המכנים את תא הביצה באדם - **ביצית**. בספר זה נשתמש במונח תא ביצה.

כאמור כבר בעת הלידה נמצאים בשחלה של התינוקת מאות אלפים של תאי ביצה לא בשלים. סביב כל תא ביצה לא בשל יש שכבת תאים. מבנה זה של תא ביצה עם התאים שסביבו נקרא **זקיק ראשוני**. החל מתקופת ההתבגרות המינית ובהשפעת ההורמונים המופרשים מההיפופיז (GnRH) ומההיפופיזה (FSH ו-LH) מתפתחים כמה מהזקיקים, אך לרוב, מידי חודש רק בזקיק אחד מגיע תהליך ההבשלה לסיומו. שאר הזקיקים שהתחילו להבשיל מתנוונים.

תאי הביצה שבזקיקים המתפתחים הולכים וגדלים, ומצטבר בהם מלאי קטן של חומרי מזון - **חלמון**. סביב כל תא ביצה נוצרת מעטפת שאינה מכילה תאים המכונה **המעטפת השקופה**. התאים שסביב הזקיק מתחלקים ונוצרות מספר שכבות של תאים ובתוך הזקיק המתפתח נוצר חלל המתמלא בנוזל. בשלב זה הזקיק נקרא **זקיק בשל**. לחץ הנוזלים שבזקיק גדל עד שהזקיק נבקע. הנוזל שבתוכו נשפך לחלל הבטן ותא הביצה הבשל (עם

שכבת התאים סביבו) נפלט מהשחלה. זהו שלב ה**ביוץ**. מתאי הזקיק שנותרו בשחלה מתפתח מבנה הנקרא גופיף צהוב, שתפקידו יוסבר בהמשך. באיור ג-7 מוצגים שלבים בהבשלת זקיק בשחלה וביוץ. מעניין לציין שיש נשים שמזהות את שלב הביוץ באמצעות כאב חד וקצר או כתחושת כבדות בבטן התחתונה.



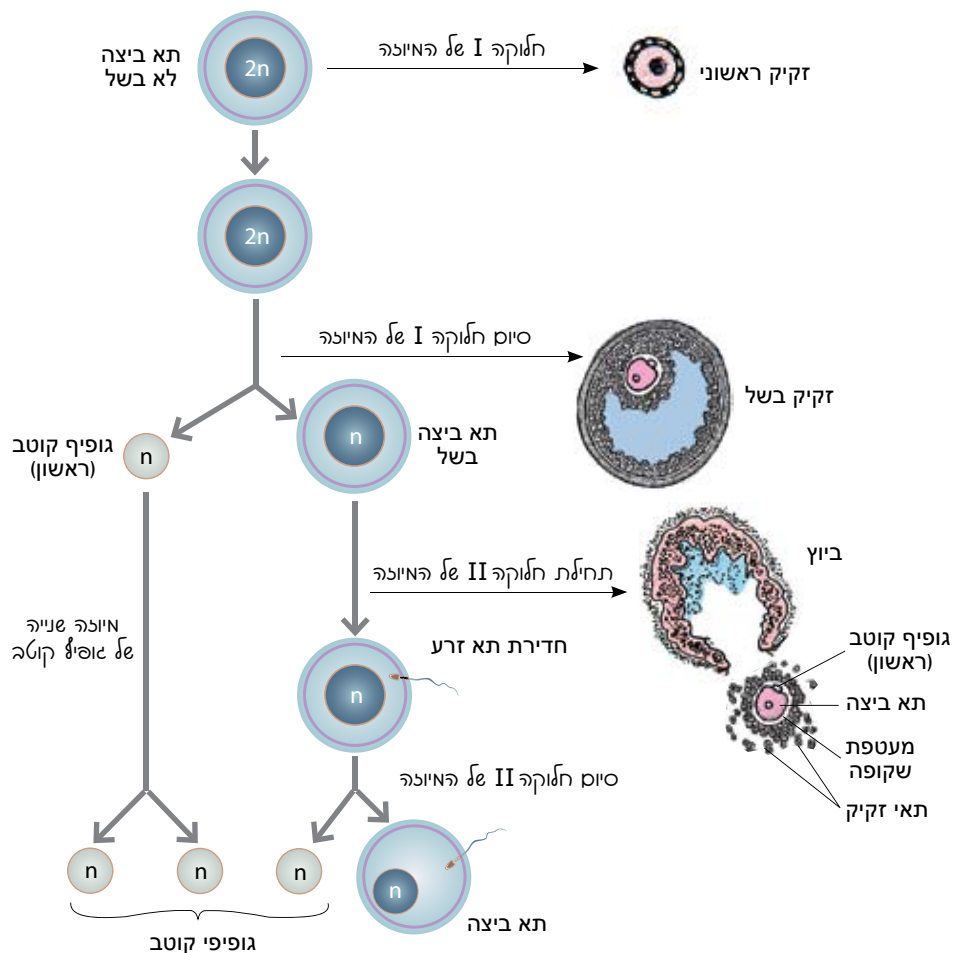
איור ג-7: הבשלה של זקיק בשחלה וביוץ

שימו לב! החצים שבתרשים אינם מציינים תנועה, אלא את סדר האירועים.

איור ג-8 מציג את השלבים בהתפתחות תא הביצה במקביל להתפתחות הזקיק. בעת הלידה תאי הביצה שבזקיקים עדיין אינם בשלים. הם נמצאים בשלב החלוקה הראשונה של ה**מיידה**, לאחר סידור הכרומוזומים במישור המשווה (ראו איור א-4 בעמוד 16). החל מגיל ההתבגרות, מידי חודש, בתא הביצה שבאחד הזקיקים המבשילים מתחדש תהליך המיידה שהחל עוד בתקופה העוברית. גם הפעם התהליך אינו מגיע לסופו: מסתיימת רק החלוקה הראשונה של המיידה.

בסיום החלוקה הראשונה של המיידה מתקבלים בתא הביצה שני גרעינים שבכל אחד מחצית ממספר הכרומוזומים שהיו בתא (n כרומוזומים). התא ובו שני הגרעינים נמצא בזקיק הבשל ואינו מתחלק לשני תאים. אחד משני הגרעינים נשאר בתא, והתא הזה יהיה תא הביצה שיחרוג מהשחלה בעת ה**ביוץ**. הגרעין השני נקרא גופיף קוטב, והוא מוצא אל מחוץ לתא הביצה, אך נשאר צמוד אליו מתחת למעטפת השקופה (איור ג-8).

לפני שתא הביצה חורג מהזקיק שבשחלה, מתחילה בתא הביצה החלוקה השנייה של המיידה, אך גם שלב זה אינו מגיע לסיומו. החלוקה השנייה של המיידה מגיעה לסיומה רק כאשר תא הביצה נמצא בצינור מוביל תאי הביצה (בחצוצרה) ובתנאי שתא זרע חודר לתוכו. גם בחלוקה השנייה של המיידה נוצר גופיף קוטב, ועל פי רוב גם גופיף הקוטב הראשון עובר את השלב השני של חלוקת המיידה, כתוצאה מכך נוצרים שלושה גופיפי קוטב קטנים הצמודים לתא הביצה, אך מתנוונים ומתים.



איור ג-8: שלבים בהתפתחות תא הביצה בזקיק מימין: הבשלת הזקיק בשחלה, משמאל: שלבי המיזוג בתא הביצה

שימו לב! יש כמה הבדלים בין יצירת תא רבייה בשל בנשים לבין יצירת תא רבייה בשל בגברים:

- התינוקת נולדת עם תאי ביצה לא בשלים. התינוק, לעומת זאת, נולד עם תאים שבעתיד יתחלקו ויתמיינו לתאי זרע.
- בנשים תהליך המיזוג של תא הביצה מתחיל בשלב העוברי ומסתיים רק עם ההפריה (שיכולה להתרחש גם 40 שנה מאוחר יותר). לעומת זאת בגברים תא זרע מבשיל תוך כ־70 ימים.
- בנשים קיימת מחזוריות: בכל חודש רק כמה תאי ביצה מתחילים את תהליך ההבשלה, ורק אחד מהם מגיע לכדי הבשלה. בגברים יצירת תאי הזרע היא תהליך רציף המתחיל בגיל ההתבגרות ונמשך עד זקנה.
- בנשים במקביל לתהליך ההבשלה של כל תא ביצה יחיד נוצרים גם גופיפי קוטב שמתנוונים. לעומת זאת בגברים, מכל תא זרע ראשוני שעובר מיזוג מתקבלים ארבעה תאי זרע.

3. מחזור הווסת

בעקבות השינויים ההורמונליים החלים בגיל ההתבגרות מתחילים מידי חודש להתרחש בגופה של הנערה תהליכים בשחלה וברחם המכוונים לקליטת עובר. מכלול תהליכים אלה מכונה **מחזור הווסת** (המחזור החודשי). בתהליכים אלו, שרובם נסתרים מעינינו, משתתפים המוח, השחלה והרחם. הביטוי החיצוני היחיד לקיומם של התהליכים הללו הוא הופעתו הראשונה של דימום הווסת. תהליכי מחזור הווסת יחזרו מעתה מדי חודש בחודשו במשך שנים, בערך עד גיל 50, ומכאן הכינוי "המחזור החודשי".

מחזור הווסת כולל שני תהליכים מרכזיים:

- הבשלה של תא ביצה בשחלה וחריגתו ממנה - **ביוץ**.
- **הכנה של הרחם לקליטת עובר**.

מחזור הווסת מבוקר באמצעות פעילות הורמונלית מחזורית המתרחשת בהיפותלמוס, בהיפופיזה בשחלה וברחם.

באזור ג-9 מוצגים השינויים המתרחשים בשחלה וברחם במהלך מחזור שאורכו 28 יום, וכן רמת ההורמונים בדם בתקופה זו. התיאור הוא על פי רצף ימי המחזור. עקבו אחרי הגרפים והאיורים תוך כדי קריאת התיאור. שימו לב, השלבים מוספרו בטקסט ובאיור.

ימים 1-5

היום שבו מתחיל דימום הווסת הוגדר באופן שרירותי כיום הראשון של המחזור כי זה אירוע שאפשר לזהות בקלות. אך כאמור דימום הווסת הוא רק ביטוי חיצוני של תהליכים פנימיים רבים.

בימים הראשונים של המחזור, בזמן דימום הווסת, חלה עלייה קלה בהפרשת ה-**FSH** וה-**LH** מההיפופיזה (בהשפעת GnRH) (1). בתקופה זו הרמה של הורמוני הזוווג, אסטרוגן ופרוגסטרון (שמקורם בשחלה) נמוכה. הרמות של ההורמונים נשמרות בימים אלו נמוכות יחסית בגלל מנגנוני משוב שלילי המווסתים את הפרשתם (איור ג-5). בהשפעת ה-**FSH** (הורמון מעורר זקיק) וה-**LH**, מתחילים כמה זקיקים ראשוניים באחת השחלות להתפתח (2), אולם רק אחד מהם ממשיך לגדול והשאר מתנוונים ומתים.

ימים 6-14

במהלך הימים הבאים נמשכת התפתחות הזקיק והבשלת תא הביצה. בערך ביום השישי הזקיק מתחיל להפריש **אסטרוגן** ורמתו בדם עולה (3). בהגיעו לרחם האסטרוגן מעודד את תחילת צמיחתה של רירית הרחם (4). הרירית מתעבה מאוד, ונימי דם רבים צומחים לתוכה מדופן הרחם. כך הרחם עובר הכנה לקראת האפשרות שייקלט בתוכו עובר.

הפרשת האסטרוגן מהזקיק המתפתח גוברת. כשהאסטרוגן מגיע לרמת שיא בדם, רמתו הגבוהה מפעילה על ההיפופיזה **משוב חיובי**, הגורם לפרץ קצר של הפרשת ההורמונים LH ו-**FSH** (5), הורמונים המגרים את השחלות. מצב זה מכונה "גאות".

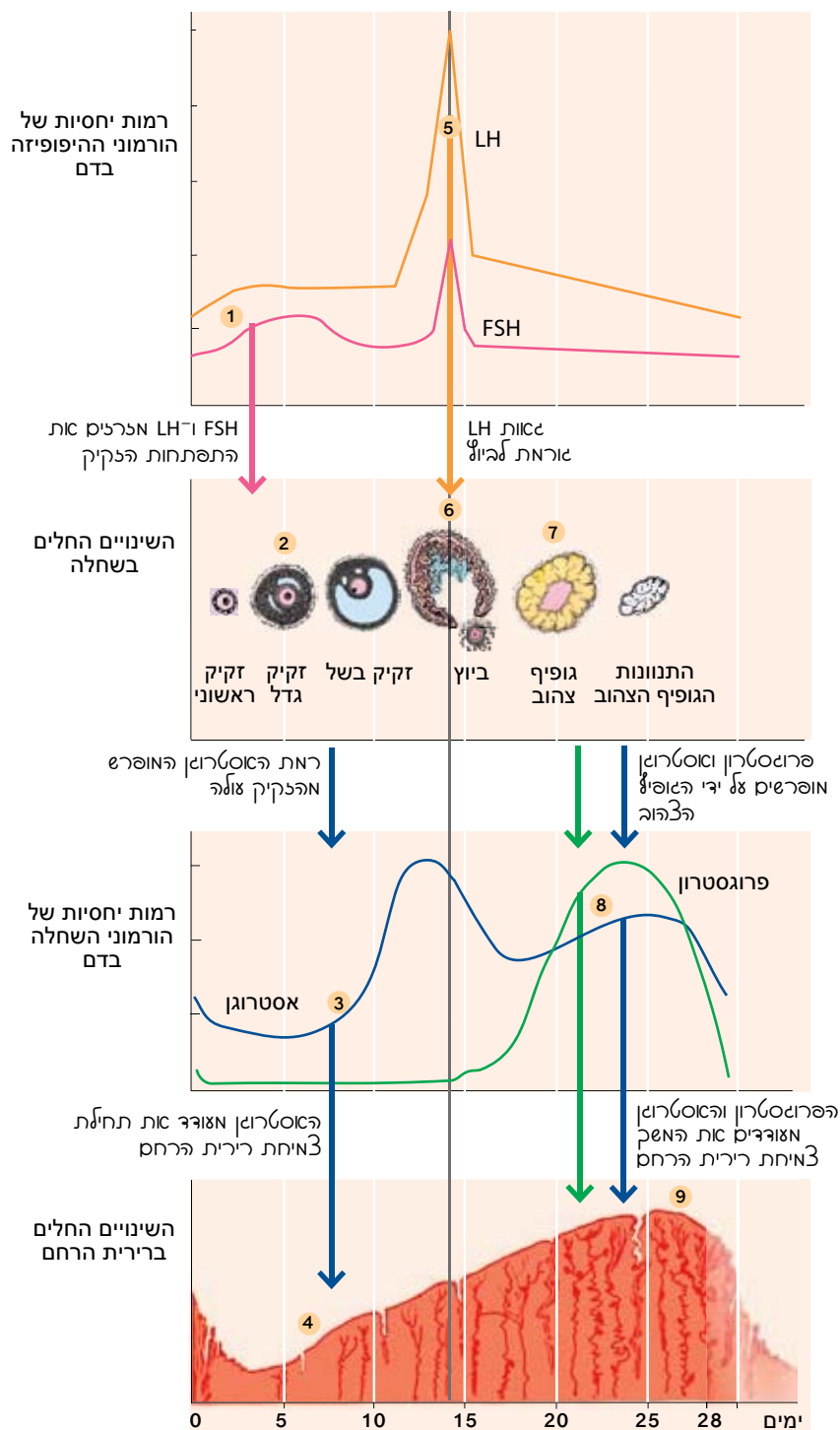
הרמה הגבוהה של ה-**LH** גורמת בערך ביום ה-14, להגברת לחץ הנוזלים בזקיק, ובשילוב עם פעילות של אנזימי פירוק פוקע קרום הזקיק. עם התפקעותו נפלט תא הביצה מהשחלה יחד עם שכבת תאים סביבו. תהליך זה נקרא **ביוץ** (6). תא הביצה מגיע אל צינור מוביל תאי הביצה והוא זמין שם להפריה במשך כ-24 שעות. אם יגיע תא זרע אל תא הביצה ויחדור את הקרום שלו בתוך תקופה זו, תסתיים בתא הביצה החלוקה השנייה של המיזוג (איור ג-8) ותתרחש הפריה.

ימים 14-28

לאחר הביוץ, הזקיק שפקע בעקבות גאות ה-LH נותר ללא תא הביצה (שחרג), אולם הוא ממשיך לתפקד. הוא נשאר בשחלה, הקרע שנוצר בו נסגר והוא מתמלא בחומר שומני צהוב. במצב זה הזקיק שפקע מכונה **גופיף צהוב** (7) (ומכאן גם כינויו של ההורמון LH, המעורר את הביוץ - "הורמון ההצהבה").

הגופיף הצהוב מפריש לדם שני הורמונים: **פרוגסטרון** ואסטרוגן (8). הפרוגסטרון מעודד צמיחה נוספת של רירית הרחם כהכנה לקליטת תא הביצה המופרה. ב־בזמן הוא מגיע עם זרם הדם גם אל ההיפופיזה וההיפותרמוס ומפעיל שם **משוב שלילי**. משוב זה מדכא את הפרשתם של ה-FSH וה-LH מההיפופיזה, וכך נמנעת בימים אלה התפתחותם של זקיקים ראשוניים נוספים עד סוף המחזור.

אולם דיכוי ההפרשה אינו מוחלט: רמה נמוכה מאוד של LH נותרת בדם והיא חיונית להמשך תפקודו של הגופיף הצהוב. אם תא הביצה הנמצא בחצוצרה יופרה על ידי תא זרע ויתפתח היריון, ימשיך הגופיף הצהוב להפריש פרוגסטרון אשר ימנע את דימום הווסת ויאפשר מהלך תקין בשלבים המוקדמים של ההיריון. אם לא תחול הפריה, תא הביצה יתפרק כ־48 עד 72 שעות לאחר הביוץ, והגופיף הצהוב יצטמק, יתנוון ויפסיק בהדרגה להפריש פרוגסטרון. הירידה ברמת הפרוגסטרון בדם תגרום לפירוק ולנשירה של השכבה הרירית (9), שהתפתחה בדופן הרחם כהכנה לקליטת העובר. הרירית הנפלטת מכילה גם את נימי הדם שצמחו לתוכה במהלך המחזור. שרידי הרירית ונימי הדם הם דימום הווסת.



איור ג-9: רמות ההורמונים בדם והשינויים בשחלה וברחם במהלך מחזור הווסת

במקביל להתנוונות הגופיף הצהוב ועוד לפני דימום הווסת, הירידה ברמות הפרוגסטרון והאסטרוגן מסירות את המשוב השלילי שהופעל על המוח ומתחדשת הפרשת ההורמונים LH ו-FSH מההיפופיזה. הפרשה זו מעוררת קבוצה חדשה של זקיקים ראשוניים המתחילים להתפתח לקראת מחזור וסת חדש.

שאלה ג-3

התבוננו באיור ג-9 והציעו דרך למניעת ביוץ על ידי תוספת מלאכותית של הורמונים. הסבירו את הצעתכם.

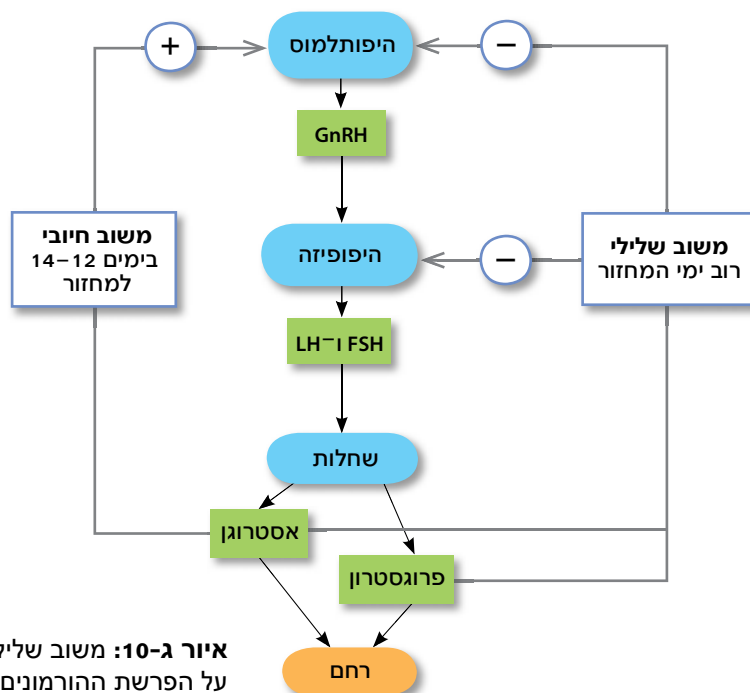
שאלה ג-4

ההיגדים הבאים מתארים אירועים במחזור הווסת.
א. השלימו את המילים החסרות בהיגדים.
ב. סדרו את ההיגדים לפי סדר האירועים במחזור הווסת.

רשימת ההיגדים

- העלייה ברמת ה _____ וה _____ בדם מעכבת את הפרשת ה-LH וה-FSH.
- זמן קצר לפני אמצע המחזור רמת ה _____ בדם עולה וגורמת לעלייה חדה ב _____.
- המופרש מן ההיפותרלמוס מעורר את ההיפופיזה להפריש _____ ו- _____.
- פרוגסטרון ואסטרוגן המופרשים מן ה _____ שומרים על רירית הרחם במשך זמן מסוים.
- _____, המתרחשת באמצע המחזור, גורמת ל _____ ואחר כך להיווצרות הגופיף הצהוב.
- ה-FSH וה-LH מזרזים את _____, את _____, את _____ ואת _____.

באיור ג-10 מתוארת הבקרה על הפרשת ההורמונים באמצעות **מעגלי משוב חיובי ומשוב שלילי** המופעלים על ידי ההורמונים עצמם. חשוב לשים לב למורכבות הוויסות ההורמונלי ובעיקר להשפעות השונות של האסטרוגן.



מעניין לדעת



אורכו של המחזור החודשי

מחזור חודשי נמשך בממוצע כ־28 ימים, אך אצל נערות ונשים רבות יש סטיות בולטות מהממוצע הזה. בתקופה הראשונה של ההתבגרות המחזור בדרך כלל אינו סדיר. בשנתיים שלאחר הופעת הווסת הראשונה יכולים להיות חודשים בלי ביוץ, וכן יכולים להיות מחזורים באורך משתנה, מ־25 ועד 35 ימים - וכל אלה הם בגדר מצבים נורמאליים. בהמשך עלולים להופיע שיבושים במחזור במצבים שונים בעקבות שינויים בתנאי החיים, כמו למשל במהלך השירות הצבאי, אם הוא כרוך במאמץ גופני או רגשי יוצא דופן, או עקב עיסוק אינטנסיבי בספורט, כפי שמקובל אצל ספורטאיות מקצועיות. דיאטות קיצוניות למטרת הרזיה גורמות גם הן לשיבושים של המחזור, עד כדי הפסקתו המוחלטת.

אצל נשים בוגרות יש הבדלים אישיים במידת הסדירות של המחזור, ובעיקר בזמן שהוא נמשך. אצל רוב הנשים הבריאות המחזור סדיר למדי, אך אורכו יכול להשתנות מאוד בתקופות שונות בחיים.

על אף שאורך המחזור יכול להיות שונה אצל נשים שונות או בתקופות שונות, הביוץ יחול 14 יום לפני סיום המחזור. לדוגמה, אם המחזור נמשך 31 ימים יחול הביוץ ביום ה־17.

שאלה ג-5



לפניכם מספר היגדים בנושא מחזור הווסת. העתיקו כל היגד וצינו אם הוא נכון או לא נכון.

בהיגדים שאינם נכונים רשמו משפט מתוקן.

ההיגדים

- ההורמון FSH משפיע על התפתחות זקיק, ותאי הזקיק גורמים להפרשת ההורמון אסטרוגן.
- אסטרוגן גורם לעיתים **לעיכוב** הפרשת הורמונים מההיפופיזה, ולעיתים **להגברת** הפרשת הורמונים מההיפופיזה. מכאן שנכון לומר שאסטרוגן גורם לעיתים למשוב חיובי ולעיתים למשוב שלילי.
- רמת האסטרוגן מווסתת על ידי מנגנון משוב בין השחלה, ההיפופיזה וההיפותלמוס.
- ביוץ פירושו התפתחות אחד מתאי הביצה בתוך השחלה.
- זיהום בחצוצרות של אישה הגורם לסתימתן עלול למנוע היריון כי הורמונים לא יגיעו מהשחלה לרחם.
- סדר האירועים הנכון במחזור החודשי של האישה הוא: הפרשת FSH, גדילת הזקיק, ביוץ.
- הורמון LH מביא לביוץ. לאחר מכן, תאי הזקיק הופכים לגופיף צהוב.
- פרוגסטרון מעכב הפרשת FSH ו־LH וכך מכין את השחלה לקראת הבשלת תא הביצה הבא.
- במידה ולא תתקיים הפריה, יתנוון הגופיף הצהוב ותופסק הפרשת פרוגסטרון.
- אם אין הפריה של תא הביצה, אין היריון, רירית הרחם העשירה בכלי דם מתפרקת והמחזור יתחיל מחדש.

הרחבה



עוד על משוב חיובי

משוב חיובי הוא תופעה נדירה בהשוואה למשובים שליליים, ויש בכך היגיון רב. בעוד שתוצאת פעולתו של משוב שלילי היא שמירה על מצב יציב (הומאוסטאזיס), הרי שתוצאת פעולתו של משוב חיובי היא הגברת התהליך. משוב חיובי קיים באירועים מיוחדים כמו בשלב הביוץ במחזור הווסת, בתהליך הלידה (עמוד 58) ובעת פציעה. כאשר כלי דם נפגע ומתחיל דימום, נצמדות לוחיות דם לאזור הפגוע ומפרישות חומרים המושכים לוחיות נוספות למקום זה. כאשר הקריש שנוצר מפסיק את הדימום, נפסק המשוב החיובי. קל להבין שאלמלא היה נפסק, היה עלול להיגרם נזק עקב יצירת קרישים בלתי מבוקרת. גם בעת ריקון שלפוחית השתן מופעל משוב חיובי שאינו מאפשר ל"התאפק" ולעצור את זרימת השתן לאחר שהתחילה הפעולה. משוב חיובי אינו יכול להימשך עד אין סוף והוא נפסק עם סיומו של האירוע המיוחד: הביוץ, הלידה, הדימום או התרוקנות של שלפוחית השתן.

4. פגישת תאי הרבייה וההפריה

1.41 מסלול תאי הרבייה בדרכם להפריה

דרכם של **תאי הביצה** מהשחלה אל הצינור מוביל **תאי הביצה** שבו מתקיימת ההפריה אינה ארוכה (איור ג-1 עמוד 35). תא ביצה החורג מהשחלה בתהליך הביוץ נכנס לפתח (דמוי המשפך) של צינור מוביל תאי הביצה הקרוב לשחלה שממנה הוא נפלט. תנועת הריסים שבצינור ותנועות גליות של שפת הצינור מכוונות את תא הביצה פנימה אל תוך הצינור.

מעבר תא הביצה מהשחלה אל הצינור המוביל תאי הביצה נמשך דקות ספורות בלבד. תא הביצה נשאר חיוני במשך 24 שעות בלבד מזמן הביוץ, כלומר אם יחדור תא זרע אל תא הביצה בשעות אלה - הוא יופרה. לאחר מכן תא הביצה לא יופרה.

בעת המגע המיני עשוי הגבר לפלוט כ־350 מיליון תאי זרע. **תאי הזרע** המצויים בתוך נוזל הזרע עוברים מגוף הגבר אל הנרתיק בגוף האישה, ומשם דרך הרחם הם מתקדמים במעלה הצינור מוביל תאי הביצה. רק אם יגיעו אליו בעת שנמצא בו תא ביצה תיתכן הפריה. אך בדרכם נתקלים תאי הזרע במכשולים רבים. המכשול הראשון בדרכם הוא החומציות השוררת בנרתיק (pH 3-4 ברוב ימי המחזור). ה-pH של נוזל הזרע הוא בסיסי במקצת (7.2-7.6), וככל הנראה בסיסיות זו מגנה במידה מסוימת על חלק מתאי הזרע בעוברים דרך הנרתיק החומצי.

בהמשך הנרתיק נמצא צוואר הרחם, שמתאיו מופרש ריר צמיג. הרכב הריר המופרש וצמיגותו משתנים במהלך מחזור הווסת. סמוך למועד הביוץ הריר שבצוואר הרחם הרבה פחות צמיג (בתגובה לעלייה ברמת האסטרוגנים בדם בתקופה זו).

מהם היתרונות של תנאי הסביבה המיוחדים בנרתיק ובצוואר הרחם במהלך ימי המחזור ?!
הנרתיק הוא אזור הפתוח לסביבה החיצונית, ועל כן הוא חשוף לגורמים זרים (כגון חיידקים). חומציות הנרתיק וצמיגות הריר בצוואר הרחם הם ככל הנראה חלק ממנגנוני ההגנה של הגוף מפני גורמים זרים. אולם מנגנוני הגנה אלה מקשים לא רק על חיידקים אלא גם על תאי הזרע בדרכם אל החצוצרה: מתוך מאות מיליוני תאי זרע המגיעים בפליטה אחת אל הנרתיק, רק מיליונים בודדים מגיעים לרחם, ורק כ-100 יגיעו לחצוצרה שבה נמצא תא הביצה (ועוד כ-100 יגיעו אל החצוצרה בצד שאין בו תא ביצה).

לכאורה התהליך כולו הוא "בזבזני" מאוד: כמות עצומה של תאי זרע מתקדמים במסלול ארוך ועתיר מכשולים, ומכל מאות המיליונים רק כמאה יגיעו לסביבת תא הביצה. מבין ה-100 הללו, רק אחד, אולי, יגיע לכלל הפריית תא הביצה. אולם מספרם העצום של תאי הזרע חיוני לעצם התרחשות התהליך: הוא מגדיל את הסיכויים שלמרות כל המכשולים לפחות אחד מהם יגיע לתא הביצה.

תאי הזרע שאינם משתתפים בהפריה מסולקים מגוף האישה דרך הנרתיק או מפורקים. חשוב לציין שגוף האישה, לצד המכשולים שהוא מציב, גם מסייע לתאי הזרע בדרכם. בזמן המגע המיני מתכווצים שרירים לאורך הרחם ולאורך החצוצרה, והתכווצויות אלה מסייעות לתאי הזרע להתקדם לאורך החצוצרה אל תא הביצה. חומר כימי המופרש מתאי הזקיק גורם למשיכת תאי הזרע אליו. על פי רוב נשמרת החיוניות של תאי הזרע ויכולתם להפרות תא ביצה במשך כ-4 ימים.

שאלה ג-6



- א. מה הקשר בין כמות המיטוכונדריה ומיקומם בתאי הזרע לבין מהירות התנועה של תאי הזרע בדרכם אל תא הביצה?
- ב. מה יכול להיות הקשר בין התנאים במסלול תאי הזרע לבין עקרון הברירה הטבעית? הסבירו.

תאי זרע המגיעים לצינור מוביל תאי הביצה עדיין אינם מסוגלים להפרות את תא הביצה. לשם כך עליהם לעבור שלב אחרון בהבשלתם, שלב הנקרא **הכשרה** ומתקיים בגוף האישה. עדיין לא ידועים כל הפרטים של שלב זה, אך נמצא שבמהלך זה משתנים פני השטח של תא הזרע, עולה רמת חילוף החומרים שבו וכן מוגברת יכולת התנועה של זנב התא. רק לאחר שינויים אלה, הנמשכים בין 6 ל-8 שעות, תא הזרע יכול להפרות את תא הביצה.

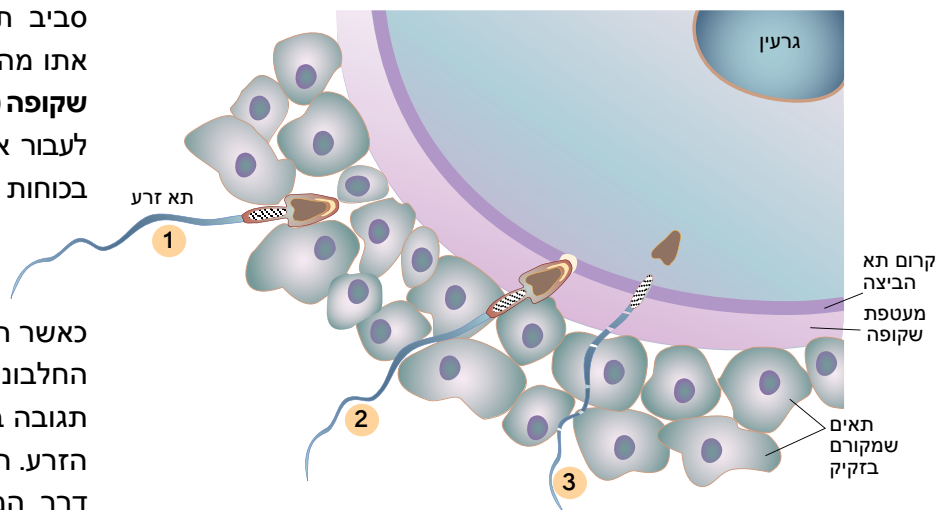
2.41 ההפריה - התלכדות תאי הרבייה

המהות העיקרית של תהליך ה**הפריה** היא מיזוג החומר התורשתי שבתא הזרע עם החומר התורשתי שבתא הביצה ויצירת תא דיפלואידי - **זיגוטה**. תהליך זה משותף לכל מיני האורגניזמים המתרבים ברבייה זוויגית.

כאמור מבין כ-100 תאי הזרע השורדים את הדרך עד לצינור מוביל תאי הביצה שבה נמצא תא הביצה, רק אחד (אם בכלל) ישתתף בתהליך ההפריה! בדרך אל המטרה - הפריית תא הביצה ה"ממתין" - מצפים לתא הזרע עוד כמה מכשולים (איור ג-11).



סביב תא הביצה יש תאים שחרגו יחד אתו מהזקיק וכמו כן הוא עטוף **במעטפת שקופה** (שאינה עשויה מתאים). תא הזרע חייב לעבור את תאי הזקיק (מס. 1.0 באיור) ולהגיע בכוחות עצמו אל המעטפת השקופה.



איור ג-11: תא זרע מפרה תא ביצה (המספרים מייצגים שלבים בתהליך)

כאשר תא הזרע מגיע, הוא נקשר אל אחד החלבונים שבמעטפת השקופה ונוצרת תגובה בין החלבון ל**אקרוזום** שבראש תא הזרע. התגובה הזו מאפשרת לזרע לחדור דרך המעטפת השקופה (מס. 2 באיור). הזיהוי של תא הזרע כשייך לאותו מין ביולוגי (species) שאליו שייך תא הביצה

נעשה במקום המגע בין תא הזרע לתא הביצה. ב־בזמן לופתות שלוחות היוצאות מתא הביצה את תא הזרע ומושכות אותו פנימה. לחדירה פנימה תורמות גם תנועות נמרצות של זנב תא הזרע. תא הזרע חודר לתא הביצה (מס. 3 באיור). הזנב והצוואר של תא הזרע מתפרקים ומתמוססים.

בעקבות חדירת תא הזרע חלים שינויים בקרום תא הביצה והן במעטפת השקופה, כך שתאי זרע נוספים אינם יכולים לחדור לתא הביצה. האיחוי עם תא הזרע גורם לסיום החלוקה השנייה של **המיזוגה** בתא הביצה. נוצר גופיף קוטב (שני) המוצא אל מחוץ לתא הביצה. תהליך ההפריה מסתיים עם התלכדות גרעין תא הזרע עם גרעין תא הביצה.

שאלה ג-7

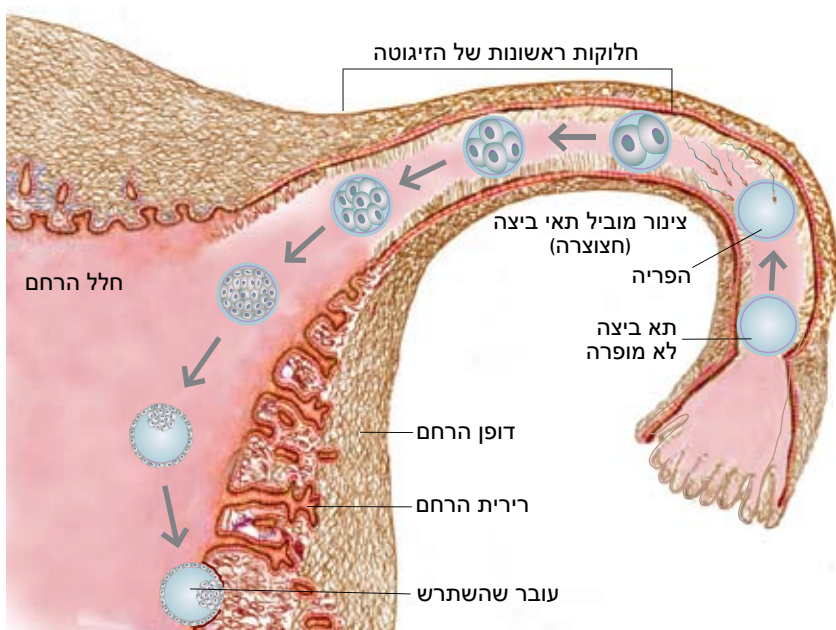


מה היה קורה אילו שני תאי זרע היו חודרים לתוך תא הביצה?

5. מזיגוטה ליילוד

תא הביצה המופרה הוא עתה **זיגוטה** - תא **דיפלואידי** (2n) שהגרעין שלו מכיל n כרומוזומים של האב ו-n כרומוזומים של האם. הזיגוטה היא למעשה תחילתו של אדם חדש: **עובר** שהמידע התורשתי שלו הוא שילוב של המידע התורשתי של שני הוריו. קיימים הבדלים בפרטי תהליך ההפריה וההתפתחות העוברית במינים שונים של בעלי חיים רב־תאיים. אולם המשותף לכולם הוא שבמהלך ההתפתחות העוברית מתרחש תהליך מופלא: מתא אחד, הזיגוטה, הולך ונרקם אורגניזם שלם, בעל מגוון תאים, רקמות ואיברים שונים!

ההתפתחות העוברית מתחילה לאחר ההפריה עם חלוקת ה**מיטוזה** של הזיגוטה (איור ג-12). כל אחד משני תאי הבת המתקבלים מחלוקה זו מתחלקים אף הם במיטוזה, וכך עולה מספר התאים בעובר המתפתח ל-4, ל-8, ל-16, ל-32 תאים וכך הלאה עד שמתקבל



איור ג-12: הזיגוטה מתפתחת לעובר, נודדת לרחם ונקלטת בו
שימו לב! במציאות הזיגוטה קטנה מאוד יחסית לחצוצרה.

גוש של תאים. בתחילה אין העובר גדל בממדיו; גודלו של כל תא־בת הוא מחצית מגודלו של התא שממנו הוא נוצר, וגודלו של גוש התאים הוא כגודל הזיגוטה (תא הביצה המופרה). חלוקות תאים אלה הן מהירות בהשוואה לקצב החלוקה של תאים בשלבי חיים אחרים. חלוקות אלה מתאפשרות בשל החומרים שהצטברו בתא הביצה בעת הבשלתו.

בהמשך מואט קצב החלוקה. ארגון התאים בעובר משתנה ונוצר מבנה של שכבת תאים צפופה המקיפה חלל מלא בתמיסת מלחים וחלבונים. התפתחות ראשונית זו, שמראה על התחלה של התמיינות, חלה תוך כדי תנועה של העובר מצינור מוביל תאי הביצה, שבו התרחשה ההפריה, לכיוון הרחם: הנוזל

שבצינור מוביל תאי הביצה, יחד עם העובר שבו, נדחף לכיוון הרחם על ידי התכווצויות השרירים שבדופן הצינור וכן על ידי תנועת הריסים המרפדים את דופן הצינור. כ־4 ימים לאחר ההפריה מגיע העובר אל הרחם.

ביומיים הראשונים לאחר הגעת העובר לרחם הוא מרחף בחלל הרחם ורק ביום השישי או השביעי לאחר ההפריה מתרחש תהליך **ההשרשה** ברחם, שבמהלכו נקשרות שלוחות מחלקו החיצוני של העובר לרירית הרחם שהוכנה לכך מבעוד מועד בהשפעתם של הורמונים. עם קליטת העובר ברירית הרחם מתחיל **ההיריון**.

1.5ג התפתחות העובר

היווצרות השליה ותפקודיה

לאחר שהעובר הזעיר משתרש בשכבה הרירית המעובה בדופן הרחם, מתפתחים שני **שקי עובר** קרומיים: הפנימי - קרום **השפיר** (**אמניון**) ובתוכו **נוזל השפיר**, והחיצוני - קרום **הכוריון**. קרומי העובר ונוזל השפיר יוצרים סביבה מימית, יציבה ומוגנת לעובר (איור ג-13).

בשבוע הראשון להיריון העובר ניזון באמצעות ספיגה (בדיפוזיה) של חומרים המופרשים מתאי רירית הרחם. לאחר מכן מתפתחת מערכת מיוחדת להזנת העובר, לחילוף גזים ולסילוק פסולת הנקראת **שליה**. השליה היא איבר ייחודי לנקבות הרות ממחלקת היונקים. איבר זה משותף לאם ולעובר: מצד האם משתתפת ביצירת השליה הרקמה הרירית שבדופן הפנימית של הרחם, ומצד העובר - קרום הכוריון.

מקרום הכוריון יוצאות בליטות (**סיסים**) עשירות בכלי דם, החודרות לרירית הרחם ונפרשות בה כרשת מסועפת. כלי הדם של האם מגיעים לרירית הרחם וגם הם נפרשים בה ברשת

מסועפת (איור ג-14). כלי הדם של האם פתוחים בקצותיהם ודם האם ממלא את החללים שבין הסיסים ויוצר אגמים זעירים המקיפים מכל עבר את כלי הדם הזעירים של העובר. חשוב לציין שבשליה דם העובר ודם האם אמנם סמוכים מאוד זה לזה, אך אין ביניהם מגע ישיר, שכן מפרידים ביניהם קרומי התאים בדפנות של כלי הדם העובריים.

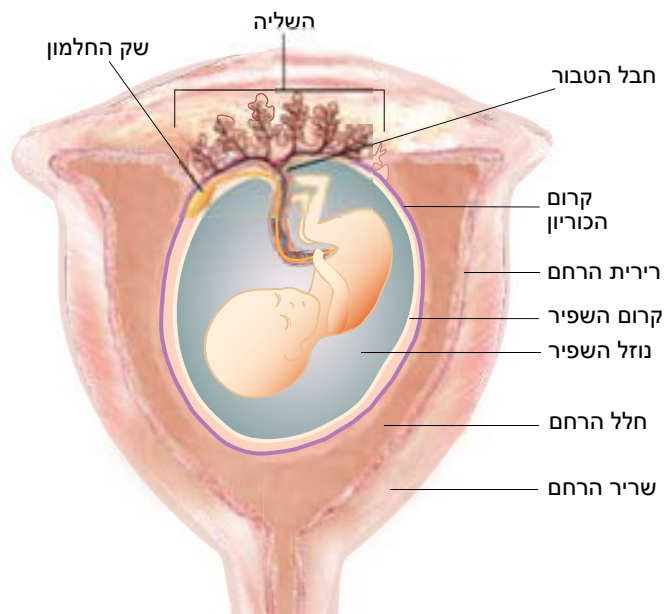
בשליה מתבצעת תנועה דו־סטריט של חומרים בין מערכות הדם של האם ושל העובר: חמצן ומזון עוברים מדם האם אל דם העובר, ופחמן דו־חמצני (תוצר הנשימה התאית) וחומרי פסולת עוברים מהעובר לאם. לקראת סוף ההיריון עוברים מדם האם אל העובר גם **נוגדנים** והם מקנים לו הגנה בראשית חייו.

מעבר החומרים בין שתי מערכות הדם הוא בררני ולא כל החומרים יכולים לעבור. הודות לבררנות זו נמנע בדרך כלל מעבר של גורמי מחלה מהאם לעובר. עם זאת חשוב לדעת שישנם גורמי מחלה מסוכנים העוברים אל העובר דרך השליה, לדוגמה: הנגיף הגורם למחלת האדמת (Rubella). חומרים מזיקים כמו סמים, אלכוהול, תרופות שונות ופסולת הנוצרת מעישון סיגריות עלולים אף הם לעבור דרך השליה מהאם לעובר.

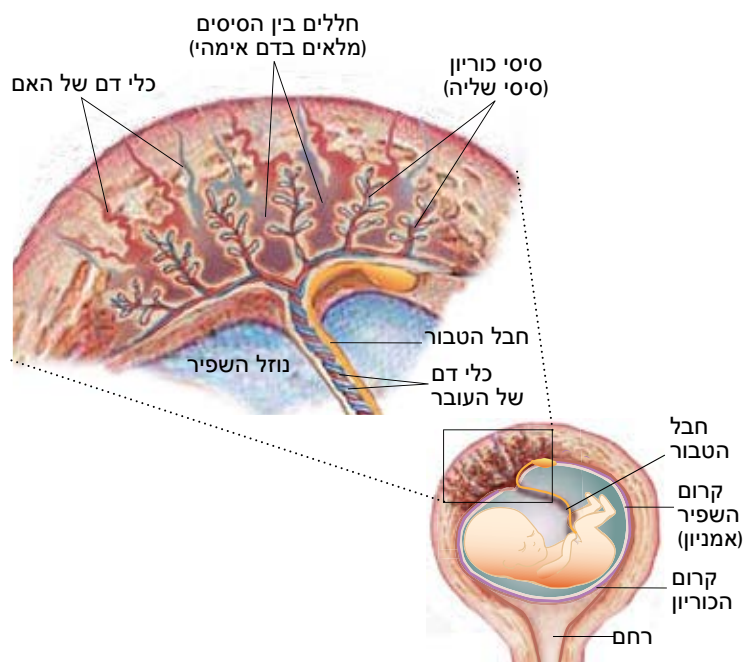
כלי הדם העובריים שבשליה מתנקזים לשלושה כלי דם גדולים אשר מהווים יחד את **חבל הטבור** המקשר בין העובר לשליה. בחבל הטבור יש שני כלי דם המובילים דם מהעובר אל השליה וכלי דם אחד המוביל דם מהשליה אל העובר.

לשליה יש תפקוד חשוב נוסף - מופרשים ממנה הורמונים החיוניים לקיום היריון תקין. בתחילת ההיריון השליה מפרישה לדם את ההורמון hCG (מאנגלית: human Chorionic Gonadotropin). ההורמון נקלט בשחלה ומונע את התנוונות הגופיף

הצהוב. הודות לכך ממשיך הגופיף הצהוב להפריש אסטרוגן ופרוגסטרון. כחודשיים לאחר תחילת ההיריון פוחתת הפרשת ה-hCG מהשליה והגופיף הצהוב מתנוון. בהמשך ההיריון השליה היא שמפרישה את ההורמונים אסטרוגן ופרוגסטרון ורמתם אף עולה במהלך ההיריון. הפרוגסטרון ממתן את התכווצויות שריר הרחם המתרחשות במהלך ההיריון ובכך מונע את



איור ג-13: העובר, קרומי העובר והשליה



איור ג-14: מבנה השליה

פליטת העובר מהרחם לפני תום התפתחותו. כל עוד רמות ההורמונים האלה גבוהות לא יתחדש מחזור הווסת. ההורמון hCG נמצא בדם האם ומופרש בשתן. ערכות ביתיות לבדיקת היריון מבוססות על בדיקת רמת ה-hCG בשתן האישה.

מעניין לדעת



בדיקת מי שפיר

כאשר מתעורר חשש שהתפתחות העובר אינה תקינה, הרופאים מציעים לערוך **בדיקה של נוזל השפיר** (המוכרת כבדיקת מי שפיר). שואבים באמצעות מחט מעט מנוזל השפיר ובודקים תאים שנשרו מהעובר במהלך ההיריון ונמצאים בנוזל וכן את הנוזל עצמו. בשיטות שונות אפשר לקבל את תמונת הכרומוזומים של העובר ולבדוק את תקינותם וכן האם העובר הוא בן או בת. בדיקת הרכב הנוזל מאפשרת לאשר או לשלול את קיומן של מחלות מסויימות בעובר.

עוד על

בדיקת מי שפיר, בפרק ד', עמודים 69-70.

שאלה ג-8



כיצד אפשר לדעת אם העובר הוא בן או בת באמצעות בדיקת מי השפיר?

שאלה ג-9



איך אפשר להסביר את היעדר מחזור הווסת במהלך ההיריון? בתשובתכם ציינו את תפקידם של ההורמונים.

תהליכים בהתפתחות העובר

במהלך ההיריון, הנמשך 270 ימים בממוצע (כ־40 שבועות), נוצרים מתא אחד מיליארדים רבים של תאים בעלי צורות שונות ותפקודים שונים. שלושה תהליכי התפתחות מתרחשים בעובר:

- חלוקות תאים (מיטוזה) **וגדילה**
- **התמיינות** תאים
- **התארגנות** תאים במבנים היוצרים את הרקמות ואת האיברים.

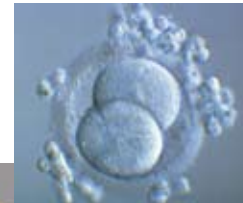
החלוקה המהירה של התאים תורמת לגדילתו הכללית של העובר, אך הגידול במספר התאים הוא רק חלק אחד ופשוט של תהליך ההתפתחות. בעובר שבו שמונה תאים, כל התאים זהים. אם יפרידו אותם בלי להזיק להם יוכל כל אחד מהם להתפתח לעובר מושלם. אולם כבר לאחר כמה חלוקות נוספות המצב משתנה. למרות שבכל התאים הכרומוזומים זהים, וכך גם המידע התורשתי, כל קבוצת תאים מתחילה להתפתח בצורה שונה וייחודית. זהו תהליך ה**התמיינות** שבמהלכו התאים משתנים. בכל תא מופעלים ובאים לידי ביטוי גנים מסוימים וגנים אחרים מושתקים ואינם מתבטאים. לכן כל קבוצת תאים היא ייחודית בתכונותיה ובתפקודיה. לדוגמה: תא בעין שונה בצורתו ובתפקודו מתא בכבד, מתא דם, מתא שריר ומתא עצב.

קשר לנושא

התא - מבנה ופעילות: התמיינות תאים.

הדרך שבה נקבע אילו גנים באים לידי ביטוי בתאים השונים היא נושא שעוסקים בו חוקרים רבים ולא הכול ידוע. בהתבסס על ממצאי המחקרים אפשר לומר שהתנאים בתאי העובר ובסביבתם קובעים במידה רבה את הביטוי של הגנים: חומרים בציטופלסמה של התא, חומרים בסביבה החוץ-תאית ומגע עם תאים שכנים. ההתמיינות מתחילה מוקדם מאוד בהתפתחות העוברית.

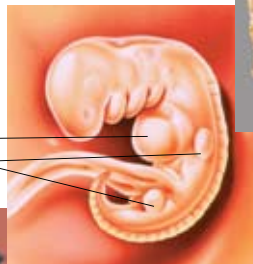
תוך כדי ההתרבות וההתמיינות של התאים מתקיימים תהליכים נוספים: תאים נודדים ממקום למקום, משטחי תאים מתקפלים זה ביחס לזה, נוצר מגע בין תאים סמוכים ומופרשים חומרים מקבוצות תאים. בהמשך מופיעים בצבר התאים בליטות ושקעים ההולכים וגדלים. התוצאה היא שהעובר מפסיק להיות גוש תאים ומופיעים בו מבנים בעלי צורות שונות שהם תחילתם של איברים שונים בגוף. מקצת מהשינויים החלים בעובר תוכלו לראות באיור ג-15.



א. עובר בן שני תאים, תוצר של התחלקות הזיגוטה, כ־30 שעות לאחר ההפריה. סביב לשני התאים מבחינים בשרידי התאים שהקיפו את תא הביצה.



ב. עובר בן 16 תאים, כ־4 ימים לאחר ההפריה, גודלו כ־0.1 מ"מ.



ג. עובר בן 4-5 שבועות. אורכו כ־6 מ"מ. שימו לב ללב ולניצני הגפיים.

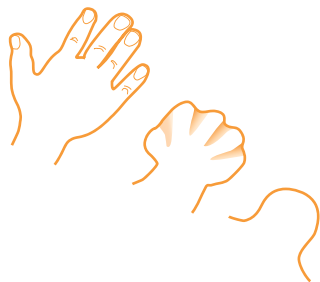


ד. עובר בן 7-8 שבועות. העובר קשור לשליה בחבל הטבור, וצף בתוך נוזל השפיר, מוקף בקרום השפיר. אורכו כ־4 ס"מ ומשקלו פחות מ־10 גרם.

איור ג-15: השתנות העובר בשלבים שונים של התפתחותו
שימו לב! כל אחד מהשלבים מוצג בהגדלה שונה.

התארגנות התאים לאיברים מתבטאת גם בעיצוב מערכות הגוף. התבוננו למשל בעובר בן ארבעה שבועות (איור ג-15): בשלב זה הידיים והרגליים נקראות "ניצני גפיים" ונראות כבליטות חסרות צורה. בין השבוע השישי לשביעי להיריון מתחילות להופיע אצבעות בכף היד ובשלב זה הן נראות כאילו גולפו מתוך הבליטה הראשונית. התארגנות מבנה כף

היד נעשית על-ידי שילוב של כמה תהליכים: התרבות של תאים, נדידת תאים ממקום למקום ומוות של תאים רבים. התאים באזורים שבין האצבעות מתים ומתפרקים. כך נוצר המבנה הדק והמוארך של האצבעות עם הרווחים שביניהן. התארגנות התאים לאיברים כרוכה אפוא לא רק בהתרבות והתמיינות של תאים, אלא גם בתמותה של תאים במספרים עצומים. איור ג-16 מתאר באופן סכמטי את תהליך עיצוב מבנה כף היד במהלך התפתחות העובר.



איור ג-16: תהליך עיצוב מבנה כף היד במהלך התפתחות העובר

התפתחות איברי העובר

החודש הראשון הוא תקופת הגידול הנמרץ ביותר של העובר המתפתח. השליה מספקת לעובר את הדרוש לו כדי לגדול במהירות כה רבה. כשהעובר בן כארבעה שבועות ניתן להבחין בראש שבו מתפתח המוח, בניצני הידיים והרגלים, בניצנים של כלי דם ובפעילות הלב. בשלב זה, העובר אינו נראה עדיין כאדם. הוא דומה לעוברים של בעלי חוליות אחרים, אם כי יש בו ניצנים של כל איברי הגוף. העובר ממשיך להתפתח מידי יום, אך לא כל אזורי הגוף גדלים באותו הקצב. הראש והמוח מתפתחים מהר יותר משאר האיברים.

בתום השבוע השמיני מתחילת ההיריון כבר קיימים רוב איברי הגוף - על אף שאורכו של העובר בשלב זה הוא כ-4 ס"מ ומשקלו פחות מ-10 גרם! מבחינים בתווי הפנים שלו ובאיברי הגוף השונים: עיניים, אוזניים, מוח, מערכת עיכול, כליות, ידיים ורגליים ובהן האצבעות. מעניין לדעת שבשבוע השמיני יש לעובר טביעות אצבע ברורות. המוח מפקח על פעילויות האיברים. הכליות מפרישות חומרי פסולת.

בשבוע ה-12 העובר נעשה פעיל. הוא מסוגל להניע את הגפיים ואת הראש ואף לשנות הבעות פנים. בשבוע ה-16 צורתו של העובר היא כשל תינוק זעיר, וניתן להבחין באיברי הזוויג החיצוניים.

עד הלידה, העובר מתפתח וגדל במידה ניכרת. למרות שמרבית האיברים קיימים כבר בסוף השליש הראשון של ההיריון פעילותן של מערכות האיברים מתפתחת בהדרגה. הבשלת מערכת חילוף הגזים בריאות היא המאוחרת ביותר ומסתיימת ברוב המקרים רק בשבוע ה-34. פגים הנולדים בשלב מוקדם יותר עשויים לסבול בעיקר מקשיי נשימה בשל חוסר בשלות הריאות. הריאות מתחילות לפעול בחילופי גזים רק אחרי הלידה. גם הגודל והמשקל חשובים מאוד לקיומו של היילוד. רוב־רובם של ההריונות נמשכים בין 260 ל-280 יום (כ-40 שבועות), ובסיומם מגיח לעולם תינוק בריא שהתפתחותו הושלמה.

מעניין לדעת



גודל ומסה

המסה של תא ביצה מופרה של אדם היא כ-2 מיליוניות הגרם, ואילו המסה הממוצעת של העובר בלידתו היא כ-3,400 גרם. במהלך ההיריון גדלה המסה בערך פי מיליארד! דופן הרחם מורכבת משרירים חזקים וגמישים באופן יוצא מן הכלל, וכך הרחם יכול לגדול מאיבר שגודלו 7 ס"מ ומסתו כ-50 גרם, לשק המכיל עובר השוקל כ-3.4 ק"ג, שליה וכשני ליטר נוזל שפיר, ומסתו הכוללת כ-7 ק"ג.

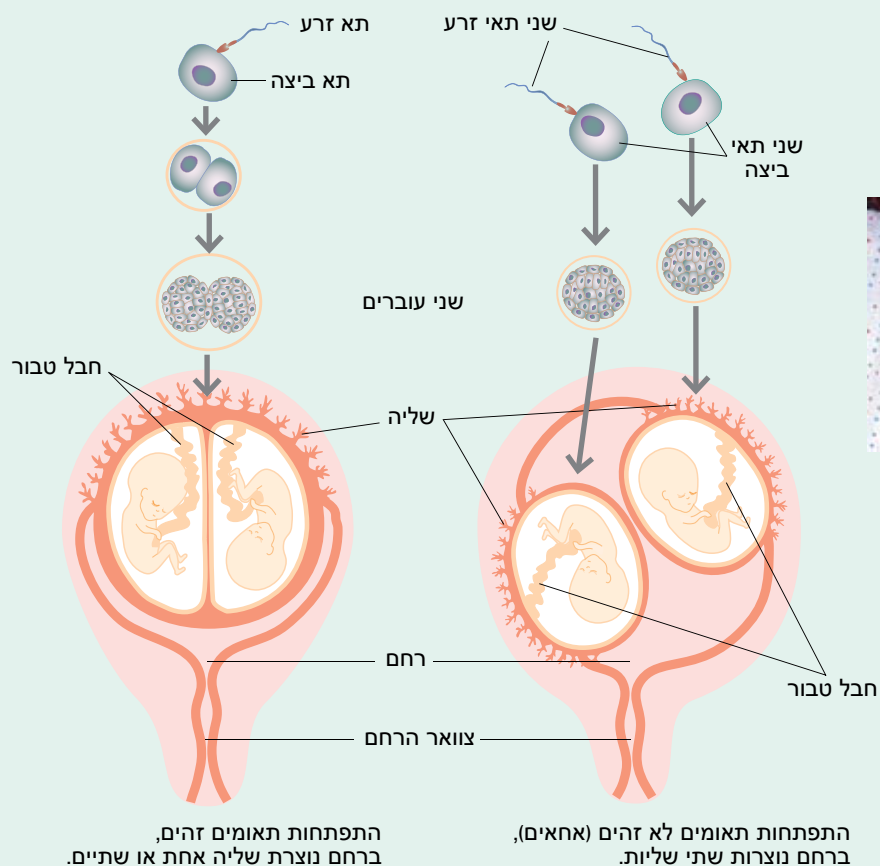
הרחבה



תאומים

בכל מחזור וסת חורג בדרך כלל רק תא ביצה אחד באחת משתי השחלות. בשחלה השנייה לא מבשיל זקיק באותו זמן. לכן ברוב המקרים תתרחש הפריה של תא ביצה אחד בלבד. אולם ידוע לנו כי בכל זאת קורה שנולדים תאומים, ולעתים אפילו יותר משני ילודים בלידה אחת.

שתי אפשרויות עשויות להוביל באופן טבעי ללידת תאומים.



איור ג-17: התפתחות תאומים

לידה של תאומים זהים או תאומות זהות היא אירוע לא נפוץ והיא מתרחשת רק ב־0.3%-0.4% מהלידות. תאומים זהים הם תאומים המתפתחים מתא ביצה אחד שהופרה על ידי תא זרע אחד. המצב הנפוץ ביותר של התפתחות תאומים זהים באדם (85% ממקרי התאומים הזהים) מתפתח כבר בשלב של שני תאים, מיד לאחר ההפריה. התאים נפרדים וכל אחד מהם מהווה התחלה של עובר חדש. במקרה כזה ההפרדה בין התאים התרחשה עוד בחצוצרה. המעטפת השקופה שסביב תא הביצה מכנסת בתוכה את שני העוברים יחדיו, וכאשר העוברים המתפתחים מגיעים לרחם המעטפת נהרסת, ושני העוברים עוברים במקביל את תהליך ההשרשה. בדרך כלל לעוברים שליה אחת, אך שני הקרומים החוץ עוברים (שפיר וכוריון) מתפתחים בנפרד לכל עובר.

תאומים לא זהים נוצרים כאשר מתרחש ביוץ כפול. מסיבות לא ידועות מבשילים בו־זמנית שני תאי ביצה - תא ביצה אחד בכל שחלה או שני תאי ביצה באותה שחלה. שני תאי הביצה חורגים באותו זמן אל החצוצרה וכל אחד מהם מופרה. אפשרות זו מתרחשת באופן טבעי ב־1%-2% מהלידות. במקרה כזה ייוולדו תאומים שונים זה

עוד על

היריון מרובה עוברים,
בפרק ד', עמודים 65, 73.

מזה במידע התורשתי שלהם, והדמיון ביניהם הוא כמו הדמיון בין שני אחים רגילים, כלומר הם יכולים להיות שונים למדי זה מזה. תאומים כאלה מכונים תאומים אחאים (איור ג-17).

הורמונים הניתנים לנשים במהלך טיפולי פוריות גורמים למספר גדול של תאי ביצה לחרוג בורזמנית ולכן לעתים קרובות מתפתח היריון מרובה עוברים בעקבות טיפולים אלה.

שאלה ג-10

לזוג הורים נולדו תאומים, בן ובת. האם מוצאם מתא ביצה אחד או משניים? הסבירו את תשובתכם.

2.5 ג הלידה

לא ידוע מהו הדחף המעורר את תחילת הלידה, אך יש חוקרים הסבורים שהיא נגרמת על-ידי הורמון המופרש מבלוטות יותרת הכליה של העובר. על פי השערה זו, שטרם הוכחה סופית, בתגובה להפרשת ההורמון הנוצר בעובר, מתחילה הפרשה של הורמון בשם **אוקסיטוצין** מההיפופיזה של האם וידוע שהוא זה שמזרז את הלידה. זוהי השערה מעניינת, כי אם היא נכונה, פירושה שהגורם המעורר את תהליך הלידה הוא העובר עצמו ולא גוף האם.

כאשר ראש העובר מגיע לצוואר הרחם נוצר לחץ על דופנות צוואר הרחם שנקלט על-ידי מערכת העצבים של האם. המידע מגיע מההיפותלמוס להיפופיזה, וזו מפרישה את ההורמון אוקסיטוצין. האוקסיטוצין מגיע עם זרם הדם לרחם ומעורר התכווצויות מחזוריות של שרירי דופנות הרחם. התכווצויות אלו מכונות **צירי לידה**. בעקבות ההתכווצויות נקדחים בדרך כלל קרומי העובר, ונוזל השפיר נפלט החוצה מהנרתיק (אירוע המכונה "ירידת מים"). ההתכווצויות של שרירי הרחם ושל שרירי הבטן דוחפות את העובר לעבר צוואר הרחם אשר מתרחב עם תחילת תהליך הלידה. התינוק נדחף מבעד לצוואר הרחם ודרך הנרתיק אל מחוץ לגוף. תינוק חדש בא לעולם! באיור ג-18 מתוארים שלבים ביציאת העובר.



איור ג-18: תבליטים המתארים שלבים ביציאת העובר

לאחר לידת התינוק חותכים את חבל הטבור, ובכך ניתק הקשר בין מחזור הדם של האם לבין מחזור הדם של היילוד. המשך ההתכווצויות של הרחם גורם לניתוק השליה מהרחם והיא נפלטת החוצה יחד עם קרומי העובר, ובזאת נשלם תהליך הלידה.

בשלב צירי הלידה פועל מנגנון **משוב חיובי**. המשוב הוא חיובי, כי תוצאת התהליך (הגברת התכווצות שרירי הרחם) מגבירה את הגירוי (לחצו של ראש היילוד), וגירוי זה מעורר הפרשה נוספת של ההורמון אוקסיטוצין. הצירים דוחפים את העובר, והגירוי להפרשת ההורמון (לחצו של ראש העובר) נמשך. הפרשת ההורמון נמשכת, והוא מעורר צירים שעצמתם ותדירותם הולכות וגוברות. ברגע שראש העובר יוצא נפסק הלחץ על דופנות צוואר הרחם, וכך גם פוסק הגירוי להפרשת אוקסיטוצין ונפסקים צירי הלידה.

שאלה ג-11



שרטטו תרשים המתאר את המשוב החיובי הפועל במהלך הלידה.

נהוג לחלק את מהלך הלידה לשלושה שלבים: שלב הצירים, שלב התרחבות צוואר הרחם ושלב יציאת היילוד. משך כל שלב משתנה מאוד מלידה ללידה. יש לידות הנמשכות רבע שעה ויש הנמשכות יממה שלמה. ההבדלים אינם רק בין אישה לאישה אלא גם אצל אותה אישה עצמה בלידות שונות. יש נשים שילדו פעם אחת בלידה קצרה ובפעם אחרת הלידה נמשכה זמן רב.

נשימה ראשונה - צעקה ראשונה

בעת שהעובר נמצא ברחם הוא אינו נושם באמצעות ריאותיו. החמצן מגיע אל תאי גופו מדם האם דרך כלי דם בחבל הטבור, והפחמן הדו-חמצני מפונה דרך כלי דם אחר בחבל הטבור. הריאות מסיימות את הבשלתן במהלך החודש השמיני של ההיריון, אך הן ריקות מאוויר. ברגע שהעובר יוצא מהרחם, אוויר חודר בבת אחת לריאותיו ומיד יוצא מהן. זרם האוויר הפתאומי מפעיל את מיתרי הקול של העובר וכך נשמעת צעקתו הראשונה. הצעקה הראשונה הזו היא עדות לכך שהיילוד נושם כהלכה. מרגע זה קליטת החמצן ופינוי הפחמן הדו-חמצני מדם היילוד נעשים על ידי ריאותיו.

יילוד בריא הוא חסר אונים לחלוטין ותלוי באופן מוחלט במטפלים בו, אך יש כמה תפקודים שאפשר לבדוק אצלו כדי לוודא שהתפתחותו תקינה. כך למשל לכל יילוד יש רפלקס המכונה רפלקס אחיזה. אם נוגעים בכף ידו בקצה אצבע - מיד מתכווצות אצבעותיו ולופתות בחוזקה את האצבע הנוגעת בו. רפלקס נוסף המעיד על מצב התפתחותו של היילוד הוא רפלקס "צעידה": כאשר מחזיקים אותו תוך תמיכה בשני צדי גופו, כך שקצות בהונותיו נוגעות במשטח (של שולחן טיפולים, למשל), הוא מניע את רגליו בזו אחר זו לזמן קצר מאוד בתנועה של הליכה, כאילו הוא "צועד". רפלקס זה נעלם תוך שעות מעטות. בפעם הבאה שיבצע תנועות הליכה (מלווה בתמיכה) הוא יהיה לכל הפחות בן שבעה-שמונה חודשים, ובדרך-כלל אף יותר מכך. רפלקס נוסף שעמו נולדים תינוקות הוא רפלקס היניקה.



רפלקס אחיזה

הזנת התינוק

בחודשים הראשונים לחייו התינוק ניזון מחלב אמו. במהלך ההיריון ריכוזי הפרוגסטרוגן הגבוהים משפיעים על התפתחות נאדיות חלב **בבלוטות החלב** שבשד. נוסף על כך ההיפופיזה מפרישה את ההורמון **פרולקטין** והוא משפיע על יצירת החלב והפרשתו לנאדיות. כל עוד התינוק יונק - נמשכת יצירת החלב. הפסקת היניקה מפסיקה את יצירת החלב. ייצור החלב והפרשתו בתקופת ההנקה מושפעים מגורמים שונים, חלקם פנימיים - הורמונליים ועצביים, וחלקם חיצוניים - כגון המצב התזונתי של האם ופעולת היניקה של התינוק. כאשר התינוק יונק, גירוי היניקה מעביר דחפים עצביים להיפותלמוס. בעקבות גירוי זה ההיפופיזה משחררת הורמון נוסף - **אוקסיטוצין**, הגורם להתכווצות תאים בבלוטות החלב שברקמת השד. כתוצאה מההתכווצות החלב נדחק מהבלוטות אל תוך צינוריות החלב ומשם החוצה. ההורמון מעורר גם את הרחם להתכווץ, וכך מסייע לו לחזור לגודלו הרגיל. מעניין לדעת ששחרור האוקסיטוצין מופעל גם על ידי בכי של התינוק.

שאלה ג-12

איזה משוב פועל ביצירת חלב? נמקו.

הרחבה

לא כולם נולדים חסרי אונים

יילוד האדם הוא חריג במידת חוסר האונים שלו בעת הלידה ובזמן הדרוש לו להגיע לעצמאות בתנועותיו. גם משך התבגרותו של האדם ארוך בהשוואה לבעלי-חיים אחרים. אפילו בתקופות שונות בעבר הרחוק שבהן ילדים נחשבו לבוגרים לכל דבר מרגע שהגיעו לבגרות מינית, עדיין נחשב פרק הזמן של 12-14 שנים לזמן ארוך בהשוואה למשך ההתבגרות של כל יונק אחר. יילודים של יונקים גדולים אחרים כמו הפיל, הסוס והאריה נעמדים על רגליהם מיד לאחר ההמלטה, יונקים כ-6-8 שבועות ומגיעים לבגרות מינית בגיל שנה עד שלוש שנים.

לטענתו של חוקר האבולוציה **סטיבן גולד** (Stephen Gould, 1941-2002) מוח גדול ובעל יכולות שכליות מפותחות הוא יתרון הישרדותי. מוחו של האדם גדול ביחס לגופו הרבה יותר מגודל מוחותיהם של היונקים האחרים ביחס לגופם. גולד העלה השערה שעל-פיה שלב אבולוציוני מכריע בהתפתחות האדם התבטא בהקדמת תהליך הלידה לשלב שבו התפתחות העובר עוד לא הסתיימה. המשך הגדילה ברחם עלול להביא לכך שהיילוד לא יוכל לעבור בתעלת הלידה בגלל גודל ראשו ומוחו. גולד טען שיש ערך הישרדותי גבוה מאוד ללידת יילוד לכאורה "לא גמור" ובעל ראש ומוח שלא הגיעו לשיא גודלם, גם אם הוא חסר אונים באופן מוחלט. ואכן בעת הלידה מוחו של האדם לא מגיע לגודלו הסופי, עצמות הגולגולת של התינוק הנוולד אינן סגורות והראש ממשיך לגדול גם אחרי הלידה.

שאלה ג-13

בנו טבלה וארגנו בה את המידע על ההורמונים המעורבים בתהליך הרבייה באדם. בטבלה התייחסו להיבטים הבאים: מהיכן מופרש ההורמון, מתי הוא מופרש, מהו איבר המטרה שלו ומהי השפעתו.

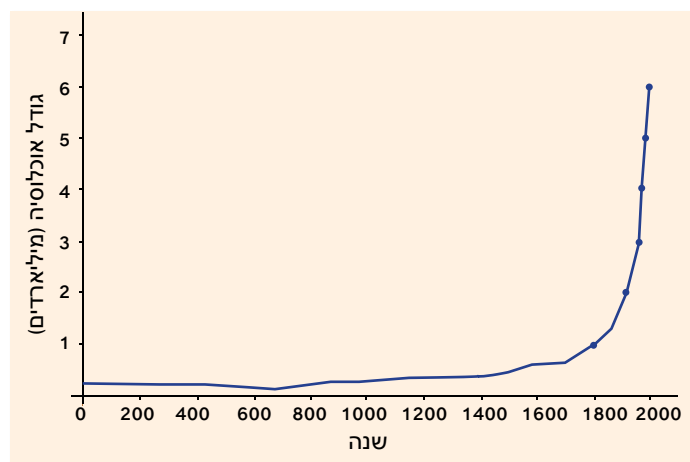
6. גידול של אוכלוסיית בני האדם

פרק זה עוסק במערכות הרבייה ובתהליכי הרבייה באדם ברמת הפרט. אולם חשוב להתייחס לרבייה גם בהקשר של גידול אוכלוסיית בני האדם על פני כדור הארץ. הגידול של אוכלוסיית בני האדם שונה באופן מהותי מגידול האוכלוסיות של בעלי חיים אחרים ובכללם יונקים גדולים: בעוד שאוכלוסיית בני האדם גדלה מאוד במאות השנים האחרונות, קטנו האוכלוסיות של יונקים גדולים אחרים וחלקם אף נכחדו בתקופה זו.

קשר לנושא

אקולוגיה:
הכחדת מינים.

באיור ג-19 מוצג הגידול במספר בני האדם ב־2,000 השנים האחרונות. במשך 1,800 שנה גדלה האוכלוסייה בעולם בערך פי 5, מכ־200 מיליון בני אדם למיליארד (אלף מיליונים). משנת 1,800 בפרק זמן של כ־200 שנה בלבד - התחולל שינוי ענק בשיעור הגידול: האוכלוסייה גדלה פי 6, ובסוף שנת 2011 חצה מספר בני האדם בעולם את ה־7 מיליארד. השינוי בשיעור הגידול שהחל במאה ה־19 (1,800-1,900) קשור במהפכה התעשייתית, בהתפתחות הטכנולוגיה ואמצעי התחבורה, בהתפתחות הרפואה ובשיפור תנאי התברואה. את הקפיצה הגדולה בקצב גידול האוכלוסייה שחלה במאה העשרים, אפשר להסביר בגילוי האנטיביוטיקה ותרופות נוספות שהביאו



איוור ג-19: גידול האוכלוסייה של בני האדם

לירידה בתמותה ממחלות בכלל ובתמותות תינוקות בפרט. גם שיטות החיסון נגד מחלות כגון אבעבועות שחורות, שחפת ושיתוק ילדים הקטינו את התמותה. בעקבות שיפורים אלה חלה עלייה חדה בתוחלת החיים.

שאלה ג-14

האם יש לדעתכם קשר בין גידול אוכלוסיית בני האדם והכחדה של אוכלוסיות יונקים גדולים? נמקו.

הריבוי העצום של בני האדם אינו מבטיח איכות חיים טובה לכולם. בארצות רבות בעולם אין די מזון, מי שתייה ונגישות לטיפול רפואי, ותוחלת החיים בהן קצרה מזו המוכרת לנו בישראל. דווקא בארצות הנחשלות, המכונות "ארצות העולם השלישי", האוכלוסייה גדלה במהירות גם כיום למרות המשאבים המצומצמים. לעומת זאת, בארצות המפותחות שכלכלתן מבוססת (למשל באירופה) התמתן קצב גידול האוכלוסייה.

כיום חוקרים ומנהיגים בעולם מודעים לכך שהמשך גידול האוכלוסייה עלול להביא למצב של מחסור חמור במזון ובתנאי חיים בסיסיים. כמו כן ייתכן שבהשפעת האדם ייגרם נזק בלתי הפיך למערכות החיים על פני כדור הארץ (למשל עקב התחממות האטמוספירה, זיהום מקורות המים והקרקע וניצול יתר של משאבים עד כדי סכנה לקיומם של כל בני האדם).



כיצד אפשר להאט את שיעורי הגידול של האוכלוסיות בארצות שונות ?!

בסין חוקקה הממשלה חוקים לצמצום הילודה: בעיר מותרת למשפחה לגדל ילד אחד בלבד ובכפר - 3 ילדים. המפר חוקים אלה צפוי לקנסות כספיים. לאמצעים כאלה יכולה להיות גם השפעה שלילית: למשך זמן מסוים יהיו באוכלוסייה קשישים רבים שעול פרנסתם מוטל על צעירים מעטים בלבד. מצב דומה צפוי להתפתח בארצות אירופה שבהן שיעור הילודה קטן מאוד אף ללא התערבות הממשלה.

עוד על

תכנון המשפחה, בפרק ד', עמודים 74-75.

חוקרים העוסקים בנושא מצאו שאחד הגורמים המשפיעים ביותר על מספר הילדים במשפחה הוא רמת ההשכלה של האישה. ככל שרמת ההשכלה של האישה גבוהה יותר - קטן מספר הילדים שהיא יולדת במהלך חייה וגדלה תרומתה לכלכלת המשפחה. גורם נוסף שיכול להשפיע על צמצום הילודה הוא הפצת ידע ואמצעים לתכנון המשפחה.

עיקרי הנושאים בפרק



- איברי הרבייה מאפשרים את קיומם של ארבעה תהליכים: ייצור תאי רבייה, ייצור והפרשה של הורמונים המווסתים את תהליכי הרבייה, מפגש תאי רבייה של הגבר עם אלה של האישה והתפתחות של העובר ברחם בגוף האישה.
- מערכת הרבייה של האישה כוללת: שחלות, צינורות מובילי תאי ביצה (חצוצרות), רחם ונרתיק.
- מערכת הרבייה של הגבר כוללת: אשכים, צינורות מובילי זרע, פין ובלוטות עזר.
- בגיל ההתבגרות מתחילה הפרשת הורמונים מהמוח ומתחילים להתפתח סימני זווּיג (מין) משניים.
- החל מגיל ההתבגרות נוצרים אצל הנערים תאי זרע מתאים ראשוניים באשך. תאי הזרע נוצרים בעקבות תהליך התמיינות, חלוקות מיטוזה ומיזוג.
- החלקים העיקריים של תאי הזרע הם ראש וזנב. לתאי הזרע יש יכולת תנועה עצמאית.
- בגיל ההתבגרות מתחילה אצל הנערה הבשלת תאי הביצה בשחלות ומתחיל מחזור הווסת. מחזור הווסת מבוקר באמצעות פעילות מחזורית בהיפותרמוס, בהיפופיזה, בשחלות וברחם. מחזור הווסת כולל שני תהליכים מרכזיים המתרחשים בו-בזמן: האחד - הבשלה של תא ביצה בשחלה ובוץ והשני - הכנה של הרחם לקליטת העובר.
- ההפריה - המפגש בין תא הזרע ותא הביצה וההתלכדות ביניהם - מתרחשת בצינור מוביל תאי הביצה.
- לאחר שהעובר משתרש בשכבה הרירית המעובה בדופן הרחם, מתפתחים שני שקי עובר קרומיים - קרום השפיר וקרום הכוריון.



- השליה היא מערכת של הזנה, חילוף גזים וסילוק פסולת.
- שלושה תהליכי התפתחות מתרחשים בעובר: חלוקת תאים וגדילה, התמיינות תאים והתארגנות תאים במבנים היוצרים את הרקמות ואת האיברים.
- התינוק נולד לאחר כ-40 שבועות וניזון מחלב אמו.
- בעוד שאוכלוסיות בני האדם גדלות מאוד, אוכלוסיות של יונקים גדולים קטנות ואף נכחדות.

מושגים חשובים בפרק



לידה	FSH
מחזור הווסת	LH
מי (נוזל) שפיר	אסטרוגן
מנגנוני משוב (חיובי ושלילי)	אשך
נרתיק	בגרות מינית
סימני זוויג (מין) ראשוניים ומשניים	ביוץ
עובר	בלוטות חלב
ערמונית	גדילה
פין	גופיף צהוב
פרוגסטרוגן	דיפלואיד
פרולקטין	הורמוני זוויג
צינור מוביל תאי ביצה (חצוצרה)	הורמונים גונדוטרופינים
צינור מוביל הזרע	הזנה (עובר)
צירי לידה	היפופיזה
קרומי עובר (קרומ השפיר וקרומ הכוריון)	היפותלמוס
רחם	היריון
רירית הרחם	הפריה
שחלה	התבגרות מינית
שליה	התמיינות
שפיר (אמניון)	ויסות הורמונלי
תא ביצה (ביצית)	זקיק
תא זרע	חלמון
תאי רבייה (גמטות, תאי מין, תאי זוויג)	טסטוסטרון
	כוריון

התערבות בתהליכי הרבייה באדם



17. הפריה חוץ־גופית: פתרון למצבים רבים
של אי־פוריות

27. הטכנולוגיה מסייעת אך גם יוצרת דילמות

37. תכנון משפחה

עיקרי הנושאים בפרק

מושגים חשובים בפרק

7



פרק ז: התערבות בתהליכי הרבייה באדם

עד לפני כמה עשרות שנים היו לא מעט זוגות שמסיבות שונות לא הצליחו להביא ילדים לעולם, והפתרון היחיד שהוצע להם היה אימוץ. כיום הרפואה המודרנית בשילוב טכנולוגיה מתקדמת מצליחה לעזור לזוגות רבים להיות הורים לילד משלהם בדרכים שלא היו אפשריות בעבר.

התערבות בתהליכי הרבייה באדם נעשית בכמה תחומים: פתרון בעיות פוריות, מעקב אחרי התפתחות העובר ואיתור מומים במהלך ההיריון וכן שיטות לתכנון המשפחה.

מהן הסיבות לבעיות פוריות?!

כ־15% מהזוגות המתכננים להביא ילד לעולם מגלים לאחר ניסיונות רבים שאינם מצליחים בכך. כל אחד מבני הזוג יכול לסבול מבעיה כלשהי הקשורה לפוריותו. בעיות כאלה נובעות משיבושים בהפרשה של הורמוני הזוויג המסדירים את פעילות מערכת הרבייה, או משיבושים אחרים כמו חסימות שונות באברי הרבייה.

אצל הגברים בעיות הפוריות האפשריות הן: מיעוט של תאי זרע בעת הפליטה (במצב נורמלי נפלטים כ־350 מיליון תאי זרע, אם ייפלטו פחות מ־5 מיליון לא תתקיים הפריה), תנועה איטית של תאי הזרע לעבר תא הביצה, מבנה לא תקין של תאי הזרע, בעיות בייצור ובהפרשה של נוזל הזרע וכן חסימה באחד מהצינורות שדרכם עוברים תאי הזרע. ב־60 השנים האחרונות חלה ירידה בריכוז תאי הזרע וביכולת התנועה שלהם. חוקרים משערים שהתופעה מושפעת בין היתר מחשיפה למפגעים סביבתיים ולטמפרטורות גבוהות, עישון, שתיית אלכוהול ואורח חיים לחוץ ולא בריא.

אצל נשים בעיות הפוריות האפשריות הן: הפרעות בביוץ, חסימה של צינור מוביל תאי הביצה המונעת מעבר של תא הביצה אל הרחם או מעבר של תאי זרע אל תא הביצה והפרעה בקליטת העובר ברחם. לחץ נפשי ותת־תזונה ממושכת הם בין הגורמים המשפיעים על בעיות פוריות בנשים.

חסימות בצינורות הזרע אצל הגבר או בצינורות מובילי תאי הביצה אצל האישה אפשר להסיר באמצעות ניתוח פשוט. במקרים של שיבוש בהפרשה של הורמונים הפתרונות המוצעים הם תוספת חיצונית של הורמונים המעורבים בפעילות מערכת הרבייה (שאותם הכרנו בפרק ג'). לדוגמה, לחלק מהגברים מוצעים טיפולים הורמונליים המגדילים את כמות תאי הזרע או את כמות נוזל הזרע. לחלק מהנשים מוצע טיפול הורמונלי המסדיר את הביוץ.

הטיפולים הללו יכולים לפתור את בעיותיהם של חלק מהזוגות, אך עדיין נותרים זוגות שמתקשים להביא ילדים לעולם. חלק מזוגות אלה זוכה כיום להגשים את חלומם באמצעות הפריה חוץ־גופית.

17. הפריה חוץ-גופית: כתרון למצבים רבים של

אי-פוריות

הפריה חוץ-גופית כשמה כן היא: הפריה שמתרחשת מחוץ לגוף האישה (במעבדה). הפריה זאת מכונה גם "הפריית מבחנה", אם כי היא מתרחשת בצלחת פטרי. הפריה חוץ-גופית מתאימה לזוגות שתאי הזרע ותאי הביצה שלהם תקינים, אך מסיבה כלשהי (כגון אחת הסיבות שהוזכרו לעיל) לא מתרחשת הפריה טבעית. הפריה חוץ-גופית משמשת גם במקרים שבהם יש במשפחה מחלה תורשתית. היא מאפשרת לבדוק את תקינות העובר מבחינה גנטית כבר בשלבים הראשונים להיווצרותו, עוד לפני השתרשותו ברירת הרחם.

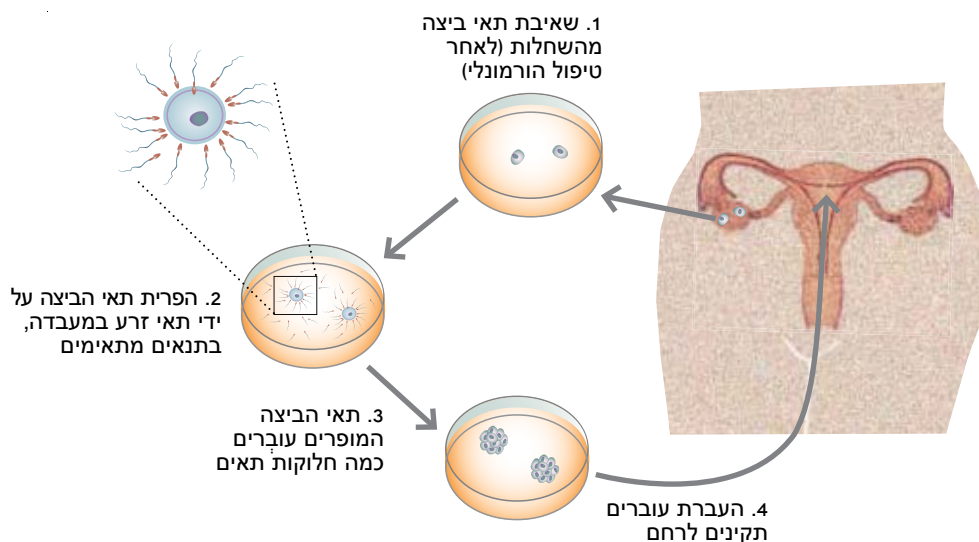
1.17 שלבים בתהליך ההפריה החוץ-גופית

איור ד-1 מתאר שלבים בהפריה חוץ-גופית. בשלב הראשון האישה מקבלת טיפול הורמונלי הגורם להתפתחות בוזמנית של כמה זקיקים. כתוצאה מכך מבשילים בוזמנית כמה תאי ביצה באותו מחזור (בעוד שבאופן טבעי מבשיל רק תא ביצה אחד בכל חודש). לאחר שתאי הביצה הבשילו שואבים אותם מהאישה ומכניסים אותם לכלי עם תמיסה שהרכבה מתאים להפריה.

בשלב השני מוסיפים לכלי עם תאי הביצה תאי זרע שהתקבלו מהגבר (במקרה של מיעוט תאי זרע מרכזים אותם לפני ההוספה) והכלי מועבר לאינקובטור שבו תנאים מתאימים להפריה. תאי הרבייה מתלכדים ללא סיוע נוסף, אך מחוץ לגוף האישה.

בשלב השלישי תאי הביצה שהופרו במעבדה מתחילים לעבור חלוקות מיטוטיות ומתפתחים לעוברים. לאחר כמה חלוקות נוצרים עוברים בני 4 או 8 תאים.

בשלב הרביעי בודקים את תקינות תאי העוברים. אם תאי העוברים תקינים מכניסים 2-3 עוברים זעירים לרחמה של האישה שממנה הוצאו תאי הביצה.



איור ד-1: שלבים בתהליך ההפריה חוץ-גופית

מניסיון רב שהצטבר מאז שהחלו לבצע הפריות חוץ-גופיות עולה שהסיכוי שהאישה המטופלת תהרה ותלד ילד בריא הוא כ-30%. העובר המתפתח בתוך רחמה של האם הוא ילדם הביולוגי של בני הזוג, מפני שתא הביצה ותא הזרע נלקחו מהם. מבחינה זו אין הבדל בין תינוק "מבחנה" לבין תינוק שנוצר בדרך הטבעית.

מאחר שהפריית מבחנה כרוכה בטכנולוגיה עדינה ויקרה וכן בטיפול הורמונלי ממושך הגורם סבל רב לאם, נוהגים ברוב המקרים לשאוב מגוף האישה יותר תאי ביצה משנדרש ליצירת היריון אחד. מפרים את כל תאי הביצה שנשאבו ואת **העוברים העודפים** מקפיאים במיכלים מיוחדים בטמפרטורה נמוכה מאוד (-196°C), כך הם יכולים להישמר במשך שנים עבור הריונות נוספים בעתיד.

מעניין לדעת

פרס נובל לממציא שיטת ההפריה החוץ-גופית

בשנת 2010 הוענק לפרופסור **רוברט אדוארדס** (Robert Edwards) מבריטניה פרס נובל לרפואה ופיזיולוגיה על תרומתו לפיתוח השיטה של הפריה חוץ-גופית בבני אדם. האפשרות להפריה חוץ-גופית הייתה ידועה ביונקים - עכברים וארנבות - אך אדוארדס מצא מה הם התנאים המתאימים להפריה חוץ-גופית של תא ביצה שנלקח מגופה של אישה ובכך פתח את הדרך לזוגות רבים להיות הורים. תינוקת המבחנה הראשונה, לואיז בראון, נולדה בבריטניה בשנת 1978, ומאז באו לעולם מיליוני תינוקות בהפריה חוץ-גופית.

שאלה ד-1

להמשך התפתחותו של עובר שנוצר בהפריה חוץ-גופית חייבים להכניסו לרחם. מה אפשר להסיק מכך?

מעניין לדעת

הקפאת תאי רבייה

השמירה על חיוניותם של תאים בתנאים של הקפאה עמוקה (-196°C) מאפשרת לשמור לא רק עוברים אלא גם תאי רבייה - תאי ביצה ותאי זרע. שמירת תאי הרבייה בהקפאה עמוקה נעשית, למשל, במקרים של מחלת הסרטן, כשהחולה בה עובר טיפולים כימותרפיים המסכנים את תאי הרבייה. במקרים כאלה מוציאים תאי רבייה לפני הטיפול הכימי ומקפיאים אותם במתקן מיוחד (איור ד-2). לאחר ההחלמה אפשר באמצעות הפריה חוץ-גופית ליצור עוברים מתאי הרבייה שהוקפאו ולהשתילם בגופה של האם. כך אפשר לסייע לחולים שהחלימו להיות הורים לילדים בריאים.

תאי זרע שנתרמו על ידי גברים בריאים נשמרים בהקפאה עמוקה **בבנק זרע** וזמינים לנשים הזקוקות לתרומת זרע - נשים שהזרע של בעליהן אינו כשיר להפרות תאי ביצה, או נשים לא נשואות המבקשות להיות אמהות חד-הוריות.



איור ד-2: מכלים לשמירת תאים בהקפאה עמוקה

2.17 יישומים של הפריה חוץ-גופית

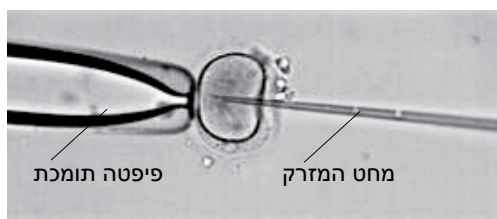
הטכנולוגיה של הפריה חוץ-גופית מאפשרת שימושים נוספים לזה שתואר בסעיף הקודם.

הפריה מלאכותית

כאשר תאי הזרע אינם מצליחים לחדור לתוך תא הביצה אפשר לבצע הפריה מלאכותית. הפריה מלאכותית מתבצעת על ידי הזרקת תא זרע בודד אל תוך תא ביצה בשל באמצעות מזרק דק מאוד (איור ד-3). ההזרקה אינה גורמת שום נזק לתא הביצה! לאחר ההזרקה מכניסים את תא הביצה המופרה לאינקובטור שבו תנאים מתאימים להתחלקותו. לאחר שתי חלוקות של העובר מוודאים שהוא תקין ומכניסים אותו לרחם האם.

עוד על

בדיקת תקינות עוברים,
בהרחבה שבהמשך.



איור ד-3: הזרקת תא זרע לתוך תא הביצה

ההבדל העקרוני, אם כן, בין הפריה חוץ-גופית רגילה לבין הפריה חוץ-גופית מלאכותית הוא שבעוד שבשיטה הראשונה חדירת תא הזרע לתא הביצה (ההפריה) נעשית באופן ספונטני ואקראי, אזי בהפריה ה"מלאכותית" - הבחירה אינה אקראית. מבצע ההפריה בוחר את תא הזרע להפריה ומחדיר אותו באופן מלאכותי לתוך תא הביצה.

פונדקאות

לפעמים נשים אינן יכולות להרות למרות שתאי הביצה שלהן תקינים. לדוגמה: נשים חסרות רחם או בעלות רחם פגוע. הפתרון למצבים אלה הוא **פונדקאות**. בשיטה זו מפרים תא ביצה של האישה עם תאי זרע של בן הזוג בהפריה חוץ-גופית רגילה, אך את העובר שהחל את התפתחותו מחוץ לרחם "שותלים" ברחם של אישה אחרת שהסכימה להיות פונדקאית. הפונדקאית עוברת טיפול הורמונלי להכנת הרחם שלה לקליטת העובר. בטיפול היא מקבלת כדורים המכילים את ההורמון אסטרוגן, הגורם להתפתחות רירית הרחם, תוך כדי סינכרון מחזור הווסת שלה עם זה של האם הביולוגית. בהמשך, במקביל לגידול העוברים במעבדה, הפונדקאית מקבלת גם פרוגסטרון, הגורם להכשרת רירית הרחם שלה לקליטת העובר. הטיפול התרופתי נמשך כ-8 שבועות. לאחר מכן השליה של הפונדקאית כבר מייצרת ומפרישה מספיק הורמונים להמשך ההיריון. הפונדקאית מגדלת ברחמה תינוק שאינו שלה ומיד לאחר הלידה מוסרת אותו להוריו הביולוגיים, שמהם נלקחו תאי הזרע ותא הביצה.

פתרון הפונדקאות אינו פשוט הן מבחינה חוקית והן מבחינה רגשית והוא מחייב לחתום מראש על הסכם בין ההורים לבין הפונדקאית, שאף מקבלת תשלום עבור מאמציה. בשנת 1996 נחקק בארץ חוק הפונדקאות שנקרא "חוק ההסכמים לנשיאת עוברים" (אישור הסכם ומעמד היילוד). החוק מספק הגדרה מדויקת לתנאים הדרושים לאישור הפונדקאות.



שאלה ד-2



התינוק שנולד לאם פונדקאית יהיה דומה מבחינה תורשתית:

1. לאם הפונדקאית ולאב הביולוגי
 2. לאם הביולוגית ולפונדקאית
 3. לאב הביולוגי ולאם הביולוגית
 4. לכל השלושה שהשתתפו בתהליך.
- בחרו בתשובה הנכונה ונמקו.

היריון מתרומת תא ביצה

יש נשים שמסיבות שונות כמו גיל או מחלה, זקוקות לתרומה של תאי ביצה (**תרומת ביציות**). לנשים אלה אין תאי ביצה מתאימים להפריה, אך הן יכולות לגדל ברחמן עובר וללדת. הפריה חוץ-גופית מאפשרת לנשים כאלה להרות ולהביא תינוק לעולם באמצעות תא ביצה שנתרם על ידי אישה אחרת. אמנם תא הביצה אינו של האם, אך תא הזרע המפריה הוא של האב, ולכן הילד הוא הצאצא הביולוגי של אחד מבני הזוג, והאם חווה את חווית ההיריון והלידה.

איתור פגמים תורשתיים בעוברים

ההתפתחות המדעית והשיטה להפריה חוץ-גופית מאפשרות כיום לזהות פגמים תורשתיים בעובר עוד בטרם השתרש ברחם ובכך למנוע לידת ילד חולה במחלה תורשתית חמורה. לזוגות שבהם כל אחד מבני הזוג נושא עותק אחד של גן למחלה תורשתית מסוימת הנגרמת על ידי גן יחיד יש הסתברות לא קטנה (25%) שהילד שייוולד יישא בתאיו 2 עותקים של הגן למחלה ולכן יהיה חולה במחלה התורשתית. במקרים כאלה מציעים לבצע הפריה חוץ-גופית רגילה ומאפשרים לזיגוטה להתחלק עד להיווצרות 8 תאים. בשלב זה מוציאים שני תאים מהעובר ובודקים (בכל תא בנפרד, כחזרה על הבדיקה), האם הם נושאים שני עותקים של הגן המקודד למחלה התורשתית. עוברים שאינם נושאים שני עותקים של הגן למחלה מוחדרים לרחם.

האפשרות לאתר עוד לפני ההיריון עוברים שנמצאים בסכנה להתפתחות מחלות תורשתיות קשות גרמה לירידה משמעותית במספר התינוקות הנולדים עם מחלות אלה. עם זאת ישנן מחלות תורשתיות שטרם זוהה הגן הגורם להן, או שהן נגרמות על ידי כמה גנים, ולכן אין אפשרות לבדוק את הסיכון למחלות האלה בעובר. אחת המחלות שכיום אפשר לבדוק בעובר את נוכחות הגן הגורם לה, היא מחלת טיי־זקס.

מעניין לדעת



מחלת טיי־זקס

מחלת טיי־זקס (Tay-Sachs) היא מחלה תורשתית הנגרמת כתוצאה ממחסור באנזים האחראי על חילוף החומרים של שומנים במוח. המחלה מתפתחת בגיל הינקות וגורמת לנזק מוחי קשה. ההתפתחות של הילדים נעצרת ורובם מתים בשנים הראשונות לחייהם. כיום מוצע לזוגות ממוצא אשכנזי וממוצא צפון אפריקאי, שבהם השכיחות של המחלה גבוהה יחסית, לבדוק אם הם נושאים את האלל בתאיהם ולמנוע הולדת ילד חולה.

שיעור הנשאות בקרב יהודים ממוצא אשכנזי הוא 1:30 ובקרב יהודים ממוצא צפון אפריקאי הוא 1:110, בכלל האוכלוסייה השכיחות היא 1:300 לערך.

שאלה ד-3



לבדיקת תקינות העובר מוציאים 2 מבין 8 התאים של העובר. מהו ההסבר לכך שלמרות הפעולה הכירורגית הזאת העובר בן 6 התאים ממשיך להתפתח בצורה תקינה לחלוטין?

הרחבה



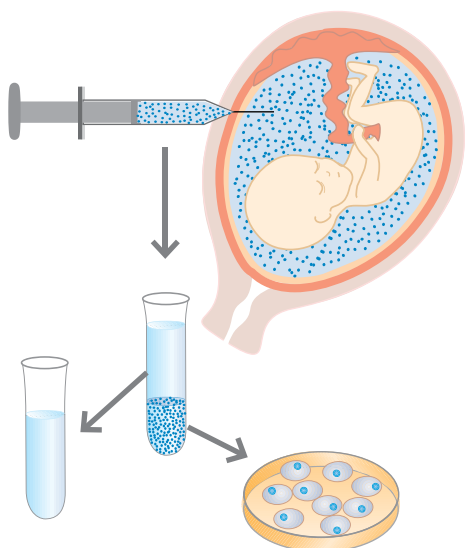
בדיקת תקינות עוברים במהלך ההיריון

גם במהלך ההיריון אפשר לברר האם העובר מתפתח כראוי והאם מערכתיו תקינות. ניתן לעשות זאת באמצעות הדמיה על־קולית (אולטרה־סאונד), בדיקות ביוכימיות של דם האם ובדיקה מיקרוסקופית של תאי העובר המתפתח ברחם. כדי לבדוק אם יש פגמים במבנה הכרומוזומים או אם מספרם אינו תקין, יש לבדוד תא או תאים של העובר ולהביאם למצב של חלוקות מיטוטיות, כי רק במצב של חלוקת תא אפשר לראות מבעד למיקרוסקופ את הכרומוזומים בצורה ברורה, לספור אותם ולראות אם הם תקינים.

איך אפשר לבדוק תאים של עובר במיקרוסקופ מבלי לפגוע בעובר עצמו? לשם כך נוהגים היום באחת משתי שיטות:

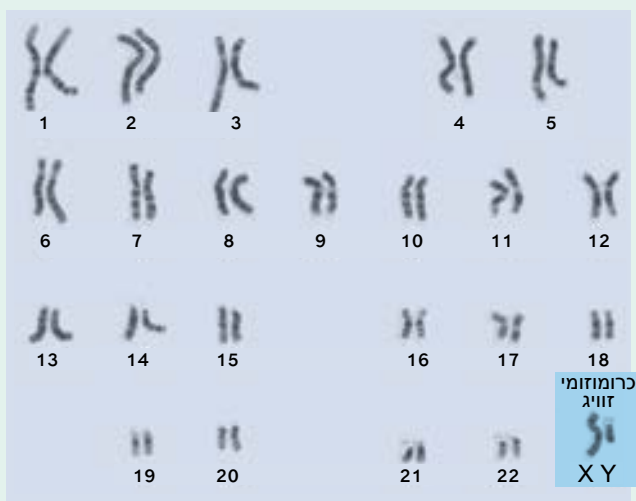
בדיקת מי שפיר

בדיקה זו מתבצעת בין השבועות 15-20 של ההיריון והיא נהוגה כבר כ־40 שנה (איור ד-4). בנוזל השפיר שסביב העובר מצויים תאים שנשרו מהעובר ואפשר לבצע בהם בדיקה של הכרומוזומים. לשם כך מוציאים בזהירות מעט מנוזל השפיר שבתוכו שוהה העובר, מפרידים את תאי העובר מהנוזל ובודקים את שני הרכיבים. כדי לצמצם את הסיכון לפגיעה בעובר שאיבת הנוזל נעשית תוך כדי צפייה בו באמצעות מכשיר אולטרה־סאונד.



איור ד-4: בדיקת מי שפיר

לאחר שמשרים בתאים שהוצאו חלוקות מיטוטיות ניתן לראות את הכרומוזומים מבעד למיקרוסקופ. לצורך בדיקת הכרומוזומים מצלמים את התא, "גוזרים" (במחשב) את הכרומוזומים ומסדרים אותם בזוגות הומולוגיים בהתאם לאורכם ולפרטי מבנה נוספים. על פי הסכמה בין־לאומית המקובלת על המדענים, לכל זוג מזוגות הכרומוזומים ההומולוגיים יש מספר. בתאים של בני אדם יש 22 זוגות כרומוזומים הומולוגיים וזוג כרומוזומי זווּיג המסומנים באותיות x ו-y. תהליך הבדיקה מאפשר איתור עודף או חוסר בכרומוזום וכן פגמים מבניים בכרומוזומים מסוימים. באיור ד-5 מוצגים כרומוזומים מתא של גבר בעל מערך תקין של כרומוזומים.



איור ד-5: מערך כרומוזומים תקין מתא של גבר (הכרומוזומים מסודרים לפי זוגות הומולוגיים). הכרומוזומים צולמו באמצעות מיקרוסקופ אור והם מוגדלים פי 5,000 בערך

בדיקת סיסי כוריון

כפי שראיתם בפרק ג', סיסי הכוריון שמקורם עוברי הם חלק מהשליה (ראו איור ג-14). בין השבועות 10-12 של ההיריון אפשר להוציא קטע מסיסי הכוריון שבשליה. בתאים שהוצאו בודקים הימצאות סימנים למחלות תורשתיות בעובר. כמו כן בודקים את מספר הכרומוזומים ואת המבנה שלהם בדומה לבדיקת מי השפיר.

כשיש צורך לבדוק את תאי העובר, איזה מהבדיקות עדיף לבצע - בדיקת סיסי

?

כוריון או בדיקת מי שפיר

בטבלה ד-1 מובאת השוואה בין שתי הבדיקות.

טבלה ד-1: השוואה בין בדיקת סיסי כוריון ובדיקת מי שפיר

בדיקת מי שפיר	בדיקת סיסי כוריון	
שלב מאוחר יחסית של ההיריון (שבוע 15-20). האם מרגישה את תנועות העובר וההיריון נראה לעין.	שלב מוקדם יחסית של ההיריון (שבוע 10-12), לפני שהאם מרגישה את תנועות העובר וההיריון עדיין אינו נראה לעין.	עיתוי הבדיקה
סיכון קטן יחסית (1:200).	סיכון גדול יחסית (1:100).	הסיכון להפלה עקב ביצוע הבדיקה
במי השפיר מרחפים רק תאי העובר, ויש ביטחון שהתאים הנבדקים הם ממוצא עוברי ולא ממוצא אימהי.	אם העובר אינו תקין ניתן לבצע הפלה. מבחינה פיזית ונפשית הפלה קלה יותר מלידה.	יתרון
אם העובר אינו תקין הפלה אינה אפשרית בשלב זה וצריך לבצע לידה מוקדמת. לידה כזאת היא קושי רגשי ופיזי להורים.	פרט לסיכון הגדול יחסית להפלה, יש סכנה שבטעות יילקחו מסיסי הכוריון תאים ממוצא אימהי. אם העובר היא תינוקת קשה להבחין בטעות, וקיימת אפשרות לקבלת החלטה מוטעית.	חסרון

ההחלטה איזו בדיקה לבצע והאם להמשיך בהיריון כאשר מתגלה בעיה בעובר נתונה, כמובן, להורים.

בדיקת מי שפיר מומלצת כיום לנשים מעל גיל 35. ידוע שבגילאים אלה השכיחות של תאי ביצה עם 24 כרומוזומים גדולה בהשוואה לשכיחות אצל נשים צעירות יותר. בבדיקת סיסי הכוריון ובבדיקת מי השפיר רואים את הכרומוזומים של העובר ואפשר לדעת בוודאות אם מערך הכרומוזומים שלו תקין. שתי הבדיקות מאפשרות לזהות באמצעות בדיקה מיקרוסקופית של הכרומוזומים מגוון של מחלות תורשתיות בעובר. בדיקות אלה חשובות בעיקר כאשר ידוע שיש במשפחה מחלה תורשתית או כאשר האם מבוגרת. אחת הסיבות הנפוצות לביצוע הבדיקה היא איתור עוברים הסובלים מתסמונת דאון.

מהי תסמונת דאון?

עובר הנושא בתאיו שלושה עותקים של כרומוזום מספר 21 במקום שניים סובל משורה של פגמים גופניים ושכליים המהווים יחד את תסמונת דאון (Down's Syndrome). השיבוש במספר הכרומוזומים נוצר עקב תקלה במהלך המיזוג (בדרך כלל אצל האם) שבגללה נוצר תא רבייה שיש בו שני כרומוזומים מספר 21 במקום כרומוזום אחד, ובסך הכול יש בו 24 כרומוזומים במקום 23 ($n+1$ כרומוזומים). העובר שנוצר מתא רבייה כזה קיבל שני כרומוזומים 21 מאמו ואחד מאביו. לעובר כזה יהיו, אם כך, שלושה עותקים של כרומוזום 21 במקום שניים, ומספר הכרומוזומים בתאיו יהיה 47 במקום 46 ($2n+1$ כרומוזומים). יש לציין שתקלה מסוג זה עלולה לקרות גם בכרומוזומים אחרים, אך ברוב המקרים האלה העובר לא יתפתח ותתרשש הפלה טבעית. לילדים עם תסמונת דאון יש דרגות שונות של פיגור שכלי ומומים גופניים שונים. כאשר דרגת הפיגור השכלי אינה חמורה במיוחד אפשר לשלב ילדים אלה בעבודה

ובחברה, להקנות להם כישורי חיים ולאפשר להם לחיות חיים עצמאיים למדי כבוגרים. מקצתם אף מתגייסים כמתנדבים לשירות בצה"ל.

על פי מחקר שנערך באנגליה ופורסם בשנת 2009, האפשרות לדעת מראש אם יש לעובר תסמונת דאון הביאה לירידה של ממש במספר התינוקות שנולדו עם תסמונת זאת. אלמלא אפשר היה לבצע בדיקות אלה, צפוי היה שאחוז התינוקות עם תסמונת דאון היה גדל, משום שנשים רבות יולדות כיום בגיל מבוגר שבו ההסתברות להתהוות תאי רבייה עם 24 כרומוזומים גבוהה יותר.

בשל הסיכון הכרוך בבדיקת סיסי כוריון ובבדיקת מי שפיר מוצע גם מגוון של בדיקות דם ביוכימיות, הנעשות במהלך ההיריון, ואשר יכולות להצביע על ההסתברות ללידת תינוק עם תסמונת דאון. בדיקות ביוכימיות אלה מאפשרות לשקול בזהירות האם לבצע גם בדיקה פולשנית שאמנם יש סכנה בצדה, אך היא מספקת תשובה ודאית לגבי מערך הכרומוזומים של העובר ויכולה למנוע לידת ילד פגוע.

22. הטכנולוגיה מסייעת אך גם יוצרת דילמות

מרחב האפשרויות העומדות כיום בפני הורים מאפשר פתרון של בעיות אך מעורר גם דילמות קשות. בסעיף זה נבחן כמה מהן.

הפסקת ההיריון: כן או לא?

האפשרות לבצע **הפסקת ההיריון (הפלה)** בלי לגרום לסיכון גבוה של האם גרם לכך שנשים או זוגות שנכנסו להיריון ואינם רוצים להמשיך אותו מסיבות שונות (קשיים כלכליים, פערי גיל קטנים בין הילדים במשפחה וכדומה) בוחרים לבצע הפסקת ההיריון. לטענתם לפרט יש זכות על גופו: במקרה זה - זכות האישה להחליט האם להמשיך בהיריון וללדת או להפסיק את ההיריון.

לעומתם אנשים רבים רואים בסיום ההיריון כאשר העובר בריא - מעשה לא מוסרי שמשמעותו הריגה של נפש.

החוק במדינת ישראל אינו מתיר הפלות, אלא כאשר יש סיבה מוצדקת כמו מחלה או מום מהותי בעובר, סכנת חיים לאם או סכנה לפגיעה גופנית או נפשית לאם. על פי החוק הפסקת ההיריון טעונה אישור של ועדה להפסקת ההיריון הכוללת רופאים מומחים ועובדים סוציאליים.

להפסקת ההיריון יש גם **היבט דתי**. שלוש הדתות - היהדות, הנצרות והאיסלאם - רואות את הפסקת ההיריון באופן דומה: הן מתירות הפסקת ההיריון כאשר קיימת סכנה ממשית לחייה של האם. כאשר הסיבה להפסקת ההיריון שונה, כמו פגם מהותי בעובר או מצוקה כלכלית או נפשית של המשפחה, אין אחדות דעים בין הדתות ומנהיגיהן הרחננים.

למי שייך עובר שהוקפא?

כפי שנאמר קודם, **עוברים עודפים** שנוצרו בהפריה חוץ-גופית מוחזקים בהקפאה עמוקה. היכולת הטכנולוגית להחזיק בהקפאה עובר שכל גודלו ארבעה או שמונה תאים, מעוררת לעתים דילמות לא פשוטות. העובר שנמצא במשמורת מחוץ לגוף האם יכול להפוך לסלע מחלוקת בין בני זוג שהתגרשו ושיש להם עוברים שהוקפאו. מה עושים אם הורה אחד רוצה בילדים, ואילו ההורה השני מתנגד לשימוש בעוברים? למי שייכים העוברים המוקפאים אם ההורים נפטרים? ולא פחות חשוב: מהי טובת הילד שאולי ייוולד?

בהריונות טבעיים, כשהעובר ברחם אמו, הוא במובן מסוים חלק ממנה. לפיכך אי אפשר לקבל הכרעות לגבי העובר בניגוד לרצון האם. לאם, כמו לכל אדם, זכות יסוד: זכות האדם על גופו. דבר זה מוצא את ביטויו בגישה הטוענת שאין לאיש זכות לכפות הפלה על אישה או למנוע ממנה לעשות הפלה. אולם כאשר העובר נמצא מחוץ לגוף אמו - בהקפאה עמוקה - המצב שונה לחלוטין.

דילמה

מקרה שאירע בארץ בשנות ה-90 של המאה ה-20: בני זוג נשואים ביקשו ללדת ילדים אבל נאלצו לעבור טיפולי הפריה חוץ-גופית. אף טיפול לא הצליח, אך נשארו כמה עוברים מוקפאים השייכים לבני הזוג. כעבור זמן מה התגרשו בני הזוג. הגבר התחתן בשנית והוליד ילדים. האישה נותרה חשוכת ילדים והחליטה ללדת ילד או שניים מהעוברים המוקפאים שנשמרו. כשנודע על כך לבעל לשעבר, הוא הודיע על התנגדותו הנחרצת והשניים הגיעו לבית המשפט.

שאלה ד-4

- א. אילו טענות יכול כל אחד מבני הזוג לטעון כחיזוק לדרישתו?
- ב. לו היה הדבר בידכם, כיצד הייתם פוסקים? נמקו את החלטתכם.

ריבוי עוברים: ברכה או סכנה?

דילמה נוספת יכולה להתעורר בעקבות טיפולים שנועדו לגרום להבשלת זקיקים. בטיפולים כאלה משתמשים בכמות גדולה של הורמונים שגורמים להבשלה של כמה זקיקים ולחריגה של כמה תאי ביצה בזמנית. אם מתרחשת הפריה, היא עשויה להוביל להיריון רב-עוברים - חמישה עוברים ואף יותר.

כאשר מבצעים הפריה חוץ-גופית מחדירים 3-5 עוברים לרחם בתקווה שלפחות אחד מהם יתפתח, אולם ייתכן שכל השלושה יתפתחו וההיריון יהיה רב-עוברים. היריון רב-עוברים מעורר דילמה קשה: ככל שמספר העוברים גדול יותר, עולה הסיכון לאם ולעוברים שכן סיכויי העוברים להתפתח כראוי ברחם ולהשלים בו את התפתחותם קטנים. הרופאים נוטים להמליץ על טיפול שיקטין את מספר העוברים (טיפול המכונה דילול עוברים). טיפול זה נעשה בשלב מוקדם מאוד של ההיריון, כאשר העוברים נמצאים בשלבי התפתחות ראשוניים ביותר. הקטנת מספר העוברים מבטיחה התפתחות תקינה של שניים או שלושה עוברים, וכן לידה במועד וסיכון מופחת ללידת פגים. יש זוגות שמתקשים או אף מסרבים

לקבל את ההמלצה הזו, כי דילול עוברים נחשב בעיניהם להמתה של מי שיכולים להיות ילדיהם. הדילמה במקרה כזה חריפה במיוחד משום שהשארית עוברים מרובים ברחם מסכנת גם את חיי האם.

אנו רואים אפוא כי ליישומים הטכנולוגיים ברפואה יש שני פנים: מצד אחד, הטכנולוגיה פותרת בעיות ומצוקות קשות, ומהצד האחר, הפתרונות עלולים לעורר דילמות מוסריות חדשות. כדאי שכולנו נהיה מודעים למשמעות השימוש בטכנולוגיה ולבעיות שעלולות להתעורר בעקבותיה. ידע מוקדם עשוי לעזור לנו להתמודד עם הדילמות שאנו עלולים לפגוש במהלך חיינו.

37. תכנון משפחה

תכנון המשפחה לא היה נפוץ בעבר. הסיבות לכך היו רבות ומגוונות, ביניהן שיעור תמותה גבוה של תינוקות וילדים צעירים, אמונה דתית וחוסר ידע. כיום תכנון המשפחה נפוץ בקרב אוכלוסיות שונות ובחלקים נרחבים בעולם. יחד עם זאת זהו נושא מעורר מחלוקת.

בעידן המודרני רוב הילדים הנולדים מגיעים לבגרות, ומספר הילדים ומועדי היוולדם ניתן לקביעה באמצעים שונים על ידי בני הזוג. היריון לא מתוכנן ולא רצוי יכול להיות עול על המשפחה ועל היחיד וגם להשפיע לרעה על הילד אם ייוולד. גורם נוסף המשפיע על הרצון לתכנן את גודל המשפחה הוא השינוי בחלוקת התפקידים במשפחה: במשפחות רבות כיום שני ההורים עובדים מחוץ לבית לפרנסת המשפחה ולכן גם התפתחות מקצועית היא שיקול בתכנון גודל המשפחה ומועד לידת הילדים.

אמצעים למניעת היריון פותחו, כפי ששמש מעיד עליהם, כדי למנוע היריון לא רצוי. מבין האמצעים והשיטות המקובלים אין אף אמצעי המקנה ביטחון מוחלט, כמו כן אין שיטה אחת המתאימה לכולם. לכל אחת משיטות המניעה יש יתרונות וחסרונות. בחירת שיטת המניעה המתאימה ביותר חייבת להיעשות בהדרכה ובייעוץ רפואי.

השיטות למניעת היריון מבוססות בעיקר על עקרונות אלו:

- מניעת מגע בין תאי הזרע לתא הביצה הבשל
- הפרת המאזן ההורמונלי במערכת הרבייה
- מניעת ההשרשה של העובר ברחם.

הקונדום הוא אמצעי למניעת היריון המונע מגע בין תאי הזרע לתא ביצה בשל יתרונו הגדול הוא בזמינותו. נוסף לכך, זהו אמצעי המניעה היחיד שביכולתו למנוע גם העברה של מחלות דרך אברי הרבייה. הקונדום הוא שקיק גומי גמיש המולבש על הפין ומונע מגע ישיר בין איברי הרבייה של בני הזוג. יעילותו של הקונדום במניעת היריון אינה גבוהה (כ-85%), אך אם קיים חשש שאחד מבני הזוג הוא נשא של מחלת מין כלשהי, לרבות איידס, הקונדום הוא האמצעי המתאים ביותר להשגת שתי המטרות. יחד עם זאת יש לזכור שהקונדום עלול להיקרע או לדלוף ואז הוא חסר ערך לחלוטין.

הדיאפרגמה היא אמצעי מניעה נוסף המונע מגע בין תאי הזרע לתא הביצה הבשל, ובניגוד לקונדום היא מיועדת לאישה. הדיאפרגמה היא מחיצה עשויה מחומר סינתטי המונחת על



פני צוואר הרחם ומונעת כניסה של תאי הזרע לרחם. השימוש בדיאפרגמה הרבה פחות נפוץ מהשימוש בקונדום. יעילותה נמוכה יותר, וכדי לשפר את יעילותה מומלץ להשתמש בה במשולב עם אמצעים אחרים.



גלולות למניעת היריון הן אמצעי למניעת היריון המשנה את המאזן ההורמונלי במערכת הרבייה. הגלולות הן האמצעי היעיל ביותר למניעת היריון (יעילותן מוערכת בכמעט 100%) והנפוץ ביותר, אך הן אינן מונעות הידבקות במחלות העוברות במגע מיני. קיימים סוגים שונים של גלולות, אך עקרון פעולתן הוא דומה: כולן מכילות הורמונים מקבוצת האסטרוגן או מקבוצת הפרוגסטרון שבהשפעתם נמנע הביוץ (למעשה, נמנעת העלייה החדה ברמת ה-LH בדם הגורמת לביוץ). בהיעדר ביוץ לא מתאפשר היריון. הגלולות נלקחות במשך 21 יום שבמהלכם רירית הרחם מתפתחת בהשפעת ההורמונים שבגלולות. לאחר 21 יום מפסיקים לקחת את הגלולות למשך 7 ימים וכתוצאה מכך רירית הרחם נושרת ויש דימום. כלומר, נוצר מחזור וסת מלאכותי ללא ביוץ.

השימוש בכל סוג של גלולות שונה, וחשוב מאוד להקפיד על נטילתן על-פי ההוראות. לגלולות שונות עלולות להיות השפעות לוואי בלתי נעימות, לכן לאחר ייעוץ רפואי שבו הותאם לאישה סוג מסוים של גלולות, חשוב לעקוב אחרי השפעותיה של הגלולה על האישה ולוודא שהגלולה אכן מתאימה לה.

הגלולות הנמצאות כיום בשימוש מיועדות רק לנשים. במשך שנים נעשים ניסיונות לייצר גלולות לגברים, אך אין עדיין מידע מספק בדבר יעילותן של אלה שכבר פותחו והשימוש בהן מועט ביותר.

התקן תוך-רחמי הוא אמצעי למניעת היריון המונע את השרשת העובר ברחם. זהו מתקן העשוי מחומר פלסטי, מנחושת או מפלדת אל-חלד, המוכנס לתוך חלל הרחם בתהליך רפואי, ויכול להישאר ברחם מספר שנים. ההתקן גורם לשינויים ברירית הרחם ומונע מהעובר להשתרש ברחם. יעילות ההתקן התוך-רחמי במניעת היריון גבוהה (כ-95%), אך הוא אינו מתאים לנשים שטרם ילדו והוא דורש פיקוח רפואי.

שאלה ד-5



הביוץ אינו מתרחש במהלך היריון וכן כתוצאה מלקיחת גלולות למניעת היריון. הסבירו מה משותף לשני המצבים ותארו כיצד נמנע הביוץ בשניהם.

שאלה ד-6



- א. הביאו שתי עובדות ביולוגיות מהקטע העוסק בגלולות המעידות על כך שהגלולות מיועדות רק לנשים.
- ב. על פי מה שלמדתם על ייצור תאי הזרע ותפקודם, מה יכול להיות עקרון הפעולה של גלולה לגבר? הסבירו.
- ג. חוקרים מנסים לפתח גלולה למניעת היריון עבור גברים: הגברים יבלעו מדי יום גלולה שתמנע (באופן זמני) את ייצור תאי הזרע. האם חשוב, לדעתכם, לפתח גלולה כזו? נמקו.

מעניין לדעת

**ה"ימים הבטוחים" אינם בטוחים!**

כפי שלמדתם בפרק ג', בערך ביום ה-14 של מחזור הווסת חל הביוץ ומאותו רגע ובמשך כ-24 שעות, תא הביצה זמין להפריה. לאחר מכן הוא מתפרק. רבים סוברים שאפשר להימנע מהיריון על-ידי שימוש בשיטה המכונה "ימים בטוחים". בשיטה זו מקיימים יחסי מין רק באותם ימים בחודש שבהם לא יכולה לחול הפריה. בכל חודש יש יממה אחת שהיא המתאימה ביותר להתרחשות הפריה. יחד עם זאת חשוב לזכור שמאחר שתא זרע נשאר חיוני כ-4 ימים, הרי שאם הוא נמצא ברחם 2-3 ימים לפני הביוץ הוא יכול להפרות תא ביצה וכתוצאה מכך יכול להתפתח היריון. לכן יש להימנע מיחסי מין כ-4 ימים בכל חודש.

כפי שראינו, מספר ימי המחזור אינו אחיד, אפילו אצל אותה אישה. בוודאי שאי אפשר להסתמך על המספר 28 (ימים) שהוא משך מחזור ממוצע שמבוסס על הרבה מאוד מחזורים אמיתיים של הרבה מאוד נשים. ברור שכאשר אורך המחזור אינו 28 ימים גם הביוץ לא יחול ביום ה-14, ולכן קשה לדעת מתי בדיוק חל הביוץ. קשה להבין מדוע השיטה הזו עדיין נפוצה, גם כאשר ידוע מזה זמן רב שאי אפשר לבטוח בה (יעילותה מוערכת בכ-70%). הריונות בלתי מתוכננים רבים הם תוצאה של הסתמכות על "ימים בטוחים".

עיקרי הנושאים בפרק

- הרפואה המודרנית בשילוב טכנולוגיה מתקדמת, מצליחה כיום לעזור לזוגות רבים חשוכי ילדים להיות הורים לילד משלהם בדרכים שלא היו אפשריות בעבר.
- הפריה חוץ-גופית היא הפריה שמתרחשת מחוץ לגוף האישה. היא מתאימה לזוגות שמסיבה כלשהי אינם מצליחים להרות באופן טבעי ובמקרים שבהם יש במשפחה מחלה תורשתית אותה ניתן לבדוק בשלבים מוקדמים אחרי ההפריה.
- לטכנולוגיה של הפריה חוץ-גופית שימושים נוספים: הפריה מלאכותית, פונדקאות, היריון מתרומת תא ביצה ואיתור פגמים תורשתיים בעובר.
- במהלך ההיריון ניתן לברר את תקינות העובר באמצעות בדיקת סיסי הכוריון או בדיקת מי השפיר.
- האפשרויות הטכנולוגיות העומדות כיום לפני הורים מאפשרות פתרון של בעיות, אך מעוררות גם דילמות קשות.
- האמצעים הנפוצים למניעת היריון לא רצוי הם הקונדום, הגלולה וההתקן התוך-רחמי. הקונדום הוא גם אמצעי למניעת הידבקות במחלות המועברות באמצעות מגע מיני כגון איידס.
- שיטת ה"ימים הבטוחים" היא שיטה מאוד לא בטוחה למניעת היריון.

מושגים חשובים בפרק



אמצעים למניעת היריון
בנק הזרע
גלולה למניעה היריון
הפסקת היריון (הפלה)
הפריה חוץ־גופית
הפריה מלאכותית
הקפאת עוברים
הקפאת תאי רבייה
סיסי כוריון
עוברים עודפים
פונדקאות
שפיר, מי(נוזל)
תכנון משפחה
תרומת תאי ביצה (ביציות)



רבייה בבעלי חיים



רבייה זוויגית



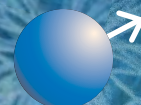
1. לקראת רבייה
2. רבייה בבעלי חיים במים
3. רבייה בבעלי חיים ביבשה
4. היבטים אבולוציוניים של רבייה זוויגית בבעלי חיים

רבייה אל-זוויגית

5. רבייה אל-זוויגית על ידי חלוקה או הנצה
6. רביית בתולים
7. רבייה אל-זוויגית בשיטות ביוטכנולוגיות

עיקרי הנושאים בפרק
מושגים חשובים בפרק

ה



פרק ה: רבייה בבעלי חיים

רבייה זוויגית

בפרקים ג' וד' למדנו בפירוט על רביית האדם. בפרק זה תתואר השונות הרבה הקיימת בדרכי הרבייה הזוויגית של החולייתנים וההתאמה בין דרכי הרבייה שלהם וסביבת חייהם.

חלק זה של הפרק מוקדש לרבייה בבעלי חיים מקבוצת **החולייתנים**. החולייתנים הם בעלי חיים בעלי עמוד שדרה המורכב מחוליות, ומכאן שמם. בחולייתנים נכללות חמש מחלקות: דגים, דו-חיים, זוחלים, עופות ויונקים.

ה1. לקראת רבייה

מהלך חייו של בעל חיים מתחיל עם לידתו ומסתיים במותו. באיזה גיל הפרט מתחיל להתרבות? האם הוא מתרבה בעונה מסוימת או בכל עונות השנה?

ה1.1 בגרות מינית

רוב בעלי החיים אינם מוכנים לרבייה מיד בתחילת חייהם. במינים רבים מערכת הרבייה קיימת בעת הלידה אך היא עדיין לא פעילה (בדומה למצב בבני אדם). כדי שהמערכת תוכל לתפקד דרושים תהליכי התפתחות. השלב במחזור החיים שממנו ואילך הפרט מסוגל להתרבות ברבייה זוויגית נקרא **בגרות מינית**. גיל הבגרות המינית ייחודי לכל מין ביולוגי (species), והוא נקבע על פי **גורמים פנימיים-תורשתיים**, כמו תוחלת חיים, ומושפע מאוד מ**גורמים חיצוניים-סביבתיים**, כמו טמפרטורה וזמינות מזון (טבלה ה-1).

טבלה ה-1: גיל הבגרות המינית של יונקים ממינים שונים ותוחלת חייהם

המין הביולוגי	גיל הבגרות המינית	תוחלת החיים הממוצעת (בשנים)
עכבר	חודשיים	2-3
שימפנזה	7-8 שנים	50
בני אדם	נערה 9-13 שנים נער 11-15 שנים	65 (ממוצע כלל-עולמי)*
פיל	15 שנים	60

* תוחלת החיים של בני אדם בישראל ובארצות מפותחות גבוהה מהממוצע העולמי ומגיעה לכ־80 שנה.

מהנתונים בטבלה ה-1 אפשר לראות שיש קשר בין גיל הבגרות המינית לבין תוחלת החיים: בדרך כלל בעלי חיים מאריכי ימים מגיעים לבגרות מינית מאוחר יותר מבעלי חיים שתוחלת החיים שלהם קצרה.

רוב מיני החולייתנים מתרבים כמה פעמים במהלך חייהם. מספר הפעמים שפרט מתרבה במהלך חייו שונה ממין למין וישנם יוצאים מן הכלל כמו דגי סלמון המתרבים רק פעם אחת במהלך חייהם.

מעניין לדעת



פעם אחת ודי...

דגי סלמון הנפוצים בחופי צפון אמריקה וצפון אירופה מבליים את השנים הראשונות לחייהם בנחלים של מים מתוקים. כעבור 2-3 שנים הם יוצאים למימי האוקיינוס, שם הם מגיעים לבגרות מינית. כעבור כמה שנים חוזרים דגי הסלמון לאותו נחל שבו בילו את שנות חייהם הראשונות (איור ה-1). המסע שאורכו מאות ואף אלפי קילומטרים, מהאוקיינוס לנחל והשחייה נגד הזרם במעלה הנחל מתישים את כוחותיהם ורבים מהם אינם שורדים את המסע. נוסף על כך, דובים החיים באזורים אלה ממתינים לדגים המותשים ומשביעים את רעבונם בבשרם לקראת החורף. הפרטים המעטים שמצליחים להגיע למקום הולדתם מתרבים ומתים. הדרך המופלאה שבה מזהים דגי הסלמון את מקום הולדתם וחוזרים אליו לאחר שנים אחדות עדיין איננה ברורה לגמרי.

רעיון מרכזי

אבולוציה:

אחוז דגי הסלמון המצליחים לחזור למקום הולדתם ולהתרבות בו הוא קטן ביותר. התהליך הארוך והמתיש הוא דוגמה לכוחה של הברירה הטבעית.



איור ה-1: מימין - דגי סלמון שוחים במעלה הנחל; משמאל - דג סלמון נאכל על ידי דוב

ה-2.1 עונת הרבייה

באדם הרבייה אינה קשורה לעונה מסוימת, אלא יכולה להתקיים כל השנה. לעומת זאת רוב מיני בעלי החיים, גם אחרי שהגיעו לבגרות מינית, אינם מסוגלים להתרבות כל השנה, אלא רק בעונת הרבייה שלהם. הרבייה ביבשה מושפעת מאוד מהשינויים בתנאי הסביבה הנובעים מהעונות (חילופי העונות): על פי רוב עונת הרבייה של כל מין מתוזמנת כך שהצאצאים יצאו לאוויר העולם בעונה שבה המזון זמין ומזג האוויר נוח. בדו-חיים למשל, מועד הרבייה נקבע בעיקר על פי מועד ירידת הגשמים והתמלאות שלוליות החורף וגם על פי טמפרטורת הסביבה.

מעניין לציין שמיני זוחלים החיים באזורים טרופיים, שבהם אין הבדלים ניכרים בין העונות, מתרבים כל השנה.

עונתיות הרבייה בבעלי חיים, בפרק ז', עמוד 146, בפרק ח' עמוד 176.

ברוב מיני בעלי החיים ניתן להבחין בשינויים עונתיים במערכת הרבייה, המושפעים מגורמים סביבתיים כמו אורך היום (משך שעות האור), טמפרטורה, זמינות המזון ואיכותו ועוד.

מעניין לדעת

השפעת האור על רבייה בציפורים

השפעת גורמים סביבתיים על מערכת הרבייה נחקרה בצורה מעמיקה. אחד המחקרים החלוציים בתחום זה נעשה בשנת 1924 על ידי חוקר קנדי בשם **ויליאם רואן** (William Rowan). בניסוי הוחזקו שתי קבוצות ציפורים מאותו מין ביולוגי בכלובים: לקבוצת הניסוי הגדיל החוקר את מספר שעות האור על ידי תאורה מלאכותית, ואילו לקבוצת הביקורת, לא ניתן טיפול נוסף. חוץ מתוספת התאורה התנאים שניתנו לשתי הקבוצות היו זהים. כעבור זמן מה, כאשר נבדקו ציפורים זכרים משתי הקבוצות, נמצא שבקבוצת הניסוי חל גידול ניכר באשכי הזכרים לעומת גודל האשכים בזכרים מקבוצת הביקורת.

מסקנת החוקר הייתה שמספר שעות האור (ובתנאים טבעיים - אורך היום, המשתנה עם עונות השנה) הוא גורם המשפיע באופן משמעותי על שינויים עונתיים במערכת הרבייה בעופות.

הידע על ההשפעות הסביבתיות על תהליך הרבייה מיושם במשקים החקלאיים באופן מעשי. למשל, בלולים משתמשים בתאורה מלאכותית ליצירת משטר הארה של 14-16 שעות אור ביממה לאורך כל השנה. פעולה זאת מאפשרת לחקלאים לספק ביצים כל השנה.

התערבות האדם ברביית בעלי חיים, בפרק ז', עמודים 146-151.

שאלה ה-1

מיני יונקים החיים באזורים מדבריים ממליטים בעיקר בעונת החורף. לעומת זאת, מיני יונקים החיים באזורים ממוזגים ממליטים בעיקר באביב ובקיץ. הסבירו את הקשר בין עונת ההמלטה לבין התנאים בבית הגידול.

3.1 ה סימני זיווג משניים

באדם קל להבחין בין גברים לנשים הודות להבדלים ב**סימני הזיווג המשניים**. תופעה זו מוכרת גם בקרב חלק מבעלי החיים. לעתים קרובות הזכרים הבוגרים צבעוניים ו"מקושטים" יותר מהנקבות. הרעמה המאפיינת את האריה הבוגר, הקרניים של היחמור הזכר וכמובן הזנב המפואר של הטווס הזכר הם כולם דוגמאות לסימני מין משניים.



איור ה-2: קרניים כסימן זוויג משני אצל יחמורים בחיבר בכרמל מימין: הזכרים הבוגרים מצוידים בקרניים, משמאל: הנקבות והצעירים חסרי קרניים

מהי תרומת סימני הזוויג המשניים להצלחת תהליך הרבייה?!

סימני הזוויג המשניים תורמים ככל הנראה להבחנה בין פרטים צעירים (שאינם מסוגלים עדיין להתרבות) לבין פרטים בוגרים וכן להבחנה בין נקבות לבין זכרים. הבחנות אלו מקטינות את הסיכוי לשגות באיתור בן או בת הזוג המתאימים לתהליך הרבייה ובכך נחסכת אנרגיה.

4.1 תקשורת בין זכרים לבין נקבות

גורם חשוב להצלחת תהליך הרבייה הוא מפגש מתואם ויצירת קשר בין זכרים לנקבות השייכים לאותו **מין ביולוגי**. כיצד נוצר קשר שכזה?

יש מינים שבעונת הרבייה חלים בהם שינויים במראה, בהתנהגות או בשניהם. באמצעות השינויים האלה זכרים ונקבות מאותתים אלו לאלו על מידת המוכנות שלהם לרבייה. האיתותים הללו (נוסף על סימני הזוויג המשניים) משמשים **לתקשורת**, ובאמצעותם יכולים הפרטים לאתר זה את זה. התקשורת בין הזכר לנקבה חשובה במיוחד אצל בעלי חיים החיים בבדידות ביתר עונות השנה. איתותים אלה גם מאפשרים לפרט, בדרך כלל לזכר, להעיד על "איכותו" כבן זוג ראוי לרבייה ולעודד את הבחירה בו על פני בחירת זכרים אחרים.

מכלול ההתנהגויות הקשורות במשיכת בן או בת הזוג מכונה **חיזור**. ברוב בעלי החיים הזכר הוא המחזר והנקבה בוחרת. בתקופת הרבייה מתקיימת במינים רבים תחרות עזה בין הזכרים על ה"זכות" להפרות את הנקבות, והיא מסתיימת לעתים בפציעה של הזכרים המתחרים.

התקשורת בין הזוויגים נעשית באמצעים שונים כפי שמוצג בטבלה ה-2 בעמוד הבא.

טבלה ה-2: תקשורת בין זכרים לבין נקבות לקראת הרבייה

דוגמאות	סוג התקשורת
<u>מבנים וצבעים</u> - הזכר של הפריגטה הגדולה (Great frigate) מנפח את חזהו האדום לפני הנקבה. - צבע ראשו של חרדון סיני, שהוא חום במשך רוב השנה, משתנה בעונת הרבייה והופך כחול. - טווס זכר פורש את זנבו לפני הנקבה.	חזותית
<u>התנהגות (חיזור)</u> - עקרב זכר מתייצב מול הנקבה ומנסה לתפוס את צבתותיה. אם הנקבה אינה מוכנה לרבייה היא לא נענית לזכר. - החנקן (מין ציפור) מביא מזון שלכד כ"שיי" לנקבה. - חסידות ועגורים מבצעים ריקוד מאוד מורכב כחלק מתהליך החיזור.	קולית
- קרפד זכר משמיע קרקורים המזוהים על ידי נקבות בנות מינו. - זכרים של ציפורי שיר כגון שחרור ידועים בשירתם הנאה המושכת אליהם נקבות. - לווייתנים משמיעים קולות בעונת החיזור. - צרצרים משנים את מקצבי צרצוריהם ועצמתם. - לצבי בוגר קול צעדים עמוק מזה של צבי צעיר וקצב צעדיו מהיר יותר.	כימית
- כלבות (נקבות) מיוחמות מפרישות בשתן חומר בעל ריח מיוחד - פרומון המושך אליהן את הכלבים הזכרים. - נקבות של דגים מפרישות למים פרומון והזכרים בתגובה מפרישים למים את תאי הזרע. - פילות ונאקו (נקבות הגמל) מושכות את הזכרים בעזרת התזת שתן. הזכרים טועמים ממנו ויודעים אם הנקבה מוכנה להזדווגות ולהיריון.	



זכר פריגטה מנפח את חזהו



טווס זכר פורש את זנבו

שאלה ה-2



עיינו בטבלה ה-2 וציינו:

- א. אילו אמצעי תקשורת משמשים לאיתור בן הזוג?
- ב. אילו אמצעי תקשורת משמשים לבחירה בפרט מסוים כבן זוג ולא באחר?

על מושגים

פרומון

פרומונים הם חומרי ריח המשמשים לתקשורת בין פרטים מאותו מין ביולוגי. הפרומונים מופרשים בזיעה, בשתן וברוק מפרט אחד ונקלטים על ידי קולטנים בתאי החוש של פרטים אחרים מאותו מין ביולוגי. קליטת הפרומונים מעוררת תגובה אצל הפרט הקולט. פרומונים משמשים לסימון טריטוריה, לאזהרה מפני סכנות ולמציאת בני זוג. לא במקרה השם פרומונים מזכיר הורמונים, אך בשונה מההורמונים המשמשים לתקשורת בין חלקים בתוך הגוף, הפרומונים משמשים לתקשורת בין פרטים.

2. רבייה בבעלי חיים במים

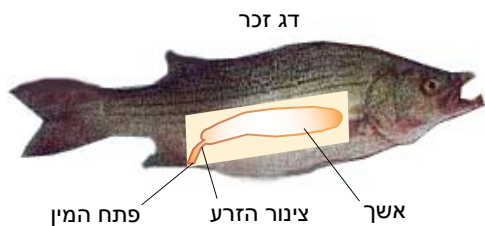
מגוון החולייתנים במים הוא גדול מאוד ואפשר למצוא בקרבם דרכי רבייה שונות. לרוב מיני הדגים והדו-חיים מערכות רבייה פשוטות וההפריה היא **הפריה חיצונית** - המפגש בין תאי הרבייה נעשה במים, מחוץ לגופם של הזכר והנקבה. תאי הרבייה והעובר המתפתח לאחר ההפריה אינם חשופים לסכנת התייבשות. עם זאת, יש סכנה שתאי הרבייה יסחפו בזרמי המים ויתפזרו, וכך יקטן הסיכוי למפגש ביניהם ולהפריה.

מה מגדיל את הסיכוי שתאי רבייה מתאימים ייפגשו זה עם זה כאשר ההפריה היא חיצונית?!

ישנם כמה גורמים המגדילים את ההסתברות למפגש בין תאי רבייה של אותו מין ביולוגי ולהתרששות הפריה:

1. הכמות העצומה של תאי רבייה - מיליונים רבים - המשתחררת למים בעונת הרבייה מגדילה את הסיכוי למפגש ולהפריה.
2. הפרטים המתרבים ביניהם חיים על פי רוב בסמיכות אלה לאלה.
3. בכל אוכלוסייה תאי הרבייה הנקביים והזכריים משתחררים אל המים באותו זמן בערך.
4. אמצעי תקשורת קוליים, כימיים או חזותיים מסייעים להפגשת הזכרים עם הנקבות.
5. אמצעי תקשורת כימיים מסייעים להפגשת תאי הזרע עם תאי הביצה ולהתלכדותם.

1.2. רבייה בדגים



איור ה-3: מערכת רבייה בדגים

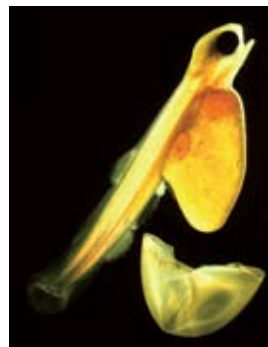
מערכת הרבייה של דג נקבה כוללת זוג שחלות שבתוכן נוצרים תאי ביצה וזוג צינורות מובילים דקים, המסתיימים יחד ב**פתח מין חיצוני**. מערכת הרבייה של דג זכר כוללת זוג אשכים שבתוכם נוצרים תאי הזרע וזוג צינורות מובילים דקים הנקראים צינורות זרע, המסתיימים יחד בפתח מין חיצוני (איור ה-3).

בעונת הרבייה מיוצרים בשחלות ובאשכים תאי רבייה בכמויות עצומות והם נפלטים אל המים דרך פתחי המין החיצוניים. יש מיני דגים שבעונת הרבייה איברי הרבייה שלהם גדלים עד כדי כך שהם תופסים את מרבית חלל הבטן. משקל איברי הרבייה שלהם מגיע בתקופה זו ל-25%-40% ממשקל הגוף!

תאי הביצה של הדגים הם חסרי מעטפת (פרט לקרום התא), הם עגולים ומכילים חלמון שמשמש להזנת העובר שמתפתח מתא הביצה המופרה. מספר תאי הביצה הנוצרים בגוף הנקבה הוא גדול מאוד, אך מספר תאי הזרע הנוצרים בגוף הזכר גדול בהרבה ונאמד במיליונים רבים. תאי הזרע קטנטנים וכמו תאי הביצה, גם הם יכולים להתקיים רק בסביבה לחה. לכל תא זרע יש "ראש" ושוטון בעל כושר תנועה. בעזרת השוטון יכול תא הזרע להתקדם במים ולהגיע לתא הביצה.



לאחר שחרורם מהגוף, תאי הרבייה שומרים על חיוניותם במשך דקות אחדות עד כמה שעות. פרק זמן זה הוא חלון ההזדמנויות למפגש והתלכדות של תאי רבייה משני הזוויגים של אותו מין ביולוגי (species). הסיכוי למפגש בין תאי רבייה מתאימים בסביבה פתוחה כמו ים הוא קטן יחסית וכמובן שאין דבר שימנע מפגש אקראי בין תאי הרבייה של מינים ביולוגיים שונים שכידוע אינו מוביל להפריה. לאחר ההפריה קרום תא הביצה מתקשה מעט ומונע כניסה של תאי זרע נוספים.



דג סלמון בוקע מביצה

מעניין לדעת



הפריה פנימית במים

לעומת רוב הדגים שבהם מתקיימת הפריה חיצונית, במספר מיני דגים ההפריה היא פנימית. כאלה הם רבים ממיני הכרישים (כ-70% מהמינים) שבהם הזכר מעביר תאי זרע אל תוך גוף הנקבה ושם, בבטן מתפתחים הצאצאים בתוך ביצים. ברוב המינים הביצה שבתוכה מתפתח העובר מכילה חלמון רב המספק את צרכי העובר. בסיום ההתפתחות העוברית הצאצאים העצמאיים משחררים מגוף הנקבה. תופעה זו שבה עוברים מתפתחים בתוך גוף האם ויוצאים מגופה כצאצאים חיים לאחר שהשלימו את התפתחותם נקראת **השרצה**.

רעיון מרכזי

אחידות ושוני: הכרישים הם דגים, אולם ההפריה שלהם היא פנימית. הצעירים מתפתחים בביצים בתוך גוף האם.

2.2 רבייה בדו־חיים

קבוצה אחת מהחולייתנים היא מחלקת **הדו־חיים**. הצפרדעים, האילניות והקרפדות הם המוכרים ביותר מביניהם. הדו־חיים מבילים את רוב חייהם הבוגרים ביבשה, אך תלויים בסביבה מימית (כגון שלוליות) להתרבותם. זו הסיבה שהם חיים סמוך לבתי גידול מימיים. בעונת הרבייה דו־חיים מטילים את תאי הרבייה במים. ההפריה החיצונית והתפתחות העוברים והצעירים מתקיימות בסביבה המימית.

במיני צפרדעים, אילניות וקרפדות נמצא "שכלול" של תיאום הזמן והמקום של הפרשת תאי הרבייה. במינים אלה הזכר תופס את הנקבה ומחבק אותה, רוכב על גבה במים, שוחה עמה ואינו מרפה ממנה (איור ה-4). כאשר היא משחררת את תאי הביצה מפתח הביב מפריש הזכר את תאי הזרע למים.

בדו־חיים הצאצא הבוקע מתא הביצה המופרה נקרא **ראשן**. הראשנים עוברים שינויים הדרגתיים עד להפיכתם לדו־חיים בוגרים.



איור ה-4: "הזדווגות" בקרפדה
שימו לב! הזכר קטן בהשוואה לנקבה, המלאה באלפי תאי ביצה.

תלותם של הדו־חיים בסביבה מימית לרבייתם מכוונת את הרבייה לעונת שנה שבה יורדים גשמים והשלוליות מתמלאות במים. תלות זו מעמידה את אוכלוסיותיהם בסכנה במקומות שבהם השלוליות התייבשו עקב בצורת או עקב בנייה וסלילת כבישים. בארץ זה המצב באזור השרון וכיום נעשים מאמצים מיוחדים לשמירה על בתי הגידול המיוחדים האלה כדי למנוע הכחדה של מיני דו־חיים.

קשר לנושא

אקולוגיה:

מגוון ביולוגי - הרס של בתי גידול ייחודיים מסכן את המשך קיומם של מינים שונים, תוך פגיעה במגוון הביולוגי.

הרחבה

התפתחות מראשן לבוגר

תהליך ההתפתחות מראשן לבוגר והשינויים המתרחשים במהלכו מכונה **גלגול**. ראשנים הם יצורי מים מובהקים: יש להם זנב שלאורכו קרום שחייה וזימים (שהם איברים לחילוף גזים המאפיינים דגים) ואין להם גפיים. במהלך הגלגול (איור ה-5) הראשנים הופכים מבעלי חיים המותאמים לחיים במים לבעלי חיים המותאמים לחיים ביבשה.

בצפרדעים ובקרפדות שלבי הגלגול כוללים הופעת רגליים, התפתחות עפעפיים, ניוון הזימים והיעלמות הזנב, וגם שינויים בצבע ובמבנה העור. גם צינור העיכול עובר שינויים ניכרים: בראשנים, שהם צמחוניים, צינור העיכול ארוך מאוד ומקופל בתוך חלל הבטן; במהלך הגלגול לצורת הבוגר, צינור העיכול מתקצר מאוד.

כעבור כ־6 שבועות יוצאים הבוגרים הצעירים לחיים ביבשה. הם ניזונים מבעלי חיים ונושמים בעזרת ריאות שהיו קיימות אמנם בראשנים, אך במצב לא פעיל.

רעיון מרכזי

אבולוציה:
לווייתן ודולפין הם
דוגמאות לאורגניזמים
ימיים שהתפתחו
מאורגניזמים יבשתיים.



איור ה-6: יונקים ימיים
מימין: דולפין, משמאל: לווייתן

מעניין לדעת

רבייה ביונקים ימיים

בסביבת חיים מימית חיים גם כמה **יונקים** כגון **לווייתן** ו**דולפין** (איור ה-6) שרוב קרוביהם הביולוגיים חיים ביבשה. מבנה גופם מותאם לחיים במים והוא מזכיר את מבנה גופם של דגים. אולם אברי הרבייה ודרכי הרבייה שלהם הם כשל קרוביהם - יונקים החיים ביבשה: ההפריה היא פנימית, העובר מתפתח ברחם והצאצא ניזון בימיו הראשונים מחלב אמו. מקובלת הדעה שאבותיהם הקדומים של יונקים אלה היו יונקים שחיו ביבשה. אברי הרבייה שלהם ודרכי הרבייה לא השתנו במהלך מיליוני שנים של אבולוציה, אך התפתחו אצלם התאמות לחיים במים כגון סנפירים ושטח פנים חסר פרווה וחלק.

שאלה ה-3



אתרו מידע על מיקומן ומצבן של שלוליות חורף בארץ ושל אוכלוסיות הדו־חיים. סכמו את המידע בכרזה, במצגת או ככתבה עיתונאית.

שאלה ה-4



הדו־חיים הם דוגמה לאורגניזמים שחיים ביבשה, אך אינם מותאמים לרבייה ביבשה. הסבירו היגד זה.

ה-3. רבייה בבעלי חיים ביבשה

ההתפתחות האבולוציונית של מערכות הרבייה בבעלי החיים ובצמחים החיים ביבשה הייתה כרוכה בהתפתחות מערכות רבייה, שבהן תאי הרבייה נפגשים בסביבה מימית או לחה וגם העובר מתפתח בסביבה מימית מוגנת מהתייבשות.

המאפיין הבולט של הרבייה במינים החיים ביבשה כל חייהם - זוחלים, עופות ויונקים - הוא **ההפריה הפנימית**. בהפריה פנימית מועברים תאי הזרע בעזרת **איברי הזדווגות** אל תוך גוף הנקבה, כך שתאי הזרע אינם נחשפים לאוויר היבש, והם נפגשים בסביבה לחה ומוגנת בתוך גוף הנקבה.

מאפיין נוסף של המינים החיים ביבשה הקשור לרבייתם הוא התפתחות מבנים מיוחדים להגנה על העובר מפני סכנת התייבשות. במהלך האבולוציה התפתחו בבעלי חיים יבשתיים שני אמצעים עיקריים המקנים הגנה לעוברים המתפתחים.

אמצעי אחד הוא **הרחם** שהתפתח אצל היונקים (כפי שראינו במערכת הרבייה של האישה) והוא מגן על עוברים המתפתחים בתוך גוף הנקבה. האמצעי השני הוא **ביצה** המוטלת מחוץ לגוף האם. ביצים המוטלות ביבשה הן על פי רוב בעלות קליפה (קשיחה או גמישה), המקטינה את איבוד המים וגם מקנה הגנה פיזית לעובר. אמצעי זה התפתח אצל מרבית הזוחלים (כגון: **נחשים**, **לטאות וצבים**) והעופות שבהם העובר מתפתח מחוץ לגוף הנקבה. "חידוש אבולוציוני" בביצה של זוחלים ושל עופות וברחם של יונקים הוא **קרום השפיר (אמניון)**. קרום השפיר מלא בנוזל - נוזל השפיר - המהווה את הסביבה המימית שבה מתפתח העובר.

הרחם והביצה מספקים לעובר המתפתח ביבשה את התנאים הדרושים להתפתחותו: סביבה לחה, חומרי מזון, חמצן, סילוק חומרי פסולת והגנה מפני פגיעות והתייבשות. נציין שגם במינים החיים במים כמו דגים ודו־חיים הצאצאים מתפתחים בביצים, אם כי מבנה הביצים המוטלות במים הוא פשוט יותר ומותאם לכך שאין סכנת התייבשות ואין קושי להיפטר מחומרי הפסולת, שכן הם מופרשים ישירות למים.

על מושגים

תא ביצה וביצה

תא הביצה הוא תא הרבייה הנקבי (הגמטה הנקבית).

ביצה היא מבנה המתפתח ברוב מיני בעלי החיים מתא הביצה, ומהווה במינים אלה את מקום התפתחותו של העובר. הביצה עטופה בקליפות ומכילה כמות גדולה של מים וחומרי מזון. ברוב בעלי החיים הביצה מוטלת מחוץ לגוף האם, אך קיימים גם מינים שהעובר מתפתח בביצה הנותרת בגוף האם.

בדגים ובדו-חיים רק לאחר שתא הביצה יצא מהגוף והופרה הוא נקרא ביצה. לאחר ההפריה הקרום החיצוני של תא הביצה עובר שינויים אנזימטיים (סינתזה של חלבונים) ומתקשה. בעופות ובזוחלים הסדר הפוך: הביצה מוטלת לאחר שתא הביצה הופרה. יוצאות מכלל זה הן ביצי מאכל המוטלות בלולים, שהן ביצים בלתי מופרות.

קשר לנושא

אקולוגיה:
שרשרת מזון.

הביצה היא "המצאה" מוצלחת, אך סכנה בצדה. "אריזת" העובר יחד עם חומרים הנחוצים להתפתחותו הראשונית בתוך מעטה קשיח המגן עליו נראה על פניו כרעיון מוצלח ביותר. אולם סכנות רבות אורבות לעוברים המתפתחים בביצה המוטלת לסביבה היבשתית החיצונית. הביצה היא ארוחה שלמה, מאוזנת ומרוכזת המועדפת על ידי בעלי חיים רבים: עופות דורסים, מכרסמים ויונקים ובכללם האדם. במקרים רבים הקליפה אינה קשה מאוד, ופגיעה בה גורמת למות העובר. העוברים שבביצי העופות יתפתחו רק אם ידגרו על הביצים וישמרו עליהן בטמפרטורה מתאימה לאורך תקופת הדגירה (ימים או שבועות). אם ההורה (האם או האב) ייפגע או ייטרף - הדגירה תיעצר והעובר לא יתפתח.

לעומת רוב הזוחלים שעוברים מתפתחים בביצה המוטלת מחוץ לגוף האם, במספר קבוצות של זוחלים - **לטאות, זיקיות ונחשים** - ניתן למצוא מינים שבהם העוברים מתפתחים בתוך גוף האם, בתוך ביצים שקליפתן גמישה, והם יוצאים מגופה כצאצאים חיים בהשרצה לאחר שהשלימו את התפתחותם.

מעניין לדעת



לטאה ב"היריון"

במין מסוים של לטאה (Common lizard, Viviparous lizard) העוברים מתפתחים בתוך גוף האם, עטופים בקרום (אך ללא קליפה קשה). תקופת ה"היריון" נמשכת כ־3 חודשים בחודשי הקיץ ובמהלכה הלטאה חושפת את גופה לחום השמש שעות רבות ככל שאפשר. בתום תקופת ה"היריון" העוברים קורעים את הקרום ויוצאים מגוף האם כלטאות צעירות ועצמאיות. בכל אירוע של רבייה הלטאה משריצה 3-12 צאצאים. חוקרי האבולוציה משערים שתופעה זו היא התאמה לאזורי אקלים קרים, שכן העוברים מוגנים בתוך גופה של האם מפני השפעת הטמפרטורה בסביבה. הלטאות אמנם חסרות מנגנון פנימי לוויסות הטמפרטורה של גופן (פויקילותרמיות), אך הן מסוגלות להסתתר או להיחשף ובכך להשפיע על טמפרטורת הגוף שלהן.

הרחבה

שמירה על צבי הים - מין בסכנת הכחדה

בחופי ישראל מצויים אתרים שאליהם מגיעות הנקבות של צִבֵּי הים בעונת הרבייה להטיל את הביצים. הנקבה מטילה ביצים בגומה שהיא יוצרת בחול (איור ה-7). כ־50 יום לאחר מכן בוקעים הצבים הצעירים וממהרים אל הים, שם ימשיכו את חייהם. הבקיעה מתרחשת בלילות של ירח מלא, ואורו המשתקף במים מכווון את הצבים הצעירים אל הים. הסכנות האורבות לצבי הים הן רבות:

- הסתכנות ברשתות דיג
 - פגיעה באתרי ההטלה על-ידי בני האדם (בנייה, תנועת מתרחצים ורכיבה על טרקטורונים)
 - אורות מהבתים ומהמכוניות הנעות על כבישים הסמוכים לחוף מבלבלים את הצבים הצעירים ובמקום לפנות אל הים הם פונים לכיוון ההפוך וכמובן שאינם שורדים.
- סכנות אלה כבר גרמו להכחדת מינים ולצמצום ניכר של אוכלוסיות צבי הים. אחת הפעולות הנעשות לשמירה על צבי הים היא העתקת הביצים שהוטלו למקום מוגן ושמירה עליהן עד לבקיעתן. בימים שבהם מתרחשת הבקיעה מסייעים לצבים הצעירים למצוא את דרכם אל הים.

קשר לנושא

אקולוגיה:
אחריות האדם לשמירה
על המגוון הביולוגי.



איור ה-7: צב הים

מימין: צב שוחה במים, משמאל: נקבה מטילה ביצים בגומה על חוף הים

שאלה ה-5

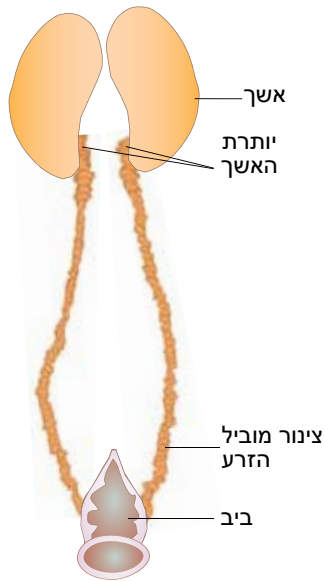
אתרו ברשת האינטרנט מידע אודות הפעילות המתקיימת בארץ לשמירה על צבי הים. רכזו את המידע במצגת או בכרזה.

1.3 רבייה בעופות

בסעיף זה נכיר את הרבייה של תרנגול הבית, כדוגמה לרבייה בעופות.

מערכת הרבייה של תרנגול זכר

מערכת הרבייה של תרנגול זכר בנויה משלושה חלקים עיקריים (בכך היא דומה לאיברי הרבייה של האדם): זוג **אשכים**, זוג **צינורות מובילי זרע** ואיבר **הזדווגות** (איור ה-8).



איור ה-8: מערכת הרבייה של תרנגול זכר

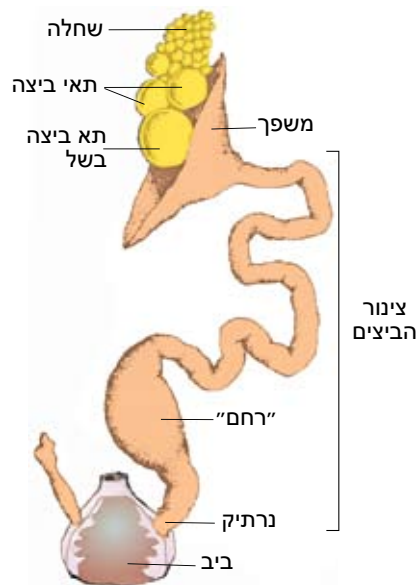
האשכים מצויים בתוך חלל הבטן, בצד הגב. האשך בנוי מרשת של צינוריות דקיקות שבהן נוצרים תאי הזרע. כל הצינוריות שבאשך מתחברות לצינור יותרת האשך. בתוך רקמת החיבור שבין צינוריות הזרע נמצאים תאי ביניים המייצרים את ההורמון הזכרי - הטסטוסטרון. בעונת הרבייה האשכים גדלים בהשוואה לתקופות אחרות.

מיותרת האשך יוצאים שני צינורות מובילי זרע מפותלים מאוד הנמשכים עד הפתח החיצוני - הביב. בתוך הצינורות מובילי הזרע מבשילים תאי הזרע, והם מאוחסנים בחלקו הסופי של הצינור.

איבר ההזדווגות של העופות בנוי משני קפלי עור המצויים בקצה הקיצוני של הביב. בזמן ההזדווגות הקפלים מתמלאים בנוזל דמוי לימפה ומתנפחים, ואז הזכר מתקרב אל הנקבה ומעביר לגופה את נוזל הזרע שבתוכו מצויים תאי הזרע.

מערכת הרבייה של נקבת התרנגול

מערכת הרבייה של נקבת התרנגול - התרנגולת, בנויה משני חלקים עיקריים: שחלה וצינור ביצים (איור ה-9). ברוב מיני העופות ובכללם התרנגולת, ובניגוד לרוב מיני היונקים, רק השחלה וצינור הביצים השמאליים מפותחים, ואילו הימניים מתנוונים עוד בשלב העוברי. חוקרי האבולוציה משערים שהמערכת הבלתי זוגית מקטינה את משקל העופות ממין נקבה, ומקנה להן יתרון בתעופה.



איור ה-9: מערכת הרבייה של נקבת התרנגול

השחלה נמצאת בחלל הבטן של התרנגולת ונראית כאשכול של גופים כדוריים צהובים בגדלים שונים. כל "כדור" הוא תא רבייה נקבי - תא ביצה, הכולל את גרעין התא שבו נמצא החומר התורשתי, מעט ציטופלסמה ומאגר של מזון הממלא את רוב נפח התא - החלמון. הציטופלסמה והגרעין נראים ככתם קטן בהיר על

פני החלמון. כל תא ביצה בשחלה מוקף בשכבה דקה ועשירה בכלי דם המזינים את תא הביצה וכן בתאים המפרישים את הורמוני הרבייה הנקביים.

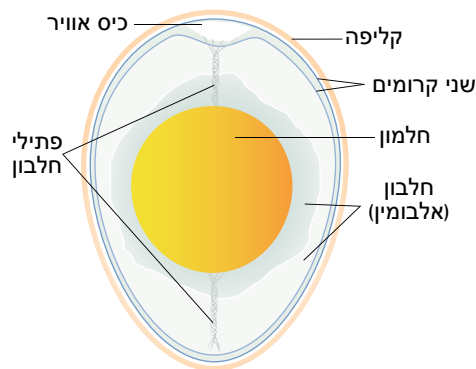
שימו לב! תאי האורגניזמים הם לרוב קטנים מאוד וניתן לראותם רק בעזרת מיקרוסקופ. תא הביצה של התרנגולת הוא תא גדול מאוד ורואים אותו גם ללא מיקרוסקופ.

יצירת הביצה

בעקבות ההזדווגות מתרחשת **הפריה** במשך שבתחילת צינור הביצים. תא הביצה המופרה נע לאורך צינור הביצים, ובמהלך תנועתו נוספים לו מרכיבים שונים היוצרים את הביצה השלמה. צינור הביצים מפותל ואורכו מגיע אצל תרנגולות מטילות ל-53-73 ס"מ. לאורך צינור הביצים יש בלוטות המפרישות לתוכו את החלבון (אלבומין - ה"לבן" בביצים שאנו אוכלים) המתארגן כשכבה מסביב לתא הביצה. שכבה זו תורמת (כמו החלמון) להתפתחות העובר ולהזנתו. אחר כך נוצרים שני קרומים דקים העוטפים את החלבון.

כאשר תא הביצה המופרה המוקף בחלבון ובקרומים מגיע לאזור בצינור הביצים המכונה "רחם" (השונה במבנהו ובתפקודו מרחם היונקים) מופרשים מהתאים באזור זה מלחים סידניים השוקעים עליו ויוצרים את הקליפה החיצונית הקשה. ה"רחם" משמש אפוא לבניית הקליפה החיצונית וגם לאגירת הביצים לפני הטלתן. התהליך המורכב הזה נמשך כיממה ובסופו הביצה מוכנה להטלה (איור ה-10).

שימו לב! בלולי מטילות אין זכרים והתרנגולות מטילה ביצים למרות שלא התרחשה הפריה.



איור ה-10: מבנה ביצת התרנגולת

את רוב נפחה של הביצה תופסים החלמון והחלבון שהם המקור לחומרים שמהם יתפתח העובר. בתוך שכבת החלבון מבחינים במבנים מסולסלים הנקראים **פתילי חלבון** (הנראים לעתים בתוך החלבון של ביצים לא מבושלות). פתילי החלבון מחזיקים את תא הביצה המופרה ואת העובר המתפתח ממנו, במקומם במרכז הביצה. בקצה הרחב של הביצה, במרווח שבין שני הקרומים מבחינים ב"כיס אוויר". ניתן לראות את כיס האוויר בקצה ביצה שבושלה ("ביצה קשה").

קליפת הביצה של התרנגולות היא קליפה סידנית קשיחה המספקת לעובר הגנה מפני פגיעות מכאניות, קרינה ישירה והתייבשות. יחד עם זאת הקליפה מאפשרת לעובר לקיים חילופי גזים הודות לנקבים זעירים רבים הקיימים בה.

רעיון מרכזי

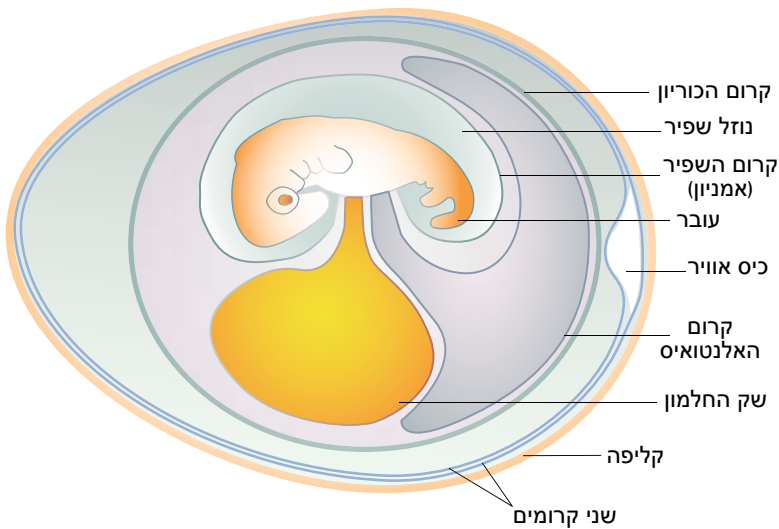
התאמת מבנה לתפקוד:
המבנה של ביצי העופות מותאם להתפתחות העובר ביבשה.

מעניין לדעת

הביצה הגדולה ביותר מבין ביצי העופות היא זו שמטילה נקבת היען - משקלה מגיע ל-1.2 ק"ג. הביצה הקטנה ביותר היא של נקבת הצופית ומשקלה כחצי גרם בלבד.



נקבת היען וביצת היען



איור ה-11: חתך סכמטי בביצת תרנגולת ובה עובר

התפתחות העובר בביצה

בביצה שהוטלה לאחר הפריה מתפתח עובר. כפי שרואים באיור ה-11, סביב העובר המתפתח, נוצרים ארבעה קרומים חוץ-עובריים הנקראים **שקי העובר**, והם ממלאים תפקיד חשוב בהתפתחותו של העובר בביצה:

1. קרום **השפיר** (amnion) עוטף את העובר ומכיל את נוזל השפיר המהווה את **הסביבה המימית** שבה מתפתח העובר.
2. **שק החלמון** עוטף את החלמון, ונוצרת בו רשת כלי דם שדרכה עובר מזון אל העובר. החלמון מורכב ברובו מחלבונים, שומנים וסוכרים אשר ישמשו מזון לעובר שיתפתח בביצה.
3. קרום **האלנטואיס** (allantois) - שק שתן עוברי - המשמש בית קיבול לחומרי הפרשה. כלי הדם שבקרום האלנטואיס מאפשרים חילופי גזים בין העובר לסביבה החיצונית (בדומה לפעולת הריאות).
4. קרום **הכוריון** עוטף את העובר ואת הקרומים הפנימיים.



איור ה-12: אפרוח בוקע מביצה

במהלך התפתחות העובר קליפת הביצה מונעת שינויים בנפחה למרות השינויים המתחוללים בתוכה. עובדה זו מגבילה את גודל העובר שיכול להתפתח בתוכה. בתום התפתחות הרקמות והאיברים (בתרנגול - כ־21 יום) בוקעים האפרוחים מהביצים (איור ה-12). בתהליך הבקיעה מהביצה האפרוח קורע בעזרת מקורו את הקרום העוטף אותו ונושם לראשונה בעזרת ריאותיו אוויר הנמצא בכיס האוויר.

שאלה ה-6



- א. אתרו מידע על אחוז המים ועל הרכיבים התזונתיים של ביצת התרנגולת והציגו את המידע בדרך גרפית מתאימה. נמקו את בחירת דרך ההצגה.
- ב. מדוע ממליצים לנפגעי כוויות להגדיל את כמות חלבוני הביצים שהם אוכלים בתקופת ההחלמה?
- ג. שברו בזהירות ביצה טרייה לתוך מים וזהו את חלקיה.

שאלה ה-7



- א. ערכו השוואה בין מערכת הקרומים העוטפת את עובר האדם לבין מערכת הקרומים העוטפת את עובר התרנגולת.
- ב. הקליפה הקשה של הביצה מונעת גידול בנפח הכולל. אילו מחלקי הביצה גדלים בנפחם ואילו קטנים בנפחם במהלך ההתפתחות העוברית של העוף? נמקו.
- ג. מהו המקור הגנטי של חלקי הביצה: העובר, החלמון, החלבון והקרומים החוץ-עבריים? הסבירו.
- ד. במהלך ההתפתחות העוברית של העופות מצטברת באלנטואיס גם חומצת שתן לא מסיסה. מה היתרון בכך לעובר?
- ה. משקל היונק בעת היוולדו גדול בהרבה ממשקל התא היחיד - הזיגוטה שממנה נוצר. לעומתו משקל האפרוח הבוקע מהביצה נמוך מעט ממשקל הביצה (ללא הקליפה). מה ההסבר להבדל זה?

שאלה ה-8



מהו ההבדל המהותי בין ביצת דג לבין ביצת עוף?

תרומת ההורים להתפתחות העוברית

תרומת ההורים להתפתחות העוברית אינה מסתיימת עם הטלת הביצים. ההתפתחות התקינה של העוברים שבביצים תלויה, בין השאר, בקיום תנאי סביבה מתאימים.

במינים רבים של בעלי חיים המטילים ביצים, ההורים הם המספקים תנאי סביבה מתאימים. האם מטילה את הביצים בדרך כלל בסביבה לחה או מוצלת ובעונת שנה שבה סכנת ההתייבשות קטנה בהשוואה לתקופות אחרות. בנוסף **הדגירה** (איור ה-13) מקנה שמירה פעילה על העוברים, ותורמת לויסות הטמפרטורה והלחות.



איור ה-13: תור בדגירה

עופות וזוחלים רבים דוגרים על ביציהם עד לבקיעת הצאצאים. במהלך הדגירה ההורים משנים את תנוחת הביצים בקן לעתים קרובות, וכך נמנעת הידבקות קרומי העובר לקליפת הביצה. לרוב האם דוגרת על הביצים והאב מביא לה מזון, אך ישנם מיני עופות שבהם שני ההורים דוגרים לסירוגין עד לבקיעת הצאצאים.

תלות ועצמאות בצאצאי עופות

בצאצאי עופות מבחינים בין **גוזלים ואפרוחים**:

גוזלים הם חובשי קן (נשאים בקן). הם בוקעים מביצים קטנות יותר, לאחר תקופת דגירה קצרה. הם עירומים מנוצות (כמעט או לגמרי), עיוורים וחלשים מכדי לעמוד על רגליהם ולנוע ולכן הם זקוקים לטיפול הורי מסור. בימים הראשונים הגוזל מסוגל רק להרים את הראש ולפתוח את המקור כדי לקבל מזון מהוריו. מכאן השם גוזלים - בשל רצונם העז לאכול הם כביכול גוזלים מזון (איור ה-14). הסכנה האורבת לגוזלים כאלה היא רבה שכן הם אינם יכולים לעוף, ובשעה שהוריהם תרים אחר מזון הם חשופים לטריפה. כל הצאצאים של



איור ה-14: מימין: גוזלים רעבים (של ציפור אוסטרלית), משמאל: אפרוח של חוגלה

ציפורי השיר כגון פשוש ובולבול הם גוזלים וכך גם כל הצאצאים של העופות הדורסים כגון הנשר והתנשמת.

אפרוחים הם עוזבי קן ("פורחים" מהקן). הם בוקעים מביצים גדולות יותר, הם ערניים, מכוסים פלומה (נוצות דקיקות), עיניהם פקוחות, רגליהם מפותחות וזמן קצר לאחר הבקיעה מהביצה הם מסוגלים לאכול

בכוחות עצמם. כלומר: אפרוחים זקוקים לטיפול הורי מועט יחסית. אפרוחים יש בעיקר לעופות דוגרי קרקע שרצים או שוחים היטב, כמו מיני תרנגולים, ברווזים ואווזים.

שאלה ה-9



נשרים מטילים 2-3 ביצים בהטלה בעוד ברווזים מטילים כ-10 ביצים בהטלה. מה יכול להיות הקשר בין מספר הביצים המוטלות לבין מידת העצמאות של הצאצאים? הסבירו.

אשנב למחקר



פרטים של ציפורים ממין סיס החומות מטילים 1-3 ביצים בכל הטלה. בסקר שבו נבדקה אוכלוסיית סיס החומות נספרו הביצים בכל קן, ולאחר מכן נספרו הגוזלים שהצליחו לגדול ולעזוב את הקן (להלן "הצלחה"). הסקר נמשך שש שנים ותוצאותיו מובאות בטבלה ה-3.

טבלה ה-3: "הצלחה" ממוצעת לקן באוכלוסיית הסיסים

מספר הביצים בקן	מספר הקינים באוכלוסייה	המספר הממוצע של הגוזלים שהצליחו לגדול ולעזוב את הקן	אחוז הגוזלים שהצליחו לגדול ולעזוב את הקן
1	36	0.8	80%
2	102	1.7	85%
3	32	1.7	57%

- ציינו שתי מסקנות שאפשר להסיק מהתוצאות בטבלה.
- מספר הגוזלים השורדים בקנים שבהם הוטלו 2 ביצים דומה למספר הגוזלים השורדים בקינים שבהם הוטלו 3 ביצים. האם עדיף להטיל 3 ביצים? נמקו. בניתוח נוסף של התוצאות חילקו החוקרים את הממצאים לפי זמינות המזון לגוזלים בשנים שונות. ניתוח התוצאות מופיע בטבלה ה-4.

(המשך בעמוד הבא)



טבלה ה-4: "הצלחה" ממוצעת לקן על פי זמינות מזון לגוזלים

זמינות המזון לגוזלים נמוכה		זמינות המזון לגוזלים גבוהה		מספר הביצים בקן
אחוז הגוזלים שהצליחו לגדול ולפרוח מהקן	המספר הממוצע של גוזלים שהצליחו לגדול ולפרוח מהקן	אחוז הגוזלים שהצליחו לגדול ולפרוח מהקן	המספר הממוצע של גוזלים שהצליחו לגדול ולפרוח מהקן	
80%	0.8	80%	0.8	1
50%	1.0	95%	1.9	2
30%	0.9	77%	2.3	3

ג. אילו מהמסקנות שלהלן אפשר להסיק מהממצאים בטבלה ה-4? נמקו את בחירתכם.

1. לזמינות המזון לגוזלים לא הייתה השפעה על ה"הצלחה" בגידול הגוזלים.
2. בשנים שבהן זמינות המזון גבוהה, יש יתרון להטלת 3 ביצים על פני שתי ביצים בלבד.
3. זמינות המזון משפיעה פחות על הצלחה כאשר מגדלים גוזל יחיד בקן.
4. כאשר אין מחסור במזון כל הגוזלים שורדים.

2.3 רבייה ביונקים

בפרק ג' הכרתם את מערכת הרבייה ותהליך הרבייה של האדם. **ביונקים** אחרים מערכת הרבייה ותהליכי הרבייה דומים לאלה של האדם ומאופיינים בקיומו של **מחזור מיני**. בסעיף זה תורחב מעט היריעה לגבי **השונות** המתבטאת ברבייתם של מינים אחדים של יונקים ובמחזור המיני שלהם.

מחזור ייחום ומחזור וסת

בקופים ממינים מסוימים מתקיים **מחזור וסת** כמו שהכרנו באדם. מוכנות הנקבה להזדווג אינה מוגבלת לעונה מסוימת בשנה, אולם ניכרת מחזוריות בתפקוד מערכת הרבייה. יש עליות וירידות מחזוריות בריכוז ההורמונים בדם שבעקבותיהם מתרחש **ביוץ**. הביוץ חל בשלב קבוע של המחזור. את פרטי מחזור הווסת הכרנו בפרק ג'.

אצל רוב מיני היונקים הנקבה מוכנה (יכולה) להזדווג רק בתקופה מסוימת (או בתקופות מסוימות) במהלך **עונת הרבייה** (טבלה ה-5). פרק הזמן שבו הנקבה מוכנה להזדווג נקרא **תקופת הייחום**. בתקופת הייחום ריכוזם של ההורמונים עולה וניכרות במהלכה התנהגויות אופייניות, למשל: נקבות **הסוס** בועטות וצוהלות, הפרות גועות וקופצות זו על זו והחתולות מייללות.

הזמן שעובר מתחילת תקופת ייחום אחת עד לתחילתה של תקופת ייחום שנייה נקרא **מחזור ייחום**, ומשכו שונה במינים שונים.

עוד על

עונתיות ברבייה,
בפרק ז' עמוד 146,
בפרק ח' עמוד 176.

טבלה ה-5: מחזורי ייחום בנקבות יונקים

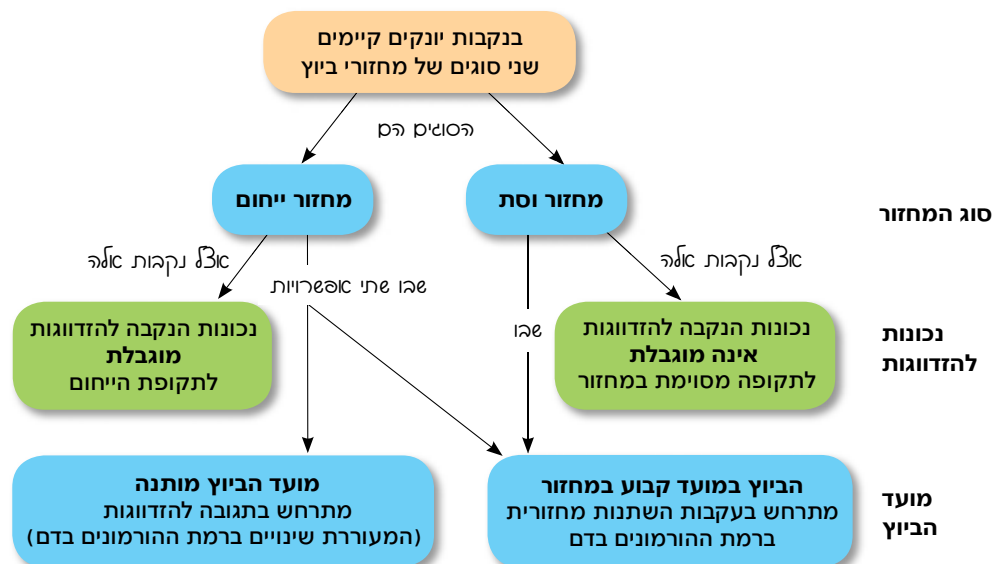
המין	תדירות מחזורי הייחום	משך מחזור הייחום	משך תקופת הייחום - המוכנות להזדווגות
פרה	כל השנה	3 שבועות	10-12 שעות
חזיר	כל השנה	3 שבועות	2-3 ימים
עז	עונתית - כמה מחזורי ייחום בעונה	3 שבועות	12-24 שעות
חתול	עונתית - כמה מחזורי ייחום בעונה	3 שבועות	4-7 ימים
כבש	עונתית - כמה מחזורי ייחום בעונה	16-18 ימים	36 שעות
סוס	עונתית - כמה מחזורי ייחום בעונה	3 שבועות	5-6 ימים
כלב	עונתית - מחזור ייחום אחד בעונה	שנה	7-10 ימים

במינים שבהם קיים מחזור ייחום **הביוץ** מתרחש עקב עלייה בריכוז **האסטרוגן** בדם. יש מינים שאצלם מתרחש הביוץ בשלב קבוע במחזור הייחום, למשל אצל נקבות של עכברים ופרות. יש מינים שאצלם מתרחש הביוץ בעקבות הזדווגות, כלומר ההזדווגות היא זו המעוררת את השינויים ההורמונליים החיוניים לביוץ. ביוץ בעקבות הזדווגות נקרא **ביוץ מותנה** (איור ה-15) והוא מתרחש למשל אצל נקבות **חתולים** ו**ארנבות**.

מחזור הייחום בפרות דומה ברמה העקרונית למחזור הווסת באדם. בשני המחזורים הביוץ מתרחש במועד קבוע במחזור - לאחר הבשלת זקיקים בשחלה, ולאחר הביוץ מתפתח בשחלה גופיף צהוב. **שימו לב**, באדם הביוץ הוא באמצע המחזור (מחזור הווסת) ובפרה הביוץ הוא בתחילת המחזור (מחזור הייחום). הבדל זה נובע מהגדרה שרירותית של תחילת המחזור על פי סימנים נראים לעין: באדם - דימום ובפרה - התנהגות אופיינית. נציין כי בפרה אין תופעה של דימום. אם לא מתפתח היריון רקמות רירית הרחם נספגות בגוף.

עוד על

מחזור הווסת, בפרק ג' עמודים 44-46.



איור ה-15: ביוץ במינים עם מחזור וסת ועם מחזור ייחום

שאלה ה-10

- א. במה דומים ובמה שונים מחזור הייחום ומחזור הווסת?
ב. איזה יתרון יכול להיות לביוץ מותנה?

שאלה ה-11

לכלבה שהמליטה 6 גורים, מהם זוג תאומים זהים, היו 8 גופים צהובים בשתי השחלות גם יחד. כמה תאי ביצה לא הגיעו להתפתחות מלאה? נמקו תשובתכם.

התפתחות עוברית בתוך גוף האם

הבדל חשוב בין יונקים לבין חולייתנים יבשתיים אחרים הוא המקום שבו מתפתחים העוברים: בכל מיני העופות ובמרבית מיני הזוחלים העוברים מתפתחים בביצים המוטלות ביבשה, מחוץ לגוף האם. לעומת זאת ברוב המכריע של מיני היונקים, ובכלל זה באדם, העוברים מתפתחים באיבר מיוחד - **רחם** - בתוך גוף האם. בטבלה ה-6 מוצג משך ההיריון ביונקים שונים. מהנתונים בטבלה ניתן לראות שיש קשר כללי בין גודל בעל החיים ומשך ההיריון.

רעיון מרכזי

התאמת מבנה לתפקוד:
הרחם והביצה מותאמים להגנה על העובר ולאספקת הצרכים להתפתחותו.

טבלה ה-6: משך ההיריון ביונקים שונים

היונק	משך ההיריון (בימים)	היונק	משך ההיריון (בימים)
אוגר	16	כבש	150
עכבר	21	פרה	270
ארנבת	42	אדם	280
כלב	61	לוויתן	360
חתול	63	ג'ירפה	400
עז	145	פיל	624

על מושגים

יציאת העובר מגוף האם

שלושה מושגים מתארים את התהליך שבו צאצאים המתפתחים בגוף האם יוצאים אל מחוץ לגופה:

השרצה: יציאה לעולם של צאצאים אשר התפתחו בביצים בתוך גופה של האם. הצאצאים יכולים להיות עצמאיים, לדוגמה: **כרישים**, **לטאות ונחשים**, או זקוקים לטיפול הורי לזמן מה, לדוגמה: **עקרבים**, הנושאים את הצאצאים על גבם בתחילת חייהם.

המלטה: יציאה לעולם של צאצאי יונקים (למעט האדם) שהתפתחו ברחם האם. הצאצאים - גורים, עגלים, גדיים ועוד - זקוקים בדרך כלל להמשך טיפול והשגחה של ההורים לפחות לזמן מסוים. לדוגמה **גורי חתולים וכלבים**.

לידה: מונח השמור לתהליך יציאת העובר מהרחם באדם. הוא זקוק להשגחה ולטיפול ממושכים של הוריו.

שאלה ה-12



חזרו לפרק ג' וסכמו את היתרונות לעובר שמתפתח בתוך רחם.

הזנת צאצאים ביונקים

שמה של מחלקת היונקים נובע מאחד המאפיינים הייחודיים של בעלי החיים במחלקה זו: הזנת הצאצאים בחלב אם - **הנקה** (איור ה-16). כל גורי היונקים בטבע תלויים בתחילת חייהם באם והם ניזונים בתקופה הראשונה של חייהם מחלב שנוצר **בבלוטות החלב** של האם.

בלוטות חלב קיימות בשני הזוויגים, אך רק בנקבות נוצר בהן חלב בתום ההיריון. בלוטות החלב של הנקבה מתחילות להתפתח לקראת ההתבגרות המינית, אולם בתקופת ההיריון הן מתפתחות באופן מואץ בהשפעת ההורמונים פרוגסטרון ואסטרון. ההורמון **פרולקטין** (lact=חלב; pro=בעד) והורמונים נוספים מעורבים גם הם בהתפתחות הבלוטות וביצירת החלב.



איור ה-16: עגל יונק מאמו

מיני יונקים שונים נבדלים במספר בלוטות החלב ובמיקומן: באדם ובמיני קופים קיימות שתי בלוטות חלב, והן נמצאות בשדיים שבחזה. בפרות, בכבשים ובסוסים, בלוטות החלב נמצאות **בעטינים**, על הבטן ליד הרגליים האחוריות. במיני יונקים שבהם יש גורים רבים בכל היריון (לדוגמה: כלבים וחתולים) יש בלוטות רבות, ופתחי הבלוטות מסודרים בשתי שורות לאורך הגחון (צד הבטן) של בעל החיים.

תלות ועצמאות בצאצאי יונקים

כאמור כל גורי היונקים בטבע תלויים בתחילת חייהם באם להזנתם, והם ניזונים בתקופה זו מחלב שנוצר בבלוטות החלב של האם. יחד עם זאת יש הבדלים במידת העצמאות של הצאצאים, בדומה למה שראינו בעופות. המונחים עוזבי קן וחובשי קן, שהכרנו בהקשר לעופות, משמשים גם ביונקים.

צאצאי הארנבת, הצבי והפרה הם **עוזבי קן**. הם נולדים לאחר היריון ממושך יחסית, מכוסי שיער, בעלי טפרים (ציפורניים קרניות) ועיניים פקוחות. הם מפרישים את צורכיהם בעצמם ומסוגלים לעמוד על רגליהם וללכת בתוך דקות אחדות או שעות ספורות לאחר שנולדו. תפקידה של האם הוא להניק אותם ולהגן עליהם.

גורי חתולים וכלבים הם **חובשי קן**. הם נולדים לאחר היריון קצר יותר והם חסרי ישע, עירומים משיער ובעלי עיניים סגורות. הם תלויים לחלוטין באמם להזנה ולשמירת טמפרטורת הגוף וזקוקים





איור ה-17: קופה וגור

לעזרתה להפרשת השתן והצואה. האם גם מגנה עליהם מפני טורפים ואף מפני פרטים אחרים באוכלוסייה (למשל זכרים) העלולים לפגוע בהם.

גורי קופים תלויים באמם לאספקת מזון ולהגנה אך הם מסוגלים להיצמד לאם ולנוע אתה ממקום למקום (איור ה-17).

שאלה ה-13



צינו יתרון אחד וחסרון אחד למין שצאצאיו חובשי קן בהשוואה למין שצאצאיו עוזבי קן. הסבירו.

שאלה ה-14



מה דומה ומה שונה ברבייה של דג, עוף ויונק. בתשובתכם התייחסו למערכת הרבייה ולתהליך הרבייה.

יונקי כיס

יונקי כיס הם קבוצת יונקים קדומה מבחינה אבולוציונית שהמאפיין המייחד את בעלי החיים הנמנים עליה היא דרך הרבייה שלהם והתלות הקיצונית של הצאצאים הצעירים באמם. קבוצה זו נפוצה בעיקר באוסטרליה (מינים מעטים מצויים בדרום אמריקה). בניגוד ליונקים שהכרנו עד כה, שהם בעלי שליה מפותחת המשלבת בין רקמות העובר ורקמות האם ליונקי הכיס יש שליה פשוטה, העובר ניזון תקופה קצרה בעיקר מהחלמון שבשק החלמון, והזנתו פחות יעילה מאשר ביונקים שהם בעלי שליה מפותחת.

הצאצאים של יונקי הכיס יוצאים לאוויר העולם בשלב מוקדם מאוד בהתפתחותם. לדוגמה: צאצא של אחד ממיני הקנגורו נולד לאחר 36 ימי היריון כשמשקלו כ-0.8 גרם בלבד! לשם השוואה - משקל הבוגר כ-30 קילוגרם.

מיד לאחר ההמלטה עושה היילוד הקטנטן מסע מדהים אל אזור הפטמות שנמצא בתוך "כיס" (קפל עור גדול), על בטן אמו, שם הוא ממשיך את התפתחותו. על אף שהוא עיוור, הוא מצליח להשלים את מסעו, לאתר את הפטמה ולהכניס אותה לפיו. קצה הפטמה מתרחב וממלא את כל נפח הפה. הגור הצעיר נשאר קשור לפטמה במשך חודש-חודשיים, עד אשר לסתותיו מתפתחות די הצורך כדי לפתוח את פיו ולהשתחרר מהפטמה.

משלב זה הצעיר שווה בתוך ה"כיס" על בטן אמו, יונק חלב, גדל ומתפתח. כעבור כ-300 ימים הוא שוקל כ-5 קילוגרם ואינו נישא עוד בכיס. לאחר יציאתו מהכיס הגור ממשיך לשהות בקרבת האם וליונק מחלבה עד הגיעו לגיל שנה וחצי.

התמונה המוכרת של אם הקנגורו עם צעיר המציץ מכיסה (איור ה-18) אינה מייצגת את כל מיני יונקי הכיס. יש מינים כמו האופוסום האמריקאי, שבהם הנקבה ממליטה 10-8 גורים בהמלטה אחת, וה"כיס" הוא קפל עור מורם רק מסביב לפטמות שאינו



איור ה-18: אם קנגורו עם צאצא המציץ מכיסה

עוטף את כל הגורים. במינים אלו כשהגורים משתחררים מהפטמות, האם ממשיכה להניק אותם, אך היא מניחה אותם בקן ואינה נושאת אותם אתה כל הזמן.

מעניין לדעת



יונק מטיל ביצים

יונקים **חסרי שליה** הם נדירים, ומינים ספורים של יונקים כאלה חיים רק ביבשת אוסטרליה. הברווזון האוסטרלי הוא יונק שחי במים וההפריה אצלו היא פנימית. בעקבות ההפריה נקבת הברווזון מטילה ביצים בתוך מחילה ודוגרת עליהן עד לבקיעתן. לאחר שהצעירים בקעו הם ניזונים מחלב המופרש על פני העור (לברווזון אין פטמות).

4. היבטים אבולוציוניים של רבייה זוויגית בבעלי חיים

החולייתנים התפתחו במים, והקדומים שביניהם, **הדגים**, מקיימים במים את כל מחזור חייהם. ממחלקת הדגים התפתחה מחלקת ה**דו-חיים** ששמה מרמז על ייחודה: כבוגרים הם חיים ביבשה, אך לרבייה ולראשית ההתפתחות הם זקוקים לבית גידול מימי. רבים רואים במחלקת הדו-חיים חוליית מעבר בהתפתחות האבולוציונית של החולייתנים. החולייתנים הראשונים, אשר במהלך האבולוציה התפתחה בהם יכולת להתרבות ביבשה, היו זוחלים קדומים שהטילו ביצים ביבשה. הודות ליכולת זו ולהתפתחות של התאמות נוספות ליבשה הפכו ה**זוחלים** לראשונים מחולייתני היבשה ה"אמיתיים". משערים שמוצאם האבולוציוני של חולייתני היבשה - זוחלים, עופות ויונקים - הוא מזוחלים קדומים אלה. במהלך האבולוציה התפתחו איברים ומנגנונים המאפשרים רבייה ביבשה. התפתחות זאת התקדמה בכמה כיוונים והם מוצגים בטבלה ה-7.

טבלה ה-7: מסביבה מימית ליבשתית: התפתחות אבולוציונית של דרכי הרבייה של חולייתנים

סביבה מימית	סביבה יבשתית	
המקום שבו מתרחשת ההפריה	במים	בתוך גוף הנקבה
המקום שבו מתפתח העובר	במים, בביצה בעלת קליפה גמישה	ביבשה, בביצה בעלת קליפה קשה
מקור החומרים שמהם ניזון העובר	החומרים שבביצה	החומרים שבביצה
אופן הפרשת חומרי פסולת בעובר	מופרשים למים	מצטברים בשק השתן העוברי (אלנטואיס)
האופן שבו ניזון הצאצא הצעיר	ממזון במים	ממזון שמובא על ידי ההורים או ממזון שהוא מוצא בעצמו



שאלה ה-15



אצל בעלי חיים אנו מוצאים צורות שונות של רבייה זוויגית הנבדלות זו מזו, בין השאר, בסביבה שבה מתרחשת ההזדווגות ובמספר הצאצאים. בטבלה שלפניך מוצג מידע על שלושה בעלי חיים (א-ג): עוף, דג, יונק.

בעל החיים			
א	ב	ג	
מים	מים	יבשה	בית הגידול של בעל החיים
ביצה	האם	ביצה	מקום התפתחות העובר
מים	מים	יבשה	הסביבה שבה מתרחשת ההזדווגות
אלפים	בדרך כלל אחד	אחדים	מספר הצאצאים

- א. איזה מבעלי החיים - א, ב או ג הוא יונק, איזה מהם הוא עוף ואיזה מהם הוא דג. נמקו את קביעתכם לכל אחד מבעלי החיים.
- ב. באיזו סביבת חיים - מימית או יבשתית - מידת האקראיות במפגש בין תאי הרבייה של בעלי החיים רבה יותר? נמקו.

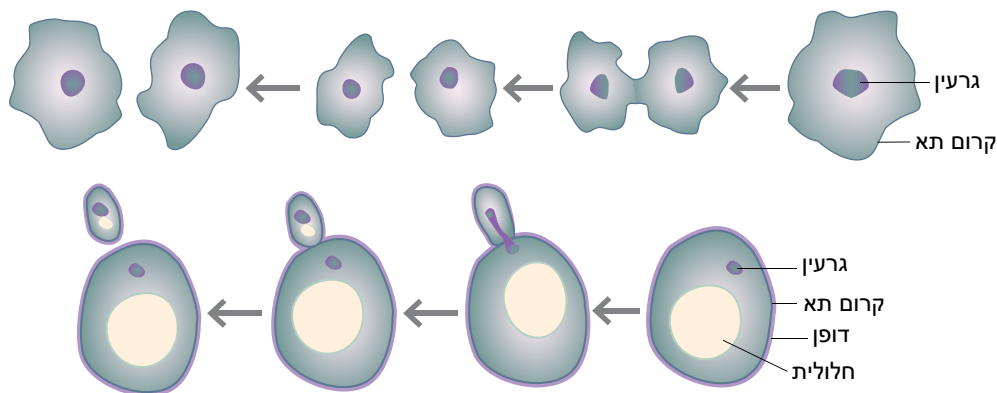
רבייה אל-זוויגית

בבעלי החיים שאנו רגילים לפגוש בסביבתנו אנו נתקלים בעיקר ברבייה זוויגית. כך הדבר אצל רוב החולייתנים המתרבים רק ברבייה זוויגית. אולם יש לדעת כי בקרב בעלי החיים יש גם מינים רבים המתרבים ברבייה אל-זוויגית בצד רבייה זוויגית. בסעיף זה יוצגו דוגמאות אחדות של דרכי רבייה אל-זוויגית בבעלי חיים.

ה. רבייה אל-זוויגית על ידי חלוקה או הנצה

באורגניזמים חד-תאיים אוקריוטים כגון אמבה **חלוקת תא** משמעה התרבות. מתא אחד שהוא אורגניזם עצמאי נוצרים שני תאים שכל אחד מהם הוא אורגניזם עצמאי. לפיכך חלוקת התא מהווה באורגניזמים חד-תאיים מנגנון של רבייה אל-זוויגית. לפני חלוקת התא מתרחשת הכפלת החומר התורשתי בגרעין, חלוקת גרעין בתהליך ה**מיטוזה**, ובהמשך - חלוקת הציטופלסמה והאברונים. כתוצאה מהחלוקה מתקבלים שני תאים זהים זה לזה מבחינת החומר התורשתי המתקיימים כשני אורגניזמים חד-תאיים עצמאיים (איור ה-19 למעלה). תא האם בחלוקה כזאת חדל למעשה מלהתקיים.

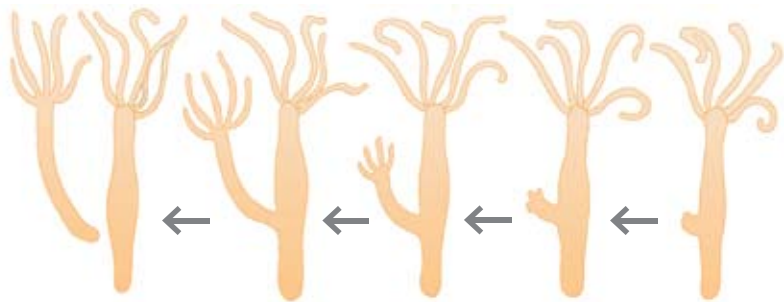
הנצה היא דרך נוספת של רבייה אל-זוויגית ובה פרטים חדשים מתפתחים וגדלים על גבי פרט האם. בחד-תאיים, לדוגמא ב**שמרים** (איור ה-19 למטה) ההנצה מתחילה בהכפלת החומר התורשתי בגרעין ובחלוקת הגרעין במיטוזה. בהמשך נוצרת שלוחה אליה עובר אחד הגרעינים עם קצת ציטופלסמה ונוצרת מחיצה בין שני התאים. הפרט החדש מתנתק מפרט האם ומתחיל לגדול.



איור ה-19: רבייה אל־זוויגית בחד־תאיים אוקריוטיים למעלה: חלוקת תא באמבה (גודל: 200-600 מיקרומטר), למטה: הנצה בשמרים (גודל: כ־4 מיקרומטר)

יש רב־תאיים המתרבים בדרך של הנצה. במינים אלה צומחת מפרט האם שלוחה של תאים ההולכת ומתפתחת לאורגניזם עצמאי. יש מינים שבהם הפרטים נשארים קשורים

זה לזה, כמו באלמוגים, ויש מינים שבהם הפרט החדש ניתק בשלב מסוים מהאם, כמו בהידרה (איור ה-20). בין אם התנתק ובין אם לא, הפרט החדש מתחיל לגדול. כדאי לדעת שפטריות (ובכלל זה שמרים), אלמוגים והידרה מתרבים גם ברבייה זוויגית.



איור ה-20: רבייה אל־זוויגית באורגניזם רב־תאי - הנצה בהידרה

שתי צורות הרבייה האל־זוויגית שתוארו - חלוקת תא והנצה - דומות זו לזו בכך שבשתייהן מתקיימת חלוקת גרעין בדרך של **מיטוזה**, אך הן שונות באופן שבו נחלקים שאר מרכיבי התא. עם זאת החלוקה מתרחשת תמיד כך שבכל אחד מהתאים המתקבלים יהיה עותק מלא של החומר התורשתי וכל המרכיבים החיוניים לקיומו של התא כיחידה עצמאית.

ה.6. רביית בתולים

רביית בתולים (parthenogenesis) היא צורה של רבייה אל־זוויגית שקיימת במספר מינים של בעלי חוליות (מינים מסוימים של לטאות ונחשים) אך נפוצה יותר בקרב חסרי חוליות ומתרחשת בעיקר בפרוקי רגלים ובחרקים.

ההבדל בין רביית בתולים לדרכים אחרות של רבייה אל־זוויגית הוא בכך שהצאצאים מתפתחים אמנם מתא רבייה, אך בשונה מרבייה זוויגית, ברביית בתולים אין התלכדות של תאי רבייה. הצאצא מתפתח מתא ביצה לא מופרה, ולכן רביית בתולים מתרחשת רק בנקבות.

עוד על

רביית בתולים בצמחים,
בפרק ו', עמוד 130.



אצל דבורי הדבש רק הזכרים נוצרים ברביית בתולים ללא הפריה, ואילו הנקבות נוצרות בעקבות הפריה. לכן הזכרים הם **הפלואידיים** (בתאיהם יש מערך יחיד של כרומוזומים - n) והנקבות הן **דיפלואידיות** (בתאיהן יש מערך זוגי של כרומוזומים - 2n). תפקידם של הזכרים ושל הנקבות בחברת הדבורים הוא שונה: הזכרים מפרים את המלכה, ואילו הנקבות משמשות כפועלות האוספות מזון ומטפלות בצאצאים. רביית בתולים קיימת גם בדפניות (סרטן זעיר) (ראו אשנב למחקר ה-2). אצל הדפניות הצאצאים של רביית הבתולים הן נקבות.

ברביית בתולים צאצאים דיפלואידיים יכולים להיווצר בשני מסלולים עיקריים:

- מיוזה והכפלת כרומוזומים בתא הבת הפלואידי: כך מתקבל תא דיפלואידי שממנו מתפתח הצאצא. בדרך זו יכולה להתקבל שונות מסוימת בקרב הצאצאים על פי התא הפלואידי, תוצר המיוזה שממנו התחיל התהליך.
- ללא מיוזה: תא רבייה לא עובר מיוזה ומהתא הדיפלואידי מתפתח הצאצא. כל הצאצאים זהים מבחינה תורשתית לנקבה שבה נוצרו.

באחד ממניי הדפניה שנחקרו נמצא שבשלבי יצירת תאי הרבייה, המיוזה נעצרת ולא מתקבלים תאים הפלואידיים אלא תאים דיפלואידיים שמהם מתפתחים הצאצאים.

אשנב למחקר



הדפניה היא סרטן זעיר החי בשלוליות חורף. הדפניה יכולה להתרבות בשתי צורות רבייה: רבייה זוויגית (מינית) ורביית בתולים. בחורף, כאשר השלולית מלאה במים, כל הדפניות שבשלולית הן נקבות והן מתרבות ברביית בתולים: מהביצים שבגופן מתפתחות דפניות נקבות בוגרות. לקראת האביב, כאשר השלולית מתחילה להתייבש, חלק מהביצים שבגוף הנקבות מתפתח לזכרים. הזכרים מזדווגים עם דפניות נקבות שבשלולית, ובעקבות ההזדווגות מתפתחות בגוף הנקבות שתי ביצים הנקראות **ביצי קיימא**, והן מוטלות אל מימי השלולית. ביצי הקיימא גדולות והן עטופות במעטה קשיח המאפשר להן לשרוד כאשר השלולית מתייבשת. כאשר השלולית מתמלאת שוב בחורף, בוקעות מביצי הקיימא דפניות נקבות. דפניות אלה מתרבות ברביית בתולים, וחוזר חלילה.



דפניה

א. ציינו יתרון אחד של רביית בתולים וחסרון אחד שלה.

חוקרים ערכו ניסוי ובו גידלו דפניות בתנאי מעבדה במשך 15 יום ב־4 כלים שונים. בתחילת הניסוי הכילו כל הכלים אותה כמות של מי שלולית ואותו מספר של דפניות. בכל יום הוציאו מכל כלי כמות שונה של מים, ללא דפניות. במשך 15 יום עקבו החוקרים אחר הופעת ביצי קיימא בכל אחד מהכלים. תוצאות הניסוי מוצגות בטבלה שבהמשך.

מספר הכלי	כמות מי השלולית שהוצאה בכל יום מהכלי (מ"ל)	מספר הימים שעברו עד שהופיעו ביצי קיימא בכלי
1	1	לא הופיעו
2	2	11
3	3	9
4	4	7

ב. מה ניתן להסיק מתוצאות הניסוי?

ג. כיצד מסייעת התופעה שנראית בתוצאות הניסוי להתאמת הדפניות לבית גידולן (שלולית החורף)?

ד. שערן מה היו תוצאות הניסוי, אילו במקום להוציא מים מהכלים היו מוסיפים לכל כלי כמות שונה של דפניות. נמקו תשובתכם.

הז. רבייה אל-זוויגית בשיטות ביוטכנולוגיות

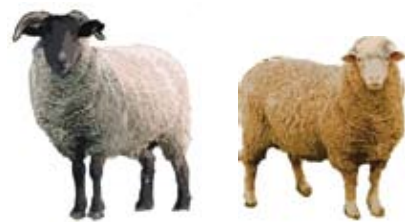
היתרון העיקרי של רבייה אל-זוויגית - הזהות התורשתית בין הצאצא להורה - הביא לפיתוח טכנולוגיות רבייה אל-זוויגית בדרכים שאינן אפשריות בטבע. שתי טכנולוגיות כאלה הן **תרבית רקמה** ו**שיבוט**.

תרבית רקמה היא שיטה מקובלת כיום לריבוי אל-זוויגי של צמחים. בשיטה זו נוצרים צמחים צעירים רבים מתא יחיד או מקטע קטן של רקמה, שנלקחו מפרט שתכונותיו רצויות לחקלאים (עוד על תרבית רקמה בפרק ז'). גם ב**שיבוט** נוצר צאצא חדש מתא בוגר שאינו תא רבייה. בעבר (בשנים 1975-1960) הצליחו לשבט **צפרדעים** על ידי הריסת גרעין של תא ביצה לא מופרה והחדרת גרעין של תא מרקמת המעי של צפרדע בוגרת לתוכה. מתא הביצה התפתח ראשון נורמלי!

תחילתו של עידן השיבוט ביונקים צוין עם הולדתה של הכבשה דולי בשנת 1997. הכבשה דולי נוצרה בתהליך שיבוט מורכב שבו השתתפו שלוש כבשים - שלוש "אמהות":

- כבשה אחת - שממנה נלקח תא גוף (מהעטין). מהתא הוצא הגרעין הדיפלואידי ובו השתמשו.
- כבשה שנייה - שממנה הוצא תא ביצה. הגרעין של תא הביצה הורחק. בתא הביצה הושלל הגרעין שהוצא מהעטין של הכבשה הראשונה.
- כבשה שלישית - שברחמה הושלל תא הביצה לאחר שעבר איחוי עם הגרעין שמקורו בתא הגוף.

כך, ללא הפריה, התקבל תא דיפלואידי שממנו התפתחה הכבשה דולי (איור ה-21). כל תאי הכבשה דולי היו זהים לחלוטין לתאי הכבשה שממנה נלקח הגרעין הדיפלואידי, והיא אינה דומה לשתי ה"אמהות" האחרות: זו שתרמה את תא הביצה וזו שנשאה את העובר ברחמה.

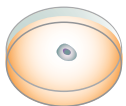


הוצאת תא גוף
הוצאת תא ביצה

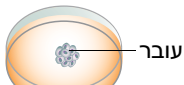
בידוד הגרעין
מתא הגוף

הרחקת הגרעין
מתא הביצה

איחוי של הגרעין מתא גוף
עם תא הביצה הריק



התא המאוחד מתחלק



השתלת העובר



טלה משובט - דולי

איור ה-21: שלבים בתהליך שיבוט



דולי הכבשה חייתה כשש שנים במהלכן אף המליטה את בוני. אך כשהייתה בת 6 שנים, כמחצית מתוחלת החיים של כבשה, היא מתה ממחלת ריאות המאפיינת כבשים בגיל מבוגר בהרבה מגילה.

אחד החששות הגדולים הוא שדולי, ששובטה תוך שימוש בחומר תורשתי של כבשה מבוגרת בת שש, נולדה עם תאים מבוגרים ולכן הזדקנה במהירות. חשש זה מבוסס על התיאוריה שלפיה מספר הפעמים שכל תא יכול להתחלק קבוע מראש, ובכל חלוקה מתקצר קצה מולקולות ה-DNA, הקרוי **טלומר**. כאשר הטלומר בתאים קריטיים נגמר, בעל החיים חשוף למחלות זקנה. מאחר שדולי שובטה מתאי העטין של כבשה בת שש יתכן שגילה הביולוגי בעת מותה היה למעשה 11 שנים, גיל שהוא בגדר שיבה טובה עבור כבשה. למרות פריצת הדרך שנעשתה עם שיבוטה של דולי, עד היום אין שימוש נרחב בשיבוט של בעלי חיים מפותחים, אם כי היו כמה אנשים שהרעיון לייצר העתק מדויק שלהם מצא חן בעיניהם...

דילמה



תהליך השיבוט של בעלי חיים ובכלל זה שיבוט בני אדם, מעורר מחלוקת רבה בעולם ומעלה שאלות אתיות רבות.

שאלה ה-16



- א. מה יכול להיות המניע לשיבוט חיות משק?
- ב. הציעו שני טיעונים שעליהם יכולה להתבסס ההתנגדות לשיבוט בני אדם.
- ג. הציעו שני טיעונים שעליהם יכולה להתבסס התמיכה בשיבוט בני אדם.

עיקרי הנושאים בפרק



- הגיל שבו אורגניזם יכול להתרבות תלוי בגורמים תורשתיים-פנימיים המושפעים מגורמים חיצוניים-סביבתיים.
- השלב במחזור החיים שממנו ואילך הפרט מסוגל להתרבות ברבייה זוויגית נקרא בגרות מינית.
- גם לאחר הגעה לבגרות מינית, מרבית בעלי החיים אינם מסוגלים להתרבות כל השנה, אלא רק בעונת הרבייה שלהם.
- ברוב מיני החולייתנים, קל להבחין בין זכרים לבין נקבות הודות להבדלים בסימני הזוויג המשניים.
- בעונת הרבייה חלים שינויים במראה ו/או בהתנהגות של בעלי החיים (שכבר הגיעו לבגרות מינית). באמצעות השינויים האלה זכרים ונקבות מאותתים אלו לאלו על מידת המוכנות שלהם לרבייה.
- לרוב מיני הדגים מערכות רבייה פשוטות וההפריה היא חיצונית.

- גורמים המגדילים את ההסתברות למפגש בין תאי רבייה של אותו מין ביולוגי ולהתרחשות הפריה בבית גידול מימי הם: הכמות העצומה של תאי רבייה, הפרטים המתרבים ביניהם חיים על פי רוב בסמיכות אלה לאלה, תאי הרבייה הנקביים והזכריים משתחררים אל המים בערך באותו זמן, אמצעי תקשורת קוליים ו/או כימיים מסייעים להפגשת הזכרים עם הנקבות ולהפגשת תאי הזרע עם תאי הביצה.
- בדו־חיים הצאצא הבוקע מן הביצה נקרא ראשן. הראשנים עוברים שינויים הדרגתיים עד להפיכתם לדו־חיים בוגרים בתהליך המכונה גלגול.
- המאפיין הבולט של הרבייה במינים החיים כל חייהם ביבשה - זוחלים, עופות ויונקים - הוא ההפריה הפנימית.
- לרבייה של זוחלים ועופות יש מאפיין משותף לרוב המינים והוא התפתחות העובר בתוך ביצה המוטלת מחוץ לגוף הנקבה.
- מבנה הביצה מאפשר לעובר התפתחות עצמאית, אך הסכנות האורבות לעוברים הן רבות.
- מערכת הרבייה הנקבית של התרנגולת בנויה משני חלקים: שחלה וצינור ביצים. רק השחלה וצינור הביצים השמאליים מפותחים.
- סביב העובר המתפתח בביצה נוצרים ארבעה קרומים.
- בצאצאי עופות מבחינים בין אפרוחים עוזבי־קן לגוזלים חובשי־קן.
- באדם ובקופים ממינים מסוימים יש מחזור וסת. הנכונות של נקבה להזדווג אינה מוגבלת לעונה מסוימת בשנה.
- אצל רוב מיני היונקים יש מחזור ייחום. הנכונות של הנקבה להזדווג מוגבלת לתקופה מסוימת במהלך מחזור הייחום.
- ברוב המכריע של מיני היונקים, ובכלל זה באדם, העוברים מתפתחים בתוך גוף האם באיבר מיוחד - רחם.
- כל צאצאי היונקים בטבע תלויים בתחילת חייהם באם והם ניזונים בתקופה הראשונה של חייהם מחלב שנוצר בבלוטות החלב של האם.
- התפתחות איברים ומנגנונים המאפשרים רבייה ביבשה התקדמה במהלך האבולוציה בכמה כיוונים: המקום שבו מתרחשת ההפריה, המקום שבו מתפתח העובר, האופן שבו ניזון העובר, האופן שבו ניזון הצאצא הצעיר.
- באורגניזמים חד־תאיים כגון אמבה וסנדלית חלוקת תא בדרך של מיטוזה משמעה התרבות.
- הנצה היא דרך של רבייה אל־זוויגית שבה פרטים חדשים נוצרים על גבי פרט האם, ניתקים ממנו וממשיכים את חייהם בנפרד.
- רביית בתולים היא צורה של רבייה אל־זוויגית המתקיימת למשל בחרקים החיים בחברה כגון דבורים, בסרטני מים כמו דפניות.
- תרבית רקמה ושיבוט הן טכנולוגיות של רבייה אל־זוויגית בדרכים שאינן אפשריות בטבע.



מושגים חשובים בפרק



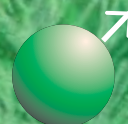
מחזור וסת	אשכים
מחזור ייחום	בגרות מינית
מיטוזה	ביוץ
סימני זיווג משניים	ביצה
עוזב קן	בלוטות חלב
עופות	בעלי שליה
פרומון	דגים
צינור מוביל הזרע (צינור הזרע)	דגירה
צינור מוביל ביצים (צינור הביצים)	דו־חיים
ראשן	הורמוני זיווג
רבייה אל־זוויגית	היריון
רביית בתולים	המלטה
רחם	הנקה
שחלות	הפריה חיצונית
שיבוט	הפריה פנימית
שליה	השרצה
שפיר (אמניון)	חובש קן
שק חלמון	חיזור
שקי עובר	חלמון
תא ביצה	חסרי שליה
תא זרע	יונקים
תקשורת בין זוויגים	יותרת האשך
	ייחום

רבייה בצמחים



11. רבייה אל־זוויגית
21. רבייה זוויגית
31. מזיגוטה לעובר
41. מזרע לצמח
51. היבטים אבולוציוניים של
רבייה זוויגית בצמחים

עיקרי הנושאים בפרק
מושגים חשובים בפרק



פרק ו: רבייה בצמחים

בצמחים רבים מתקיימות שתי צורות הרבייה: **רבייה אל-זוויגית** (אל-מינית) ו**רבייה זוויגית** (מינית).

רבייה אל-זוויגית בצמחים נקראת גם **רבייה וגטטיבית** (וגטטיבי פירוש: גידול, צמיחה) משום שאיברים שונים של הצמח (שאינם מעורבים ברבייה זוויגית) - גבעולים, ענפים, עלים ושורשים - משמשים מקור לצמח חדש. כל אחד מאיברים אלה יכול להתפתח לצמח שלם. רבייה וגטטיבית יכולה להתקיים ללא תלות בגיל הצמח ובעונת השנה. לעומת הרבייה הוגטטיבית, הרבייה הזוויגית היא אירוע מיוחד שמתקיים רק בשלב מסוים במחזור חיי הצמח. בשלב זה מתפתחים בצמח פרחים שבהם נמצאים איברי הרבייה הזוויגית ובהם חלה הפריה. בעקבות ההפריה מתפתחים פירות ובתוכם הזרעים - תחילתו של הדור החדש.

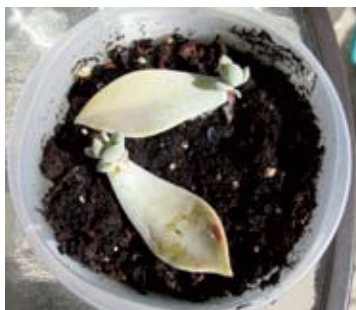
יש צמחים שהם **חד-שנתיים**, כלומר הם מתחילים את מחזור חייהם, גדלים ומתרבים ומסיימים את חייהם בעונה אחת או לכל היותר בתוך שנה אחת. רבים מהצמחים שאנו רואים בפריחתם באביב הם צמחים חד-שנתיים כמו הסביון והחרדל וכך גם רבים מצמחי החקלאות כמו החיטה, התירס והקמנית. צמחים אחרים הם **רב-שנתיים** - הם חיים יותר משנה אחת ויכולים להתרבות מספר רב של פעמים במהלך חייהם. כאלה הם צמחי המטע והכרם כגון תפוח, אפרסק, גפן וזית ועצי החורש כמו אלון וחרוב. בין הצמחים הרב-שנתיים ישנם שיחים ועצים שממשיכים לצמוח ולהתקיים שנים רבות וגם גיאופיטים שעליהם תלמדו בהמשך.



איור ו-1: מימין - סביון, צמח חד-שנתי; משמאל - עץ אלון, צמח רב-שנתי

רבייה זוויגית שמתרחשת מספר פעמים במחזור החיים היא תופעה המוכרת לכם גם מבעלי חיים רבים. אולם בכל זאת יש הבדל מהותי בעניין זה בין צמחים לבין בעלי חיים: בעוד שמספר שנות חייו (או חודשי חייו) של בעל חיים מסוים הוא סופי ונע בטווח צר (לדוגמה: כלבים וחתולים חיים בממוצע 12 שנים), אורך החיים הממוצע של הצמחים משתנה בטווח רחב מאוד של שנים, לדוגמה: נרקיס חי 5-10 שנים, כליל החורש חי כמה עשרות שנים, אלון מגיע למאות שנים. עצים מסוימים חיים מאות ואף אלפי שנים, אם כי חלקים של העץ כגון העלים מתים ונושרים.

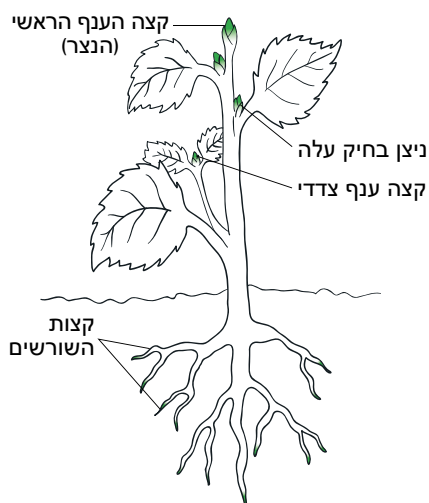
11. רבייה אל-זוויגית



ודאי ראיתם פעם גבעול שנלקח מצמח, הושם במים, הצמיח שורשים ולאחר שנשתל בקרקע התפתח לצמח עצמאי. במינים מסוימים גם עלה שנשר מצמח יכול להצמיח שורשים, להשתרש בקרקע ולהתפתח לצמח שלם (איור ו-2).

איור ו-2: עלה של צמח בשרני שנשר לקרקע, הצמיח שורשים והתפתח לצמח צעיר

שני מאפיינים חשובים של צמחים מאפשרים רבייה אל-זוויגית וגם רבייה זוויגית במשך שנים רבות מאוד:



איור ו-3: מקומן של מריסטמות בצמח

1. **התפתחות נמשכת** - בקצות הענפים והשורשים המהווים את **קדקודי הצמיחה** של הצמח ובניצנים שבחיקי העלים יש רקמות מיוחדות - **מריסטמות** (איור ו-3), שתאיהן מתחלקים בקצב מהיר ויכולים להתפתח ולהתמייין לרקמות שונות ולאיברים שונים: עלים, פרחים, ענפים ושורשים.

2. **יכולת התחדשות (רגנרציה)** - לתאים הבוגרים של הצמח שכבר התמיינו יש יכולת התחדשות. יכולת זאת מתאפשרת בעיקר הודות לתכונות אלו:

- בכל אחד מתאי הצמח קיים כל המידע התורשתי הדרוש לבנייה של צמח שלם.
- תא בוגר שכבר עבר התמיינות (כגון תאי העלה שבאיור ו-2) יכול לחזור ולהיות בעל כושר חלוקה כתא מריסטמטי בדומה לתא גזע עוברי בבעלי חיים.

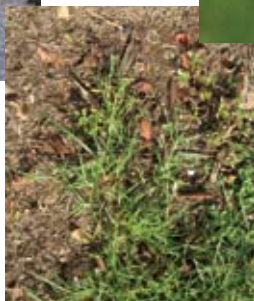
רבייה אל-זוויגית מתרחשת באופן טבעי בדרכים שונות, אך בכולן התהליך התאי שעליו היא מבוססת הוא **מיטוזה**.
בטבלה ו-1 מוצגות הדרכים השונות לרבייה אל-זוויגית מאיברים תת-קרקעיים ועל-קרקעיים של הצמח.



טבלה ו-1: דרכים לרבייה אל-זוויגית בצמחים

דוגמאות	תיאור והסבר	האיבר	
אספרג	גבעול רב-שנתי הגדל בצורה אופקית ונושא עלים ופרקים. מהניצנים* בחיקי העלים מתפתחים צמחים חדשים.	קנה שורש	איברים תת-קרקעיים
תפוח אדמה, כלנית, נורית, סייפן, סתונית, אירוס	גבעול מעובה או שורש מעובה האוגר חומרי תשמורת. מפקעיות שנוצרות בבסיס הפקעת ומניצני ריבוי בראשה יכולים להתפתח צמחים חדשים.	פקעת	
בצל, נרקיס, שושן, חצב	גבעול קצר ומעובה שבסיסי העלים ערוכים סביבו בצפיפות ובהם אגורים חומרי תשמורת. מניצני ריבוי שבין העלים מתפתחים בצלולים חדשים.	בצל	
אגס, שיזף	שורשים הנחשפים מהקרקע המכסה אותם יכולים להתפתח לגבעולים נושאי עלים ולבסוף לצמחים חדשים.	שורש	
ניצנית	צמחים צעירים המתפתחים בשולי העלים של צמח בוגר. בבוא הזמן הם נושרים לקרקע ומתפתחים לצמח עצמאי.	עלים	איברים עלי-קרקעיים
תות שדה, דשא (יבלית), ירקה	גבעולים הצומחים במקביל לפני הקרקע (ייתכנו גם שלוחות תת-קרקעיות) מצמיחים מהניצנים שבמפרקים ענפים נושאי עלים ושורשים.	שלוחות	
בננה, עצי תמר	ענפים המתפתחים מבסיס הצמח יכולים להתפתח לצמח עצמאי חדש אם ינותקו מצמח האם.	חוטרים	
צבר ("עלי" הצבר הם גבעולים), תאנה	גבעולים הנושרים לקרקע יכולים להצמיח שורשים ולהתפתח לצמחים חדשים ועצמאיים.	ייחורים	

*ניצן - קצה צעיר וקצר מאוד של גבעול שממנו מתפתחים עלים או פרחים.



איור ו-4: רבייה אל-זוויגית (וגטטיבית) בצמחים

מימין לשמאל: פקעות על צמח תפוח אדמה, ניצני ריבוי בתפוח אדמה, צמחונים בשולי עלה בוגר בניצנית, שלוחות של יבלית (דשא), שלוחות של ירקה

קשר לנושא

אקולוגיה:

גיאופיטים - התאמה
בין המבנה והתפקוד
של אורגניזמים לתנאים
בסביבתם.

הרחבה

גיאופיטים

הגיאופיטים (ge=קרקע; phyton=צמח) הם צמחים **רב-שנתיים** שיש להם איברי אגירה מעובים, תת-קרקעיים, הנושאים ניצנים. איברי האגירה הם **קנה שורש, בצל** או **פקעת**.



עמודי פריחה של חצב

באזורים של אקלים ים-תיכוני כמו בישראל, שבה הקיץ יבש וחם, החלקים העל-קרקעיים של הצמח מתייבשים עם בוא הקיץ, ואילו החלקים התת-קרקעיים נשארים רדומים בקרקע. בסתיו מתפתחים מהניצנים עלים ופרחים (לעיתים כמו בחצב, הפרחים מופיעים לפני העלים) ונוצרים פירות וזרעים. איברי האגירה כגון הפקעות של נרקיס, צבעוני ויקינתון מכילים חומרי תשמורת, בעיקר **פחמימות**. כאשר הצמח מתעורר מתרדמת הקיץ חומרי התשמורת מפורקים בעזרת אנזימים, ותוצרי הפירוק משמשים את הצמח המתחדש לתהליכי הגדילה של איבריו עד להתפתחותם של עלים שבהם מתבצע תהליך הפוטוסינתזה.

שאלה ו-1

- א. בטבע בדרך כלל אפשר לצפות בחצבים, **סתונוניות** ו**חלמוניות** הגדלים בקבוצות צפופות. הציעו הסבר לתופעה זו.
- ב. מחיתוך של פקעת אחת של תפוח אדמה לחלקים אפשר לקבל כמה צמחים של תפוח אדמה. ציינו שתי תכונות חשובות שמאפשרות התפתחות צמח שלם מחלקי הפקעת והסבירו את החשיבות של כל אחת מהן.

הזהות התורשתית של הצאצאים המתקבלים ברבייה אל-זוויגית מאפשרת לשמר תכונות רצויות לאורך דורות רבים. מסיבה זו חקלאים וגננים מעדיפים לעתים להשתמש בשיטות של רבייה אל-זוויגית גם בצמחים המסוגלים להתרבות ברבייה זוויגית. כאשר מצליחים לטפח זן איכותי המגדלים ישתדלו להרבות אותו בדרך של רבייה אל-זוויגית, וכך כל הצאצאים יהיו זהים בתכונותיהם לצמחי האם. דוגמה לגידול חקלאי שאותו מרבים ברבייה אל-זוויגית היא **זני גפן אחדים**, כמו קברנה-סובינון, שמרבים אותם כך באמצעות הרכבה כבר מאות שנים וכך נשמרות התכונות שלהם מדור לדור.

2. רבייה זוויגית

רבייה זוויגית בצמחים דומה עקרונית לרבייה זוויגית באורגניזמים אחרים: **תאי רבייה הפלואידיים** (גמטות) נפגשים ומתלכדים, מה**זיגוטה** ה**דיפלואידית** מתפתח עובר והוא מתפתח לצמח חדש. עם הזמן הצמח הצעיר גדל לצמח בוגר ומגיע לשלב שבו מתפתחים הפרחים ובהם איברי הרבייה, והוא מתרבה ומעמיד צאצאים נוספים.

עוד על

הרכבה ושיטות לרבייה
אל-זוויגית בחקלאות,
בפרק ז', עמודים
153-154.

שאלה ו-2

מדוע ברבייה זוויגית לא נשמרות התכונות של צמח האם?

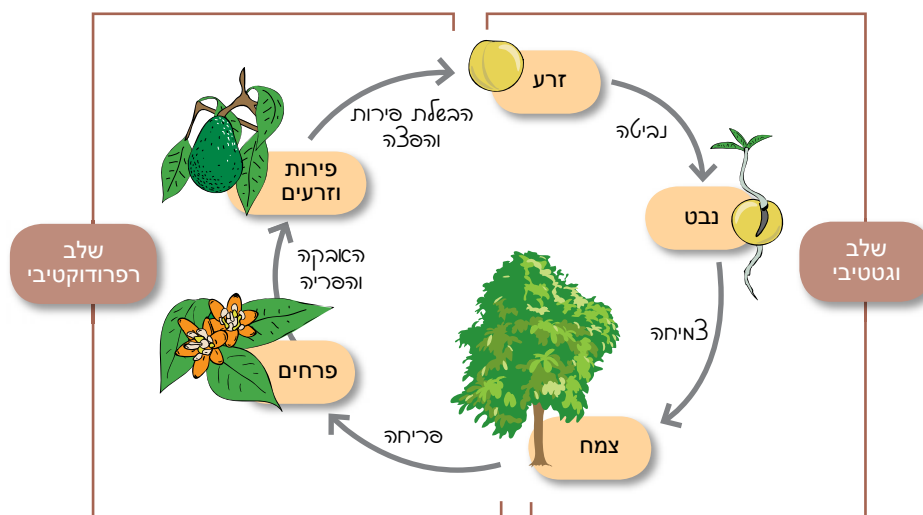
שאלה ו-3

במשתלה של צמחי גינה שתלו שתילי ורדים בשתי ערוגות סמוכות, א ו-ב. כל השתילים בערוגה א גודלו מייחורים שנלקחו מצמח-אם אחד. כל השתילים בערוגה ב גודלו מזרעים שנאספו מאותו צמח-אם שממנו נלקחו הייחורים לערוגה א. התנאים היו זהים בשתי הערוגות. בין הצמחים שגדלו בערוגה ב היו הבדלי גובה גדולים, ואילו בין הצמחים שגדלו בערוגה א היו הבדלי גובה קטנים יותר. הסבירו את התוצאות.



מתי צמח מתרבה ברבייה זוויגית?

מחזור החיים של צמחים בעלי זרע (איור ו-5) מתחיל עם נביטת הזרע שממנו מתפתח הצמח הצעיר. ברוב מיני הצמחים יש שלב בחיי הצמח - **שלב וגטטיבי** - שבו הוא צומח וגדל, אך אינו פורח ואינו יכול להתרבות כלל. שלב הרבייה - **השלב הרפרודוקטיבי** - המתבטא בפריחה, יכול לצאת אל הפועל אם מתקיימים תנאים מיוחדים המושפעים מגורמים פנימיים ומגורמים חיצוניים-סביבתיים. הפרחים הם מוקד הפעילות הרבייתית של הצמחים בעלי הזרעים: באיברי הרבייה שבפרח מתפתחים תאי הרבייה המשתתפים בתהליכי ההאבקה וההפריה. בעקבות ההפריה מתפתחים בצמח פירות ובתוכם הזרעים. בכל זרע נמצא העובר שהוא ראשיתו של הדור הבא.



איור ו-5: שלבים ותהליכים במחזור חיים של צמח בעל זרע: מזרע אחד לפירות ובהם זרעים

בצמחים חד-שנתיים הצמח מזדקן ומת והזרעים מתחילים מחזור חיים חדש. בצמחים רב-שנתיים השלב הרפרודוקטיבי במחזור מתקיים פעמים רבות במשך חיי הצמח.

על מושגים

חסרי זרע ובעלי זרע

בממלכת הצמחים מבחינים בין צמחים שהם חסרי זרע לבין צמחים בעלי זרע. בצמחים שהם **חסרי זרע**, העובר מתפתח בתוך איבר שבו חלה ההפריה והוא אינו מוגן בקליפה. האצות, שהם צמחי מים, וכן טחבים ושרכים, שהם צמחי יבשה פשוטים המתקיימים בסביבות לחות - כולם חסרי זרע, והם אינם נושאים פרחים. בצמחים שהם **בעלי זרע**, העוברים מוגנים היטב בתוך זרע. לקבוצה זו שייכים רוב הצמחים המוכרים לכם מחיי היום יום, ועליהם נרחיב בפרק זה.

1.21 פריחה

בצמחים בעלי זרעים המעבר לשלב הרבייה הזוויגית מתבטא בראש ובראשונה בהופעת **פרחים**. צמחים רב־שנתיים פורחים מידי שנה בעונה קבועה, למשל: החצב פורח בסתיו והשקד - לקראת האביב (ט"ו בשבט). צמחים חד־שנתיים פורחים בסופה של תקופת הגדילה.

איך "יודעים" הצמחים שמתקרבת העונה המתאימה לרבייה?!

המעבר מהשלב הוגטיבי לשלב הרפרודוקטיבי קשור הן בגורמים פנימיים והן בגורמים חיצוניים.

הגורמים הפנימיים המשפיעים על מועד הפריחה תלויים במידע התורשתי של הפרט הקובע את מהלך ההתפתחות האופיינית לו. על פי המידע התורשתי קיימת תקופה שבה הצמח גדל אך אינו מתרבה כלל. אורכה של תקופה זו שונה במינים שונים: בצמחים חד־שנתיים הגדלים בעונת הגשמים, וגם בצמחי מדבר, תקופה זו קצרה מאוד ויכולה להימשך שבועיים־שלושה בלבד. לעומתם בעצים רבים חולפות שנים אחדות לפני שהצמח מתרבה בפעם הראשונה.

מעניין לדעת



פעם אחת ודי...

ישנם צמחים רב־שנתיים כגון האגבה שמתרבים ברבייה זוויגית רק פעם אחת במהלך חייהם. הצמח גדל ומפתח עלים במשך כ־15 שנה ומתרבה ברבייה אל־זוויגית. לקראת סוף חייו הוא מצמיח עמוד יחיד של פרחים, ולאחר הפריחה וההפריה הצמח מסיים את מחזור חייו ומת (תופעה דומה צוינה בנוגע לדגי הסלמון בפרק ה' עמוד 81).

גורם **חיצוני-סביבתי** בעל השפעה ניכרת על מועד הפריחה בצמחים רבים הוא האור. מחקרים רבים הראו שצמחים רגישים למחזוריות של מספר שעות האור ביממה והם פורחים רק בצירוף מסוים של שעות אור ושעות חושך. תגובת הצמח למחזוריות האור נקראת **פוטופריודיזם** (photo=אור; periodos=מעגל). התברר



אגבה עם עמוד פריחה

עוד על

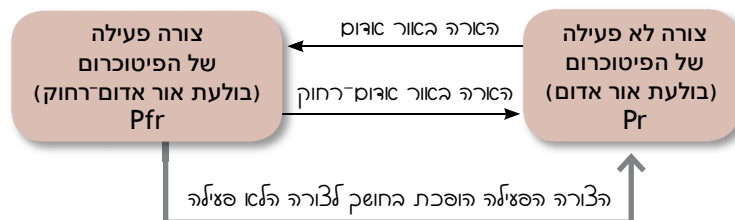
השפעה על מועד
הפריחה באמצעות
תאורה מלאכותית,
בפרק ז', עמוד 161.

שהגורם הקובע אם צמח יפרח או לא יפרח הוא הרצף של שעות החשכה ולא דווקא מספר שעות האור. **צמח של יום קצר**, הוא צמח הפורח רק אם מספר שעות החשכה הרצופות גבוה מערך סף (ערך קריטי) מסוים. **צמח של יום ארוך**, יפרח רק אם רצף שעות החשכה יהיה קצר מערך מסוים.

מכאן אנו למדים שצמחים הפורחים באביב מגיבים להתארכות הימים ולהתקצרות הלילות, ואילו צמחים הפורחים בסתיו מגיבים להתקצרות הימים ולהתארכות הלילות. בצד אלה יש גם צמחים שאדישים לאורך היום ופריחתם מושפעת מגורמים אחרים.

תגובת הצמח למחזוריות האור והחושך משמעותה שיש בצמח אמצעי לחוש באור וגם אמצעי למדוד את משך ההארה או החשכה. אמצעי לחישה האור הוא הפיגמנט **פיטוכרום**. פיטוכרום (phyton=צמח; chroma=צבע) נמצא בכל הצמחים הירוקים והוא מעורב בתהליכים חשובים בצמח, כמו נביטה ופריחה, שבהם האור הוא אות סביבתי.

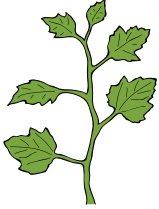
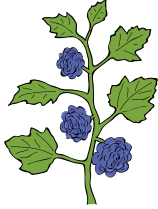
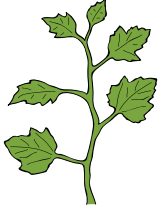
הפיטוכרום קיים בשתי צורות ובזה ייחודו: צורה אחת הנקראת Pr (Phytochrome red) בולעת אור באורכי גל של אור אדום (אורכי גל 650-680 ננומטר) והיא משתנה בעקבות בליעת האור לצורה הנקראת Pfr (Phytochrome far-red), הבולעת אור אדום-רחוק (אורכי גל 710-740 ננומטר). בליעת אור אדום-רחוק מחזירה את הפיטוכרום לצורה Pr הבולעת אור אדום בלבד (איור ו-6). שינוי הצורה של הפיטוכרום משרה (גורם) שינויים בצמח, כמו פריחה ונביטה. שהייה ממושכת בחושך גורמת גם היא לשינוי צורת הפיטוכרום הפעילה - Pfr לצורה הלא פעילה - Pr.



איור ו-6: המעבר בין צורות הפיטוכרום בהשפעת סוגי האור

בעקבות קליטת האור האדום על ידי הפיטוכרום Pr, חלבונים במבנה הפיטוכרום משנים את המבנה המרחבי שלהם לצורה הפעילה Pfr. בצורתם הפעילה הם נכנסים לגרעין התא ונקשרים לחלבוני גרעין המשפיעים על פעולתם של גנים מסוימים ועל יציבותם של חלבונים שונים. כך הם משפיעים על עידוד פריחה בחלק מהצמחים ועל עיכוב פריחה בצמחים אחרים וכך גם על נביטה.

בטבע הצמחים אמנם אינם חשופים להארה נפרדת של אור אדום ואור אדום-רחוק, אבל במשך היום הצמח חשוף ליותר אור אדום מאשר לאור אדום-רחוק. הצמחים מגיבים לסוג האור ולמשך ההארה: צמחי יום קצר כגון: חרצית, תות-שדה, אורז וטבק, פורחים כאשר בסביבתם מספר שעות החשכה ביממה גדול מערך מסוים. צמחי-יום-ארוך כגון: חיטה, שעורה, סלק, צנונית, אפונה ותרד פורחים כאשר מספר שעות החשכה ביממה קטן מערך מסוים (לילה קצר).

רצף שעות אור □ ושעות חושך ■ ביממה			
הבזק אור אדום 8 8 8			
8 16			
16 8			
			צמח א
			צמח ב

איור ו-7: השפעת מחזוריות שעות אור וחושך על פריחה בצמח יום קצר ובצמח יום ארוך

מחקרים הראו שאם קוטעים את תקופת החשכה הנדרשת לפריחה של צמח יום קצר על ידי הבזק קצר של אור אדום, הוא לא יפרח (איור ו-7). אפשר לבטל את השפעת האור האדום על ידי הבזק נוסף של אור אדום-רחוק. לעומת זאת, בצמחי יום ארוך הזקוקים לתקופת חשכה קצרה אפשר לגרום לפריחה על ידי קטיעה של תקופת חושך ארוכה על ידי הבזק של אור אדום. גם את ההשפעה הזו אפשר לבטל על ידי הארה באור אדום-רחוק.

מהתיאור לעיל גם עולה שיש בצמח מנגנון למדידת מספר שעות האור והחושך. שני המנגנונים: מנגנון מדידת הזמן ומנגנון החישה של סוג האור (אדום או אדום-רחוק) פועלים ביחד בהכוונת הפריחה.

שאלה ו-4

- א. מי מבין שני הצמחים באיור ו-7 הוא צמח יום קצר? הסבירו.
ב. האם צמחים שפורחים בארץ בקיץ הם צמחי יום קצר או צמחי יום ארוך? נמקו.

שאלה ו-5

בפורום גנים באינטרנט התפרסמה השאלה הבאה:
בחנוכה לפני שנתיים קיבלנו מתנה עציץ קקטוס פורח יפהפה - זיגוקטוס - שכל בני המשפחה אהבו. בהנחיות לטיפול נכתב שבכל שנה בתחילת החורף הפריחה תתחדש. העציץ נמצא בסלון, חשוף יחסית לאור. הצמח גדל למופת ונראה בריא וחזק, אבל חלפו שנתיים ואנחנו עדיין מחכים לפריחה. מה לעשות כדי שיחזור לפרוח?

התשובה שהתקבלה באותו פורום הייתה:

את הזיגוקטוס צריך להוציא למרפסת החשופה לאור שמש כחודשיים לפני תחילת הפריחה הצפויה שלו. כלומר, אם הפריחה שלו מתחילה בנובמבר, כדאי להוציא אותו למרפסת כבר בספטמבר.

- א. על סמך המידע והתשובה שניתנה בפורום בנוגע לפריחה של צמח הזיגוקטוס, קבעו אם הוא שייך לצמחי יום ארוך או לצמחי יום קצר. הסבירו את תשובתכם.
ב. הסבירו את ההמלצה להעביר את הזיגוקטוס מהסלון למרפסת.



זיגוקטוס

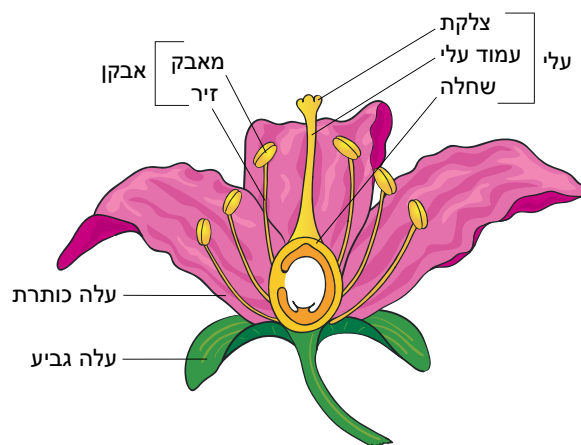


גורם סביבתי-חיצוני אחר המשפיע על הפריחה הוא **הטמפרטורה**. יש מיני צמחים שפורחים רק לאחר שנחשפו במשך זמן מסוים לטמפרטורה נמוכה יחסית (2°C עד 5°C). במינים אלה חשיפה קצרה מדי לטמפרטורה נמוכה מונעת פריחה. *דובדבן*, לדוגמה, אינו פורח ברוב חלקי הארץ בגלל שהטמפרטורה בהם אינה נמוכה דיה ולכן מגדלים אותו רק באזור ההר: בגולן, בהרי הגליל ובהרי ירושלים.

2.21 מבנה הפרח ואיברי הרבייה

אין בנמצא פרח שאפשר לכנותו "פרח טיפוס", כי כמעט אין גבול לשוני בצורה ובמבנה של הפרחים, אך אפשר לתאר חלקים שהם אופייניים למרבית הפרחים. איור 8-ו מציג חתך אורך סכמטי בפרח.

חלקי הפרח ערוכים בדרך כלל במעגלים (דוֹרִים): לרוב נמצא שני מעגלים של **עלי עטיף** - עלי גביע ועלי כותרת. **עלי הגביע** הם החיצוניים ובדרך כלל צבעם ירוק. תפקידם העיקרי - להגן על חלקי הפרח האחרים, במיוחד בשלבים הראשונים של התפתחות ניצן הפרח, אז הם עוטפים אותו. **עלי הכותרת** הם העלים הפנימיים, בדרך כלל הם צבעוניים ומהווים אמצעי למשיכת **מאביקים** - בעלי חיים המעבירים גרגרי אבקה מפרח לפרח, ובכך מסייעים לתהליך הרבייה הזוויגית.



איור 8-ו: חתך אורך סכמטי בפרח

יש מינים שבהם לפרח יש רק מעגל אחד של עלי עטיף, כמו למשל *בחצב*. יש מינים שבהם לפרחים אין עלי עטיף כלל, כמו פרחי *החרוב*. במינים רבים עלי העטיף של הפרחים מאוחים (מחוברים) והם נראים כגביע שלם ולא כעלי כותרת נפרדים, כגון בצמח *הפטוניה* (איור 9-ו).

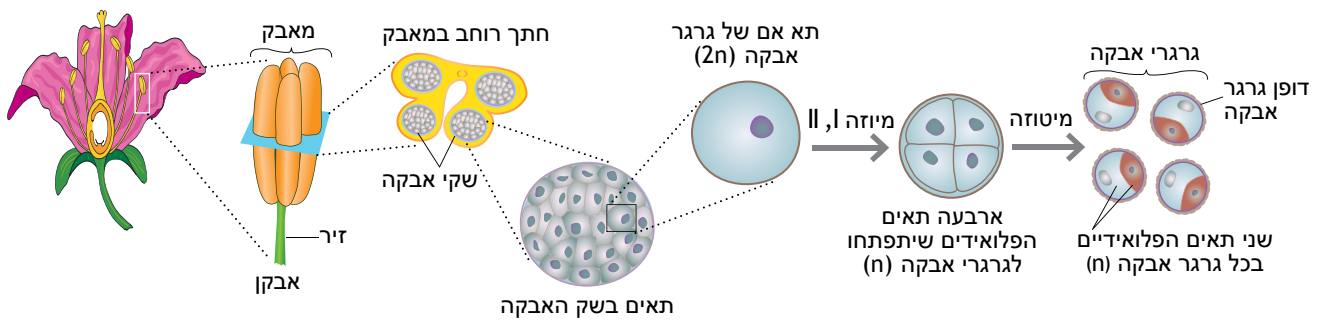


איור 9-ו: פרחים בעלי עלי עטיף שונים מימין לשמאל: היבסקוס, יערה איטלקית, פטוניה

פנימה לעלי הכותרת נמצאים **האבקנים** ובמרכז הפרח נמצא **העלי** (לעתים יש עליים אחדים). בצמחים רבים נמצאים **צופנים** בתוך הפרח או בסמוך לו. הצופנים הם רקמות המפרישות צוף - נוזל מתוק וריחני שמשמש למשיכת מאביקים הניזונים ממנו. אפשר להתייחס לצוף כאל "תגמול" למאביקים של הצמח תמורת "שירותי ההאבקה" שהם נותנים לו.

איברי הרבייה הזכריים: האבקנים

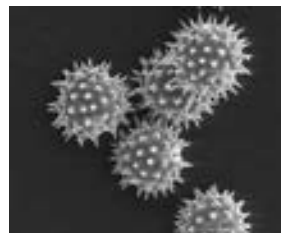
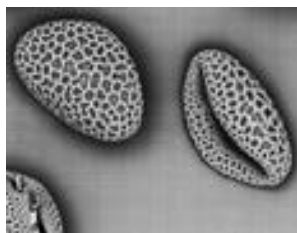
כל אבקן בנוי מ**זיר** שנושא עליו **מאבק** ובו ארבעה שקי אבקה (איור ו-10). בשקי האבקה מצויים תאים דיפלואידיים - תאי אם. בתאים אלה חלה מיוזה ומכל תא אם נוצרים 4 תאים הפלואידיים שכל אחד מהם מתפתח ל**גרגר אבקה**. אך אל לנו לטעות: גרגר האבקה עצמו אינו זהה לתא הזרע של הצמח - תא הרבייה הזכרי! גרעין התא של גרגר האבקה מתחלק (במיטוזה) וכך מתקבלים בתוך גרגר האבקה שני תאים הפלואידיים. לאחר נביטת גרגר האבקה על הצלקת אחד משני התאים מתחלק ואחד מתאי הבת יהיה תא הזרע (תא הרבייה) שיתלכד עם תא הביצה ותתקבל זיגוטה.



איור ו-10: התפתחות גרגרי אבקה

מספר גרגרי האבקה בכל פרח הוא רב מאוד. בעצי דקל, לדוגמה, נספרו עשרות אלפי גרגרי אבקה בפרח אחד. גרגרי האבקה מופצים אל פרחים אחרים בעזרת הרוח או בעזרת בעלי חיים. החיוניות של גרגרי האבקה נשמרת שעות אחדות ואף מספר ימים ממועד הבשלתם. במקומות רבים בארץ בעונת האביב נראית לעין אבקה צהובה. אלו הם גרגרי אבקה של אורן. גרגר האבקה הבשל מוקף בדופן רב־שכבתית. החומרים שמהם עשויה הדופן הם מהחומרים העמידים ביותר שנוצרים בטבע. השכבה החיצונית קשה מאוד ובעלת בליטות ושקעים האופייניים למין. למבנה הדופן של גרגרי האבקה ולתכונותיה יש כמה תפקידים:

- הגנה על גרגר האבקה מפני התייבשות, קרינה ופגיעות מכניות
 - דופן בעלת זיזים מסייעת להצמדה אל המאביק וגם להשתחררות ממנו כשהמאביק מגיע אל הצלקת
 - דופן חלקה (חסרת זיזים) או בעלת שקי אוויר מקלה על תעופה ברוח
 - היכרות וזיהוי בין צלקת לבין גרגר האבקה של אותו מין ביולוגי.
- הבליטות והשקעים שעל דופן גרגר האבקה משמשים אחד האמצעים למיון הצמחים.



גרגרי אבקה מצמחים שונים (מוגדלים בערך פי מאה)

מעניין לדעת



הדופן של גרגרי האבקה

הודות לעמידות הגבוהה של הדופן החיצונית נשמרת צורת גרגרי האבקה שנים רבות לאחר שאינם חיוניים עוד. חוקרים מצאו מאובנים של גרגרי אבקה בני 100 מיליון שנה. מגוון גרגרי אבקה שנשתמרו מתקופות קדומות מסייע בלימוד ההיסטוריה הביולוגית של כדור הארץ ובהכרת התנאים ששררו בו בעבר. בעיקר אפשר ללמוד על סוגי העצים והיערות שהיו נפוצים בתקופה מסוימת, בהתאם לכמויות ולסוגים של גרגרי האבקה השונים שנמצאו, שכן עצים רבים מייצרים גרגרי אבקה בכמויות גדולות. בכמה מקרים סייעו גרגרי האבקה לפתור מעשה פשע: גרגרי האבקה שנמצאו על בגדיו של חשוד וזהו באמצעות הדופן הייחודית שלהם, קישרו את החשוד לזירת הפשע.

שאלה ו-6

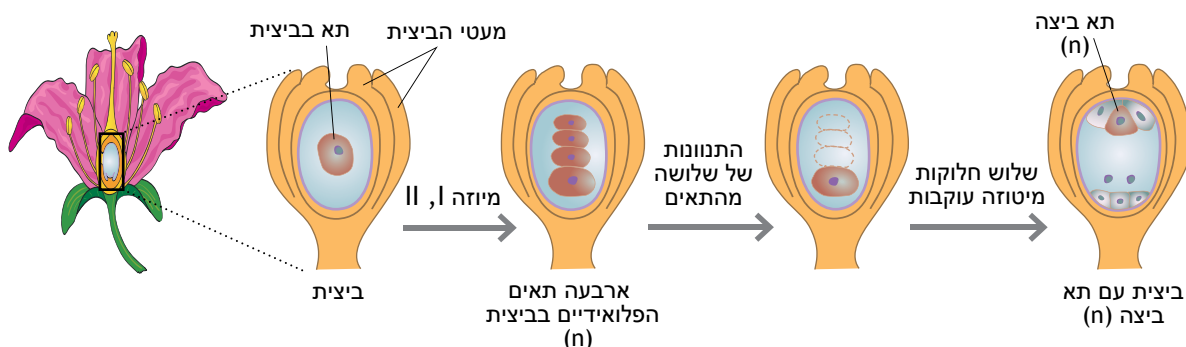


מבנה גרגרי האבקה מותאם לרבייה בסביבה יבשתית. הסבירו היגד זה.

איבר הרבייה הנקבי: העלי

העלי מורכב, משלושה חלקים (איור ו-8):

- צלקת:** אזור רחב בראש עמוד העלי. במקרים רבים הצלקת שעירה ודביקה, ומשמשת לקליטת גרגרי האבקה. כאשר גרגר אבקה מגיע אל הצלקת של פרח מאותו מין (species) הוא "נובט". הצלקת היא מקום עשיר בלחות ונוח לנביטת גרגר האבקה שכן מופרש ממנה נוזל עשיר בסוכרים, בחומצות אמיניות ובשומנים, המספקים חומרי מזון לגרגר האבקה הנובט.
- עמוד העלי:** הוא צינור המקשר בין הצלקת לשחלה המצויה בבסיס העלי. דרכו עוברים תאי הרבייה הזכריים אל השחלה.
- שחלה:** מצויה בבסיס העלי. בכל שחלה יש מבנה הנקרא **ביצית** או כמה מבנים כאלה כלומר כמה ביציות. מספר הביציות וסידורן בשחלה אופייני לכל מין צמח.



איור ו-11: שלבי התפתחות תא הביצה בביצית

בתא שבביצית מתרחשת **מיזוג** שבה מתקבלים ארבעה תאים הפלואידיים ששלושה מהם מתנוונים. בתא שנותר מתרחשות שלוש חלוקות מיטוזה שבעקבותיהן מתקבל מבנה שכולל שני גרעינים הפלואידיים ו-6 תאים שגרעיניהם הפלואידיים (איור ו-11). רק אחד מששת התאים האלה הוא **תא הביצה** (תא הרבייה הנקבי) שיתלכד במהלך ההפריה עם תא הרבייה הזכרי ליצירת **זיגוטה**.

על מושגים

ביצית ותא ביצה

למושגים ביצית ותא ביצה יש משמעויות שונות בהקשר לבעלי חיים ולצמחים. בעוד שבבעלי חיים תא הביצה (תא הרבייה הנקבי) מכונה לעיתים ביצית, הרי שבצמחים הביצית כוללת בתוכה מבנה רב־תאי שרק אחד מתאיו הוא תא הביצה (תא הרבייה הנקבי).

שאלה ו-7

צינו מאפיינים (רכיבי מבנה ותהליכים) דומים במערכת הרבייה בצמחים ובמערכת הרבייה בבעלי חיים ביבשה.

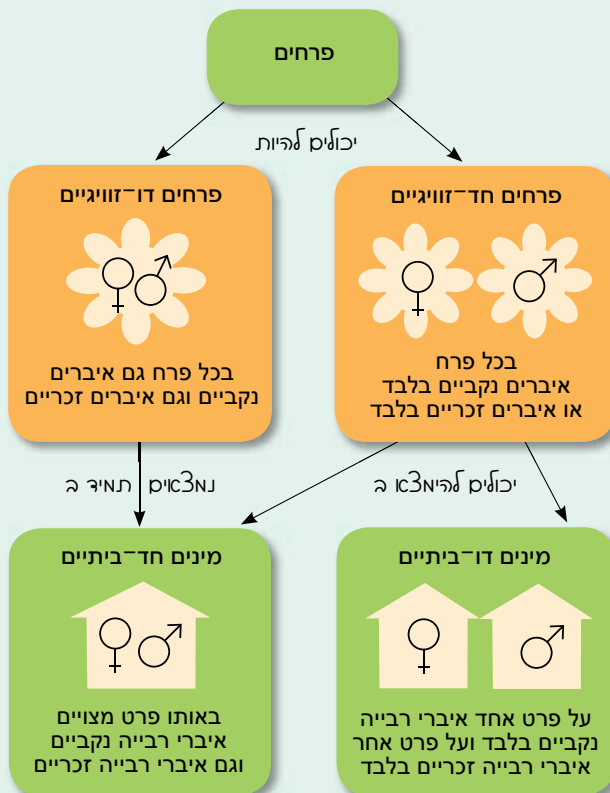
הרחבה

בית אחד או יותר?

הפרחים של רוב מיני הצמחים מכילים גם אבקנים וגם עלי. פרחים כאלה הם **דו־זוויגיים**. יש מיני צמחים שבפרחים שלהם יש עלי בלבד או אבקנים בלבד. פרחים אלה מכונים **חד־זוויגיים** (איור ו-12).

בין מיני הצמחים שפרחיהם **חד־זוויגיים** יש כאלה שבהם גם הפרחים הזכריים וגם הנקביים נמצאים על אותו פרט. צמחים אלו הם צמחים **חד־ביתיים**, לדוגמה, **תירס**. במינים אחרים הפרחים הנקביים והזכריים נמצאים על פרטים שונים. יש להם שני "בתים", כלומר הם **דו־ביתיים**, לדוגמה: **חרוב**, **תמר**.

איור ו-12: האפשרויות הקיימות לגבי מיקום אברי הרבייה בפרחים ובצמחים



3.21 האבקה

בדומה ליצירת צאצא בקרב בעלי חיים, צאצא של צמח נוצר בעקבות **הפריה** - התלכדות תא רבייה זכרי (גמטה זכרית) עם תא רבייה נקבי (גמטה נקבית) המצוי בביצית שבתוך השחלה. התהליך המקדים את המפגש בין תאי הרבייה נקרא **האבקה**, כלומר מעבר של גרגרי אבקה אל הצלקת. רק לאחר נביטת גרגר האבקה יתקבל תא הרבייה הזכרי.

לעומת בעלי החיים, הצמחים קבועים במקומם ואינם יכולים ל"חפש" בני זוג. העברת גרגרי האבקה מפרח לפרח נעשית בשתי דרכים עיקריות: האבקה על ידי רוח והאבקה על ידי בעלי חיים (בעיקר חרקים וציפורים). מבנה הפרח, צבעו ומבנה גרגרי האבקה מותאמים לדרך ההאבקה (טבלה ו-2, איור ו-13).

טבלה ו-2: התאמות של הפרח ואיבריו להאבקה על ידי רוח או בעלי חיים

המאפיין	האבקה על ידי רוח	האבקה על ידי בעלי חיים
גודל הפרחים וצבעיהם	פרחים קטנים, חסרי צבע	פרחים גדולים וצבעוניים או קטנים אך מאורגנים בתפרחת צפופה ובולטת מושכים בצורתם ובצבעיהם את החרק המאביק
מבנה הפרחים	לעתים חסרים עלי כותרת	מבנה המעודד מגע בין החרק המגיע לפרח לבין גרגרי האבקה והצלקת
צופנים	אין	יש צוף ו"נתיבי צוף" על עלי הכותרת המובילים את המאביק אל הצוף
ריח בפרחים	אין	יש ריח המושך בעלי חיים
מבנה האבקנים	זירי האבקנים ארוכים, גמישים ובולטים מתוך הפרח	מותאם לכך שהאבקה תידבק לגוף החרק או לרגליו בעת שהוא מבקר בפרח
מספר גרגרי האבקה	מספרם רב מאוד (מיליונים)	מספרם רב (חלקם ישמשו כמזון למאביקים)
מבנה גרגרי האבקה	זעירים, קלים במשקל ושטח פניהם חלק יחסית. לעתים יש תוספות המקלות על התעופה כמו שקיות אוויר	גדולים וכבדים יחסית, שטח הפנים מחוספס, יש תוספות המקלות על ההיצמדות לגוף בעל החיים המאביק
מבנה הצלקת	חשופה, גמישה, בעלת שטח קליטה רחב ודביק, לעתים מסועפת	בעלת משטח קטן יחסית ודביק

קשר לנושא

אקולוגיה:
התאמת המבנה של הפרח ליחסי גומלין עם בעלי חיים.



איור ו-13: מימין - פרחים (חרצית) המואבקים על ידי חרקים, משמאל - פרחי אלון המואבקים על ידי רוח



שאלה ו-8

צמחים רבים מואבקים על ידי דבורת הדבש. מהו סוג יחסי הגומלין בין דבורת הדבש והפרחים? הסבירו.

שאלה ו-9

באזור מסוים גדלים 2 סוגי צמחים. סוג אחד - צמחים ריחניים שיש להם עלי כותרת צבעונים, וסוג שני - צמחים שיש להם עלי כותרת קטנים וחסרי צבע. בעקבות ריסוס הושמדו רוב החרקים באזור. כתוצאה מכך חל שינוי ביחס המספרי בין שני סוגי הצמחים. מה היה, לדעתכם, השינוי ביחס המספרי בין שני סוגי הצמחים? נמקו.

שאלה ו-10

א. במה מושקעים עיקר המשאבים והאנרגיה בצמחים המואבקים על ידי רוח בהשוואה לצמחים המואבקים על ידי בעלי חיים?
ב. הסבירו איך קשורה השקעת המשאבים לדרך ההאבקה.

מעניין לדעת

קדחת השחת

אנשים רבים סובלים בעונת הפריחה - באביב - מתופעה המכונה "קדחת השחת". הם מרבים להתעטש ועיניהם דומעות. זוהי בדרך כלל תגובה אלרגית לחלבונים המשתחררים מגרגרי אבקה כאשר הם באים במגע עם לחות. בעיקר מוכרות תגובות אלרגיות לגרגרי אבקה של זית, אורן, יבלית וצמחים נוספים המשחררים גרגרי אבקה רבים לאוויר.

לא כל גרגר אבקה שהגיע אל הצלקת נובט עליה. בראש ובראשונה, על צמח מסוים לא ינבטו גרגרי אבקה של צמחים השייכים למין (species) אחר שעפו ברוח או הגיעו אל הצלקת במקרה באמצעות חרק או ציפור. מתופעה זו משתמע שיש בצמח מנגנון היכרות ורק גרגרי אבקה של אותו מין מצליחים לנבט. בהמשך הפרק נכיר מנגנון היכרות נוסף.

האבקה עצמית והאבקה זרה

אם גרגרי האבקה הנובטים על הצלקת הם מאותו הפרח או מפרחים של אותו הפרט (בצמח חד-ביתי) זוהי **האבקה עצמית**. אם גרגרי האבקה הגיעו מפרט אחר מאותו המין (species) זוהי **האבקה זרה** (הדדית).

בהאבקה זרה הגיוון הגנטי בקרב הצאצאים גדול יותר שכן מדובר בצירוף של מידע תורשתי משני הורים שונים, בעוד שבהאבקה עצמית הורה אחד הוא המקור הבלעדי של המידע התורשתי. חשוב לזכור שגם בהאבקה עצמית הצאצאים אינם זהים להורה, משום שבתהליך יצירת תאי הרבייה הזכריים והנקביים חלה מיוזה, נוצרים תאי רבייה שונים זה מזה בהרכבם התורשתי והתלכדות תאי הרבייה היא אקראית, ולמעשה זו רבייה זוווגית לכל דבר.



במינים רבים של צמחים נמצא שמתקיימת גם האבקה זרה וגם האבקה עצמית. האבקה עצמית מהווה יתרון במינים שבהם הסיכוי להאבקה זרה הוא קטן, כמו למשל כאשר המרחק בין הפרטים גדול מאוד ואינו מאפשר האבקה זרה. יש מינים שבהם רוב ההאבקה היא עצמית, אך מינים מעטים בלבד מואבקים רק בהאבקה עצמית.

שאלה ו-11



- א. באיזה שלב בתהליך יצירת תאי הרבייה הזכריים והנקביים חלה מיוזה?
- ב. דרגו את מידת הדמיון - מהדומים ביותר אל הדומים פחות - בין צאצאים שונים: צאצאי האבקה עצמית, צאצאי האבקה זרה, תאומים זהים, תאומים אחאים ואחים. הסבירו את הדירוג שקבעתם.

שאלה ו-12



- א. איזה סוג של תקשורת קיים בין גרגר האבקה והצלקת? הסבירו.
- ב. מהם היתרונות האפשריים כאשר מתקיימות שתי צורות האבקה באותו צמח?

אשנב למחקר



גידול צמחי מרפא בבתי רשת

בשנים האחרונות מתרחב השימוש בצמחי מרפא. הצמח *איִסְטִיס* מצוי (*Isatis jussitana*) - צמח חד־שנתי ממשפחת המצליבים משמש ברפואה העממית בעיקר לטיפול בדימום חיצוני ופנימי, לריפוי פצעים, לשיכוך כאבים ולהרגעת צריבות.

עם העלייה בביקוש לאִיסְטִיס לצורכי מרפא, החלו חקלאים לגדל את הצמח במבנים העשויים מרשתות צפופות. אולם התברר שבצמחי האיִסְטִיס שגדלו בבתי הרשת לא התפתחו פירות.

למחקר שנועד לברר את הסיבה להיעדר פירות נבחרו 5 מינים של צמחים ממשפחת המצליבים. מכל מין השתמשו בניסוי ב־40 שתילים שחולקו לשתי קבוצות: קבוצה אחת גודלה בתוך בית רשת, וקבוצה שנייה גודלה בחלקה פתוחה, סמוכה לבית הרשת.

בכל אחת מהקבוצות נבדק:

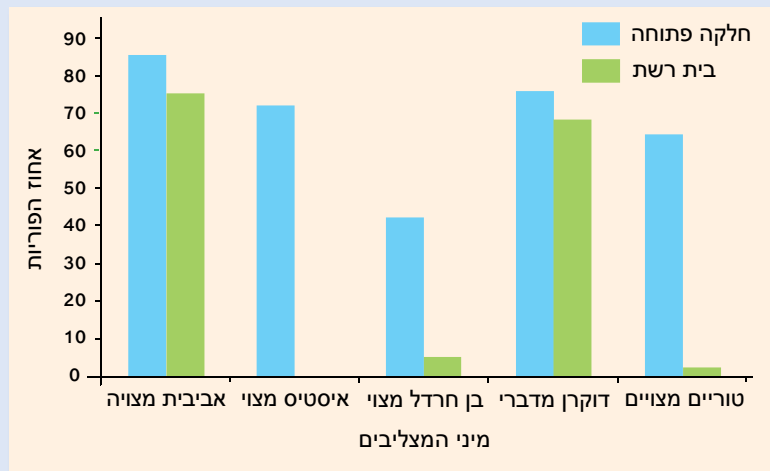
1. המספר הכללי של פרחים מכל מין צמח.
 2. מספר הפירות שהתפתחו מכל מין צמח.
- מתוך הנתונים של מספר הפרחים ומספר הפירות חושב אחוז הפוריות של כל מין צמח על פי הנוסחה שלהלן:

$$\text{אחוז הפוריות} = \frac{\text{מספר הפירות שהניבו הצמחים ממין מסוים} \times 100}{\text{סך כל הפרחים שנוצרו מהצמחים ממין מסוים}}$$



איִסְטִיס מצוי

תוצאות הניסוי מוצגות באיור ו-14:



איור ו-14: אחוז הפוריות של מיני צמחים שגדלו בבית רשת ובחלקה פתוחה

1. החוקרים טוענים כי התוצאות מראות שבית הרשת מונע האבקה על ידי חרקים. היעזרו בתוצאות המוצגות באיור כדי לנמק טענה זו.
2. מהי לדעתכם דרך ההאבקה של האביבית המצויה ושל הטוריים המצויים? הסבירו את תשובתכם.
3. מה הייתם מציעים לחקלאים לעשות כדי שיתפתחו פירות וזרעים בצמח האיסטיס?
4. מדוע, לדעתכם, ניסו החקלאים לגדל את האיסטיס בבית רשת ולא בשדה פתוח?

דרכים למניעת האבקה עצמית

בצמחים רבים התפתחו במהלך האבולוציה מנגנונים שונים המקטינים את הסיכוי להאבקה עצמית ובמקרים רבים אף מונעים אותה לחלוטין. אפשר לסווג את המנגנונים למניעת האבקה עצמית לשלוש קבוצות:

א. הפרדה במיקום: איברי הרבייה הנקביים והזכריים רחוקים אלה מאלה

הפרדה במיקום מושגת באופנים האלה: בפרחים חד־זוויגיים כל פרח מכיל רק איברי רבייה מטיפוס אחד - או אבקנים או עליים. בצמחים חד־ביתיים הפרחים החד־זוויגיים הם על אותו

פרט אך המרחק ביניהם מקטין את הסיכוי להאבקה עצמית. בצמחים דו־ביתיים הם נמצאים על פרטים שונים, ולכן ממילא הסיכוי להאבקה עצמית קטן.



פרחי חרוב על עץ נקבי



פרחי חרוב על עץ זכרי

צורת הפרדה נוספת במיקום קיימת בצמחים שבהם האבקנים והעלי אמנם נמצאים באותו פרח, אך הם "רחוקים" זה מזה. בצמח שנית גדולה יש פרחים שבהם האבקנים קצרים מהעלי ויש פרחים שבהם האבקנים ארוכים מהעלי (איור ו-15). האבקה פורייה תתאפשר רק אם גרגרי אבקה מאבקן קצר יפלו על צלקת קצרה ולהיפך.



איור ו-15: הפרדה במיקום - אורך שונה של אבקנים ושל עמוד עלי בפרחים של שנית גדולה

ב. הפרדה במועד הבשלת האבקנים והצלקת

הפרדה במועד ההבשלה פירושה שהאבקנים והעלי אינם מבשילים באותו זמן בדיוק. האבקנים מבשילים קודם להבשלת הצלקת או להיפך, וכך נמנעת האבקה עצמית וגובר הסיכוי להאבקה זרה. הבשלה מוקדמת של אבקנים מוכרת למשל בפרחים רבים ממשפחות השפתניים והמורכבים. בצמחים מסוימים ממשפחת הדגניים העלי מבשיל לפני האבקנים.

ג. אי התאם עצמי: מניעת האבקה עצמית על ידי מנגנון תורשתי

"אי התאם עצמי" פירושו שגרגרי אבקה של פרט מסוים אינם יכולים לנבוט על הצלקת של אותו הפרט, כלומר יש כאן דחייה של ה"עצמי" וקבלה של ה"לא-עצמי". המנגנון המונע נביטה של גרגרי האבקה או המשך התפתחות הנחשון הוא תורשתי ומבוסס על היכולת להבחין בין "עצמי" לבין "לא-עצמי".

מהו ההסבר לתופעה של "אי התאם עצמי"?

מחקרים הראו שבצמחים קיים גן המפקח על מערכת ההיכרות. נהוג לסמנו באות S. לגן S יש אללים רבים, וכל אלל מקודד להיווצרות חומר ייחודי. בכל תא של צמח דיפלואידי יש שני אללים של הגן S שסימניהם לדוגמה: S1 ו-S2. גרגר האבקה הוא הפלואידי, ולכן בגרעיניו יש רק אחד מהאללים - S1 או S2. אם גרגר האבקה נופל על צלקת (שתאיה דיפלואידיים), ואחד מהאללים שבגרעיני התאים הזה לזה שבגרגר האבקה, גרגר האבקה לא ינבט. אולם אם בגרעין התא של תאי הצלקת יש אללים שונים, למשל S3 ו-S4, גרגר האבקה ינבט. זהו רק אחד מהמנגנונים שבהם קובע המטען התורשתי האם גרגר האבקה ינבט אם לאו.

שאלה ו-13

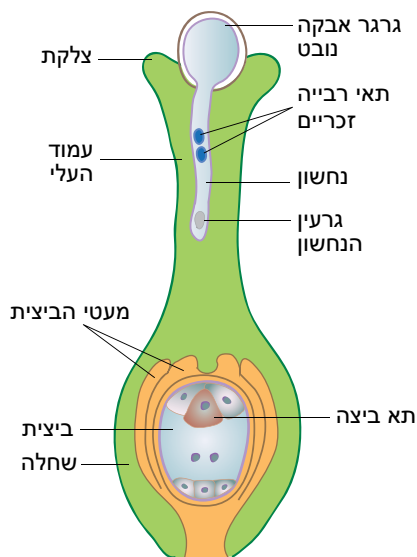


עד כה הכרתם שני מנגנוני היכרות:

1. היכרות בין צלקת לבין גרגרי אבקה מאותו מין (species) המבטיחה שעל הצלקת ינבטו רק גרגרי אבקה מפרטים של אותו מין.
 2. מנגנון של "אי התאם עצמי" המונע האבקה עצמית באותו פרט.
- א. איזה מנגנון אחר (בבעלי חיים) המבוסס על היכרות בין עצמי לבין לא-עצמי מוכר לכם? מהו המנגנון? מהו ההבדל בינו לבין מנגנון "אי התאם עצמי" בצמחים?
- ב. מהו היתרון לפרט הנובע ממנגנון 1?

4.21 הפריה

תהליך ההאבקה מסתיים, כאמור, כאשר גרגרי האבקה מגיעים אל הצלקת. אולם ההאבקה אינה מביאה בהכרח למפגש בין תאי הרבייה ולהפריה. תנאי ראשון להמשך תהליך הרבייה הוא יצירת קשר בין **גרגרי האבקה לצלקת**. לשם כך עליהם ל"הכיר" זה את זה - לזהות שהם מאותו מין (species). רק בגרגרי אבקה מאותו מין יש התאמה של המבנה והתאמה ביוכימית בין חומרים בדופן גרגרי האבקה לבין רקמת הצלקת. בצמחים רבים, בתגובה לנחיתת גרגרי האבקה "המוכרים" לצלקת, הצלקת מפרישה נוזל אשר מסייע לקליטת גרגרי האבקה ולנביטתם.



איור ו-16: נביטה של גרגר אבקה

בהשפעת החומרים המופרשים מן הצלקת צומחת מתוך פתח שבגרגר האבקה, שלוחה עטופה קרום אל תוך רקמת הצלקת. שלוחה זו מכונה **נחשון**. הנחשון מפריש אנזימים הממסים את רקמות העלי וכך הוא מפלס את דרכו בתוך עמוד העלי (איור ו-16).

בעת צמיחתו ניזון הנחשון מחומרים שברקמת עמוד העלי. למעשה ייתכן שכמה גרגרי אבקה ינבטו על הצלקת וכמה נחשונים ינבטו, יצמחו ויגיעו אל השחלה. בשחלה שבה יש כמה ביציות יגיע נחשון אחד לכל ביצית. מתיאור זה עולה שלא כל גרגרי האבקה הנוחתים על הצלקת ומצמיחים נחשון מצליחים, בסופו של תהליך, להגיע לכך שאחד מתאי הרבייה בנחשון יתלכד עם הגרעין בתא ביצה, גם אם הם מאותו המין (species).

עוד על

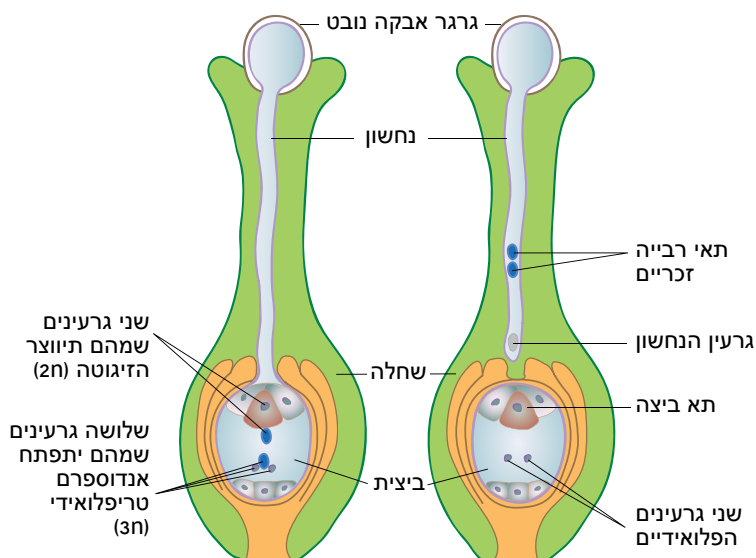
עקרונות ברבייה זוויגית (לא כל תאי הרבייה הזכריים מגיעים להפריה), בפרק ג', עמוד 49.

בדומה להפריה ברבייה זוויגית בבעלי חיים, גם בהפריה בצמחים מתלכדים שני תאי רבייה שונים ונוצרת **זיגוטה** דיפלואידית שממנה יתפתח העובר. אך בצמחים תהליך ההפריה מורכב מעט יותר מזה שבבעלי חיים.

כזכור, בגרגר אבקה יש שני תאים הפלואידיים (איור ו-10). במהלך הנביטה של גרגר האבקה מתחלק אחד התאים במיטוזה ומתקבלים שני תאים הפלואידיים שהם **תאי הרבייה הזכריים**. תא אחר הוא תא הנחשון, והוא המוביל את צמיחת הנחשון אל הביצית שבשחלה. באמצעות הנחשון מגיעים תאי הרבייה מגרגר האבקה שנחת ונבט על הצלקת אל תא הרבייה הנקבי שבביצית, בתוך השחלה, ושם מתרחשת ההפריה.



בהפריה, גרעין של אחד מתאי הרבייה הזכריים מתלכד עם הגרעין של **תא הביצה** ונוצרת **זיגוטה** דיפלואידית שממנה יתפתח **העובר**. הגרעין של תא הרבייה הזכרי השני מתלכד עם שני גרעינים הפלואידיים נוספים שבמרכז הביצית (איור ו-17) וכך נוצר תא שבגרעין שלו יש שלושה מערכים של כרומוזומים (גרעין טריפלואידי 3n). תא זה מתחלק במיטוזה ומתפתחת רקמה - **אנדוספרם** - שבה נאגרים חומרי התשמורת שימששו להזנת העובר במהלך התפתחות הזרע ולהזנת הנבט בראשית התפתחותו. תהליך הפריה זה שבו משתתפים שני תאי רבייה זכריים נקרא **הפריה כפולה** (איור ו-17).



איור ו-17: הפריה כפולה בצמחים מכוסי זרע מימין: הנחשון גדל לכיוון הביצית, משמאל: הפריה (התלכדות הגרעינים)

שימו לב! יחסי הגודל אינם מדויקים: במציאות גרגרי האבקה קטנים מאוד בהשוואה לאיברי הפרח האחרים. באיור מתואר העלי בלבד, ללא שאר חלקי הפרח. במין המתואר באיור יש בשחלה ביצית אחת בלבד.



מפרח לפרי: צמח מלפפון עם פרח ועם פרי שעליו נראים שרידים של עלי כותרת

מפגש תאי הרבייה ותהליך ההפריה שתיארנו זה עתה מתרחש בסביבה לחה ומוגנת מהתייבשות. זהו תהליך של **הפריה פנימית** האופיינית לאורגניזמים החיים ביבשה. בעקבות ההפריה מתפתח הזרע, והשחלה עצמה תתפתח לפרי שבתוכו נמצאים הזרעים. לאחר ההפריה נובלים האבקנים, הצלקת ועמוד העלי. בצמחים רבים גם עטיף הפרח נובל ונושר.

לא כל הפרחים "זזים" להיות מואבקים ולא בכולם יתפתחו פירות. פרחים רבים נושרים בטרם הואבקו בגלל קרה או רוח חזקה. פרחים אחרים נושרים לאחר שהואבקו ואף לאחר שהופרו בשל כמות המשאבים המוגבלת בצמח. רק בפרחים ששרדו את תנאי הסביבה, שהואבקו בגרגרי האבקה המתאימים והתרחשה בהם הפריה - יתפתח פרי ובו זרעים. אנרגיה רבה מושקעת ביצירת הפירות והזרעים שבתוכם, שהם למעשה "דור העתיד".

שאלה ו-14

- א. במה דומים ובמה שונים גרגרי האבקה בצמח ותאי זרע בבעלי חיים?
 ב. במה שונים גרגרי האבקה מתאי הרבייה הזכריים בצמח?

שאלה ו-15

ליצירת הפרי והזרעים שבתוכו יש שותפים אחדים, כמוצג בטבלה שלהלן. העתיקו את הטבלה והשלימו בטור הריק את המקור הגנטי של כל אחד מהתוצרים של ההפריה בעקבות האבקה זרה.

החלק בפרי או בזרע	מתפתח מ...	מקור החומר התורשתי
עובר	זיגוטה	
אנדוספרם	גרעין טריפלואידי	
רקמות הפרי וקליפתו	שחלה (ולעתים חלקים אחרים של הפרח)	

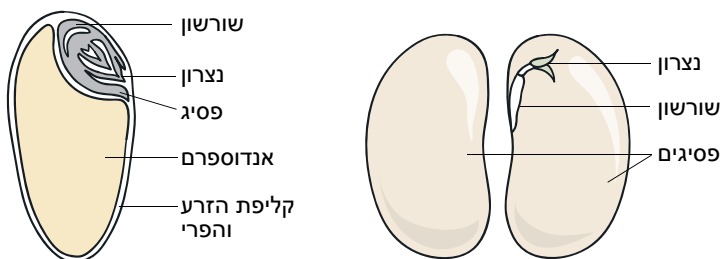
3. מזיגוטה לעובר

1.31 התפתחות הזרע: עובר, אנדוספרם ופסיגים

הזיגוטה - התא הדיפלואידי שנוצר בהפריה - מתחלקת לשני תאי־בת ואלה ממשיכים להתחלק (חלוקות מיטוטיות). לאחר חלוקות רבות נוצר **עובר** שאפשר להבחין בו **בנצרון** ובתחילתו של שורש - **שורשון** (איור ו-18).



זרע של שעועית



איור ו-18: איור סכמטי של מבנה הזרע

מימין: זרע של שעועית (דורפסיג) ובו עובר הכולל שני פסיגים גדולים, נצרון ושורשון. משמאל: חתך בזרע של חיטה (חדפסיג) ובו עובר הכולל פסיג קטן אחד נצרון ושורשון, ובנוסף אנדוספרם

קשר לנושא

התא - מבנה ופעילות:
 חומרי התשמורת שבזרע לא מסיסים ולכן אינם משפיעים על הריכוז האוסמוטי בתאים.

להתפתחות העובר דרושים חומרים להפקת אנרגיה ולבניית התאים. אלו מסופקים לעובר המתפתח מצמח האם באמצעות **עוקץ העובר** שהוא קבוצת תאים המקשרת בין העובר המתפתח לבין רקמות צמח האם.

בעקבות ההפריה מתפתח כאמור גם **האנדוספרם**. באנדוספרם נאגרים פחמימות, שומנים וחלבונים והם משמשים את העובר המתפתח, ולאחר הנביטה - את הנבט הצעיר, עד שהוא מייצר לעצמו את החומרים הנחוצים לו בתהליך הפוטוסינתזה.



זרעים כמרכיב במזון

יש צמחים, כמו אלה ממשפחת הקטניות (אפונה, שעועית, בוטנים), שבהם החומרים באנדוספרם מועברים במהלך התפתחות העובר אל העלים הראשוניים של העובר - הפסיגים, ונאגרים שם. בזרע הבוגר שלהם אין אנדוספרם. בצמחים אחרים, כמו חיטה ותרסיס, האנדוספרם הוא המספק ישירות את החומרים הדרושים להתפתחות הנבט. החומרים באנדוספרם ובפסיגים הם, אם כך, התרומה של דור ההורים לדור הבא וה"השקעה" שלהם בהבטחת הצלחתו. הם משמשים את הצמח הצעיר גם זמן רב לאחר שניתק מצמח האם. חומרי ההזנה ה"ארוזים" בזרע יחד עם העובר נועדו אמנם לשמש את הצמח המתפתח אך גם אחרים נהנים מהם: זרעים מהווים מזון משובח ומרוכז לאורגניזמים רבים ובהם גם בני אדם. למשל: האורז, החיטה, הקטניות (אפונה, בוטנים, סויה), הפקאן והשקד שזרעיהם הם מרכיב חשוב במזוננו. זרעי החיטה מהווים מקור לכ-80% מכלל המזון הנאכל בארץ.

שאלה ו-16

- א. במה דומים הביצה של הזוחלים והעופות והזרע של צמחים?
- ב. במה דומים השליה ביונקים והאנדוספרם בזרע ובמה הם שונים? ציינו מאפיין דומה ושני מאפיינים שונים והסבירו.

הרחבה

פסיגים: אחד, שניים או יותר?

אחד האמצעים למיון צמחים הוא מספר הפסיגים המאפיינים את העובר ואת הצמח הצעיר בראשית התפתחותו. יש צמחים שיש להם פסיג אחד והם מכונים **חד-פסיגיים**, למשל: חיטה ותרסיס; ויש צמחים שיש להם שני פסיגים - **דו-פסיגיים**, למשל: שעועית, בוטנים, אבוקדו ועגבנייה. החלק הנאכל בבוטן הוא למעשה שני הפסיגים של העובר. ישנם גם צמחים שמספר הפסיגים שלהם גדול משניים, אלו הם צמחים **רב-פסיגיים**, כדוגמת האורן. לעתים קרובות צורת הפסיגים שונה מצורתם של העלים בצמח הבוגר.

עוברים שמתפתחים ללא הפריה

כבר במאה ה-19 הבחינו שיש צמחים המייצרים כמות עצומה של זרעים ללא האבקה וללא הפריה! זוהי למעשה צורה מיוחדת של **רביית בתולים**. העובר הוא דיפלואידי ומתפתח מתאים של הביצית שלא עברו מיזוג. בצורה זו של רבייה נשמרים היתרונות של הפצת המין באמצעות זרעים יחד עם היתרונות של רבייה אל-זוויגית. התופעה אינה נדירה ונצפתה בסחלבים ובמיני הדורים וכן במינים של משפחת המורכבים (סביון). למינים המתרבים בדרך זו יש יתרון בבתי גידול שבהם הסיכויים להאבקה באמצעות חרקים הם קטנים, כמו בראשי ההרים בהם נושבות רוחות חזקות ובאזורים של אקלים קר מאוד. רוב המינים המתרבים בדרך זו מתרבים גם ברבייה זוויגית.

2.31 זרעים: הגנה על העוברים והתאמה להפצה

בזרעים גלום הפוטנציאל של הדור הבא ויש בהם מבנים ומנגנונים שהתפתחו במהלך **האבולוציה** ומשמשים להגנה על העוברים ולהצלחת התבססותו של הצמח הצעיר לאחר הנביטה.

ההגנה על העוברים חשובה מאוד בצמחים, כי בניגוד לבעלי חיים, בצמחים המעבר מעובר ליצור עצמאי הממשיך לגדול ולהתפתח ליצור בוגר, אינו רצוף אלא מקוטע. הזרע מאפשר לעובר הצמח להתקיים גם בתנאי סביבה שבהם הצמח הבוגר לא היה יכול להתקיים כלל. לדוגמה, צמחים חד-שנתיים בארצנו עוברים את תקופת הקיץ היבשה כזרעים וכך הם "מתחמקים" מתנאי הסביבה הקשים. בתקופת הזמן החולפת מהבשלת הפירות ועד הנביטה הזרע חשוף לפגעים שונים: פגיעות מכניות כמו שחיקה ושיני בעלי חיים, נזק מחומצות וחומרים אחרים במערכת העיכול של בעלי חיים (שאוכלים את הפרי המכיל את הזרעים) וכן פגיעה על ידי פטריות. לעתים הזרע נובט זמן רב לאחר שנוצר, וכך הזרע הוא האמצעי של הצמח להפצת הדור החדש, לא רק **במרחב** אלא גם **בזמן**.

חומרי התשמורת האגורים בזרע מנוצלים על ידי הנבט בראשית התפתחותו עד לשלב שבו מתפתחים עלים ירוקים ונוצרים בו חומרים אורגניים בתהליך הפוטוסינתזה.

קשר לנושא

אקולוגיה:

מחזור חיים חד-שנתי - התאמה לתנאי אקלים של עונות שנה שונות מאוד זו מזו.

3.31 פירות: הגנה על הזרעים וגם הפצה למרחק

הפרי הוא החלק של הצמח אשר מתפתח מן השחלה של הפרח, בדרך כלל בעקבות **הפריה**. השלב הראשון בהתפתחות הפרי נקרא **חִנְטָה**. זהו שלב רגיש בהתפתחות הפרי. לא בכל הפרחים מתפתח פרי ואחוז החנטה הוא נתון חשוב למגדלי הפירות.

הפרי יכול להכיל זרע אחד (אבוקדו ומשמש) או זרעים אחדים (תפוח, עגבנייה, אפונה, פלפל, רימון) (איור ו-19) בהתאם למספר הביציות שהיו בשחלה והופרו.



חנטים
שרידי עלי הכותרת

חנטים של הצמח סולנום שעיר



איור ו-19: פרי עם זרע אחד - אבוקדו, פירות עם הרבה זרעים - רימון ופלפל

שימו לב! על פי הגדרה זו, גם מה שאנו מכנים בשפת היום "יום" בשם "ירקות", כמו עגבניות, מלפפונים, פלפלים וחצילים הם **פירות** במובן הבוטני ומבחינת תפקודם במחזור החיים של הצמח.



מעניין לדעת



בעלי זרעים: עם פרי ובלי פרי

התפתחות צמחים **מכוסי זרע**, שזרעיהם מוגנים בתוך פרי החלה לפני כ־145 מיליון שנים. למכוסי הזרע קדמו מבחינה אבולוציונית צמחים **חשופי זרע** כמו **אורן** ו**ברוש** שהזרעים שלהם חשופים בין קשקשי האצטרובלים ואין להם פירות כלל.

בעקבות ההפריה, הרקמות העתידות להתפתח לפרי עסיסי, גדלות בנפחן ומתמלאות במים ובחומרים כמו סוכרים. לעתים גם הצבע משתנה עם הבשלת הפרי והזרעים שבתוכו. המבנים הללו, המתמלאים בחומרים מזינים וטעימים, הופכים לא רק את הזרע אלא גם את הפרי למזון מועדף על בעלי חיים רבים, ובכללם האדם. אפשר היה לחשוב שאכילת הפירות יש בה חיסרון לצמח, אולם תכונות אלה של הפירות מהוות **התאמה** להפצת המין, כפי שאפשר לראות בטבלה ו-3.



איור ו-20: התאמות שונות להפצה

מימין לשמאל: התאמה להפצה למרחק - **ירוקת החמור** (סכמה וצילום), התאמה להפצה על ידי רוח - **זקן הסב**, התאמה להפצה על ידי בעלי חיים - **עוזרר**

יש מיני צמחים שבהם הפרי כולו מופץ למרחק ולכן הוא משמש כיחידת ההפצה של הצמח. כך הדבר במרבית הפירות העסיסיים הנאכלים על ידי ציפורים ובעלי חיים אחרים (למשל פירות **העוזרר**) ובפירות שיש להם זיזים הנתפסים בפרווה של בעלי חיים (למשל **אספסת**).

במינים אחרים הפרי נפתח והזרעים נושרים מתוכו, והם אלה שמופצים למרחק ומהווים את יחידת ההפצה.

טבלה ו-3: תכונות של פירות וזרעים והתאמתם להפצה

תכונה/מבנה של הפרי או הזרע	דוגמה	התאמה ל...
פרי עסיסי, מתוק ורך	משמש, אבוקדו, עגבנייה, עוזרר	הפצה על ידי בעלי חיים הניזונים מהחלק העסיסי ומותירים את הזרעים או מפרישים אותם בצואה בלי לפגוע בכושרם לנבוט
פרי שנפתח ("מתפוצץ")	ירוקת החמור, כליל החורש	הפצה למרחק עם ההבשלה
פרי שנפתח רק אחרי שהוא נרטב	ריסן דק	תזמון הנביטה לעונה גשומה
פרי בעל תוספות שנצמדות לפרוות של בעלי חיים	אספסת	הפצה למרחק על ידי בעלי שאינם אוכלים את הזרעים
פרי או זרע בעל ציצת שערות	סביון	הפצה על ידי רוח
זרע בעל שערות	הרדוף הנחלים	הפצה על ידי רוח
זרע בעל קליפה ספוגית	חבצלת החוף	הפצה על ידי מים



זרעי הרדוף



פירות חבצלת החוף ובתוכם זרעים



אספסת



פסי סקוטש

מעניין לדעת



פטנט מהטבע

אחת ההמצאות השימושיות בחיי היום-יום היא הפסים הנצמדים ("סקוטש") שמשתמשים בהם לסגירת נעליים, תיקים ועוד. הרעיון שעליו מבוסס הפטנט הזה לקוח ישירות מהטבע: "פס" עם קרסים או לולאות (כמו בפירות) שנצמד בחזקה ל"פס" פרוותי (כמו בבעלי חיים) כפי שרואים בפירות הלכיד או האספסת הנתפסים בגרביים.

אף אחד לא שאף אותי
אס אני פנוי להובלה...
מנצלים אותי להפצת
הזרעים



שאלה ו-17



בפרי עסיסי וגדול מושקעים חומרים ואנרגיה של צמח האם שהעובר או הצמח הצעיר אינם "זוכים" להשתמש בהם. מהו היתרון לצמח שיש לו פרי עסיסי?

שאלה ו-18



- א. הזרעים והפירות הם אמצעים להפצה למרחק של הדור הבא של הצמח. ציינו יתרון אחד וחסרון אחד של הפצה למרחק רב לעומת הפצה סמוך למקום שבו גדל צמח האם.
- ב. יש זרעים שנובטים רק לאחר שהפרי נאכל על ידי בעל חיים והזרע הופרש בצואה. מהו סוג יחסי הגומלין המתואר כאן? הסבירו.

הרחבה



פירות חסרי זרעים

יש מקרים שבהם מתפתחים פירות חסרי זרעים, תופעה הנקראת **פרתנוקרפיה** (karpos=פרי; parthenos=בתולה).



איור ו-21: פירות ללא זרעים: אבטיח, בננה ואפרסמון

פירות פרתנוקרפיים (איור ו-21) מתפתחים כאשר חלה הפרדה בין התפתחות הפרי לבין התפתחות הזרעים. יש צמחים שבהם שחלת הפרח מתפתחת לפרי אחרי ההפריה, אף על פי שהתפתחות הזרעים נפסקת. בצמחים אחרים יכול להתפתח פרי בעקבות האבקה - גם אם לאחריה אין הפריה. יש אף צמחים שבהם השחלה מתפתחת לפרי גם בהיעדר האבקה.

בטבע אין צמחים שמייצרים רק פירות חסרי זרעים שכן ברור מאליו שלא להאין המשכיות. רוב הפירות חסרי הזרעים שאנו אוכלים טופחו על ידי חקלאים בשל ערכם הכלכלי ומרבים אותם ברבייה אל-זוויגית. דוגמאות לפירות פרתנוקרפיים הם בננה, אנוס, זנים מסוימים של אבטיח, זנים מסוימים של פירות הדר וענבים. במינים מסוימים אפשר לגרום להתפתחות פירות ללא הפריה על ידי טיפול בהורמונים צמחיים כמו **אוקסין**, וכך אכן נעשה בגידולים חקלאיים שונים.



אשנב למחקר

פירות פרתנוקרפיים

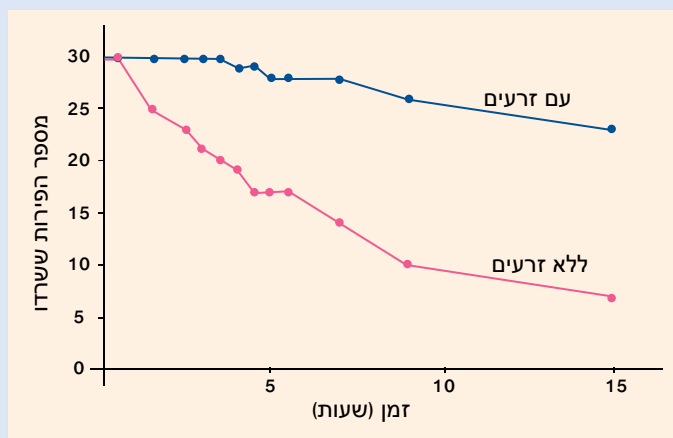
בצמח מסוים ממשפחת הסוככיים (קרוב משפחה של "הגזר הלבן") כוללת התפרחת פירות חסרי זרעים לצד פירות בעלי זרעים. הפירות ה"ריקים" אינם שונים בצבעם ובצורתם מפירות שיש בהם זרעים.

במחקר שבוצע בארה"ב נבדקה ההשערה הבאה:

קיומם של פירות פרתנוקרפיים תורם לסיכויי של הצמח לשרוד ולהעמיד דור חדש, משום שהוא מקטין את השיעור של הפירות בעלי הזרעים שנאכלים על ידי זחלים של פרפר הניזונים מפירות הצמח.

בניסוי שערכו החוקרים הם אספו 30 פירות עם זרעים ו-30 פירות חסרי זרעים. הפירות עורבבו והונחו בצלחת. לצלחת הוספו 5 זחלים. במהלך 15 שעות הניסוי נערכו 12 ספירות של הפירות שנותרו בצלחת.

חזרו על הניסוי 4 פעמים, והתוצאות שהתקבלו באחד הניסויים מוצגות באיור ו-22.



איור ו-22: מספר הפירות ששרדו לאחר 15 שעות בנוכחות זחלי פרפרים

א. תארו את הממצאים המוצגים בעקום.

ב. מה ניתן להסיק מהממצאים לגבי המזון המועדף על ידי הזחלים?

בדיקות השוואתיות שנעשו בפירות העלו שני ממצאים:

- הערך התזונתי של הפירות עם זרעים גבוה יותר מזה של הפירות הפרתנוקרפיים: הם מכילים יותר פחמימות וחלבונים.

- הפירות עם זרעים מכילים ריכוז גבוה יותר של חומרים רעילים לזחלים.

ג. איך ניתן להסתמך על שני הממצאים האלה כדי להסביר את הממצאים המוצגים בעקום? הסבירו.

ד. האם תוצאות הניסוי והבדיקות תומכות בהשערת החוקרים?

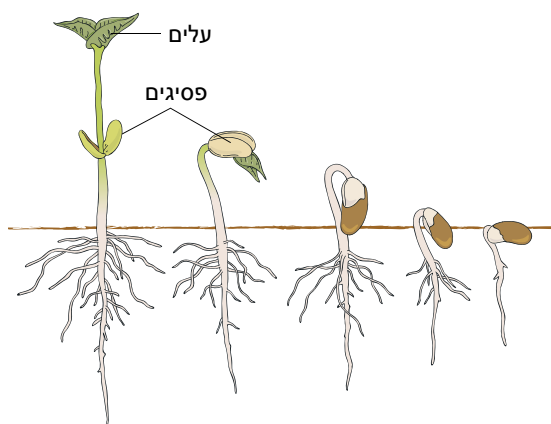


4. מזרע לצמח

1.41 נביטה

שלב הנביטה הוא שלב חשוב מאוד ברביית הצמח. רוב הזרעים אינם נובטים מיד עם הבשלתם אלא נמצאים ב**תרדמה** למשך זמן מה. מצב התרדמה מאופיין בתכולת מים נמוכה בזרע ובחילוף חומרים איטי מאוד. במהלך האבולוציה התפתחו מנגנונים ואמצעים האמורים להבטיח שהנביטה תתרחש בתנאים מיטביים (אופטימליים), שכן התנאים השוררים בזמן שהזרע מתעורר מתרדמתו ומתחיל לנבוט קובעים במידה רבה את הצלחת הדור החדש.

אחד הסימנים הראשונים לנביטה הוא בקיעה של מעטפות הזרע והצצה של **השורשון** ושל **הנצרון** (איור ו-23). בזרעי קטניות, כגון **שעועית**, **עדשים** ו**חמץ** (חומס), השורשון מציץ כבר לאחר יום או יומיים. תופעה מעניינת שקל להבחין בה בזרעים נובטים היא שהשורשון גדל בכיוון הקרקע, ואילו הנצרון - העלים והגבעולים הצעירים - צומחים בכיוון הפוך. ניסויים הראו שהנצרונים יצמחו תמיד כלפי מעלה, ואילו השורשונים יצמחו תמיד כלפי מטה, וזאת גם אם נניח את הזרע במהופך. מגמות הכיוונים האלו בצמיחת השורש והנצר הן תוצאת פעולתם של הורמונים מווסתי צמיחה (ראו טבלה ו-4 בהמשך).



נבטי עדשים בראשית התפתחותם

איור ו-23: איור סכמטי - שלבים בנביטה של שעועית

תנאים חיוניים לנביטה

תנאי הכרחי (אך לא מספיק) לנביטה הוא **המים**. הזרע מכיל רק מעט מאוד מים, והודות לכך תהליכי החיים שלו כגון **נשימה תאית** הם איטיים מאוד. תכונה זו של הזרע מאפשרת לו לשרוד לאורך זמן. כניסת מים מעוררת בתאי הזרע את תהליכי חילוף החומרים ומתחילה פעילות אנזימטית נמרצת. חומרי התשמורת ב**פסיגים** או ב**אנדוספרם** מפורקים ומתוצרי הפירוק נוצרים חומרים חדשים. מתחילה חלוקה של תאים ו**גדילה** של איברי הנבט. לתהליכים אלה דרושה אנרגיה זמינה המופקת בתהליך הנשימה התאית. לנשימה התאית נחוץ גם **חמצן**, וזהו אם כך תנאי שני לנביטה.

קשר לנושא

התא - מבנה ופעילות:
תהליך הנשימה התאית
האווירנית צורך חמצן
ובמהלכו נפלט חום.

בשני תהליכים אלה - קליטת מים ונשימה תאית - קל לצפות: זרעים שהורטבו תופחים מאוד בגלל קליטת מים רבים, ואפשר לעקוב אחר נשימתם באמצעים פשוטים (למשל: פליטת CO_2). חילוף החומרים הנמרץ בזרעים מתבטא גם בפליטת חום המלווה תהליכים של הפקת אנרגיה. אם נבודד זרעים נובטים (בכלי מבודד כגון תרמוס), נוכל למדוד את העלייה בטמפרטורה בסביבתם.

מעניין לדעת



נביטה בתנאי חוסר חמצן

רוב הצמחים זקוקים לחמצן לנביטתם. יוצאים מכלל זה הם מינים מסוימים של צמחי אורז שנובטים בתנאים של חוסר חמצן בקרקע מוצפת מים. הפקת האנרגיה הדרושה להתפתחותם של הנבטים במינים אלה נעשית במסלול של תסיסה, שכמות האנרגיה המופקת בו נמוכה מזו המתקבלת בתהליך הנשימה התאית האווירנית.

נוסף על השפעתם של מים וחמצן בזרעים מסוימים גם **האור** הוא גורם חשוב בהכוונת הנביטה שלהם. הרגישות לאור מקנה לזרע מידע לגבי מיקומו - האם הוא נמצא במקום בו יש תנאי אור לנביטה וצמיחה או שהוא נמצא בצל (למשל מתחת לעצים) או בעומק הקרקע בתנאי אור שאינם מתאימים לצמיחה. הצורך באור כתנאי לנביטה מקנה לצמחים אלה יתרון בכך שהוא מגדיל את הסיכוי שהנצרון המתפתח יגיע לפני הקרקע ויחשף לאור לפני שכל חומרי התשמורת (שכמותם בזרע מוגבלת) ינוצלו. חשוב לזכור שהמשך הצמיחה תלוי באור המאפשר את קיום תהליך הפוטוסינתזה. עם זאת, השהייה בשכבות העליונות של הקרקע מהווה סיכון לנבטים בבתי גידול שבהם שכבת הקרקע העליונה מתייבשת במהירות או שאינה יציבה, כמו בחולות נודדים.

גם לאורכי הגל של האור יש השפעה על הנביטה, ובתהליך זה מעורב הפיגמנט **פיטוכרום**. נמצא שיש זרעים שנובטים רק כאשר מאירים אותם באורכי גל של אור אדום (כ־660 ננומטר), ונביטתם מעוכבת כאשר חושפים אותם לאור באורך גל אדום־רחוק (מעל 700 ננומטר).

עוד על

פיטוכרום ופריחה, ראו
בעמוד 116.



מהו היתרון לזרעים שנובטים רק באור אדום

ביער סבוך נבלע רוב האור האדום על ידי הכלורופיל שבעלים ואינו מגיע אל הזרעים שעל הקרקע. כל עוד העצים שמעל מכוסים בעלים, הזרעים חשופים ליותר אור אדום־רחוק מאשר לאור אדום והם אינם נובטים. לאחר נשירת העלים או לאחר שעצים נשרפו או נפלו ביער, חוזרים כל אורכי הגל של האור עד לקרקע היער ומתהווים תנאי אור הדרושים לנביטה ולהתבססות הצמח הצעיר בקרקע היער.

חשוב לדעת שבצד הזרעים שנביטתם מושפעת מאור יש גם זרעים רבים שנביטתם כלל אינה מושפעת מאור.

בכל מקרה, לאור יש חשיבות בהתפתחות הנבטים הצעירים בין אם היו זקוקים לאור לנביטה עצמה ובין אם לאו.



מנגנונים להשהיית נביטה

זרעים יכולים לנבט גם זמן רב, חודשים ואף שנים, אחרי שנצרכו וגם הרחק מאוד מצמח האם. בצמחים חד-שנתיים הנביטה מתרחשת לאחר מותו של צמח האם. גם בתנאי סביבה מתאימים ייתכן עיכוב של הנביטה בשל גורמים שונים, כגון קליפה קשה וחומרים מעכבי נביטה בפרי או בזרע.



זרעי משמש ומנגו
בעלי קליפה קשה

קליפה קשה (כמו בשקד, במנגו ובמשמש) מעכבת את הנביטה, כי כל עוד הקליפה שלמה מים וחמצן אינם יכולים לחדור אל פנים הזרע. הנביטה תתאפשר רק לאחר שהקליפה תיסדק או תישחק עקב פעולת חומרים כימיים במערכת העיכול של בעל חיים שיאכל את הפרי או עקב פעולתם של מיקרואורגניזמים בקרקע. קליפות זרע קשות נפגעות עם הזמן ובהדרגה, ולכן לא כל הזרעים נובטים באותו זמן. כך מאפשרת קליפה קשה פיזור של הנביטה בזמן.

מנגנון אחר המעכב נביטה הוא **חומרים מעכבי נביטה** הנמצאים בפרי או בזרע. אחת הדוגמאות הראשונות שבהן התגלה מנגנון זה הוא פרי העגבנייה. הזרעים שבתוך הפרי נמצאים בסביבה לחה ולכאורה נוחה לנביטה, אך בכל זאת הם אינם נובטים. התברר שמץ העגבנייה מכיל חומרים המעכבים נביטה, של זרעי העגבנייה וגם של זרעים אחרים.

ישנם מיני צמחים שזרעיהם אינם נובטים אלא לאחר ששהו תקופה מסוימת בטמפרטורה גבוהה ויש מיני צמחים אחרים שזרעיהם נובטים רק לאחר חשיפה לטמפרטורה נמוכה.

שאלה ו-19



מה היתרון לצמח מעיכוב הנביטה? הסבירו.

שאלה ו-20



זרעים של צמחים הגדלים באזורים שבהם החורף קר מאוד זקוקים לשהייה ממושכת בקור לפני נביטתם. מה היתרון שמקנה תכונה זו לצמחים אלה באזורים שהם גדלים בהם? הסבירו.

הורמונים בנביטה

להורמונים חשיבות רבה בבקרה של תהליכי התפתחות בצמחים ובכללם בתהליכי הנביטה. ההשפעות העיקריות של הורמונים מווסתי צמיחה על הנביטה מסוכמות בטבלה ו-4.

טבלה ו-4 : דוגמאות להשפעת הורמונים בצמח על הנביטה ועל גידול הנבט

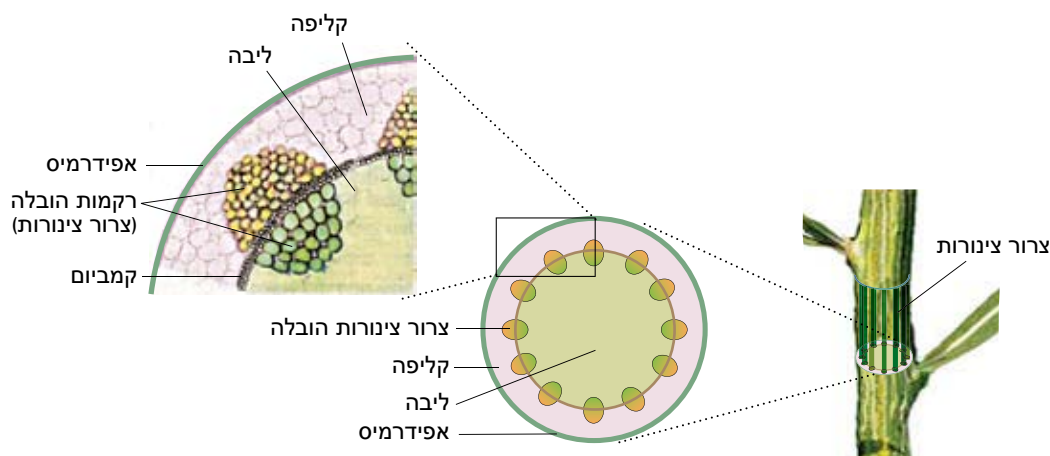
השפעתו בתהליכי הנביטה ובתחילת הגידול של הנבט	ההורמון
מכוון צמיחה של הנצר אל האור וצמיחה של השורש בכיוון הפוך לכיוון האור	אוקסין
מעורר סינתזה של אנזימים מפרקי עמילן (אחד מחומרי התשמורת בזרע), מזרז נביטה	גיברלין
גורם לכניסת זרעים לתרדמה ועיכוב התעוררות מתרדמה	חומצה אבציסית
מזרז חלוקת תאים והתמיינות לרקמות	ציטוקינין

2.41 צמיחה

כאמור, כבר בעובר אפשר להבחין ב**נצרון** שיתפתח לגבעול ולעלים וב**שורשון** שיתפתח לשורש. לאחר שהנבט הצעיר התבסס בקרקע והחל את חייו כצמח עצמאי ממשיכים בו תהליכים של חלוקות תאים, **התמיינות** לרקמות ולאיברים ו**גדילה**. בכך אין הבדל בין צמחים לבין אורגניזמים רב־תאיים אחרים שגם בהם ההתמיינות היא מאפיין חשוב של ההתפתחות והגדילה.

אופן הגדילה וההתפתחות של צמחים, מיוחד בכך שבקצות הענפים והשורשים ממשיכות להיווצר ולהתקיים **מריסטמות** (איור ו-3) - רקמות של תאים שעדיין לא התמיינו, שמהן ממשיכה ברציפות ההתפתחות של האיברים השונים ובכלל זה איברי הרבייה. בצמחים רב־שנתיים נשמרת היכולת הזו לכל אורך חיי הצמח, ומבחינה זו הוא אינו מזדקן (אם כי חלקים ממנו מזדקנים, נושרים ומתים). עם זאת גם עצים מאריכי שנים מתים בשל פגעים שונים (שרפה, ברק) ומחלות. ה"התפתחות הנמשכת" היא תכונה ייחודית וחשובה של צמחים, המבדילה אותם משאר האורגניזמים שימי חייהם קצובים על פי התכנית התורשתית שלהם.

בנוסף למריסטמות הקדקודיות, קיימת בצמח מריסטמה חשובה נוספת - **הקמביום**. הקמביום ערוך כטבעת דקה של תאים מריסטמטיים בהיקף הגבעולים והענפים (איור ו-24). מתאי הקמביום מתפתחים התאים של צינורות ההובלה, שבהם מובלים החומרים בצמח: תוצרי הפוטוסינתזה מובלים מהעלים לשאר חלקי הצמח, ומים ומינרלים שנקלטו מהקרקע מובלים מהשורשים אל חלקי הצמח העליונים. בחתך רוחב של גבעול אפשר להבחין בצורות שבהם מאורגנים ביחד הצינורות של מערכת ההובלה.



איור ו-24: קמביום וצורות צינורות ההובלה בחתך רוחב בגבעול

עם השנים מתווספות עוד ועוד שכבות של רקמות הובלה כלפי פנים הגבעול, והגבעול מתעבה ונעשה מעוצה יותר ויותר. בצמחים החיים שנים רבות הקמביום תורם להתעבות הגזע ולהיווצרות **טבעות שנתיים** (איור ו-25). המריסטמות הקדקודיות והקמביום תורמים ביחד לגידול הצמח לגובה, להסתעפות הענפים והשורשים ולהתעבות הנצר והגזע.

מעניין לדעת



טבעות שנתיות

באזורים ממוזגים, שבהם האקלים משתנה על פי עונות השנה, קצב חלוקות התאים בצמח משתנה עם העונות: הוא נמרץ בעונות הצמיחה שבהן זמינות המים גבוהה ותנאי הטמפרטורה והאור נוחים, והוא איטי יותר בעונות שבהן העץ עומד בשלכת או שצמיחתו איטית. את השינויים בקצב חלוקות התאים של הקמביום אפשר לראות

בחתך רוחב של גזע עץ כטבעות. אלו הן **הטבעות השנתיות** (איור ו-25). כל טבעת מייצגת צינורות הובלה שהתפתחו במהלך עונה אחת של פעילות. מספר הטבעות השנתיות משמש אומדן מדויק למדי לגילו של העץ. רוחבה של כל טבעת משמש עדות לתנאים ששררו באותה שנה: בשנת בצורת רוחב הטבעת יהיה קטן מרוחב טבעת בשנה גשומה.



איור ו-25: טבעות שנתיות בגזע עץ שנכרת

5. היבטים אבולוציוניים של רבייה זוויתית בצמחים

להתפתחות מנגנוני הרבייה הזוויתית בצמחים במהלך **האבולוציה** יש כמה היבטים הדומים לאלה של התפתחות איברי הרבייה בבעלי חיים.

צמחים פשוטים כגון **טחבים** ו**שרכים** הם חסרי זרעים ויכולים להתרבות ברבייה זוויתית רק ב**סביבה לחה** או **מימית**. תאי הרבייה הזכריים שלהם הם בעלי שוטון ונעים במים אל תא הרבייה הנקבי הקבוע במקומו. העובר המתפתח בעקבות ההפריה אינו "ארוז" ומוגן בזרע ולכן הוא חשוף לסכנת התייבשות. אין פלא אפוא שטחבים ושרכים גדלים רק בבתי גידול לחים: לצד נחלים, שלוליות ואגמים ובאזורים שבהם יורד גשם כל השנה.



טחבים ושרך

הצמחים, בניגוד לבעלי חיים, קבועים במקומם בכל מהלך חייהם ואינם יכולים לחפש באופן פעיל אחר בני זוג לרבייה. כפי שראינו, צמחים פשוטים תלויים לרבייתם בסביבה מימית או לחה המאפשרת תנועה של תאי הרבייה הזכריים אל תא הרבייה הנקבי הקבוע במקומו. בצמחי היבשה, לעומת זאת, התפתחו במהלך האבולוציה אמצעים להעברת תאי הרבייה מצמח לצמח גם בסביבה יבשה. הכמות העצומה של פרחים שנושא כל פרט וכמות גרגרי אבקה הן תכונות המהוות התאמה להבטחת **האבקה** וה**הפריה**. האמצעים להפצת פירות וזרעים קשורים

קשר לנושא

אקולוגיה:

סימביוזה מסוג הדדיות.



איור ו-26: פרח מותאם להאבקה על ידי חרקים (אחירותם החורש)
מימין: לפני ההאבקה, משמאל: אחרי ההאבקה

גם הם להיותו של הצמח קבוע במקומו שכן הם מגדילים את הסיכויים להישרדות האוכלוסייה ולהפצה לבתי גידול נוספים.

במהלך האבולוציה התפתחו יחסי גומלין בין הצמחים לבין בעלי החיים. אבולוציה שכזו, שבה מתפתחים צמחים ובעלי חיים במקביל ותוך השפעה הדדית, נקראת **קו-אבולוציה**. אחת הדוגמאות המופלאות ביותר של הקו-אבולוציה היא התאמת מבנה הפרח להאבקה על ידי חרקים וציפורים.

לדוגמה, לפרח של **אחירותם החורש** ממשפחת הפרפרניים, מבנה ייחודי למשפחה זו. עלי הכותרת יוצרים "סירה" שלצידיה צמודים 2 "משוטים" ומעליה נישא "מפרש". האבקנים והעלי ממוקמים

בתוך הסירה. כשחרק בא לבקר את הפרח הוא מתיישב על ה"סירה". הסירה נדחפת כלפי מטה, ה"משוטים" נפרדים ממנה, וכתוצאה מכך עמוד העלי והאבקנים משתחררים בכוח מתוך ה"סירה" והאבקה מתפזרת על גוף החרק. באיור ו-26 רואים פרח **אחירותם החורש** לפני ואחרי ביקור חרק. לאחר הביקור המשוטים והסירה מופרדים והאבקנים ועמוד העלי אינם חבויים עוד בסירה.



דבורנית

דוגמה אחרת של התאמה ניתן לראות בפרחי **הדבורנית** ממשפחת הסחלביים. פרחי **הדבורנית** דומים לנקבת הדבור (מכאן שמם) ומפצים פרומונים המושכים אליהם את הזכרים. הזכרים המגיעים אל הדבורה המדומה מנסים להזדווג עמה, ותוך כדי כך האבקה נדבקת לגופם וכך מועברת בין פרחים שונים.

עיקרי הנושאים בפרק



- בצמחים רבים מתקיימות שתי צורות הרבייה: רבייה אל-זוויגית (רבייה וגטטיבית) ורבייה זוויגית (מינית). רבייה אל-זוויגית יכולה להתקיים ללא תלות בגיל הצמח ובעונת השנה.
- יש צמחים שהם חד-שנתיים ומתרבים רק פעם אחת במחזור חייהם, צמחים אחרים הם רב-שנתיים ויכולים להתרבות פעמים רבות במחזור חייהם.
- בקדקודי הצמיחה שבקצות הענפים והשורשים של הצמח ובחיקי העלים יש רקמות מיוחדות - מריסטמות שמהן מתפתחים כל איברי הצמח.
- רבייה אל-זוויגית מתרחשת בדרכים מגוונות מאיברים על-קרקעיים ותת-קרקעיים.



- הרבייה הזוויגית של הצמח דומה עקרונית לרבייה זוויגית באורגניזמים אחרים: תאי רבייה הפלואידיים (גמטות) נפגשים ומתלכדים לזיגוטה דיפלואידית בתהליך ההפריה. מהזיגוטה מתפתח עובר שיתפתח לצמח החדש.
- לשלב הרבייה בצמחים (השלב הרפרודוקטיבי) נדרשים תנאים מיוחדים המושפעים מגורמים פנימיים ומגורמים סביבתיים.
- בצמחים מסוימים הפריחה תלויה במחזוריות שעות האור והחושך ונקראת פוטופריודיזם.
- חלקי הפרח ערוכים בדרך כלל במעגלים וכוללים עלי עטיף, אבקנים ו/או עלי. קודם להפריה חייבת להתקיים האבקה.
- תא הרבייה הזכרי בצמח נוצר מגרגר האבקה רק לאחר שהגרגר נובט על הצלקת.
- מבנה הפרח, צבעו ומבנה גרגרי האבקה מותאמים לדרך ההאבקה. פרחים המואבקים על ידי הרוח הם בדרך כלל קטנים ולא צבעוניים, ופרחים המואבקים על ידי חרקים הם גדולים או קטנים המסודרים בתפרחת ולרוב - צבעוניים.
- בהאבקה עצמית גרגרי האבקה הנובטים על הצלקת הם מאותו פרט. בהאבקה זרה גרגרי האבקה הגיעו מפרט אחר מאותו מין (species).
- התא הראשון של האנדוספרם נוצר מהתלכדות תא רבייה זכרי (הפלואידי) עם שני גרעינים הפלואידיים נוספים שבביצית. תא טריפלואידי זה מתחלק במיטוזה ומתפתחת רקמה שבה נאגרים חומרי התשמורת.
- העובר מתפתח מהזיגוטה שנוצרה מהתלכדות תא הביצה עם אחד מתאי הרבייה הזכריים.
- הזרע מאפשר לעובר הצמח להתקיים גם בתנאי סביבה שבהם הצמח הבוגר לא היה יכול להתקיים כלל. הזרע הוא האמצעי של הצמח להפצת הדור החדש גם במרחב וגם בזמן.
- הפרי מתפתח מן השחלה של הפרח, בדרך כלל בעקבות הפריה.
- תכונות של פירות וזרעים מהוות התאמה להפצת המין.
- פרתנוקרפיה היא התפתחות פירות חסרי זרעים.
- בזרעים יש מנגנונים כמו קליפה קשה וחומרים מעכבי נביטה הגורמים לכך שהזרע לא ינבט מיד.
- התנאים השוררים בזמן שהזרע מתעורר מתרדמתו, כמו: זמינות מים, ריכוז החמצן, עוצמת האור וטיבו וטמפרטורה מתאימה, יקבעו במידה רבה את הצלחת הדור החדש.
- אחד הסימנים הראשונים לנביטה הוא בקיעה של מעטפות הזרע והצצה של השורשון ושל הנצרון.
- לאחר שהנבט הצעיר התבסס בקרקע, הוא מתחיל את חייו כצמח עצמאי.
- גדילת הצמח וההתעבות שלו הן תוצאה של חלוקת תאים ברקמות המריסטמטיות הקדקודיות ובקמביום והתמיינותם.
- במהלך האבולוציה של צמחים בעלי זרעים, ובדומה לאבולוציה של איברי הרבייה בבעלי חיים, התפתחו איברים ומנגנונים מיוחדים הקשורים להתאמה לרבייה בסביבה יבשה.

מושגים חשובים בפרק



נביטה	אבולוציה
נביטת גרגר אבקה	אבקנים
נחשון	אוקסין
ניצני ריבוי	אורך יום
נצרון	אנדוספרם
עלי/עמוד העלי	ביצית
עלי גביע	בעלי זרעים
עלי כותרת	בצל
פוטופריודיזם	ג'יברלין
פיטוכרום	גרגר אבקה
פסיגים	האבקה
פקעת	האבקה עצמית/זרה
פרח	הורמונים בנביטה
פרח דו־זוויגי	הנצה
פרח חד־זוויגי	הפריה
פרי	הפריה פנימית
צלקת	התאמה להפצת זרעים
צמח יום ארוך	התמיינות
צמח יום קצר	זיגוטה
קמביום	זיר
רבייה אל־זוויגית	זרע
רבייה זוויגית	חד־שנתיים
רב־שנתיים	חנטה
שחלה	מאבק
שלוחות	מחזור חיים
תאי רבייה (גמטות)	מניעת האבקה עצמית
תרדמת זרעים	מריסטמה

התערבות האדם בתהליכי רבייה בבעלי חיים ובצמחים

1. התערבות האדם בתהליכי הרבייה בבעלי חיים

2. התערבות האדם בתהליכי הרבייה בצמחים

עיקרי הנושאים בפרק

מושגים חשובים בפרק



פרק ז: התערבות האדם בתהליכי רבייה בבעלי חיים ובצמחים

בפרק ד' למדתם על התערבות בתהליכי הרבייה באדם וראיתם כי בעקבות המחקר וההתפתחות הטכנולוגית מוצעים כיום פתרונות שונים לבעיות בתפקוד מערכת הרבייה. פתרונות אלה מאפשרים גם לזוגות שבעבר היו חשוכי ילדים להיות הורים לילדים בריאים. בפרק זה נלמד על התערבות האדם בתהליכי רבייה של צמחים ושל בעלי חיים במשק החקלאי. מטרת ההתערבות היא השבחת תוצרי המשק החקלאי והגברת ייצור המזון וכך גם הרווחיות תעלה. המחקר בתחומי החקלאות מכון, בין היתר, להשגת המטרות האלה.

קשר לנושא

אקולוגיה:
החקלאות - מעורבות
האדם בטבע.

1. התערבות האדם בתהליכי הרבייה בבעלי חיים

בטבע רוב בעלי החיים מתרבים בעונה מסוימת בשנה - **עונת הרבייה** - שבה התנאים מתאימים לגידול הצאצאים. בארץ רוב ההמלטות והבקיעות מהביצים מתרחשות באביב, העונה שבה יש שפע של מזון וטמפרטורות נוחות להתפתחות הדור הצעיר. בבעלי החיים במשק החקלאי, כמו בבעלי החיים בטבע, מחזוריות הרבייה מותאמת לשינויים עונתיים: באופן טבעי הם קולטים מידע מהסביבה החיצונית, שמתורגם לאותות ביולוגיים המניעים רצף תהליכים הקשורים ברבייה. במשק החקלאי, עונתיות הרבייה מגבילה את שיעור הרבייה, את כמות התוצרת (כמו ביצים וחלב) ואת התקופה בה מתקבלת התוצרת. כדי להתגבר על המגבלות המוכתבות על ידי עונתיות הרבייה, החקלאים מתערבים במנגנון ההורמונלי המווסת את הרבייה של חיות המשק. ההתערבות נעשית על ידי שינוי גורמים סביבתיים-חיצוניים, כמו משך שעות האור או הטמפרטורה, או על ידי מתן תוספת של הורמונים. כתוצאה מפעולות אלה פרות יכולות להתרבות ולהניב חלב במשך כל השנה, והתרנגולות יכולות להטיל ביצים רוב ימות השנה.

להתערבות החקלאים בתהליכי הרבייה של בעלי החיים יש השלכות סביבתיות, ויכולות להיות לה גם השלכות על בריאות בעלי החיים, ולכן ההתערבות מעלה שאלות אתיות ומעוררת התנגדות בקרב גורמים העוסקים ברווחתם של בעלי החיים (ראו עמודים 150-151).

על מושגים

ביות בעלי חיים

במהלך כ-10,000 השנים שבהן בני האדם מקיימים חקלאות הם גידלו וטיפחו בעלי חיים, בררו צאצאים על פי תכונותיהם ובתהליך של **בְּרִיָּה מלאכותית** בְּיָתוֹ (מלשון: בֵּית) בעלי חיים לפי צורכיהם. בעלי חיים שביתו אינם יכולים בדרך כלל לחזור ולחיות בטבע שכן הם מותאמים לחיים בחברת בני האדם המספקים להם את צורכיהם.

עוד על

פוטופרידיזם בצמחים,
בפרק ו', עמודים 115-
116.

1.11 ויסות משטר ההארה והשפעתו על רביית בעלי חיים

מחזוריות שעות האור ושעות החושך במהלך היממה (פוטופריודה) היא תופעה טבעית הקשורה באופן הדוק לעונות השנה ולתנאי הטמפרטורה בעונות השונות. כמו בצמחים, גם לבעלי החיים יש אמצעים לחוש את השינויים במספר שעות האור. יכולתם של האורגניזמים להגיב לשינויים במספר שעות האור והחושך במהלך היממה נקראת **פוטופרידיזם**. שינוי של מספר שעות האור ביממה, מאפשר לחקלאים לכוון תהליכים פיזיולוגיים המושפעים מגורמים סביבתיים.

הקדמת **הבגרות המינית** של פרות היא דוגמה ליישום של ידע ביולוגי במשק החקלאי, המאפשר להפיק מהפרות תוצרת - חלב ועגלים - כבר בשלב מוקדם בחייהן. כאשר מגדילים בעונת החורף את מספר שעות האור ביממה ל-16 שעות, מקדימים את הבגרות המינית בחודש עד שישה שבועות. גם טיפול הורמונלי מאפשר להקדים את הבגרות המינית של הפרה. האור משפיע לא רק על הקדמת הבגרות המינית אלא גם על יצירת החלב, כנראה על ידי הגדלה של הפרשת ההורמונים המשפיעים על ייצורו.

אורך היום משפיע גם על עיתוי הייחום. סוסות למשל מתייחמות כאשר הימים מתארכים. בכבשים ובעזים הייחום הטבעי חל דווקא בתקופה שבה הימים מתקצרים, והן ממליטות עוד בתקופת החורף. בעזים ובכבשים ניתן להשרות ייחום גם מחוץ לעונת הרבייה הטבעית על ידי הוספת תאורה מלאכותית במשך כמה שבועות, ולאחר מכן הקטנה של מספר שעות האור.

הכוונת מועד ההטלה של העופות והשפעה על כמות הביצים

עונת ההטלה הטבעית של העופות בארץ היא באביב ובקיץ, אך החקלאים מעוניינים להאריך אותה לכל השנה כדי שיוכלו לשווק ביצים בכל יום. מסתבר שתהליך הטלת הביצים, כמו הקדמת הבגרות המינית, הוא תהליך המושפע מאורך היום. בטבע תהליך ההטלה מתרחש רק כאשר מספר שעות האור עולה על 14 שעות. הגדלה מלאכותית והדרגתית של מספר שעות האור בלולים ל-16-17 שעות ביממה גורמת לכך שהתרנגולות יטילו ביצים גם בעונת שנה שבה מספר שעות האור הטבעי הוא פחות מ-14 שעות.

השפעת האור על ההטלה מתווכת על ידי הורמונים. גירוי האור מועבר למערכת העצבים ומשם לבלוטת **ההיפופיזה** שבמוח התרנגולת. בהשפעת גירוי האור ההיפופיזה מפרישה את ההורמון FSH, שגורם להבשלת זקיקים בשחלות, לביוץ ולהטלת הביצים. כך על ידי **הארה מלאכותית** גורמים לתרנגולות להטיל ביצים במשך כל השנה. תרנגולות מטילה ביצה יחידה בכל פעם ובסך הכול 2-5 ביצים בשבוע. בתנאים מיטביים היא יכולה להטיל כל 26 שעות, שזהו רווח הזמן בין ביוץ לביוץ.

מעניין לדעת



על ביצים מופרות, ביצים לא מופרות והטלת מילואים

בלולי רבייה, שבהם באותו לול נמצאים תרנגולים ותרנגולות, הביצים המוטלות הן מופרות. החקלאים מעבירים את הביצים למדגרה ושם מספקים להן תנאים המתאימים להתפתחות העוברים - טמפרטורה, לחות וריכוזים מתאימים של גזים. בלולים המספקים ביצים למאכל (לולי הטלה) נמצאות רק נקבות, ולכן הביצים המוטלות בהם הן ביצים לא מופרות.

מהו ההסבר ל"השקעה" הגדולה בביצים לא מופרות?!

אצל חלק מהעופות ותרנגול הבית ביניהם, ההטלה קשורה בעיקר לגורמים סביבתיים כמו אורך יום, איכות המזון וזמינותו ונוכחות קן הטלה. לאחר תהליך הביוץ, תא הביצה נודד בצינור הביצים עד שהביצה מושלמת, בין אם תא הביצה הופרה ובין אם לא. לכן גם בהיעדר תרנגול זכר בסביבת הנקבות של עופות אלו, כפי שקורה בלולי המטילות, הן יטילו ביצים. התופעה של הטלת ביצים לא מופרות קיימת אצל עופות נוספים כמו תוכים.

ישנם מיני עופות שנוכחות הזכר היא גירוי הכרחי להטלה. עופות אלו לא יטילו ללא נוכחות הזכר, וממילא לא יטילו ביצים שאינן מופרות.

בחלק מהעופות מוכרת תופעה הנקראת **הטלת מילואים**. אצל נשרים למשל, כאשר הנקבה מרגישה שהביצה שהטילה נטרפה או נפלה מהקן, היא מטילה ביצה נוספת. החקלאים מנצלים תופעה זו, אשר מתרחשת גם בתרנגול הבית. הם לוקחים את הביצים מלול התרנגולות, והן מטילות הטלת מילואים. בדרך זאת התרנגולות ממשיכות להטיל כמעט מידי יום.

שאלה ז-1



כיום נמכרות בחנויות "ביצי חופש" שהוטלו על ידי תרנגולות הגדלות בחצר פתוחה ולא בלולים סגורים וצפופים.

- א. האם גם תרנגולות הגדלות בחצר יטילו ביצים ברוב חודשי השנה? נמקו.
- ב. מדוע, לדעתכם, מחירן של "ביצי חופש" גבוה ממחירן של ביצים רגילות?

שאלה ז-2



בטבע משך הדגירה של תרנגולות הוא 21 יום. במהלך ימים אלה התרנגולת אינה מטילה ביצים נוספות. מהו, אם כך, היתרון לחקלאי בהעברת הביצים להדגרה במדגרה?

2.12 הזרעה מלאכותית וסנְכְרֹון הייחום בבקר

בפרות, כמו אצל נקבות של יונקים אחרים, קיימת פעילות מחזורית של מערכת הרבייה. בפרות, קיים **מחזור ייחום** שנמשך 21 יום, ובסופו - ביום ה-21, מתרחשים שינויים פיזיולוגיים והתנהגותיים שנמשכים 8-24 שעות. זוהי תקופת ה**ייחום** שבה קיימת מוכנות ביולוגית של

עוד על

מחזור ייחום, בפרק ה',
עמודים 96-97.

הפרה להזדווגות. לאחר סיום תקופת הייחום מתרחש **הביץ** ותא ביצה חורג מהשחלה. אפשר להבחין בתקופת הייחום על פי התנהגות הפרה: התרגשות המתבטאת בהליכה מרובה, איבוד תיאבון והפרשת ריחות מיוחדים המושכים את הזכר. באופן טבעי תקופת הייחום של כל פרה מתרחשת במועד ייחודי לה. כל פרה משלה, ולכן בעדר גדול יהיו כמה פרות מיוחמות בכל יום. חקלאים המעוניינים להזריע את הפרות צריכים לזהות בכל יום את הפרות הנמצאות בסוף תקופת הייחום ומוכנות להזרעה. לסיוע בזיהוי מדויק של עיתוי תקופת הייחום פותח הפדומטר - מכשיר המוצמד לרגלה של הפרה ומוודד את מספר צעדיה. עלייה במספר הצעדים מרמזת על ייחום.

הפריית הפרות נעשית כיום **בהזרעה מלאכותית** - החדרה ישירה של תאי זרע שנלקחו מפר בעל תכונות רצויות, למערכת הרבייה של הפרה. ההזרעה המלאכותית מבוצעת על ידי בעל מקצוע - מזריע, שתחילה אוסף נוזל זרע מהזכרים, ובמועד הביץ, שחל בתום תקופת הייחום, הוא מכניס את הזרע לצוואר הרחם של הנקבות להפריית תא הביצה. להזרעה מלאכותית כמה יתרונות:

1. ניצול יעיל של תאי הזרע - כמות הזרע שזכר פולט בפעם אחת גדולה מאוד, כעשרה מיליארד תאי זרע. בהפריה טבעית כל תאי הזרע נכנסים לפרה אחת ולמעשה כולם הולכים לאיבוד פרט לתא אחד המפריה את תא הביצה. איסוף נוזל הזרע מאפשר לחקלאים להשתמש בתאי הזרע שנפלטו בפעם אחת להפריית שלוש מאות עד אלף פרות!
2. בדיקת תקינות תאי הזרע לפני ההזרעה - באמצעות בדיקה מיקרוסקופית ניתן לבדוק את ריכוז תאי הזרע, מבנם ותנועתם. אם תאי הזרע תקינים ופעילים אפשר להשתמש בהם לפי הצורך.

הפוטנציאל של ההזרעה המלאכותית גדל פי כמה בזכות טכניקת השימור בהקפאה עמוקה בחנקן נוזלי בטמפרטורה של -196°C (כפי שהוזכר בפרק ד', עמוד 66). באופן זה אפשר להשתמש בתאי הזרע של פר משובח במשך שנים רבות.

ברוב המשקים בארץ מסתמכים על מחזורי ייחום טבעיים, אולם החקלאים יכולים ליצור **סנכרון** (האחדה במועד) של מחזורי הייחום בעדר. הסנכרון נעשה באמצעות ההורמון **פרוגסטרון** או על ידי טיפול ב**פרוסטגלינדין** שהוא חומר המופרש באופן טבעי ופועל בדומה להורמון. הפרוגסטרון מאריך את משך קיומו של **הגופיף הצהוב**, והפרוסטגלינדין מקצר אותו. כדי להגיע לאחידות במועד הפרשת ההורמונים הגונדוטרופינים, ולמצב של ייחום וביץ באותו מועד בכל קבוצת הפרות, יש צורך לטפל בכל קבוצת הפרות. הסנכרון של מחזורי הייחום בעדר מאפשר להקטין את מספר הביקורים של המזריע וחוסך לחקלאים זמן וכסף, שכן המזריע יכול לבצע את הפעולה לכל הפרות באותו מועד.

לסנכרון של מחזורי הייחום של הפרות בעדר יש לפיכך יתרון כלכלי:

- חיסכון בהוצאות הכרוכות בעבודת המזריע ובאיסוף הזרע
- הגדלת אחוז ההריונות המוצלחים
- הכוונת ההמלטות בכל העדר לאותו מועד, כך שהטיפול בעגלים יהיה בזמנית
- תזמון ההמלטה לעונה נוחה לגידול העגלים ולשיווק מרוכז של עגלים לבשר.



שאלה ז-3



- א. ציינו שלוש תכונות בבקר שהחקלאים מעוניינים להעביר בתורשה לדור הבא.
 ב. שימוש בתאי זרע של פר נבחר להזרעת פרות רבות הוא שלב בתהליך של ברירה מלאכותית. הסבירו.
 ג. השימוש בתאי זרע ממספר קטן של פרטים מועדפים מצמצם את המגוון הגנטי. מהי הסכנה בצמצום המגוון הגנטי? הסבירו.

3.12 השריית ייחום בבקר

השריית ייחום היא פעולה שנהוג לעשותה לפרות צעירות שעדיין לא הגיעו לבגרות מינית וכן לפרות שזה עתה המליטו ומעוניינים לקצר את משך הזמן עד להתחדשות מחזורי הייחום. לאחר המלטה מתחדשים מחזורי הייחום באופן טבעי בתוך 2-3 חודשים. בדומה לסנכרון, גם בהשריית ייחום משתמשים בהורמונים הפועלים על מערכת הרבייה. טיפול בהורמונים **פרוגסטרון ואסטרוגן** מאפשר להקדים את ההמלטה הראשונה של פרות צעירות ומקצר את הזמן עד שניתן להזריע שוב פרה שזה עתה המליטה. השריית ייחום מאפשרת אם כך, להגדיל את שיעור ההמלטות בעדר.

מעניין לדעת



כיצד מסוגלות הפרות לייצר חלב כל השנה במשך שנים רבות

כמו בכל היונקים, ייצור החלב בעטין הפרה מתחיל באופן טבעי סמוך להמלטה ונמשך כל עוד מופעל גירוי יניקה של העגל. בעולם המערבי, בעדרי בקר לחלב נהוג להפריד את העגלים מאמותיהם כבר לאחר ההמלטה. כיצד אם כן, נמשך ייצור החלב כל השנה במשך שנים רבות?
 לאחר הפרדת העגלים ממשיכים לגרות את הפרה להפריש חלב בעזרת גירוי יניקה מלאכותי - חליבות תכופות 2-3 פעמים ביום.
 כ־60 יום לאחר ההמלטה מתחדש מחזור הייחום ואז מזריעים את הפרה. רק סמוך להמלטה הבאה מפסיקים את החליבה לחלוטין (במהלך ההיריון תנובת החלב יורדת בהדרגה). כשנה לאחר ההמלטה הקודמת הפרה ממליטה פעם נוספת ואפשר לשוב ולהפיק ממנה חלב.
 טיפול זה בפרות מעלה מאוד את תנובת החלב שלהן ואת שיעור הרבייה, אך גם מקצר מאוד את משך חייהן.

דילמה



היבטים אתיים של מעורבות האדם ברביית בעלי חיים

מקצת השיטות שתוארו לגבי מעורבות האדם ברביית בעלי חיים במשק החקלאי מעוררות התנגדות בקרב הגופים הדואגים לרווחת בעלי החיים.

טיפול נאות בבעלי חיים במשק החקלאי מתבסס על העקרונות האלה:

- מניעת צמא, רעב, תת־זונה
- צמצום אי נוחות לבעלי החיים, למשל על ידי הקטנת הצפיפות
- מניעת פציעות ומחלות
- מתן אפשרות לבטא התנהגויות נורמליות
- מניעת פחד ומצוקה.
- לא בכל המשקים מקפידים על טיפול נאות בבעלי החיים. עם הזמן, עלולים להיגרם לחיות המשק בעיות שונות. לדוגמה:
- חליבה אינטנסיבית של פרות מעלה את שכיחות הדלקות בעטין
- פיטום של עופות לבשר ועלייה מהירה במשקלם, מלווה בהתפתחות בעיות ברגלי העופות העלולות לגרום להן כאבים
- הטלה יומיומית של ביצים מלווה בפגיעה באברי הרבייה של המטילות ובתופעות כמו מחסור בסידן.

שאלה ז-4



ברוב משקי החי מגדלים בעלי חיים בתנאים השונים מאוד מהתנאים הטבעיים במטרה להשיג תפוקה מרבית. מהם שני הערכים המתנגשים כאן? הסבירו.

2. התערבות החקלאים בתהליכי הרבייה בצמחים

1.2.2 ריבוי אל־זוויגי (וגטטיבי) של צמחים

כל השיטות המשמשות בחקלאות ובגננות לריבוי אל־זוויגי (וגטטיבי) של צמחים מבוססות על יכולתם של צמחים להתחדש ולהצמיח מחלקי צמח שונים איברים חדשים: כמו שורשים, גבעולים, עלים ופרחים. היכולת הזאת נובעת משתי תכונות של הצמח:

- בקצות הענפים יש **קדקודי צמיחה** ובהם **מריסטמות** שמהן מתפתחים ענפים חדשים נושאי עלים, פרחים ופירות.
- לצמח יש **יכולת התחדשות**, כאשר מנתקים איבר בצמח או פוצעים אותו, יכולה להתפתח מתאים בוגרים במקום הניתוק או הפציעה רקמה של תאים לא ממוינים - **קאלוס**. בתרבית רקמה גורמים באופן מלאכותי ליצירת רקמת קאלוס שממנה יכולים להתפתח ולהתמין איברים חדשים כמו שורשים וגבעולים.

היתרון העיקרי של ריבוי אל־זוויגי בחקלאות הוא בזהות בין הצאצאים המאפשרת שימור התכונות התורשתיות הרצויות לחקלאים באופן מושלם והעברתן מדור לדור. לדוגמה, החקלאים מְרַבִּים זני גפן ברבייה אל־זוויגית במשך מאות שנים וכך שומרים על תכונות הענבים שמהם מפיקים את היין האיכותי. על פי הפירוט בטבלה ז-2 (עמוד 158) אפשר לראות שכמעט כל איבר של הצמח יכול לשמש מקור לצמח חדש. גם תאים שכבר התמיינו יכולים להתחלק ולהתמין לרקמות ולאיברים. עם זאת האפשרות להשתמש באיבר מסוים לריבוי תלויה בסוג הצמח. מניסיון רב־שנים של חקלאים, חוקרים וגננים הצטבר ידע רב לגבי השיטה המתאימה לריבוי של כל צמח.

ייחורים



איור ז-1: ייחור של פוטוס שהשתרש במים

ייחור הוא קטע של ענף או עלה שנלקח מצמח האם ונשתל במצע גידול. בתנאים מתאימים הייחור יצמיח שורשים ויתפתח לצמח שלם הנושא פרחים ופירות. הייחור זהה מבחינה תורשתית לצמח שממנו נלקח וזהו יתרונו לחקלאים. לא כל מין של צמח אפשר להרבות באמצעות ייחורים. מתאים בבסיס הייחור יתפתחו **שורשים** (איור ז-1) שיקלטו מים ומינרלים מהקרקע, ומקדקודי **הצמיחה** שבקצות הענפים ומהניצנים שבמפרקים יתפתחו ענפים ועלים.

ברוב המקרים מקור הייחור הוא בקטע של ענף, אך ישנם צמחים כגון הסיגלית האפריקנית שמהם אפשר ליצור צמח חדש שלם מעלה יחיד! קוטפים עלה ושותלים אותו במצע גידול ומתאים בבסיס העלה יתפתחו כל חלקי הצמח החדש: שורשים וגבעול נושא עלים ופרחים (איור ז-2).



איור ז-2: ריבוי של סיגלית אפריקאית על ידי ייחור מעלה מימין לשמאל: הצמח סיגלית אפריקאית, השרשת ייחור עלה במים, ייחור עלה שתול במצע גידול

התפתחות הייחור לצמח מושפעת מגורמים ייחודיים לייחור עצמו - **גורמים פנימיים** כמו גודל הייחור, גילו והורמוני צמיחה הקיימים בו, ו**גורמים חיצוניים** כמו עונתיות, סוג מצע הגידול ותוספת של הורמונים. הגורמים והשפעתם מוצגים בטבלה ז-1. יחד עם זאת מובן מאילו שכל הגורמים החיצוניים המשפיעים על התפתחות הצמח, כמו אור, טמפרטורה, מינרלים ומים, משפיעים גם הם על התפתחות הייחור.

טבלה ז-1: גורמים ייחודיים לייחורים המשפיעים על התפתחותם

הסבר	הגורם	גורמים פנימיים
רצוי לבחור בייחור הכולל לפחות בסיס עלה אחד אשר בחיקו ניצן. לעתים קרובות קוצצים את העלים למחצית כדי להקטין את איבוד המים.	גודל הייחור	
עדיף לקחת ייחור מצמח צעיר או מענף צעיר. אחת הסיבות לכך היא שריכוז ההורמונים בהם גבוה יותר.	גיל הייחור	
בשלבים שונים של התפתחות הייחור ניתן להוסיף אוקסין לעידוד יצירת שורשים וציטוקינין לעידוד התפתחות ענפים.	הורמוני צמיחה (שהמגדל מוסיף)	גורמים חיצוניים
בעצים המשירים את עליהם בחורף רצוי לקחת ייחורים בסוף תקופת החורף לקראת לבלוב, שכן ריכוז ההורמונים בתקופה זו עולה.	עונת השנה (עונתיות)	
חשוב לשתול את הייחור במצע גידול מאוורר ולח המכיל מינרלים.	סוג מצע הגידול	

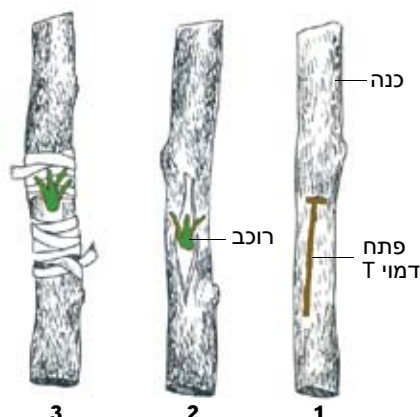
הרכבה

ההרכבה היא שיטת ריבוי נפוצה בגידול ורדים, עצי פרי וגפנים, וכיום גם בצמחים חד-שנתיים כמו אבטיחים. ההרכבה משמשת לריבוי פרטים בעלי תכונות רצויות למגדלים. השיטה ידועה ונהוגה כבר אלפי שנים ומקורה כנראה בסין. בהרכבה יוצרים צמח חדש, שמצד אחד הוא בעל תכונות רצויות, כגון: פרי גדול, יפה ועסיסי, ומצד שני הוא עמיד בפני מחלות בקרקע ומערכת שורשיו מאפשרת לו לגדול היטב גם בקרקעות שהצמח הנושא פירות או פרחים אינו מתאים לגדול בהן.

בהרכבה מחברים קטע מצמח אחד - ייחור, על צמח אחר קרוב לו מבחינה גנטית, שכבר מושרש בקרקע. החלק המושרש בקרקע נקרא **כִּנָּה** והחלק המורכב נקרא **רוכב**. הקטע המשמש כרוכב הוא בעל קודקוד צמיחה או ניצן צדדי שממנו יתפתחו הענפים החדשים. בתהליך ההרכבה יוצרים מגע הדוק בין הרקמות של הרוכב ושל הכנה ובכלל זה רקמת **הקמביום** שממנה מתפתחות רקמות ההובלה של הצמח. בעקבות ההרכבה רקמות הכנה והרוכב מתאחות, ושני הצמחים מתפקדים בהמשך חייהם כצמח אחד. ישנן כמה שיטות לביצוע ההרכבה אך בכולן העיקרון זהה. איור ז-3 מתאר שלבים בהרכבה.



תפוח לאחר ההרכבה



איור ז-3: שלבים בהרכבה

1. הכנת פתח בצורת T בכנה, על ידי חיתוך הקליפה עד אזור הקמביום.
2. הכנסת הרוכב אל מתחת לשפת החתך.
3. הידוק אזור ההרכבה בסרט עד לאיחוי הקמביום של הכנה והרוכב.

ככל שהקרבה הגנטית בין הכנה לרוכב גדולה יותר, גדולים סיכויי ההצלחה של ההרכבה. לרוב מבצעים הרכבה בין זנים של אותו מין, אך לעתים אפשר להרכיב גם מינים שונים אך קרובים (השייכים לאותו סוג).



הרכבה בהדרים:
כנה ו-3 רוכבים

על מושגים

זן

זן, המכונה גם תת-מין (sub-species), הוא יחידת מיון בעולם הטבע. הוא מגדיר אוכלוסייה של פרטים השייכת למין מסוים (species) ושונה במאפיין כלשהו מאוכלוסייה אחרת של פרטים של אותו מין. לדוגמה: הכלניות הלבנות והאדומות הן זנים שונים של כלנית מצויה. זנים רבים הם תוצרי טיפוח שנעשה על ידי בני האדם בתהליך של ברירה מלאכותית.

להרכבה כמה יתרונות חשובים לחקלאי:

1. מאפשרת גידול זני עצים וגפנים נושאי פירות משובחים גם בקרקע שאינה מתאימה לזנים אלו (נושאי הפירות המשובחים).
2. מאפשרת הגדלת היבול על ידי שימוש בכנות עמידות בפני מחלות ומזיקי קרקע.
3. במטעים ההרכבה מאפשרת החלפת זן מסוים של פירות בזן מוצלח יותר תוך קיצור משך הזמן עד לקבלת פירות (בהשוואה למשך הזמן העובר עד לקבלת פירות מנטיעה חדשה של עצים צעירים).
4. מאפשרת יצירת צירופי צמחים למטרות נוי, למשל על ידי הרכבת קקטוסים ממינים שונים זה על זה.



קקטוסים מורכבים



חוטרים

חומר הוא ענף צדדי המתפתח באופן טבעי מבסיס הגזע של צמחים מסוימים כמו תמר ובונה. כדי להרבות עצי תמר נוהגים להשתמש בחוטרים (איור ז-4): עוטפים את החומר בשק של נסורת לחה, וכאשר מתפתחים בו שורשים אפשר לנתק אותו מצמח האם ולשתול אותו במטע חדש.

איור ז-4: גזע תמר עם חוטרים מוכנים לניתוק

את צמחי הבננה, שאינם מתרבים כלל ברבייה זוויגית, נהגו להרבות באמצעות חוטרים, אך כיום הולכת ונפוצה שיטת הריבוי באמצעות תרביות רקמה (עליה תלמדו בסעיף הבא), והיא מחליפה בהדרגה את הריבוי של צמחי הבננה באמצעות חוטרים.

פקעות ובצלים

צמחים בעלי איברי אגירה תת־קרקעיים כגון פקעות ובצלים אפשר להרבות באמצעות איברים אלה. מהמטבח מוכרות לנו ביותר ה**פקעות** של **תפוח האדמה**, וה**בצלים** של **בצל** הגינה.

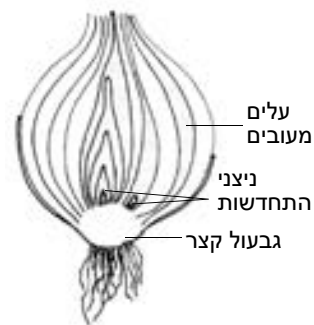


איור ז-5: מימין - פקעת תפוח אדמה עם ענפים חדשים המתפתחים מניצני ריבוי, משמאל - צמח תפוח אדמה שלם עם פקעות רבות

בוודאי שמתם לב שתפוח אדמה שנמצא כמה ימים בבית, בטמפרטורת החדר, מתחיל להצמיח ענפים ועלים מאזורים מסוימים בפקעת (איור ז-5). הפקעת של תפוח האדמה היא למעשה, גבעול מעובה תת־קרקעי ובו **ניצני ריבוי**. בפקעת אגורים חומרי מזון, והענפים המתפתחים מהניצנים מנצלים את חומרי המזון שבפקעת וגדלים לצמח חדש. בחקלאות מטמינים בקרקע פקעות של תפוחי אדמה ומהן מתפתחים צמחים חדשים ופקעות רבות נוספות.

הבצל הוא גבעול קצר וסביבו עלים מעובים בשרניים (איור ז-6). בגבעול יש ניצני התחדשות המתפתחים לבצלולים, ומבסיס הבצלולים יוצאים שורשים. את הבצלולים מפרידים מצמח האם וניתן לגדלם כצמחים חדשים.

באמצעות בצלים מרבים צמחי נרקיס, שושן, יקינתון ועוד. כדי שניתן יהיה לגדל בכל עונה צמחים חדשים ולמוכרם בעצצים בחנויות הפרחים, נהוג לאסוף את הבצלולים ולאכסן אותם במקום יבש וקריר וכך הם נשמרים לעונה הבאה.



איור ז-6: מימין לשמאל - חתך סכמטי בבצל, צילום חתך בבצל, בצלולים חדשים לצד בצל בוגר (חבצלת)

תרבית רקמה

לא כל צמח אפשר להרבות מייחורים, לא כל צמח מצמיח חוטרים או שלוחות, לא לכל צמח יש בצלים או פקעות ולא כל צמח קל להרבות מזרעים. עם התפתחות המדע והטכנולוגיה הולך ומתרחב השימוש **בתרבית רקמה** לריבוי אל-זוויגי.

תרבית רקמה היא למעשה **שיבוט** של צמח: יוצרים שֶׁבֶט של צמחים זהים רבים מתא יחיד או מכמה תאים. השיטה מבוססת על תכונת ההתחדשות של הצמחים אשר מאפשרת התפתחות של צמח שלם מקטע קטן של רקמה ואף מתאים בודדים.

את התאים וחלקי הצמח מגדלים על מצע מלאכותי במעבדה שבה אפשר לווסת את הגורמים החיצוניים: עֲצֵמַת האור, הטמפרטורה והלחות. מצע התרבית מכיל את כל החומרים הדרושים להתפתחות הצמחים (חומרים אורגניים ואי-אורגניים) וכן הורמונים **אוקסין וציטוקינין**.

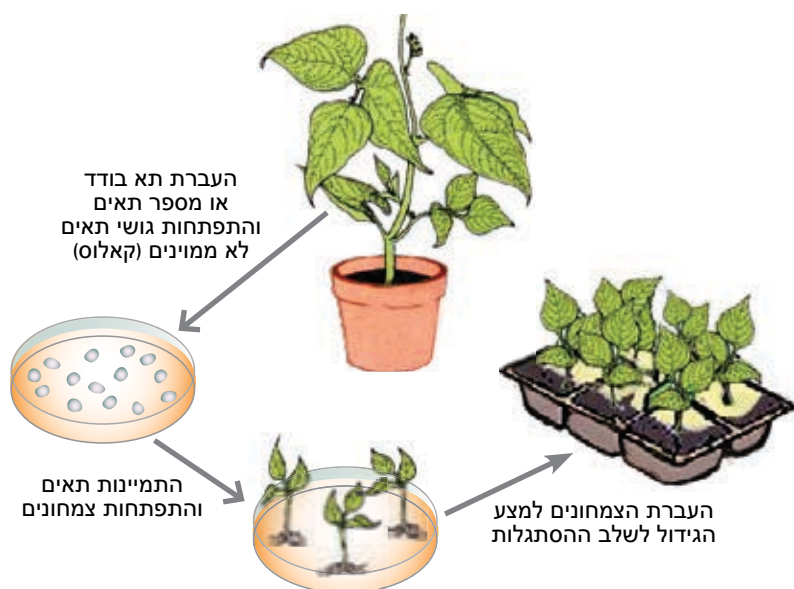
בהתפתחות צמח בתרבית רקמה מבחינים בכמה שלבים (איור ז-7): בשלב הראשון מתפתח **קאלוס** - גוש של תאים לא ממוינים. בשלב השני - שלב ה**התמיינות** - מתחילים להתפתח האיברים השונים: השורשים, הגבעולים והעלים. את התפתחות האיברים אפשר לכוון באמצעות הוספת ההורמונים **אוקסין וציטוקינין**. אוקסין מזרז התפתחות שורשים וציטוקינין מזרז התפתחות ענפים, ולכן מוסיפים אותם למצע התרבית בשלבים

שונים של ההתפתחות. הצמח הקטן המתקבל נקרא **צִמְחוֹן**. את הצמחונים מעבירים ממצע התרבית למצע גידול ושם הם עוברים שלב של **הסתגלות**. רק לאחר מכן מעבירים את הצמחים הצעירים למקום גידולם הקבוע במשתלה או במטע.

במשך שנים רבות חקרו את הדרכים המיטביות לגידול צמחים בתרביות רקמה וברוב המקרים משתמשים בקדקודי צמיחה שנמצאים בקצות הגבעולים. האפשרות להרבות **סחלבים** באמצעות תרביות רקמה סייעה רבות להרחבת השיווק של הסחלבים שכן קשה להרבות אותם בדרך טבעית.

לשיטת ריבוי צמחים באמצעות תרביות רקמה יש כמה יתרונות חשובים:

1. **יצירת מספר רב מאוד של שתילים בזמן קצר** - במעבדות מסחריות יכולים לגדל אלפי ואף מיליוני צמחים בשנה מקטע אחד.
2. **יצירת צמחים ללא מחלות** - בצמחים מוכרות מחלות הנגרמות על ידי נגיפים, חיידקים או פטריות. כאשר מרבים צמחים בריבוי וגטיבי באחת



איור ז-7: ריבוי בתרבית רקמה



צמח סחלב

השיטות שתוארו לעיל המחלות יכולות לעבור לצמחים החדשים. בתרבות רקמה לעומת זאת לוקחים קטע צמח מקדקוד צמיחה שעדיין לא עבר התמיינות והוא לרוב נקי מנגיפים. הגידול בתרבות רקמה נעשה בתנאים מעוקרים (סטריילים) ולכן נמנעת העברת גורמי מחלות לצמחים הצעירים.

3. **חיסכון בשטחי גידול** - גידול הצמחים בתרבות רקמה נעשה בכלים קטנים כך שהשטח הנחוץ לגידולם קטן.

4. **חיסכון בריסוס** - שלבי הגידול הראשונים של הצמחים נעשה בתנאים סטריילים ואין צורך לרסוס.

5. **גידול לאורך כל השנה** - מאחר שבשלב הראשון גידול הצמחים נעשה במעבדה או בחממה בתנאים מבוקרים, אפשר לגדלם ברציפות ללא קשר לעונות השנה, ולהתאים את מועדי שיווקם של הצמחים הצעירים לעונות שבהן יש להם ביקוש גבוה.

בצד היתרונות של ריבוי בתרבות רקמה יש גם חסרונות:

1. **עלות גבוהה** - גידול בתרבות רקמה מחייב השקעה בהכשרת צוות מומחים, בציוד ובמעבדות, בבדיקות רבות של הצמחים כדי לוודא שאין בהם זיהום חיידקי או נגיפי ובמחקר מתמשך לפיתוח שיטות ייחודיות לכל מין.

2. **מוטציות בתדירות גבוהה** - בצמחים הגדלים בתרבות רקמה נוצרות מוטציות בתדירות גבוהה יותר מאשר בצמחים הגדלים בשיטות ריבוי וגטטיבי אחרות. לכן נדרשות בדיקות חוזרות ונשנות של תכונות הצמחים הגדלים בתרבות.

כדי שגידול צמחים בתרבות רקמה יהיה רווחי חייבים לייצר כמויות גדולות מאוד של שתילים או ליצור שתילים של צמחים מבוקשים שמחירם בשוק גבוה. הסחלב הוא דוגמה לצמח יוקרתי שהקונים מוכנים לשלם מחיר גבוה עבורו.

בארץ יש מעבדות מסחריות המייצרות בשיטת תרבות רקמה צמחים שונים לשיווק בארץ או ליצוא, כגון: *תות שדה, בננות, עצי תמר, ציפורן וצמחי נוי* (איור 8-2).



איור 8-2: שתילי בננות שהתפתחו בתרבות רקמה



שאלה ז-5



טבלה ז-2 מפרטת דוגמאות לגידולים שמרבים אותם בדרך אל-זוויגית.

טבלה ז-2: איברים המשמשים בחקלאות לריבוי אל-זוויגית של צמחים

האיבר המשמש לריבוי	הגידולים שמרבים מאיברים אלה
פקעת	תפוח אדמה, כלנית
בצל	פרחי נוי: פרזיה, נרקיס
חומר	תמר, בננה
ייחורי גבעול	פלרגוניום, תאנה, במבוק
קטע גבעול/ענף נושא ניצן המורכב על כנה	עצי פרי נשירים (משמש, תפוח), עצי הדר (תפוז, לימון, אשכולית), גפן, עגבניות, חצילים
עלה או קטע של עלה	צמחי נוי: סיגלית אפריקנית, פפרומיה
קטע של רקמה הגדלה בתרבית רקמה	בננות, עצי תמר, תות שדה, צמחי נוי, ציפורן

עוד על

רבייה אל-זוויגית בצמחים, בפרק 1, עמודים 111-113.

א. עיינו בטבלה וציינו אילו מאיברי הצמח **אינם** מתאימים לריבוי אל-זוויגית? הציעו סיבה לכך.

ב. מיינו את הדוגמאות שבטבלה לשתי קבוצות: בקבוצה אחת - צורות ריבוי שקיימות בטבע. בקבוצה שנייה - צורות ריבוי שנעשות רק על ידי האדם.

2.2ז התערבות החקלאים במחזור החיים וברבייה זוויגית בצמחים

תוצר הרבייה הזוויגית בצמחים הם **הזרעים** שמהם מתפתח הדור החדש. החקלאים מתערבים בתהליכים שונים בכל שלבי מחזור החיים של הצמח, החל בזרע ובנביטתו, דרך הצמיחה והפריחה וכלה ביצירת פירות וזרעים והבשלתם.

אחסון זרעים

הזרעים, הם דור העתיד של יבולי החקלאים, וחשוב לשמרם לאורך זמן ולהבטיח שינבטו במועד המתאים. משך הזמן שבו נשמרת חיוניותם של הזרעים שונה ממין אחד למשנהו והוא נקבע הן על ידי גורמים פנימיים-תורשתיים והן על ידי גורמים חיצוניים-סביבתיים.



באילו תנאי סביבה עדיף לשמור זרעים לתקופה ארוכה ?!

תנאי האחסון של זרעים חייבים להיות מבוקרים כדי לשמור על **חיוניות הזרעים**, כלומר על יכולתם לנבט בעתיד, וכדי למנוע נביטה מוקדמת של הזרעים. בעיקרו של דבר התנאים שבהם מאחסנים זרעים לאורך זמן אמורים להקטין מאוד את קצב חילוף החומרים בזרע אך לא לפגוע בעובר.

בנוסף לשמירה על תנאי סביבה המעכבים או מונעים נביטה יש להגן על הזרעים מפני התפתחות חיידקים ופטריות ומפני בעלי חיים שעבורם הזרעים מהווים מזון משובח. ציפורים ומכרסמים עשויים להיכנס למחסנים וחרקים כמו חיפושיות ופרפרי עש עשויים להגיע לעתים עם הזרעים היישר מהשדה למחסן.

שאלה ז-6



על שקיות מזון המכילות זרעי קטניות כתוב שעדיף לשמרם במקום "אפל, יבש וקריר". מהו הבסיס הביולוגי להמלצה זו?

שבירת תרדמה בזרעים וזירוז נביטה

בפרק ו' ראינו שיש זרעים שאינם נובטים גם כשהתנאים הסביבתיים נוחים, בשל היותם במצב **תרדמה** המעכב את הנביטה למשך זמן מסוים. בטבע מנגנוני התרדמה מאפשרים פיזור הנביטה בזמן, ויש לכך יתרון בתנאי סביבה קשים. אולם החקלאים מעוניינים בנביטה בו-זמנית של הזרעים, במועד הנוח להם. לשם כך הם מנצלים את הידע שהצטבר אודות הגורמים לתרדמה. להלן כמה דוגמאות של גורמים לתרדמה והטיפול שנעשה לשבירתה ולזירוז הנביטה.

1. קליפה קשה ובלתי חדירה למים או גזים: שיוף קליפת הזרע באמצעות נייר זכוכית במערבל מיוחד מאפשר חדירת מים וחמצן לזרעים ומחיש את יציאתם ממצב התרדמה. שיטות נוספות להסרת המחסום של קליפה קשה - טיפול כימי בעזרת חומצה או בסיס (למשל בזרעי *הית*) או ריכוך על ידי השריה במים.

2. חומרים מעכבי נביטה בזרע:

- שטיפה במים - ברוב המקרים שטיפת הזרעים במים מסלקת את החומרים המעכבים ומבטלת את השפעתם. בכמה צמחי מדבר נמצאו חומרים מעכבי נביטה בכמות גדולה שרק שטיפה במים רבים, בדומה לגשם חזק במדבר, מסלקת אותם.
- שהייה בקור בתנאי לחות - יש זרעים, לדוגמה: *שיפון חורפי*, שלהריסת החומרים המעכבים בהם דרושה שהייה בקור בתנאי לחות. זרעים כאלה משהים בחדרי קירור בטמפרטורה של 5°C למשך מספר חודשים.
- טיפול הורמונלי - במקרים מסוימים תרדמה הנגרמת על ידי חומרים מעכבים ניתנת לביטול גם על ידי תוספת **ג'יברלין** (טבלה ו-4, עמוד 138).

3. דרגת ההתפתחות של העובר: יש זרעים שהם רדומים משום שהתפתחות העוברים בהם לא הושלמה. חשיפת הזרעים לטמפרטורה גבוהה, לדוגמה בזרעים של *תמר* ושל *סחלב*, תביא להשלמת ההתפתחות של העוברים וליציאה ממצב התרדמה. מחקרים הראו כי אפשר להחליף את החשיפה לטמפרטורה גבוהה בטיפול בהורמון **ג'יברלין**.

4. חשיפה לאור: בזרעים הזקוקים לאור כדי לנבט יכולים החקלאים לעודד נביטה על ידי חשיפה מלאכותית של הזרעים לאור. למשל, אפשר לזרז נביטה של זרעי *טבק* ו*חסה* על ידי חשיפה של מספר שניות לאור. בזרעים אחרים יש צורך במשך הארה ארוך יותר. יש צמחים הזקוקים לפוטופריודה (מחזוריות שעות האור והחושך) מסוימת שיש בה ימים קצרים או ארוכים. בתגובת הזרעים לאור מעורב הפיגמנט **פיטוכרום** שהכרנו כבר בפרק ו' בהקשר להשפעתו על פריחה ונביטה.

5. אוורור הקרקע: העלאת ריכוז החמצן בסביבת הזרעים מביאה במקרים רבים לזירוז הנביטה. עיבוד הקרקע בשדות חקלאיים נועד, בין היתר, לאוורר את הקרקע ולאפשר חילוף גזים יעיל בין מצע הנביטה לעובר שבזרע. חילוף גזים יעיל נחוץ להפקת אנרגיה **בנשימה תאית** ומאפשר נביטה מהירה יותר מאשר בקרקע לא מאווררת.



קרקע מעובדת



מעניין לדעת



עשבי בר וצמחי חקלאות

עשבי בר רבים הגדלים בשדות חקלאיים נובטים היטב גם בקרקעות לא מאווררות שבהן יש ריכוזים גבוהים של פחמן דו-חמצני. תכונה זו מאפשרת להם להתחרות בהצלחה בגידולים החקלאיים.

בחלק מהזרעים נגרמת התרדמה מאחת הסיבות שפורטו לעיל ובזרעים אחרים מכמה סיבות, ובהתאם לכך מותאם הטיפול להוצאה מהתרדמה. בזרעי התמר למשל, שכדי להוציאם מתרדמה אפשר להשתמש בג'ברלין, יש צורך גם לשייף את הקליפה הקשה כדי לאפשר להורמון לחדור לתוך הזרע.

מעניין לדעת



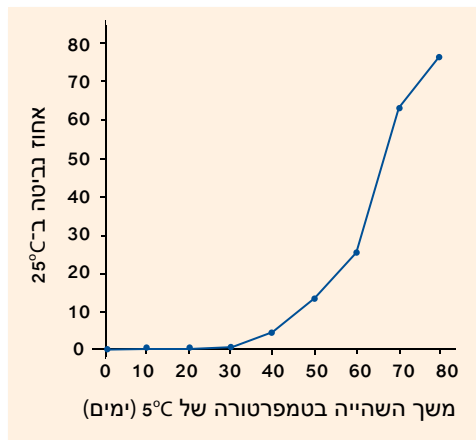
הזרע העתיק ביותר בעולם שנמצא ונבט

בשנת 1963 נמצאו בחפירות ארכיאולוגיות במצדה כמה זרעים של עץ התמר. על פי המחקרים שנערכו הוערך גילם ב-2,000 שנים לערך. בשנת 2005 החליטו לזרוע חמישה מהזרעים בקיבוץ קטורה שבנגב. השרו את הזרעים במים חמימים, הטבילו אותם בג'ברלין ובהורמון השרשה והטמינו אותם בעציצים שהוסף להם דשן. העציצים הועברו לחדר מבודד וחוברו למערכת השקיה. שבעה שבועות לאחר מכן נבט אחד מהם.

החוקרים התרגשו לצפות בנביטה ובהתפתחות של אחד הזרעים לעץ תמר. הם קראו לעץ בשם "מתושלח", על שמו של מתושלח המוזכר בתנ"ך אשר חי כמעט 1,000 שנים (ועדיין צעיר מזרע התמר). האם "מתושלח" העץ הוא זכר או נקבה יידעו החוקרים רק כאשר העץ יגיע לפריחה, ואתם כבר למדתם מדוע.



מתושלח



איור ז-9: השפעת משך שהייה בקור (5°C) על אחוז הנביטה

שאלה ז-7

באיור ז-9 מוצגות תוצאות ניסוי שבו אוחסנו זרעי תפוח בטמפרטורה של 5°C במשך מספר שונה של ימים. לאחר מכן הנביטו אותם בטמפרטורה של 25°C וחישבו את אחוז הנביטה.

- מהו המשתנה הבלתי תלוי בניסוי?
- מהו מספר הימים המינימלי של שהייה בטמפרטורה של 5°C הנחוץ כדי שהזרעים ינבטו?
- ביולוג וחקלאית דנו בשאלה כמה זמן רצוי לשמור את הזרעים בטמפרטורה של 5°C. הביולוג טען שמשך הזמן הרצוי הוא לפחות 80 יום, ואילו החקלאית טענה שדי ב-65 יום. מה היו השיקולים של כל אחד מהם שהובילו למסקנה שונה?

הכוונת מועד הפריחה

שינוי מספר שעות האור במהלך היממה

מחזוריות שעות האור והחושך - **הפוטופריודה** - משפיעה על מועד הפריחה בצמחים. מדי שנה הימים מתקצרים ומתארכים במחזוריות קבועה. הידע אודות **פוטופריודיזם**, תגובת הצמחים לשינויים במספר שעות האור והחושך מסייע לחקלאים לכוון את מועד הפריחה לפי צרכי השוק, למשל לפני חגים כאשר יש דרישה גדולה לפרחים. בחממות החקלאים משנים את מספר שעות האור באמצעות תאורה מלאכותית וכך הם יכולים לשווק פרחים כמו **ציפורנים** ו**כריזנטמות** בכל עונות השנה ללא קשר לאורך היום הטבעי.

עוד על

פוטופריודיזם בצמחים, בפרק ו', עמוד 116.
בבעלי חיים, בפרק ה', עמוד 147.



ליזיאנטוס

שאלה ז-8

הליזיאנטוס הוא צמח הפורח בקיץ. באירופה קיימת דרישה לפרחי הליזיאנטוס במשך כל השנה. כיצד, לדעתכם, אפשר לשנות את מועד הפריחה הטבעי של הליזיאנטוס כך שיפרח כל השנה וניתן יהיה לשווקו גם בחורף?

השפעת הטמפרטורה על הפריחה

בפרק ו' ראינו שיש צמחים שפריחתם מושפעת מטמפרטורה. יש צמחים הזקוקים **למנת קור** - רצף של מספר ימים מינימלי (מזערי) בטמפרטורה נמוכה, והם יפרחו רק לאחר חשיפה למנת הקור המתאימה.

החקלאים מנצלים ידע זה בבואם לבחור את הגידולים בהתאם לטווח הטמפרטורות באזור בו מצוי המשק החקלאי שלהם. עצי פרי נשירים כמו תפוח ואפרסק זקוקים לרצף של כמה ימים בטמפרטורה נמוכה (5°C עד 15°C), והם יפרחו רק לאחר שנחשפו למנת קור זאת. הדובדבן, לעומת זאת, זקוק לתקופה ממושכת בטמפרטורה נמוכה (2°C עד 5°C) והוא אינו פורח ברוב חלקי הארץ. לכן מגדלים את הדובדבן באזורים שגובהם 800-1,000 מטר מעל פני הים וששורות בהם טמפרטורות נמוכות במשך ימים רבים ברציפות: רמת הגולן, הרי חברון, אזור ירושלים והגליל העליון.

הגדלת שיעור ההאבקה

הפירות והזרעים שבתוכם נוצרים בעקבות **האבקה** הנעשית על ידי רוח או על ידי חרקים וציפורים. כדי לשפר את סיכויי ההאבקה החקלאים יכולים להציב במטע כוורות של דבורים או לבצע **האבקה מלאכותית**: לפזר אבקה באופן ידני בקרבת הפרחים. כך נעשה למשל במטעי תמרים: רק מעטים מבין עצי המטע נושאים פרחים זכריים, וכדי לשפר את סיכויי ההאבקה החקלאים מפזרים אבקה באופן מכוון ליד הפרחים שבעצים הנקביים.

שאלה ז-9



מדינת סרילנקה שבדרום אסיה היא מן המובילות בעולם ביצוא קפה. בעשור האחרון קטן בה מאוד יבול הקפה. חקלאי סרילנקה ניסו לעצור את הירידה ביבול הקפה בדרכים שונות: הם נטעו את שיחי הקפה בצפיפות רבה, הרחיבו את שטחי המטעים על חשבון היערות שמסביב וריססו לעתים תכופות את המטעים בחומרי ריסוס נגד מזיקים. כל הפעולות האלה לא הועילו.

א. בחרו בשתיים מהדרכים שנקטו החקלאים והציעו הסבר לכישלון כל אחת מהן.

במחקר שנעשה לבדיקת התופעה נבדקו שני מטעי קפה סמוכים זה לזה, שביניהם הוצבו כוורות של דבורי דבש. במטע א' כיסו את השיחים ברשת, ואילו את השיחים במטע ב' לא כיסו. לאחר הקטיף התברר ששיחי הקפה במטע ב' הניבו הרבה יותר פירות מהשיחים במטע א'.

ב. מהי המסקנה מהניסוי?

ג. לאור תוצאות הניסוי: מהו ההסבר לכישלון הפעולות הראשונות שנקטו על ידי החקלאים?

ד. כיצד אפשר להסביר את העובדה שגם במטע א' התקבלו פירות?

הכוונת התפתחות הפרי וההבשלה

כאמור, ראשית התהוות הפרי נקראת **חנטה** והיא שלב רגיש מאוד בהתפתחות הפרי. לא כל הפרחים מתפתחים לפרי, וחלקם נושרים לפני החנטה. גם בתנאים מיטביים שיעור החנטה אינו מגיע ל-100% אלא לעשרות בודדות לכל היותר.

עם התפתחות הפרי מגיעים אל תאיו חומרי מזון רבים שנוצרו בעלים בתהליך הפוטוסינתזה והוא גדל. נמצא שעלייה ברמת מווסתי הצמיחה **אוקסין וגיברלין** מכוונת את זרימת החומרים המזינים אל הפרי. גודל הפרי נקבע על ידי נתונים תורשתיים אך מושפע גם מגורמים סביבתיים. כך למשל, זמינות המים - גשם או השקיה, משפיעה על גודלם, משקלם וריכוז הסוכר שבפירות עסיסיים.



חנטי משמש

אחוזי חנטה גבוהים אינם בהכרח רצויים לחקלאים שכן במצב כזה יתקבלו פירות רבים וקטנים, שהביקוש להם הוא קטן. לכן החקלאים מעוניינים להקטין את מספר הפירות ולקבל פירות גדולים יותר. הם עושים זאת בשתי דרכים:

1. **דילול** של החנטים באופן ידני או באמצעות ריסוס באוקסין סינתטי.
2. עידוד גדילת הפרי באמצעות ריסוס בגיברלין.

אשנב למחקר



בניסוי שנערך בארץ בוצע דילול של חנטים ושל פירות בעצי תפוח. הדילול בוצע בכמה מועדים, החל משיא הפריחה (מועד 1) ועד 60 יום אחרי שיא הפריחה (מועד 5). במועדים אלה בוצע הדילול בשתי רמות: דילול ברמה גבוהה שבו הושארו 200 פירות לעץ, ודילול ברמה נמוכה שבו הושארו 400 פירות לעץ. בחלקות הבקרה לא בוצע דילול כלל.

להלן שני ממצאים שעלו מהניסוי:

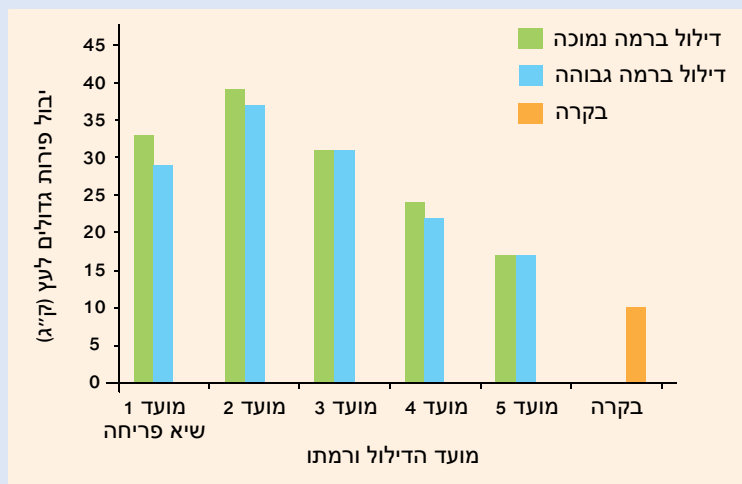
- ממצא 1: היבול של כל הפירות בכל הגדלים היה גבוה יותר בחלקות הבקרה שבהן לא בוצע דילול: כ־140 ק"ג בהשוואה ל־30-80 ק"ג בחלקות הניסוי.
- ממצא 2: היבול של פירות גדולים - מעל 7 ס"מ - בחלקות הניסוי ובחלקות הבקרה מוצג באיור ז-10.

א. מה היו שתי שאלות המחקר?

ב. מה היו המשתנים הבלתי תלויים במחקר?

ג. מה אפשר להסיק מהתוצאות המוצגות באיור ז-10? הסבירו.

ד. הציעו הסבר אפשרי לכמות הקטנה של פירות גדולים בחלקת הבקרה.



איור ז-10: יבול הפירות הגדולים בניסוי הדילול
מועד 1: שיא הפריחה, מועד 5: 60 יום אחרי שיא הפריחה

בתהליך **ההבשלה** של הפרי משתנים צבעו, טעמו, ריחו ומידת הקשיות שלו. במהלך ההבשלה מתפרק הכלורופיל, מתבלטים חומרי צבע אחרים שבפרי והוא מתרכך. קצב ההבשלה מושפע מההורמון **אתילן**. התברר כי הפרי הבשל מפריש גז אתילן שמשפיע גם על הבשלת פירות אחרים בסביבתו. האתילן ממשיך להיות מופרש בפירות בקצב מוגבר גם לאחר הקטיף.

יש פירות שנקטפים בטרם הבשילו והם מבשילים לאחר הקטיף בתהליך הנקרא **הבחלה**. דוגמה לפירות שמבשילים הם האבוקדו, האפרסמון והבננה. החקלאי קוטף את הפירות בטרם הבשילו ומאחסן אותם בתנאים שמעכבים הבחלה. האבוקדו מגיע לשוק כשהוא לא



בשל וכדי לזרז את הבחלתו ממליצים לעטפו ואף להניחו סמוך לפירות אחרים. בדרך זו ריכוז האתילן בסביבת הפרי גדל והפרי משלים את תהליך ההבשלה בתוך ימים אחדים. פרי הדר אינו ממשיך להבשיל לאחר קטיפתו אך האתילן משפיע על שינויים בצבעו, לכן קוטפים פרי הדר כשהוא ירוק ואחר כך גורמים לשינוי הצבע על ידי חשיפה לאתילן.

מעניין לדעת



סיפורו של גילוי

השפעתו של האתילן על הבשלת פירות התגלתה במקרה בסין העתיקה כאשר שמו לב שפירות הקדימו להבשיל כאשר הם שהו בחדרים שדלקה בהם קטורת. תופעה דומה נצפתה בארצות הברית בחדרים שדלקו בהם תנורי נפט או גז, אך לא בחדרים שדלקו בהם תנורי חשמל. מכך הסיקו שלא החום גורם להבשלה אלא הגז שנפלט מהתנורים - גז האתילן.

השפעה על הצמיחה באמצעות גיזום

אחת הפעולות שעושים החקלאים במטע, בכרם וגם בגינת הנוי הוא **גיזום** ענפים. פעולת הגיזום נעשית לפני הלבול והפריחה והשפעותיה ניכרות עם התחדשות הצמיחה. לגיזום כמה מטרות:

1. עיצוב צורת הצמח כדי שלא ייפגע מרוחות חזקות ושיהיה קל לטפל בו ולקטוף את הפירות.
2. הרחקת ענפים יבשים וזקנים ועידוד ההתפתחות של ענפים חדשים בעונת הגידול הבאה, ובעקבות זאת השפעה על טיב היבול ועל כמותו.
3. חשיפה מיטבית של ענפי העץ לאור.

3.2ז התערבות החקלאים בשלבים שונים של מחזור חיי הצמח

בטבלה 3-ז מובא סיכום של הדרכים השונות שבהן החקלאים משפיעים על תהליכים במחזור חיי הצמח. מטרת הפעולות שהחקלאים מבצעים היא הגדלת כמות היבול ושיפור איכותו. אי לכך פעולותיהם משפיעות הן על התפתחות הצמחים וגידולם והן על תהליכי הרבייה הזוויגית.

טבלה ז-3: התערבות החקלאים במחזור חיי הצמח

השלב במחזור החיים	הפעולה שעושה המגדל	המטרה	דוגמאות ליישום
זרע (שלב טרום נביטה ונביטה)	שמירת זרעים בתנאי חושך, טמפרטורה נמוכה ויובש; חיטוי	שמירה על חיוניות הזרעים, מניעת נביטה ומניעת פגיעה על ידי מזיקים	זרעי קטניות, זרעי דגנים
	שחיקה, ריכוך כימי או ריסוק של קליפה קשה	זירוז נביטה	זית
	שטיפה	סילוק מעכבי נביטה	פפאיה
	השהייה בקור	זירוז נביטה בזרעים שזקוקים לשהייה בטמפרטורה נמוכה	זרעים של עצי פרי נשירים, כמו תפוח, אגס, דובדבן, שזיף
	תוספת הורמונים (למשל, אתילן)	זירוז נביטה	חסה
	חשיפה לתנאי הארה מתאימים	זירוז נביטה בזרעים שזקוקים לאור או לחושך	חסה, טבק
שלב הצמיחה	השקיה, זיבול ודישון	שיפור הצמיחה	כל הגידולים החקלאיים
	ויסות טמפרטורה, עצמת אור וריכוז CO ₂	הגברת פוטוסינתזה ושיפור הצמיחה	גידולים בחממות
	טיפול בהורמונים שונים כמו אוקסין וג'יברלין	השרשת ייחורים והכוונת הצמיחה	ייחורים
	גיזום	השפעה על התפתחות ענפים	עצי נוי, עצי פרי וגפנים
שלב הרבייה	כיסוי המטע ברשת	מניעת נזק על ידי ציפורים וחרקים	בננות, שסק
	ויסות טמפרטורה ומספר שעות האור	הכוונת מועד הפריחה לפי צרכי השוק	פרחי נוי בחממות
	דילול פרחים ופירות באופן ידני או באמצעות הורמונים	הקטנת תחרות בין הפרחים והפירות (מבלעים)	עצי פרי
	הוספת כוורות	הגדלת שיעור ההאבקה והכוונתה	הדרים, אבוקדו
	האבקה מלאכותית		תמרים
	ויסות רמת אתילן ו-CO ₂	הכוונת משך ההבחלה בפירות	בננה, אבוקדו, אפרסמון
אחסון תוצרים של המשק החקלאי לאורך זמן	אחסון בטמפרטורה נמוכה	האטת תהליכים טבעיים כמו פריחה והבשלה, עיכוב הבחלה	פרחים לייצוא, תפוח, בננה, עגבנייה
	רחיצה, חיטוי וציפוי בדונג	הגנה על פירות מפני פטריות ומזיקים	פרי הדר, פלפלים
	אחסון בתנאי חושך, טמפרטורה נמוכה ויובש	שמירה על זרעים המשמשים כמזון מפני רקבון	עדשים, חיטה, כוסמת



עיקרי הנושאים בפרק



■ החקלאים מתערבים בשיטות שונות בתהליכי הרבייה של בעלי חיים וצמחים.

התערבות ברביית בעלי חיים

- הארה מלאכותית גורמת לתרנגולות להטיל ביצים במשך כל השנה.
- החקלאים יכולים לכוון את מועד הייחום. לעתים הם מבצעים סנכרון של מועדי הייחום בכל העדר, לעתים הם משרים ייחום כדי להקדימו.
- לסנכרון מחזורי הייחום של הפרות בעדר יש יתרונות אחדים, ביניהם: חיסכון בהוצאות הכרוכות בעבודת המזריע, חיסכון בעלות הזרע, המלטות בזמניות שיאפשרו טיפול בו זמני בעגלים, תזמון ההמלטה למועד נוח לגידול העגלים ולשיווק מרוכז של עגלים לבשר.
- השריית ייחום בפרות מאפשרת המלטה בגיל צעיר יותר ומקצרת את הזמן בין המלטה אחת לזו שאחריה.
- אחת השיטות לקבלת צאצאים רצויים/משובחים היא הזרעה מלאכותית.
- מקצת השיטות שמפעיל האדם להתערבות ברביית בעלי חיים במשק החקלאי מעוררות התנגדות בקרב הגופים הדואגים לרווחת בעלי החיים.

התערבות ברביית צמחים

- כל השיטות המשמשות בחקלאות ובגננות לריבוי אל-זוויגי (וגטטיבי) מבוססות על יכולתם של הצמחים לחדש את כל חלקי הצמח.
- היתרון העיקרי של ריבוי וגטטיבי לחקלאות הוא בשימור תכונות הרצויות לחקלאים באופן מושלם והעברתן מדור לדור.
- תרביית רקמה היא שיבוט של צמח: יצירת שֶׁבֶט של צמחים רבים זהים מתא יחיד או מכמה תאים. השיטה מבוססת על תכונת ההתחדשות הקיימת בצמחים ואשר מאפשרת התפתחות של צמח שלם מתאים בודדים. לשיטת ריבוי צמחים באמצעות תרביות רקמה כמה יתרונות חשובים אך גם חסרונות אחדים.
- החקלאים מתערבים בתהליכים שונים בכל שלבי מחזור החיים של הצמח ובכלל זה בכל שלבי הרבייה הזוויגית: הפריחה, האבקה, הבשלת פירות ואחסנת הזרעים.

מושגים חשובים בפרק



בעלי חיים

בגרות מינית	הארה מלאכותית	מחזור ייחום
ביוץ	הזרעה מלאכותית	עונת רבייה
ביצה	הטלה	פרוגסטרוג
גונדוטרופינים (הורמונים)	הכוונת מועד ייחום בבקר (סינכרון)	
גופיף צהוב	השריית ייחום	

צמחים

אוקסין	מנת קור
אורך יום	מצע גידול
אחסנת זרעים	מריטסמה
אתילן	נביטה
בצל	ניצני ריבוי
גיברלין	עונת רבייה
גזום	פוטופריודיזם
דילול פירות	פיטוכרום
האבקה מלאכותית	פקעת
הארה מלאכותית	ציטוקינין
הבחלה	צמחון
הבשלה	קאלוס
הרכבה	קדקוד צמיחה
התמיינות	קמביום
זרע	רוכב
חוטרים	שיבוט
חיוניות זרעים	שלב הסתגלות
ייחורים	תרבית רקמה
כנה	תרדמה בזרעים

מבט מסכם על רבייה בצמחים ובבעלי חיים

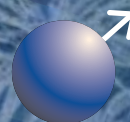


- ח1. היבטים אבולוציוניים של תהליכי רבייה
- ח2. הרבה צאצאים או מעט? - אסטרטגיות רבייה
- ח3. עקרונות משותפים ברמות ארגון

עיקרי הנושאים בפרק
מושגים חשובים בפרק



ח



פרק ח: מבט מסכם על רבייה בצמחים ובבעלי חיים

בפרקים קודמים הכרנו פרטים המייחדים את תהליכי הרבייה באדם, בבעלי חיים ובצמחים. בפרק זה יוצג מבט על מסכם על תהליכי הרבייה בטבע תוך התמקדות ב**אבולוציה** של תהליכי הרבייה, ברבייה של אוכלוסיות ובעקרונות המשותפים של תהליכי הרבייה ברמות הארגון החל בתא וכלה במערכת האקולוגית.

ח. היבטים אבולוציוניים של תהליכי רבייה

כל המאפיינים של מערכות הרבייה, תאי הרבייה ותהליכי ההפריה תומכים בהשערה המבוססת על עדויות רבות כי ראשית החיים הייתה במים שם האורגניזמים היו מוגנים מהשפעתה המזיקה של הקרינה העל-סגולה (קרנת UV) של השמש. ברוב האורגניזמים, גם בים וגם ביבשה, מספר תאי הרבייה גדול בהרבה ממספר הצאצאים. עובדה זו עשויה להיות עדות חשובה לכך שבעבר הרחוק כל האורגניזמים התפתחו וחיו במים, וכל תהליכי הרבייה התרחשו במים. תאי הרבייה היו משתחררים למים והמפגש ביניהם היה אקראי במידה רבה. המספר העצום הבטיח כי מפגשים כאלה בין תאי זרע לתאי ביצה מאותו מין ביולוגי אכן יתרחשו למרות הסבירות הנמוכה. באורגניזמים החיים במים, ובכללם דגים ואצות, זה המצב גם כיום.

עם חלוף הזמן התפתחו מינים החיים ביבשה. האפשרות לחיים ביבשה התפתחה לאחר שבאטמוספירה נוצרה שכבת אוזון המקטינה מאוד את הקרינה העל-סגולה המזיקה המגיעה לפני כדור הארץ. התבססותם של מיני בעלי חיים ביבשה הייתה מלווה בהתפתחות **הפריה פנימית** ובהופעה של מגוון אמצעים המגנים על תאי הרבייה מהתייבשות ומאפשרים להם להיפגש בסביבה מימית או לחה המוגנת מפני התייבשות. על-פי ההשערה המקובלת, השינויים האבולוציוניים שהתרחשו מאז כללו בין השאר את התפתחותם של איברים מיוחדים, **אברי הזדווגות**, להעברת תאי זרע אל תוך גוף הנקבה דרך **פתחי מין חיצוניים**, ולמפגש של תא הזרע עם תא הרבייה הנקבי בסביבה מוגנת מהתייבשות. בעקבות שינויים אלה ירדה במידת מה חשיבותו של המספר העצום של תאי רבייה, בעיקר אצל הנקבה. עם זאת גם בהפריה פנימית מספר תאי הזרע הוא עצום ואחוז תאי הזרע המגיעים לתא הביצה הוא אפס! גם בצמחים התפתחו מבנים המאפשרים קיום הפריה פנימית בתנאי היבשה, מבנים כגון **גרגרי אבקה וביציות**.

התפתחות נוספת הקשורה בחיים ביבשה היא האמצעים השונים להגנה על העוברים ולאספקת צוריהם במהלך ההתפתחות העוברית (טבלה ב-1, בעמוד 28). בסביבה המימית העוברים מתפתחים בביצה בעלת קליפה רכה וחילוף הגזים והפרשת חומרי הפסולת נעשים בדיפוזיה. לעומתם בסביבה היבשתית, הזוחלים והעופות מטילים ביצים המאפשרות לעובר לקיים בתוך הסביבה המימית שבביצה את כל תהליכי חייו ובכלל זה נשימה תאית והפרשת פסולת. הביצים גם מגינות על העובר מפני פגיעה. ביונקים העובר מתפתח בתוך סביבה

מימית ברחם האם שם הוא מוגן וכל צרכיו מסופקים. אמצעים אלה מאפשרים לעוברים של הזוחלים, העופות והיונקים החיים ביבשה להתפתח בסביבה מימית מוגנת, בדומה להתפתחות העוברים של דגים ואורגניזמים אחרים החיים במים.

הרבייה הזוויגית של צמחים חסרי זרעים (אצות, טחבים ושרכים - בהם לא העמקנו בספר זה) תלויה לחלוטין בסביבה מימית שרק בה יכולים תאי הזרע לעבור ולהגיע אל תא הביצה ולהפריה ולכן הם חיים בעיקר בסביבה מימית או לחה. בצמחים בעלי זרעים, ההפריה מתרחשת בסביבה הלחה שבתוך השחלה. אולם בשונה מרוב בעלי החיים התפתחות העובר לצמח אינה רציפה ובמשך הזמן החולף מההפריה ועד לנביטת הזרע, העובר וחומרי התשמורת שבזרע מוגנים מהתייבשות ומפגעי הסביבה עד שייווצרו התנאים הנוחים לנביטה.

ח. הרבה צאצאים או מעט? - אסטרטגיות רבייה

כאשר פרט מתרבה ומעמיד צאצאים הדבר משפיע לא רק על ההמשכיות שלו אלא גם על האוכלוסייה כולה. להזכירם, אוכלוסייה היא קבוצת פרטים ממין אחד (species) החיים ביחד באזור מסוים.

לכאורה סביר לחשוב שמספר צאצאים גדול הוא יתרון למין ולאוכלוסייה. בעיקר נכון הדבר בתנאים שבהם הצאצאים שורדים גם הם ומתרבים ותורמים להמשך גידול האוכלוסייה. אולם מהתבוננות במתרחש בטבע מסתבר שגם בתנאים מיטביים (אופטימליים) לא כל הצאצאים שורדים. חוקרים שבחנו את הקשרים האפשריים בין מספר הצאצאים לבין ההשקעה ביצירתם ובגידולם מצאו שלרוב יש יחס הפוך בין מספר הצאצאים לבין ההשקעה של ההורים בגידולם. החוקרים תיארו שתי **אסטרטגיות רבייה** שונות זו מזו מבחינת הקצאת המשאבים:

- **אסטרטגיה א':** צאצאים רבים והשקעה קטנה ביצירתם, בגידולם ובהגנה עליהם. רק אחוז קטן מהצאצאים שורד.
- **אסטרטגיה ב':** מעט צאצאים והשקעה רבה ביצירתם, בטיפול בהם ובהגנה עליהם. אחוז גדול מהצאצאים שורד.

על מושגים

אסטרטגיה

המושג אסטרטגיה לקוח מעולם המושגים של בני האדם: "צירוף פעולות לשם תכלית מסוימת." עם זאת אין בכך כדי לרמוז שלאורגניזמים חיים יש אפשרות לקבוע מטרות ולפעול לפיהן.

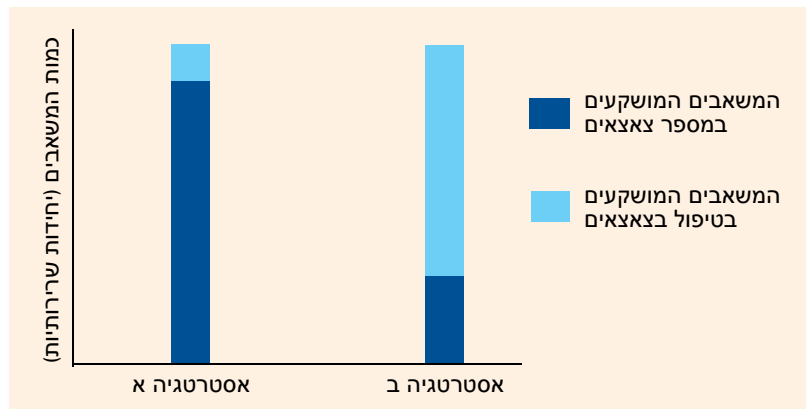
(ההגדרה על פי: אבן-שושן, א. (תשמ"ח) המילון החדש, הוצאת קרית ספר בע"מ, ירושלים).

עוד על

מספר הצאצאים
השורדים יחסית למספר הפרטים בדור ההורים, בפרק ב', עמודים 29-30.

כדי להבין את הקשר בין מספר הצאצאים לבין ההשקעה ביצירתם ובטיפול בהם יש לזכור קודם כל כי בבתי הגידול בטבע כמות המשאבים הנחוצים לגידול ולהתרבות של כל מיני

האורגניזמים היא **גורם מגביל** המשפיע על יכולת הגידול וההישרדות של הפרטים ושל גידול האוכלוסייה. ברוב בתי הגידול האוכלוסיות אינן יכולות לגדול בצורה בלתי מבוקרת עד אין סוף. לכן אין למצוא בטבע מינים שגם מעמידים צאצאים רבים וגם מסוגלים לספק לכולם מזון והגנה לאורך זמן. באותה מידה אין למצוא מינים המעמידים מספר מצומצם של צאצאים אך אינם מספקים להם מזון והגנה. איור ח-1 מציג את הקשר בין מספר הצאצאים לבין ההשקעה בהם.



איור ח-1: הקשר בין ההשקעה ההורית במספר הצאצאים לבין ההשקעה ההורית בטיפול בצאצאים ובגידולם

למרות ההבדל המהותי בין שתי האסטרטגיות, כאשר אין שינויים גדולים בבית הגידול והמערכת האקולוגית נמצאת בשיווי משקל דינמי, התוצאה הסופית דומה: מספר הצאצאים השורדים דומה למספר הפרטים בדור ההורים וגודל האוכלוסייה נשאר יציב.

קשר לנושא

אקולוגיה:
• משאבים בבית הגידול
• שיווי משקל דינמי של מערכת אקולוגית.

שאלה ח-1

- צינו שלושה משאבים של בית הגידול שיכולים להוות גורם מגביל של גודל אוכלוסיית צמחים ושלושה משאבים שיכולים להיות גורם מגביל של גודל אוכלוסיית בעלי חיים.
- בחרו משאב אחד מאלה הדרושים לצמחים ומשאב אחד מאלה הדרושים לבעלי חיים והסבירו כיצד הוא יכול להגביל את שיעור הרבייה.

השקעה בצאצאים

לא במקרה השתמשנו במלה "השקעה" כאשר עסקנו במספר הצאצאים ובגידולם. תהליך הרבייה עצמו צורך הרבה משאבים: דור ההורים משקיע חומרים ואנרגיה ביצירת הצאצאים, אך נוסף על כך נחוצה אנרגיה לחיפוש אחר בן זוג, לתקשורת בין הזוויגים, להשגת מזון לצאצאים ולהגנה עליהם מפני טורפים. היות והמשאבים בכל בית גידול הם מוגבלים - כל הגדלה במספר הצאצאים באה "על חשבון" ההשקעה בטיפול בכל אחד מהם. ולהיפך - מספר קטן של צאצאים מאפשר להשקיע יותר חומרים ואנרגיה בגידולם. בצמחים, שאינם יכולים ל"חפש" באופן פעיל בן זוג לרבייה, יש השקעה רבה במשיכת מאביקים באמצעות

רעיון מרכזי

אבולוציה:

יחסי הגומלין בין צמחים לבין מאביקיהם הם דוגמה לקוֹ-אבולוציה.

פרחים רבים מאוד, פרחים ריחניים וצבעוניים, ב"תגמול" למאביקים בצורת צוף מתוק או שפע של גרגרי אבקה עתירי חלבון, ב"תגמול" למפיצי הפירות באמצעות פירות עסיסיים ומזינים. בנוסף, בצמחים מושקעים חומרים ואנרגיה גם ב"אריזת" העובר יחד עם חומרי תשמורת הנחוצים לנביטתו ולהתבססותו.

נפרט מעט מהידוע לגבי האורגניזמים ואסטרטגיות הרבייה שלהם.

אסטרטגיה א': צאצאים רבים והשקעה מועטה בגידולם

אסטרטגיה א' נפוצה בקרב אורגניזמים שמתרבים בגיל צעיר, עוֹבְרֵיָהֶם מתפתחים מחוץ לגוף האם, יש להם הרבה מאוד צאצאים קטנים וההורים משקיעים אך מעט בגידולם ובהגנה עליהם. באסטרטגיה זו אחוז השורדים מבין הצאצאים הוא קטן מאוד. רבים מהם משמשים מזון לאורגניזמים אחרים או נפגעים מחשיפה לגורמים אֲ-בִיוֹטִיִּים לא מתאימים. דוגמאות לאורגניזמים כאלה: דגים, דו־חיים וצמחים חד־שנתיים. בעלי חיים שניתן לסווג את רבייתם כאסטרטגיה א' נפוצים בבתי גידול מימיים שבהם זרמי המים עלולים לסחוף את הביצים או את הצאצאים הצעירים למקומות שאינם מתאימים לגידולם. בבתי גידול כאלה אין מקומות מסתור והצאצאים חשופים כל העת לטריפה. ביבשה נמצא אורגניזמים כאלה בבתי גידול שבהם חלים שינויים תכופים והחברה בהם עדיין אינה מבוססת (כמו: שדה שננטש לא מכבר, יער שנשרף, בית גידול חדש לחלוטין שנוצר עקב סלילת כביש או הקמת סכר). בבתי גידול כאלה התנאים (הביוטיים והאֲ-בִיוֹטִיִּים) משתנים תכופות ואין בהם תחרות תוך־מינית חזקה. אמנם רבים מהצאצאים לא ישרדו אולם גם ההשקעה בכל צאצא קטנה.

אסטרטגיה ב': מעט צאצאים והשקעה רבה בגידולם

אסטרטגיה ב' אופיינית למינים שבהם הפרטים מתרבים בשלב מאוחר בחייהם. מספר הצאצאים הקטן מאפשר להורים להשקיע בהם משאבים רבים. אסטרטגיה כזו נמצא בבתי גידול מבוססים, למשל יער של עצים גדולים בעלי זרעים גדולים, אצל עופות ואצל היונקים הגדולים ובכללם האדם.

שלא כמו באסטרטגיה א' הפרטים מרכזים משאבים רבים בצאצאים מועטים. אֶבְדָן של צאצאי עופות עקב טריפה, חוסר מזון או שינוי קיצוני בתנאים הסביבתיים הוא מכה קשה להורים שאיבדו בבת אחת השקעה רבה וייתכן שאיבדו עונה שלמה של מאמצי רבייה.



טבלה ח-1: השוואה בין אסטרטגיות הרבייה

התכונה	אסטרטגיה א'	אסטרטגיה ב'
מספר הצאצאים	גדול	קטן
הגיל שבו האורגניזם מתחיל להתרבות	צעיר	מבוגר
גודל הצאצאים הצעירים	קטן	גדול
תלות בהורים	אין	יש, נמשכת זמן רב
גודל האוכלוסייה	בטווח הקצר: תנודות רבות ופחות יציבות	יציב, קרוב לכושר הנשיאה של בית הגידול
משך החיים	קצר	ארוך
שיעור התמותה	משתנה, קשה לחיזוי	יציב וניתן לחיזוי
תנאי הסביבה	תחרות נמוכה על משאבים, בטווח הקצר תנאי סביבה לא יציבים (משתנים לעיתים תכופות)	תחרות חזקה בתוך המין על המשאבים, תנאי סביבה יציבים
דוגמאות	בעלי חיים	ימיים: צדפות, אלמוגים, דגים יבשתיים: חלזונות, צבים
	צמחים	עשבים חד-שנתיים עצים גדולים

תיארנו לעיל שתי אסטרטגיות שונות מאוד זו מזו, אך יש לדעת שבין שני הקצוות יש מצבי ביניים רבים, ולמעשה אפשר למצוא בטבע מגוון גדול של אסטרטגיות היוצרות רצף בין שני המצבים הקיצוניים. מגוון אסטרטגיות רבייה ניתן למצוא גם בין מינים שונים מאותה המחלקה. במחלקת העופות לדוגמה, יש מינים המגדלים **אפרוחים** שההשקעה בטיפול בהם קטנה, ויש מינים המשקיעים רבות **בגוזלים** עד הגיעם לעצמאות (פרק ה', עמודים 94-95). דוגמה נוספת נמצא במחלקת היונקים: יונקים קטנים כמו עכברים מתרבים כמה פעמים בשנה ויש להם מספר גדול של צאצאים שהטיפול בהם נמשך זמן קצר. לעומתם היונקים הגדולים כמו הגמל מתרבים רק פעם בשנה או אפילו פעם אחת בכמה שנים, ולרוב יש להם צאצא יחיד בכל המלטה שהטיפול בו ממושך. עם זאת חשוב לזכור שבתנאים יציבים מספר הפרטים באוכלוסייה, בין אם היא מתרבה באסטרטגיה א' ובין אם באסטרטגיה ב', קבוע פחות או יותר מדור לדור.

שאלה ח-2



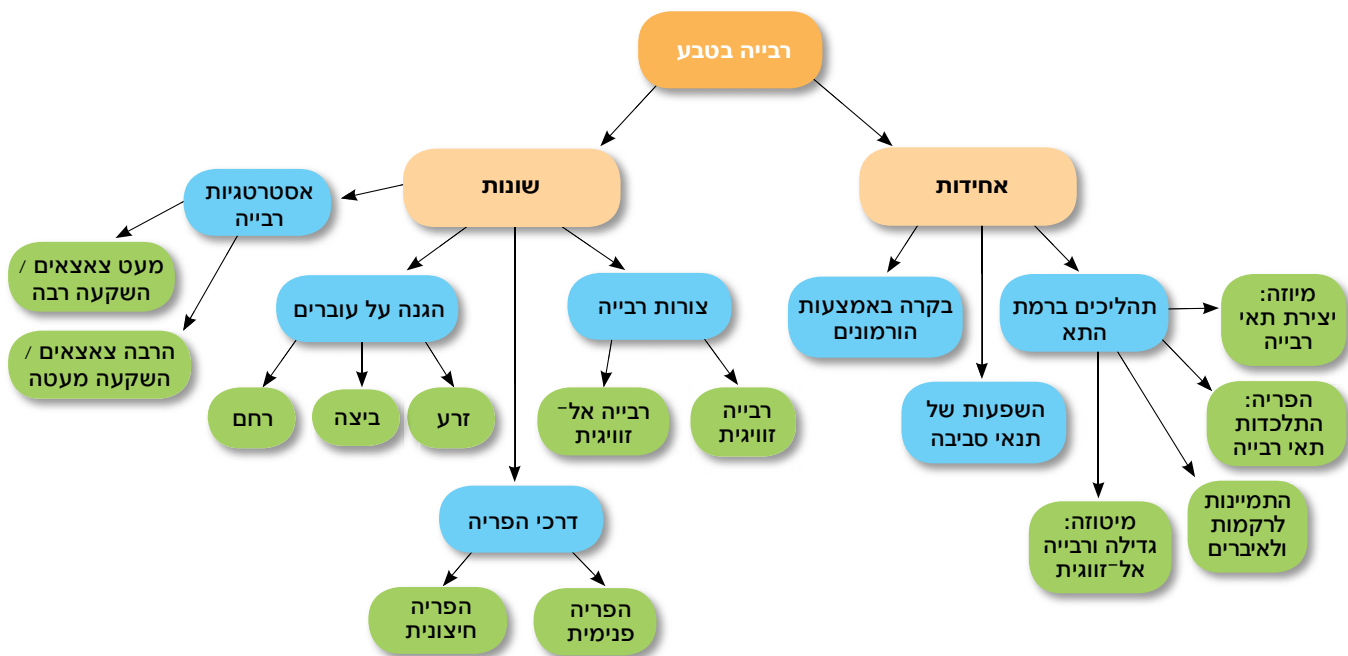
למרות ההבדל המהותי בין שתי האסטרטגיות, כאשר אין שינויים גדולים בתנאי הסביבה התוצאה הסופית דומה: מספר הצאצאים השורדים דומה למספר הפרטים בדור ההורים והאוכלוסייה אינה קטנה ואינה גדלה. הסבירו.

ח3. עקרונות משותפים ברמות ארגון

רעיון מרכזי

אחידות ושוני באים לידי ביטוי בתהליכי רבייה בטבע.

הדיון בנושא **רבייה** בספר נפתח בהצגת התהליכים שבהם ניכרת **האחידות** הרבה שבטבע: הבסיס התאי של תהליך הרבייה האל-זוויגית המבוסס על **מיטוזה** והבסיס התאי של תהליך הרבייה הזוויגית המבוסס על **מיטוזה** (פרק א). אחידות רבה ניכרת גם **בעקרונות המשותפים** של תהליכי הרבייה (פרק ב): ההפריה, ההתמיינות, השפעת גורמי הסביבה והבקרה על מכלול תהליכי הרבייה באמצעות הורמונים. **השונויות** בתהליכי הרבייה בבעלי חיים במים וביבשה ומגוון דרכי הרבייה בצמחים מוצגת בפרקים ה' ו-ו'. ההיבטים העיקריים של האחידות והשונויות בדרכי הרבייה בטבע מוצגים באיור ח-2.



איור ח-2: היבטים עיקריים של אחידות ושונות של תהליכי רבייה בטבע

קשר לנושא

אקולוגיה: רמות ארגון בטבע.

ההפרדה בין הדיון ברביית האדם, בעלי החיים והצמחים עלולה להסתיר את העקרונות המשותפים לרבייה בקבוצות השונות של האורגניזמים. הסיכום שלהלן (טבלה ח-2) מתמקד במשותף לרבייתם של כל האורגניזמים החיים. הוא מתחיל מהעקרונות המשותפים ברמת הארגון של התא, ממשיך ברמת האורגניזם והתאמת דרכי הרבייה לסביבת החיים, ומתקדם אל העקרונות הנוגעים למשמעות הרבייה ברמות הארגון של האוכלוסייה והחברה.



טבלה ח-2: עקרונות ברבייה

רמת הארגון	הנושא	העקרונות המשותפים
תא	מיטוזה	חלוקת גרעין ורבייה אל-זוויגית שבה מתקבלים תאי-בת וצאצאים זהים זה לזה במידע התורשתי שלהם וזהים לתא האם או להורה היחיד שממנו נוצרו.
	מיזוזה, תאי רבייה והפריה	מיזוזה והפריה הן הבסיס התאי לרבייה זוויגית. המיזוזה היא חלוקת גרעין שבעקבותיה מתקבלים תאי-בת הפלואידיים, שונים במטענם התורשתי מתאי המקור. השותפים לרבייה זוויגית הם תאים משני טיפוסים: תא רבייה זכרי בעל כושר תנועה עצמאית ותא רבייה נקבי חסר כושר תנועה עצמאית. בהפריה מתלכדים שני גרעינים הפלואידיים שנוצרו במיזוזה, ונוצר גרעין דיפלואידי בעל מטען תורשתי ייחודי.
אורגניזם	צורת הרבייה	ברבייה אל-זוויגית מתקבלים צאצאים זהים זה לזה וזהים להורה שממנו נוצרו. לרבייה אל-זוויגית יש יתרון בתנאי סביבה יציבים. ברבייה זוויגית הצאצאים דומים להוריהם אך אינם זהים להם ואינם זהים זה לזה. לרבייה זוויגית יש יתרון בתנאי סביבה משתנים שכן היא מגדילה את הסיכוי שמקצת הצאצאים ישרדו גם אם תנאי הסביבה ישתנו (ברירה טבעית).
	עיתוי הרבייה במחזור חיים	השלב בחייהם של האורגניזמים שבו הם מתרבים נקבע באופן תורשתי: אורגניזמים שחיים זמן קצר מתרבים בגיל צעיר ואילו אורגניזמים מאריכי חיים מתרבים בשלב מאוחר יותר בחייהם. בצמחים יש אפשרות להתפתחות רצופה הנמשכת לאורך שנים רבות באמצעות המריסטמות שלתאיהן יש יכולת להתחלק, להתמייין ולהתפתח לאיברים.
	עונתיות הרבייה	הרבייה מתרחשת לרוב בעונה שבה תנאי הסביבה מתאימים לגידול הצאצאים והסיכויים להישרדותם גבוהים. עיתוי הרבייה מושפע מאותות בסביבה כמו אור, טמפרטורה וזמינות משאבים (מזון) והוא מווסת באמצעות הורמונים.
	איברי רבייה	באורגניזמים פשוטים לא תמיד נמצא איברים מוגדרים המיועדים לרבייה. באורגניזמים מפותחים יש איברים מיוחדים המותאמים לתפקודם כאיברי רבייה: איברים שבהם נוצרים תאי הרבייה, איברים שבהם מובלים תאי הרבייה ופתח שדרכו יוצאים תאי הרבייה או הצאצאים לסביבה החיצונית. באורגניזמים שהפרייתם פנימית, יש איברים מיוחדים להעברת תאי הזרע מהזכר לנקבה ולהפגשת התאי הרבייה. ברוב בעלי החיים מבחינים בין פרטים שהם זכרים לבין פרטים שהם נקבות ובהתאמה - בין איברי רבייה נקביים לבין איברי רבייה זכריים. ברוב הצמחים ובכמה בעלי חיים פשוטים איברי הרבייה הזכריים והנקביים נמצאים באותו פרט.
	סביבת רבייה ודרך הפריה	המפגש בין תאי הרבייה ברבייה זוויגית יכול להתקיים רק בסביבה מימית או לחה. כאשר בית הגידול עצמו הוא מימי, ההפריה יכולה להיות חיצונית, אך באורגניזמים החיים ביבשה ההפריה היא פנימית, ויש להם איברים ומנגנונים המותאמים להגנה על תאי הרבייה ועל אתר המפגש ביניהם מפני התייבשות. דו-חיים חוזרים לרבייתם לסביבה מימית ההפריה היא חיצונית למרות שבחייהם הבוגרים הם חיים ביבשה.
	מזיגוטה לאורגניזם רב-תאי	מהזיגוטה מתפתח העובר שהוא ראשיתו של האורגניזם העצמאי. בסביבה מימית העובר מתפתח מחוץ לגוף האם ולעתים הוא מוגן בביצה. באורגניזמים החיים ביבשה העובר מוגן מפני טורפים ומפני התייבשות באמצעות מעטפות כמו: קליפות הזרע והפרי, הביצה או רחם האם. החומרים בזרע ובביצה משמשים מקור מזון לעובר. ביונקים העובר מתפתח בתוך גוף האם וממנה הוא מקבל את מזונו. יש בעלי חיים, כגון דגים וזוחלים, המשריצים צאצאים חיים שהתפתחו בביצים בתוך גוף האם. התפתחות העובר מלווה בהתמיינות של התאים לרקמות בעלות מבנה ותפקוד מוגדרים.
	מצעיר לבוגר	המעבר מאורגניזם צעיר לבוגר יכול להיות רצוף והאורגניזם הקטן גדל ומתפתח בהדרגה לאורגניזם בוגר. בצמחים המעבר מעובר לצמח אינו רציף, ומשך הזמן עד לנביטה יכול להימשך זמן רב. התפתחות לא רצופה מצעיר לבוגר קיימת בבעלי חיים שבהם יש גלגול (חסר או מלא).

העקרונות המשותפים	הנושא	רמת הארגון
רבייה היא הדרך להמשך קיומה של האוכלוסייה ולהגדלתה. אוכלוסייה שבה שיעור הרבייה נמוך משיעור התמותה עלולה להיכחד.	משמעות הרבייה	אוכלוסייה
היחס בין מספר הצאצאים לבין ההשקעה בהם הוא לרוב יחס הפוך: כאשר מספר הצאצאים גדול מאוד ההשקעה בהם קטנה ואחוז השורדים קטן. כאשר מספר הצאצאים קטן ההשקעה בהזנתם ובהגנה עליהם רבה וסיכוייהם לשרוד גבוהים. בין שתי האסטרטגיות הקיצוניות הללו יש בטבע מצבי ביניים רבים.	השקעה ברבייה (אסטרטגית רבייה)	אוכלוסייה
יש מיני אורגניזמים המשתפים פעולה עם אורגניזמים ממינים אחרים בעונת הרבייה, למשל: צמחים ובעלי חיים המאביקים אותם או המפיצים את הפירות ואת הזרעים שלהם. דרכי שיתוף הפעולה הללו מתבטאים בקו־אבולוציה של מבנים ותהליכים.	יחסי גומלין ברבייה	חברה
החקלאים מתערבים בתהליכי הרבייה של צמחים ושל בעלי חיים כדי לספק מזון משובח לבני האדם ולהגדיל את כמותו, תוך יישום עקרונות הרבייה הזוויגית והאל־זוויגית. הרבייה הזוויגית היא הבסיס לברירה מלאכותית הנעשית בתהליך ביות וטיפול של זנים חדשים בחקלאות. מטרות ההתערבות ברבייה של בני אדם הן לאפשר המשכיות דורית בין הורים וצאצאיהם ולמנוע הולדת ילדים פגועים.	התערבות האדם	

עיקרי הנושאים בפרק



- התפתחות איברי רבייה ותהליכי רבייה במהלך האבולוציה התקדמה בכמה קווים במקביל למעבר מחיים במים לחיים ביבשה: מהפריה חיצונית להפריה פנימית, מצאצאים (עוברים) לא מוגנים לעוברים מוגנים היטב, מאי־טיפול בצאצאים לטיפול מתמשך בצאצאים.
- בטבע מבחינים בשתי אסטרטגיות רבייה שונות מהותית זו מזו מבחינת מספר הצאצאים וההשקעה בגידולם. אסטרטגיה א': צאצאים רבים והשקעה מועטה בגידולם ואסטרטגיה ב': צאצאים מעטים והשקעה רבה בגידולם.
- למרות ההבדל המהותי בין שתי האסטרטגיות, כאשר אין שינויים גדולים בתנאי הסביבה, התוצאה הסופית דומה: מספר הצאצאים השורדים דומה למספר הפרטים בדור ההורים וגודל האוכלוסייה נשאר יציב.
- בטבע קיים מגוון גדול של אסטרטגיות היוצרות מעין רצף בין שתי האסטרטגיות הקיצוניות.
- יש הרבה מן המשותף לרבייתם של כל האורגניזמים החיים, הוא מתחיל בעקרונות המשותפים ברמת הארגון של התא ומתקדם אל העקרונות הנוגעים למשמעות הרבייה ברמות הארגון של האוכלוסייה והחברה.

מושגים חשובים בפרק



השקעה בגידול צאצאים
משאבים
רמות ארגון

אבולוציה
אסטרטגיות רבייה
גורם מגביל

מילון מונחים

מונחים המודגשים בתוך ההגדרות מופיעים גם הם במילון המונחים.
מונחים לועזיים נמצאים בסוף המילון.
מונחים כלליים - מסומנים בשחור.
מונחים ייחודיים לצמחים - מסומנים בירוק.
מונחים ייחודיים לבעלי חיים - מסומנים באדום.

אבולוציה (evolution) - תהליך הדרגתי של השתנות של מינים. שינויים תורשתיים המצטברים במהלך הדורות ועשויים להביא להתפתחותם של מינים חדשים ממינים שקדמו להם (ראו גם: ברירה טבעית).

אבקן (stamen) - איבר הרבייה הזכרי בצמחים, כולל את הזיר שבראשו נישא המאבק ואשר בו נוצרים גרגרי האבקה.

אוקסיטוצין (oxytocin) - הורמון המופרש בנקבות של יונקים, גורם להתכווצות שרירי הרחם בזמן הלידה ולשחרור חלב. אוקסיטוצין נוצר בהיפותלמוס ומופרש מההיפופיזה.

אוקסין (auxin) - הורמון צמחי המווסת גדילה של תאים ומשתתף בבקרה של שינויים בגידולו של הצמח.

אמניון (amnion) - ראו: שפיר.

אנדוספרם (endosperm) - רקמה בזרעים של חלק מהצמחים מכוסי הזרע. הרקמה עוטפת את העובר ומשמשת מאגר חומרי תשמורת. ברוב המקרים האנדוספרם נוצר בעקבות הפריה על ידי התלכדות של תא רבייה זכרי עם שני גרעינים הפלואידיים בביצית.

אסטרוגנים (oestrogens) - קבוצת הורמונים הנוצרת בזכרים ובנקבות של יונקים. בשני המינים הורמונים אלו משפיעים על הופעת סימני הזוויג המשניים, ובנקבות על הביוץ והתפתחות רירית הרחם.

אסטרטגית רבייה (reproductive effort / strategy) - ביטוי לדרך הרבייה באמצעות היחס בין מספר הצאצאים לבין מידת ההשקעה ההורית ביצירתם ובטיפול בהם. כאשר מספר הצאצאים רב - ההשקעה בטיפול בהם קטנה ולהיפך.

אקרוזום (acrosome) - שלפוחית בקדמת ראש תא הזרע בבעלי חיים. מכילה אנזימים המאפשרים לתא הזרע לחדור דרך עטיפות תא הביצה.

אשך (testis) - איבר רבייה זכרי בבעלי חיים שבו נוצרים תאי זרע. בחולייתנים נוצרים בו גם הורמוני רבייה. לרוב בעלי החיים יש זוג אשכים.

אתילן (ethylene) - **הורמון** צמחי גזי, פעיל בתהליכים רבים, כגון: הבשלת פירות, פריחה, הזדקנות ונשירה של עלים ופירות.

בגרות מינית (sexual maturity) - הגיל או השלב בחיי האורגניזם שבו הוא מסוגל להתרבות **ברבייה זוויגית**. הבגרות המינית מתבטאת בהתפתחותם של איברי הרבייה ובייצורם של **תאי רבייה** (גמטות).

ביוץ (ovulation) - שחרור או חריגה של **תא הביצה** מהשחלה.

ביצה (egg) - מבנה המתפתח במיני בעלי חיים, בדרך כלל בעקבות **הפריה**, ובה מתפתח **העובר** לאחר הטלתה לסביבה החיצונית. הביצה עטופה בקליפות ומכילה כמות גדולה של מים וחומרי מזון המשמשים את העובר. במקרים מעטים הביצים מתפתחות בתוך גוף האם (ראו גם: **השרצה**).

ביצית (ovule) - בצמחים מבנה **בשחלה** שבו חלה חלוקת **מיוזה** שבעקבותיה נוצר **תא הביצה** (גמטה).

ביצית (oocyte) - ראו: **תא ביצה**.

בעלי זרע, צמחים (seed plants) - צמחים שהעוברים שלהם מוגנים במבנה בעל קליפות - **הזרע**.

בעלי שליה (placental mammals) - יונקים שעוברים מתפתחים **ברחם**, ובאמצעות **שליה** הם מקבלים מהאם מזון וחמצן ומסלקים מגופם CO_2 וחומרי פסולת.

בעלי שפיר (amniota) - מחלקות חולייתנים (זוחלים, עופות ויונקים) שבהן העוברים מתפתחים בתוך סביבה מימית - **נוזל השפיר**.

בצל (bulb) - חלק תת־קרקעי בבסיס הנצר של גיאופיט. בנוי מבסיסיהם הבשרניים של עלים הגדלים בצפיפות סביב בסיס הגבעול.

בִּרְיָה טבעית (natural selection) - תהליך הקובע את התרומה היחסית של פרטים שונים באוכלוסייה לדור הבא. פרטים מותאמים יותר מאחרים לתנאי הסביבה מעמידים יותר צאצאים פוריים ששורדים. כתוצאה מכך עולה באוכלוסייה שכיחות בעלי התכונות התורשתיות המותאמות לסביבה.

גונדוטרופינים (gonadotrophin) - קבוצת **הורמונים** המעוררים את פעילות **השחלות** והאשכים. הפרשת הגונדוטרופינים מבוקרת על ידי **ההיפותלמוס** (ראו גם: GnRH).

גופיף צהוב (corpus luteum) - מבנה **בשחלה** של **יונקים** המתפתח מהזקיף אחרי **הביוץ** ומפריש **פרוגסטרון**. אם לא חלה **הפריה**, הגופיף הצהוב מתנוון. אם חלה **הפריה**, הגופיף הצהוב ממשיך להתקיים ולפעול בתחילת ההיריון.

גיברלין (gibberelin) - **הורמון** המווסת התארכות פרקים בגבעול, פריחה ופירוק חומרי תשמורת במהלך נביטת הזרעים.

גמטה (gamete) - ראו: **תא רבייה**.

גן (gene) - יחידה בסיסית של תורשה הנושאת מידע מדור לדור. קטע ב-DNA הקשור לביטוי תכונה מסוימת.

גרגר אבקה (pollen grain) - מבנה בצמחים שבאמצעותו מועברים התאים שמהם יתפתחו תאי הרבייה הזכריים אל הצלקת שבראש עמוד העלי.

דו־זוויגי, פרח - ראו: **פרח**.

דו־חיים (amphibian) - מחלקה של חולייתנים החיים ביבשה כבוגרים, אך הטלת הביצים והתפתחות העוברים והצאצאים הצעירים נעשית בבית גידול מימי.

דיפלואיד (diploid) - גרעין, תא או אורגניזם המכיל שני עותקים של כל כרומוזום (חוץ מכרומוזום הזוויגי). מקובל לסמן את מספר הכרומוזומים הדיפלואידי ב- $2n$ (ראו גם: הפלואיד).

האבקה (pollination) - העברה של גרגרי אבקה (באמצעות רוח, בעלי חיים, מים) מהאבקנים של הפרח אל הצלקת שבראש העלי.

האבקה זרה - האבקה המתרחשת בין פרטים שונים.

האבקה עצמית - האבקה המתרחשת באותו פרט.

האבקה מלאכותית - העברת גרגרי אבקה מפרח זכרי לפרח נקבי על ידי האדם.

הבחלה (after ripening) - טיפול באמצעים מלאכותיים שמטרתו לגרום להבשלה של פרי שנקטף בטרם הבשיל. לדוגמה: טיפול בגז אתילן.

הורמון (hormone) - חומר המעביר מידע בין תאים בצמחים ובבעלי חיים. משפיע על תהליכים בתאי מטרה שיש להם קולטנים מתאימים.

הזרעה מלאכותית (artificial insemination) - העברת תאי זרע בידי האדם לרחם הנקבה.

הטלה (egg laying) - יציאת הביצה מגוף האם. לאחר ההטלה העובר ממשיך את התפתחותו מחוץ לגוף האם.

היפופיזה (בלוטת יותרת המוח) (hypophysis) - בלוטה במוח של חולייתנים. נמצאת במוח מתחת להיפותלמוס ומפרישה הורמונים שונים ובכללם הורמונים הקשורים לרבייה.

היפותלמוס (hypothalamus) - אזור במוח החולייתנים השוכן מעל בלוטת ההיפופיזה, מווסת את מערכת ההפרשה הפנימית באמצעות ויסות ההפרשה של הורמונים מההיפופיזה.

המלטה (giving birth) - יציאת ולדות של יונקים מגוף האם. בדרך כלל הוולדות אינם עצמאיים לחלוטין וזקוקים להמשך הזנה, טיפול והשגחה של ההורים (ראו גם: השרצה).

הנצה (budding) - דרך של רבייה אל-זוויגית בצמחים ובבעלי חיים מסוימים. פרטים חדשים גדלים על גבי פרט האם, ניתקים ממנו וממשיכים את חייהם בנפרד.

הפלואיד (haploid) - גרעין או תא שיש בו עותק יחיד של כל כרומוזום. **תאי רבייה** הם תאים הפלואידיים. מקובל לסמן את מספר הכרומוזומים ההפלואידי ב־n (ראו גם: **דיפלואיד**).

הפריה (fertilization) - התלכדות של שני **תאי רבייה** (הפלואידיים) ויצירת תא **דיפלואידי** - **זיגוטה**. מתקיימת תמיד בסביבה מימית או לחה. כשהיא מתרחשת מחוץ לגוף האורגניזם היא נקראת **הפריה חיצונית**. כשהיא מתרחשת בתוך גוף האורגניזם היא נקראת **הפריה פנימית**.

הפריה חוץ-גופית (IVF - In Vitro Fertilization) - הפריה של **תא ביצה** על ידי **תא זרע** הנעשית מחוץ לגוף האם באופן מלאכותי. **הזיגוטה** שנוצרת עוברת כמה חלוקות, והעובר שנוצר מועבר ל**רחם**, שם נשלמת התפתחותו.

הפריה כפולה (double fertilization) - תהליך ייחודי לצמחים בעלי פרחים. התלכדות של שני **תאי רבייה** זכריים עם גרעינים **בביצית** שבשחלה: גרעין זכרי אחד מתלכד עם גרעין **תא הביצה** ליצירת **זיגוטה**, והגרעין הזכרי השני מתלכד עם שני גרעינים נקביים ליצירת **האנדוספרם**.

הרכבה (grafting) - איחוי שנעשה על ידי האדם בין שני צמחים שונים, המביא לקבלת צמח שלם. לצמח שנוצר יש מערכת שורשים מותאמת לקרקע ועמידה בפני מחלות שמקורה באחד מהצמחים, ונצר (עלים ופרחים) בעלי תכונות רצויות שמקורו בצמח השני.

השריית ייחום (oestrus induction) - יצירה מלאכותית של **מחזור ייחום** באמצעות **הורמונים** במטרה להקדים את הבשלת **הזקינים** וה**ביץ**.

השרצה (livebearing) - בקיעה של ולדות עצמאיים שהתפתחו בביצים בתוך גוף האם. קיימת אצל כרישים ומיני זוחלים (ראו גם: **המלטה**).

התמיינות (דיפרנציאציה) (differentiation) - תהליך שבו תאים רוכשים צורה, מבנה ותפקוד ייחודיים. תהליך זה מאפיין את שלב ההתפתחות העוברית.

וסת - ראו: **מחזור וסת**.

זוויג (sex) - מכלול התכונות המבדילות בין זכר לבין נקבה.

זיגוטה (zygote) - תא **דיפלואידי** שנוצר בעקבות **הפריה**. מתא זה נוצרים בעקבות חלוקות **מיטוזה** כל התאים המרכיבים את האורגניזם הרב־תאי.

זיר - ראו: **אבקן**.



זקיק (follicle) - מבנה בשחלה של נקבות בעלי חיים המורכב מתא ביצה המוקף שכבה אחת או יותר של תאים. לאחר חריגת תא הביצה בתהליך הביוץ הזקיק הופך להיות גופיף צהוב.

זרע (seed) - מבנה בצמחים הכולל עובר, רקמת הזנה ומעטפות זרע.

חד-שנתי, צמח (annual) - צמח שחי עונה אחת או שנה אחת בלבד ועובר את שני השלבים העיקריים במחזור החיים (שלב הצמיחה ושלב ההתרבות) רק פעם אחת ומת מיד לאחר שלב ההתרבות (ראו גם: רב-שנתי, צמח).

חד-תאי, אורגניזם (unicellular organism) - אורגניזם שכל גופו הוא תא אחד, לדוגמה: אמבה (ראו גם: רב-תאי, אורגניזם).

חולייתנים (בעלי-חוליות) (vertebrates) - קבוצה של בעלי חיים שיש להם שלד פנימי עשוי עצמות או סחוס (כוללת את המחלקות: דגים, דו-חיים, זוחלים, עופות ויונקים).

חומר תורשתי - ראו: DNA.

חלוקת הפחתה - ראו: מיזזה.

חלוקת תא - ראו: מיטוזה.

חלמון (yolk) - מלאי מזון המצוי בביצה של מרבית בעלי החיים. מורכב בעיקר מחלבון ושומן, ומשמש להזנת העובר.

חנטה (fruit set) - שלב בחיי הצמח שבו בעקבות הפריה מתחילה התפתחות השחלה לפרי.

חסרי שליה, יונקים (monotremes) - קבוצה קטנה של יונקים באוסטרליה שעוברים מתפתחים בביצה שמוטלת לסביבה החיצונית.

חצוצרה (infundibulum) - ראו: צינור מוביל תאי ביצה.

טסטוסטרון (testosterone) - הורמון רבייה זכרי, נוצר באשך. משפיע על הופעת סימני זוויג משניים ועל ייצור תאי זרע.

יונקי כיס (marsupials) - קבוצה השייכת למחלקת היונקים שיש להם שליה בעלת מבנה פשוט. העוברים שוהים זמן קצר ברחם, ולאחר הלידה הם משלימים את ההתפתחות העוברית שלהם בקפל עור דמוי כיס על בטן האם תוך יניקה מתמדת מהאם (ראו גם: חסרי שליה, יונקים).

יונקים (mammalia) - קבוצת חולייתנים המאופיינים בשתי תכונות המבדילות אותם משאר החולייתנים: שיער המכסה את הגוף ובלוטות חלב שבאמצעותן האם מזינה את צאצאיה הצעירים.

ייחום (oestrous) - תקופה (או תקופות) במהלך עונת הרבייה שבה נקבות יונקים (חוץ מהאדם ומיני קופים מסוימים) מוכנות להזדווג (ראו גם: מחזור וסת, מחזור ייחום).

ייחור (cutting) - קטע של צמח (ענף, עלה, שורש) שבתנאים מתאימים יכול להתפתח לצמח חדש על כל מרכיביו. הייחורים משמשים את החקלאים כשיטה לרבייה אל-זוויגית.

כוריון (chorion) - שק העובר החיצוני בחולייתנים. ביונקים בעלי שליה הכוריון מהווה חלק מהשליה.

כרומוזום (chromosome) - מבנה בגרעין התא המורכב מ-DNA וחלבונים. בגרעין שאינו בתהליך חלוקה הכרומוזומים פרושים כחוטים דקים. לקראת חלוקת התא הם מתארגנים במבנים דחוסים ואפשר להבחין בהם במיקרוסקופ אור. לכל מין בטבע יש מספר כרומוזומים אופייני.

כרומוזומים הומולוגיים (homologous chromosomes) - זוג כרומוזומים התואמים זה את זה באורך, במיקום הצנטרומר ובסוג המידע התורשתי המצוי בהם. נמצאים בתאים דיפלואידיים. בכל זוג של כרומוזומים הומולוגיים אחד מוצאו מהאב, והאחר - מהאם.

מאבק - ראו: אבקן.

מוטציה (mutation) - שינוי ברצף הבסיסים ב-DNA.

מחזור וסת (menstrual cycle) - מחזור חודשי בנקבות של בני אדם ושל כמה מיני קופים המבוקר על ידי הורמונים. במהלך מחזור הווסת רירית הרחם מתעבה כהכנה לקליטת תא הביצה המופרה. אם לא חלה הפריה, מופרשת רירית הרחם יחד עם תא הביצה הבלתי מופרה, זהו דימום הווסת (ראו גם: מחזור ייחום).

מחזור ייחום (oestrous cycle) - תופעה מחזורית בנקבות של יונקים (חוץ מהאדם ומינים מסוימים של קופים). מחזור הייחום מבוקר על ידי הורמונים, והוא כולל ייחום, הבשלת זקיקים וביוץ (ראו גם: מחזור וסת).

מידע תורשתי - ראו: DNA.

מיזוזה (חלוקת הפחתה) (meiosis) - תהליך המקדים את יצירת תאי הרבייה (גמטות). התהליך כולל שתי חלוקות עוקבות של גרעין דיפלואידי ובסיומו מתקבלים ארבעה גרעינים הפלואידיים. מיזוזה היא שלב ייחודי והכרחי ברבייה זוויגית.

מיטוזה (mitosis) - חלוקת גרעין שבסיומה מתקבלים מגרעין אחד שני גרעינים שמערכת הכרומוזומים שבכל אחד מהם זהה לזו שבאחר, וזהה גם לזו שהייתה בגרעין המוצא. מיטוזה מלווה בדרך כלל בחלוקת התא.

מין (species) - יחידת מיון: קבוצת פרטים המתרבים בטבע בינם לבין עצמם ומעמידים צאצאים פוריים.

מכּוּסֵי זרע, צמחים (angiospermae) - צמחים בעלי פרחים שהביציות שלהם נמצאות בשחלה. לאחר ההאבקה וההפריה השחלה מתפתחת לפרי שבו נמצאים הזרעים.



מנת קור (vernalization) - שהייה בטמפרטורה נמוכה למשך זמן מינימלי. נדרשת בצמחים מסוימים להשראת כושר פריחה או לזירוז פריחה.

מריסטמה (meristem) - רקמה של תאים לא ממוינים שתאיה מתחלקים ומייצרים תאי בת, אך שומרים על כושר ההתחלקות שלהם. נמצאת למשל בניצנים ובקצוות הנצר והשורשים של הצמח. (ראו גם: **קדקוד צמיחה, קמביום**).

משוב (feedback) - מנגנון נפוץ בתהליכים ביולוגיים רבים שבהם תוצר או תוצאה של תהליך משפיע על עצמת התהליך: **במשוב שלילי** תוצר התהליך מעכב את התהליך, וב**משוב חיובי** תוצר התהליך מזרז או מגביר את התהליך.

נביטה (germination) - התחלת גדילה ופעילות מטבולית של עובר בזרע, המביאה לפריצתו מתוך קליפות הזרע. לנביטה קודמת קליטה של מים.

נוזל השפיר - ראו: **שפיר**.

נחשון (pollen tube) - שלוחה ארוכה, המתפתחת כאשר **גרגר אבקה** נובט על גבי **הצללקת** וצומח בתוך עמוד העלי עד **השחלה**. באמצעות הנחשון מגיעים תאי הרבייה הזכריים אל הביצית.

נרתיק (vagina) - מבנה במערכת הרבייה הנקבית של חלק מבעלי החיים. מחבר בין **הרחם** לבין הפתח החיצוני של מערכת הרבייה.

סימני זוויג משניים (secondary sexual characteristics) - תכונות חיצוניות (כמו: מבנה השרירים והעצמות, שערות), האופייניות לזכרים או לנקבות. מעידות על **בגרות מינית**, אך אינן קשורות ישירות לתהליך הרבייה.

עובר (embryo) - צאצא צעיר המתפתח בדרך כלל **מזיגוטה** בסדרה של חלוקות **מיטוזה**. בצמחים העובר מתפתח ונמצא **בזרע**, בבעלי חיים העובר מתפתח **בביצה** או בתוך גוף האם.

עלי (pistil) - איבר הרבייה הנקבי של הצמח. מורכב **משחלה וצללקת** ובדרך כלל גם עמוד המחבר ביניהם (עמוד העלי).

ערמונית, בלוטה (prostate gland) - בלוטת עזר במערכת הרבייה הזכרית של האדם המשתתפת ביצירת נוזל הזרע.

פוטופריודיזם (photoperiodicity) - תגובות התפתחותיות של צמחים ובעלי חיים למחזוריות היומית של אור וחושך (ראו גם: **צמחי יום ארוך, צמחי יום קצר**).

פונדקאות (surrogate motherhood) - היריון בנקבה שאינה אמו הביולוגית של העובר שהיא נושאת ברחמה. העובר נוצר **בהפריה חוץ-גופית**.

פיטוכרום (phytochrome) - פיגמנט (צבען) בצמחים המעורב בתהליכים כמו **נביטה** ופריחה שבהם אור מהווה אות סביבתי.

פסיג (cotyledon) - עלה ראשוני שהוא חלק מעובר הצמח בזרע. במינים מסוימים נאגרים בו חומרי תשמורת שימשו את העובר במהלך הנביטה. צורת הפסיגים שונה בדרך כלל מצורתם הרגילה של העלים. יש צמחים חד-פסיגיים ויש דו-פסיגיים ורב-פסיגיים.

פקעת (corm) - חלק תת-קרקעי של הנצר הכולל פרק אחד או פרקים אחדים של הגבעול שהתעבו. נושא שורשים וניצני התחדשות.

פרוגסטרון (progesterone) - **הורמון** המופרש מהגופיף הצהוב בשחלה של יונק ובהשפעתו הרחם עובר הכנה לקליטת עובר ולהיריון. בהמשך ההיריון עיקר הפרשת הפרוגסטרון נעשית מהשליה.

פרולקטין (prolactin) - **הורמון** המופרש מההיפופיזה ומזרז הפרשת חלב מבלוטות החלב ביונקים.

פרומון (pheromone) - חומרים ייחודיים למין ביולוגי, המשמשים לתקשורת בין פרטים מאותו מין: הם מופרשים לסביבה על ידי אחד מהפרטים, נקלטים על ידי פרטים אחרים ומעוררים בהם תגובה.

פרח (flower) - מבנה בצמחים בעלי זרע המכיל את איברי הרבייה. במכּוּסֵי זרע הפרח בנוי מעלי גביע, עלי כותרת, אבקנים ו/או עלי.

פרח דו־זוויגי (dioecious) - פרח שיש בו גם איברי רבייה זכריים (אבקנים) וגם איברי רבייה נקביים (עלי).

פרח חד־זוויגי (monoecious) - פרח שיש בו איברי רבייה זכריים (אבקנים) או איברי רבייה נקביים (עלי).

פרי (fruit) - האיבר המתפתח מהשחלה (ולפעמים גם מחלקים נוספים) של הפרח, בדרך כלל לאחר הפריה, משמש בית קיבול לזרעים ומסייע בהפצתם.

פרתנוגנזה - ראו: רביית בתולים.

פרתנוקרפיה (parthenocarpy) - תהליך של היווצרות פרי ללא הפריה. הפרי שנוצר הוא חסר זרעים מאחר שלא התקיימה הפריה.

צינור מוביל תאי ביצה (oviduct) - חלק ממערכת הרבייה הנקבית. מבנה דמוי צינור המוביל תאי ביצה מהשחלה אל הרחם או מוביל ביצים אל הסביבה החיצונית. באדם הוא נקרא גם בשם **חצוצרה** בשל צורתו דמוית המשפך בקצה הקרוב לשחלה. בבעלי חיים שאצלם יש הפריה פנימית - היא מתקיימת בצינור הזה.

צינור מוביל הזרע (צינור הזרע) (spermiduct) - חלק ממערכת הרבייה הזכרית. צינור שבו עוברים תאי הזרע מהאשכים אל הסביבה החיצונית (דרך פתח מין חיצוני או דרך השופכה).



צלקת (stigma) - חלק ממערכת הרבייה הנקבית בצמחים בעלי פרחים. החלק העליון של העלי שאליו מגיעים גרגרי האבקה ועליו הם "נובטים".

צמחון (plantlet) - צמח זעיר שמתפתח בתרבית רקמה.

צמחי יום ארוך (long day plants) - צמחים שפורחים רק כאשר מספר שעות החושך הרצופות קטן מערך סף מסוים.

צמחי יום קצר (short day plants) - צמחים שפורחים רק כאשר מספר שעות החושך הרצופות גדול מערך סף מסוים.

קדקוד צמיחה (apical meristem) - איזור של מריסטמה בקצה השורש, בקצות הגבעולים ובחיקי עלים וענפים.

קמביום (cambium) - רקמה מריסטמטית בהיקף של גבעולים ושורשים שתאיה מתחלקים ויוצרים את תאי מערכת ההובלה בצמח. פעילות הקמביום מביאה להתעבות של גבעולים וגזעים (ראו גם: מריסטמה).

קרום השפיר - ראו: שפיר.

ראשן (tadpole) - השלב הראשון בתהליך ההתפתחות (הגלגול) של דו־חיים. הראשן חי במים ומבנהו מותאם לתפקוד בבית־גידול מימי.

רבייה אל־זוויגית (רבייה אל־מינית) (asexual reproduction) - היווצרות אורגניזם חדש מהורה יחיד ללא יצירת תאי רבייה (גמטות). ההרכב התורשתי של הצאצאים (ברבייה אל־זוויגית זהה לזה של ההורה (ראו גם: רבייה זוויגית).

רבייה זוויגית (רבייה מינית) (sexual reproduction) - היווצרות אורגניזם חדש בעקבות יצירת גמטות והתלכדות שתי גמטות שונות בתהליך ההפריה. צאצאי הרבייה הזוויגית שונים בדרך כלל בהרכבם התורשתי זה מזה ומהוריהם (ראו גם: רבייה אל־זוויגית).

רביית בתולים (פרתנוגנזה) (parthenogenesis) - רבייה אל־זוויגית שבה מתפתח צאצא מתא ביצה לא מופרה. קיימת במינים מסוימים של בעלי חיים וצמחים.

רב־שנתי, צמח (perennial) - צמח החי יותר משנה אחת ומתרבה יותר מפעם אחת במהלך חייו (ראו גם: חד־שנתי, צמח).

רב־תאי, אורגניזם (multicellular organism) - אורגניזם שגופו בנוי מתאים אוקריוטיים רבים המאורגנים ברקמות ובאיברים (ראו גם: חד־תאי, אורגניזם).

רחם (uterus) - איבר במערכת הרבייה הנקבית של יונקים שבו מתפתחים העוברים. **רירת הרחם** (endometrium) - הציפוי הפנימי של הרחם. עובייה משתנה במהלך מחזור הווסת.

שונות גנטית (שונות תורשתית) (genetic variation) - הבדלים תורשתיים בין פרטים באוכלוסייה הנובעים ממוטציות ומיצירת הרכבים חדשים של מידע תורשתי בתהליך

הרבייה הזוויגית. לשונות הגנטית יכולה להיות השפעה על מהלך האבולוציה (בסטיסטיקה למונח "שונות" יש משמעות אחרת).

שחלה (ovary)

בבעלי חיים - איבר במערכת הרבייה הנקבית, בו מבשילים **תאי הביצה** וממנו מופרשים הורמוני רבייה.

בצמחים מכוסי-זרע - החלק התחתון של העלי, המכיל **ביצית** אחת או כמה. אחרי ההפריה השחלה מתפתחת לפרי.

שחלוף (crossing over) - החלפת קטעים בין כרומוסידות של **כרומוזומים הומולוגיים** במהלך המיזוג.

שיבוט (cloning) - טכנולוגיה של יצירת צאצא באופן מלאכותי מתא שאינו תא רבייה (תא סומטי) ומכיל גרעין **דיפלואידי**. הצאצא זהה מבחינה גנטית לאורגניזם שממנו נלקח גרעין התא.

שכפול DNA (DNA replication) - שלב במחזור התא שבו נבנית מולקולת **DNA** חדשה על פי מולקולת DNA קיימת. שלב השכפול קודם לחלוקת התא.

שליה (placenta) - איבר ייחודי המתפתח בנקבות של רוב **היונקים** בזמן ההיריון. באמצעות השליה העובר קולט מזון וחמצן מדם האם ומסולקות הפרשות של העובר. בשליה נוצרים הורמוני היריון, והיא נפלטת מגוף האם מיד לאחר הלידה.

שפיר (amnion) - הקרום והנוזל שבתוכם מתפתחים עוברים של **חולייתנים** יבשתיים (זוחלים, עופות ויונקים) בגוף האם או בתוך ביצה (ראו גם: **שקים חוץ-עובריים**).

שקים חוץ-עובריים (extraembryonic membranes) - **שק חלמון**, **שק שתן עוברי** (אלנטואיס), **שפיר וכוריון** המתפתחים יחד עם העובר בראשית התפתחותו.

שק חלמון (yolk sac) - מספק הזנה לעובר בדגים, זוחלים, עופות ויונקים חסרי שליה.

שק שתן עוברי (allantois) - משמש לאצירת חומרי הפרשה חנקניים ולחילוף גזים - חמצן ו- CO_2 בביצים של זוחלים ועופות. בעובר האדם שק השתן העוברי מצומצם והוא חלק מחבל הטבור.

תא ביצה (ovum) - **תא הרבייה** הנקבי. בנשים מכונה גם ביצית.

תא זרע (sperm) - **תא הרבייה** הזכרי.

תא רבייה (gamete) - תא או גרעין **הפלואידי** הנוצר באורגניזמים המתרבים **ברבייה זוויגית** ויכול להשתתף בתהליך ההפריה.

תרבות רקמה (tissue culture) - טכנולוגיה של ריבוי צמחים מתאים או רקמות על גבי מצע מזון במעבדה בתנאים מבוקרים.

תרדמת זרעים (dormancy) - הפסקה ממושכת של פעילות בזרע. ההתעוררות תלויה בגורמים פנימיים בזרע ובגורמי סביבה חיצוניים כמו אור וטמפרטורה.

DNA (Deoxyribo Nucleic Acid) - מולקולה האוצרת את המידע התורשתי של האורגניזם ועל כן מכונה "החומר התורשתי". על פי רצף הבסיסים ב-DNA נקבע מבנה החלבונים בתא (ראו גם: **שכפול DNA**).

FSH (הורמון מעורר זקיק Follicle Stimulating Hormone) - הורמון שנוצר בהיפופיזה, גורם בכל מחזור להתפתחות של כמה **זקיקים בשחלה**, שאחד מהם יגיע לדרגת זקיק בשל.

GnRH (Gonadotropin Releasing Hormone) - **הורמון** המופרש מההיפותלמוס. מווסת את הפרשת ההורמונים **הגונדוטרופינים** מההיפופיזה.

hCG (human Chorionic Gonadotropin) - **הורמון** המופרש על ידי **העובר** והשליה בבני אדם בראשית ההיריון. ההורמון נקלט **בשחלה** ומעכב את התנוונות הגופיף **הצהוב**.

LH (הורמון ההצהבה Luteinizing Hormone) - **הורמון** שנוצר בהיפופיזה. גורם **לביץ** וליצירת **הגופיף הצהוב** בשחלה.

מפתח

בסוף המפתח העברי נמצאים ערכים שנהוג לכתוב אותם, או את ראשי התיבות שלהם, באותיות לועזיות.



אבולוציה 20, 29-31, 88

- ביונקים ימיים 87

- של אדם 59

- של דרכי רבייה בחולייתנים 101

- של רבייה זוויתית בצמחים 140

- של תהליכי רבייה 170

אבקן 118-119, 122

אדוארדס, רוברט 66

אדמת, נגיף 52

אוזון באטמוספירה 170

אוכלוסיית בני האדם, גידול 60-61

אולטרה-סאונד 69

אוקסיטוצין

- בלידה 57, 58

- והפרשת חלב 59

אוקסין 138, 165

- השפעה על התפתחות בתרבות רקמה 156

- השפעה על התפתחות ייחורים 153

- השפעה על התפתחות פירות 134, 162

אור, השפעה על נביטה 137, 159

אור, השפעה על רבייה 28

אורך יום

- השפעה על הטלת ביצים 147

- השפעה על ייחום ובגרות מינית 147

- השפעה על פריחה 116-117, 161

- השפעה על רבייה בבעלי חיים 82

אותות סביבתיים-חיצוניים ראו: גורמים סביבתיים-חיצוניים

אחידות ושונות 15, 24, 175

אחסנת זרעים ופירות, תנאים 165

אי-התאם עצמי (בצמח) 126

איברי אגירה בצמח 113

איברי הזדווגות 88, 90, 91, 170

איברי חוש 28-29

איברי רבייה ראו: מערכת רבייה

איחוי הגמטות ראו: הפריה (התלכדות תאי רבייה)

איידס 74

אלנטואיס, קרום 93

אמניון ראו: שפיר

אמצעים למניעת היריון 74-75

אנדוספרם 127-130

אסטרוגן 38, 44-45, 75, 150

- בהיריון 52

אסטרטגיות רבייה 171-174, 177

אפרוח ראו גם: גוזל 93-95, 174

- וגוזל, השוואה 94, 95

אקרזום 41, 50

אשך 36, 39, 85

אשנב למחקר 11, 95, 104, 124, 135, 163

אתילן 163, 164-165



בגרות מינית 38, 80

- הקדמה בבקר 147

בדיקות בהיריון

- בדיקת היריון 53

- בדיקת מי (נוזל) שפיר 53, 69, 71

- בדיקת סיסי כוריון 69-70, 71

ביוץ 42, 44, 48, 76

- מותנה 97

ביות בעלי חיים 146

ביצה 27-28, 89, 170

- ותא ביצה, השוואה 89

- של תרנגולת, התפתחות ומבנה 92

- ביצה, השוואה עם רחם 88

- לא מופרית 148

ביצית

- באדם ראו: תא ביצה

- בצמח 120-121, 128, 170

- תרומת... 68

בלוטה

- חלב 59, 99

- עזר 36, 40



7

דאון, תסמונת 72-71
 דגים, רבייה ב... 101, 86-85
 דגירה 94
 דו־ביתי, צמח 121
 דו־זוויג, פרח 121
 דו־חיים
 - גלגול ב... 87
 - רבייה ב... 101, 86
 דו־פסיגי, זרע 130
 דיאפרגמה 74
 דילול עוברים 73
 דילול פירות ופרחים 165, 162
 דימום הווסת 45, 44
 דיפלואיד, תא 50, 15
 דרווין, צירלס 30

ה

האבקה 127, 122, 114
 - זרה (הדדית) 124-123
 - מלאכותית 165, 162
 - על ידי בעלי חיים 122
 - על ידי רוח 122
 - עצמית 126-123
 - דרכים 122
 הארה מלאכותית
 - השפעה על הטלת ביצים 147
 - השפעה על צמחים בחממה 165, 161
 הבשלה והבחלה, פירות 163, 114
 הבשלת זקיקים, טיפולים לגרימת 73
 הדמיה על־קולית 69
 הומיאוסטאזיס 48
 הורים ביולוגיים 67
 הורמוני רבייה באדם
 - גונדורופינים ראו גם: GnRH, FSH, LH 38
 - זוויג ראו גם: אסטרוגן, טסטוסטרון, פרוגסטרון 39-38
 הורמונים ראו גם: על פי שמות ההורמונים 28
 - איברי מטרה 39
 - בנביטה ובמחזור החיים של הצמח 138

- ערמונית 40, 36
 - קאופר 40
 בנק זרע 66
 בעיות פוריות 64
 בעלי זרעים 115
 בעלי שליה ראו גם: שליה 100
 בצל 155, 113, 112
 בריאה ספונטאנית 11
 ברירה טבעית ראו גם: אבולוציה 30
 ברירה מלאכותית 46
 ברית מילה 37

1

גדילה 139, 53, 14
 גוזל ראו גם: אפרוח 174, 94
 גולד, סטיבן 59
 גונדורופינים ראו: הורמוני רבייה באדם
 גופיף צהוב 149, 52, 45, 42
 גופיף קוטב 50, 43, 42
 גורם מגביל 172
 גורמים חיצוניים-סביבתיים 115, 114, 82, 80, 28
 - השפעה על התפתחות ייחורים 153, 152
 גורמים פנימיים-תורשתיים 115, 114, 80
 - השפעה על התפתחות ייחורים 153, 152
 גיאופיטים 113
 גיאותרם LH 45, 44
 ג'יברלין
 - השפעה על התפתחות פירות 162
 - השפעה על נביטה 159, 138
 - השפעה על צמיחה 165
 - ושירת תרדמה 160
 גיזום 165-164
 גיל ההתבגרות (באדם) 44, 40, 38-37, 35
 גלגול בדו־חיים 87
 גלולה למניעת היריון 75
 גמטה ראו: תאי רבייה
 - נקבית ראו: תא ביצה
 גרגר אבקה 170, 120-119
 - וצלוקת, היכרות 127

הרכבה 154-153
 הרמפרודיט 26, 25
 השחיית נביטה ראו גם: תרדמת זרעים 138, 28
 השקעה בגידול צאצאים ראו: אסטרטגיות רבייה
 השריית ייחום (בבקר) 150
 השרצה 98, 86
 - בזוחלים 89
 השרשה, של עובר ברחם 51
 התאמה בין מבנה לתפקוד
 - להאבקה 141, 126-125, 122
 - להפצת זרעים (באמצעות רוח ובעלי חיים) 133, 132
 - לסביבת חיים 30
 - מבנה הרחם 89, 88, 35
 - מבנה תא זרע 41
 התבגרות מינית 38
 התלכדות תאי רבייה ראו: הפריה
 התמיינות 139, 53
 - בתרבות רקמה 156
 התערבות האדם
 - בתהליכי רבייה בבעלי חיים 177, 151-146
 - בתהליכי רבייה בצמחים 165-151, 134
 - בתהליכי רבייה באדם 76-64
 - היבטים אתיים 151-150, 106, 90, 74-72
 התפתחות
 - נמשכת (בצמחים) 139, 111
 - עובר ראו גם: עובר 176, 98, 55-53
 - עובר בביצה 93
 - פרי 162, 132-131, 128
 התקן תוך־רחמי 75

יחסות הורמונלי ראו: הורמונים, משוב באמצעות
 וסת ראו: מחזור וסת

זוויג 10
 - קביעת ה... (באדם) 26-25
 זוחלים 101
 זיגוטה 24
 - יצירה באדם 50-49
 - יצירה בצמח 127

- הפרשה מהמוח 29, 28
 - הפרשה מהשליה 52
 - טיפול ב... 165, 164-163, 162, 159, 153-152, 149, 64
 - ייצור בשחלה 35-34
 - ויסות באמצעות... 46, 29-28
 - סנכרון ייחום 149
 הזרעה מלאכותית בבקר 149-148
 הטלת ביצים, השפעת אורך יום 147
 הטלת מילואים 148
 היבטים אתיים, ראו: התערבות האדם, היבטים אתיים
 היכרות בין תא זרע לתא ביצה 26
 היכרות בין צלקת לגרגר אבקה 127, 126, 123
 היפופיזה 44, 40-38
 היפותלמוס 44, 39, 38
 היפרדות בלתי תלויה של כרומוזמים 24, 19, 18, 17
 היריון 70, 57-51, 45
 - מרובה עוברים 57
 - בדיקה 53
 - ביונקים שונים 98
 הישרדות של פרטים 30
 הכוונת מועד הייחום בבקר 148
 הכחדת יונקים גדולים 60
 הכפלת DNA 18, 15
 המלטה 98
 המשכיות המין (species) 176, 10
 הנצה 103-102
 הנקה 99, 59
 הפלה מלאכותית ראו: הפסקת היריון
 הפלואיד, תא 15
 הפסקת היריון (הפלה) 72
 הפצת פירות וזרעים 114
 הפריה (התלכדות תאי רבייה) 176, 114, 50, 26, 24, 13
 - באדם 50-48, 45
 - בצמח 127
 - חוץ־גופית 73, 68-65
 - חיצונית 86, 85, 27
 - כפולה 128
 - עצמית ראו: האבקה עצמית
 - פנימית 170, 88, 86, 27
 - פנימית (בצמח) 171, 128
 הפריית מבחנה 65
 הקפאת תאי רבייה ועוברים עודפים 73, 66



חסרי זרעים, פירות 134
 חסרי שליה, יונק 101
 חצוצרה (באדם) ראו: צינור מוביל תאי ביצה
 חשופי זרע 132



טאי זקס 69, 68
 טבעות שנתיות 140-139
 טחב 140
 טיפול בצאצאים 173-172, 100-99, 95-94
 טיפול הורמונלי ראו: הורמונים, טיפול ב...
 טיפולי פוריות 57
 טלומר 106
 טסטוסטרון 91, 40, 38



יונקי כיס 100
 יונקים 99, 98, 96
 יותרת האשך (באדם) 40, 37
 יותרת האשך, בתרנגול 91
 יותרת המוח ראו: היפופיזה 38
 יחידת הפצה 132
 יחס בין מספר צאצאים להשקעה 173-172
 יחסי גומלין, צמחים ובעלי חיים 177, 141
 ייחום בבעלי חיים 97-96
 - השפעת אורך היום 147
 - התנהגויות 149
 - סנכרון והשרייה בבקר 150-148
 ייחור 165, 153-152, 112
 יילוד (אדם) 58, 35
 - גודל מוח 59
 יכולת התחדשות של צמח 151, 111
 ימים בטוחים 76
 יניקה 150, 59



כוריון 93, 51
 - בדיקת סיס'... 70
 - סיסים 51
 כיס אוויר (בביצה) 93
 כנה 153

זיר 122, 119
 זן 154
 זקיק 50
 - בשל 43-41
 - ראשוני 44-41, 35
 - טיפול להבשלת... 73
 זרע 130-129, 28, 27
 - אחסנה 165, 158
 - דו־פסיגי / חד־פסיגי 130
 - השהיית נביטה 28
 - מבנה 130-129
 - שבירת תרדמה וזירוז נביטה 159
 - שמירת חיוניות 165, 158



חבל טבור 58, 52
 חד־ביתי, צמח 121
 חד־זוויגי, פרח 121
 חד־פסיגי, זרע 130
 חד־שנתי, צמח 110
 חד־תאיים, רבייה ב... 103-102, 20
 חובשי קן 99, 94
 חוטר 154, 112
 חולייתנים 81, 80
 חומצה אבציסית 138
 חומר תורשתי 49, 14, 13
 חומרי תשמורת 28
 - בזרע 136, 131
 חומרים מעכבי נביטה 165, 159, 138
 חוק פונדקאות (הסכם נשיאת עוברים) 67
 חיוניות זרעים 165, 158
 חיוניות של תאי זרע 49
 חיזור (בבעלי חיים) 84-83
 חלב, בבקר 150
 חלב, יצירה (באדם) 59
 חלוקת הפחתה (מיזזה) ראו גם: מיזזה 15
 חלוקת תא (מיטזה) ראו גם: מיטזה 102
 חלמון וחלבון (בביצת תרנגולת) 92, 91
 חלמון, בתא ביצה (באדם) 41
 חמצן, בנביטה 137
 חנטה 162, 131
 חסרי זרע, צמחים 115

מיטוזה 176, 111, 103, 102, 53, 14-13

- בביצית בצמח 121

- בעובר 50

מין ביולוגי (species) 50, 26, 10

מין בסכנת הכחדה 90, 86

מכוס זרע 132

מנגנוני היכרות בצמח 123

מנגנוני ויסות ותקשורת 28

מנגנוני משוב (חיובי ושליילי) ראו: משוב

מניעת האבקה עצמית 126-125

מניעת היריון 75-74

מנת קור 161

מספר צאצאים והשקעה, יחס בין 173-172

מעבר חומרים בין אם לעובר 52

מעורבות האדם, היבטים אתיים ראו: התערבות האדם,

היבטים אתיים

מעטפת שקופה 50, 41

מעכבי נביטה, חומרים 165, 159, 138

מערכת רבייה 176, 29, 28

- באדם ראו גם: שחלה, אשך 37-35

- בדגים 85

- בצמחים ראו גם: אבקן, ביצית 121-118

- בתרנגול/ת 91

מצע גידול (מלאכותי) 156

מריסטמה 151, 139, 111

משאבים כגורם מגביל 172-171

משוב

- חיובי 59, 48, 46, 44, 29

- שלילי 46, 45, 44, 39, 29



נביטה 138-136, 114

- ופיטוחרום 137

- והורמונים 138

- השהייה/עיכוב/זירוז 165, 159, 138

- תנאים משפיעים 137-136

נביטת גרגר אבקה 127

נוגדנים, מעבר מאם לעובר 52

נוזל הזרע (באדם) 49, 48, 40, 37

נחשון 128, 127

ניצני ריבוי 155, 112

כרומוזום 71 21

כרומוזומי זויג (X,Y) 26-25

כרומוזומים 15-13

- בעובר, בדיקה 70-69

- הומולוגיים 19, 15

- הכפלה 14

- היפרדות בלתי תלויה 24, 19, 18, 17

כרומטידות אחיות 15-14



לידה 98, 58-57



מאבקים 118

מאבק 119

מבנה הביצה (עוף) ראו: ביצה, מבנה

מהפכה תעשייתית, וגידול אוכלוסיית בני האדם 60

מוח 28

מוטציה 31, 20

מוטציה ושונות תורשתית 20

מוכנות לרבייה 29

מחזור וסת 96, 48, 46-44, 39, 38

- וביוץ, אורך וסדירות 47

- ימים בטוחים 76

- סינכרון (באדם) 67

מחזור חיים 176, 114

- של צמח, התערבות האדם 165-158

מחזור ייחום 149-148, 97-96

- ומחזור וסת, השוואה 97

מחזור מיני ראו גם: מחזור וסת ומחזור ייחום 96

מחלה תורשתית בעובר, איתור 71-68

מחלת מין 74

מי שפיר ראו: שפיר, נוזל

מידע תורשתי 13

מיטוזה 176, 43, 42, 24, 18, 16-15, 13

- באדם 50, 43-42, 40

- בצמח 121, 120, 119

- ומיטוזה, השוואה 19-18

- ושונות תורשתית 17

- ביצירת תאי רבייה 24

- שלבים 16



פגמים תורשתיים, איתור בעובר 71-68
 פוטוסינתזה 129
 - והתפתחות פרי 162
 פוטופריודיזם
 - בבעלי חיים 147
 - בצמחים 161, 115
 פונדקאות 67
 פוריות הגבר, השפעות מזיקות על... 36
 פוריות, בעיות 64
 פיטוחרום
 - ונביטה 159, 137
 - ופריחה 116
 פין 37, 36
 פירות ראו: פרי
 פסטר, לואי 12-11
 פסיגים 130-129
 פקעת 155, 113-112
 פרוגסטרון 75, 45-44, 38
 - בהיריון 59, 52
 - בסנכרון ובהשריית ייחום בבקר 150, 149
 פרולקטין 99, 59
 פרומון 84
 פרוסטגלנדין 149
 פרח 122, 118, 115
 - דו-זוויגי / חד-זוויגי 121, 25
 פרי
 - הבשלה והבחלה 164-163
 - הפצה 133-131
 - התפתחות ראו גם: חנטה 162, 132-131, 128
 - חסרי זרעים (פרתנוקרפיים) 135, 134
 פריחה 118-115, 114
 - הכוונת מועד ה... 165, 161
 - השפעת טמפרטורה 161, 118
 - השפעת מחזוריות שעות האור 161, 117-116
 פתח מין חיצוני 170, 91, 85
 פתילי חלבון בביצת תרנגולת 92



צאצאים, אחידות ושוני ב... 123, 24, 20, 17, 13
 צופנים, בפרח 122, 118

נצרון 139, 136, 129
 נרתיק 49-48, 35
 נשאות, של אלל 69
 נשימה תאית, בנביטה 136
 נשירה, פרחים ופירות 128



סביבה יבשתית, רבייה ב... 170, 101
 סביבה מימית, רבייה ב... 170, 87-85
 סביבה מימית/לחה להפריה ולהתפתחות העובר 93, 88, 27
 140, 128, 101
 סימני זוויג (מין)
 - ראשוניים ומשניים באדם 40, 38-37
 - משניים בבעלי חיים 83-82
 סימני זכריות ונקביות ראו: סימני זוויג
 סיסי כוריון (סיסי שליה) 71-70, 52
 סנכרון הייחום בבקר 149-148
 סנכרון מחזור וסת (באדם) 67



עלי 127, 120, 118
 עובר 101, 51-50, 28-27
 - באדם 52
 - בצמח 129
 - אספקת חמצן ל... 58, 28
 - בדיקת תקינות בהיריון 69
 - הגנה על... 170, 88, 28-27
 - הפרשת פסולת 101, 93, 52
 - התפתחות בביצה 93
 - התפתחות ברחם 98
 - קרומי (שקי) 93, 51
 עוברים עודפים, הקפאה 73, 66
 עוברים, ריבוי ודילול 73, 57
 עוזבי קן 99, 94
 עונת רבייה / עונתיות 176, 146, 96, 82-81
 עופות, רבייה ב... 95-90
 עטינים 99
 עיכוב נביטה 165, 159, 138
 עלי עטיפ (כותרת, גביע) 118
 ערמונית, בלוטה 40, 36



רבייה ביבשה (בעלי חיים) 101-88
 - ביונקים 101-97
 - בעופות 96-90
 רבייה בסביבה מימית 170, 85
 - ביונקים ימיים 87
 רבייה וגטטיבית ראו: רבייה אל-זוויגית
 רבייה זוויגית (מינית) 12, 13, 15, 20, 24-26, 30, 110, 113
 - ושונות תורשתית 24, 29-31
 - באדם 33-59
 - בבעלי חיים 80-129
 - בצמחים 115-129
 - יתרונות 30
 רבייה, עונתיות ראו גם: צמח יום קצר/ארוך 28, 81-82,
 96, 146, 176
 - צורות 12, 176
 רביית בתולים (פרתנוגנזה) 103-104, 130
 רגנרציה ראו: יכולת התחדשות
 רחם 27-28, 48, 35, 51, 55, 171
 - התאמת מבנה לתפקוד 35
 - רירית (באדם) 35, 44, 45, 51
 רמות ארגון (תא, אורגניזם, אוכלוסייה, חברה) 175-176
 רפלקסים (ביילוד) 58
 רקמות עובריות ראו: מריסטמה



שבירת תרדמה בזרעים, שיטות ל... 159
 שונות תורשתית/ גנטית 13, 17, 19, 24, 30
 - ומוטציות 20
 - בעקבות האבקה עצמית/זרה 123
 שופכה (באדם) 37
 שורש 112
 שורשון 129, 136, 139
 שחלה
 - באדם 35, 39, 44
 - בצמחים 120, 127, 131
 - בדגים 85
 - בעופות 91
 שחלוף 18, 19, 24
 שיבוט 105

צורות רבייה 12-13, 176

ציטוקינן

- בבטיטה 138

- השפעה על התפתחות בתרבות רקמה 156

- השפעה על התפתחות ייחורים 153

צינור ביצים, תרנגולת 91

צינור הביציות ראו: צינור מוביל תאי ביצה

צינור מוביל זרע 36, 37, 40, 85, 90, 91

צינור מוביל תאי ביצה 35, 42, 48, 49, 51, 85

צינורות הובלה (בצמח) 139

צירי לידה 57

- משוב חיובי ב... 58

צלקת 120, 122

צמח יום ארוך / יום קצר 116-117

צמח, יכולת התחדשות 151

צמחון (בתרבות רקמה) 156

צמיחה 114, 139-140

- השפעת גיזום על... 164



קאלוס 151, 156

קביעת זווית 25-26

קדחת השחת 123

קדקודי צמיחה 111, 151

קו-אבולוציה, צמחים ובעלי חיים 141

קונדום 74

קמביום 139, 153

קנה שורש 112, 113

קרום שפיר ראו: שפיר

קרום, אלנטואיס 93

קרומי (שקי) עובר 51, 93

קרי לילה 41

קרינה על-סגולה 170

ראשית החיים 170

ראשן 86, 87

רב-שנתי, צמח 110

רב-תאיים 15

רבייה אל-זוויגית (אל-מינית או וגטטיבית) 12-14, 20, 102-106

110, 111-113, 158

- בחקלאות 113, 151-158



- שלב הסתגלות, של צמחונים 156
 שלבים (וגטטיבי ורפרודוקטיבי) במחזור חיי הצמח 115, 114
 - התערבות חקלאים ב... 165-158
 שלוחות 112
 שליה 70, 52-51, 28
 - פשוטה 100
 - יונקים חסרי... 101
 שלפוחית נוזל הזרע 40
 שפיר (אמניון) 93, 88, 51
 - בביצת עופות 93
 - בדיקת מי (נוזל)... 71, 69
 שק חלמון 93
 שקי אבקה 119
 שקי עובר 51
 שרך 140
- ייצור והתפתחות (באדם) 43-40, 38
 - מפגש בין... 88, 86, 49-48
 תוחלת חיים (אדם) 60
 - ובגרות מינית 80
 תינוק, הזנה של 59
 תינוק מבחנה ראו גם: הפריה חוץ-גופית 66
 תכנון המשפחה 75-74, 61
 תנאי סביבה, שינוי ואבולוציה 30
 תסמונת דאון 72-71
 תקופת ייחום 149, 96
 תקשורת בין הזוויגים 84-83
 תרבות רקמה (בצמח) 157-156, 105
 תרבות תאים ראו: תרבות רקמה
 תרדמת זרעים 159
 תרומת ביציות 68
 תרנגול הבית, רבייה ב... ראו: עופות, רבייה ב....



- תא דיפלואידי 50
 תא הפלואידי 40, 15
 תאומים 56, 55
 תא ביצה 25
 - באדם 76, 55, 50-48, 43-41, 35
 - בדג 85
 - בעוף 91
 - בצמח 128, 127, 121-120
 - וביצה, השוואה 89
 תאי זוויג (תאי מין) ראו: תאי רבייה
 תאי זרע 85, 48, 41, 40, 37, 25
 - באדם 49, 36
 - הכשרה 49
 - השפעת טמפרטורה 36
 - חדירה לתא ביצה 50
 - חיוניות 76, 49
 - ייצור והתפתחות (באדם) 40, 36
 תאי רבייה 25, 13
 - הבדלים ביצירתם (באדם) 43
 - היכרות בין 26
 - הקפאה 66
 - הרכב תורשתי 24, 18
 - התלכדות (באדם) 50-49
 - ומוטציות 20
 - בצמח 128, 127
- FSH 147, 45, 44, 41-38
 LH 45, 44, 41-38
 DNA 18, 15, 14, 13
 GnRH 44, 41, 39, 38
 hCG והיריון 52

סקורות התמונות

אנו מודים לאנשים ולארגונים אשר נתנו לנו את רשותם להשתמש בתמונות ובחומרים.

We thank all organizations and individuals who granted us permission to reproduce their materials in this book

שם התמונה	שם הצלם (מקור*)	עמוד
התרבות עז	G. Seguin (wiki comm)	10
זרע נובט של אבוקדו	Dontworry (wiki comm)	27
אפרוח בוקע מביצה	Deutsche Fotothek: r.Rossing (wiki comm)	27
תאומים	ד. פרנקל	56
שלבים ביציאת העובר	הביולוגיה חקר החיים, חוברת ו, עמוד 541, המרכז הישראלי להוראת המדעים (תשל"ו).	57
מיכלים לשמירת עוברים וביציות	המעבדה להפריה חוץ גופית, ביה"ח האוניברסיטאי הדסה עין כרם.	66
הזרקה של תא זרע לתא ביצית	המעבדה להפריה חוץ גופית, ביה"ח האוניברסיטאי הדסה עין כרם.	67
מערך כרומוזומים תקין מתא של גבר	National human research Institute (USA) (wiki comm)	70
גלולות	Aleksandra Banic (sxc)	74
קונדום	Irineu I Degasperi (sxc)	
דג סלמון נאכל על ידי דוב	J. Couperus (wiki comm)	81
דגי סלמון שוחים במעלה הנחל	N.Eaton Jr.	81
קרניים כסימן זווית משני	ג. בן אבי	83
זכר של פריגטה	C. Anderson (wiki comm)	84
טווס זכר	KrzysztofB (sxs)	84
"הזדווגות" בקרפדה	Janepfeifer at de.wikipedia (wiki comm)	86
דג סלמון בוקע מביצה	Professor Dr.habil. UweKils (wiki comm)	86
לוויתן	M. Catanzariti (wiki comm)	87
דולפין	F. Meir (France) (wiki comm)	87
גלגול בדו־חיים	הביולוגיה חקר החיים, חוברת ח, עמוד 825, המרכז הישראלי להוראת המדעים (תשל"ל).	87
צב ים	Ukanda (Wikipedia)	90
נקבת צב מטילה ביצים בגומה	Grass Routes Journey (Flicker)	90
נקבת יען	M. Hellstrom (wiki comm)	92

* המקור נרשם בקיצור:

[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:-_\(wiki.comm\)](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:-_(wiki.comm))

[http://www.sxc.hu/photo/-_\(sxc\)](http://www.sxc.hu/photo/-_(sxc))

[http://www.flickr.com/photos/-_\(flickr\)](http://www.flickr.com/photos/-_(flickr))



Raul 654 (wiki comm)	ביצת היען	92
greatchickencoops אתר באדיבות	אפרוח בוקע מביצה	93
Timwindsor (Flicker)	נקבת תור דוגרת	94
benjamint 444 (Wikipedia)	גוזלים רעבים	95
S. van der Wel (wiki comm)	עגל יונק מאמו	99
keith levi (sxc)	חתולה וגורים	99
Lee Le Fever (Flicker)	קופה וגור	100
Martyman (Wikipedia)	קנגרו	100
P. Hebert (wiki comm)	דפניה	104
ש. דור חיים	סביון	110
Crazy D (wiki comm)	ניצנית	112
א. קרמן	מחזור חיים של צמח	114
א. קרמן	חתך אורך סכמטי בפרח	118
Maja Dumat (Flicker)	פטוניות	118
remf.dartmouth.edu; D. Barthel (Wikipedia)	גרגרי אבקה	119
ד. לוי	איסטיס מצוי	124
א.שדה	מלפפון עם שרידי עלי כותרת	128
א. שדה	פרי של אספסת	132
א. שדה	זרעי הרדוף	133
ד. עצמון	פירות חבצלת החוף	133
א. שדה	אבטיח ללא זרעים	134
ר. אמיר	זרעי משמש ומנגו	138
ר. נוסינוביץ	טחבים ושרכים	140
Sarah Murray (Flicker)	פרח אחירותם (לפני האבקה)	141
Daryl Mitchel (Flicker)	פרח אחירותם (אחרי האבקה)	141
Ian Capper	דבורנית	141
Sonja McAllister (Flicker)	צמח סיגלית שלם	152
Commonguy (Flicker)	עלה סיגלית בעציץ	152
Judi Cox (Flicker)	עלה סיגלית בצנצנת מים	152
ט. סיגלר ז"ל (באדיבות עלון הנוטע)	הרכבה בתפוח	153
א. תגרי	הרכבה בהדרים	154
א. שדה	קקטוסים מורכבים	154
ט. סיגלר ז"ל (באדיבות עלון הנוטע)	גזע תמר עם חוטרים	154
Wildfeuer (wiki comm)	צמח סחלב	156
ט. סיגלר ז"ל (באדיבות עלון הנוטע)	שתילי בננה מתרבית רקמה	157
IJsendoorn Poul	קרקע חרושה	160
א. סולווי Elaine Solowey	מתושלח	160
Andrew Dunn (Wikipedia)	ליזיאנטוס	161

התמונות הבאות צולמו על ידי ר. אמיר (לפי מספר העמוד):

10: נבטים, 25: פרח דו־זוויג (משפחות השושניים), 26: עצי תמר, 58: רפלקס אחיזה, 95: אפרוח של חוגלה, 110: עץ אלון, 111: עלה שנשר לקרקע הצמיח שורשים, 112: תפוח אדמה, דשא, ירקה, 113: עמודי פריחה של חצב, 115: אגבה עם עמוד פריחה, 117: זיגוקטוס 118: היביסקוס, 118: יערה איטלקית, 122: פרחים אלון, 122: חרצית, 125: פרחי חרוב נקבי וזכרי, 129: זרע של שעועית, 130: זרעים כמרכיב במזון, 131: אבוקדו, רימון, פלפל, 131: חנטים של סולנום שעיר, 132: ירוקת החמור, הפצה ע"י רוח, 132: עוזרר, 133: סקוטש, 134: פירות ללא זרעים (בננה אפרסמון), 140: חתך בגזע עם טבעות שנתיים, 152: ייחור שהשתרש במים, 155: פקעת תפוח אדמה עם ענפים חדשים, 155: בצל חבצלת עם בצלצולים + בצל סגול

עשינו כל מאמץ לאתר ולציין את כל בעלי הזכויות של התמונות המופיעות בספר זה. אנו מתנצלים מראש על כל טעות או השמטה, ואם יובאו לידיעתנו נתקן במהדורה הבאה.

Every effort has been made to locate and credit all copyright holders. In case of omission or mistake, please contact the publisher for correction in future editions.