

מזרע לזרע

אירית שדה
רות אמיר



מזרע לזרע

כל המתבונן סביבו מבחין בצמחים המהווים חלק בלתי נפרד מהעולם שבו אנו חיים. לצמחים יש מגוון צורות, גדלים, צבעים, טעמים וריחות. ללא הצמחים היה עולמנו דל מאד: דל בצבע, דל בטעם, דל בבעל-חיים ודל בחמצן. לאמיתו של דבר לא היינו יכולים להתקיים על פני כדור הארץ ללא הצמחים!

הספר "מזרע לזרע" תואם את תכנית הלימודים בביוLOGיה ופרקיו יובילו אתכם במסלול חייו של צמח: מנביטת הזרע ועד לשלב שבו הצמח יוצר פרחים, פירות וזרעים שמהם יתפתח הדור הבא. בספר יוסברו התהליכים המתרחשים בשלבים השונים של מחזור חיי הצמח - הנביטה, הגדילה והצמיחה (התפתחות וגטטיבית) והרכייה (התפתחות רפרודוקטיבית) וכיצד תהליכים אלה מושפעים מגורמים פנימיים בצמח, ומגורמים חיצוניים-סביבתיים.

בפרקי הספר כלולים גם קטעים רבים שבהם מתואר כיצד החקלאים ומגדלי הצמחים מנצלים את הטכנולוגיה והידע הביוLOGי כדי להשפיע על הכמות והאיכות של היבול שמייצר הצמח.



האוניברסיטה העברית בירושלים
המרכז להוראת המדעים

מינהלת מל"מ, המרכז הישראלי לחינוך
מדעי טכנולוגי ע"ש עמוס דה-שליט

משרד החינוך, המזכירות הפדגוגית,
האגף לתכנון ולפיתוח תכניות לימודים

תשע"א 2011



מסת"ב 978-965-295-037-6 ISBN



מזרע לזרע

אירית שדה
רות אמיר



האוניברסיטה העברית בירושלים
המרכז להוראת המדעים



מינהלת מל"מ, המרכז הישראלי לחינוך
מדעי טכנולוגי ע"ש עמוס דה-שליט



משרד החינוך, המזכירות הפדגוגית,
האגף לתכנון ולפיתוח תכניות לימודים



2011

תשע"א

מזרע לזרע

From Seed to Seed

פיתוח וכתיבה:

ד"ר אירית שדה, קריית חינוך אורט יד ליבוביץ, נתניה.
ד"ר רות אמיר, המרכז להוראת המדעים, האוניברסיטה העברית בירושלים.
הניה גיא, בי"ס ע"ש עמיאסף, בית ברל.

הפקת מהדורת ניסוי, פיתוח שאלונים וריכוז הניסוי:

שילי דור-חיים, המרכז להוראת המדעים, האוניברסיטה העברית בירושלים.

יעוץ מדעי:

פרופסור חיים קיגל, הפקולטה למדעי החקלאות, התזונה ואיכות הסביבה, האוניברסיטה העברית בירושלים.
פרופסור עמרם אשרי (פרק ה), הפקולטה למדעי החקלאות, התזונה ואיכות הסביבה, האוניברסיטה העברית בירושלים.

מלבה"ד: שושנה הראל.

עריכת לשון: דרורה ועדיה.

עריכת מגדר: שרה אופק.

זר של תודות



לכל אלה שקראו, העירו והאירו:

רחל נויסנבויץ, המרכז הארצי למורי ביולוגיה, המרכז להוראת המדעים, האוניברסיטה העברית בירושלים.
ד"ר נעה אבולעפיה, האגף לתכנון ולפיתוח תכניות לימודים, משרד החינוך.
ד"ר נטע עורבי, האגף לתכנון ולפיתוח תכניות לימודים, משרד החינוך.

למורות הניסוי ותלמידיהן:

עליזה גורן וגלינה קושניר (בי"ס מוסינזון, הוד השרון).
סימונה דוידסון ורונית לבקוביץ (בי"ס ע"ש עמיאסף, בית ברל),
אריאלה לילנטל (אולפנת צבי"ה, שדות נגב).

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

לצוות ההפקה:

נאוה מוסקו, אורי קרמן

התמונות שעל העטיפה:

נבט אבוקדו: I, Dontworry (Creative Commons); פרח אבוקדו: B. Navez (Creative Commons); עץ אבוקדו: avlxyz (Creative Commons).



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

© כל הזכויות שמורות למשרד החינוך, תשע"א, 2011, מסת"ב 978-965-295-037-6 ISBN

© 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 שבספר זה.

תוכן העניינים

5

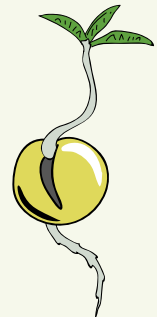
א. מבנה הצמח ומחזור חייו



- מבוא
 1. מזרע לזרע ומה שביניהם: מחזור חיים של צמח
 2. מבנה הצמח ואיבריו
 1.2 מבנה הצמח מותאם לאורח חייו
 2.2 חלקי הצמח
 3.2 צמחים וחלקי צמחים לתיאבון ולבריאות
 3. דומים אבל שונים - התאמות צמחים לבית הגידול
 1.3 התאמה של מחזור החיים לבית הגידול
 2.3 התאמות של איברי הצמח לבית הגידול
 3.3 התאמות לחיים ביחד וליחסי גומלין עם אורגניזמים אחרים
 שאלות לסיכום הפרק
 עיקרי הנושאים בפרק
 מושגים חשובים בפרק

25

ב. מזרע לנבט: תהליך הנביטה



- מבוא
 1. מבנה הזרע
 1.1 העובר
 2.1 חומרי תשמורת
 3.1 קליפת הזרע
 2. תהליך הנביטה
 1.2 תרדמה בזרעים
 2.2 מתרדמה לנביטה
 3.2 שלבים בתהליך הנביטה
 3. בעין חקלאית: הכוונת נביטה ואחסון זרעים
 1.3 דרכים להשפעה על מועד הנביטה
 2.3 אחסון זרעים
 3.3 זרעים על שולחנו
 שאלות לסיכום הפרק
 עיקרי הנושאים בפרק
 מושגים חשובים בפרק

47

ג. מנבט לצמח: גדילה והתפתחות



- מבוא
 1. בצמח גדל נוספים תאים וחומרים
 1.1 צמח ירוק עומד ברשות עצמו
 2.1 להתפתחות הצמח דרושים מים ומינרלים
 3.1 תוצרי הפוטוסינתזה משמשים להפקת אנרגיה, לגדילה ולאגירה
 2. הזדקנות ונשירה של חלקי הצמח
 3. צמח גדל ומתפתח באופן מתואם ולא אקראי
 1.3 אוקסין וצמיחה בכיוון אל האור
 2.3 ג'יברלין והשפעתו על נביטה ועל התארכות הנצר

66	ג3. אתילן ותהליכי ההזדקנות
67	ג4. החקלאים יכולים להשפיע על הגדילה ועל ההתפתחות
67	ג1.4 אספקת תנאים ומשאבים
71	ג2.4 יישום הידע על הורמונים בחקלאות
73	ג5. הרחבה: צמח מגיב לסביבתו
75	שאלות לסיכום הפרק
76	עיקרי הנושאים בפרק
77	מושגים חשובים בפרק

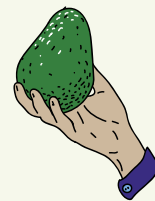
ד. רבייה: ממעטים לרבים

79	מבוא
80	ד1. רבייה אל-זוויגית (וגטטיבית) - מאחד לרבים
81	ד1.1 דרכים לרבייה אל-זוויגית
84	ד2.1 יתרונות וחסרונות של רבייה אל-זוויגית
85	ד3.1 רבייה אל-זוויגית בחקלאות
92	ד2. רבייה זוויגית (מינית) - משניים לרבים
92	ד1.2 לקראת רבייה: פריחה
96	ד2.2 מבנה הפרח
98	ד3.2 האבקה
103	ד4.2 הפריה
104	ד5.2 מזיגוטה לעובר: מתא אחד ליצור רב-תאי
111	ד6.2 בעין חקלאית: מעורבות החקלאי בהכוונה של התפתחות פירות
114	ד3. רבייה זוויגית ורבייה אל-זוויגית: עקרונות, יתרונות וחסרונות
116	שאלות לסיכום הפרק
119	עיקרי הנושאים בפרק
120	מושגים חשובים בפרק



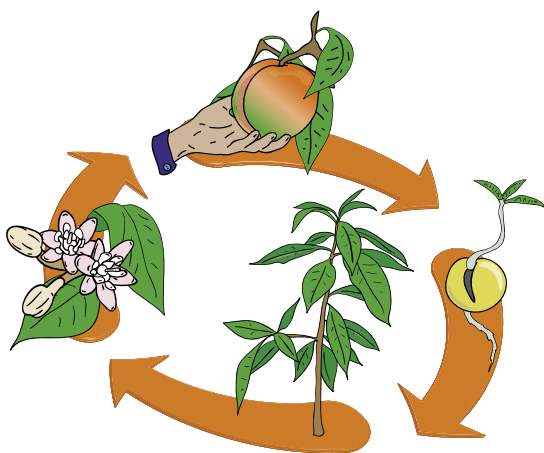
ה. מעורבות האדם בגידול צמחים במשק החקלאי

121	מבוא
124	ה1. משם לכאן: אקלום צמחים
125	ה1.1 שלבי האקלום
126	ה2.1 צמחים שאקלמו בארץ
128	ה2. מישן יוצא חדש: טיפוח זנים באמצעות ברירה מלאכותית והכלאות
128	ה1.2 איך מכליאים בצורה המכוונת
130	ה2.2 דוגמאות לתוצרים של תהליך טיפוח
131	ה3. טיפוח זנים חדשים באמצעות הנדסה גנטית
131	ה1.3 איך "מהנדסים" צמח?
132	ה2.3 דוגמאות לתוצרים חשובים של הנדסה גנטית
135	ה4. הרחבה: מעורבות החקלאים משפיעה על הסביבה
136	שאלות לסיכום הפרק
138	עיקרי הנושאים בפרק
138	מושגים חשובים בפרק



מילון מונחים מפתח מקורות התמונות

139
147
151



מבנה הצמח ומחזור חייו

מבוא

כל המתבונן סביבו מבחין בצמחים המהווים חלק בלתי נפרד מהעולם שבו אנו חיים. מהם קטנים, מהם גדולים, ומהם עשבים או עצים. לצמחים יש מגוון צורות, גדלים, צבעים, טעמים וריחות. יש צמחים שאנו אוכלים את פירותיהם, אחרים מצלים עלינו בימי חום. אנו נהנים מיופיים של פרחים ועצים ויש מהם שאנו מנצלים לצרכינו השונים. ללא הצמחים היה עולמנו דל מאד: דל בצבע, דל בטעם, דל בבעלי-חיים ודל בחמצן. לאמיתו של דבר לא היינו יכולים להתקיים על פני כדור הארץ ללא הצמחים!

הצמחים נפוצים כמעט בכל מקום ובכל פינה על פני כדור הארץ: החל מאזורים טרופיים גשומים וחמים דרך מדבריות צחיחים וכלה באזורים מושלגים וקפואים. בכל בית גידול נמצא צירוף של גורמים א־ביוטיים וגורמים ביוטיים, ורק צמחים המותאמים לתנאים המיוחדים השוררים בבית הגידול מצליחים לשרוד ולהתרבות.

מספר מיני הצמחים הוא גדול ורב. כיום מוכרים כ־260,000 מינים של צמחים בעלי זרעים. לכל מין תכונות אופייניות לו המתבטאות בצורת איבריו ובאורח חייו. בטבע נוכל למצוא צמחים קטנים מאוד כמו עדשת המים שכל גודלה מילימטרים ספורים, וצמחים גדולים מאוד כמו עצי סְקוּיָה ענקיים הגדלים בקליפורניה (ארה"ב) המתנשאים לגובה של עשרות מטרים (איור א-1).



איור א-1: ימין: עץ סקוויה (שימו לב לאיש שעומד ליד העץ הענק)
למעלה: צמחים זעירים של עדשת מים
(כל צמח גודלו כ-5 מ"מ);

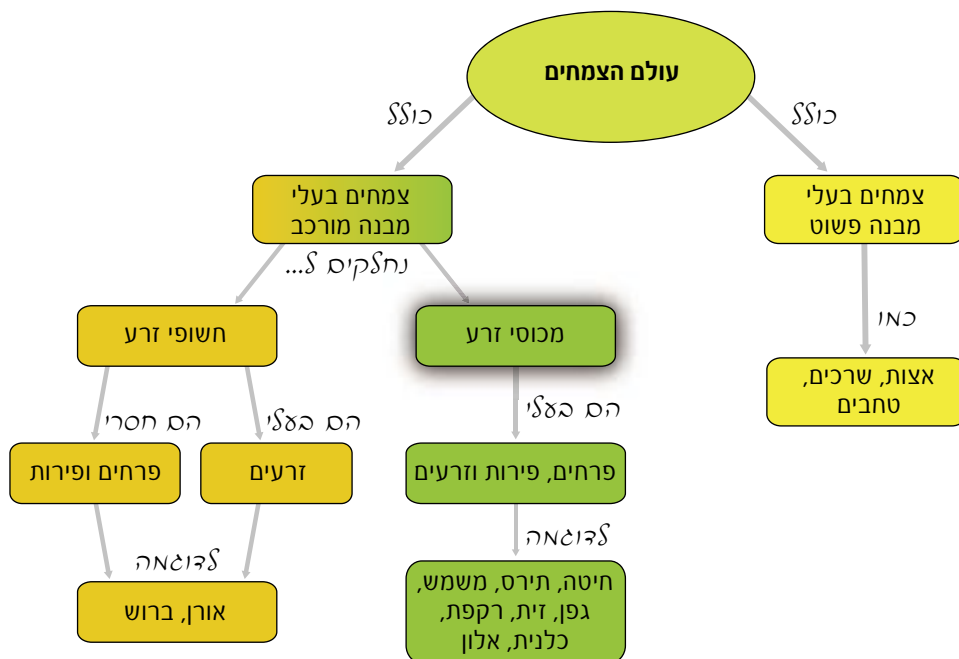


איור א-2: למעלה: שרף;
למטה: עץ נושא פרחים ופירות (קטלב)



יש צמחים, למשל: אצות, טחבים ושרכים, שיש להם מבנה פשוט ביותר והם חסרי פרחים. לעומת זאת יש צמחים בעלי מבנה מורכב, ענפיהם מסועפים והם נושאים עליהם פרחים, פירות וזרעים (איור א-2).

פרחים ופירות מאפיינים קבוצה מפותחת של צמחים המכונים **מכוסי זרע** משום שזרעיהם נמצאים מוגנים (מכוסים) בתוך רקמות הפרי שבו התפתחו (איור א-3) ובהם נעסוק בספר זה.



איור א-3: מפת מושגים: עולם הצמחים (הספר הזה עוסק במכוסי זרע)

למה משמשים הצמחים בחיינו?

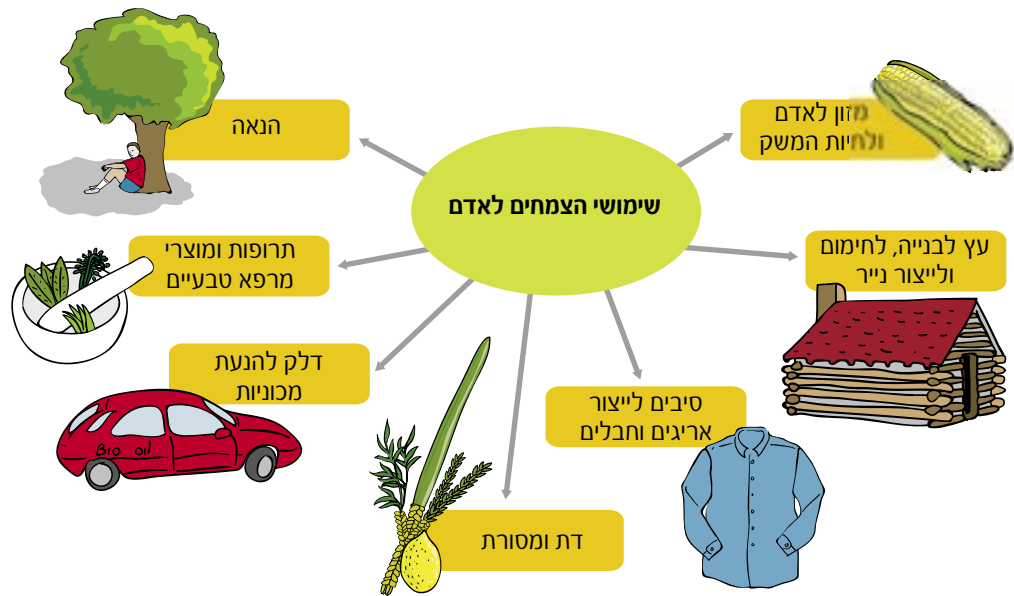


הצמחים משמשים כמקור המזון לכל היצורים החיים ובכללם לבני האדם. צמחים גם מהווים מקור לעץ המשמש לבניין ולחימום, אחרים משמשים לייצור אריגים שונים כמו כותנה ופשתן. ויש צמחים שמהם מפיקים תרופות חשובות (איור א-4). כיום גם מגדלים צמחים למשל תירס כדי להפיק מהם דלק - ביודיזל - להנעת מכוניות.

קשר לאקולוגיה:

גורמים ביוטיים:
צמחים כיצורים
במערכת
האקולוגית.

חשוב לדעת שכל המוצרים שמקורם בצמחים הם תוצרים של תהליך **הפוטוסינתזה** שבמהלכו צמחים ירוקים מנצלים את אור השמש כמקור אנרגיה להרכבת חומרים אורגניים. תוצר נוסף של תהליך הפוטוסינתזה, חשוב ביותר לתפקוד המערכות הביולוגיות, הוא **החמצן** החיוני לנשימה.



איור א-4: שימושי הצמחים לאדם

הספר הזה יוביל אתכם, במסלול חייו של צמח השייך לקבוצת **מכנסי הזרע**: מהיותו זרע ועד לשלב שבו הוא עצמו יוצר פרחים, פירות וזרעים שמהם יתפתח הדור הבא.

א. מזרע לזרע ומה שביניהם: מחזור חיים של צמח

רק לעתים רחוקות אנחנו מתעכבים להשיב לעצמנו על שאלות אלו: מהו בעצם צמח? כיצד הצמח גדל ומתרבה? מהם השלבים במחזור חייו? כמה זמן חי צמח?

אמנם הצמחים הרבים שונים זה מזה במבנה, בצורה ובמשך תקופת חייהם ועם זאת נמצא דמיון רב במחזור החיים שלהם, בעקרונות המבנה של איבריהם ובתפקודיהם וכן בתהליכים המתרחשים בהם.



צמח חד-שנתי - סביון

משך חייהם של הצמחים משתנה מצמח לצמח. **צמחים חד-שנתיים** מחזור חייהם קצר, הם נובטים, פורחים ומתרבים פעם אחת ומסיימים את חייהם תוך מספר שבועות או חודשים ספורים. צמחים אלו הם קטנים בדרך כלל, כמו הסביון שניתן למצוא באביב כמעט בכל מקום בארץ.

צמחים אחרים הם **רב-שנתיים**. הם חיים יותר משנה אחת ויכולים להתרבות כמה פעמים במהלך חייהם. כאלה הם צמחי המטע והכרם, כגון: תפוח, אפרסק, גפן וזית, עצי החורש, כמו: אלון וחורב וצמחי בצל ופקעת, כמו: נרקיס, כלנית ורקפת.



צמח רב-שנתי - זית

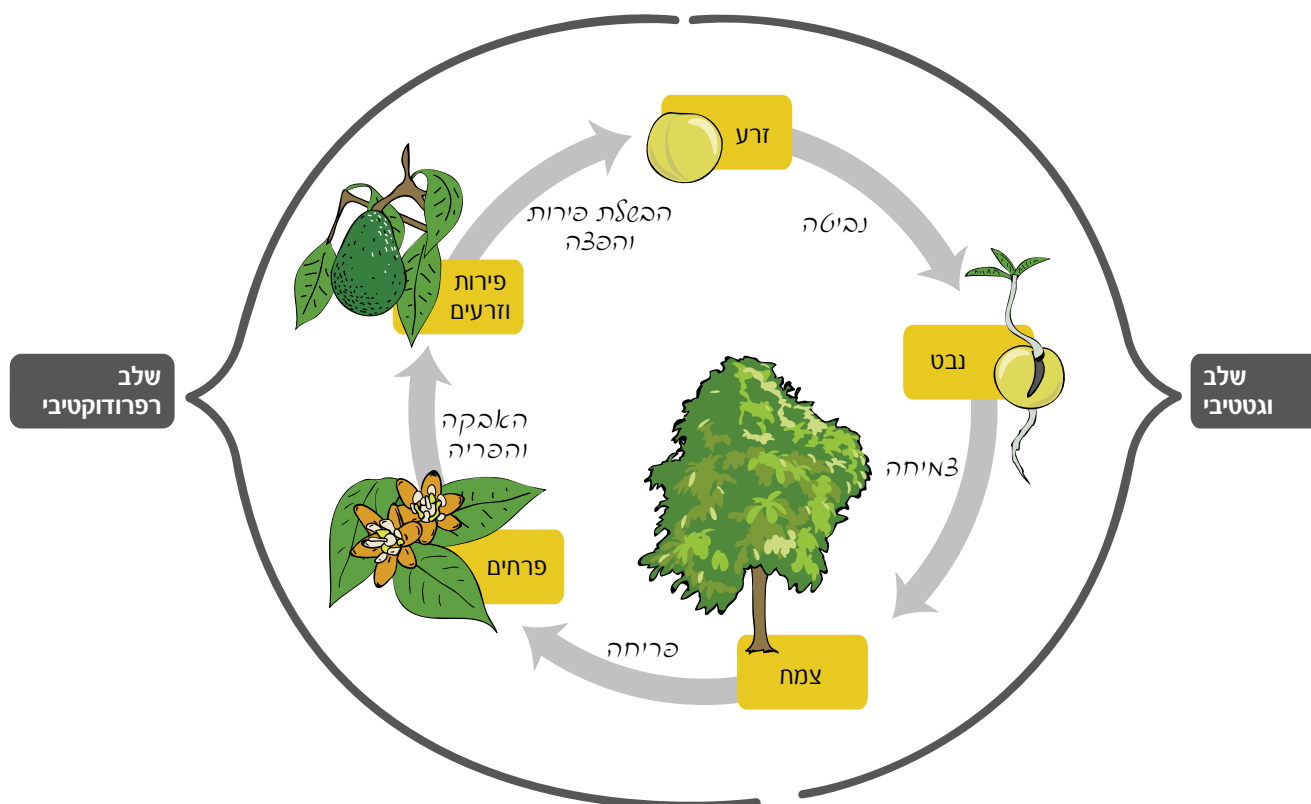
למרות ההבדלים הרבים בין מיני הצמחים, בגודל, בצורה ובמשך תקופת החיים, בכל הצמחים מכוסי הזרע יש דמיון רב ברצף השלבים של מחזור החיים (איור א-5). כל אחד מהשלבים והתהליכים המוצגים באיור א-5 מתקיים במערך של תנאים הייחודיים לכל אחד מהם (נדון בהם בהרחבה בפרקים הבאים).

כל מכוסי הזרע מתחילים את חייהם **כזרע** אשר בתנאים המתאימים הוא נובט ומתפתח לצמח צעיר - **נובט**. בכל הצמחים, מבחינים בתהליכי צמיחה הבאים לידי ביטוי בגידולו של הצמח: תוספת שורשים, עלים, גבעולים וענפים. שלב צמיחה זה מכונה **שלב וֶגֶטָטִיבִי** שבמהלכו הצמח מתפתח מנובט לצמח בוגר.

בעקבות התפתחות הגבעולים והעלים בצמח, מתחיל להיווצר סוג חדש של איברים - איברי רבייה - פרחים, המביאים ליצירת זרעים (לצמיחה של הדור הבא). שלב זה מכונה **שלב רפרודוקטיבי**. המעבר מהצמיחה (השלב הווגטטיבי) לפריחה ובהמשך ליצירת פירות וזרעים (השלב הרפרודוקטיבי) מותנה גם בגורמים **פנימיים**, למשל המידע התורשתי של הצמח, גיל הצמח ופעולתם של הורמונים (מווסתי צמיחה), וגם בגורמים **חיצוניים**, למשל: שינויי טמפרטורה, שינויים במספר שעות האור ביממה, כמות המים והמינרלים הזמינים לצמח.

פריחה היא תנאי הכרחי להיווצרות הזרעים, אך לא תנאי בלעדי כי התפתחות הפירות והזרעים תלויה בשני תהליכים נוספים המתרחשים באיברי הרבייה שבפרח:

1. **האבקה** - מעבר של גרגרי אבקה אל הצלקת שבראש עמוד העלי,
2. **הפריה** - התלכדות של שני תאי רבייה - תא זרע ותא ביצה. לאחר ההפריה מתפתחים הפירות ובתוכם הזרעים.



איור א-5: שלבים ותהליכים במחזור חיים של צמח: מזרע אחד לזרעים רבים. שימו לב: בצמחים חד-שנתיים הצמח מזדקן ומת והזרעים מתחילים מחזור חיים חדש. בצמחים רב-שנתיים המחזור מתקיים פעמים רבות במשך חיי הצמח

משך הזמן החולף מהנביטה ועד להיווצרות הדור החדש של הזרעים שונה מאוד מצמח לצמח. בצמחים **חד-שנתיים** קורה שבתוך חודש אחד או חודשים אחדים מזמן הנביטה כבר נוצרים בהם זרעים חדשים.

לאחר יצירת הזרעים מסתיים מחזור חייהם והם מתייבשים ומתים. בשנה שלאחר מכן, בעונה המתאימה, יבטו הזרעים שלהם, ומחזור חדש יחל את דרכו. כאלה הם רבים מצמחי הבר הנפוצים בארצנו למשל: **סביון, חרצית, פרג** וצמחי החקלאות למשל: **חיטה ותירס**. לעומת זאת צמחים **רב-שנתיים** אינם מתים לאחר הפריחה ויצירת הזרעים. הם ממשיכים לחיות שנים אחדות ואף שנים רבות מאוד. בצמח רב-שנתי נוצרים פרחים, פירות וזרעים מדי שנה או כמה שנים. עצי החורש, כמו: **אלון וחרוב** ועצי המטעים, כמו: **השזיף והתפוח** הם דוגמאות לצמחים רב-שנתיים שמחזורים רבים של גדילה, פריחה וייצור זרעים מתרחשים בהם במשך שנות חייהם.



אגבה עם עמוד פריחה

מעניין לדעת: פעם אחת ודי...

יש צמחים רב-שנתיים, למשל האגבה, שפורחים רק פעם אחת במהלך חייהם. הפריחה החד-פעמית מתרחשת לאחר שנים אחדות של גדילה, ולאחריה הצמח מסיים את מחזור חייו ומת.



2. מבנה הצמח ואיבריו

1.2 מבנה הצמח מותאם לאורח חייו

אורח החיים המיוחד של הצמחים

המבנה של הצמחים למיניהם - חד-שנתיים או רב-שנתיים, קטנים מאוד או גדולים מאוד, מאופיין בעקרונות מבניים משותפים ופשוטים יחסית. עקרונות אלה קשורים לאורח החיים המיוחד של הצמחים שהוא שונה לחלוטין מאורח החיים של בני האדם ובעלי-החיים. המאפיינים של אורח החיים המיוחד של הצמחים הם אלה:

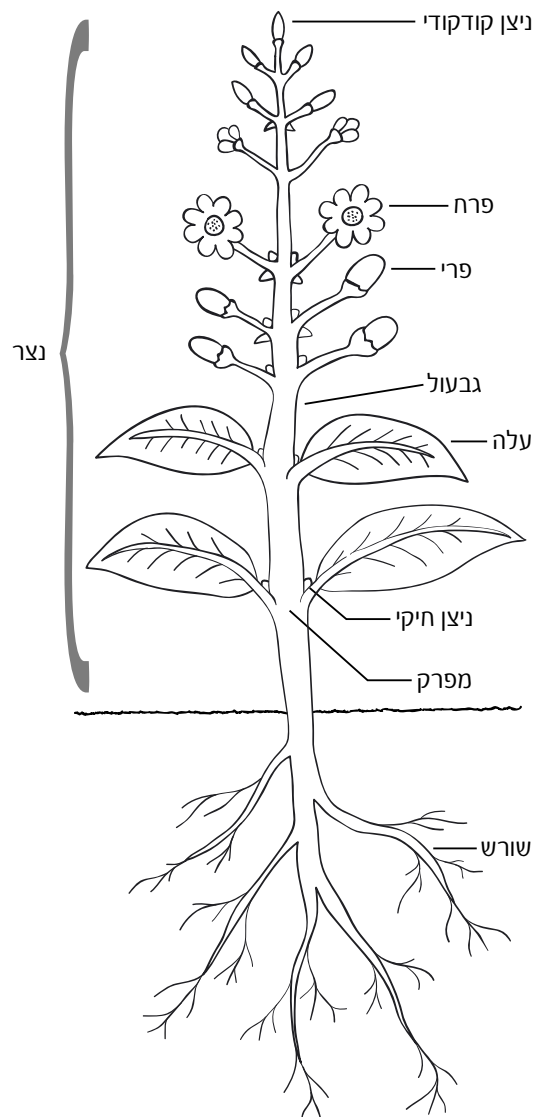
- ♦ הצמחים הם ניחים, כלומר **קבועים במקומם** בקרקע, ואינם יכולים לשנות את מקום מחייתם במהלך חייהם. כמו כן הם אינם יכולים לחמוק מאוכליהם ולחפש בני זוג לרבייה.
- ♦ הצמחים הם **אוטוטרופים**: מייצרים בעצמם בתהליך ה**פוטוסינתזה** את הפחמימות הדרושות להתפתחותם וכן חומרים אורגניים אחרים, מחומרים אנאורגניים שהם קולטים מסביבתם.
- ♦ צמחי היבשה ואיבריהם חשופים **לסכנת התייבשות**.
- ♦ צמחים רבים מקיימים **יחסי גומלין** מגוונים וחיוניים עם בעלי-חיים, בעיקר בשלב הרפרודוקטיבי: האבקת הפרחים והפצת הפירות והזרעים.
- ♦ צמחים מתפזרים במרחב בעיקר על ידי הפצת הדור הבא: הזרעים.
- ♦ צמחים יכולים לעבור תקופות ממושכות כזרעים רדומים והם נובטים כאשר מתהווים תנאים מתאימים.

עקרונות המבנה של הצמחים

א. התפרסות במרחב והגדלת שטח הפנים יחסית לנפח

מבנה הצמח (איור א-6) מדגים עקרון מבני חשוב של צמחים: איבריהם - שורשים, ענפים וגבעולים - מסועפים מאוד ופרוסים במרחב של תחום מחייתם - בקרקע ובאוויר. ההתפרסות במרחב מקנה יתרון חשוב לצמח שאינו יכול לשנות את מקומו בחיפוש אחר המשאבים החיוניים להתפתחותו כמו: מים, אור, מינרלים, CO_2 , וכן מאבקים ובני זוג לרבייה.

ההסתעפות של השורשים בקרקע ושל הענפים נושאי העלים מעל הקרקע מגדילה מאוד את **שטח הפנים** של הצמח **יחסית לנפחו** ובכך מגדילה ומיעלת את קליטת המשאבים החיוניים לגדילה ולצמיחה. חשוב לדעת שהמשאבים העיקריים הנחוצים לצמח לביצוע הפוטוסינתזה, לגדילה ולהתפתחות - אור, מים, מינרלים ו- CO_2 מפוזרים במרחב שהצמח חי בו



איור א-6: מבנה כללי (סכמטי) של צמח

והם אינם זמינים במידה שווה בכל מקום ובכל עת. הגדלת שטח הפנים של האיברים יחסית לנפחם מסייעת לקלוט את המשאבים האלה. לדוגמה:

- ♦ קליטת כמות מספקת של אנרגיית אור ו- CO_2 לתהליך הפוטוסינתזה מתאפשרת הודות לפרישה של משטח קליטה גדול. משטח גדול כזה מושג על ידי הסתעפות הענפים ועלים רחבים ושטוחים.
- ♦ המים והמינרלים מפוזרים בכל נפח הקרקע ובצורה לא אחידה: לעתים המים והמינרלים המומסים בהם נמצאים רק בעומק הקרקע, במקרה זה, שורשים החודרים עמוק לקרקע הם יתרון חשוב. מצב זה אופייני לתקופת הקיץ בארצנו שבה רק מעט מים נותרו בעומק הקרקע מתקופת החורף.

ב. הגנה מפני התייבשות

באיור א-6 לא בא לידי ביטוי עוד מאפיין חשוב של מבנה הצמח החי ביבשה: ההגנה על איבריו מפני התייבשות. העלים והגבעולים הירוקים מוגנים מפני התייבשות באמצעות שכבה שאינה חדירה כמעט למים ולגזים המקטינה את התנדפות המים מהצמח.

איברים אחרים בצמח כמו ענפים וגזעים מכוסים במעטה קשיח של **שעם** אטום למים. היתרון הנוסף של אמצעי הגנה אלה הוא שהם מגנים על הצמחים גם מאוכליהם וגם מחדירת גורמי מחלות וטפילים למיניהם. זרעים חשופים לעתים זמן רב הן לסכנת ההתייבשות והן לסכנת האכילה. קליפה קשה היא אחד המנגנונים המגנים עליהם מפני התייבשות ומפני אוכליהם, עד שהתנאים בסביבתם יתאימו לנביטה.

ג. מבנים למשיכת בעלי חיים ולהגנה

משיכת מאביקים ומפיצים

יופיים של הפרחים ועיסיותם של הפירות תורמים לא מעט להנאתנו מקיומם של צמחים. אולם יש לדעת שצבעי הפרחים והפירות ותכולת הפירות הם אמצעי למשיכת מאביקים ומפיצי זרעים. הצמח, שאינו יכול לחפש בני זוג באופן פעיל או להפיץ את צאצאיו, מקיים **יחסי גומלין** עם בעלי-חיים ומשקיע משאבים לא מעטים, ליצירת האמצעים למשיכתם אליו. כאשר בעלי-החיים אוספים צוף מהפרח הם מאביקים אותו וכאשר הם אוספים פרי מהעץ או מהשיח ואוכלים אותו במקום אחר, הם משמשים כמפיצים של הצמח למקום מרוחק ממקום גידולו. במיני הצמחים בהם הפרי נאכל על-ידי בעלי-חיים, קליפת הזרע בדרך כלל עמידה בפני מיצי העיכול של בעלי-החיים והזרע מופרש מבלי שכושר נביטתו נפגע.

הגנה מפני בעלי-חיים וגורמי מחלות

צמחים חשופים כל העת לאכילה של חלקיהם על ידי בעלי-חיים. כאשר עז אוכלת את העלים הצעירים של שיחים, שאינם יכולים לברוח ולהסתתר מפניה, היא פוגעת בסיכוייהם להתפתח ולשרוד. אמצעי ההגנה של צמחים מפני אוכליהם כוללים קוצים ויצירת חומרים בלתי טעימים ואפילו רעילים. חומרים רעילים ניתן למצוא בבצל של החצב, בעלים של צמח ההרדוף ובפקעת של רקפת.

קשר לאקולוגיה:

התאמות של
צמחים לחיים
בסביבה יבשה.

עוד על:

האבקה והפצה,
בפרק ד'.

קשר לאקולוגיה:

- התאמות צמחים
להימלטות מטריפה.
- יחסי גומלין מסוג
הדדיות.

??

שאלה א-1

בעמודים הקודמים צוינו המאפיינים הייחודיים האלה של אורח החיים של הצמחים:

1. צמחים הם קבועים במקומם
 2. צמחים הם אוטוטרופים - מבצעים פוטוסינתזה
 3. הצמחים מקיימים יחסי גומלין עם בעלי חיים בשלב הרפרודוקטיבי של חייהם
 4. הצמחים חשופים לאכילה על ידי בעלי חיים ולפגיעה על ידי גורמי מחלות
- רשמו לכל אחד מהמאפיינים התאמה אחת של מבנה הצמח לאורח חייו (היעזרו בכתוב ב"עקרונות המבנה של הצמחים" סעיפים א ו-ג).

2.2 חלקי הצמח

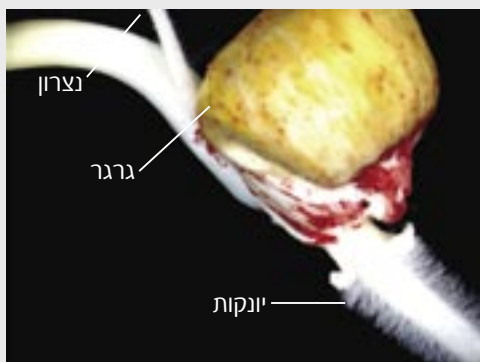
לצמח שני חלקים עיקריים: **שורשים** תת-קרקעיים ו**נצר** על-קרקעי, הכולל גבעולים, עלים, פרחים ופירות.

שורשים: מבנה ותפקוד

השורשים משמשים לאחיזת הצמח בקרקע, לקליטת מים ומינרלים ולהובלתם לחלקים העליונים של הצמח, לקבלת תוצרי הפוטוסינתזה מהחלקים העליונים ולאגירתם.

מבנה השורש מסועף מאוד ומותאם לתפקודו. בדרך כלל השורשים מסתעפים לשורשים קטנים יותר, דבר המסייע בעיקר לאחיזה בקרקע, אך גם להגדלת שטח הפנים לקליטה. מערכת שורשים מסועפת ובעלת שטח פנים גדול יחסית לנפח, מגדילה ומייעלת את קליטת המים והמינרלים מהקרקע.

הרחבה: יונקות



איור א-7: נבט של תירס (בהגדלה).
על השורשון רואים יונקות

הקליטה של מים ומינרלים מתבצעת בעיקרה בחלקים הצעירים והדקים הנמצאים בקצה כל שורש. בקצות השורשים יש תאים מוארכים ודמויי שיער דקה המכונים **יונקות** (איור א-7). מספר היונקות בקצה כל שורש הוא גדול מאוד, ובשורש כולו מספרן עשוי להגיע למאות אלפים ואף יותר. היונקות הרבות חודרות אל בין הרווחים הקטנטנים שבין גרגרי הקרקע, מגדילות את שטח המגע עם המים שבקרקע ובכך מגדילות מאוד את יכולת קליטת המים והמינרלים. לכן, כשמעבירים צמח ממקום גידולו למקום אחר, מעבירים אותו עם גוש אדמה שסביב שורשיו כדי לא לפגוע בקצות השורשים העדינים שבהם נמצאות היונקות.

?? שאלה א-2

לאיזה בית גידול מותאמים צמחים בעלי מערכת שורשים החודרת לעומק רב בקרקע? הסבירו טענתכם.

גם אלה שורשים

בנוסף לאחיזה בקרקע ולקליטת מים ומינרלים, יש צמחים שהשורשים שלהם משמשים גם כמאגר של חומרים, כמו עמילן וסוכר. הגזר, הסלק והצנון (איור א-8) הם דוגמאות לשורשים אוגרים. החומרים האגורים בשורש משמשים את הצמח עצמו לתהליכי חייו, אך בני האדם ובעלי החיים מנצלים שורשים אוגרים כאלה כמזון.



איור א-8: שורשים אוגרים: סלק, צנון וגזר

לא כל השורשים מתפתחים בתוך הקרקע. יש צמחים ששורשיהם מתפתחים מהגבעול או מהעלים ולכן הם נמצאים מעל פני הקרקע. יש שורשים הצומחים מהענפים כלפי מטה אל הקרקע ותומכים בענפים.



שורשי היצמדות של צמח מטפס (גפנית)



שורשים של פיקוס בגלי שצמחו מהענפים העליונים התעבו ונראים כגזעים

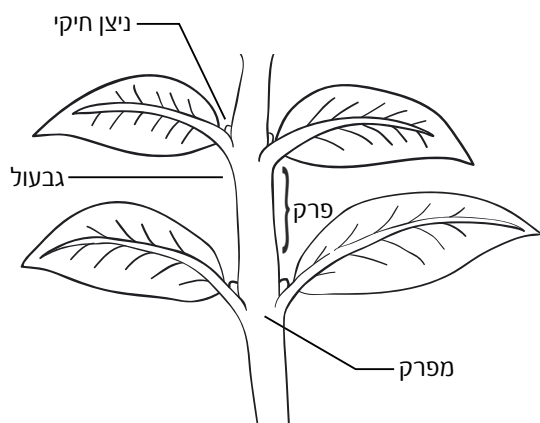
בצמחים מטפסים, מתפתחים מהגבעולים שורשים קצרים - שורשי הצמדות - אל עבר הקיר או הצמח שעליו הם מטפסים. שורשים אלו מסייעים לאחיזה של הצמח המטפס.

הנצר

הנצר הוא חלק הצמח המצוי, על פי רוב, מעל פני הקרקע, הוא כולל ציר מרכזי - **גבעול** הנושא את העלים, הפרחים והפירות. בתחילת התפתחותו של הצמח הגבעול הוא **עשבוני**, כלומר: ירוק, רך וגמיש. בשיחים ובעצים הגבעול מסתעף ומתעבה במשך השנים, הופך להיות גזע **מעוצה** ואינו גמיש וירוק כשהיה. מהגזע מסתעפים הענפים.

בקצה הנצר מצוי **ניצן קדקודי** שממנו מתפתחים עלים וגבעולים (איור א-6). האזור שבו מתחבר העלה לגבעול נקרא **מפרק**, והחלק של הגבעול בין מפרק למפרק נקרא **פרק** (איור א-9).

בחק העלים (בין העלה לגבעול) נמצא **ניצן חיקי** שממנו יכול להתפתח ענף צדדי חדש. הפרחים מתפתחים מהניצן הקדקודי או מהניצנים החיקיים. התפקודים העיקריים של הגבעול הם: הובלת מים, מינרלים ותוצרי פוטוסינתזה, נשיאת עלים, פרחים ופירות ותמיכה (טבלה א-1).



איור א-9: הנצר וחלקיו

טבלה א-1: תפקודי הגבעול

תפקודי הגבעול	הסבר על תפקודי הגבעול
הובלה	צינורות ההובלה הם רציפים ופרוסים לאורך כל חלקי הצמח - מקצות השורשים דרך הגבעולים ועד לקדקודי הענפים, העלים, הפרחים, הפירות והזרעים. הובלת חומרים בצמח נעשית בשני סוגי צינורות: מים ומינרלים מובלים מהשורשים אל הנצר בצינורות העצה, תוצרי הפוטוסינתזה מובלים מהעלים אל האזורים שצורכים או אוגרים אותם בצינורות השיפה.
נשיאת עלים, פרחים ופירות	מיקום העלים על גבי הגבעול מצמצם את ההצללה של העלים אלה על אלה ובכך מייעל את קליטת האור הדרוש לתהליך הפוטוסינתזה. מיקום הפרחים והפירות חושף אותם למאבקים ולמפיצי פירות.
תמיכה	הגבעול מקנה יציבות לצמח, עמידה נגד כוח הכובד ונגד כוחות שיכולים לכופף או לשבור אותו, כמו רוח.

?? שאלה א-3

הסבירו כיצד מבנה השורשים והנצר מותאם לקליטת המשאבים שמפוזרים במרחב הגידול של הצמח.

גם אלו גבעולים

הגבעולים מגוונים מאוד מבחינת המבנה והתפקוד שלהם. יש גבעולים המשמשים לטיפול - נכרכים סביב עצמים ומטפסים עליהם, למשל: החבלבל. יש **גבעולים מעובים** אוגרי מזון, כמו הקולרבי שבו הגבעול אוגר המזון הוא על-קרקעי, ותפוח אדמה ורקפת שבהם הגבעול אוגר המזון הוא תת-קרקעי ונקרא **פקעת**.

גבעולי הצבר הם דוגמה לגבעולים בשרניים האוגרים מים, ולכן הצבר יכול להתקיים באזורים שחונים וצחיחים. צבעם הירוק של הגבעולים הבשרניים מעיד שבהם מתבצעת פוטוסינתזה (איור א-10). הקוצים שעל גבעולי הצבר הם למעשה עלים ומשמשים להגנה מפני אוכלי צמחים.



איור א-10: גבעולים שונים בצורה ובתפקוד:

צבר: גבעול ירוק עם קוצים, פקעת של תפוח אדמה, קולרבי: גבעול מעובה

עוד על:
פוטוסינתזה בפרק
ג'.



עלה וחלקיו: טרף ופוטוטר



עלים שונים בצורתם

העלה

ברוב רובם של הצמחים, העלה הוא האיבר העיקרי בצמח שבו מתבצע תהליך **הפוטוסינתזה**, וחלקיו הם - טרף ופוטוטר.

רוב רובם של העלים שתראו סביבכם הם דקים, שטוחים וצבעם ירוק. תכונות אלה של העלים קשורות לתהליך הפוטוסינתזה: שטח פנים גדול יחסית לנפח מסייע לקליטת אור ו- CO_2 וצבען (פיגמנט) ירוק - **כלורופיל** - המצוי בתאיהם פעיל ביצירת הפחמימות. עם זאת, כמו בשורשים ובגבעולים, גם בעלים בולט המגוון: יש עלים שצבעם סגול או צהוב או שאזורים מסוימים בהם הם חסרי כלורופיל. מגוון הצורות והצבעים של העלים רב מאוד ונעזרים בצורת העלים לזיהוי צמחים בשמותיהם.

מערכת צינורות ההובלה הקיימת בגבעולים נמשכת כעורקים לתוך העלה. דרך העורקים מועברים מים ומינרלים מהשורשים אל העלה ואילו תוצרי פוטוסינתזה מובלים מהעלה אל חלקי צמח אחרים.

בדומה לשורשים ולגבעולים, גם לעלים בצמחים מסוימים יש עוד תפקודים (בנוסף לפוטוסינתזה), ויש להם צורות שונות המותאמות לתפקודם (איור א-11). **הבצל** הוא למעשה קבוצה צפופה של עלים אוגרי מזון, והקנוקות של צמחים מטפסים כמו הגפן והאפונה הריחנית גם הן למעשה עלים. קוצי הצבר (איור א-10) הם עלים שצורתם ותפקודם השתנו במהלך האבולוציה והם התפתחו לאמצעי הגנה על הצבר מפני אוכליהם.



איור א-11: עלים שונים בצורה ובתפקוד, ימין: קנוקנות; שמאל: בצל

??
שאלה א-4

שטח הפנים של איברים רבים של הצמח גדול יחסית לנפחם. רשמו מהם איברים אלה והסבירו את החשיבות של תכונה זו בכל איבר.

פרחים, פירות וזרעים

עוד על:
פרחים פירות
וכרעים בפרק ד'.

עד כה התמקדנו בהכרת האיברים המעורבים בתהליכי הצמיחה והגידול. במועד מסוים במחזור חייו של הצמח, כאשר התנאים הסביבתיים והפנימיים מתאימים, מתחיל **השלב הרפרודוקטיבי**: מתפתחים בצמח איברי הרבייה שבאמצעותם ייוצרו הזרעים שהם ראשיתו של הדור הבא.

הפרחים הם מוקד הפעילות הרבייתית של הצמחים מכאן הזרע. באיברי הרבייה המצויים בפרחים מתפתחים **תאי הרבייה** (תאי הזרע ותאי הביצה) ושם חלה **ההפריה**. בעקבות ההפריה מתפתחים מהפרחים פירות ובתוכם הזרעים שמהם יתפתחו צמחים חדשים שהם הדור הבא, ממשיכיהם של דור ההורים.



איור א-12: פרח היביסקוס וחלקיו:
עלי גביע ירוקים, עלי כותרת אדומים,
אבקנים צהובים וצלכת שעירה

אין בנמצא פרח שאפשר לכנותו "פרח טיפוס", כי כמעט ואין גבול למגוון הצורות והצבעים של הפרחים, אך אפשר לתאר חלקים שהם אופייניים למרבית הפרחים. הפרח נישא על עוקץ. חלקי הפרח ערוכים בדרך כלל במעגלים והם כוללים עלי עטיף (עלי גביע ועלי כותרת) ואת איברי **הרבייה הזוויגית** (מינית) של הצמח: אבקנים ועלי שבבסיסו נמצאת **השחלה** (עליהם תלמדו בפרק ד) (איור א-12).

ההפריה מתרחשת בפרח ובעקבותיה מתפתחים פירות ובהם זרעים.

הפרי הוא חלק של הצמח אשר מתפתח מה**שחלה** (מהחלק התחתון של העלי) בדרך כלל בעקבות **ההפריה**. בכל פרי יש זרע אחד או כמה זרעים (איור א-13). מהזרעים יתפתחו בבוא הזמן צמחים חדשים. **התפוז, האבטיח וגם העגבנייה** התפתחו כולם בעקבות הפריה שהתרחשה בפרחים. הפרי מגן על הזרעים המתפתחים בתוכו, ומאפשר את הפצת הזרעים במרחב.

רעיון מרכזי:
ההמשכיות בין
הדורות היא אחד
מאפייני החיים של
כל האורגניזמים
בטבע.



איור א-13: פרי עם זרע יחיד - אבוקדו; פרי עם הרבה זרעים - רימון

הזרעים נמצאים בתוך פרי שהתפתח מהשחלה. כאמור, **זרע** הוא יחידת הריבוי של הצמח וחלקיו הם: **עובר**, רקמות עם חומרי תשמורת וקליפה.

בעובר מבחינים בשני חלקים עיקריים: **הנצרון** שממנו יתפתח הנצר וה**שורשון** שממנו תתפתח מערכת השורשים.

עוד על:

מבנה הצמח בפרק ב'.

חומרי התשמורת כשמם כן הם: חומרים שנוצרו בצמח האם, נשמרים בזרע ומזינים את הנבט הצעיר בתחילת גידולו.

קליפת הזרע מגנה על הזרע ועל העובר שבתוכו מפני פגיעה אפשרית במהלך הזמן העובר עד שהתנאים מאפשרים נביטה.

תכונה חשובה של הזרעים היא תכולת המים הנמוכה בהם (כ-10%). תכונה זו מקנה לזרע עמידות בתנאים קיצוניים, כמו יובש, טמפרטורה גבוהה מאוד וכפור. הודות לתכונה זו יכול הזרע יכול להישמר בקרקע שנים רבות, וכאשר נוצרים התנאים המתאימים הוא יכול לנבוט ולהצמיח דור חדש.

למבנה הזרעים יש חשיבות רבה להישרדות הדור החדש ולהמשכיות, הוא מאפשר לזרעים לשרוד בתקופות שאינן מתאימות לנביטה מיידית, כמו חורף קר מאוד, או קיץ חם ויבש, וגם את הפצתם של הזרעים הרחק מהמקום שבו גדל הצמח שבו הם נוצרו.

לזרעים, יש אמצעים שונים המסייעים להפצתם במרחב, ומבנה הזרע מותאם לדרך ההפצה. יש זרעים המופצים עם הפרי, וישנם כאלה שהפרי נשאר על צמח האם ורק לאחר שהפרי נפתח הזרעים שבתוכו מופצים (איור א-14).



זרעונים עם ציצת שערות:
התאמה להפצה על-ידי רוח
(צמח ממשפחת המורכבים)



פרי עסיסי: התאמה להפצה
על-ידי בעלי-חיים
(עוזרר קוצני)



זרעים מופצים בעזרת הרוח מפרי
שנפתח בעודו על העץ
(הרדוף הנחלים)



פרי עם כנף: התאמה
להפצה על-ידי רוח
(מכנף נאה)

א.3 צמחים וחלקי צמחים לתיאבון ולבריאות

כל חלקי הצמח יכולים לשמש כמזון לאדם ולבעלי-חיים אחרים ולהכנת משקאות, כמוצג בטבלה א-2. חשיבותם העיקרית של המזונות מהצומח היא בהיותם מקור של פחמימות, חלבונים ושומנים ומקור של ויטמינים ומינרלים חיוניים. הם גם מעשירים את הרכב המזון בצבעים, ריחות וטעמים מגוונים. הדוגלים בתזונה צמחונית מדגישים את העובדה שצמחים יכולים לספק את כל הצרכים התזונתיים של האדם. צמחים מהווים גם מקור חשוב לייצור תרופות (אספירין הופק בעבר מעץ הערבה) ולתכשירים קוסמטיים (כגון אלה המכילים תמצית אלוןורה).

טבלה א-2: חלקי הצמח המשמשים כמזון ולהכנת משקאות

חלק הצמח	דוגמאות
שורש	גזר, צנון, סלק, סלק סוכר, לפת
גבעול	תפוח אדמה, קולרבי, קנה סוכר, אספרגוס
עלה	חסה, כרוב, פטרוזיליה, כוסברה, עלי סלרי, שמיר, תה, בצל ירוק, נענע, זעתר, לימונית
פרח / תפוחית	כרובית, ברוקולי, ארטישוק, עלי ורדים
פרי	עגבנייה, מלפפון, פלפל, חציל, אבוקדו, תפוז, בננה, תפוח, אגס, תאנה, תמר, קיווי
זרע	אגוזים שונים, חומס, סויה, שעועית, אפונה, קינואה, קוקוס, קפה, קקאו, שומשום

על מושגים: ירקות ופירות: ביולוגיה במטבח

בחיי היום-יום אנחנו מבחינים בין "ירקות", כמו עגבנייה, פלפל ומלפפון, לבין "פירות", כמו: תפוז, תפוח, אגס, אבטיח, מלון ועוד. אולם גם העגבנייה, הפלפל והמלפפון הם פירות במובן הביולוגי, משום שהם נוצרו מהפרח של הצמח והם מכילים בתוכם זרעים! חסה, כרוב ופטרוזיליה הם עלים, ואילו הכרובית והברוקולי הם קבוצות של פרחים רבים שטרם פרחו.



ביולוגיה במטבח: כולנו פירות!

?? שאלה א-5

בתפריט מסעדה מוצע סלט המכיל: חסה, מלפפון, עגבנייה, ענבים ואגוזים. הרוטב לסלט הוכן מ: שמן זית, חומץ תפוחים ודבש. רשמו ליד כל מרכיב בסלט וברוטב, מאיזה חלק של הצמח נלקח או הוכן.

קשר לאקולוגיה:

התאמות של
אורגניזמים
לסביבתם.

א3. דומים אבל שונים – התאמות צמחים לבית הגידול

המבנה הכללי של הצמח וחלקיו דומה בכל הצמחים ללא קשר לבית גידולם. אולם בבתי גידול שונים נראה התאמות של חלקי הצמח ואורח החיים לתנאים הייחודיים בבית הגידול.



רק נבט וכבר פרח (סביון)

א3.1 התאמה של מחזור החיים לבית הגידול

צמחים גדלים בכל פינה ומקום על פני כדור הארץ, גם באזורים שבהם התנאים אינם נוחים בחלק מחדשי השנה. מחזור החיים של צמחים, המבנה שלהם והתנאים באזור שהם גדלים בו קשורים זה בזה והדבר ניכר בהתאמות השונות שניתן להבחין בצמחים חד-שנתיים ובצמחים רב-שנתיים (גיאופיטים, שיחים ועצים) (טבלה א-3).

טבלה א-3: מחזור חיים ותנאים בבית הגידול

מחזור חיים	תנאי אקלים בבית הגידול
חד-שנתיים נובטים בתחילת החורף, פורחים באביב ומסיימים את מחזור חייהם לפני בוא הקיץ; הזרעים נשמרים רדומים כל תקופת הקיץ ושורדים את העונה היבשה מוגנים בקליפותיהם (קליפות הפרי ו/או הזרע)	אקלים ים תיכוני (שתי עונות מובחנות): חורף גשום ומספר שעות האור ביממה קטן יחסית, קיץ חם ויבש ומספר שעות האור גדול יחסית
בגיאופיטים (צמחים שיש להם חלק תת-קרקעי אוגר כמו בצל או פקעת) החלקים העל-קרקעיים נובלים ומתים בסוף החורף והחלק התת-קרקעי מצוי בתרדמה עד תום הקיץ ומצמיח עלים ופרחים בסתיו	
שיחים ועצים משירים עלים בקיץ או מחליפים את עלי החורף הגדולים בעלי קיץ קטנים	
חד-שנתיים נובטים באביב, פורחים במהלך הקיץ ומסיימים את מחזור חייהם לפני בוא החורף; הזרעים נשמרים רדומים כל תקופת החורף	אקלים ממוזג (ארבע עונות): חורף קר מאוד ומושלג, מעט שעות אור; אביב; קיץ חמים ולאחריו סתיו
בגיאופיטים החלקים העל-קרקעיים נובלים ומתים והחלק התת-קרקעי נשאר רדום בקרקע במהלך החורף	
שיחים ועצים מלבלבים באביב, פורחים בקיץ ומשירים עליהם בסתיו לקראת החורף	

?? שאלה א-6

- א. מה הדומה במחזור החיים של צמח חד-שנתי ושל גיאופיט באזורים שבהם עונות השנה שונות זו מזו? הסבירו.
- ב. הסבירו מהו היתרון לצמח המשיר את עליו (בחורף או בקיץ).

א2.3 התאמות של איברי הצמח לבית הגידול

כל אחד מאיברי הצמח העיקריים שתוארו לעיל יכול להופיע בצורות שונות שחלקן מהוות **התאמה** לבית הגידול של הצמח. בבתי הגידול ביבשה למשל נראה התאמות למצבים של מחסור במים בקרקע, טמפרטורות גבוהות וקרינה חזקה. לעומת זה בבית גידול מימי (נחל, אגם או ים) מובן שאין מחסור במים אך הצמחים עלולים לסבול ממחסור בחמצן ולהיפגע מזרמי מים חזקים. בצמחי המים מוצאים התאמות מיוחדות לתנאים אלה (טבלה א-4).



נימפיאה - צמח עם עלים שטוחים ורחבים צפים על פני המים

טבלה א-4: דוגמאות להתאמות של שורשים, גבעולים ועלים לבית גידול יבשתי ולבית גידול מימי

איבר הצמח	בית גידול יבשתי	בית גידול מימי
שורש	מערכת שורשים מסועפת (משקלה כשליש או יותר ממשקל הצמח) שורשים מסועפים החודרים עמוק לקרקע, יונקות רבות	מערכת שורשים מצומצמת, משקלה הוא אחוזים מעטים ממשקל הצמח, אין יונקות
גבעול	רקמות תמיכה והובלה מפותחות, גבעול מעוצה	רקמות תמיכה והובלה מצומצמות, גבעול עשבוני, חללים שבהם מאוחסן אוויר (חמצן), איברי ציפה
עלה	מכוסה בקוטיקולה עבה או בשערות או בשכבה בהירה; עלים קטנים בעונה יבשה, ועלים גדולים יותר בעונה גשומה	בצמחים שעליהם טבולים במים: העלים דקים, שטח פניהם גדול והם חסרי קוטיקולה; העלים גזורים לאונות וכך נמנעת קריעה על ידי-זרמי מים; בצמחים שעליהם צפים על פני המים, שטח העלים גדול מאוד

?? שאלה א-7

בחרו את אחד מבתי הגידול שבטבלה והסבירו מהם היתרונות של ההתאמות של כל אחד מחלקי הצמח לבית הגידול.

3.3 התאמות לחיים ביחד וליחסי גומלין עם אורגניזמים אחרים

הצמחים אינם חיים בבדידות אלא בעולם שבו חיים גם בעלי-חיים רבים, פטריות ומיקרואורגניזמים למיניהם. ליחסי הגומלין של צמחים עם אורגניזמים אחרים יש שני היבטים מנוגדים:

- ◆ משיכת מאביקים ומפיצי פירות וזרעים,
- ◆ הגנה מפני אוכלים למיניהם וגורמי מחלות.



דבורה מאביקה

ההתאמות למשיכת **מאביקים** מתבטאות במבנה הפרחים ובתכונותיהם: הם ריחניים, צבעוניים, יש להם צופנים המכילים צוף מתוק ושפע של גרגרי אבקה מזינים. חרקים למיניהם כגון חיפושיות ודבורים, ציפורים ובעלי-חיים אחרים, ניזונים מהצוף ומגרגרי האבקה. בד בבד הם מעבירים גרגרי אבקה מפרח לפרח ומסייעים לתהליך **ההפריה** וליצירת הפירות.

מעניין לדעת: תבלין, רעל או תרופה?



אצבעונית ארגמנית

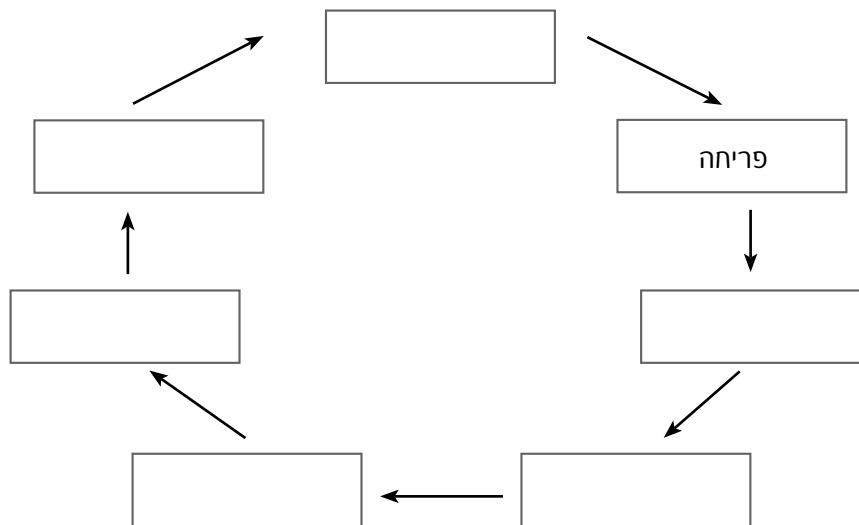
לא פעם דווקא החומרים הלא-טעימים והרעלים שהצמחים מייצרים כאמצעי הגנה מפני אוכליהם הם מקור לתבלינים ולתרופות שונות למחלות.

תבלינים: פלפל שחור מיוצר מזרעים ופלפל חריף מפרי הפלפל. תרופות: דיגיטליס הוא חומר רעיל המופק מעלים של הצמח אצבעונית ארגמנית. מאז המאה ה-18 משתמשים בחומר המופק מהצמח, בריכוז נמוך, לטיפול בהפרעות בקצב הלב. האינדיאנים בדרום אמריקה נהגו בזמנו למרוח חומר זה על ראשי החיצים שבהם השתמשו לצייד. החומר גרם לשיתוק שריריו של בעל-החיים הניצוד, מנע ממנו לברוח, גם אם פציעתו מהחץ עצמו היה קלה יחסית.

הכין מופק מצמח הקרוי **צִינְקוֹנָה** והוא חומר מר ורעיל בריכוזים גבוהים. עם זאת הוא משמש שנים רבות כתרופה כנגד מחלת הקדחת (מלריה).

?? שאלות לסיכום הפרק

1. בסעיף א1.2 (עמוד 10) למדתם על אורח החיים המיוחד של הצמחים. השוו בין אורח החיים של הצמחים לבין אורח החיים של אדם על פי 6 הנקודות בסעיף א1.2.
2.
 - א. העתיקו את האיור למחברתכם והשלימו אותו על ידי הוספת מושג מתאים בכל משבצת, מרשימת המושגים הבאה: נביטת זרעים, הפצת פירות וזרעים, הפריה, האבקה, יצירת פירות וזרעים, צמיחה.
 - ב. תנו שם לאיור.
 - ג. האם איור זה מתאים גם לצמחים חד-שנתיים וגם לצמחים רב-שנתיים? נמקו תשובתכם.



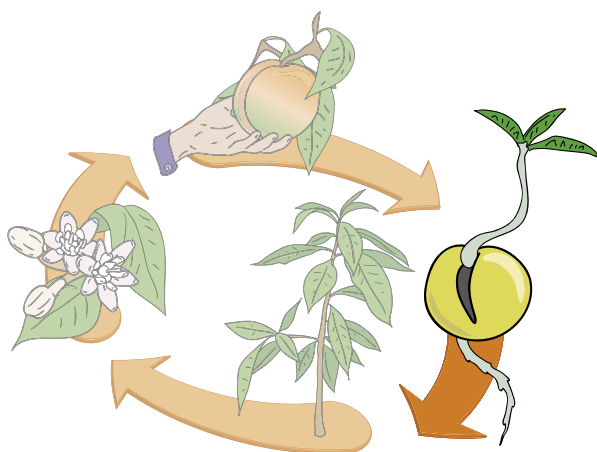
3. מיינו את המושגים שברשימת המושגים בסוף הפרק ל 3 - 6 קבוצות. תנו כותרת לכל קבוצה והסבירו מה הקשר בין המושגים שבחרתם לצרף לכל אחת מהקבוצות.

עיקרי הנושאים בפרק

- ♦ כיום מוכרים בעולמנו כ-260,000 מיני צמחים מכוסי זרע, והם נפוצים בכל מקום על פני כדור הארץ.
- ♦ בני האדם משתמשים בצמחים לצרכים רבים ושונים, למשל: מזון, מקור אנרגיה ותרופות.
- ♦ במחזור החיים של צמח יש שני שלבים: שלב של גדילה (שלב וגטיבי) ושלב של רבייה (שלב רפרודוקטיבי). מחזור החיים מותאם לתנאי האקלים בסביבת הצמח.
- ♦ שני מאפיינים חשובים באורח החיים של הצמחים הם דרך ההזנה האוטוטרופית והיותם קבועי מקום.
- ♦ לצמחים שני חלקים עיקריים: נצר ושורש. המשותף למבנה של שני החלקים הוא התפרסות במרחב על ידי הסתעפויות המגדילות את שטח הפנים יחסית לנפח.
- ♦ מבנה הנצר והשורש מותאם לקליטת המשאבים החיוניים מהסביבה: מים, מינרלים, CO_2 ואור.
- ♦ מבנה איברי הרבייה המתפתחים בשלב הרפרודוקטיבי מותאם להאבקה ולהפצת הדור החדש.
- ♦ הזרע הוא מבנה ייחודי לצמחים המשמש להפצת הדור החדש במרחב וגם בזמן.
- ♦ נביטת הזרע והתפתחותו לצמח בוגר יכולים להתרחש גם זמן רב לאחר שנוצר הזרע וגם הרחק מהמקום שבו גדל צמח האם.
- ♦ רבים מהצמחים מקיימים יחסי גומלין מגוונים עם בעלי-חיים המאביקים אותם ו/או מפיצים את פירותיהם וזרעיהם ועם זאת יש בהם מגננונים להגנה מפני בעלי-חיים הניזונים מהם.

מושגים חשובים בפרק

איברים	ניצן
גבעול	נצר
גורמים חיצוניים	עובר
גורמים פנימיים	עלים
האבקה	ענף
הפריה	פרח
זרע	פרי
חד-שנתי	רבייה
חומרי תשמורת	רב-שנתי
מחזור חיים	שורש
מכוסי זרע	שלב וגטיבי
נביטה	שלב רפרודוקטיבי



ב מזרע לנבט: תהליך הנביטה

מבוא

הזרעים הם המקשרים בין דור אחד של צמח לבין הדור הבא אחריו. בעופר שבזרע מצוי המידע התורשתי העופר מדור לדור. לאחר נביטתו של הזרע, בתנאים מתאימים, יתפתח צמח חדש.

זרעים יש רק לצמחים עילאיים, ונהוג לחלק צמחים אלה לשתי קבוצות על-פי דרך יצירתם של הזרעים: **חשופי זרע** - צמחים שהזרעים שלהם אינם מתפתחים בתוך פירות **ומכּוּסִי זרע** - צמחים שזרעיהם מתפתחים בתוך פירות (ראו איור א-3, בעמוד 6). מכּוּסִי הזרע הם מוקד העניין בספר זה משום שרוב הצמחים שבני-האדם משתמשים בהם כמזון ומנצלים אותם לצרכים אחרים, שייכים לקבוצה זו.

הרחבה: אשה על אבולוציה



צמחי הזרע הראשונים שהופיעו על פני כדור הארץ, לפני כ־350 מיליון שנה (הרבה לפני הדינוזאורים!) היו חשופי זרע. צמחים מכּוּסִי זרע התפתחו לאחר התפתחות הצמחים חשופי הזרע. מבין מגוון מיני הצמחים הידועים בעולמנו כיום, רק פחות מ־1,000 מינים הם חשופי זרע וכ־260,000 מינים הם מכּוּסִי זרע. חשוב לציין שצמחים חשופי הזרע כמו עצי המחס (אורן וברוש) מכסים שטחים עצומים והעצים מנוצלים כמקור לעץ ולתעשיית הנייר.

1. מבנה הזרע

- לכל מין צמח זרעים אופייניים לו, וניתן לראות הבדלים בגודל, בצורה ובצבע הזרעים. הבדלים נוספים כמו הרכב החומרים בזרע אינם נראים לעין. לכל הזרעים שלושה חלקים עיקריים:
- ♦ **עובר** שיתפתח בתנאים מתאימים לצמח והוא תחילתו של הדור החדש,
 - ♦ **חומרי תשמורת** - פחמימות, שומנים וחלבונים, שיזינו את הנבט ואת הצמח הצעיר בראשית דרכו. חומרי התשמורת אגורים בפסגים או ברקמה ייחודית - **אנדוספרם**.
 - ♦ **קליפה** המגנה על העובר מפני פגיעות ונזקים: נזק העלול להיגרם מחיכוך עם הקרקע, חדירת גורמי מחלות וטריפה על-ידי בעלי-חיים.

פעילות ב-1: תצפית בפרטים



השוו בין תכונות זרעים שונים (כגון: בוטן, אבוקדו, חיטה, משמש, מנגו, עגבנייה, פלפל, תפוח, תפוז) על פי תכונות אלה: גודל, תכונות הקליפה, גודל העובר.

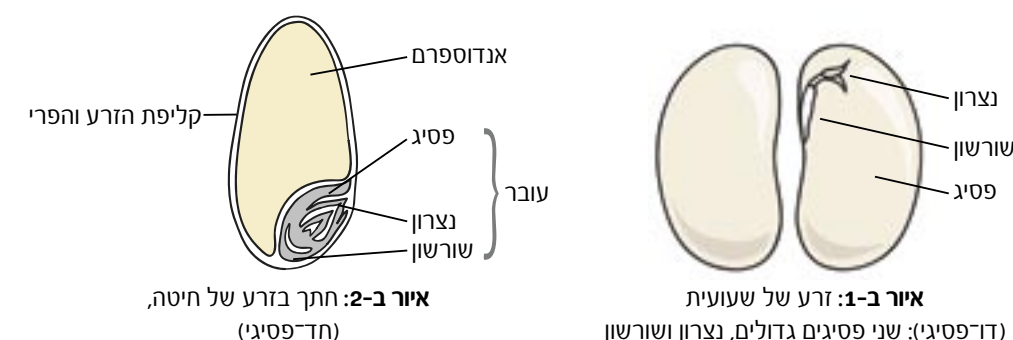
1.1 העובר

העובר הוא תוצר של תהליך ההפריה שהתרחש בפרח ונושא בתאיו מידע תורשתי שמקורו ב"הוריו". זהו למעשה צמח זעיר שעתיד להתפתח לאחר הנביטה לצמח בוגר. העובר כולל **שורשון**, **נצרון** ו**פסיג** אחד, או שני פסיגים ואף יותר (תלוי במין הצמח). השורשון יתפתח למערכת השורשים, הנצרון יתפתח לגבעול ולעלים. הפסיגים, המכילים **חומרי תשמורת**, יתרוקנו עם התקדמות תהליך הנביטה. בזרע של **שעועית** למשל, אפשר לראות את הצמח הזעיר המונח בין שני הפסיגים, ואף להבחין בחלקיו (איור ב-1): השורשון והנצרון.

הרחבה: חד-פסיגי ודו-פסיגי



צמחים מכוסי זרע נחלקים לקבוצות על פי מספר הפסיגים שבזרעיהם: **חד-פסיגיים** למשל: חיטה, תירס, בצל ו**חצב** (איור ב-2). **דו-פסיגיים** למשל: **שעועית** (איור ב-1), **בוטן**, **אפונה**. יש גם צמחים שזרעיהם רב-פסיגיים כמו האורן השייך לחשופי הזרע.



2.1.1 חומרי תשמורת

חומרי התשמורת - פחמימות, חלבונים ושומנים - הם המקור לחומרי הבניין המשמשים את העובר לגדילה ולהפקת אנרגיה עד לשלב שבו יש לנבט עלים ירוקים. בעלים הירוקים יתבצע תהליך הפוטוסינתזה שיאפשר לנבט לגדול ולהתפתח לצמח בוגר.

חומרי התשמורת אגורים בזרע ברקמה מיוחדת מסביב לעובר - **אנדוספרם** - או בפסיגים. יש זרעים שבהם הפחמימות הם חומר התשמורת העיקרי, ויש כאלה המכילים יותר שומנים מפחמימות (איור ב-3).

בזרעי **השעועית** או **הבוטן** ניתן לראות בבירור את העובר ואת הפסיגים בהם מצויים חומרי התשמורת המלווים את העובר בראשית דרכו לחיים עצמאיים. קל לראות שהפסיגים גדולים הרבה יותר מהעובר הזעיר ומהווים את רוב המסה (המשקל) של הזרע. במהלך הנביטה יתרחשו בפסיגים שינויים כימיים שיאפשרו לעובר לנצל את החומרים שבפסיגים לגדילתו ולהפקת אנרגיה.

חומרי התשמורת, בשל ערכם התזונתי הרב והאפשרות לשמרם לזמן ארוך, הם הסיבות לכך שזרעים משמשים מקור מזון חשוב לבני-אדם ולבעלי-חיים אחרים.

תכולת המים בזרעים של רוב מיני הצמחים היא נמוכה מאוד כ-10% (להשוואה: תכולת המים ברקמות הצמח היא: 80%-95%) וקצב פעולות החיים המתרחשות בהם הוא איטי ביותר וכמעט בלתי ניתן למדידה. הזרעים מתייבשים בתום התפתחותם על צמח האם כתוצאה מניתוק מערכת הובלת המים לפרי ולזרעים שבתוכו. תכולת המים הנמוכה של הזרעים היא אחת הסיבות לכך שזרע לא נובט מיד בתום הבשלתו, אלא רק לאחר שהוא נחשף למים שחדרו לתוכו ומאפשרים את הפעילות הביולוגית. תכולת המים הנמוכה מהווה יתרון לזרעים; הודות לכך הם יכולים לשרוד במצבים קיצוניים כמו יובש וכפור וגם בעת שהזרעים מופצים באוויר היבש לא נגרם נזק לעובר. למצב היבש של הזרעים יש גם חשיבות כלכלית, הוא מאפשר לשמור אותם לאורך זמן.



מזון מזרעים: גרעיני תירס מותפחים (פופקורן)

משימה - אורל עם עיניים ופסג

1 כוס עיניים ירוקות
3 כפות שמן זית
2 כפזים קצוצים דק
2 כוסות אורל מלא
מלח ופלפל שחור
1/2 4 כוסות מים
כאון

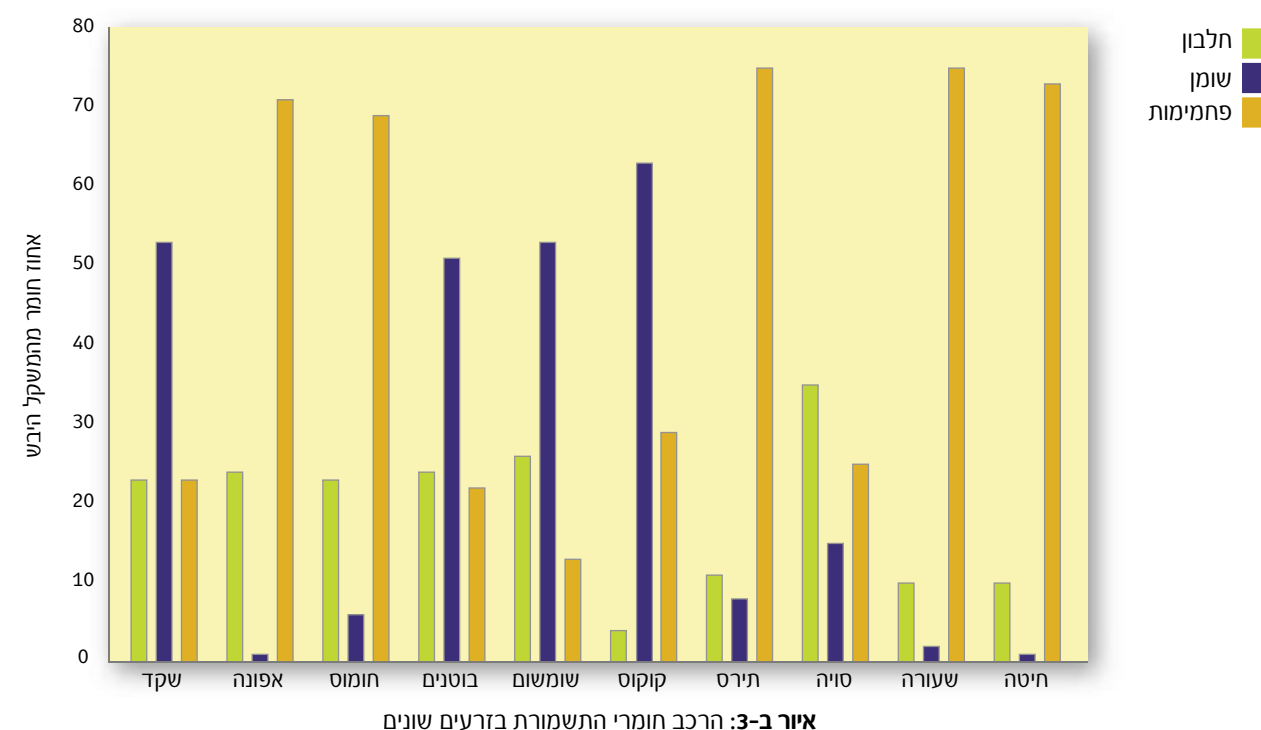
משרים את העיניים במים למשך 3 שעות. מסננים, מעבירים לסיר. מוסיפים מים עד כיסוי ומביאים לרתיחה. מבלעים עד להבה נמוכה עד שהעיניים יתרככו כ-20 דקות ומסננים.

מחממים בסיר כבד את השמן ומטגנים את הבלע עד שיזהיב. מוסיפים את האורל, מתבלים במלח ופלפל, כאון, מטגנים 2 דקות. מוסיפים את העיניים ומערבבים. מוסיפים את המים, מביאים לרתיחה, מבלעים עד להבה נמוכה כ-20 דקות. מכבים, משהים 15 דקות ומערבבים.

??

שאלה ב-1

- ענו על השאלות הבאות על פי הנתונים באיור ב-3:
- על פי המוצג באיור ב-3 מה המשותף לכל הזרעים?
 - באילו זרעים אחוז הפחמימות הוא הגבוה ביותר מבין חומרי התשמורת שבזרע?
 - באילו זרעים אחוז החלבונים גבוה מ-20%?
 - מהי חשיבותם של זרעים כמזון לבעלי-חיים ולבני-אדם? נמקו.
 - לצמחוניים ממליצים לשלב בתזונתם מוצרי מזון שיוצרו מזרעי חיטה או שעורה עם בוטנים או זרעי סויה. מהו הבסיס להמלצה זו?



3.1 ב קליפת הזרע

הקליפה היא השכבה החיצונית העוטפת את הזרע ומגינה עליו מפני פגיעה מכנית, מפני גורמי מחלות ומפני פעילות כימית (למשל: מיצי העיכול בקיבת בעלי-חיים). ברוב הזרעים הקליפה אינה אטומה למים, אך באותם זרעים שקליפתם בלתי חדירה למים ו/או לאוויר הנביטה נמנעת או מתעכבת כל עוד הקליפה שלמה.

הקליפה יכולה להכיל גם חומרים מעכבי נביטה. קליפה קשה יכולה לעכב נביטה כתוצאה מהתנגדות מכנית לצמיחת השורש.

לעתים יש לקליפה תפקיד גם בהפצת הזרעים במרחב. למשל: תוספת של שערות מסייעת להפצה בעזרת רוח (איור ב-4), קליפה הבנויה רקמת שעם ספוגית ומכוסה מעטה אטום למים, מאפשרת הפצה באמצעות מים.



איור ב-4: מבנה זרעים שמתאים לדרך הפצתם. ימין: זרעי הרדוף בעלי שערות מותאמים להפצה על ידי רוח; שמאל: זרעי חבצלת החוף שקליפתם עשויה רקמת שעם ספוגית, מותאמים להפצה באמצעות מים

2. תהליך הנביטה

הנביטה היא שלב חשוב מאוד במחזור חייו של הצמח, מכיוון שמועד הנביטה ומקום הנביטה קובעים במידה רבה את סיכוייו של הנבט להתפתח לצמח בוגר, לשרוד ולהעמיד צאצאים. המלאי המוגבל של חומרי התשמורת מחייב שהנבט יתבסס ויוכל לחיות חיים עצמאיים בטרם יאזל מלאי חומרי התשמורת. במהלך שנים רבות מאוד של אבולוציה התפתחו בצמחים מנגנונים לבקרה של מועד הנביטה והתאמתו לתנאי הסביבה. מנגנונים אלה מבוססים על יכולת הזרע לחוש באותות סביבתיים המעידים על התנאים בסביבה, כגון נוכחות מים, מספר שעות האור וטיבו והטמפרטורה.

מעניין לדעת: מה בין פרח לבזיזה?



"צידה לדרך": זרע של אבוקדו וביצה של תרנגולת - דומים בצורה ובתפקוד

חומרי המזון שבזרע הם תרומת הצמח ההורה לצאצאיו, מעין "צידה לדרך". מבחינה זו דומים החומרים שבזרעים לחומרים שבביצת הזוחלים והעופות שגם הם נוצרו בגוף ההורה ומשמשים את הדור החדש בראשית דרכו.



מהם היתרונות של התרדמה בזרעים? מדוע לא לנבט מיד?

השהייה במצב תרדמה היא תכונה חשובה של זרעים, משום שהיא מאפשרת לזרע לנבט בתנאים המתאימים ביותר לנביטה, לצמיחה ולייצור דור חדש של זרעים. בארצנו, נביטה לאחר גשם חד-פעמי בעונת הקיץ השחונה יכולה לגרום לתמותה המונית של נבטים. מכאן שלזרעים רדומים של צמחי חורף חד-שנתיים יש יתרון ברור מהמתנה במצב תרדמה עד רדת הגשמים בעונה המתאימה.

מעניין לדעת: הפרע העתיק ביותר בעולם שנמצא ונבט



"מתושלח"

בשנת 1963 נמצאו בחפירות ארכיאולוגיות במצדה כמה זרעים של עץ התמר. גילם, על פי המחקרים שנערכו, הוערך ב-2000 שנים לערך. בשנת 2005 נזרעו חמישה מהזרעים בקיבוץ קטורה שבנגב. 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 1000 שנים (ועדיין צעיר מזרע התמר). האם "מתושלח" העץ הוא זכר או נקבה יידעו החוקרים רק כאשר העץ יגיע לפריחה. (מדוע?) על כך תקראו בפרק ד' העוסק ברבייה.

לשהייה במצב תרדמה וליכולת להפיץ את הזרעים יש יתרונות להמשכיות המין. הן מאפשרות פיזור בזמן וגם פיזור במרחב המגדילים את סיכויי של המין לשרוד. כלומר יש סיכוי שהדור החדש יתפתח במועד שבו התנאים טובים הן לנביטה והן להמשך ההתפתחות. גם ייתכן שהדור החדש יתפתח במקום אחר שבו הוא אינו חשוף לתחרות ואולי התנאים האביוטיים והביוטיים הדרושים להתפתחותו טובים יותר מאשר במקום היווצרותו, סמוך לצמח האם.

עם זאת לשהייה במצב תרדמה ולהפצה במרחב ייתכנו גם חסרונות. תרדמה ממושכת מגדילה את הסכנה שהזרעים ייכלו או ייפגעו על ידי גורמי מחלה, כמו פטריות או ייפגעו בשריפה במהלך התרדמה. ובאשר להפצה - ייתכן שהזרעים יגיעו למקום שבו אין תנאים מתאימים לנביטה ו/או להמשך התפתחות הנבט.

פעילות ב-2: הנבט לרעים



בחרו כמה מיני זרעים המצויים במטבח שבביתכם שאותם תרצו להנביט: חיטה, פלפל, אפונה, חומס, שעועית, עדשים, תירס (פופקורן) וכדומה.

- ♦ הכינו צלחות חד-פעמיות כמספר מיני הזרעים שברצונכם להנביט. רפדו את הצלחות בכמה שכבות של מגבות נייר והרטיבו אותן.
- ♦ השרו את הזרעים במים למשך הלילה.
- ♦ אחרי ההשריה הניחו על כל אחת מהצלחות 10 זרעים של מין אחד. מדי יום הציצו במתרחש ובדקו האם התחילה נביטה.
- ♦ הרטיבו את הצלחות מדי פעם.
- א. רשמו את תצפיותיכם מדי יום.
- ב. לאחר כשבוע ספרו את מספר הזרעים שנבטו וחשבו את אחוזי הנביטה לכל מין בדרך הבאה:

$$\frac{\text{מספר הזרעים שנבטו} \times 100}{\text{מספר הזרעים שנזרעו}}$$

- ג. אם אחוז הנביטה נמוך מ-50% או שהזרעים לא נבטו כלל - העלו שתי השערות העשויות להסביר את הממצאים.
- ד. הכינו טבלה שבה תשוו בין מיני הזרעים השונים. התייחסו לאחוז נביטה, כיצד נראים הנבטים וכמו כן משתנים נוספים שאותם תבחרו להוסיף לטבלה.

1.2.2 תרדמה בזרעים

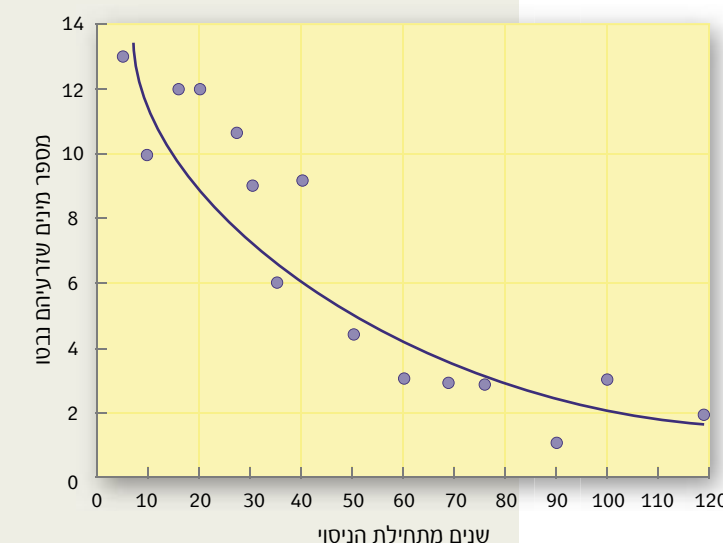
יש זרעים שנובטים מיד עם רדת הגשם הראשון או לאחר השקיה. יש זרעים המאבדים את היכולת לנבט לאחר ימים ספורים מהבשלתם ויש זרעים של צמחים רבים שאינם נובטים מיד גם בתנאים מתאימים לנביטה, משום שהם נמצאים במצב **תרדמה** שיכול להימשך זמן רב. משך הזמן שזרע יכול להישאר במצב תרדמה משתנה בהתאם לסוג הצמח ותלוי גם בתנאים הסביבתיים. יש זרעים השורדים במצב של תרדמה שנים אחדות מבלי לאבד את כושר נביטתם. התרדמה מושפעת ממידת חדירות קליפת הזרע למים וקשיותה, מנוכחותם של חומרים מעכבי נביטה וממידת התפתחותו של העובר. היציאה ממצב התרדמה תלויה הן **בגורמים הפנימיים** והן **בגורמים החיצוניים** (הסביבתיים) כמו אור, חמצן וטמפרטורה מתאימה.

חומרים **מעכבי נביטה** נמצאים גם בפירות מסוימים והם מעכבים את הנביטה של הזרעים הנמצאים בפרי עצמו. למשל בצמח *גרגרנית ערבית* הגדל במדבר מצויים חומרים מעכבי נביטה בקליפת התרמיל. רק לאחר שירד גשם רב ששטף את החומרים המעכבים, תתאפשר נביטה. מניעת הנביטה של הזרעים בתוך הפרי מעלה את הסיכוי שהנביטה תתרחש לאחר שיופצו הפירות והזרעים בתוכם.



אשנה לאחקר ב-1: כמה שנים שוארים זרעים את כושר הנביטה?

השאלה לעיל עוררה את סקרנותו של החוקר האמריקאי ד"ר ג'יימס ביל (James Beal). בשנת 1879 הוא הכין 20 כלים ובהם חול וזרעים של 23 מיני צמחים (50 זרעים טריים מכל מין בכל כלי). את הכלים עם הזרעים טמן החוקר בקרקע בצורה שמנעה חשיפה לאור וכניסת מים. מדי כמה שנים הוצא מהקרקע כלי אחד, והזרעים שבתוכו הונבטו. ב-40 השנים הראשונות הוצאו כלים מהקרקע מדי 5 שנים, ובשנים שלאחר מכן הוארך פרק הזמן שבין בדיקה לבדיקה ל-10 שנים ואף ל-20 שנה. בכל בדיקה נקבע מספר המינים שזרעיהם הצליחו לנבט. ברוב המקרים לא נבטו כל 50 הזרעים שהוכנסו לכלי בתחילת הניסוי, אולם גם אם נבטו זרעים בודדים של מין מסוים הוא נכלל בספירת המינים שנבטו באותה שנת בדיקה. הכלי ה-15 (מתוך 20) הוצא מהקרקע בשנת 2000, 120 שנה לאחר שנטמן בקרקע! תוצאות הניסוי נאספו במהלך השנים ומוצגות באיור ב-5.



איור ב-5: מספר המינים שזרעיהם נבטו במהלך השנים. שימו לב: הנקודות מסמנות את התוצאות שהתקבלו בכל שנת בדיקה, והקו מסמן את המגמה הכללית העולה מהתוצאות

- תארו את ממצאי הניסוי על סמך הנתונים המוצגים באיור ב-5.
- לפניכם רשומות כמה מסקנות. ציינו לגבי כל מסקנה האם היא מתאימה לממצאים ונמקו.
 - כל מיני הזרעים שוארים על כושר הנביטה לפחות 5 שנים.
 - כושר הנביטה הולך ויורד עם השנים.
 - כמחצית ממיני הזרעים בניסוי שוארים על כושר הנביטה למשך כ-20 שנים.
 - רק מינים מעטים שוארים על כושר הנביטה במשך יותר מ-50 שנה.
- החוקרים ימשיכו להוציא מדי כמה שנים מהקרקע את 5 הכלים שנותרו. מה לדעתכם, יהיה מספר המינים שזרעיהם ינבטו בשנים הבאות? על מה מבוססת השערתכם?
- במקביל להנבטת הזרעים מהכלים שנטמנו בקרקע והוצאו ממנה, הוסיפו החוקרים תבנית הנבטה עם מצע זהה לזה שבו הונבטו הזרעים, אך ללא זרעים. תבנית זו הועמדה לצד התבניות שבהן הונבטו הזרעים והיא הושקתה באותן כמויות של מים. בתבנית זו לא נבט דבר. הסבירו מהי החשיבות של ממצא זה.

מעניין לדעת: בנק זרעים



ברחבי העולם קיימים כ-1,300 בנקים של זרעים, שבהם נשמרים זרעים של יותר מ-6 מיליון אוכלוסיות ומינים שונים של צמחים, שהם רק חלק קטן ממגוון המינים והאוכלוסיות הקיים בעולם. מטרת בנקים אלו לשמר את מגוון הצמחים, בפרט אלה שבהם תלוי קיומם של בני-האדם. הזרעים מוחזקים במקומות רבים בכספות תת-קרקעיות בטמפרטורה של 20 מעלות מתחת לאפס.

בעקבות אבדנם בשנים האחרונות של מספר בנקי-זרע (בעירק, אפגניסטן, ועוד), וכדי להבטיח את שימורם של הזרעים, הוקם בנק הזרעים באי סוולברד (Svalbard) שבנורווגיה, בסמוך לקוטב הצפוני. הבנק ממוקם במנהרה שנחפרה בתוך הר, והוא מתוכנן כך שלא ייפגע מאסונות למיניהם כגון רעידת אדמה ומלחמה גרעינית. מיקומו של הבנק קרוב לאזור הקוטב מהווה יתרון, מכיוון שאין צורך במקורות אנרגיה חיצוניים להורדת הטמפרטורה להקפאת הזרעים.

זרעים עשויים להישמר מאות ואפילו אלפי שנים (היזכרו בזרע התמר "מתושלח"), עם זאת רוב הזרעים אינם נשארים חיוניים למשך זמן כה ארוך, ולכן יש לרענן את המאגר מידי פעם באמצעות זריעת הזרעים לצורך קבלת זרעים חדשים.

גם בישראל הוקם ב-1979 בנק זרעים ומטרתו לשמר זרעים של צמחים בעלי חשיבות לחקלאות בישראל ובמזרח התיכון.

2.2 מתרדמה לנביטה

היציאה ממצב התרדמה ("שבירת תרדמה") והמעבר לנביטה ולגדילה של העובר תלויים בסילוקם של אותם גורמים ששמרו על הזרע במצב של **תרדמה**. תרדמה שגורמת בשל קליפות המונעות כניסת מים ו/או חמצן אפשר ל"שבור" על ידי סילוק המכשול, כלומר סילוק הקליפה או המעטה הקשה. בזרעים בעלי קליפה קשה מאוד (כדוגמת *זית*, *משמש*, *אפרסק* ו*שזיף*) שחיקת הקליפה באמצעים מכניים או כימיים תזרז נביטה.

לרבים מצמחי החורש בארץ, כגון: *אשחר* ארץ ישראל, *בר-חית*, *עוזרר קוצני* יש פירות צבעוניים ועסיסיים הנאכלים על ידי ציפורים. הזרעים מופרשים ללא פגע עם הלשלת של הציפורים במרחק רב ממקום גידולו של הצמח וכך הם מופצים למרחק מצמח האם; לעתים נביטתם אף מזורזת בעקבות המעבר במערכת העיכול של הציפור. במיני צמחים אחרים הנביטה מתאפשרת דווקא לאחר שריפה: זרעים בעלי קליפה עבה או אטומה למים ינבטו לאחר שיחרכו בעקבות שריפה, למשל: זרעי *קידה שעירה* ומיני *לוטם*.



עץ עוזרר ופירות



התארכות השורשון והצצת הניצרון נביטה בזרעי עדשים

הצצת השורשון

מקובל לחלק את תהליך הנביטה לשלושה שלבים:

1. **תפיחה**,
2. תחילת **נשימה תאית ופעילות אנזימתית**,
3. בקיעת **השורשון** ואחריו **הניצרון**

לאחר שלבים אלו הנבט מתחיל לצמוח.

משך הנביטה משתנה בין צמח לצמח ונע בין מספר שעות (ואף פחות מיממה) למספר ימים, תלוי במין הצמח ובתנאי הנביטה.

לכולנו מוכר הביטוי "ללא מים אין חיים" ואכן, תנאי מוקדם והכרחי לנביטה הוא **מים**.

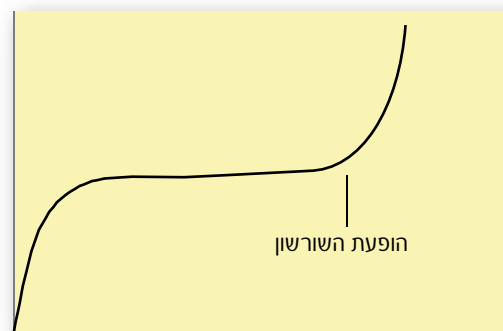
תפיחה

הצורך במים בשלב התפיחה בנביטה נובע מתכונה של תאים חיים: הפעילות הביולוגית והכימית בתאים מתרחשת בתמיסה מימית.

קליטת המים גורמת לתפיחה נראית לעין של הזרע. התפיחה מגדילה מאוד את נפחו וגורמת להפעלת תהליכים של חילוף חומרים בתאים. התפיחה מתרחשת **גם אם העובר מת**, אך השלב השני - נשימה תאית ופעילות אנזימתית - יתרחש רק אם העובר חי. שיעור ספיחת המים הגורם לתפיחה תלוי בהרכב הכימי של החומרים הסופחים בזרע, בחדירות הקליפה למים ובזמינות המים לצמח.

תהליך התפיחה נמשך מספר שעות ובמהלכן חודרים מים לזרע ונספחים לחומרים שבו. החלבונים סופחים את עיקר המים. בעקבות חדירת המים נוצר בתוך הזרע לחץ הפועל מבפנים על הקליפה. לחץ זה גורם לסדקים בקליפה ואף לבקיעת הקליפה במקומות שונים. לרוב נבקעת הקליפה מול השורשון, והוא פורץ החוצה דרך הפתח שנוצר. בקיעת הקליפה מאפשרת מעבר גזים ומים מהיר יותר, אלו חיוניים להמשך הנביטה (איור ב-6).

קליטת מים (עלייה במשקל רטוב)



זמן (שעות)



איור ב-6: ימין: זרעים יבשים של חומס לצד זרעים שתפחו; שמאל: מהלך כללי של קליטת מים על ידי זרע יבש בתלות בזמן



אשנה לאחקר ב-2: קליפה עבה ונביטה

למינים רבים של צמחים יש זרעים בעלי קליפה שאינה מאפשרת חדירת מים לזרע. כניסת מים לזרע חיונית לתהליך הנביטה. כאשר נכנסים מים אל תוך הזרע הוא תופח. בניסוי שתוצאותיו מובאות בטבלה ב-1 נחשפו זרעים של מיני שיטה לשני טיפולים: א: השריית הזרעים למשך 72 שעות בכוהל הממיס חומרים בקליפה ומאפשר כניסת מים, ב: שיוף של הקליפה הקשה. קבוצה נוספת של זרעים מכל מין לא עברה כל טיפול.

טבלה ב-1: אחוז הזרעים שתפחו במים לאחר טיפולים שונים

מין השיטה*	% הזרעים שתפחו במים		
	לאחר שיוף	לאחר השרייה בכוהל	ללא טיפול
מין א	100	29	18
מין ב	100	88	9
מין ג	100	10	0
מין ד	93	46	2
מין ה	98	34	14

* הערה: לסוג שיטה יש כמה מינים (למשל: שיטה כחלחלה, שיטה סלילנית, שיטת הסוכך).

- מהו הגורם העיקרי המעכב תפיחה בזרעי השיטה? נמקו על סמך התוצאות המוצגות בטבלה.
- הסבירו מדוע הוסיפו החוקרים גם קבוצת זרעים מכל מין ללא טיפול.
- בחרו שלושה מינים והציגו את הממצאים באופן גרפי.
- האם תבחרו לסרטט גרף רציף או עמודות? הסבירו בחירתכם.
- שערו איך נובטים זרעים של עצי שיטה בטבע? התבססו בהשערתכם על תוצאות הניסוי.

3.2.1 שלבים בתהליך הנביטה

המעבר מזרע רדום ויבש לצמח פעיל הגדל במהירות הוא תהליך מורכב שגורמים רבים מעורבים בו ומשפיעים עליו. תחילת התהליך בקליטה של מים וסופו בהצצה של הצמח הצעיר מתוך קליפות הזרע. לכל אורכו של תהליך הנביטה עומדים לרשות העובר שבזרע המאגרים של חומרי תשמורת שקיבל מהוריו, והם משמשים אותו עד למועד שבו יעמוד ברשות עצמו ויוכל לייצר בעצמו חומרים אורגניים בתהליך הפוטוסינתזה ולקלוט מהקרקע את המים והמינרלים הדרושים לו.



מעניין לדעת: זרעים מבקשי סלעים

בתכונה זו של גידול נפח של זרעים תופחים השתמשו בעבר לביקוע סלעים. נהגו לקדוח בסלע חור צר ועמוק, למלא אותו בזרעים ולהוסיף מים. בעקבות זאת הזרעים תפחו וביקעו את הסלע הקשה.

?? שאלה ב-2

החומר העיקרי הסופח מים בזרע הוא חלבון. עיינו שוב באיור ב-3 ורשמו אילו זרעים מתאימים ביותר לביקוע סלעים? נמקו.



פעילות ב-3: שינוי הנפח של זרעים תופחים

- ◆ קחו 30 זרעים יבשים של חומוס (קטניות) ו-50 זרעים יבשים של תירס-פופקורן (דגניים).
- ◆ הכניסו את זרעי החומוס למשורה שיש בה 50 סמ"ק מים. רשמו את גובה המים וחשבו את נפח הזרעים שהכנסתם למשורה.
- ◆ חזרו על המדידה עם זרעי התירס וחשבו את נפח הזרעים שהכנסתם למשורה.
- ◆ התפיחו את זרעי החומוס ואת זרעי התירס בכלי שיש בו מים למשך 24 שעות.
- ◆ מדדו את הנפח של הזרעים התפוחים, כפי שעשיתם לפני ההתפחה.
- ◆ חשבו את הנפח הממוצע של זרע יבש ואת הנפח הממוצע של זרע שתפח, של כל אחד מסוגי הזרעים.



תירס לפני תפיחה תירס אחרי תפיחה חומוס לפני תפיחה חומוס אחרי תפיחה

א. העתיקו את הטבלה הבאה למחברתכם והציגו בה את התוצאות של חישוב השינוי בנפח הזרעים. רשמו כותרת מתאימה לטבלה.

	נפח ממוצע של זרע יבש (סמ"ק)	נפח ממוצע של זרע שתפח (סמ"ק)	השינוי בנפח הזרע (באחוזים)
חומוס			
תירס			

ב. הציגו את התוצאות בדרך גרפית מתאימה.

ג. באיזה ממני הזרעים השינוי גדול יותר? הציגו הסבר להבדל זה (היעזרו באיור ב-3).



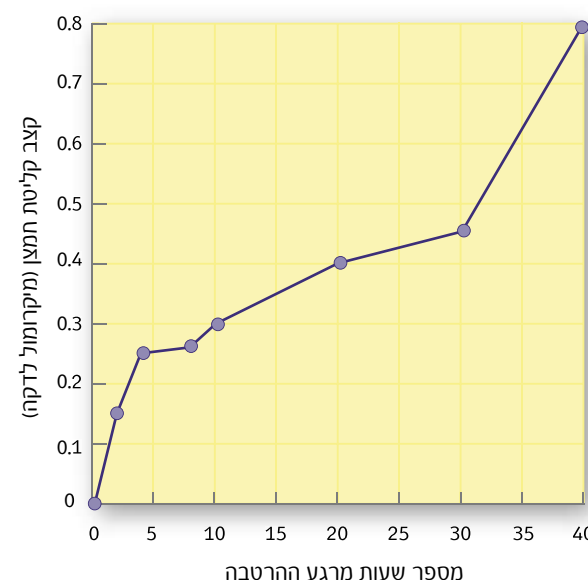
הרחבה: נשימה תאית ופעילות אנליטית

נשימה נמרצת היא אחד הסימנים הראשונים ל"התעוררות" העובר שבזרע מתרדמתו. צמחים, כמו בעלי-חיים, זקוקים לחמצן לתהליכי הנשימה המתרחשים בתאיהם, וכך גם הזרע הנבט. אחד התהליכים הראשונים המתרחשים בזרע שתפח כבר לאחר מספר דקות, הוא תהליך **הנשימה התאית** שבו מופקת אנרגיה כימית כ-ATP. העובדה שקצב הנשימה התאית גובר כבר לאחר זמן קצר מאוד מעידה שכל האנזימים הדרושים לתהליך הנשימה התאית קיימים בזרע ושרדו את התקופה הארוכה שבה הזרע היה במצב יבש כמעט לחלוטין. בתהליך הנשימה התאית נצרך חמצן (O_2) ונפלט פחמן דו-חמצני (CO_2), ולכן ללא נוכחות חמצן בקרקע לא תתרחש נביטה. הרכב האוויר בקרקע משתנה עם העומק ועם מידת הרוויה במים. בדרך כלל ריכוז ה- CO_2 בקרקע גבוה יותר מריכוזו באוויר עקב נשימת מערכת השורשים ונשימת האורגניזמים החיים בקרקע. ריכוז גבוה של CO_2 עלול לעכב ולהאט את תהליך הנביטה. בקרקע מוצפת במים או בעומק רב מאוד עלול להיווצר מחסור בחמצן. יוצאי דופן הם זרעים של אורז שנובטים בקרקע רוויה במים, ושל צמחי מים המסוגלים לנבט גם בתנאים של מיעוט חמצן.

?? שאלה ב-3

השאלות הבאות מתייחסות לאיור ב-7:

- תארו את השינויים בקצב קליטת החמצן במהלך 40 שעות.
- מה ניתן להסיק מאיור ב-7? נמקו.
- האם כעבור 40 שעות מההרטבה תמצא בזרעים כמות זהה של חומרי תשמורת כמו בזרע יבש? נמקו.



איור ב-7: שינויים בקצב קליטת החמצן בזרעי חסה במשך 40 שעות מרגע הרטבתם

קשר לתא:

הפקת אנרגיה
בנשימה תאית
ו-ATP.

קשר לתא:

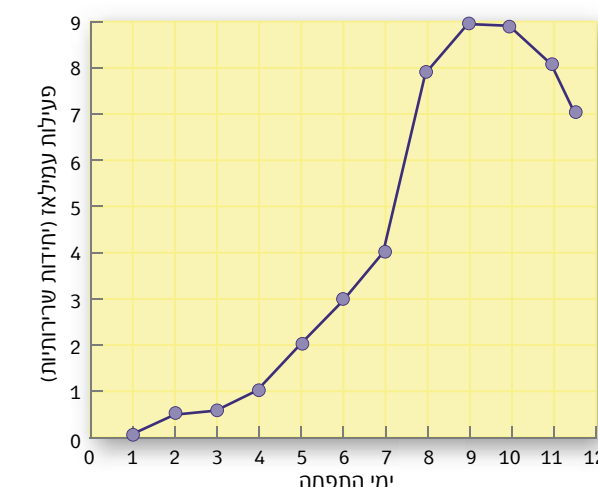
הרכבת חלבון 8
פי מידע ב-RNA.
חומרים כתא -
פחמימות.

פעילות אנזימים בזרע נובט

בשלב השני של הנביטה פועלים בזרע בעיקר אנזימים המפרקים את חומרי התשמורת שבאנדוספרם ובפסיגים ליחידות היסוד: עמילן לחד-סוכר, חלבונים לחומצות אמיניות, שומנים לחומצות שומניות. חומר התשמורת העיקרי המנוצל לנשימה התאית הוא העמילן (רב-סוכר) האגור בזרע וכדי לנצלו יש לפרקו בעזרת **אנזימים** מפרקי עמילן כמו **עמילאז** (איור ב-8). תוצרי הפירוק עוברים אל אזורי הצמיחה בעובר.

בזרע הנובט מתרחשת גם הרכבה של **חלבונים** בעזרת ה**ריבוזומים** הקיימים בתאיו וריבוזומים חדשים הנוצרים בו. עם התקדמות הנביטה נוצרות מולקולות חדשות של mRNA (RNA שליח). מכאן ברור שכל המידע התורשתי, חומרי הגלם והאנזימים הדרושים להתפתחות הצמח החדש נמצאים ופועלים בזרע הנובט.

באיור ב-8 מתוארת פעילות האנזים עמילאז בגרגרי שעורה מותפחים.



איור ב-8: פעילות עמילאז במהלך ימי ההתפחה של גרגרי שעורה

הרחבה: הורמונים ונביטה



בזרע נוצרים ומופעלים **הורמונים** ויש להם תפקיד חשוב לא רק בנביטה אלא בכלל התהליכים המתרחשים בצמח המתפתח. אחד ההורמונים החשובים ביותר בנביטה הוא ההורמון **גיברלין**. הג'יברלין מעורר את הזרעים **מתרדמה** הנגרמת על ידי חומרים מעכבים ומעודד נביטה של זרעים הזקוקים לאור לנביטתם. הג'יברלין גם מעודד בנייה של אנזימים המעורבים בפירוק חומרי התשמורת כגון האנזים **עמילאז**.

על הורמונים נוספים המשפיעים על הנביטה ועל התפתחות הצמח, תקראו בפרקים ג' ו-ד'.

גורמים חיצוניים המשפיעים על הנביטה

בסביבתם הטבעית של הצמחים הנביטה מושפעת מכמה גורמים ב־זמנית. ללא מים לא תיתכן נביטה בשום מקרה, אך לעיתים נחוצים תנאים נוספים לנביטה והעיקריים שבהם הם האור, ה**טמפרטורה** וריכוז החמצן (ראו הרחבה בעמוד 37). גם תנאי ההארה חשובים. יש מיני זרעים שינבטו רק באור, ומינים אחרים ינבטו בחושך דווקא. גורמים נוספים העשויים להשפיע על הנביטה הם ריכוז מלחים בקרקע ונוכחות חומרים מעכבי נביטה שהופרשו על ידי צמחים אחרים.

השפעת האור על נביטה

השפעת ה**אור** על נביטה נחקרה רבות. במינים רבים של צמחים נמצא שנביטת הזרעים אינה מושפעת מתנאי ההארה שבה הם מצויים. במיני צמחים אחרים נמצא שאור משפיע על תהליך הנביטה עוד קודם שהציצו העלים הראשונים. יש מיני צמחים שבהם האור מעודד נביטה, לעומת זאת במינים אחרים אור דווקא מדכא את הנביטה. היתרון ברגישות של הזרעים לתנאי ההארה הוא בכך שניתן לקבל מידע לגבי מיקומו של הזרע - האם הוא נמצא בצל (למשל: מתחת לעצים) או בעומק הקרקע בתנאי אור שאינם מתאימים לצמיחה.

הצורך באור כתנאי לנביטה מגדיל את סיכוייהם של הזרעים לנבט אם הם נמצאים בקרבת פני הקרקע. במצב זה יש סיכוי גדול שהנצרון המתפתח יגיע לפני הקרקע ויחשף לאור לפני שכל חומרי התשמורת שבזרע ינוצלו. חשוב לזכור שכמות חומרי התשמורת היא מוגבלת, והמשך 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.

מנגד יש זרעים שנביטתם מעוכבת באור. עיכוב הנביטה באור מגדיל את הסיכוי שהזרע ינבט בקרקע ולא מעליה, כשהוא חשוף להתייבשות. עיכוב נביטה באור מתרחש בדרך כלל בזרעים גדולים המכילים כמות גדולה של חומרי תשמורת. במקרה זה גם אם הזרע טמון עמוק בקרקע טובים סיכויי הנצרון להגיע לפני הקרקע בטרם ינוצלו כל חומרי התשמורת שלו.

בצמחים שנביטת זרעיהם מעוכבת על-ידי אור, למשל זרעי *חבצלת החוף* שיעור הנביטה של זרעים המכוסים בחול גבוה יותר.

השפעת הטמפרטורה על הנביטה

זרעי צמחים שמקורם באזורים ממוזגים או קרים זקוקים לתקופה של שהייה בטמפרטורה נמוכה לפני שיוכלו לנבט. באיור ב-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.

עוד על:

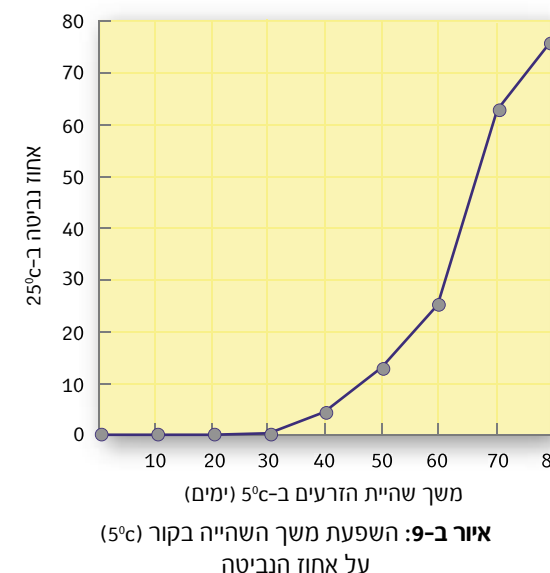
ההורמון ג'יברלין
בפרק ז'.

??

שאלה ב-5

השאלות הבאות מתייחסות לגרף באיור ב-9:

- מהו המשתנה הבלתי תלוי בניסוי?
- מהו מספר הימים 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?



נביטה לאחר תקופת שהייה בקור אופיינית לצמחים הגדלים באזורים שבהם החורף קר מאוד. נביטה לאחר שהייה בקור מבטיחה שהזרעים לא ינבטו במהלך החורף הקר, אלא רק באביב שלאחריו, כאשר הטמפרטורה ותנאי האור מתאימים יותר לנביטה ולצמיחה ומגדילים את סיכויי של הצמח הצעיר לשרוד.

באקלים הים תיכוני השורר בישראל מחזור החיים שונה, והצמחים נובטים בחורף שבדרך כלל אינו קר במיוחד, ולאחר רדת הגשמים הראשונים.

שבירת התרדמה בעקבות חשיפה לטמפרטורה גבוהה פחות נפוצה. היא נפוצה בצמחים שבבית גידולם הטבעי החורף מתון והקיץ חם. זרעיהם נובטים בסתיו, לאחר הקיץ החם, ופורחים באביב.



לוטם מרווני

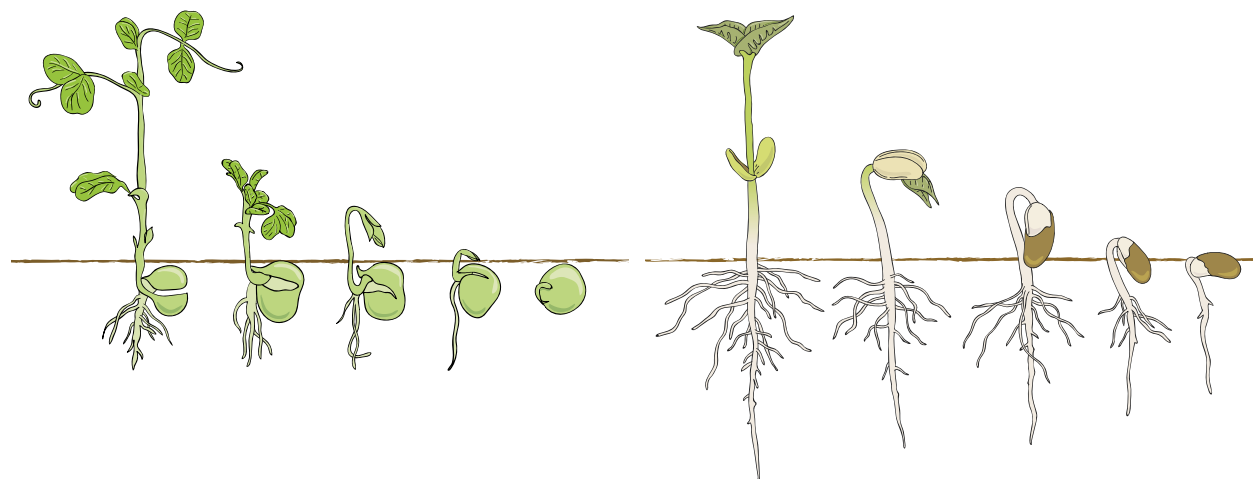


לוטם שעיר

טמפרטורה גבוהה מאוד, כמו זו הנוצרת בעת שריפה, תורמת גם היא לנביטה של צמחים מסוימים. בשנים האחרונות אף התחזקה הדעה ששריפות טבעיות חשובות להתחדשות יערות וחורשים, משום שהן מעודדות נביטה של זרעים שבתנאים רגילים אינם נובטים. מחקר שנעשה בארץ בחורשות שנשרפו, גילה שהאש עודדה את נביטתם של מינים שונים: קידה שעירה, לוטם מרווני, לוטם שעיר ומיני פרפרניים. זירוז הנביטה נגרם כנראה על ידי הגדלת חדירות הקליפה למים ולגזים. גם אצטרובלים של אורן ירושלים (מחשופי הזרע) נפתחים כתוצאה מחשיפה לטמפרטורה גבוהה, ופתיחה זו גורמת לפיזור נרחב של זרעים רבים.

דגמים של נביטה

ישנם זרעים שבמהלך הנביטה הפסיגים נותרים בקרקע (למשל אפונה). ישנם זרעים אחרים, למשל שעועית, שהפסיגים צומחים עם הנצרון אל מעל לקרקע ולמעשה הם מהווים את העלים הראשונים של הצמח הצעיר (איור ב-10).



איור ב-10: דגמים של נביטה: ימין: שעועית; שמאל: אפונה

על מושגים: נביטה והצצה

יש המסייגים את הגדרת הנביטה רק עד לבקיעת השורשון מתוך קליפת הזרע, לדעתם היא מציינת את סיום שלב הנביטה. אחרים סוברים שהנביטה מסתיימת עם הופעת הנצרון הכולל את העלים והגבעולים הראשונים. עבור החקלאים ההצצה - הופעת עלי הצמח מעל פני הקרקע - היא הסימן להצלחת הנביטה.

ב3. בעין חקלאית: הכוונת נביטה ואחסון זרעים

ב3.1 דרכים להשפעה על מועד הנביטה

בתהליך גיוס מיני בר לגידולים חקלאיים, העדיף האדם לטפח בדרך של ברירה מלאכותית גידולים שהנביטה של זרעיהם אינה מעוכבת. כתוצאה מכך, בזרעים של גידולי התרבות בוטלה או קוצרה מאוד תקופת התרדמה של הזרעים, כך שהנביטה, ההצצה והתפתחות הצמחים בשדה החקלאי מתרחשים בזמן קצר וגודל הצמחים הוא כמעט אחיד. אחידות זו חשובה לחקלאי לטיפול יעיל בצמחים, להכוונה של מועד הבשלת היבול וזמן הקציר.

האדם מנצל את הידע המחקרי על התנאים המתאימים לנביטה, להכוונה של מועד הנביטה לפי צרכיו. על ידי שינוי התנאים הסביבתיים, כמו אורור הקרקע, האור והטמפרטורה, אפשר לזרז את הנביטה.

אוורור הקרקע

העלאת ריכוז החמצן בקרקע מביאה לזירוז הנביטה של צמחים רבים. עיבודי הקרקע בשדות חקלאיים כמו חריש נועדו, בין היתר, לאוורר את הקרקע ולאפשר חילוף גזים יעיל יותר בין הקרקע לבין העובר שבזרע וכך לאפשר נביטה מהירה יותר מאשר בקרקע לא מאווררת.

מעניין לדעת: עשבי בר נגד גידולי החקלאות



שלא כמו הגידולים החקלאיים עשבי בר רבים הגדלים בשדות חקלאיים עמידים לריכוזים גבוהים של פחמן דו-חמצני בקרקע ונובטים היטב גם בקרקעות לא מאווררות. תכונה זו מאפשרת להם להתחרות בהצלחה בגידול החקלאי. יתרה מזאת, עיבוד הקרקע מזרז את נביטת עשבי הבר בשדה בגלל החשיפה לאור ואוורור טוב יותר.

חשיפה לאור

בצמחים הזקוקים לאור לנביטה ניתן לעודד נביטה על ידי חשיפה לאור, למשל: אפשר לזרז נביטה של זרעי *טבק וחסה* על ידי חשיפה של מספר שניות לאור. בזרעים אחרים יש צורך במשך הארה ארוך יותר.

הסרת מחסומים לנביטה

לא כל זרע זקוק לחשיפה לטמפרטורה נמוכה או לאור כדי לנבט. בזרעים שונים הנביטה מעוכבת בשל תכונות הקליפה ו/או נוכחות חומרים מעכבי נביטה בזרע או בפרי. כדי לזרז את הנביטה יש צורך להסיר מחסומים אלו. למשל:

- ◆ כדי לזרז את נביטתם של זרעי *זיתים* וזרעי קטניות ממינים שונים, משרים אותם בחומצה גפריתית או בבסיס הנתרן למשך שעות אחדות ואחר כך שוטפים אותם במים נקיים. ההשריה בחומצה או בבסיס פוגעת בקליפה ומאפשרת חדירת מים להמשך תהליכי הנביטה (ראו גם אשנב למחקר ב-2).
- ◆ כדי לשטוף חומרים **מעכבי נביטה** מן הזרעים הרדומים משרים את הזרעים במים. זרעים של צמחים עשבוניים צריך להשרות במים במשך 8-24 שעות. זרעים של עצים זקוקים למשך השרייה ארוך יותר.

2.3.1 אחסון זרעים

הזרעים הם מאגר של חומרי מזון לבני-אדם ולבעלי-החיים, אך גם של עוברים שהם דור העתיד, ולכן חשוב לחקלאים לשמור אותם לאורך זמן ולהבטיח שינבטו במועד המתאים.

משך הזמן שנשמרת חיוניותם של הזרעים שונה ממין אחד למשנהו (ראו סעיף 1.2.2) ונקבע הן על ידי **גורמים פנימיים** והן על ידי תנאי הסביבה שבה אוחסנו. זרעים מאבדים את חיוניותם בתוך זמן קצר במקום שבו שוררים תנאים של אוויר לח וטמפרטורה גבוהה, ולכן חשוב להקפיד על תנאי הסביבה במקום שבו הזרעים מאוחסנים, וכך להבטיח לאורך זמן את יכולתם לנבט בעתיד, במועד המתאים לחקלאי.



יונים ליד ממגורת דגון בחיפה

?? שאלה ב-6

- הסבירו שני יתרונות לצמחים הגדלים בטבע, מעיכוב הנביטה.
- הסבירו חיסרון אחד של עיכוב נביטה.

3.3.1 זרעים על שולחנו



הזרעים, מלבד היותם דור העתיד של הצמחים, משמשים גם כמרכיב חשוב מאוד במזון של האדם. צמחים רבים מוצאים את דרכם לשולחנו, כזרעים או כמוצרים מעובדים, למשל: *חיטה, שעורה, שיפון, אורז, שיבולת שועל ותרס*. גם זרעי צמחים אחרים חשובים לתזונתנו, למשל: *אפונה, פול, חימצה (חומוס), שעועית (משפחת הקטניות), זרעי חמניות (משפחת המורכבים) וזרעי דלעת (משפחת דלועיים)*.

מעניין לדעת: נבטים בתפונה

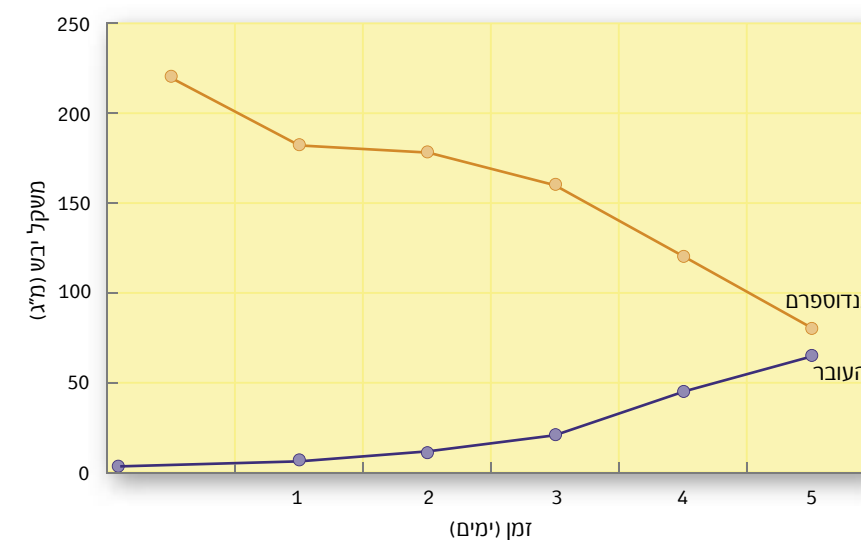


נבטים מוכנים לאכילה

הפעילות הנמרצת המתרחשת בזרעים נובטים ובעיקר פירוק חומרי התשמורת, היא הבסיס להמלצה של תזונאים לשלב אכילת נבטים בתזונה היומית. אחד הנימוקים להמלצה זו הוא שזרעים נובטים קלים יותר לעיכול מזרעים לא נובטים או מזרעים מבושלים ותכולת החלבונים בהם גבוהה.

?? שאלות לסיכום הפרק

- ציינו מהו התפקיד העיקרי של הזרע במחזור חיי הצמח, הסבירו תשובתכם.
- סדרו את רצף השלבים בתהליך הנביטה לפי הסדר שבו הם מתרחשים:
 - קריעת הקליפה
 - הרכבה של חלבונים (למשל אנזים עמילאז) מתוצרים של פירוק חומרי תשמורת חלבוניים
 - קליטת מים ותפיחה
 - הצצת הנבט אל פני הקרקע
 - יציאת הנצרון מהקליפה
 - הגברת הנשימה התאית
 - פירוק עמילן שנאגר בזרע לסוכרים המשמשים כמקור להפקת אנרגיה ולהרכבה של חומרים נוספים.
 - חלוקת תאי שורשון ונצרון והתארכותם
 - יציאת השורשון מהקליפה
- מה היתרון לנבט מכך שהשורשון בוקע לפני הנצרון? הסבירו.
- מהו היתרון לצמח שבו חומר מעכב נביטה נמצא בתוך הפרי?
- השאלות הבאות מתייחסות לאיור ב-11:



איור ב-11: שינויים במשקל היבש של אנדוספרם ועובר של זרעי תירס שנבטו בחושך

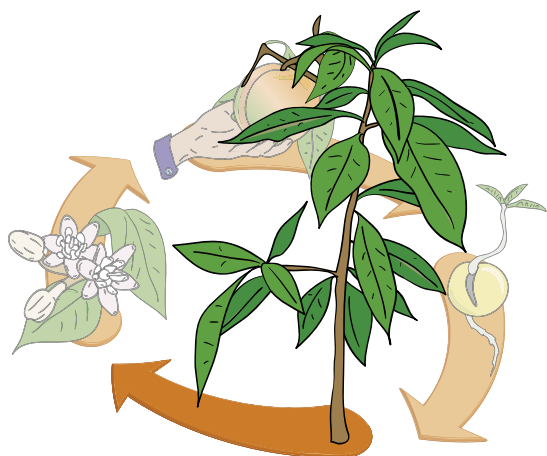
- מהו המשתנה הבלתי תלוי ומהם המשתנים התלויים המוצגים בגרף?
- תארו את השינויים החלים בכל אחד מהמשתנים התלויים.
- מהם התהליכים המתרחשים בזרע הגורמים לשינויים שתיארתם בסעיף ב? הסבירו.
- שערו מה יהיה משקל כל אחד מחלקי הזרע כעבור 20 שעות נוספות. הסבירו על מה ביססתם את ההשערה.
- בחרו עשרה מהמושגים שברשימת המושגים החשובים בפרק ומיינו אותם ל-2-3 קבוצות. תנו כותרת לכל קבוצה והסבירו מה המשותף למושגים שבחרתם לצורך לכל אחת מהקבוצות.

עיקרי הנושאים בפרק

- הזרעים הם הקשר בין דור אחד לדור הבא.
- לזרע שלושה חלקים: עובר, רקמות עם חומרי תשמורת וקליפה.
- יש זרעים שנובטים מיד לאחר הגשם הראשון או לאחר השקיה, ואחרים נשארים במצב תרדמה במשך תקופה מסוימת.
- תהליך הנביטה מתחיל בקליטת מים ובתפיחת הזרע. לאחר התפיחה מתרחשים בזרע נשימה תאית ופעילות אנזימטית ולאחריהן בוקע השורשון ולאחריהן הנצרון.
- במהלך הנביטה נוצרים ומופעלים אנזימים המסייעים לפירוק חומרי התשמורת ולניצול תוצרי הפירוק לגדילת הנבט. פעולות אלה מאסות על ידי הורמונים, למשל ג'יברלין.
- גורמים המשפיעים על הנביטה הם גורמים חיצוניים כמו טמפרטורה ואור, וגורמים פנימיים כמו נוכחות מעכבי נביטה בזרע ותכונות הקליפה.
- החקלאים מאחסנים זרעים בתנאים המבטיחים את חיוניותם לאורך זמן. החקלאים גם משפיעים על מועד נביטת הזרעים בכמה דרכים, ביניהן: פגיעה בקליפה הקשה של הזרע, שינוי בתנאי ההארה ו/או הטמפרטורה.
- זרעים הם מרכיב חשוב ביותר בתזונת האדם ובעלי החיים.

מושגים חשובים בפרק

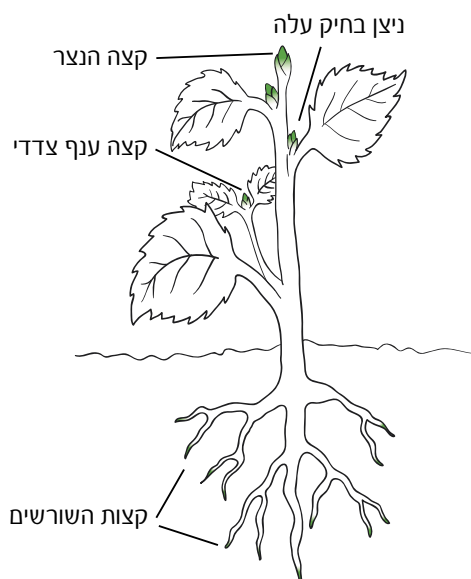
אנדוספרם	מכוסה זרע
גורמים חיצוניים	נביטה
גורמים פנימיים	נצרון
ג'יברלין	עובר
הפצת זרעים	פסיג
זרע	שורשון
חומרי תשמורת	תרדמה



ג מנבט לצמח: גדילה והתפתחות

מבוא

הצמיחה וההתפתחות של הנבט לצמח הוא **השלב הווגטיבי** שבמהלכו גדלים ומתפתחים האיברים שאינם קשורים ברבייה - שורשים, עלים, גבעולים וענפים.



איור ג-1: מיקום של מריסטמות בקדדי הצמיחה בצמח

אילו מתפתח הנבט הקטן? מה קובע את גודל הצמח?
כיצד הצמח הקבוע באקומו, משיג את המשאבים
הנחוצים לגידולו?



הנבט הצעיר שתחילתו מילימטרים ספורים, גדל ומתפתח לצמח שגובהו מגיע לעשרות סנטימטרים ולעיתים אף לעשרות מטרים. הצמח גדל ומתפתח לשני כיוונים מנוגדים: **השורשים** - אל תוך הקרקע ו**הנצר** - אל מעל לקרקע.

הגדילה לשני הכיוונים מתאפשרת בשל מאפיין ייחודי של צמחים: **קדקודי צמיחה** ובהם רקמות ייחודיות - **מריסטמות** - בקצוות של הצמח המתפתח (איור ג-1). המיוחד בתאי המריסטמות הוא בכך שהם שומרים על יכולתם להמשיך ולהתחלק. תאי הבת יכולים להתמייין לכל סוגי התאים הבונים את הרקמות והאיברים של הצמח: שורשים, גבעולים, עלים ופרחים.

מעניין לדעת: טבעות שנתיות



איור ג-2: טבעות שנתיות בחתך רוחב בענף של אורן

באזורים ממוזגים, שבהם האקלים משתנה על פי עונות השנה, קצב חלוקות התאים בצמח רב־שנתי משתנה עם העונות: הוא מהיר בעונות הצמיחה שבהן זמינות המים ותנאי הטמפרטורה והאור נוחים והוא איטי יותר בעונות שבהן העץ עומד בשלכת או שצמיחתו איטית. התוצאה מהשינויים בקצב חלוקות התאים של רקמות ההובלה מתבטאת בחתך רוחב של גזע עץ כטבעות (איור ג-2). אלו הן **הטבעות השנתיות**. כל טבעת מייצגת תאי **עצה** שהתפתחו במהלך עונה אחת של פעילות. מספר הטבעות השנתיות משמש אומדן מדויק למדי לגילו של העץ. רוחבה של כל טבעת היא עדות לתנאים ששררו באותה שנה: בשנת בצורת רוחב הטבעת קטן יותר מאשר בשנה גשומה.

ג.1 צמח ירוק עומד ברשות עצמו

להתווספות התאים והאיברים במהלך הגדילה וההתפתחות של הצמח נחוצים חומרים אורגניים (פחמימות, שומנים, חלבונים) וחומרים אנאורגניים ובכלל זה מים.

הצמחים הם **אוטוטרופים** (אוטו = עצמי, טרופי = ניזון) ופירוש הדבר הוא שהחומרים האורגניים הדרושים לצמח להפקת אנרגיה וליצירת תאים חדשים, רקמות וחומרי אגירה, מיוצרים בצמח עצמו בתהליך **הפוטוסינתזה** (פוטו = אור, סינתזה = הרכבה).

פוטוסינתזה - הרכבת חומרים אורגניים

פוטוסינתזה הוא תהליך מורכב שבו הצמח מנצל את אנרגיית **האור** לייצור פחמימות מחומרים אנאורגניים (פחמן דו־חמצני ומים), הנקלטים מסביבתו. הפריסה הדו־כיוונית של הצמח, מצד אחד אל תוך הקרקע ומצד שני מעל הקרקע, מאפשרת לצמח לקלוט אור, לקלוט מים ומינרלים מהקרקע, ולקלוט פחמן דו־חמצני מהאוויר, דרך הפתחים שבעלים - **הפיוניות** - ולהשתמש במשאבים אלה לייצור החומרים האורגניים.

רק צמחים ירוקים, אצות וחיידקים מסוימים מבצעים פוטוסינתזה ואילו כל שאר האורגניזמים ניזונים מהחומרים האורגניים שנוצרו בִּמְבַצְעֵי הפוטוסינתזה. תהליך הפוטוסינתזה בצמחים מתרחש כולו **בכלורופלסטים** (כלורו = ירוק, פלסט = גופיף) שהם האברונים הירוקים שבתאי הצמח. הצבע הירוק של הכלורופלסטים נובע מנוכחות צָבָעָן (פיגמנט) - **כלורופיל**.

הודות לקיומן של המריסטמות הצמחים יכולים להתפתח ולחיות במשך שנים רבות מאוד, זאת בניגוד לבעלי־חיים רב־תאיים שהתפתחותם נמשכת זמן קצוב וחייהם מסתיימים. היכולת להמשיך ולפתח איברים חדשים מאפשרת לצמחים, הקבועים במקומם, להתפרס במרחב על ידי הכוונת הגידול של השורשים והענפים הצעירים למוקדי המשאבים (אור, מים ומינרלים).

תהליכי **הגדילה וההתפתחות** בצמח אינם אקראיים אלא מושפעים **מגורמים חיצוניים** בסביבת הצמח ו**מגורמים פנימיים** הקשורים למידע התורשתי שלו.



עץ זית עתיק

ג.1. בצמח גדל נוספים תאים וחומרים

הגדילה של הצמח תלויה בתוספת של חומרים ובהתרבות של תאים וגדילתם. החומרים הנוספים הם תוצרי פוטוסינתזה, מים ומינרלים שנקלטו מהקרקע. מספר התאים בצמח גדל כתוצאה מחלוקות התאים - **מיטוזה**.

על מושגים: מיטוזה

מיטוזה היא חלוקה של גרעין התא שחלה לאחר הכפלת החומר התורשתי. בסוף המיטוזה מתקבלים מגרעין אחד שני גרעינים, שמערכת הכרומוזומים שבכל אחד מהם זהה לזו שבאחר וזהה לזו שהייתה בגרעין שממנו נוצרו. בדרך כלל לאחר חלוקת הגרעין גם התא עצמו מתחלק. תוצאת החלוקה היא שני תאי בת הזחים במטענם התורשתי.

גידול במספר התאים מלווה ב**התמיינות** תאים לרקמות השונות הממלאות תפקודים שונים, כמו:

- ♦ **חיפוי**: רקמה חד־שכבתית (אפידרמיס) המקיפה את אברי הצמח ומגינה עליהם,
- ♦ **ביצוע פוטוסינתזה ואגירת חומרי תשמורת**: רקמה של תאים בעלי צורות שונות, ובהם כלורופלסטים.
- ♦ **הובלה של מים וחומרים שונים**:

בצמחים יש שתי רקמות הובלה ייעודיות, **העצה**: שבה מובלים מים ומינרלים שנקלטו מהקרקע אל האברים העל־קרקעיים, ו**השיפה**: שבה מובלים תוצרי פוטוסינתזה מהעלים אל שאר אברי הצמח ובכלל זה אברי האגירה התת־קרקעיים.

רעיון מרכזי: אחידות

באורגניזמים גדולים (צמחים ובעלי־חיים) מערכות הובלה חיוניות להעברה של חומרים מאקוס למקום. מערכות ההובלה בנויות צינורות והחומרים מובלים בהם מואסים באיס.

קשר לתא:

חומרי התא בצמח דומים לאלה בתאים בבעלי־חיים.

קשר לתא:

אברונים בתא של צמח.

קשר לאקולוגיה:

צמחים כיצורים במערכת אקולוגית.



מה יכולה להיות הסיבה להתנצלות בקצב הפוטוסינתזה?

אחת מההשערות שנבדקו בקשר לתופעה זו היא: כל עוד תוספת של אור מביאה להגברת הפוטוסינתזה הרי שהאור הוא הגורם המגביל את התהליך. בעצמות אור גבוהות תוספת של אור אינה משנה את קצב הפוטוסינתזה ומכאן שהאור אינו הגורם המגביל. ייתכן שגורם אחר, המשפיע אף הוא על קצב תהליך הפוטוסינתזה, הוא זה שנמצא בחסר. בעצמות אור גבוהות קצב הפוטוסינתזה תלוי בגורם שחסר והוא כעת הגורם המגביל: אם נוסיף אותו ייתכן שקצב הפוטוסינתזה ימשיך ויגבר. ריכוז ה- CO_2 באוויר הוא דוגמה לגורם כזה. כדאי עם זאת לדעת, שאם עצמת האור תגבר עוד ועוד יכול להיגרם נזק של ממש לצמח וקצב הפוטוסינתזה ירד.

קשר לאקולוגיה:
תנאים, משיבים
וזורמים משיבים.

הרחבה: אור הכרחי ליצירת כלורופיל



בנוסף להיותו של האור מקור אנרגיה לפוטוסינתזה הוא הכרחי ליצירת הכלורופיל המקנה לצמח את צבעו הירוק. נבטים שגדלים בהעדר אור מתארכים במהירות ואינם מוריקים. תופעה זו נקראת **חיוורון (אטיולציה)** (איור 5-ג). בנבטים שלא ייחשפו לאור, לא ייווצר כלורופיל וכאשר ינוצל כל מאגר חומרי התשמורת שהיה בזרעים - הנבטים ימותו. אם יחשפו הנבטים לאור קצב ההתארכות יואט, ייווצר בהם כלורופיל, יתבצע תהליך הפוטוסינתזה וייווצרו חומרים אורגניים הדרושים לקיומו ולהתפתחותו.

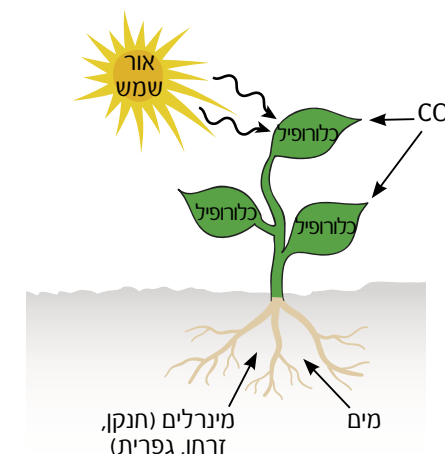
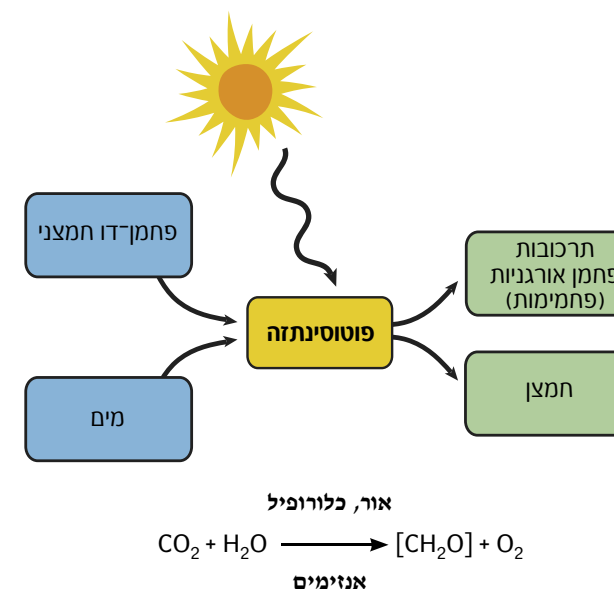


איור 5-ג: תמונה של נבטים שגדלו באור ונבטים שגדלו בהעדר אור



שאלה ג-1

מה היתרון לצמח בצמיחה מהירה לגובה בתנאים של חוסר אור?

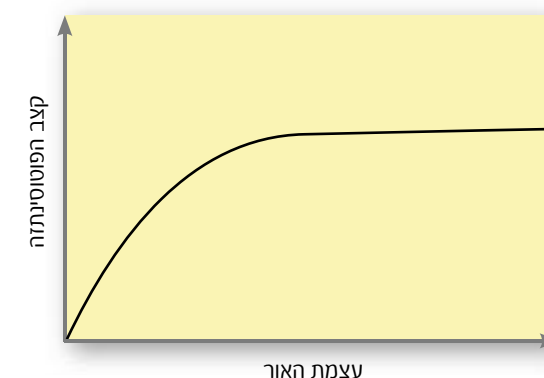


איור 3-ג: ימין: הגורמים המשתתפים ביצירת חומרים אורגניים בצמח; שמאל: נוסחה וסכימה של פוטוסינתזה

האור הוא מקור האנרגיה לפוטוסינתזה

האור הוא מקור האנרגיה לתהליך הפוטוסינתזה ובלעדיו התהליך לא יתרחש כלל ולא ייווצרו חומרים אורגניים. במחקרים שבדקו את השפעת עצמת האור על הפוטוסינתזה התקבלו תוצאות כגון אלה המוצגות באיור 4-ג.

מהגרף שבאיור 4-ג ניתן להסיק שבטווח שבו עצמות האור הן נמוכות, קצב הפוטוסינתזה הולך וגדל עם העלייה בעצמת האור. אולם, בעצמות אור גבוהות קצב התהליך נשאר יציב ואינו גדל עוד.



איור 4-ג: מהלך כללי של השפעת עצמות אור על פוטוסינתזה

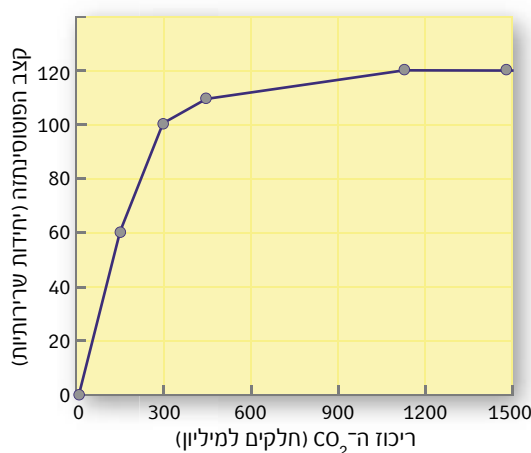
פחמן דו-חמצני (CO_2) הוא חומר גלם חשוב בפוטוסינתזה

הגז פחמן דו-חמצני נמצא באוויר, אך ריכוזו נמוך מאוד (כ-0.04%). עם זאת חשוב לזכור שהוא מהווה מגיב מרכזי בפוטוסינתזה והמקור הבלעדי ליסוד פחמן (C) בחומרים האורגניים כדוגמת הפחמימות (למשל: עמילן). השפעת ריכוז ה- CO_2 על קצב הפוטוסינתזה מוצגת באיור 6-ג.



שאלה ג-2

תארו והסבירו את התוצאות המוצגות באיור 6-ג.



איור 6-ג: השפעת ריכוז ה- CO_2 על קצב הפוטוסינתזה

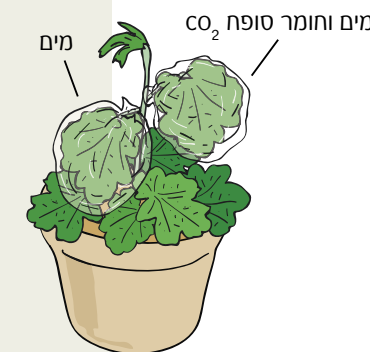


אשנה למחקר ג-1: פתחן דו-חמצני ועמילן

ערכו ניסוי בצמחי גרניים, שגודלו ב-10 עציצים. בכל צמח כיסו עלה אחד בשקית שקופה וסגורה היטב שבתוכה מעט מים. עלה שני כיסו בשקית שקופה וסגורה היטב שבתוכה מעט מים וחומר שסופח אליו CO_2 . כל העציצים הועמדו במקום מואר והושקו בכמויות זהות של מים. כעבור כמה שעות נבדקה כמות העמילן בעלים המכוסים.

נמצא כי בכל העלים שכוסו בשקית שקופה ובתוכה מעט מים (קבוצה א') גדלה כמות העמילן, ובכל העלים שכוסו בשקית שקופה ובה חומר סופח CO_2 (קבוצה ב') קטנה כמות העמילן.

- מה הייתה מטרת הניסוי?
- הסבירו מדוע גדלה כמות העמילן בעלים מקבוצה א' במשך הניסוי.
- הסבירו את הקשר בין הירידה בכמות העמילן בעלים מקבוצה ב' לבין החומר שסופח CO_2 שהיה בשקית של עלים אלו.
- הסבירו מדוע הוסף חומר שסופח CO_2 רק לעלים בקבוצה ב'.



צמח גרניים עם עלים מכוסים

מים ופוטוסינתזה: צורך ובעיה בצדו

המים מהווים מרכיב עיקרי בחלקי הצמח השונים. הם חיוניים לצמיחה ולייצוב הצמח, לביצוע פוטוסינתזה ותהליכים כימיים אחרים בתאים, והם מאפשרים הובלת חומרים מומסים בתוך התא ובין חלקי הצמח השונים.

למרות חשיבותם של המים לחיי הצמח, רוב המים הנקלטים על ידי שורשי הצמח נפלטים אל האוויר מהעלים דרך **הפיוניות** בתהליך ה**דיות**. רק כ-1% מהמים שנקלטו נשארים בצמח (בצמח התירס נשאר רק 1 גרם מים מכל 1,000 גרם מים שנקלטו). הסיבה לאיבוד הרב של המים קשורה לקליטת CO_2 . קליטת ה- CO_2 הדרוש לפוטוסינתזה, נעשית דרך הפיוניות, כל עוד הן פתוחות. אבל כאשר הפיוניות פתוחות נפלטים דרכן אדי מים אל האוויר. זה ההסבר לכך שתהליך הפוטוסינתזה מלווה באיבוד מים.

הפיוניות בנויות כך שברוב הצמחים הן נסגרות בחושך, כאשר ממילא אין אור לביצוע הפוטוסינתזה, וכך נמנע איבוד מים נוסף. במצב של מחסור זמני במים נסגרות הפיוניות גם בשעות האור, כתוצאה מכך נמנעת כניסת CO_2 וקצב הפוטוסינתזה קטן. בשל ההקטנה בקצב הדיות גם קטנה הובלת מים ומומסים מהשורש לאזורים הצעירים והצמיחה מעוכבת.

קשר לאקולוגיה:

גורמים א-ביוטיים: מים.

קשר לגוף האדם:

הפצה וויסות טמפרטורת הגוף.

קשר לתא:

השפעת טמפרטורה על חלבונים ובכלל זה על אנזימים.

מעניין לדעת: דיות בצמחים והפצה בבעלי-חיים

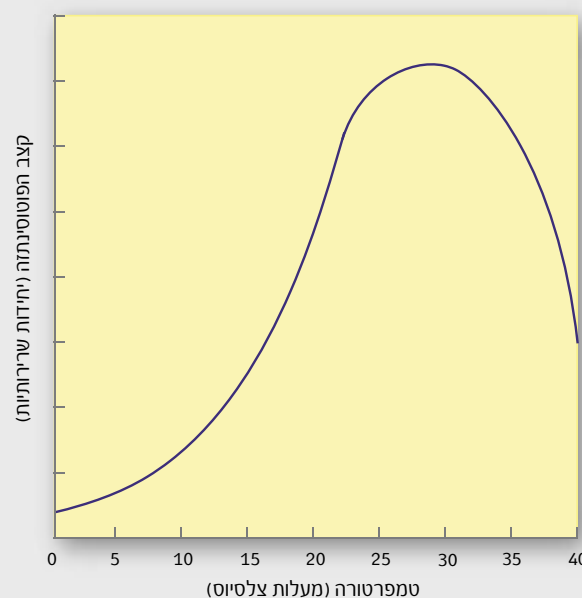
התנדפות אדי המים בתהליך הדיות מסייעת לקירור העלים החשופים לשמש, בדומה לתהליך ההזעה אצל בעלי-חיים המסייע לווסת את טמפרטורת הגוף.



הרחבה: טמפרטורה ופוטוסינתזה

השפעת הטמפרטורה על פוטוסינתזה (איור ג-7) דומה להשפעתה על תהליכים אנזימטיים בכל תא.

טמפרטורות גבוהות בסביבת הצמח משפיעות על קצב הפוטוסינתזה לא רק בשל השפעתן על אנזימים אלא גם בשל הגברת התאיידות המים מהצמח בתהליך הדיות, והפגיעה במאזן המים של הצמח הגורמת לכמישתו. בתנאים כאלה נסגרות הפיוניות, CO_2 לא נקלט וממילא הפוטוסינתזה נפסקת לזמן מה (עד לשיפור מאזן המים).



איור ג-7: השפעת טמפרטורה על קצב הפוטוסינתזה

?? שאלה ג-3

השאלות הבאות מתייחסות לאיור ג-7.

- הסבירו את השפעת הטמפרטורה על תהליכים אנזימטיים. בתשובתכם התייחסו להשפעת טמפרטורות נמוכות וגבוהות.
- השוו בין השפעת הטמפרטורה על הפוטוסינתזה לבין השפעת עצמת האור על הפוטוסינתזה.
- בקיץ מכסים את החממות לגידול צמחים ברשתות צל, ולקראת החורף מסירים אותן. הסבירו מדוע מבצעים כל אחת מפעולות אלה.

?? שאלה ג-4

בשני מינים של צמחי מלוח הגדלים במדבר נמדד קצב הפוטוסינתזה בטמפרטורות שונות. הנתונים מוצגים בטבלה.

הטמפרטורה (°C)	קצב קליטת CO ₂ (מילימול/ליחידת שטח עלה בדקה)	
	מין א	מין ב
5	4	4
10	5	5
20	11	8
30	17	11
40	21	12

- סרטטו במחברת גרף של התוצאות. תנו כותרת לגרף.
- איזה משני מיני המלוח מותאם טוב יותר לטמפרטורה הגבוהה השוררת במדבר? נמקו בהסתמך על הגרף שסרטטתם.
- מהו קצב הפוטוסינתזה בטמפרטורה של 15°C בשני המינים? הסבירו כיצד קבעתם זאת.
- ציינו דרך נוספת שבה יכלו החוקרים למדוד את קצב הפוטוסינתזה. מהו הבסיס הביולוגי של דרך זו?

מבנה הצמח מותאם לקיום פוטוסינתזה

תהליך הפוטוסינתזה מושפע לא רק מתנאי הסביבה אלא גם מהגורמים הפנימיים הקשורים למבנה הצמח, לכלורופלסטים ולכלורופיל שבתאיו - כל אלה נקבעים במידה רבה על ידי התכונות התורשתיות של הצמח ולכן הם מכונים **גורמים פנימיים**.

תופעה המאפיינת מבנה של צמחים רבים היא ארגון העלים בדרך המונעת הצללה של עלה על ידי עלים אחרים ומאפשר קליטת אור מרבית (איור ג-8).



שושנת עלים: כל העלים חשופים לאור



איור ג-8: ארגון העלים על פני צמח קיסוס: כל העלים חשופים לאור

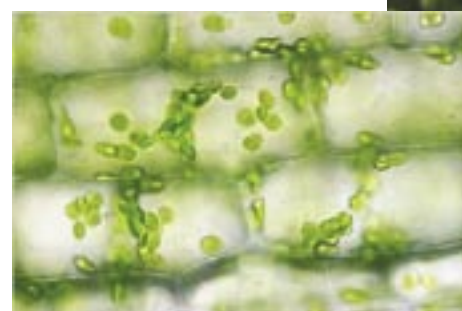
בטבלה ג-1 מסוכמים מאפיינים של מבנה הצמח ברמות ארגון שונות והתאמתם לביצוע פוטוסינתזה.

טבלה ג-1: התאמות של מבנה הצמח לביצוע פוטוסינתזה

רמת הארגון	ההתאמה לביצוע פוטוסינתזה
אורגניזם: הצמח	- איברי הצמח פרוסים במרחב ומאפשרים קליטה מרבית של משאבים - ארגון העלים על הצמח מאפשר קליטה מרבית של אור השמש - בעלים ובגבעולים יש כלורופיל - באמצעות השורשים נקלטים מים ומינרלים מהרקע - בזרעים ובאברי אגירה נאגרים תוצרי הפוטוסינתזה - ברקמות ההובלה מובלים מים ומינרלים מהרקע אל הנצר (בעצה), ותוצרי פוטוסינתזה מובלים מהעלים אל איברי האגירה ואל הפירות והזרעים (בשיפה)
איבר: עלה	- שטח פנים גדול יחסית לנפח שמאפשר קליטת אור רבה - פיוניות שדרךן נקלט CO₂ ונפלט חמצן
איבר: שורש	היונקות בקצוות של סעיפי השורשים מסייעות לקליטה יעילה של מים ומינרלים
תא	בתאי העלה יש כלורופלסטים רבים שבהם מתבצע תהליך הפוטוסינתזה
אברון: כלורופלסט	בכלורופלסטים נמצא הפיגמנט כלורופיל ואנזימים רבים שבעזרתם מתבצע התהליך הכימי של הפוטוסינתזה



מבט מקרוב על ענף נושא עלים של אלודיאה



כלורופלסטים בתאים של עלה של אלודיאה

ענף של אלודיאה (צמח מים)

2.1.2 להתפתחות הצמח דרושים מים ומינרלים

לגדילה ולהתפתחות הצמח דרושים גם מים ומינרלים שונים. בצמחים **המים** הם מרכיב עיקרי. רוב המים נמצאים בחלוליות שבתאים ובהם מומסים חומרים שונים. רוב הגידול בנפח התאים ובאורכם הוא תוצאה של קליטת לחלוליות המהוות 80%-90% מכלל נפח התאים והרקמות. מכאן חשיבות המים לצמיחה, בנוסף להיותם הסביבה שבה מתרחשים התהליכים בתא. אחוז המים ברוב איברי הצמחים הוא גבוה: בפרי האבטיח, בעלי כרוב, בשורש גזר ובעלי חסה - אחוז המים הוא 85%-95%, לעומת זאת בזרעים אחוז המים נמוך 5%-10%.

קשר לתא:
אבנה של תאים
בבסיסי-חיים לעומת
תאים בצימחים.

מים, לחץ טורגור ויציבות הצמח

צמחים שסובלים ממחסור במים הם כמושים ונבולים (איור ג-9). הסיבה לכך היא שכל עוד יש בצמח די מים והחלולית מלאה בתמיסה - נפח התא מלא, ולחץ הנוזלים פועל מתוך התא על הדופן הקשיחה של התא. לחץ זה הוא **לחץ הטורגור**.

איברים צעירים ועלים של צמחים נשארים זקופים כאשר מאזן המים בצמח תקין. בעת מחסור במים לחץ הטורגור קטן וכתוצאה מכך נפח החלולית קטן, התא מאבד מציביותו ונעשה רפוי וכך גם האיברים הצעירים. מחסור ממושך במים גורם למות הצמח.

שיחים מעוצים ועצים נשארים זקופים גם בעת מחסור במים, והמחסור במים ניכר רק בעלים ובענפים הצעירים.



איור ג-9: צמח כמוש, צמח "זקוף"

מינרלים וחשיבותם

המינרלים חיוניים להתפתחותם התקינה של הצמחים והם נקלטים על ידי שורשי הצמחים בצורה מומסת במים. נהוג לחלק את המינרלים הנחוצים לצמח לשתי קבוצות:

- מינרלים המשתתפים במבנה התרכובות בתא (חלבונים, פחמימות, שומנים, חומצות גרעין, ATP). מינרלים אלו כמו, חנקן, זרחן ואשלגן דרושים בכמות גדולה יחסית (טבלה ג-2).
- מינרלים המשמשים בעיקר להפעלת אנזימים ותהליכים בתא, אלו דרושים בכמות קטנה יחסית, למשל, ברזל שדרוש בתהליך יצירת הכלורופיל.

טבלה ג-2: דוגמאות למינרלים וחשיבותם לצמח

מינרל	חשיבותו להתפתחות הצמח
חנקן (N)	מרכיב בחומצות אמיניות, בחלבונים, בנוקלאוטידים, בחומצות גרעין, בכלורופיל, ב-ATP ובהורמונים, וחיוני לפעילות אנזימים רבים
אשלגן (K)	מעורב בשמירה על ריכוז אוסמוטי תקין; בקרה של פתיחת הפיוניות וסגירתן; חיוני לפעילות אנזימים רבים
סידן (Ca)	דרוש לפעילות אנזימים; מעורב בבקרת תפקודי קרומים ואנזימים; מרכיב בדפנות התאים
מגנזיום (Mg)	מרכיב במולקולת הכלורופיל; נחוץ להפעלת אנזימים רבים
גפרית (S)	מרכיב בחומצות אמיניות מסוימות וחיוני לפעילות אנזימים רבים
זרחן (P)	מרכיב במולקולות ATP-ADP, בחומצות גרעין, בקואנזימים ובשומנים (פוספוליפידים)
ברזל (Fe)	דרוש ליצירת הכלורופיל; פעיל בפוטוסינתזה ובנשימה התאית

בנוסף לחשיבותם של המינרלים בבניית חלקי הצמח ובקיום התהליכים בו, המינרלים תורמים ליצירת לחץ הטורגור בתאים. כניסת מים לתא תלויה בריכוז המינרלים בחלולית וככל שהתמיסה בחלולית מרוכזת יותר, יותר מים ייכנסו אליה.



סימני מחסור בברזל בעלים של תות שדה

מחסור או עודף במינרלים עלולים לגרום לפגיעה בתהליכים בצמח ולהאטת הצמיחה. זיהוי הסימנים האופייניים למחסור של כל אחד מהמינרלים מאפשר לחקלאים להשלים את החסר ולמנוע פגיעה ביבולים. כמה דוגמאות לסימני מחסור במינרלים שונים מוצגים בטבלה ג-3.

טבלה ג-3: דוגמאות לסימני מחסור במינרלים

המינרל החסר	סימנים המעידים על מחסור
חנקן	העלים קטנים וצבע העלים הצעירים ירוק בהיר; עלים בוגרים מצהיבים ומתים; מערכת השורשים לא מתפתחת; הפירות קטנים
אשלגן	עלים בגוון צהוב או חום חיוור, שולי העלים נראים "חרוכים", העלים הבוגרים מסתלסלים
מגנזיום	הצהבה של עלים מבוגרים, העלים שמוטים
גפרית	העלים מאבדים את צבעם הירוק, בעיקר סביב העורקים; הפירות קטנים, בעלי קליפה עבה וצבע בהיר יותר מהפירות שהתפתחותם תקינה
זרחן	הצמחים אינם מתארכים/נשארים נמוכים; צבע העלים הופך לירוק כהה נוטה לכחול; התפתחות השורשים מואטת; מיעוט פירות וזרעים והפירות קטנים ומבשילים לאט
ברזל	הצהבה של עלים צעירים; פסים צהובים בעלים ירוקים של צמחים עשבוניים

??

שאלה ג-5

אחד מסימני המחסור הבולטים הוא הצהבה של העלים (אבדן של צבע ירוק בעלים). הסבירו תופעה זו על בסיס המידע בטבלה ג-2 (דוגמאות למינרלים וחשיבותם).



הרחבה: קליטת מינרלים ואזורי הקרקע

עיקר קליטת המים והמינרלים בשורשים חלה באזור הצעיר של השורש, כמה מילימטרים מקדקוד השורש, בעיקר על ידי היונקות ותאי אפידרמיס אחרים.

קליטת המינרלים מתמסרת הקרקע לתאים היא תהליך מורכב משום שקרום התא הוא קרום בררני, ומקצת המינרלים נקלטים בקליטה פעילה. לקליטה פעילה נחוץ ATP ולכן היא תלויה בקצב הנשימה התאית ובזמינות החמצן באזור השורשים. בקרקע לא מאווררת יש מחסור בחמצן וקליטת המינרלים, החשובים להתפתחות הצמח, נפגעת.

קשר לתא:

העברה בקרום התא.



מעניין לדעת: צמחים טורפים

דרך מיוחדת להשגת חנקן ומינרלים ניתן למצוא בצמחים "טורפים".

עד תחילת המאה ה-19 מדענים לא ידעו כלל שיש צמחים שמסוגלים להיזון מבעלי-חיים. מקובל היה שרק בעלי-חיים מסוגלים לטרוף, והרעיון שצמחים יעשו זאת נראה מופרך לחלוטין. בשנת 1875 פרסם צארלס דרווין, אבי תורת האבולוציה, ספר על מחקריו בצמחים טורפים וגרם לכך שיכירו את התופעה ויחקרו אותה.

צמחים טורפים, ככל הצמחים הירוקים, מבצעים פוטוסינתזה וקולטים חומרים מהקרקע. יחד עם זאת הם יכולים ללכוד בעלי-חיים (בדרך כלל חרקים ויצורים קטנים אחרים), להמית אותם תוך פירוק החלבונים שבגופם ולקלוט את תוצרי הפירוק לתוך תאי הצמח.

צמחים טורפי חרקים ניתן למצוא בבתי גידול חומציים מאוד, דלים בחנקן ובלתי מאווררים (למשל ביצות). היכולת ללכוד בעלי-חיים, לפרקם ולהשתמש בתוצרי הפירוק כמקור לחנקן היא יתרון בבתי גידול כאלה.

בצמחים טורפים התפתחו במהלך האבולוציה מנגנונים שונים: אמצעים למשיכה של בעלי-החיים (צבע, ריח, צוף), ואמצעים ללכידתם. לאחר שבעל-החיים נלכד מופרשים מיצי עיכול המכילים אנזימים שונים המפרקים את גופו של בעל-החיים. תוצרי העיכול משמשים לבניית הצמח הטורף. תהליך העיכול יכול להימשך בין כמה שעות ועד כמה ימים בהתאם למין הצמח, לגודל הטרף ולטמפרטורה.

כדנית: ה"כד" הוא גלגול של עלה ובתוכו צוף המושך אליו את החרקים ואנזימי עיכול



קשר לגוף האדם:

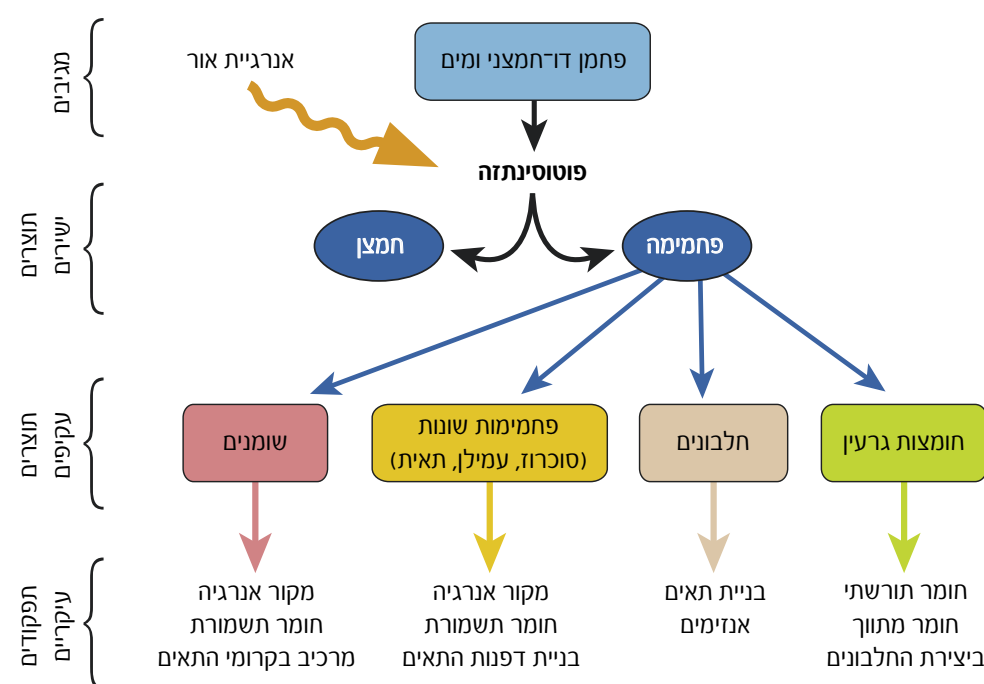
מערכת העיכול ואנזימי העיכול.

ג.1.3 תוצרי הפוטוסינתזה משמשים להפקת אנרגיה, לגדילה ולאגירה

הפחמימות, תוצרי הפוטוסינתזה, משמשות את הצמח להפקת אנרגיה בתהליך הנשימה התאית וכ"שלד" לבניית שאר התרכובות האורגניות, כמו חלבונים ושומנים (איור ג-10).

בבניית התרכובות השונות בצמח משתתפים גם המים והמינרלים השונים (כמו: חנקן, זרחן, אשלגן, מגנזיום, מנגן) שהצמח קולט מהקרקע (ראו איור ג-3 בעמוד 50). פחמימות, שומנים וחלבונים נאגרים בחלקים שונים של הצמח - בזרעים, בפירות ובאברי האגירה השונים.

שימו לב לתוצר חשוב נוסף של הפוטוסינתזה - החמצן המשמש לנשימה תאית של רוב האורגניזמים, כולל הצמחים עצמם.



איור ג-10: תוצרי הפוטוסינתזה בצמח ותפקודיהם

?? שאלה ג-6

- מהי חשיבותם של תוצרי הפוטוסינתזה במארג המזון בטבע?
- צמחים ירוקים טורפי חרקים שייכים לשתי רמות הזנה במארג המזון. מה הן שתי הרמות? הסבירו.

קשר לגוף האדם:

פחמימות, שומנים וחלבונים.

2. הזדקנות ונשירה של חלקי צמח

הזדקנות היא תופעה המאפיינת צמחים **חד-שנתיים** וחלקי צמחים **רב-שנתיים**.



עץ אלון התבור בשלכת

צמחים חד-שנתיים מסיימים את מחזור חייהם בתום עונה אחת של גידול וזרעיהם יתחילו מחזור חיים חדש בעונה הבאה.

בצמחים רב-שנתיים חלקים מסוימים מזדקנים, מתים ונושרים וחלקים אחרים נותרים וממשיכים לחיות בשנים הבאות. עצים נשירים עוברים תקופת שנה **בשלכת** שבמהלכה כל עליהם נושרים. בעצים ירוקי-עד העלים חיים מספר שנים מועט (לרוב 2-3 שנים). עלים שהזדקנו וסיימו את חייהם נושרים, אך עלים רבים אחרים נותרים על העץ והוא שומר על מראהו הירוק.

בגיאופיטים נותר בקרקע איבר האגירה - בצל או פקעת עם ניצני ההתחדשות - וכל חלקיו העל-קרקעיים של הצמח קמלים ומתים.

התכונה המעניינת המבדילה צמחים רב-שנתיים מבעלי-חיים היא שבצמח רב-שנתי יש איברים שמזדקנים, מתים ונושרים אבל האורגניזם כולו ממשיך לחיות שנים רבות.

בנוסף לעלים גם איברים אחרים של הצמח נושרים בבוא זמנם, כמו: חלקי פרח שתפקידם הסתיים ופירות שהבשילו. יש פרחים שחיים שעות מועטות ויש - שחיים כמה ימים. תהליך ההזדקנות המתרחש בפרחים מתבטא באיבוד מים מעלי הכותרת ונשירתם. במקרים שבהם לא התרחשה הפריה נושר פרח שלם על כל חלקיו. בפרחים שהופרו נושרים רק עלי הכותרת.

נראה שלצמח יש תועלת מנשירת האיברים. נשירת העלים וחלקים נוספים מסייעת לצמח להתמודד עם תנאי סביבה לא נוחים, כמו טמפרטורה נמוכה מאוד או מחסור במים. נשירת הפרי מסייעת במקרים רבים להפצת הזרעים. נשירת חלקים מהפרח לאחר ההפריה מונעת בזבז אנרגיה לאחזקת איברים שכבר אין בהם צורך. נשירת עלים מוצלים שיעילותם בביצוע פוטוסינתזה קטנה יחסית מיעלת את הפוטוסינתזה של העלים המוארים היטב.

מעניין לדעת: הצמח ממחזר את חומריו!

באיברים המזדקנים מבחינים בעלייה בקצב **הנשימה התאית** ובפירוק מרכיבים שונים בתא, כמו: אברונים וקרומים ומרכיביהם (חלבונים, רב-סוכרים ושומנים, כלורופיל ועוד).

תוצרי הפירוק של מרכיבי התא מובלים דרך **השיפה** לשאר חלקי הצמח נאגרים שם ומשמשים לבנייה מחדש של חומרים ואיברים. בדרך זו הצמח אינו מאבד מינרלים חשובים (העלולים להיות בחסר), בעקבות נשירת איברים שהזדקנו. המפתיע הוא שהתאית, מרכיב עיקרי בביומסה של העלים, אינה מפורקת, והעלים הנושרים הם עדות לכך.



הרחבה: מקור ואסלע הצמח

תוצרי הפוטוסינתזה מובלים מהאיברים שבהם הם מיוצרים - **המקור** - אל החלקים שבהם הם נצרכים או נאגרים - **המבלע**.

המקור הם העלים והגבעולים הירוקים והמבלע הם חלקי הצמח כמו קדקודי צמיחה, עלים צעירים, עלים מוצלים, גבעולים, שורשים, פקעות, בצלים, פרחים, פירות וזרעים.

הובלת תוצרי פוטוסינתזה מאיברים המשמשים כמקור לאיברים המשמשים כמבלע נעשית בצינורות **השיפה** ובכל הכיוונים: גם כלפי מעלה לעלים הצעירים ולקדקודי הצמיחה של הנצר וגם כלפי מטה בכיוון השורשים ואיברי האגירה התת-קרקעיים.

?? שאלה ג-7

א. מה המשותף למבלעים השונים?

ב. "אברי אגירה כמו בצל ופקעת יכולים להיות מבלע או להיות מקור בתקופות שונות של מחזור החיים". הסבירו משפט זה.

הקטנת תחרות בין מבלעים שונים בצמח

כאשר כמות תוצרי הפוטוסינתזה מוגבלת, מתחרים המבלעים השונים שבצמח אלה עם אלה על המשאבים. חקלאים מיישמים ידע זה כדי להשיג פירות גדולים: על-ידי **דילול** חלק מהפירות החקלאים מצמצמים את מספר המבלעים ובכך מקטינים את התחרות ביניהם. כמות התוצרים מתחלקת בין מספר קטן של פירות, והתוצאה היא שכל פרי יהיה גדול יותר.

כאשר היבול המבוקש אינו פרי אלא איברים אחרים בצמח (למשל עלים של **חסה**, **כרוב**, **פטרזיליה**, **בצל**) מניעת פריחה תגדיל את היבול ואת איכותו.



איור ג-11: חיגור

דרך נוספת להקטנת התחרות בין המבלעים היא **חיגור** - קטיעה של תנועת תוצרי הפוטוסינתזה בצינורות **השיפה** מהמקור אל המבלע. בפעולת החיגור מסירים רצועה של המעטה החיצוני של הגזע (איור ג-11). צינורות השיפה מורחקים בקטע שבו הוסרה הרצועה ונקטע רצף צינורות השיפה. צינורות **העצה**, הנמצאים פנימה לצינורות השיפה, ושהם מובלים מים ומינרלים לא נפגעים.

עוד על:

דילול פירות ראו בסעיף 3.

3. צמח גדל ומתפתח באופן מתואם ולא אקראי

התהליכים והאירועים במחזור חיי הצמח - הנביטה, הגדילה, הרבייה וההזדקנות - אינם מתנהלים באופן אקראי:

- ◆ הנבט יוצא מקליפת הזרע רק לאחר ששהה במים, ולרוב השורשון יוצא לפני הנצרון.
- ◆ הגדילה של הגבעולים והעלים היא כלפי מעלה (ובניגוד לכוח המשיכה של כדור הארץ). השורשים צומחים כלפי למטה.
- ◆ הצמיחה של הנצר מתואמת עם צמיחתו של השורש, גידולו של האחד משפיע על גידולו של האחר.
- ◆ הפריחה והבשלת הפירות, מתרחשות במועדים מתאימים בשנה.
- ◆ הזדקנות האיברים מתרחשת בשלב מסוים במחזור החיים של האיבר או של הצמח.

מה מכונן את מהלך ההתפתחות של הצמח?

להכוונת ההתפתחות שותפים **גורמים פנימיים וגורמים חיצוניים סביבתיים**. כבר תיארו את הגורמים החיצוניים-הסביבתיים החשובים המשפיעים על **הנביטה** (פרק ב') כמו אור, טמפרטורה ומים, ואת הגורמים החיצוניים המשפיעים על תהליך ה**פוטוסינתזה**: אור, CO_2 וטמפרטורה. (האור משפיע גם על **הפריחה** כפי שתלמדו בפרק ד'). הגורמים הפנימיים העיקריים המשפיעים על התפתחות הצמח הם המידע התורשתי וה**הורמונים מווסתי צמיחה**. גורמים פנימיים אלה פועלים במשולב עם הגורמים החיצוניים בהכוונת הגדילה וההתפתחות. בכמה מההורמונים המעורבים בהכוונת הצמיחה נעסוק בסעיף זה.

על מושגים: הורמונים מווסתי צמיחה

הורמון הוא חומר המופרש באורגניזם ומשפיע על תהליכים שונים המתרחשים בו, לעתים ההשפעה היא במקום אחר מהמקום שבו הופרש. אדרנלין הוא דוגמה להורמון בבני-אדם המשפיע על קצב הלב ועל תהליכים רבים אחרים. להורמונים בבני-אדם תפקיד חשוב בשמירה על ה**הומיאוסטאזיס**. גם בצמחים יש הורמונים, המשפיעים על תהליכים בצמח ומסייעים בשמירה על ההומיאוסטאזיס בצמח. שלא כמו השפעת ההורמונים באדם, הורמונים צמחיים יכולים להשפיע גם במקום היווצרותם וגם באיברים אחרים. השפעתם של ההורמונים ניכרת בצמיחה של הצמח, ולכן נהוג לכנותם גם בשם **מווסתי צמיחה**.

3.1 אוקסין וצמיחה בכיוון אל האור

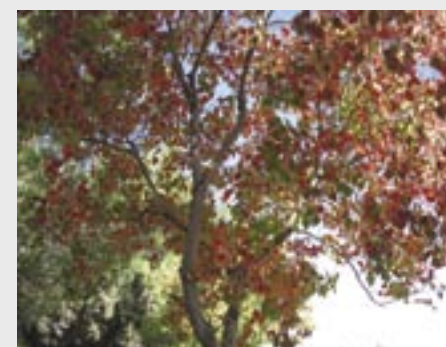
הצמיחה בכיוון אל האור היא תופעה מוכרת לכל מי שגידל צמחים בביתו. אחד הניסויים הראשונים שנעשו כדי לברר את הגורם לצמיחה בכיוון האור נעשו על ידי צ'רלס דרווין (C. Darwin), אבי תורת האבולוציה, ובנו בשנת 1880.



נבטים צומחים לכיוון מקור אור

קשר לגוף האדם:
הומיאוסטאזיס
והורמונים.

הרחבה: שלכת



ספיון השעווה לקראת שלכת

נשירת העלים והופעת עלים חדשים מתרחשת בכל הצמחים הרב-שנתיים. בעצים נשירים כל העלים נושרים בתוך פרק זמן קצר, ולכן התופעה ידועה **כשלכת**. לעתים קרובות העלים משנים את צבעם לפני הנשירה. שינוי הצבע נובע מפירוק הצבען הירוק - ה**כלורופיל** וחומרים נוספים והובלת תוצרי הפירוק לאגירה בגזע העץ. מה שנותר בעלה הם צבענים אדומים וכתומים. בדרך זו הצמח לא מאבד חומרים חשובים הנחוצים לו כאשר יגיע המועד לחידוש הצמיחה.

שלכת היא תכונה המהווה **התאמה** של הצמח לתנאי בית הגידול, והיא נקבעת על ידי המידע התורשתי שלו. השרת העלים בשלכת מאפשרת לעצים לשרוד בעונה שבה התנאים אינם מתאימים לגידולם וגם לשמור על מקצת החומרים לקראת הבלבול בעונה הבאה. באזורים שבהם החורף קר מאוד, העלים עלולים להיפגע מהקור העז ונשירת העלים בסתיו מסייעת לעץ לשרוד בתקופת החורף. בצמחים הגדלים במדבר כדוגמת **רותם המדבר**, העלים נושרים בעונת הקיץ החם והיבש, וללא עלים הצמח מאבד פחות מים.

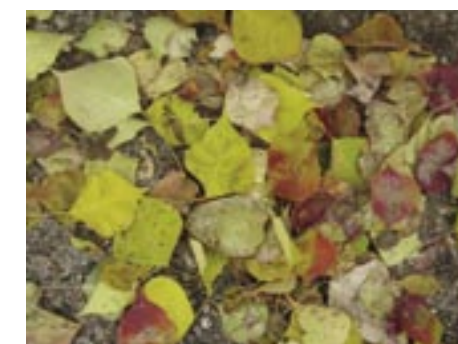
העובדה ששלכת מתרחשת לרוב בעונה מסוימת מעידה על כך שיש בצמח אמצעי לחוש את השינוי בסביבה - הטמפרטורה, מספר שעות האור או זמינות המים - ולהגיב בהתאם.

איך עולה נושא?



ניתוק העלים מהגבעול (וכך גם איברים אחרים שהזדקנו) נעשה באזור מוגדר - **אזור הניתוק**, שניתן להבחין בו בשתי שכבות:

שכבה אחת - תאים בעלי דופן דקה. בשלב מסוים התאים האלה נפרדים אלה מאלה, הקשר בין העלה לבין הענף נחלש עד שלאחר זמן מה או בהשפעת רוח חזקה, העלה נושר.



עלים שנשרו

שכבה שנייה - שכבת תאים עשירים בחומר שאינו חדיר למים, המְגִנָה על האזור שנחשף, עקב נשירת העלה, מפני התייבשות וחדירת מזיקים. לאחר שהעלה נשר נשארת על הגבעול שכבת התאים המגנה והיא נראית כמעין צלקת.

קשר לתא:
אוסמוזה.

איך תא גדל?

הצמח ואיבריו גדלים בעקבות שני תהליכים שונים המתרחשים בהם: חלוקת תאים (**מיטוזה**) וגידול בנפח התאים. גדילת התא מתאפשרת בין היתר בשל נוכחות **אוקסין** הגורם להתרופפות דופן התא. בעקבות התרופפות הדופן נכנסים עוד מים לחלולית התא, שריכוז המומסים בה גבוה מריכוזם בתמיסה החוץ-תאית. כניסת מים לחלולית מגדילה את נפח התא והלחץ על דופן התא גדל. דופן התא נמתחת ותוך כדי כך נוספים לה חומרים המשתתפים בבנייתה. אם לא היו נוספים חומרים לדופן היא הייתה הופכת לדקה יותר עם גדילת התא. כאשר תא מסיים את גידולו הדופן מתעבה ונעשית קשיחה.

הרחבה: עובד אוקסין

- ♦ אברים שונים של הצמח מגיבים באופן שונה לאותו ריכוז של אוקסין: ריכוז מסוים המזרז צמיחה של גבעול גורם לעיכוך צמיחה בשורש.
- ♦ אוקסין הנוצר בקדקוד הנצר ונודד כלפי מטה מעכב את צמיחתם של ניצנים בחיקי העלים ואת הצדדיים. תופעת העיכוך על-ידי אוקסין נקראת **שלטון קדקודי**. היתרון לצמח מתופעת השלטון הקדקודי הוא: עיקר משאביו מושקעים בצמיחה לגובה לכיוון האור - מקור האנרגיה.

ג.2 ג'יברלין והשפעתו על נביטה ועל התארכות הנצר

ההורמון **ג'יברלין** נתגלה במקרה בתחילת המאה ה-20. החקלאים ביפן הבחינו שהאורז הגדל בשדותיהם נגוע בפטרייה הגורמת לצמח האורז לגדול לגובה רב, להיחלש ולהישבר. החומר שהופק מהפטרייה כונה בשם ג'יברלין. בשנים שלאחר מכן נמצאו בצמחים תרכובות רבות השייכות לקבוצת הג'יברלינים, וכיום ידועות למעלה מ-100 תרכובות כאלה. בין ההשפעות החשובות של הג'יברלינים על תהליכים בצמח:

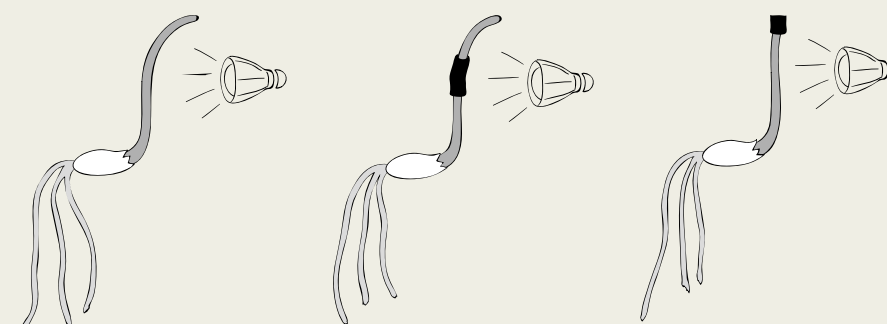
- ♦ התארכות הצמח (בדומה לתופעה שנצפתה בשדות האורז),
- ♦ נביטת זרעים ופירוק של חומרי תשמורת בזרעים נובטים (ראו פרק ב, סעיף 2.1),
- ♦ זירוז פריחה.

השפעת ג'יברלין על פירוק של חומרי התשמורת בזרע נובט נחקרה לעומקה בזרעים של שעורה. בזרעים אלה אגורים חומרי התשמורת, ובעיקר עמילן וחלבונים. התברר שלאחר ההרטבה הראשונית וחדירת מים לזרע מפרש העובר ג'יברלין המשפיע על הרכבה של אנזימים מפרק עמילן - **עמילאז** ואנזימים מפרקי חלבון. מפירוק העמילן והחלבונים מתקבלים תוצרים המשמשים את הנבט המתפתח להפקת אנרגיה בנשימה התאית וליצירת חומרים לגידולו. העדות המכריעה שכך אכן מתרחש התהליך בנבט התקבלה בניסוי שבו הוסר העובר מהזרע. בזרעים כאלה לא הופרש ג'יברלין ולא נוצרו אנזימים מפרקי עמילן וחלבון (אשנב למחקר ג-3 בעמוד הבא).

אשנה למחקר ג-2:

בעקבות דריון: מהו האפור הריש לאור בחותלת Se שצורה?

בניסוי (איור ג-12) השתמשו בחותלות של נבטי שעורה (חותלת: עלה עוברי העוטף את הנצרון בנבט של צמחי דגניים. דרך החותלת מתארכים העלים הצעירים עד שהם מבצבים מעל פני הקרקע).



איור ג-12: הניסוי בחותלות של נבטי שעורה ותוצאותיו

בניסוי נכללו שלושה טיפולים:

1. כיסוי הקצה העליון של החותלת
2. כיסוי האזור המרכזי של החותלת
3. החותלת הושארה ללא כיסוי.

החותלות הוארו מכיוון אחד ובבדקה מידת הכיפוף לעבר האור.

ענו על השאלות הבאות:

- א. מהו המשתנה התלוי בניסוי?
- ב. איזו מבין החותלות משמשת כבקרה בניסוי? הסבירו.
- ג. ציינו שלושה גורמים שיש לשמרם קבועים בניסוי והסבירו מדוע חשוב לשמור גורמים אלה קבועים.
- ד. מהם הממצאים שהובילו למסקנה שהאזור הרגיש לאור נמצא בקצה החותלת?

ממצאים ממחקרים נוספים הבהירו את האופן שבו אור משפיע על כיוון הצמיחה. נתאר כמה ממצאים חשובים:

- ♦ בקצה החותלת ובקדקודי הצמיחה, מיוצר הורמון - **אוקסין**. האוקסין נע מהקדקוד אל האזורים שמתחתיו והוא המשפיע על כיוון הצמיחה או ההתכופפות אל האור.
- ♦ אוקסין מיוצר בניצנים ובאיברים - עלים, פירות וזרעים - בתחילת התפתחותם.
- ♦ כאשר גבעול מואר מכיוון אחד, האוקסין עובר מהצד המואר אל הצד הלא מואר. הריכוז הגבוה של אוקסין בצד הלא מואר מזרז התארכות של תאים בצד זה. ההתארכות הלא אחידה של תאים בשני צדי הגבעול גורמת להתכופפות בכיוון האור (איור ג-13).



איור ג-13: התארכות תאים בצד הלא-מואר גורמת להתכופפות לכיוון האור

קשר לאקולוגיה:
תנאים ונסיגים.

4. החקלאים יכולים להשפיע על הגדילה ועל ההתפתחות



חקלאים בעבודתם

- מאז החלו בני האדם לעסוק בחקלאות הם מנצלים את הידע אודות תהליכי הגדילה וההתפתחות והגורמים המשפיעים עליהם, מתערבים במחזור החיים של הצמחים ומנסים לטפח את הצמחים ולהשביח את יבולם. ההשפעה של החקלאים על הגדילה ועל ההתפתחות של הצמחים מתבטאת בשלושה תחומים עיקריים:
- ♦ אספקת תנאים ומשאבים לקיום מיטבי של התהליכים בצמח, ובכלל זה תהליך הפוטוסינתזה.
- ♦ ויסות ותיאום התהליכים בצמח באמצעות הוספת הורמונים - מווסתי צמיחה שונים.
- ♦ שינוי מהלך הצמיחה באמצעות גיזום.

ג.4.1 אספקת תנאים ומשאבים

כל גורם המשפיע על קצב תהליך הפוטוסינתזה משפיע על מהלך ההתפתחות של הצמח.

בשדה הפתוח, במטע ובכרם אין החקלאים יכולים לשנות את עצמת האור ואת משך שעות ההארה, את ריכוזי ה- CO_2 ואת הטמפרטורה. הגורמים שהחקלאים יכולים לשלוט בהם הם כמות המים להשקיה, זמינות המינרלים והאוויר בקרקע. לעומת זאת **בחממות** וב'מנהרות' שבהן **הגידולים חסויים**, הצמחים מוגנים מפני רוחות, טמפרטורה נמוכה ומזיקים. בחממה יכולים החקלאים להפעיל **תאורה מלאכותית** וכך להשפיע גם על עצמת האור, וגם על משך שעות ההארה. בחממה ניתן גם לווסת את לחות האוויר והטמפרטורה ולהעשיר את האוויר ב- CO_2 (טבלה ג-4).



חממות



מנהרות

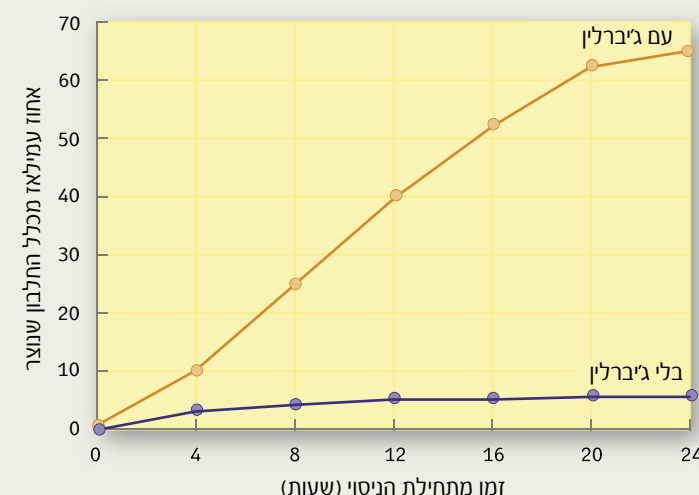
טבלה ג-4: גידולים חסויים: שיטות, חסרונות ויתרונות

השיטה	יתרונות	חסרונות
חממה	שמירה טובה על הטמפרטורה, תנאי עבודה נוחים (אפשר לעבוד בעמידה ובהליכה זקופה), מבנה עמיד בפני רוחות, אפשרות אוורור, הגנה מפני מזיקים, אפשרות להעשיר ב- CO_2 , אפשרות לווסת תאורה	עלות גבוהה מאוד
מנהרה	שמירה טובה על הטמפרטורה, עלות נמוכה, הגנה טובה מפני מזיקים	תנאי עבודה לא נוחים, ניצול השטח לא מיטבי, פגיע ברוחות חזקות

אשנה למחקר ג-3: ג'יברלין והרכבת עמילאז



חוקרים בצעו ניסוי שבו לקחו זרעי חיטה והרחיקו מהם את העובר מבלי לפגוע ברקמת חומרי התשמורת. לאחר מכן הניחו את הזרעים חסרי העובר בתמיסה שהכילה ג'יברלין. במקביל הם הניחו זרעים חסרי עובר גם בתמיסה ללא ג'יברלין. בשתי קבוצות הזרעים נבדק אחוז העמילאז במשך 24 שעות (איור ג-14).



- האם התוצאות המוצגות באיור ג-14 תומכות בהשערה שג'יברלין נחוץ להרכבה של האנזים עמילאז? הסבירו.
- מדוע הסירו החוקרים את העובר מהזרעים בשתי הקבוצות? הסבירו.

ההשפעה של ג'יברלין על התארכות הנצר נחקרה בצמחים ננסיים. בצמחי *אפונה* ננסיים, נקבעת הננסות על ידי המידע התורשתי. מוטציות בגנים האחראיים על הרכבת ג'יברלין, מפחיתות את רמת הג'יברלין וכתוצאה מכך הצמח אינו מתארך. התברר שאפשר לשנות את התפתחות צמחי האפונה הננסיים האלה על ידי הוספת ג'יברלין ולגרום להם להתפתח לגובה דומה לזה של צמחים רגילים.

ג.3.3 אתילן ותהליכי ההזדקנות

אתילן הוא הורמון צמחי שנוצר בכל חלקי הצמח, אך בעיקר ברקמות מזדקנות, כמו עלים לקראת נשירה, עלי כותרת שעבר זמנם ופירות מבשילים. בתנאי טמפרטורה ולחץ רגילים האתילן מצוי כגז ועשוי להשפיע על צמחים סמוכים.

ההשפעה של אתילן על הבשלת פירות התגלתה כאשר פירות בננה הבשילו בקצב מהיר יותר במקומות שבהם הייתה דליפת גז בישול המכיל כמויות זעירות של אתילן. כאשר בדקו את השפעת הגז על הבשלת בננות, הסתבר שהאתילן הוא הגורם לזירוז ההבשלה.



אלסנה סאחקר ע-4: העשרה ב־CO₂

בחממת ניסוי בדקו את ההשפעה של **העשרה ב־CO₂** על גדילת צמחים. שתי קבוצות צמחים גודלו באותם תנאים, אך לקבוצה אחת ניתנה תוספת של CO₂ במשך כל שעות האור, ולקבוצה השנייה לא ניתנה תוספת זו. לאחר זמן נאספו הצמחים, יובשו ונשקלו.

- משקל החומר היבש של הצמחים שקיבלו תוספת CO₂ היה גדול יותר ממשקל החומר היבש של הצמחים שלא קיבלו את התוספת.
- הסבירו את תוצאות הניסוי.
 - מדוע הוסף ה־CO₂ רק בשעות האור?
 - מה היתרון בביצוע ניסוי זה בחממה?
 - ציינו שני חסרונות לגידול בחממה והסבירו.

מקורות מים להשקיה

בארצנו הקיץ שחון וגם בחורף אין לעתים די גשמים, לפיכך מקבלים רוב גידולי החקלאות תוספת של מים באמצעות **השקיה**. תוספת מים בהשקיה לצמחים נעשית בשיטות שונות, וגם מקורות המים להשקיה הם מגוונים:

להשקיית גידולי החקלאות משתדלים להשתמש במים ממקורות שאינם ראויים לשתייה אך ראויים לשימושים חקלאיים וכך לחסוך במים ראויים לשתייה. **מי קולחין** הם מי ביוב שעברו טיהור ודרגת הטיהור שלהם קובעת את ייעודם. בישראל ממוחזרים כ־70% ממי הקולחין והם משמשים להשקיה. גידולים תעשייתיים כמו *כותנה* ניתן להשקות במים שטוהרו רק חלקית. גידולי פרחים ומזון לבעלי־חיים ניתן להשקות במים מטוהרים באיכות בינונית. עצים שהפירות שלהם נאכלים ללא הקליפה משקים במים מטוהרים באיכות גבוהה.

פירות וירקות הגדלים בסמוך לקרקע חייבים להשקות **במים שפירים** - מים ראויים לשתייה ממקורות טבעיים (בארות, מעיינות, מי תהום, מי גשם עיליים).

במקומות שונים בארץ שבהם חסרים מים שפירים, למשל באזורי הערבה והנגב, מנצלים **מי תהום מליחים** לצורכי השקיה. רמת המליחות של מים מליחים עולה על זו של מים שפירים, אולם נמוכה מזו של מ־ים. באזורים אלה מגדלים צמחים שהם עמידים יחסית למלח כגון: *עגבניות, מלונים, זיתים, תפוחי אדמה*.

קשר לאקולוגיה:
גורמים א־ביוטיים:
מליחות הקרקע.

שיטות השקיה

שיטת ההשקיה המקובלת בארץ היא השקיה סגורה, כלומר המים מוזרמים בצינורות ממקור המים אל השדה, הפרדס, הכרם או המטע. ההשקיה מתבצעת באמצעות אביזרים מיוחדים, הנפוצים מביניהם הם הממטרות והטפטפות (איור ג-15).

השקיה בממטרות: המים פורצים מהממטרה דרך פיה מסתובבת ומתפזרים למרחק מעל פני השטח. היתרונות בשימוש בממטרות הם אפשרות הניוד של הצנרת והממטרות שבראשן, אין צורך לסנן את המים וכמעט ואין סתימות בצנרת. עלות הצנרת והממטרות זולה יחסית בהשוואה למערכת השקיה בטפטפות.

החסרונות של ההמטרה הם: איבוד מים בגלל התאדות, רוחות והשקיה של אזורים שבהם אין צמחים. לכן רצוי להימנע מלהשקות בשעות החמות ובשעות שבהן נושבת רוח. אם רוצים להוסיף למים מינרלים שונים, יש צורך להוסיף כמות גדולה מהם, שכן לא כל המים והחומרים שהוספו להם מגיעים ישירות לצמח.

השקייה בקונוע: דומה להשקייה בממטרות אך יעילה יותר להשקיית שדה רחב ידיים.

השקיה בטפטפות: הטפטפות הן מערכת של צינורות שלאורכם יש פתחים במרווחים קבועים לאורך הצינורות. הצינורות פרושים על הקרקע סמוך לצמחים, והמים מטפטפים מהם טיפה אחר טיפה. על ידי קביעת קצב הטפטוף ומשך זמן הטפטוף ניתן לווסת את כמות המים שמקבלים הצמחים. ההשקיה בטפטפות מאפשרת אחידות בהשקיה, ניצול יעיל של מים וניתן להוסיף מינרלים למים וכך להבטיח שיגיעו ליעדם. כמו כן, ניתן להשקות גם בתנאים של רוח חזקה.

חסרונות ההשקיה בטפטפות הם מחירה הגבוה של תשתית הצינורות, סתימות בצנרת והצורך לסנן את המים כדי לצמצם את מספר הסתימות. ובנוסף בשיטת הטפטוף מצטברים מלחים בקרקע באזור שבו המים מטפטפים.



השקיה בממטרות



השקיה בטפטפות



השקיה בקונוע
איור ג-15: שיטות השקייה

?? שאלה ג-8

השוו (בטבלה) בין השקיה בהמטרה לבין השקיה בטפטוף. ערכו את ההשוואה על פי מאפיינים שתבחרו (למשל: עלות הצידוד).

מעניין לדעת: הטפטפת - המצאה ישראלית



הטפטפת הומצאה על ידי מהנדס ישראלי (שמחה בלאס) בשנות ה־70 של המאה הקודמת. מפעל "נטפים" בקיבוץ חֲצרים שבנגב היה הראשון בעולם שייצר טפטפות. ההמצאה הביאה למהפכה בשיטות ההשקיה והדישון בגני נוי ובחקלאות והפכה למוצר מבוקש הן בישראל והן ברחבי העולם. ביום העצמאות ה־50 למדינה הוענק לטפטפת התואר "המצאת היובל".

אספקת מינרלים באמצעות זיבול ודישון

בנוסף להוספת מים לצמחים בהשקיה, מוסיפים החקלאים לגידולים בשדה ולגידולים חסויים, מינרלים שונים. התוספת יכולה להיעשות באמצעות **זיבול** הקרקע, דישונה או שניהם גם יחד. בגידולי החקלאות הכרחי להוסיף מינרלים משום שקצירת היבול מדללת את הקרקע ממינרלים חשובים.

בזיבול מוסיפים לקרקע או למצע הגידול חומרים אורגניים שונים, כמו הפרשות של פרות ועופות, או קמח נוצות, וחלקי צמחים מתים. החומרים האורגניים שבהפרשות בעלי החיים ובשאריות הצמחים מפורקים בעזרת מיקרואורגניזמים המצויים בקרקע לחומרים אנאורגניים ובהם גם מינרלים הדרושים לצמח. תוספת הזבל משפרת בדרך כלל גם את אוורור הקרקע ואת אחיזת המים בקרקע.

יש הנוהגים להוסיף את **הזבל** כפי שהוא, ויש הנוהגים להוסיף אותו **כקומפוסט**. קומפוסט הוא זבל אורגני שנוצר מפסולת אורגנית (שאריות מזון צמחי, גזם, הפרשות של בעלי־חיים וכדומה) שעברה פירוק ביולוגי על־ידי מיקרואורגניזמים בתנאים מבוקרים. התהליך של יצירת הקומפוסט אורך כמה שבועות והוא מושפע מהטמפרטורה בסביבה, מהלחות ומהאוורור בערימת הפסולת. בסופו של התהליך נפח ערימת הפסולת קטן ומתקבל הקומפוסט - תערובת חומה בעלת תכונות של קרקע אוורירית. הקומפוסט נקי מחיידקים, ומזרעים של צמחי בר שהושמדו בשל הטמפרטורה הגבוהה השוררת בערימת הקומפוסט. איכות הקומפוסט תלויה בין היתר במרכיבים שמהם הוא נוצר וביחסים הכמותיים ביניהם.

על מושגים: מחזור

הכנת קומפוסט היא דוגמה למחזור של משאבים: שאריות של מזון, למשל: קליפות, שורשים, עלים, פירות וירקות שנרקבו או גזם עוברים שינוי לשם שימוש חוזר כזבל. דוגמה אחרת של מחזור היא טיהור מים ששימשו לצרכים ביתיים ונעשה בהם שימוש חוזר להשקיית גידולי חקלאות.



מתקן להכנת קומפוסט בחצר בית פרטי והוראות לשימוש

הוראות לקומפוסטר

מהמטבח לגינה ובחזרה

לפניכם מיכל קומפוסט, שמטרתו לאפשר למיליארדי מיקרואורגניזמים לפרק שאריות מטבח ופסולת אורגנית.

מה שמים בקומפוסטר:

שאריות פירות וירקות (רצוי לחתוך לחתיכות את השאריות הגדולות), קליפות ביצים, שאריות מזון צמחי (גם מבושלים), משקעי קפה, שקיות תה, תבניות ביצים מפורקות, נייר טישו, קרעים קטנים של נייר/קרטון/עיתון (לא צבעוני) אפר מדורה, כסחת דשא (עדיף לא בפריחה). מידי פעם בדקו אם התערובת לחה, ערבבו, ואם צריך - הרטיבו.

מה לא שמים בקומפוסטר:

כל חלבון מן החי: מוצרי חלב, ביצים, מוצרי בשר, דגים, עוף, עצמות - עלול לגרום לריח רע ולמשוך מזיקים רבים. גזם שרוסס בחומרי הדברה, ניר כרומו או קרטון צבעוני. וכמובן: פלסטיק, ניילון, זכוכית, מתכת, סוללות...

אמא אדמה מודה לכם על הזיהום שחסכתם ועל הדשן המזין והפורה שהשבתם לגינה!!

?? שאלה ג-9

- בהוראות להכנת קומפוסט בגינת הבית נאמר שיש להרטיב את הערימה מפעם לפעם וגם לערבב אותה. מהו הבסיס הביולוגי להוראות אלה?
- מהי החשיבות האקולוגית של התהליכים המתרחשים בערמת הקומפוסט?



מה שנכנס לקומפוסטר
מה שיוצא מהקומפוסטר

דישון היא פעולה של תוספת מינרלים לצמחים בהרכב מסוים ובכמויות מדויקות. הדשנים הנפוצים הם דשנים המכילים חנקן, זרחן ואשלגן (טבלה ג-2 בעמוד 57). הוספת **הדשן** נעשית באמצעות פיזורו בשדה או באמצעות מערכת ההשקיה. הדשנים השונים מיוצרים במפעלים תעשייתיים והם שונים בהרכבם בהתאם לצורכי הגידול. המינרלים בדשן מסיסים במים ולכן הצמח יכול לקלוט אותם בקלות יחד עם המים הנקלטים בשורשיו.

חשוב לשמור על היחסים הכמותיים בין המינרלים המוסיפים לצמח וכן חשוב להימנע ממתן כמויות גדולות מדי של דשן, משום שעודף דשן משפיע על יכולת הצמח לקלוט מים, ועודפי המינרלים עלולים להישטף למי התהום ולזהמם. בשנים האחרונות משתמשים גם בתכשירי דשן שניתן לרסס על חלקי הצמח העל־קרקעיים (עלים, גבעולים, גזע) במקרים של חוסר במינרל מסוים.

?? שאלה ג-10

- חקלאים נוהגים לדשן את הצמחים בדשנים המכילים חנקן. ציינו תפקוד אחד של חנקן בצמחים.
- ציינו שני יסודות, בנוסף לחנקן, שחקלאים צריכים לספק לצמחים שהם מגדלים, וציינו תפקוד אחד של כל אחד מיסודות אלה בצמח.

2.4 גישות הידע על הורמונים בחקלאות

ההשפעה על מחזור החיים ועל התפתחות הצמח יכולה להיעשות באמצעות שינוי הגורמים החיצוניים, אך גם באמצעות השפעה על **הגורמים הפנימיים** על ידי שינוי כמות ההורמונים הצמחיים הזמינה לצמח ולאיבריו. להלן כמה דוגמאות המיושמות בחקלאות:

אוקסין והשרשה: אפשר לזרז השרשת ייחורים על ידי טבילתם ב"אבקת השרשה" המכילה אוקסין. הוספת **אוקסין** למצע הגידול של תרבית רקמה מזרזת את התפתחות השורשים.

אוקסין ויצירת פירות גדולים: בפירות חסרי זרעים מוסיפים אוקסין כדי לקבל פרי גדול.

הארכת חיי הפרח: אתילן נוצר בעקבות תהליכי האבקה והוא גורם להאצת תהליכי ההזדקנות של עלי הכותרת. מניעת האבקה בדרכים שונות כמו קיטום (חיתוך) האבקנים או יצירת זנים חסרי אבקה מקטינה את יצירת האתילן בעלי הכותרת וגורמת להארכת חיי הפרח. אפשר לעכב את ייצור האתילן גם בעזרת תוספת של חומר מעכב. הארכת חיי הפרח לאחר הקטיף חשובה במיוחד בפרחים המיועדים ליצוא.

עוד על:

סימוס בהורמונים ותרבית רקמה ראו בפרק ד'.

עוד על:
דילול פירות, ראו
בפרק ד'.

קיטום פרחים מעכב הזדקנות עלים: גננים המעוניינים לשמור על מראהו הירוק של הצמח קוטמים את ניצני הפריחה וכך מעכבים את ההזדקנות. קיטום פרחים מונע יצירת פירות וזרעים הגורמים להזדקנות עלים. עד כה לא ברור אלו הם ההורמונים הנוצרים בפירות וזרעים הגורמים להזדקנות העלים.

נשירה מכוונת: חקלאים הרוצים לאסוף מהשדה פרי ללא עלים מפסיקים להשקות וגם מרססים את הצמחים בחומר הגורם לנשירת העלים. כך נוהגים למשל בשדה כותנה, לפני שקוטפים מהצמחים את הזרעים יחד עם הסיבים העוטפים אותם.

דילול פירות: כאשר רוצים לקבל פירות גדולים מורידים מהעץ פרחים ואו פירות בשלב מוקדם של התפתחותם. בעקבות הדילול יתפתחו פחות פירות אך תקטן התחרות בין הפירות (המבלעים) הנותרים על העץ והם יהיו גדולים יותר.

שינוי מהלך הצמיחה באמצעות גיזום: בצמחים רבים הפרשת אוקסין מהניצן הקדקודי גורמת לעיכוב ההתפתחות של ענפים צדדיים. תופעה זו ידועה בשם **שלטון קדקודי** והחקלאים יכולים ליישם את התופעה הזו כדי לכוון את מהלך הצמיחה ולעצב את הצמח על פי צרכיו. **גיזום ענפים** - הענף המרכזי (הקדקוד) או הענפים הצדדיים, משנה את המאזן ההורמונלי בחלקי הצמח ומשפיע על צורתו והתפתחותו.

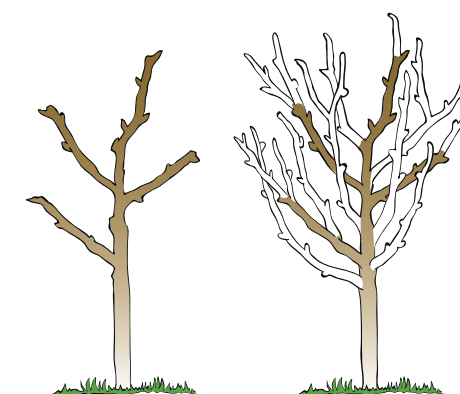
לגיזום יש כמה מטרות:

- ◆ עידוד צמיחה או דיכוייה,
- ◆ שמירה על בריאות הצמח (הורדת ענפים שנפגעו ממזיקים או ממחסור באור),
- ◆ חשיפת ענפים לאור,
- ◆ נוחות הטיפול בעצי פרי וקטיף הפרי,
- ◆ עיצוב גנני שיאפשר שימוש באזור שמתחת לעץ.

הגיזום משפיע על הפריחה ועל הפירות ומאפשר שליטה על איכות היבול, על כמות היבול ואף על מועד הפריחה והבשלת הפירות. הדבר בולט במיוחד בוורדים שבהם הגיזום דוחה את הפריחה. על ידי גיזום מתוכנן מראש ניתן לתזמן את הפריחה לעונה שבה הביקוש לוורדים גדול.

כדי שהצמח יגדל כלפי מעלה ולא יסתעפו ממנו ענפים לצדדים, גוזמים החקלאים את הענפים הצדדיים. גיזום כזה מעכב גידול בהיקף ומאפשר לגזע המרכזי להתפתח טוב יותר.

מומלץ לאחר גיזום למרוח את פצעי הגיזום במשחה המונעת גם איבוד מים וגם חדירת גורמי מחלות.



גיזום: לפני ואחרי



5. הרחבה: צמח מגיב לסביבתו

הצמחים אמנם קבועים במקומם, אך אין פירושו של דבר שהם אינם מגיבים לגירויים ואינם נעים בדרך זו או אחרת במרחב. ההיפך הוא הנכון. ניתן לראות בצמחים תגובה לגירויים המתבטאת בתנועה של איבריהם. הגידול של הנצר כלפי מעלה והגידול של השורש כלפי מטה הם דוגמאות לתגובה של הצמח לאור ולכוח הכובד של כדור הארץ. דוגמאות נוספות של תנועת צמחים הן התגובה לטרף של צמחים בעלי מנגנוני טריפה, תגובה למגע ותגובה של הצמח לכיוון אור השמש.

א. מנגנוני טריפה

בצמחים טורפים (שאותם הזכרנו בסעיף 2.1) מופעלים כמה סוגי מלכודות המסייעות ללכידת הטרף במהירות, ביניהם:



מלכודת "יונקת": מלכודת יונקת יש לצמחים הגדלים בבתי גידול מימיים או מוצפים במים. המלכודת בנויה משלפוחית שבקצה יש "דלת". ליד ה"דלת" יש שערות חישה וכאשר הטרף נוגע בהן ה"דלת" נפתחת במהירות של אלפיות השנייה והטרף נשאב לתוך השלפוחית. לאחר שהטרף נלכד, הדלת נסגרת ומיצי עיכול מופרשים לתוך השלפוחית. תנועת ה"דלת" היא התנועה המהירה ביותר שידועה בממלכת הצמחים.



צמחים טורפים: מלכודת נפילה (שופרית ארגמנית) ומלכודת נסגרת (דיוניאה)

מלכודת "נפילה": לשופרית ארגמנית צבעים עזים וצוף ריחני ומתוק. חרקים שנמשכים לכדנית מחליקים ונופלים לתוך הכד ואנזימי עיכול מעכלים אותם.

מלכודת "נסגרת": מלכודת נסגרת בנויה משני חלקים שבחלקם הפנימי יש חיישנים. כאשר טרף נוגע בחיישנים, נסגרים שני החלקים, והטרף נלכד ביניהם ללא יכולת להיחלץ. עם סגירת שני החלקים מתחילה הפרשת מיץ עיכול סביבו. גם תנועת המלכודת הזו מהירה מאוד.

ב. תגובה למגע

הצמח **מימוזה ביישנית**, או בשמו העממי "אל תיגע בי", הוא צמח ממשפחת המימוסיים והוא המין הידוע ביותר בקרב מספר מינים במשפחה זו שעליהם נעים כתגובה לגירויים מכניים כמו מגע וזעזוע.



למימוזה - עלים מורכבים וגירוי של מגע או זעזוע באחד מחלקי העלה גורם להתכנסות מיידית של העלעלים, זה מול זה והעלה כולו מתכוּפף כלפי מטה. העלים והענפים נפרסים שנית כעבור זמן מה. עיקר התנועה מתבצע הודות למבנה מיוחד בבסיס כל עלה ושינויים בלחץ הטורגור בתאים שבמבנה זה.

מימוזה ביישנית: לפני מגע בעלים ואחרי

?? שאלות לסיכום הפרק

1. כאשר רוצים להעביר צמחים בוגרים ממקום שבו גדלו למקום אחר וכדי שייקלטו היטב במקומם החדש ממליצים לנקוט בפעולות הבאות:
 - א. לבצע גיזום של חלק מנוף הצמח.
 - ב. להעביר את הצמח עם גוש האדמה שבתוכה הוא גדל.
 - ג. להשקות את הצמח עם המעבר ובתכיפות גבוהה יותר בימים הראשונים למעבר.
 הסבירו מה התועלת בכל אחת מהמלצות אלו.
2. חקלאי שם לב שהצמחים בחממה אינם צומחים כראוי. יעצו לו להוסיף מנורות בחממה אך הדבר לא הביא לשיפור הצמיחה.
 - א. כיצד ניתן להסביר זאת?
 - ב. מה הייתם מציעים לחקלאי לעשות?
3. כיצד תושפע גדילתו של צמח שיוסיפו לו אוקסין:
 - א. במקום הניצן הקדקודי (יקטמו את הניצן ויוסיפו את ההורמון).
 - ב. לקרקע בו הצמח גדל.
4. כשמבקרים בחממות סגורות אפשר להרגיש שהאוויר שם לח מאד. איך עובדה זאת משפיעה על כמות המים הדרושה להשקיית הצמחים בחממה? הסבירו.
5. ערכו השוואה בין זיבול לדישון. בתשובתכם התייחסו להיבטים שונים: מקור החומר, התועלת לצמח, הנוחות לחקלאי, חסרונות ויתרונות.
6. הדואגים לאיכות הסביבה ממליצים להכין קומפוסט ולהשתמש בו, במקום להוסיף דשן. מהם הנימוקים להמלצה זו?
7. בחרו חמישה מושגים מרשימת המושגים בסוף הפרק וכתבו פסקה קצרה הכוללת את המושגים ומבהירה את הקשר ביניהם.

ג. תגובה לכיוון השמש



חמניות

שמה של *החמנית* (ממשפחת המורכבים), שאת פירותיה - "גרעינים שחורים" - אנחנו מפצחים בהנאה, נגזר מהדמיון של תפוחת הצמח לשמש (חמה). *החמנית* "מפורסמת" בתנועה של התפוחת בעקבות תנועת השמש. תנועה זו מתקיימת הודות לקיומם של חיישנים לאור שאופן מיקומם ברקמות מאפשר לצמח "לחוש" את כיוון האור ולגרום לתנועה שבסיומה ניצבת התפוחת והעלים מול השמש.

בדרך כלל לאחר השקיעה האיברים שנעו חוזרים מעמדתם האחרונה (כיוון שקיעת השמש) אל עמדת המוצא עד לזריחה למחרת. יש לציין שהתופעה בולטת בעיקר במיני התרבות של החמניות והיא מתקיימת עד לשלב שבו הפרחים בוגרים.

?? שאלה ג-11

שערו מהו היתרון לצמח מהתגובה לכיוון השמש?

ד. תקשורת בצמח ובין צמחים

ברקמות של צמח שנפגע על ידי בעל-חיים או טפיל נוצר תוך זמן קצר **אתילן**, והוא גורם ליצירת חומרים הרעילים לאורגניזם שתקף את הצמח.

במספר מיני צמחים מצאו שיש תקשורת בין פרטים מאותו המין. בעצי *ערבה* שנפגעו מזחלי חרקים מזיקים נוצרו חומרי הגנה רעילים למזיקים. בנוסף נוצרו בעלים תרכובות שהפכו את העלים למרים ולפחות טעימים למזיקים. מעניין לדעת שהשינויים הכימיים התרחשו לא רק בעצי ערבה שנפגעו אלא גם בעצי ערבה מרוחקים מהעץ שנפגע אף על פי שהם עצמם טרם נפגעו.

תופעה דומה - תקשורת בין צמחים - נמצאה גם בעצי אורן (מחשופי הזרע). בעלים של עץ אורן שלא הותקף על ידי מזיקים, עולה ריכוז חומרי הרעל נגד אותם מזיקים שפגעו בעץ אורן סמוך.

התקשורת בין הפרטים מבוססת, כנראה, על חומרים נדיפים המשתחררים לאוויר מהפרט הפגוע ונקלטים על ידי הפרטים הסמוכים. קליטת החומרים הנדיפים מעוררת שרשרת של תגובות בתאי העלים של העץ שלא נפגע ובעקבות כך לייצור חומרי ההגנה או רעל בעלים.

?? שאלה ג-12

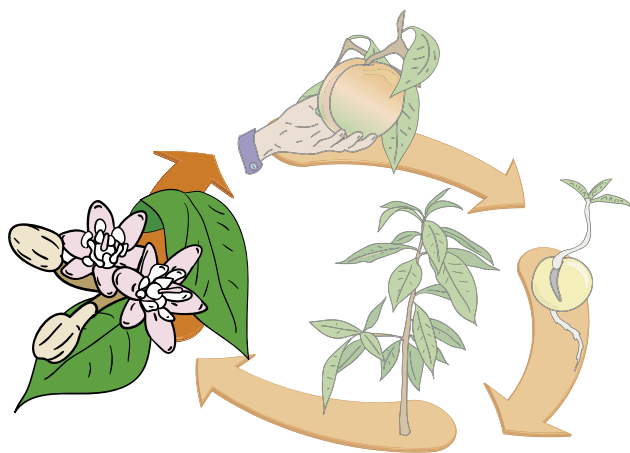
- א. מה היתרון לצמח מיצירת חומרים רעילים גם כאשר המזיקים לא נמצאים עליו?
- ב. איזו תועלת מפיק עץ קבוע במקומו מתקשורת המתקיימת בינו לבין צמח סמוך?

עיקרי הנושאים בפרק

- ♦ הצמח גדל ומתפתח בשני כיוונים מנוגדים: השורשים - אל תוך הקרקע והנצר - אל מעל לקרקע.
- ♦ תהליכי הגדילה וההתפתחות של הצמח אינם אקראיים, אלא מושפעים מגורמים חיצוניים בסביבת הצמח ומגורמים פנימיים הקשורים למידע התורשתי.
- ♦ גדילה של הצמח מלווה בתוספת של חומרים וכן הודות לשני תהליכים: התרבות של תאים בתהליך מיטוזה וגדילה של התאים. גידול במספר התאים מלווה בהתמיינות תאים לרקמות השונות.
- ♦ הצמחים הם אוטוטרופים ויוצרים חומרים אורגניים בתהליך הפוטוסינתזה.
- ♦ תהליך הפוטוסינתזה מושפע מגורמים חיצוניים (אור, טמפרטורה, ריכוז CO_2 , זמינות המים בקרקע, וזמינות מינרלים בקרקע) ומגורמים פנימיים (כמו מבנה העלה, כמות הכלורופיל).
- ♦ הפחמימות, תוצרי הפוטוסינתזה, משמשות להפקת אנרגיה בתהליך הנשימה התאית, בניית תרכובות אורגניות נוספות כמו חלבונים ושומנים. הפחמימות, השומנים והחלבונים משמשים, לגדילה ולאגירה בכל איברי הצמח, ובעיקר באיברים תת־קרקעיים, בזרעים ובפירות.
- ♦ לצמיחה ולהתפתחות הצמח דרושים בנוסף לאור ול־ CO_2 , גם מים ומינרלים שונים, כגון: חנקן, אשלגן, זרחן, מגנזיום וברזל.
- ♦ צמח חד־שנתי מזדקן ומת בתום מחזור חייו. בצמח רב־שנתי מזדקנים עלים וענפים והם מתים ונושרים אך הצמח כולו ממשיך לחיות.
- ♦ כל התהליכים במחזור חיי הצמח מתנהלים באופן מבוקר הודות לפעולתם של הורמונים, למשל: אוקסין וג'יברלין. אתילן הוא הורמון המשפיע על תהליכי הזדקנות והבשלת פירות.
- ♦ על אף שהצמחים קבועים במקומם הם מגיבים לתנאי הסביבה. איבריהם נעים במרחב בהשפעת כיוון ההארה, ומקצתם מפרישים חומרים רעילים בתגובה לנוכחות בעלי־חיים מזיקים.
- ♦ החקלאים יכולים להשפיע על קצב הגדילה ועל התפתחות הצמח בדרכים שונות: שינוי התנאים החיצוניים ואספקת משאבים לקיום מיטבי של התהליכים בצמח, ויסות ותיאום התהליכים בצמח על־ידי הוספת הורמונים שונים ושינוי מהלך הצמיחה באמצעות גיזום.

מושגים חשובים בפרק

אוקסין	טפטפות
אור	לחץ טורגור
אתילן	מי קולחין
גדילה	מיחזור משאבים בצמח
גורמים חיצוניים-סביבתיים	מיטוזה
גורמים פנימיים	מים מליחים
גיברלין	מינרלים: אשלגן זרחן חנקן
גידולים חסויים (חממות ומנהרות)	נצר
גיזום ענפים	נשירה
דילול פירות	עצמת אור
דשן	פוטוסינתזה
הורמונים	קדודי צמיחה
הזדקנות	קומפוסט
העשרה ב־ CO_2	רקמת (אזור) ניתוק
השקיה	שלב וגטטיבי
התמיינות	תאורה מלאכותית
התפתחות	CO_2
זבל	



רבייה: ממעטים לרבים

מבוא

הרבייה, מאפשרת את המשך קיומם של **המינים** (species) על פני כדור הארץ, והיא מאפיין של חיי כל האורגניזמים ובהם הצמחים.

בטבע מוכרות שתי צורות רבייה: רבייה **אל-זוויגית** (רבייה אל-מינית) ורבייה **זוויגית** (רבייה מינית).

הרבייה האל-זוויגית קדמה לרבייה הזוויגית מבחינה אבולוציונית ומתקיימת בחיידקים, בפטריות בצמחים ובמיני בעלי-חיים פשוטים. רבייה זוויגית מורכבת יותר מרבייה אל-זוויגית ומתקיימת במינים **אוקריוטים** (שתאיהם בעלי גרעין תא): פטריות, צמחים ובעלי-חיים. יש מינים המתרבים בשתי צורות הרבייה - זוויגית ואל-זוויגית.

שתי צורות הרבייה נבדלות זו מזו במספר הפרטים התורמים למידע התורשתי (הגנטי) של הפרט החדש.

1.1 דרכים לרבייה אל־זוויגית

ישנן דרכים אחדות שבהן מתפתח צמח חדש מאיברים שונים של צמח בוגר. כולן מבוססות על יכולתו של הצמח לפתח איברים חדשים מאיברים קיימים, כמו עלים, גבעולים ושורשים. התהליך התאי שעליו מבוססת רבייה אל־זוויגית הוא חלוקת תא בדרך של **מיטוזה**.

על מושגים: מיטוזה

מיטוזה היא חלוקה של גרעין התא שחלה לאחר הכפלת החומר התורשתי. בסוף המיטוזה מתקבלים מגרעין אחד שני גרעינים, שמערכת הכרומוזומים שבכל אחד מהם זהה לזו שבאחר וזהה לזו שהייתה בגרעין שממנו נוצרו. בדרך כלל לאחר חלוקת הגרעין גם התא עצמו מתחלק. תוצאת החלוקה היא שני תאי בת הזחים במטענם התורשתי.

קשר לתא:
מיטוזה.

רבייה אל־זוויגית באמצעות איברים על־קרקעיים

שלוחות

במינים שונים של צמחים ניתן למצוא **שלוחות** שהם גבעולים אופקיים, עם פרקים ארוכים ודקים יחסית, הצומחים במקביל לפני הקרקע (בדרך כלל מעל הקרקע, אך ייתכנו גם שלוחות תת־קרקעיות). גבעולים אלו מצמיחים מהניצנים שבמפרקים ענפים נושאי עלים כלפי מעלה ושורשים כלפי מטה. הענפים עם מערכת השורשים הנוצרים לאורך השלוחה מתפתחים לצמחים חדשים (איור ד-2), היכולים להפוך לצמחים עצמאיים לחלוטין כאשר יינתקו אותם מצמח האם. דוגמאות לצמחים המתרבים באמצעות שלוחות: *תות שדה*, *יבלית (דשא)*, *יִרְקָה*.



איור ד-2: שלוחות של יבלית (דשא); שלוחות של יִרְקָה

הנצה

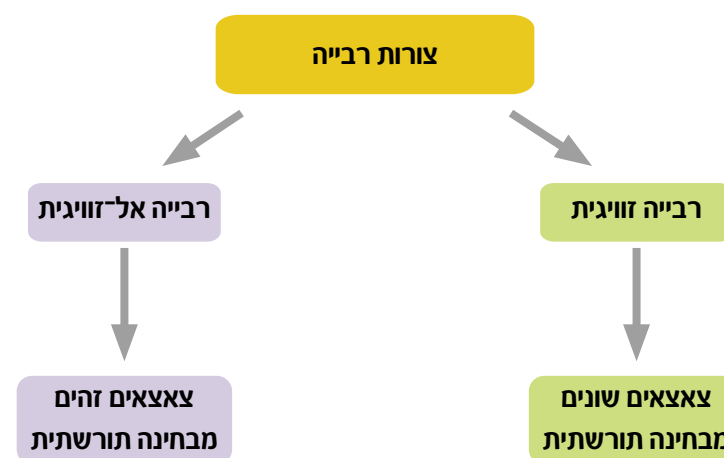
במינים מסוימים מתפתח צמח שלם מניצן המתנתק מצמח האם. אם הניצן מגיע לקרקע ומשתרש, הוא עשוי להתפתח לצמח שלם. יש מינים, כמו *הניצנית* (איור ד-3), שבהם הניצנים מתפתחים בשולי העלה ונושרים ממנו לקרקע.



איור ד-3: הנצה – עלה של ניצנית עם ניצנים בשוליו. שימו לב לשורשים שהתפתחו בחלק מהניצנים

ברבייה אל־זוויגית המידע התורשתי של פרט חדש מקורו מהורה אחד; לעומת זאת ברבייה זוויגית המידע התורשתי של הצאצא, מקורו בדרך כלל, משני הורים. ולכן:

כל הצאצאים ברבייה אל־זוויגית זהים מבחינת המידע התורשתי להורה שממנו התקבלו, והם גם זהים זה לזה. לעומת זאת ברבייה זוויגית "מתערבב" מידע תורשתי משני מקורות שונים, ולכן מתקבלים בצאצאים צירופים חדשים וייחודיים של מידע תורשתי, וכתוצאה מכך הצאצאים שונים זה מזה (חוץ מתאומים זהים) ושונים מהוריהם (איור ד-1).



איור ד-1: צורות רבייה וצאצאים

1. רבייה אל־זוויגית (וגטטיבית) – מאחד לרבים

רבייה אל־זוויגית נפוצה בצמחים ומתקיימת בהם לרוב לצד רבייה זוויגית. רבייה אל־זוויגית בצמחי זרע נקראת גם **רבייה וגטטיבית** משום שתאים, רקמות או איברים שונים של הצמח, שאינם מעורבים ברבייה זוויגית, משמשים מקור לצמח חדש.

רבייה אל־זוויגית אפשרית הודות ליכולת ההתחדשות של הצמח וליכולת הצימוח של איברי הצמח. יכולת ההתחדשות של הצמח קיימת בעיקר הודות לשתי תכונות אלו:

- ♦ בכל אחד מתאי הצמח קיים כל המידע התורשתי הדרוש לבנייה של צמח שלם.
- ♦ תא בוגר שכבר עבר **התמיינות** יכול לחזור ולהיות בעל כושר להתחלק ולהתמין לסוגים שונים של תאים.

רבייה אל־זוויגית מתרחשת באופן טבעי ובדרכים שונות. האדם מנצל דרכים אלה ליישומים חשובים ומועילים של צורת רבייה זו.

קשר לתא:
התמיינות תאים.

רבייה אל־זוויגית באמצעות איברים תת־קרקעיים

פקעות ובצלים

יש צמחים **רב־שנתיים** שיש להם איברי אגירה מעובים, תת־קרקעיים - **בצל** או **פקעת**. צמחים בעלי איבר אגירה שכזה נקראים **גיאופיטים** (גיאו - קרקע, פיטה - צמח). הגיאופיטים בארץ כדוגמת *המצב* פורחים ומצמיחים עלים בסתיו ובחורף, ואילו בקיץ חלקיהם העל־קרקעיים נובלים ונושרים והם נמצאים בתרדמה.

פקעת היא גבעול קצר ומעובה עם ניצני התחדשות. הפקעת משמשת כאיבר אגירה תת־קרקעי שממנו צומחים שורשים, עלים וגבעולים. מהפקעת הקיימת יכולות להתפתח פקעות נוספות הנשארות צמודות לפקעת ה"אם" או שהן ניתקות ממנה. בטבע הרקפת מתרבה מזרעים, אך אפשר להרבותה גם על ידי חיתוך הפקעת לכמה חלקים שבכל אחד ניצני התחדשות. בכלנית ובסתונית נוצרות פקעיות מהניצנים החיקיים של פקעת האם. הפקעיות ניתקות מהפקעת ויכולות להתפתח לצמח חדש בצמוד לפקעת האם.



חצב פורח בתחילת הסתיו



רקפת עם פקעת
(איור מתוך ספר בוטני עתיק)



רקפת



סתונית

עוד על:
גיאופיטים - כססיל
3lc.



איור ד-5: מאחד יוצאים שניים:
בצל ולצידו שני בצלצלים
צעירים (חבצלת)

בצל הוא גבעול קצר ומעובה שהעלים סביבו בשרניים ומאורגנים בצפיפות. הגבעול המעובה והעלים הבשרניים סביבו משמשים כאיבר אגירה. בחיק העלים הבשרניים מצויים ניצנים אשר יכולים להתפתח לבצלים חדשים (בצלצלים). אם ינותקו הבצלצלים מצמח האם, הם יצמיחו שורשים ועלים ויתפתחו לצמחים בוגרים עצמאיים. דוגמאות לצמחים בעלי בצל: *בצל ירוק*, *נרקיס*, *חבצלת* (איור ד-5).

?? שאלה ד-1

- בעציץ שבו צמחה כלנית אדומה נמצאו בסיום העונה שלוש פקעות. האם ייתכן שהפרחים שיתפתחו מהפקעות בעונה הבאה יהיו בעלי צבע שונה? נמקו.
- בטבע בדרך כלל מופיעות *רקפות* ו*כלניות* בקבוצות צפופות ("כתמים"). הציעו הסבר לתופעה זו.

חוטרים

חוטרים הם ענפים המתפתחים מבסיס הנצר ויכולים להתפתח לצמח עצמאי חדש, אם ינותקו מצמח האם. דוגמאות לצמחים המתרבים על ידי חוטרים: *בננה*, *עצי תמר* (איור ד-4).

מגדלי התמרים נוהגים לנתק **חוטרים** מעצי *תמר* נבחרים, לשתול אותם במטעי *התמרים*, וכך לגדל עוד עצים בעלי תכונות רצויות. כדי לזרז את התפתחות השורשים של החוטר לקראת ניתוקו מעץ *התמר* הבוגר קושרים מסביב לבסיס החוטר שק המכיל נסורת לחה, או מצע לח אחר.

גם מגדלי *היתים* מרבים את העץ בשיטה זו. כאשר הם מזהים עץ המניב פירות טובים במיוחד, הם מנתקים את החוטרים הגדלים בבסיס העץ ושותלים אותם כדי שיגדלו לעצים.

צמח *הבננה* מניב פרי רק פעם אחת במשך חייו, ולאחר מכן החלק העל־קרקעי מתנוון ומת. לפני מותו צומחים מבסיס צמח האם חוטרים שעשויים להתפתח בהמשך לצמחי בננה בוגרים. היום דרך הריבוי העיקרית של צמח הבננה היא באמצעות תרבית רקמה, עליה תלמדו בהמשך הפרק.



איור ד-4: עץ תמר עם חוטרים צעירים מוכנים לניתוק

עלים וענפים

עלים וגבעולים שנשרו עשויים להיקלט בקרקע, לצמוח ולהתפתח לצמח חדש. למשל: הגבעולים השטוחים והירוקים, דמויי "עלים", של צמחי *צבר* הנושרים לקרקע יכולים להצמיח שורשים ולהתפתח לצמחים חדשים ועצמאיים.

גם ענפים שניתקו מצמח האם יכולים להתפתח לצמח שלם. לדוגמה, ענפים של עצי *ערבה* ו*אשל* הצומחים על יד נחל, ואשר ניתקו מצמח האם, נסחפים בזרם המים ובהגיעם לגדה, עשויים להיאחז בקרקע לפתח שורשים ומתקבלים עצים חדשים ועצמאיים.



צמח חדש שהתפתח מעלה שנשר לקרקע. שימו לב ליונקות שעל השורשים

2.1 תרונות וחסרונות של רבייה אל־זוויגית

לרבייה אל־זוויגית יש יתרונות וחסרונות.

היתרונות העיקריים של הרבייה האל־זוויגית הם שניים:

- ♦ אין צורך בשותפים לתהליך (פרטים אחרים) או מאביקים שיעבירו את גרגרי האבקה מצמח לצמח.
- ♦ המידע התורשתי (הגנטי) של הצאצאים זהה לזה של ההורה.



מהו היתרון של הזכיות להורה במידע התורשתי?

היתרון של הזכות של **המידע התורשתי** הוא בכך שאם צמח האם מותאם לתנאים שבסביבתו, גם הצאצאים, הזחים לו, מותאמים לתנאים אלה ויש להם סיכוי טוב לשרוד בסביבה זו.

אולם חשוב לשים לב, שיתרון זה עשוי להיות חסרון, כאשר חל שינוי בתנאי הסביבה. האסון שהתרחש באירלנד במאה ה־19 ממחיש היטב מקרה כזה.

בעין חקלאית: מה לתפוחי אדמה ולהגירה לארה"ב באמצע המאה ה־19?

במאה ה־19 גידלו חקלאים רבים באירלנד *תפוחי אדמה*.

תפוח האדמה הובא לאירופה מדרום אמריקה במאה ה־16 ובמהלך הזמן הפך לגידול חקלאי חשוב באירופה בכלל ובאירלנד בפרט. *תפוח האדמה* היה מרכיב חשוב במזון, שכן הוא מהווה מקור אנרגיה, וכמו כן קל מאוד לגדל אותו. בזכות *תפוח האדמה* גדלה האוכלוסייה החקלאית באירלנד. מדי שנה היו החקלאים מוציאים מהקרקע פקעות של *תפוחי האדמה*, אך משאירים מקצת הפקעות לשנה הבאה. הפקעות שהושארו בקרקע היוו את הבסיס ליבול הפקעות של השנה הבאה.

ב־1845 התפשטה בכל אירופה מחלה שהגורם לה היה פטרייה מסוג כימשון. המחלה פגעה בפקעות *תפוחי האדמה* והפכה אותם לבלתי אכילים. שנה לאחר מכן הגיע הכימשון לאירלנד. יבולים רבים ירדו לטמיון ולתושבים לא נותר מה לאכול. יותר מחצי מיליון אנשים גוועו ברעב. מיליונים היגרו לארצות אחרות, רבים מהם לארצות הברית.



שאלה ד-2

- החקלאים באירלנד השאירו מקצת פקעות של *תפוחי האדמה* בקרקע. הסבירו את הסיבה לכך.
- האם המידע התורשתי של *תפוחי האדמה* בשנים שונות היה שונה או זהה? נמקו.

3.1 רבייה אל־זוויגית בחקלאות

הזכות התורשתית של הצאצאים המתקבלים מרבייה אל־זוויגית מאפשרת לחקלאים לשמר תכונות רצויות במשך דורות. מסיבה זו חקלאים מעדיפים לעתים להשתמש בצורת רבייה זו גם בצמחים המסוגלים להתרבות ברבייה זוויגית. כאשר חקלאים מצליחים לטפח זן איכותי הם משתדלים להרבות אותו בדרך של רבייה אל־זוויגית כדי לשמור על התכונות התורשתיות שלו שיועברו מדור לדור ולא יתערבבו עם תכונות מזנים אחרים. דוגמה לגידול חקלאי שאותו מרבים ברבייה אל־זוויגית בשל איכותו הייחודית היא זני גפן אחדים, כמו *קברנה סוביניון*, וכך נשמרות התכונות שלו מדור לדור.

כך נהוג גם לגבי צמחים שריבויים מזרעים קשה או בלתי אפשרי, למשל *בננה* שהיא חסרת זרעים, או זני ענבים ואבטיחים חסרי זרעים וצמחים דו־ביתיים, למשל *תמר* – צמח שאם מרבים אותו מזרעים מחצית מהעצים המתקבלים הם עצים זכריים שאינם נותנים פרי.

החקלאים מיישמים את הדרכים השונות של רבייה אל־זוויגית המתרחשות בטבע (שתוארו בסעיף 1.1ד) ובנוסף משתמשים גם ב**ייחורים** ובשיטות חדשניות שפותחו במשך השנים, כגון **תרבית רקמה**. מאחר שכמעט מכל איבר צמחי ניתן ליצור צמח חדש, השיטה הנבחרת תלויה בצמח עצמו וביעילות היישום החקלאי.

ייחורים

ייחור הוא חלק שנותק מהצמח ובתנאים מתאימים מצמיח שורשים, ענפים ועלים המתפתחים לצמח חדש. חלקי הצמח המתאימים להיות ייחורים יכולים להיות ענפים, עלים, שורשים – הכול בהתאם לסוג הצמח. ריבוי צמחים באמצעות ייחורים נעשה כבר במשך מאות שנים על ידי המגדלים, ורוב המידע על התנאים המתאימים להתפתחות ייחורים הצטבר בדרך של ניסוי וטעייה וגם באמצעות מחקר שיטתי.

בחקלאות ובגננות מרבים באמצעות ייחורים זיתים, עצי פרי, וצמחי גינה. בנוסף ליתרונות של רבייה אל־זוויגית שהוסברו בסעיף 2.1ד, הייחור גדל מהר יותר יחסית לצמח שהונבט באדמה ובדרך כלל יגיע לשלב הרפרודוקטיבי בזמן קצר יותר יחסית לצמח שגדל מזרע שנבט בקרקע.

מבחינים בין ייחורים מעוצים המשמשים בריבוי שיחים ועצים, כגון: ורדים ועצי פרי שונים, לבין ייחורים עשבוניים (לא מעוצים) המשמשים לריבוי צמחים עשבוניים כגון: *יהודי נודד*, *ביגוניה*, *פלרגוניום*. קיימים גם ייחורי עלים שבהם משמש העלה כחידת ריבוי והוא משתרש מהפטוטרת או מקצות העורקים או ממקומות פציעת העורקים למשל *סיגלית אפריקנית*.

הכנת ייחורים יכולה להיות תהליך פשוט למדי: גוזמים קטע מענף של צמח, שותלים בקרקע או שמים בכלי עם מים (איור ד-6), ולאחר שהתפתחו שורשים בקצה התחתון של הענף, אפשר לשתול אותו ולקבל צמח חדש.



סיגלית אפריקנית



איור ד-6: ייחור של פוטוס משתרש בכלי עם מים

עוד על:

3 מח דו־ביתית
- בסעיף 2.27,
הרחבה.

כּוֹשֵׁר ההתחדשות של הייחורים ויצירת שורשים מושפעים **מגורמים פנימיים** התלויים בצמח עצמו ו**מגורמים חיצוניים** בסביבת הצמח. לא כל צמח ניתן להרבות בשיטת ריבוי זו, למשל את עץ האלוך לא ניתן להרבות מייחורים. בצמחים שאותם ניתן להרבות מייחורים, יכול המגדל להתערב בתהליכים ולהשפיע עליהם באמצעות שליטה על הגורמים הפנימיים והחיצוניים המשפיעים על ההשתרשות ועל המשך ההתפתחות של הייחור לצמח שלם.

גורמים פנימיים המשפיעים על התפתחות הייחור הם אלו:

- ◆ **סוג האיבר שממנו נלקח הייחור:** עלה, ענף, או פקעת. לעתים מאותו צמח אֵם ניתן ליצור ייחורי עלה וגם ייחורי ענף.
- ◆ **גיל האיבר:** הניסיון של המגדלים הראה שייחורים מענפים צעירים משתרשים ומתפתחים טוב יותר מייחורים שנלקחו מענפים בוגרים. ההבדל ביניהם נובע כנראה מכך שמלאי חומרי התשמורת וההורמונים שבייחור הצעיר גדול יותר מזה שבייחור שנלקח מענף בוגר.
- ◆ **מלאי החומרים שבייחור:** חומרים כמו פחמימות האגורים בתאי הייחור משמשים להפקת אנרגיה וכמקור לחומרי בנייה. בעת הגדילה וההתפתחות של הצמח החדש מהייחור מתבצעת בו חלוקת תאים נמרצת, חומרים מתפרקים ונבנים ומתבצע תהליך של **נשימה תאית**. סוכרים, חומצות אמינו ומינרלים מועברים מהמאגר שבתאי הייחור לאיברים המתפתחים. ייחור שאין בו מלאי מספיק של חומרים עלול לא להתפתח. בעצים המשרים את עליהם, כאשר אין עלים מבצעי פוטוסינתזה נוצרות פחות פחמימות. לכן יש חשיבות למועד ניתוק הייחור מצמח האם. המגדלים בוחרים ליצור ייחורים בתקופה בה מתחיל ליבלוב ונוצרות פחמימות בתהליך הפוטוסינתזה.
- ◆ **כמות ההורמונים השונים שבייחור:** בעצים המשרים את עליהם, ריכוז ההורמונים נמוך יותר בסתיו ובחורף ולכן, המגדלים בוחרים ליצור ייחורים מעצים אלו בעונת האביב, שבה ריכוז ההורמונים בצמח גדול יותר מאשר בחורף. **אוקסין** שנוצר בעלים מועבר לבסיס הייחור ומזרז שם יצירת שורשים.

גורמים חיצוניים/סביבתיים המשפיעים על התפתחות הייחור דומים, כמובן, לאלה המשפיעים על גידולו של כל צמח: כמות המים העומדת לרשותו, אוורור הקרקע, הטמפרטורה, תנאי התאורה (ייחורים בעלי עלים זקוקים לאור לביצוע תהליך הפוטוסינתזה, ייחורים ללא עלים יכולים לפתח מערכת שורשים גם ללא אור, אך לאחר זמן מה יש להעבירם לאור), ושיעור הלחות באוויר המשפיעה על מידת הדיות של הצמח המתפתח. מקום החיתוך יכול להוות מוקד לכניסת גורמי מחלה.

בגידול צמחים ובכלל זה גידול ייחורים **בחממות**, בתוך עציצים וב**מצעים מנותקים** שבהם מגדלים צמחים בעציצים ובמיכלים, ללא מגע עם הקרקע, ניתן לבקר את התנאים הסביבתיים ולהתאימם לצמח: האור, לחות האוויר, כמות מי ההשקיה ותכיפותה וסוג המצע. בצמחים מסוימים ניתן לזרז את השרשת הייחורים על ידי טבילת בסיס הייחור בהורמון השרשה מסחרי שהוא תערובת של אוקסין וחומרי חיטוי. הצלחת ההשרשה מושפעת מריכוז האוקסין, משך זמן הטבילה באוקסין ובסוג הייחור.



ייחורים של תאנה

?? שאלה ד-3

לפני ההשרשה של ייחורים מומלץ להסיר את העלווה מהשליש התחתון של הייחור, ובמקרה שהייחור נלקח מעץ בעל עלים רבים, כדאי לדלל את מספר העלים. מדוע מסירים חלק מהעלים ומדוע מומלץ לא להוריד את כולם? הסבירו.

אשנה לאחקר ד-1: השפעת גורמים על השתרשות ייחורים



אבליה גדולת־פרחים

הצמח אבליה גדולת־פרחים (קונפטי) הוא שיח יפה שמגדלים בארץ למטרות נוי. ניתן להרבות את הצמח מזרעים, אך אחוז הנביטה שלהם נמוך, ולכן בדקו אפשרות לריבוי אל־זוויגי באמצעות ייחורים. החוקרים למדו מניסויים קודמים בצמחים אחרים, ששני גורמים עיקריים משפיעים על הצלחת הריבוי על ידי ייחורים: סוג הייחור (עשבוני, חצי מעוצה, מעוצה) וטבילתו באוקסין לפני שתילתו במצע גידול מתאים. החוקרים בדקו את השפעת שני הגורמים האלה על השתרשות הייחורים של הצמח.

בניסוי ראשון לקחו ייחורים מאזורים שונים בשיח (עשבוני, חצי מעוצה ומעוצה) טבלו את הבסיס באוקסין למשך זמן זהה ובדקו את אחוז ההשתרשות. הממצאים מוצגים בטבלה.

ניסוי 1: אחוז ההשתרשות של ייחורים מסוגים שונים

סוג הייחור	אחוז ההשתרשות
עשבוני	55
חצי מעוצה	10
מעוצה	5

א. הציגו את תוצאות הניסוי בדרך גרפית. נמקו את הדרך שבחרתם להצגת התוצאות.

ב. האם חשוב לבצע מספר חזרות לכל טיפול בניסוי? נמקו.

ג. מה ניתן להסיק מתוצאות הניסוי? הסבירו.

בניסוי שני בדקו החוקרים את השפעת משך ההשריה באוקסין על התפתחות ייחורים עשבוניים. את הייחורים חילקו לשתי קבוצות: בקבוצה א' הושרו הייחורים באוקסין למשך שעתיים. בקבוצה ב' הושרו הייחורים באוקסין למשך ארבע שעות. כל הייחורים גודלו בתנאים של צל המונע התעצות של הייחורים. להלן הממצאים מניסוי זה.

ניסוי 2: אחוז ההשתרשות של ייחורים עשבוניים שהושרו באוקסין

משך ההשריה בשעות	אחוז ההשתרשות
2	46
4	62

ד. האם משך הזמן של השרית הייחור באוקסין השפיע על אחוז ההשתרשות? נמקו בעזרת נתונים מהטבלה.

ה. מה לדעתכם יהיה אחוז ההשתרשות אם משך זמן ההשריה יהיה 8 שעות? נמקו.

ו. מדוע בחרו בייחורים עשבוניים לניסוי השני?

רביי בתרבות רקמה

בנוסף לדרכי הרבייה המבוססות על יכולת ההתחדשות הטבעית של חלקי הצמח, פותחה טכנולוגיה מתקדמת לרבייה אל-זוויגית - **תרבות רקמה**. רבייה בתרבות רקמה מבוססת על כושר ההתחדשות הטבעי של הצמח השלם ממקטעי רקמה זעירים, ואפילו מתאים בודדים, שאותם מגדלים על מצע גידול מלאכותי.

תרבות רקמה נעשית בתנאים מבוקרים במעבדה. לתרבות הרקמה משתמשים בקטע קטן מרקמה של איברים צעירים שעדיין לא עברה **התמיינות** אבל אפשר להשתמש גם בתאים מאיבר בוגר שתאיו כבר עברו התמיינות. תאים אלה חוזרים לפעול כתאים שעדיין לא התמיינו (תאים מריסטמטיים). הם מתחלקים ומתרבים ותוצרי חלוקות התאים מתפתחים לצמח שלם על רקמותיו ואיבריו השונים.

מעניין לדעת: התחדשות של איברים - לא רק בצמחים



היכולת לחדש רקמות ואיברים שנפגעו או נקטעו קיימת לא רק בצמחים. יש בעלי-חיים היכולים לגדל מחדש איברים: לטאה או שממית מסוגלות לגדל זנב חדש במקום זה שנקטע, סלמנדרה מסוגלת לגדל רגל אחרי קטיעה. לעומת זה, עופות ויונקים אינם יכולים לגדל מחדש איברים, אם כי העור שלנו משתקם ומתחדש אחרי פציעה או כוויה.

מצע הגידול בתרבות רקמה חייב לכלול את כל המרכיבים הנחוצים להתפתחות הצמח: סוכרוז, הרכב מאוזן של יסודות הדרושים בריכוזים גבוהים, כגון: חנקן, זרחן, אשלגן, מגנזיום וסידן, וכן יסודות הדרושים בריכוזים נמוכים, כגון: ברזל, מנגן, אבץ, בורן ועוד; חומצות אמיניות, ויטמינים והורמונים מווסתים צמיחה.

בשלב ראשון הגידול נעשה בכלים סגורים שבהם נשמרת לחות של 100% ותנאי הטמפרטורה והאור מבוקרים. בתנאים אלה התאים מתחילים להתחלק במהירות (איור ד-7).



איור ד-7: צמח מתפתח בתרבות רקמה

מצעי הגידול העשירים והתנאים במעבדות לתרבות רקמה מספקים תנאי גידול מיטביים לגידול צמחים, אך גם להתפתחות חיידקים ופטריית שנמצאים בכל מקום סביבנו וקצב התפתחותם גבוה הרבה יותר מזה של הרקמה הצמחית. לכן, חשוב ביותר לשמור על תנאים סטריליים במעבדה. אם לא יישמרו תנאים סטריליים, התרבות תזדה, ובמקום צמחים נקבל תרבות של פטריות וחיידקים! שמירה על תנאים סטריליים נעשית באמצעות סינון האוויר, חיטוי כלי העבודה, כלי הגידול ומצעי הגידול. העובדים מקפידים על תלבושת סטרילית ועל נוהלי עבודה המונעים זיהום של התרבויות. החומר הצמחי עצמו עובר לפני הכנת התרבות הליך חיטוי ארוך, המבטיח ניקיון מחיידקים ופטריית הנמצאים על הצמח ובתוכו. לעתים מוסיפים למצע הגידול חומרים אנטיביוטיים המונעים התפתחות חיידקים ופטריית.

לפי סוג הצמח נקבעת טכנולוגיית הרבייה. השיטה הרווחת ביותר היא יצירת צמח שלם מקטע של רקמה. באמצעות איזון הורמונלי ניתן לשלוט במידה רבה על התהליך. בשלבים הראשונים, של הרבייה, כאשר מעוניינים בחלוקות תאים ויצירת נצר ועלים, היחס בין ריכוזי ההורמונים **ציטוקינין ואוקסין** במצע הגידול הוא גבוה. בהמשך, כאשר מעוניינים בהיווצרות שורשים, משנים את היחס בין מווסתים הצמיחה ומגדילים את שיעור האוקסין.



איור ד-8: שתילי בנות שנוצרו בתרבות רקמה לפני העברתם למטע

בגמר גידולם במעבדה מעבירים את הצמחים הצעירים לחממה, ושם הם עוברים תהליך הסתגלות הדרגתי לתנאי החיים ש"מחוץ למבחנה" (איור ד-8). תהליך ההסתגלות הוא קריטי להישרדותם ולהצלחתם של צמחי התרבות בחממה, במטע או בשדה שאלהם יועברו.

יתרונות הרבייה בתרבות הרקמה לעומת רבייה וגטיבי בשיטות אחרות:

- ♦ היעדר מוחלט של מזיקים וגורמי מחלות בצמחים החדשים.
- ♦ האפשרות לייצר מספר רב של צמחים מצמח יחיד בעל תכונות הרצויות לחקלאי.
- ♦ אחידות בתכונות התורשתיות של הצמחים המתקבלים.
- ♦ ניתן לגדל צמחים בתרבות במשך כל השנה (ללא תלות בעונה).
- ♦ ניתן לתכנן את הרבייה והגידול ולספק את הצמחים במועד המבוקש ובכמות הרצויה.

החיסרון העיקרי של הרבייה בתרבות רקמה הוא העלות הכספית של הציוד ושל צוות העובדים המיומן: כדי לתפעל מעבדה לייצור תרבויות רקמה ולשמור על תנאים סטריליים יש צורך בציוד יקר. כמו כן השיטה מחייבת העסקת עובדים בעלי ידע רב בתחום ובעלי מיומנות גבוהה, זהירות ואחריות.

?? שאלה ד-4

הסבירו מדוע מתייחסים לתרבות רקמה כאל שיטת רבייה אל-זוויגית.

הרכבה

הרכבה היא שיטה שבה יוצרים צמח אחד משני צמחים בעלי תכונות רצויות. לצמח אחד פרי יפה, גדול, עסיסי וטעים, ווהצמח השני עמיד בפני גורמי מחלות בקרקע ומערכת שורשיו מאפשרת לו לגדול היטב גם בקרקעות שהצמח נושא הפירות המוצלחים אינו מתאים לגדול בהן. באמצעות הרכבה ניתן לקבל מפרט אחד או מפרטים אחדים, פרטים רבים בעלי תכונות רצויות. שיטה זו מקורה בסין והיא ידועה ומיושמת כבר אלפי שנים.

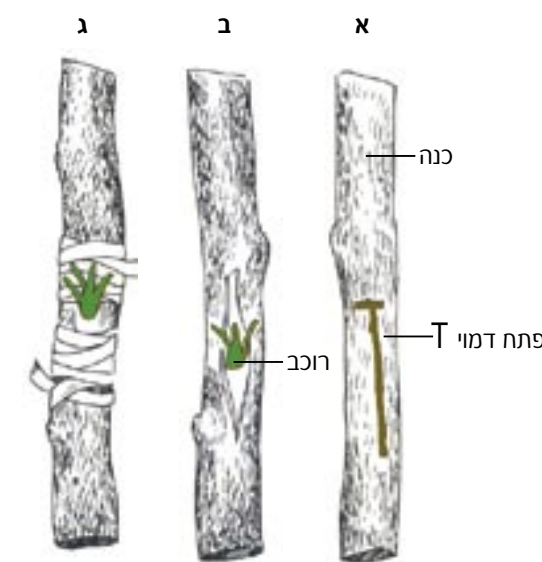
בשיטה זו מרכיבים קטע מצמח אחד על צמח אחר (הקרוב לו מבחינה גנטית) שכבר מושרש בקרקע. החלק המושרש בקרקע נקרא **כֶּנֶה**. החלק המורכב הוא קטע ענף בעל ניצנים הנלקח מצמח האם הרצוי ונקרא **רוכב** (איור ד-9). יש כמה שיטות לביצוע הרכבה, ולכל צמח מתאימה שיטה מסוימת. בכולן העיקרון זהה - יצירת מגע הדוק בין צינורות ההובלה של הכֶּנֶה לצינורות ההובלה של הרוכב.

בעקבות ההרכבה, רקמות הכנה והרוכב מתאחות, נוצרים ביניהם צינורות הובלה רציפים ושני הצמחים מתפקדים בהמשך כצמח שלם.

ככל שהקרבה הגנטית בין הכנה לרוכב גדולה יותר, כך גדלים סיכויי ההצלחה של החיבור. לרוב מבצעים את ההרכבה בין **זנים** מאותו **מין** (קרבה גנטית רבה מאוד) או בין מינים שונים מאותו **סוג** (קרבה גנטית מצומצמת יותר).

עוד על:
מכנה הצמח,
בפרק א'.

עוד על:
מינים ולנים, בפרק
ה'.



איור ד-9: דוגמה לתהליך הרכבה: א. פתח דמוי האות T בכנה, ב. ניצן של הרוכב בתוך הפתח, ג. הכנה קשורה והרוכב בתוכה

??
שאלה ד-5

למה חשוב הקשר ההדוק בין הרקמות וצינורות ההובלה של הרוכב והכנה?

רוב עצי הפרי במטעים והגפנים בכרמים הם צמחים מורכבים המשלבים את התכונות העדיפות של מערכת השורשים של הכנה עם התכונות העדיפות של הפרי של הרוכב. שיטת הריבוי באמצעות הרכבה היא שימושית גם לקיצור משך הזמן של החלפת זן בפרדס או במטע קיים. במקום לעקור את העצים הבוגרים ולשתול במקומם שתילים צעירים ניתן לגזום את העצים הבוגרים ולהרכיב על הגזע או על ענף מרכזי בוגר שלא נגזם, את הרוכב מהזן הרצוי. משך הזמן עד להתפתחות פרי יהיה קצר יותר.



איור ד-10: קטטוסים מורכבים

היום נוהגים להרכיב גם צמחים חד-שנתיים ממשפחת הסולניים: **חציל** ככנה - **עגבנייה** ופלפל כרוכבים, וגם ממשפחת הדלועים: **דלעת** ככנה - **מילון** ו**אבטיח** כרוכבים.

במשתלות של צמחי נוי מרכיבים גם קטטוסים שונים ומשיגים שילוב של צבעים וצורות (איור ד-10).

מעניין לדעת: כנה אחת, כמה רוכבים

יש מגדלים המרכיבים על כנה אחת כמה רוכבים וכך מקבלים עץ שיש לו פירות שונים. עץ כזה מתאים בעיקר לגינות פרטיות ששטחן קטן יחסית. הדבר נפוץ בעצי הדורים: על כנה אחת ניתן לקבל פירות **תפוז**, **לימון**, **פומלה** ועוד ובעצי **תות** שבהם ניתן לקבל על כנה אחת גם תותי עץ אדומים וגם לבנים.

??
שאלה ד-6

- הרכבה משמשת להחלפת זנים במטע. הציעו שתי סיבות להחלפת זן.
- תפוז הורכב על כנת לימון.
 - איזה פירות יתפתחו על העץ? נמקו.
 - האם הפירות יהיו תוצר של רבייה זוויגית או של רבייה אל-זוויגית? נמקו.

22. רבייה זוויגית (מינית) - מְשַׁנִּים לרבים

קשר לתא:
מיוזה.

כפי שלמדנו בתחילת פרק זה, הצאצאים המתקבלים ברבייה אל-זוויגית מקורם בהורה אחד והם זהים מבחינה תורשתית זה לזה. לעומת זאת, ברבייה זוויגית מתלכדים שני תאי רבייה (תוצרי תהליך מיוזה) - תא רבייה זכרי מתלכד עם תא רבייה נקבי - בדרך כלל מהורה אחד או משני הורים ומתקבלים צאצאים שאינם זהים להורים ואינם זהים זה לזה. רבייה זוויגית מתקיימת ברוב האורגניזמים ובכלל זה גם בצמחים.

בצמחים חד-שנתיים וגם בצמחים רב-שנתיים, מתחיל מחזור החיים של הצמחים עם נביטת הזרע שממנו מתפתח הצמח הצעיר. כעבור זמן מתפתחים בצמח הפרחים המכילים את איברי הרבייה הזוויגית. באיברי הרבייה של הפרח מתרחשת מיוזה, מתפתחים תאי הרבייה, ושם חלה ההפריה. בעקבות ההפריה מתפתחים בצמח פירות ובתוכם הזרעים (איור ד-11). בכל זרע נמצא עוֹבֵר שהוא תחילתו של הדור הבא.



איור ד-11: מפרח לפרי (שעועית).

מימין לשמאל: צמח בוגר נושא פרחים; פרי צעיר (תרמיל שבתוכו זרעים); תרמיל פתוח עם זרעים בתוכו

עוד על: מיוזה

מיוזה היא חלוקה של גרעין תא שבו מערך של זוגות כרומוזומים הומולוגיים (2n). בסיום המיוזה מתקבלים ארבעה תאי רבייה שבגרעין התא של כל אחד מהם מערך יחיד (לא זוגי) של כרומוזומים (n). כל אחד מארבעת התאים נושא מידע תורשתי שונה.

1.22 לקראת רבייה: פריחה

בשלב של ראשית חייהם רוב מיני הצמחים, אינם יכולים להתרבות כלל. הרבייה הזוויגית, אם כן, היא אירוע מיוחד בחיי הצמח, וכדי שיוכל לצאת אל הפועל חייבים להתקיים תנאים מסוימים, המושפעים מגורמים פנימיים ומגורמים חיצוניים/סביבתיים.

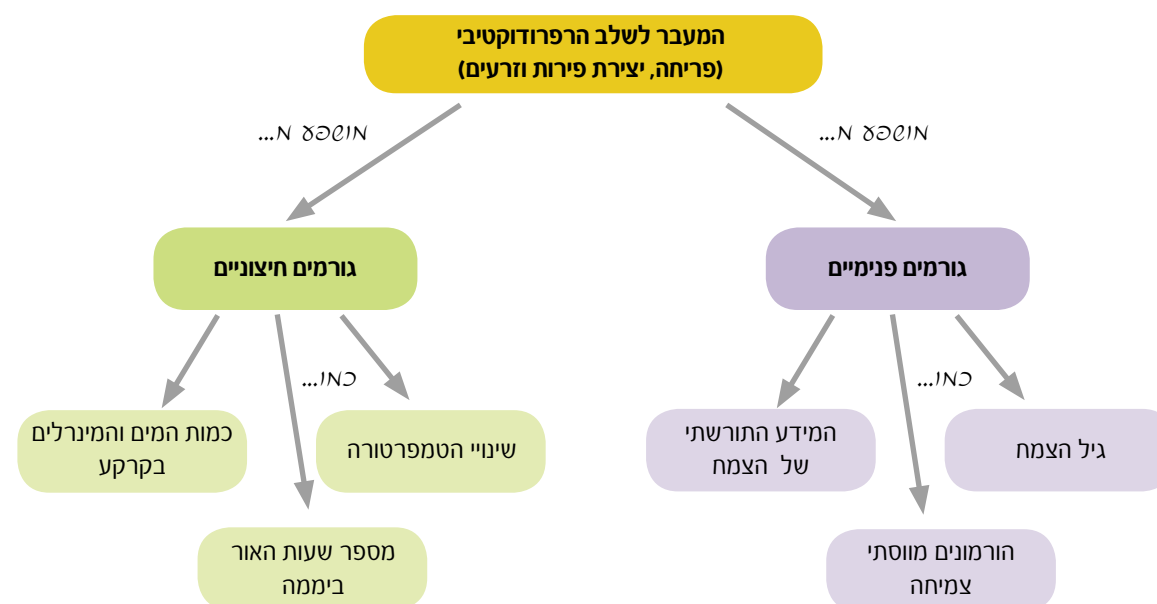
המעבר לשלב הרפרודוקטיבי, מתבטא בראש ובראשונה בהופעת איברי הרבייה - הפרחים. הפרחים מתפתחים מקדקוד הצמיחה שבקצה הגבעול או בחיקי עלים. בשלב הוגסטיבי מתפתחים קדקודי צמיחה אלה לענפים או לעלים, ואילו בשלב הרפרודוקטיבי, בעקבות גירויים מתאימים, אותם קדקודי צמיחה יתמיינו ויתפתחו לפרחים.

לכל צמח עונת פריחה האופיינית לו, והיא קבועה פחות או יותר, למשל: חצב פורח בסתיו, והשקד - בט"ו בשבט.

מהם הגורמים המכונים את המעבר לשלב הרבייה?

המעבר מהשלב הוגסטיבי לשלב הרפרודוקטיבי קשור בגורמים פנימיים ובגורמים חיצוניים (איור ד-12). הגורמים הפנימיים המשפיעים על מועד הפריחה הם אלו:

- ◆ המידע התורשתי של הצמח,
- ◆ גיל הצמח,
- ◆ פעילותם של הורמונים מווסתי צמיחה.



איור ד-12: מפת מושגים: הגורמים המשפיעים על המעבר לשלב הרפרודוקטיבי

המידע התורשתי של הצמח, קובע את מהלך ההתפתחות האופייני לו ובכלל זה את אורכה של התקופה במחזור חייו של הצמח שבה הוא גדל, אך אינו מתרבה כלל. אורכה של תקופה זו שונה במינים שונים: בצמחים חד-שנתיים הגדלים בעונת הגשמים, וגם בצמחי מדבר שמחזור חייהם נמשך חודש-חודשיים, תקופה זו היא קצרה מאוד ועשויה להימשך ימים אחדים בלבד. לעומתם בעצים רבים, וביניהם עצי הפרי, חולפות שנים אחדות לפני שהצמח מתרבה בפעם הראשונה. גם גודל איברי הצמח ומספר העלים שלו משפיעים על המעבר לשלב הרפרודוקטיבי.

התמיינות התאים היוצרים את הפרח מושפעת גם מפעילות של הורמונים. הגיברלין ידוע כהורמון חשוב בתהליכים המובילים לפריחה. רמתו עולה בצמחים רבים בשלבים הראשונים ליצירת הפרחים. גם אתילן משפיע על המעבר לפריחה בצמחים רבים.

הקשר בין אתילן לפריחה התגלה במקרה לאחר שעשן (משרפה) שחדר לחממת צמחי אגנס גרם להקדמת הפריחה של הצמחים. במחקר שבוצע עקב כך מצאו שהעשן הכיל גם אתילן והוא שגרם לפריחה המוקדמת.

עוד על:

גיברלין ואתילן, בפרק ט'.

?? שאלה ד-7

- הסבירו מדוע גודל איברי הצמח ומספר העלים שלו משפיעים על מועד הפריחה.
- האם פרחים הם מקור או מבלע? נמקו.

גורמים חיצוניים/סביבתיים חשובים המשפיעים על הפריחה הם האור והטמפרטורה. בצמחים רבים **האור** הוא הגורם העיקרי. מחקרים רבים הראו שצמחים מגיבים לשינויים במספר שעות האור ביממה - **אורך היום** - והם פורחים רק בצירוף מסוים של שעות אור ושעות חושך.

על מושגים: פוטופריודיזם ופוטופריודה

פוטופריודה: המחזוריות במהלך יממה של שעות אור/חושך בעונות השונות.

פוטופריודיזם: תגובה אופיינית של הצמח לשינויים במחזוריות שעות האור והחושך.

במחקרים שהתמקדו בגורמים לפריחה בצמחים התברר שגורם חשוב הקובע אם צמח יפרח או לא יפרח הוא הרצף של שעות החשכה, ולא דווקא מספר שעות האור.

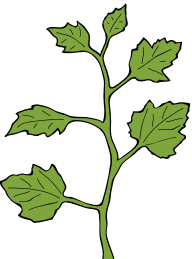
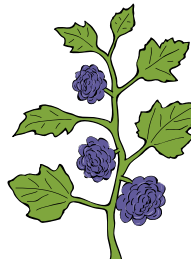
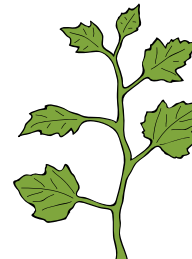
צמחי יום קצר, למשל: זנים מסוימים של *סויה*, זנים מסוימים של *טבק*, *תות-שדה*, *חמנייה* ו*חרציות*, הם צמחים הפורחים רק כאשר מספר שעות החשכה הרצופות גדול מערך סף (ערך קריטי) מסוים, בדרך כלל כ־14 שעות חושך. אם יופסק רצף שעות החשכה, ולו על ידי הבזק אור קצר, הצמח לא יפרח.

צמחי יום ארוך, למשל: *חרדל*, *כרוב*, רוב זני *החיטה* ו*השעורה*, *סלק* ו*צנונית*, יפרחו רק כאשר מספר שעות החשכה הרצופות קטן מערך מסוים, בדרך כלל קטן מעשר שעות.

צמחים הפורחים באביב מגיבים להתארכות הימים ולהתקצרות הלילות; צמחים הפורחים בסתיו מגיבים להתקצרות הימים ולהתארכות הלילות.

יש צמחים שתחילת פריחתם אינה תלויה במשך שעות ההארה, כמו: *עגבניה*, *כותנה* ו*כוסמת*.

את הקשר בין משטר ההארה לבין התפתחות פרחים ניתן לראות באיור ד-13.

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

איור ד-13: הקשר בין מחזוריות שעות אור וחושך ופריחה בשני צמחים

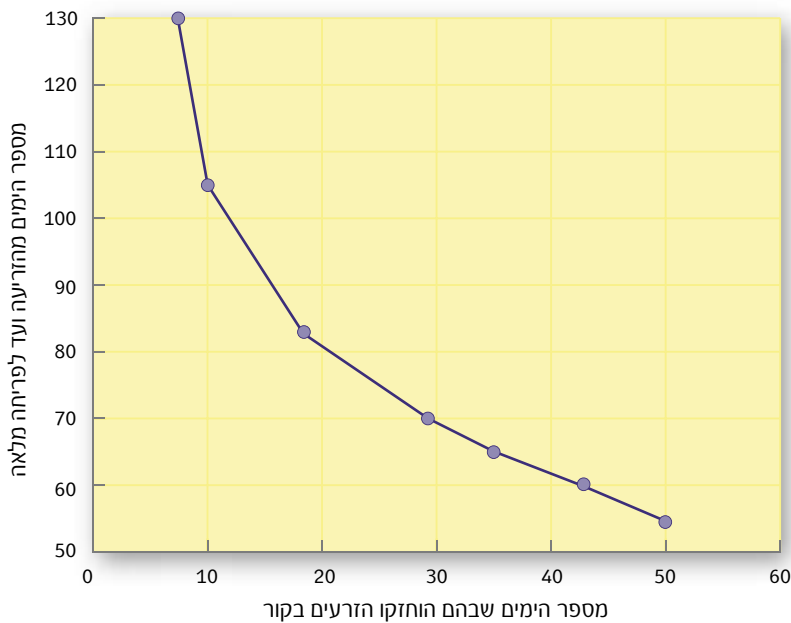
?? שאלה ד-8

מי מבין שני הצמחים באיור ד-13 הוא צמח יום קצר? הסבירו.

הרחבה: פיטווכרום ופריחה

העובדה שצמחים מגיבים לשינויים במספר שעות האור ביממה מעידה שיש בהם אמצעי להבחין בשינויים אלה. במחקרים נמצא שהאמצעי הזה הוא הפיגמנט **פיטווכרום** הקולט אור ומשתנה בעקבות כך. השינוי שחל בפיגמנט מניע תהליכים המביאים לפריחה. הפיגמנט פיטווכרום פעיל גם בתהליך הנביטה שבמינים מסויימים גם הוא מושפע מאור (פרק ב).

יש צמחים שפריחתם אינה מושפעת ממספר שעות האור והחושך ביממה אלא מגורם סביבתי אחר, למשל הטמפרטורה. יש מיני צמחים שפורחים רק לאחר שנחשפו ברציפות ולמשך זמן מסוים לטמפרטורה נמוכה יחסית (2°C עד 10°C). במינים אלה חשיפה למשך זמן קצר מדי לטמפרטורה נמוכה, מונעת פריחה. עץ *דובדבן* לדוגמה, אינו פורח ברוב חלקי הארץ בגלל שמספר הימים שבהם הטמפרטורה נמוכה, קטן מדי.



איור ד-14: ההשפעה של משך החשיפה לטמפרטורה נמוכה של זרעי שיפון חורפי על הזמן החולף עד לפריחתם

?? שאלה ד-9

השאלה הבאה מתייחסת לאיור ד-14.

כמה ימים כדאי להשאיר את זרעי השיפון בטמפרטורה נמוכה כדי שמספר הימים מזריעה עד לפריחה מלאה יהיה כעבור 60 ימים? הסבירו כיצד קבעתם זאת.

בעין חקלאית: הכוונת מועד הפריחה על-ידי תאורה מלאכותית

הידע באשר לתפקיד האור והטמפרטורה בתהליך הפריחה מיושם בתחום הגידול המסחרי של צמחים רבים, ובעיקר גידול פרחי נוי. חקלאים מכוונים את מועד הפריחה בחממות על ידי ויסות מבוקר של מחזוריות שעות האור והחושך ביממה בעזרת **תאורה מלאכותית**. כך הם מבטיחים שמועד הפריחה יחול על פי דרישת השוק לפרחים בארץ ובעולם.

שליטה על עיתוי הפריחה מושג גם הודות לשליטה על הטמפרטורה בחממה ו/או על ידי חשיפה לקור. דוגמה להשפעת האור והטמפרטורה על מועד הפריחה היא גידול ורדים ליצוא. בתחילת שנות השישים של המאה ה-20 החלו לגדל בארץ ורדים בחורף כדי לייצא את הפרחים לאירופה. באירופה, הביקוש לפרחים הוא גדול בחודשי החורף (דצמבר - פברואר), שבהם חלים חג המולד ו"יום האהבה" (יום Valentine). בטבע בתקופת החורף רוב זני הורדים מצויים בתרדמה, והפריחה מתרחשת רק עם בוא האביב. הודות לשילוב של תנאי תאורה וטמפרטורה בחממה אפשר להקדים את הפריחה למועד הרצוי בחורף.

בנוסף לכך גיזום ענפים בקיץ מבטיח התפתחות של ענפים נושאי פרחים בחורף במועדים המבוקשים. טיפול בג'יברלין בצמחים מסוימים, יכול להחליף חלקית את השפעת הטמפרטורה או את השפעת מספר שעות האור. לכן מוסיפים המגדלים את ההורמון הזה לצמחים וכך הם מכוונים את הפריחה למועד הרצוי.

עוד על:

גיבוס וז'יברלין, בפרק ז'.

2.2 מבנה הפרח

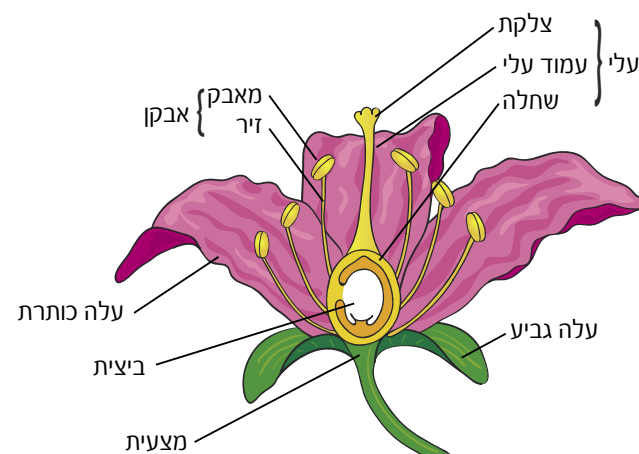
בפרחים המתפתחים עם תחילת **השלב הרפרודוקטיבי**, נמצאים איברי הרבייה הזכריים והנקביים של הצמח. כפי שצוין בפרק א', אין בנמצא פרח שאפשר לכונו "פרח טיפוס", כי כמעט ואין גבול לשוני בצורה ובמבנה של הפרחים (איור ד-15).

חלקי הפרח ערוכים בדרך כלל במעגלים:

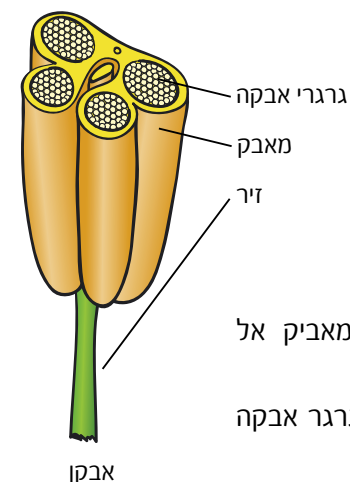
לרוב נמצא שני מעגלים של **עלי עטיף** - עלי גביע ועלי כותרת. **עלי הגביע** הם החיצוניים יותר ובדרך כלל צבעם ירוק. תפקידם העיקרי הוא להגן על חלקי הפרח האחרים, במיוחד בשלבים הראשונים של התפתחות ניצן הפרח. **עלי הכותרת** הם העלים הפנימיים יותר, והם בדרך כלל צבעוניים ומהווים אמצעי למשיכת בעלי-חיים, כמו חרקים וציפורים, המאביקים את הפרח.



איור ד-15: מגוון של צורות פרחים



איור ד-16: חתך אורך סכמטי בפרח



יש מקרים שבהם לפרח יש רק מעגל אחד של עלי עטיף, למשל במצב. יש פרחים שאין להם עלי עטיף כלל, כמו פרחי *חרוב*. במינים רבים עלי העטיף של הפרחים מאוחים (מחוברים) והם נראים כגביע שלם ולא כעלי כותרת נפרדים. פנימה מעלי הכותרת, במרכז הפרח, נמצאים איברי הרבייה: **האבקנים והעלי** (איור ד-16).

איברי הרבייה הזכריים - האבקנים

כל אבקן בנוי מזיר שנושא עליו **מאבק** עם "שקי" אבקה (איור ד-16). בתוך המאבק חלה **מיזוה** ונוצרים **גרגרי אבקה** הפלואידים. מספר גרגרי האבקה הוא רב מאוד, והם מופצים בעזרת הרוח או בעזרת בעלי-חיים לפרחים אחרים.

גרגר האבקה הבשל מוקף בדופן רב-שכבתית. השכבה החיצונית קשה מאוד ולעיתים היא בעלת בליטות ושקעים האופייניים למין.

למבנה הדופן של גרגרי האבקה ולתכונותיה יש כמה תפקידים:

- ♦ הגנה על גרגר האבקה מפני התייבשות, קרינה ופגיעות מיכניות.
- ♦ הבליטות שבדופן מאפשרות היצמדות אל המאביק וגם השתחררות ממנו בהגיע המאביק אל הצלקת. כאשר ההאבקה היא על ידי רוח, הגרגרים הם חלקים וללא בליטות בדופן.
- ♦ הדופן של גרגרי האבקה נושאת אמצעי היכרות וזיהוי בין צלקת לבין גרגר האבקה כך שגרגר אבקה ינבט רק על צלקת של פרח מאותו מין (species).

מעניין לדעת: עוד על דופן גרגרי האבקה

על אף שהחיוניות של גרגרי האבקה נשמרת שעות אחדות או מספר ימים, העמידות הגבוהה של הדופן החיצונית שומרת על צורת גרגרי האבקה שנים רבות. במספר מקרים, גרגרי האבקה סייעו לפתור מעשי פשע כאשר זיהוי גרגרי האבקה והצמח ממנו הגיעו על בגדיו של החשוד, הוביל את החוקרים לזירת הפשע.

מגוון גרגרי אבקה שנשתמרו מתקופות קדומות כמאובנים בני כ-100 מיליון שנה מסייע בלימוד ההיסטוריה הביולוגית של כדור הארץ ובהכרת התנאים ששררו בו בעבר.



שושן צחור (שימו לב לגרגרי האבקה הצהובים שנפלו על עלי הכותרת)

איברי הרבייה הנקביים - העליים

העלי מורכב משלושה חלקים (איור ד-17):

- ♦ **צלקת** בחלקו העליון של העלי,
- ♦ **עמוד עלי** המקשר בין הצלקת לבין השחלה,
- ♦ **שחלה** חלולה בחלק התחתון של העלי.



היביסקוס (שימו לב לצלקת השעירה)

הצלקת - אזור רחב בראש עמוד העלי, היא במקרים רבים שעירה או דביקה ומשמשת לקליטת גרגרי האבקה. כאשר גרגר אבקה מגיע אל הצלקת של פרח מאותו מין (species) הוא נובט. הצלקת היא מקום נוח לנביטת גרגר האבקה, שכן מופרש ממנה נוזל עשיר בסוכרים, בחומצות אמיניות ובשמנים.

עמוד העלי - דרכו עוברים תאי הרבייה הזכריים אל השחלה. בשחלה נמצאות **ביציות**. מספר הביציות וסידורן בשחלה אופייני לכל מין צמח. בביציות מתרחשת מיזוג שבעקבותיה מתקבלים מספר תאים הפלואידים, שרק אחד מהם משמש כתא רבייה נקבי - **תא ביצה**. במהלך ההפריה, גרעין תא הביצה מתלכד עם גרעין של תא הרבייה הזכרי ומתקבלת **זיגוטה**.

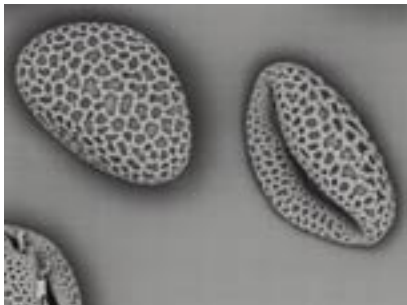
בצמחים רבים נמצאים בפרח גם **צופנים**. הצופנים הם רקמות המפרישות נוזל מתוק וריחני המושך אל הפרח מאביקים הניזונים מהצוף. אפשר להתייחס לצוף כאל "תגמול" של הצמח תמורת "שירותי האבקה" שנותנים לו מאביקיו.

בפרח דו־זוויגי שבו האבקנים והעלי נמצאים באותו פרח והם מבשילים באותו זמן, כל משב רוח קל גורם לגרגרי האבקה ליפול על הצלקת שבמרכז הפרח. לעתים קרובות ההאבקה מתרחשת בין שני פרחים שונים באותו פרט ולעתים בין שני פרטים שונים.

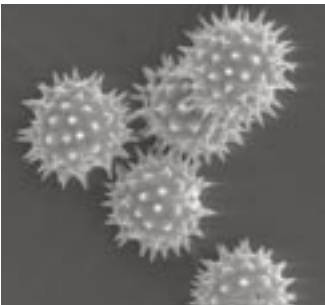
צמחים קבועים במקומם והעברת האבקה מפרח לפרח נעשית בשתי דרכים עיקריות: על ידי רוח ועל ידי בעלי־חיים (בעיקר חרקים וציפורים). על פי דרך ההאבקה נמצא התאמות שונות במבנה הפרח, בצבעו ובמבנה גרגרי האבקה (טבלה ד-1). התאמות כאלה הן דוגמה **להתאמות המבנה לתפקוד**.



האבקה על ידי בעלי־חיים



גרגרי אבקה מצמחים שונים (מוגדלים בערך פי מאה)



טבלה ד-1: התאמות להאבקה על ידי הרוח ועל ידי בעלי־חיים

מאפיין/תכונה	האבקה על־ידי רוח	האבקה על־ידי בעלי חיים
גודל הפרחים וצבעיהם	פרחים קטנים חסרי צבע	פרחים גדולים וצבעוניים או פרחים קטנים ערוכים בקבוצות (תפרחות)
מבנה הפרח	לעתים חסרים עלי כותרת. פרחים משתלשלים למטה כעגילים רפויים	דמוי צינור שבתחתיתו איברי הרבייה איברי רבייה חשופים בליטות שמכוונות את החדק
צופנים	אין	יש
ריח בפרחים	אין	יש
מבנה אבקנים	בולטים מתוך הפרח, גמישים	ערוכים בפרח כך שהאבקה תידבק לגוף החרק או לרגליו
מספר גרגרי אבקה	מספרם רב מאוד	מספרם רב אך קטן מזה שבפרחים המאובקים על ידי הרוח
מבנה של גרגרי האבקה	משקלם קל, שטח פניהם חלק, במחטניים (מחשופי הזרע) יש תוספות, כמו שקיות האוויר בגרגרי אבקה של אורן	גדולים וכבדים יחסית, בעלי תוספות כגון זיזים וקוצים
מבנה הצלקת	חשופה, בעלת שטח קליטה רחב ודביק, מסועפת	בעלת משטח קליטה קטן יחסית ודביק



הרחבה: בית אחד או יותר?



חרוב: עץ נקבי עם פירות

לפרחים של רוב מיני הצמחים יש גם אבקנים וגם עלי. פרחים כאלה הם **דו־זוויגיים** (דו־מיניים) - מכילים איברי רבייה נקביים ואיברי רבייה זכריים באותו הפרח. יש מיני צמחים שבפרחים שלהם יש עלי בלבד או אבקנים בלבד. פרחים אלה מכונים **חד־זוויגיים** (חד־מיניים). צמחים שפרחיהם חד־זוויגיים, אך הם נמצאים יחד על אותו פרט (לדוגמה, *תירס*) הם צמחים **חד־ביתיים**. צמחים שפרחיהם חד־זוויגיים והם נמצאים על פרטים שונים, יש להם שני "בתים", כלומר הם **דו־ביתיים**, לדוגמה: *חרוב*, *תמר*, *תות עץ* ו*אלון*.

3.2.2 הַאֲבָקָה

כדי שיתפתח צאצא, בדומה ליצירת צאצא אצל בעלי־החיים, יש צורך בהתלכדות תא רבייה זכרי (גמטה זכרית) המצוי בגרגר האבקה עם תא רבייה נקבי (גמטה נקבית) המצוי בביצית בתוך השחלה. תאי הרבייה הם הפלואידים (n) ובכל אחד מהם יש עותק יחיד של החומר התורשתי. בצמחים קודם להתלכדות תאי הרבייה צריכה להתרחש **האבקה**, כלומר מעבר של גרגרי האבקה אל הצלקת.

קשר לתא:
הפֿלואיד ודיפֿלואיד.



איור ד-17: שנית גדולה: גודל שונה של אבקנים ועלי

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 ד-17). האבקה פורייה תתאפשר רק אם גרגרי אבקה מאבקן קצר יפלו על צלקת קצרה ולהיפך.

ב. הפרדה במועד הבשלת האבקנים והצלקת

ההפרדה בזמן פירושה שהבשלה של האבקנים ושל העלי אינה חלה 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 ממשפחות השפתניים והמורכבים.

ג. אי התאם עצמי

"אי התאם עצמי" מתבטא בכך שגרגרי אבקה של אותו פרט לא יכולים כלל לנבט על הצלקת "שלהם", כלומר יש כאן דחייה של ה"עצמי" וקבלה של הלא-עצמי. המנגנון המונע נביטה של גרגר האבקה או את המשך ההתפתחות של הנחשון הוא תורשתי ומבוסס על הכרות בין עצמי לבין לא-עצמי.

?? שאלה ד-10

- מהו היתרון בקיומן של שתי דרכי האבקה באותו צמח?
- הסבירו יתרון אחד וחיסרון אחד של מנגנון למניעת האבקה עצמית.

בעין חקלאית: החשיבות של "שירותי האבקה"

רבים מיבולי הפירות תלויים בהאבקה על ידי חרקים וציפורים. כלכלנים בארה"ב העריכו את ערכם של "שירותי ההאבקה" הניתנים לחקלאים על ידי חרקים וציפורים בסכום של יותר מ-4 מיליארד דולר (4,000,000,000) בשנה!

ההאבקה חיונית לקבלת הזרעים והפירות, ולכן החקלאים נוקטים בשיטות המגדילות את הסיכוי להאבקה, העיקריות שבהן:

♦ **תוספת מאביקים:** החקלאים משלמים לדבוראים (כוורנים) כדי שאלו יניחו את הכוורות שלהם בקרבת הגידולים הנזקקים ל"שירותי האבקה". יש חברות המשווקות כוורות לחממות, שכן חממה הסגורה נגד פגיעת מזיקים מונעת גם ביקורים של מאביקים ידידותיים. כוורות של **דבורת הבומבוס** מוצבות גם במטעים (למשל אבוקדו) ונמצא שהן מעלות את שיעור ההאבקה ואת כמות הפירות המתקבלים.

מעניין לדעת: קדחת השחת



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

לא כל גרגר אבקה שמגיע אל הצלקת נובט עליה ומפרה את הביציות שבשחלה. בראש ובראשונה לא ינבטו על צלקת של צמח מסוים גרגרי אבקה של מיני צמחים אחרים שעפו ברוח או הגיעו אל הצלקת במקרה באמצעות חרק או ציפור. מתופעה זו משתמע שיש בצמח מנגנון היכרות ורק גרגרי אבקה של אותו מין (species) מצליחים לנבט. אם גרגרי האבקה הנובטים על הצלקת הם מאותו הפרח או מפרח אחר באותו הפרט (בצמח חד-ביתי) זוהי **האבקה עצמית**; אם גרגרי האבקה הגיעו מפרט אחר מאותו המין (species) זוהי **האבקה זרה** (הדדית). במיני צמחים רבים נמצא שמתקיימת גם האבקה זרה וגם האבקה עצמית.

להאבקה עצמית יש יתרון במינים שבהם הסיכוי להאבקה זרה קטן, למשל כאשר המרחק בין הפרטים גדול מאוד. חשוב לדעת שגם בהאבקה עצמית הצאצאים אינם זהים להוריהם, משום שבתהליך יצירת תאי הרבייה חלה מיוזה, תאי הרבייה הנוצרים שונים אלה מאלה במידע התורשתי שלהם, והתלכדותם היא רבייה זוויגית לכל דבר. יחד עם זאת, בצמחים רבים מוצאים מנגנונים מיוחדים המקטינים את הסיכוי להאבקה עצמית ובמקרים קיצוניים אף מונעים אותה לחלוטין.



אילו נמנעת האבקה עצמית או מוקטן הסיכוי להאבקה עצמית?

באופן עקרוני אפשר לסווג את המנגנונים למניעת האבקה עצמית לשלוש קבוצות:

א. הפרדה במיקום של איברי הרבייה הנקביים והזכריים
הפרדה במיקום מושגת באופנים הבאים: בפרחים חד-זוויגים כל פרח מכיל רק איברי זוויג מטיפוס אחד - או אבקנים או עלים. בצמחים דו-ביתיים הפרחים נמצאים על פרטים שונים (לדוגמה *תמר*, *חרוב*).



תפרחת זכרית של חרוב צריך (שימו לב שלפרחים אין עלי כותרת)

4.2.2 הפריה

בדומה לרבייה זוויגית בבעלי-חיים, גם **בהפריה** של צמחים מתלכדים שני תאי רבייה שונים ונוצרת **זיגוטה** דיפלואידית שממנה יתפתח העובר. אך בצמחים מכוסי זרע תהליך ההפריה מורכב מעט יותר.

ההפריה מתרחשת בתוך הביצית שבשחלה של הפרח.

בהפריה משתתפים שני תאי הרבייה הזכריים (הגמטות) שהגיעו בתוך הנחשון דרך עמוד העלי (איור ד-19). בהפריה גרעין של אחד מתאי הרבייה הזכריים מתלכד עם הגרעין של תא הרבייה הנקבי - **תא הביצה** - ונוצרת זיגוטה דיפלואידית (2n) שממנה יתפתח העובר (איור ד-19).

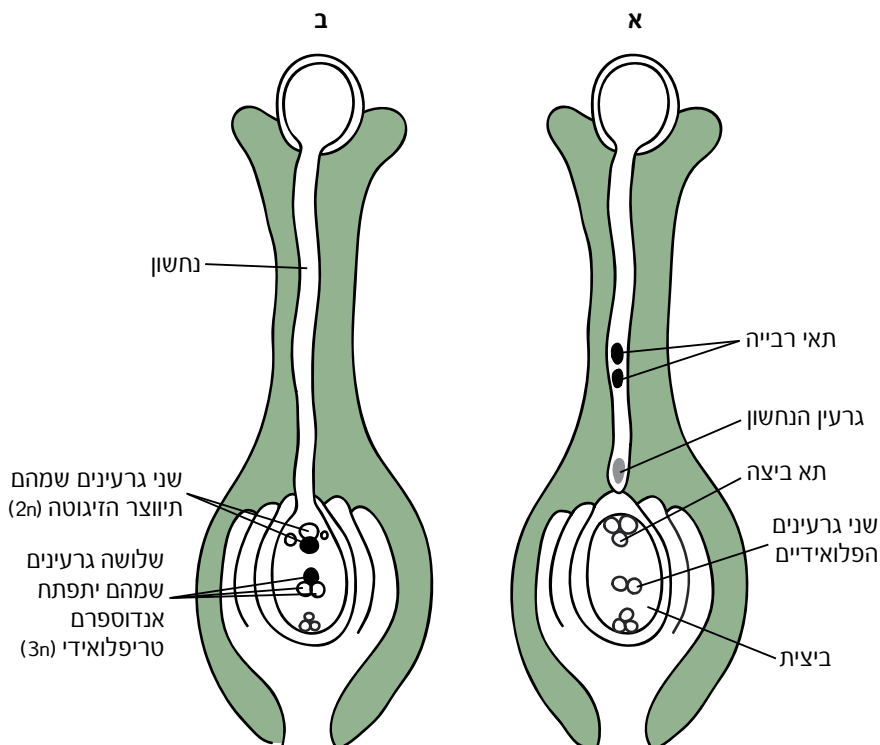
הגרעין של תא הרבייה הזכרי השני מתלכד עם שני גרעינים הפלואידיים שבביצית וכך נוצר התא הראשון של **האנדוספרם** עם גרעין טריפלואידי (בעל שלושה מערכים של כרומוזומים 3n). תא זה מתחלק במיטוזה ומתפתחת רקמה שבה נאגרים **חומרי התשמורת** שישמשו להזנת העובר במהלך התפתחות הזרע ולהזנת הנבט בראשית התפתחותו.

תהליך הפריה זה שבו משתתפים שני תאי רבייה זכריים נקרא **הפריה כפולה**. הפריה כפולה מתקיימת רק בצמחים מכוסיי-זרע.

מהביצית המופרית מתפתח, אם כן, הזרע על כל חלקיו: העובר והאנדוספרם. בדרך זו שני ההורים תורמים ליצירת העובר וגם ליצירת חומרי התשמורת/האנדוספרם. העטיפות של הביצית תתפתחנה לקליפות הזרע המגינות על העובר המתפתח, עד שימצאו תנאים נוחים לנביטתו.

לאחר ההפריה נובלים האבקנים, הצלקת ועמוד העלי. בצמחים רבים גם עטיף הפרח נובל ונושר. השחלה עצמה מתפתחת לפרי שבתוכו נמצאים הזרעים. מספר הזרעים בפרי נקבע על פי מספר הביציות שהופרו בשחלה.

לא כל הפרחים "זוכים" להיות מואבקים ולא בכולם יתפתחו פירות. פרחים רבים נושרים בטרם הוואבקו, בגלל קרה או רוח חזקה. רק בפרחים ששרדו את תנאי הסביבה, הוואבקו בגרגרי האבקה המתאימים והתרחשה בהם הפריה - יתפתחו פירות ובהם זרעים.



איור ד-19: הפריה כפולה בצמחים מכוסיי זרע. א. הנחשון גדל לכיוון הביצית; ב. ההפריה

מעניין לדעת: טעם הדבש



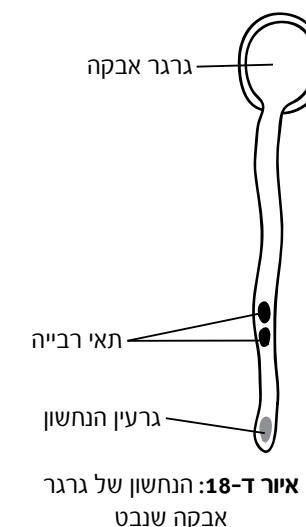
טעם, צבע ומרקם הדבש מושפעים ממין הצמח ממנו נאסף הצוף. יש גידולים בהם יש פחות צוף ו/או הדבש פחות טעים והכוורנים לא מעוניינים לשים על ידם כוורות, אלא אם החקלאים ישלמו...

♦ **האבקה מלאכותית:** במספר גידולים מבצעים החקלאים האבקה מלאכותית בה הם מעבירים באופן מכוון את גרגרי האבקה מצמח לצמח, במטרה להגביר את הסיכוי לקבלת יבול פירות גדול או לגרום להפריה שלא מתרחשת בטבע. **האבקה מלאכותית** נהוגה במטעי התמרים. רוב העצים במטע הם עצים נקביים ורק עצים בודדים הם עצים זכריים. החקלאים אוספים את האבקה מהעצים הזכריים ומפזרים אותה על הצלקות הנקביות. כך מובטחת האבקה יעילה יותר מהאבקה על ידי רוח יבול הפירות יהיה גדול יותר.

כדי להתגבר על מחסומים שלא מאפשרים האבקה טבעית, יש מקרים שבהם החקלאים מזריקים את גרגרי האבקה ישירות לתוך השחלה וכך לא נתקלים בגרגרי האבקה במחסומים בצלקת ובעמוד העלי שמונעים הפריה באופן טבעי. בדרך זו ניתן לייצר זנים חדשים - **זני מכלוא** - שהם בעלי תכונות רצויות לחקלאים, ולא היו נוצרים אלמלא התערבות האדם.

נביטת גרגר האבקה

לאחר שגרגר האבקה נחת על הצלקת הוא נובט. בהשפעת חומרים המופרשים מן הצלקת, צומחת מתוך פתח זעיר שבגרגר האבקה, אל תוך רקמת הצלקת, שלוחה עטופת קרום. שלוחה זו מכונה **נחשון**. גרגר האבקה שממנו נבט הנחשון נוצר בתהליך **מינוזה** ומכיל בתוכו שלושה תאים הפלואידיים: אחד מתפתח לנחשון, ושני התאים האחרים הם תאי הרבייה הזכריים הנמצאים בתוך הנחשון (איור ד-18). הנחשון מפריש אנזימים ממסי רקמות וכך הוא מפלס את דרכו בתוך עמוד העלי. בעת צמיחתו ניזון הנחשון מחומרים שברקמת עמוד העלי. הנחשון מתפקד כגשר שדרכו מגיעים תאי הרבייה מגרגר האבקה שנבט על הצלקת אל תא הרבייה הנקבי הסגור **בביצית** בתוך השחלה.



הרחבה: הביצית



הביצית היא מבנה מורכב הכולל 8 גרעינים הפלואידיים תוצרי **מינוזה**. בהפריה משתתפים רק תא הביצה ובו גרעין הפלואידי ושני גרעינים הפלואידיים שבמרכז הביצית. מספר הביציות בכל שחלה אופייני למין הצמח. משחלה עם ביצית יחידה יתפתח פרי עם זרע אחד.

5.2.2 מזיגוטה לעובר: מתא אחד ליצור רב־תאי

הזיגוטה - התא הדיפלואידי שנוצר בהפריה - היא התא הראשון של העובר ושל הצמח העתיד להתפתח ממנו. הזיגוטה מתחלקת לשני תאי־בת ואלה ממשיכים להתחלק (**מיטוזה**). לאחר חלוקות רבות מתקבל עוֹבֵר שאפשר להבחין בו בנצרון ובשורשון (איור ד-20).

כאמור, בעקבות ההפריה הכפולה מתפתח גם **האנדוספרם** שהוא מאגר של חומרי הזנה שישמשו את העובר בשלבים הבאים של התפתחותו. באנדוספרם אגורים פחמימות, שומנים וחלבונים והם משמשים את הצמח הצעיר עד שהוא מייצר בעצמו בתהליך הפוטוסינתזה את החומרים הנחוצים לו.

יש צמחים, כמו אלו ממשפחת הקטניות (*אפונה, שעועית, בוטנים*), שבהם החומרים באנדוספרם מועברים במהלך התפתחות העובר אל העלים הראשוניים של הנבט - **הפסיגים**, ושם הם נאגרים. בצמחים אחרים, כמו *חיטה* או *תירס*, האנדוספרם מספק ישירות את החומרים הדרושים להתפתחות הצמח הצעיר - 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 אחר שניתק מצמח האם.



איור ד-20: נצרון, שורשון ופסיגים של צמח דו-פסיגי : שעועית

חומרי ההזנה ה"ארוזים" בזרע יחד עם העובר נועדו אמנם לשמש את הצמח המתפתח אולם, גם אחרים נהנים מהם; זרעים מהווים מזון משובח ומרוכז לאדם, וליצורים רבים אחרים, למשל: מיני דגניים (*אורז, חיטה, תירס*), וקטניות (*אפונה, בוטנים, סויה*), שזרעיהם הם מרכיב חשוב במזוננו, וכן אגוזים שונים כמו *פקאן*.

זרעים: עוֹבְרִים ארוזים עם מטען של מזון

העוברים הם הדור הבא, ולפיכך ניתן למצוא בצמחים מבנים ומנגנונים שהתפתחו במהלך האבולוציה ומשמשים להגנה על העוברים. בצמחים בעלי זרעים העוברים ארוזים במעטפות המגינות עליהם מפני פגיעות שונות: מכניות, כמו שחיקה בקרקע, שיני בעלי־חיים, חומצות וחומרים אחרים במערכת העיכול של בעלי־חיים (שאוכלים את הפרי המכיל את הזרעים) ופגיעה על ידי פטריות וחיידקים.

ההגנה הזו חשובה מאוד בצמחים, כי בשונה מבעלי־חיים, בצמחים המעבר מעוֹבֵר ליצור עצמאי, הממשיך להתפתח ליצור בוגר, אינו רצוף אלא מקוטע. בתקופת הזמן החולפת מהבשלת הזרעים והפצתם ועד הנביטה חשוף הזרע לפגעים שונים.

בזרע, תכולת המים נמוכה והפעילות המטבולית מצומצמת מאד, לפיכך הוא עמיד גם בתנאי אקלים קיצוניים (יובש, חום, כפור). עוֹבֵר הצמח מצליח 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 (חום רב ויובש). לעתים הזרע נובט רק זמן רב לאחר שנוצר, וכך הזרע הוא לא רק האמצעי של הצמח להפצת הדור החדש במרחב אלא גם מגדיל סיכויי קיומו לאורך הזמן.

התפתחות הפרי

בצמחים מכוסי זרע הזרעים מתפתחים בתוך הפירות. **הפרי** הוא אותו חלק של הצמח אשר מתפתח מהשחלה של הפרח, בדרך כלל בעקבות ההפריה. לעתים משתתפים ביצירת הפרי גם חלקים אחרים של הפרח למשל: המצעית - שהיא בסיס הפרח, ועליה ערוכים איברי הפרח, או עלי עטיף הפרח. כל פרי יכול להכיל זרע אחד או יותר. מגוון הצורות והמבנים של פירות הוא רב, והם מותאמים הן להגנה על העוברים והן להפצה יעילה של הדור החדש.

שימו לב: על פי הגדרה זו, גם מה שאנו מכנים בשפת היום־יום בשם "ירקות", כמו עגבניות, מלפפונים, פלפלים וחצילים הם פירות במובן בוטני.

תחילתו של תהליך יצירת הפרי קרוי **תְּנִטָה** [תְּנִיטָאנָה תְּנִטָה פְּגִיָה] (שיר השירים, ב, 13). גם לאחר התנטה לא כל הפירות שהחלו להתפתח משלימים את התהליך. בהדרים נושרים כ־90% מהפרחים שעברו חנטה, באבוקדו שיעור החנטה הוא כ־1%, אך גם שיעור זה מבטיח יכול גבוה לחקלאים.

בעקבות החנטה מתחיל שלב **גדילת הפרי**. תוצרי פוטוסינתזה מובלים בצינורות השיפה מאיברים ירוקים בצמח אל הרקמות העתידות להתפתח לפרי והן גדלות בנפחן, ומתמלאות בחומרים כמו סוכרים. התאים בפרי מתחלקים וגדלים, החלולית תופסת את רוב נפח התא ונוצרים רווחים בין התאים.

גודל הפרי מושפע מהמידע התורשתי של הצמח, מכמות המשאבים העומדת לרשות הצמח, ומתנאי מזג האוויר. גם הזרעים המתפתחים בפרי משפיעים על גודלו. ריבוי זרעים מגדיל את רמת **האוקסין** וה**ג'יברלין** בפרי, ואלו גורמים להכוונת כמות גדולה יותר מתוצרי הפוטוסינתזה אל הפרי ופחות תוצרים אל החלקים הווגטיביים. השפעת הזרעים וההורמונים המופרשים מהם על התפתחות הפרי היא ניכרת, למשל כאשר חסרים בפרי מקצת הזרעים, הוא מתפתח בצורה מעוותת.



מפרח לפרי: פרח של מלפפון והפרי; פריחת הדורים ופירות

קשר לאקולוגיה:

התאמה לתנאי הסביבה.

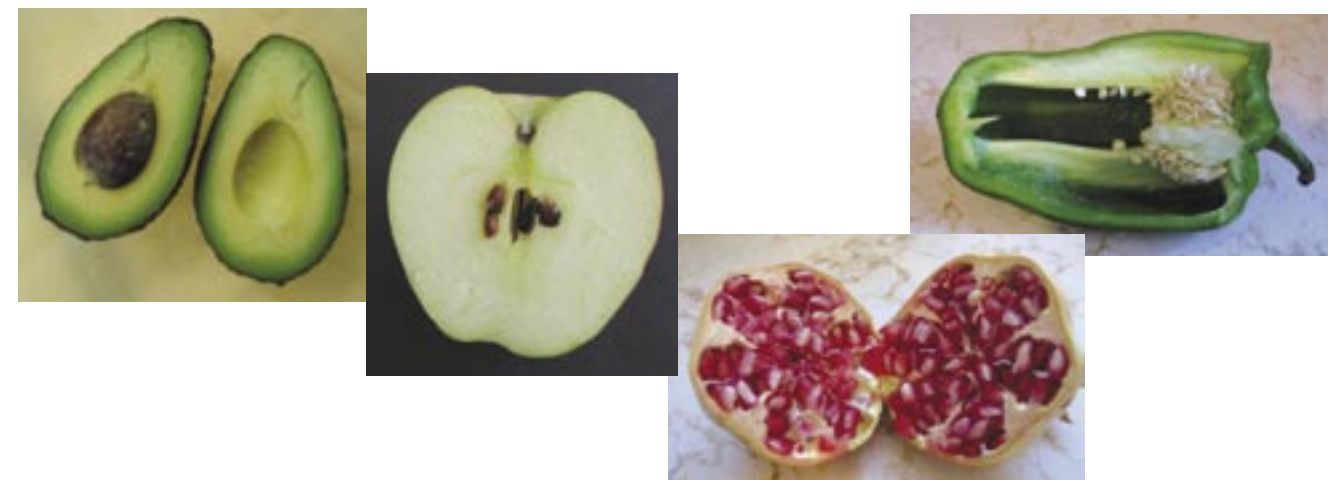
עוד על:

הקליפה ותנאי נביטה, בפרק ב'.

עוד על:

חומרי תשמורת בלרע, בפרק ב'.

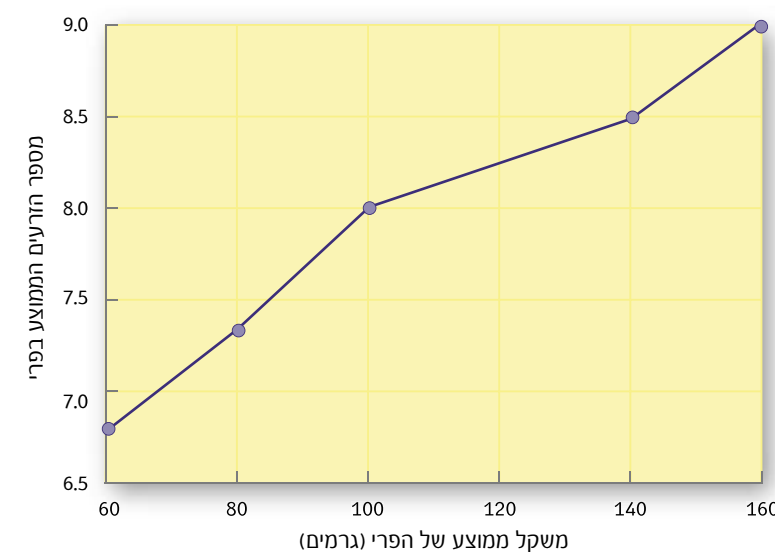
במיני צמחים שבפירותיהם יש יותר מזרע אחד נמצא קשר בין גודל הפרי למספר הזרעים שבו; בפרי גדול יש יותר זרעים מאשר בפרי קטן. במיני צמחים שונים מוצאים שיש יחס הפוך בין גודל הזרעים למספרם. במינים שבהם הזרעים קטנים מאוד ואפילו זעירים (כגון *סחלבים*, *לוע ארי*), מספרם עצום ורב עד כי קשה לספרם.



זרעים בפירותיהם: פלפל ורימון - הרבה מאוד זרעים; תפוח - מעט זרעים; אבוקדו - זרע אחד

?? שאלה ד-11

לפניכם גרף המתאר את הקשר בין המשקל הממוצע של פרי *התפוח* לבין מספר הזרעים הממוצע לפרי (איור ד-21).



איור ד-21: הקשר בין המשקל הממוצע של הפרי לבין המספר הממוצע של זרעים בפרי התפוח

- מהו הקשר המתואר בגרף בין משקל הפרי לבין מספר הזרעים הממוצע?
- האם סביר למצוא פרי תפוח שיש בו 20 זרעים? נמקן.

לקראת סיום שלב הגדילה של הפרי, מתחיל שלב ה**הבשלה** שלו. בשלב זה חלים בפרי שינויים במרכיבים הכימיים, בטעם, בריח, בצבע, במידת הרכות של הפרי וברמת החומציות (pH).



עגבייה אדומה וירוקה

הכלורופיל שהקנה לפרי את צבעו הירוק מתפרק, וחומרי צבע אחרים מופיעים. במקרים רבים חומרי תשמורת לא מסיסים כמו עמילן, מתפרקים לסוכרים ומקנים לפרי הבשל את טעמו המתוק, בד בבד קטנה גם כמות החומצות. תאי רקמת הפרי - ה**ציפה** - מתמלאים בחומרים מזינים וטעימים המקיפים את הזרעים. הציפה הופכת את הפרי למזון לבעלי-חיים רבים כולל האדם. אפשר היה לחשוב שאכילת הפירות יש בה חיסרון לצמח, אולם תכונות אלה ותכונות אחרות של פירות מהוות התאמה להפצת המין (כפי שאפשר לראות בטבלה ד-2 בעמוד 110).

לא כל הפירות הם פירות עסיסיים שזרעיהם מופצים על ידי בעלי-חיים. יש רב-גוניות גדולה גם בקרב הפירות. יש פירות יבשים, כמו תרמילים בצמחי קטניות, שנפתחים ומשחררים זרעים, ויש פירות שלא נפתחים, והזרעים מופצים כשהם בתוך הפרי כיחידת תפוצה אחת, כמו ב**ממנייה** ("גרעינים שחורים").

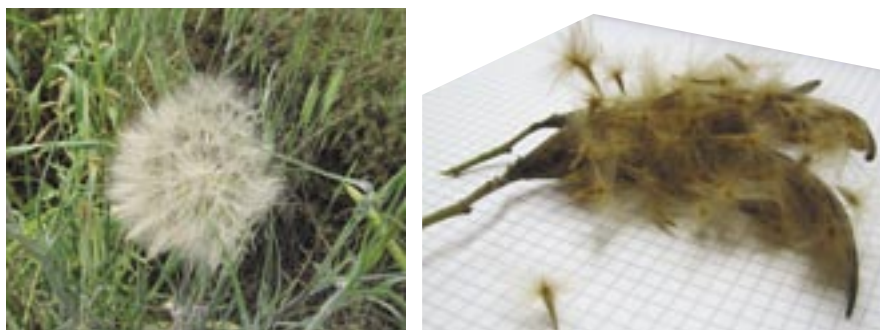
פעילות ד-1: בדיקת נוכחות סוכר בבננה ירוקה ובבננה בשלה

- ♦ חתכו פרוסה בעובי של 5 ס"מ מבננה בוסר (בננה ירוקה). טפטפו עליה טיפת לוגול ורשמו מה ראיתם.
- ♦ חתכו פרוסה בעובי של 5 ס"מ מבננה בשלה וטפטפו עליה טיפת לוגול. רשמו מה ראיתם.
- ♦ מהבננה הבשלה חתכו פרוסה נוספת בעובי של 5 ס"מ, מעכו אותה, הוסיפו כ- 2 מ"ל מים, סננו דרך גזה למבחנה. הוסיפו למבחנה 3 טיפות של תמיסת בנדיקט וחממו את המבחנה בזהירות מעל להבה. תארו מה קרה.
- א. איזה חומר מזהה לוגול ומה מזהה תמיסת בנדיקט?
- ב. שערו מה תהיה התוצאה אם תבדקו רסק של בננה בוסר עם תמיסת בנדיקט. הסבירו על מה ביססתם את ההשערה.
- ג. חזרו על הבדיקה עם תמיסת בנדיקט עם פרוסה מבננה בוסר.
- רכזו את התוצאות מכל הבדיקות בטבלה.
- ד. על סמך הממצאים בטבלה - סכמו מה מתרחש במהלך הבשלת הבננה.

תהליכי הבשלת הפרי צורכים אנרגיה, והם מלווים בהגברת תהליכי ה**נשימה התאית** ועקב כך גידול בצריכת החמצן בפרי. בפרי נוצר **אתילן** והוא משפיע על קצב ההבשלה. אתילן שנפלט מהפרי משפיע גם על הבשלת פירות הנמצאים לידו.

הפצת פירות וזרעים

ההמשכיות של קיום המין מותנית בין השאר באמצעים להפצה יעילה של הזרעים. ברוב הצמחים הזרעים מופצים ללא הפרי אך יש מיני צמחים שזרעיהם מופצים עם הפרי או עם חלקים ממנו. למשל, לאחר ההפריה מתפתחת על ראש זרעוני הסביון ציצת שערות והתפרחת כולה נראית כ"ראש סבא". כל זרעון הוא יחידת תפוצה הכוללת פרי ובתוכו הזרע, וציצת שערות מסייעת ליחידת התפוצה לעוף למרחק בעזרת הרוח (איור ד-23).



איור ד-23: הפצת פרי על ידי הרוח (מימין: זרעי הרדוף; משמאל: "ראש סבא")

במקור החסידה הפרי מורכב מיחידות שבכל אחת מהן יש זרע אחד. לכל יחידה כזו יש מבנה דמוי זנב המתפתל כאשר הזרע ניתק מהצמח (איור ד-24) ומסייע בהפצת הזרע למרחק והחדרתו לתוך הקרקע.



איור ד-24: זרע של מקור חסידה

בפירות עסיסיים המופצים על ידי בעלי-חיים, מגן הפרי על הזרעים ומסייע בהפצתם. יש פירות הנאכלים עם הזרעים שבתוכם, כמו קיווי, עגבנייה ומלפפון, ואילו פירות אחרים נאכלים בלי הזרע שקליפתו קשה, כמו הית, התמר והאפרסק. יש זרעים רעילים, דבר המונע את אכילתם על ידי בעלי-חיים, למשל זרעי צמח הקיקיון.



הפרי נאכל הזרעים נשארו (מנגו ומשמש)

פירות צבר ("סברס")

קשר לאקולוגיה: יחסי גומלין.

מעניין לדעת: גם אוכלים וגם מפיצים

לצמח הקיקיון יחסי הגומלין מעניינים, בעיקר עם נמלים. הזרע עצמו רעיל, אך בקצהו יש גופיף שומני מזין שהנמלים אוכלות. הנמלים ניזונות מהגופיף השומני והזרעים מופצים במרחב. יחסים דומים קיימים בין האלון למכרסמים שונים, כמו הערנן. קצה הבלוט של פרי האלון, שבו נמצא העובר, טעמו מר, ולכן בלוטי האלונים נאכלים רק בחלקם. הבלוטים האכילים למחצה נישאים על ידי המכרסמים למחילותיהם, שבהן קיימים תנאים טובים לנביטה יותר מאלו שבשטח הפתוח.



יש פירות שמסיימים את תהליך ההבשלה לאחר שנקטפו. פירות אלה מכונים **פירות קלימקטריים**. בפירות אלו תהליך הנשימה התאית ממשיך להתקיים בעצמה גבוהה גם לאחר שנקטפו. דוגמאות לפירות קלימקטריים: בננה, מנגו, עגבנייה. דוגמאות לפירות לא קלימקטריים: תפוז, פלפל, מילון ותות-שדה. אבוקדו הוא דוגמה לעץ שפירותיו מבשילים רק לאחר שנשרו מהעץ.

??

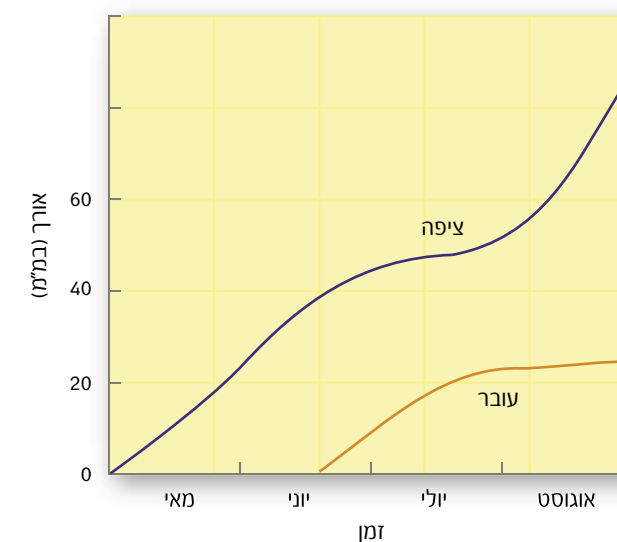
שאלה ד-12

- מהו היתרון לחקלאים מפירות קלימקטריים? הסבירו.
- סבתא של דני נוהגת להכניס את פירות האבוקדו הקשים שהיא קונה במרכול לשקית נייר חומה למשך מספר ימים. מה הסיבה לנוהג זה?

??

שאלה ד-13

- במהלך הבשלת הפרי חלים שינויים בגודל חלקיו כפי שניתן לראות באיור ד-22.
- תארו את הממצאים המוצגים באיור ד-22.
- השוו את מהלך השינויים בעובר לעומת מהלך השינויים בציפה.
- מה תפקיד הציפה בפרי?



איור ד-22: השתנות אורך הציפה והעובר באפרסק במהלך הבשלתו

מעניין לדעת - פטנט מהטבע

אחת ההמצאות השימושיות ביותר בחיי היום-יום היא הפסים הנצמדים ("סקוטש") שמשמשים בהם לסגירת נעליים, תיקים ועוד. הרעיון שעליו מבוסס ה"פטנט" הזה לקוח ישירות מהטבע: קרסים/לולאות (כמו בפרי האספסת) שנצמדים בחזקה לפרוות בעלי-חיים.



פסי "סקוטש"



פרי של אספסת: הבליטות מסייעות להפצת הפרי באמצעות בעלי-חיים

??

שאלה ד-15

בפרי עסיסי וגדול מושקעים חומרים ואנרגיה שמקורם בצמח האם, שהעובר או הצמח הצעיר אינם "זוכים" להשתמש בהם. מהו היתרון לצמח שיש לו פרי אכיל ועסיסי?

ד2.6 בעין חקלאית: מעורבות החקלאים בהכוונה של התפתחות פירות

כפי שנוכחתם לדעת החקלאים יכולים להתערב בכל שלבי גדילת הצמח (פרק ג'), לכוון את מועד הפריחה (סעיף ד2.1) להשפיע על ההאבקה (סעיף ד2.3) וכן להשפיע על איכות הפרי, גודלו ומועד הבשלתו.

השפעה על מספר הפרחים והפירות

- ◆ שלב החנטה הוא שלב רגיש בחיי הצמח, ופרחים רבים נושרים בשלב זה בשל גורמים חיצוניים, כמו רוחות חזקות, קרה או ברד. ריסוס באוקסין מונע לעתים נשירה זו בעיקר בתנאי קרה. הגברת חנטה בזני אגסים מסוימים מתקבלת בעקבות ריסוס בג'ברלין.
- ◆ לעתים החקלאים אינם מעוניינים בפרחים רבים בשל התחרות על המשאבים בין הפרחים ובהמשך בין הפירות המתפתחים. לכן בגידולים מסוימים, מדללים החקלאים את הפרחים או את הפירות. **דילול פרחים ודילול פירות** יכולים להיעשות באופן ידני או בעזרת הורמונים צמחיים. לעיתוי הדילול ולמידתו יש פנים לכאן ולכאן: דילול מוקדם של פרחים עלול לגרום לדילול יתר, להתפתחות פירות מעטים ולאובדן יכול והכנסה. לעומת זה בדילול מאוחר (לאחר החנטה), יש בזבז של משאבי הצמח, ומאחר שהוא נעשה בדרך כלל באופן ידני גם עלותו לחקלאים גבוהה יותר.
- ◆ **גיוז ענפים** משפיע בצורה דומה להשפעה של דילול הפרי. בעקבות צמצום נופו של העץ מועברים יותר משאבים לענפים שנותרו ולפירות שעליהם, וענפים נחשפים לאור.

דרכי ההפצה של פירות וזרעים הן מגוונות ביותר, כפי שניתן לראות בטבלה ד-2.

טבלה ד-2: תכונות של פירות וזרעים והתאמתם להפצת הזרעים

	תכונה/מבנה של הפרי/הזרע	דוגמה	התאמה להפצה על-ידי...
פרי	פרי עסיסי, מתוק ורך	משמש, ענבים, אבוקדו, עגבנייה	1.
	פרי שנפתח וזורק זרעים ("מתפוצץ")	ירוקת החמור, כליל החורש	2.
	פרי שנפתח רק אחרי שהוא נרטב	ריסן נאכל	תזמון הנביטה לעונה גשומה
	פרי בעל תוספות זיזים	אספסת	3.
	פרי בעל תוספות המאפשרות דאייה/הדומות לכנפיים, פרי בעל ציצת שיער	מכנף נאה סביון	4.
	לזרע גוש שומני בקצהו	קיקיון	5.
	לזרע תוספת של שערות	כותנה הרדוף הנחלים	6.
זרע	חומרי התשמורת באזור הקרוב לעובר מכילים חומרים מרים ואילו בחלק הרחוק מהעובר המרירות אינה גבוהה	אלון	7.
	לזרע צמוד מקור ארוך שהתפתח מעמוד העלי, כאשר המקור מתייבש הוא מסתלסל כמו בורג או קפיץ	מקור חסידה	הפצה למרחק ו"הברגה" של הזרע לתוך הקרקע



הפצת זרעים בירוקת החמור



כליל החורש: תרמילים עם זרעים



מכנף נאה

??

שאלה ד-14

בטבלה ד-2 הושארו תאים ריקים. השלימו במחברת את המידע החסר.



פירות ללא זרעים: בננה ואפרסמון

לפירות ללא זרעים יש ביקוש רב על ידי משקי הבית וכן על ידי תעשיית המזון, שכן קל יותר לעבד פירות חסרי זרעים. היתרונות למגדל הם אי תלות בגורמים חיצוניים, כמו רוח או מאביקים, ושליטה טובה יותר על מועד השיווק בהתאם לדרישות הצרכנים.

הרחבה: אבטיחים ללא זרעים



אבטיח ללא זרעים

דרך נוספת ליצירת פירות ללא זרעים היא באמצעות הפריה שמונעת התפתחות זרעים, כמו במקרה של אבטיחים "ללא זרעים".

כדי לקבל אבטיח ללא זרעים משתמשים בשני הורים שונים: ההורה הזכרי התורם את גרגר האבקה הוא אבטיח "רגיל" שיש לו שני מערכים של כרומוזומים (דיפלואידי 2n). ההורה הנקבי הוא אבטיח שיש לו ארבעה מערכים של כרומוזומים והוא למעשה ארבע-פלואידי (4n). ההורה הנקבי התפתח מזרעים ארבע-פלואידים שנבטו והתפתחו לצמחים בוגרים בעלי פרחים.

כדי שיתפתחו פירות בזנים אלה יש צורך בהאבקה זרה. במהלך ההאבקה תורם כל הורה גמטה המכילה מחצית ממספר הכרומוזומים שלו: שני מערכים מההורה הנקבי (2n) ומערך אחד (n) מההורה הזכרי. מתקבל פרי שזרעיו הם טריפלואידים (3n). המספר האי-זוגי של הכרומוזומים פוגם בהתפתחות הזרעים. בעקבות ההפריה מתקבל פרי עסיסי ומוצק יותר מפרי "בעל זרעים", אך הזרעים המעטים שנוצרים בו הם קטנים, שקופים (לעתים לבנים) ואינם פוריים.



השפעה על איכות הפרי, גודלו ומועד הבשלתו

- ♦ כמות המים העומדת לרשות הצמח משפיעה על התפתחות הצמח כולו ועל פירותיו. משטר ההשקיה משפיע על מהלך התפתחות הפירות ועל ריכוז הסוכרים בפרי. כאשר ההשקיה אינה מרובה הפירות, בדרך כלל, מתוקים יותר.
- ♦ הוספת הורמונים צמחיים גורמת לקבלת פירות גדולים יותר. יש לציין שהשימוש בהורמונים עלול לגרום לעיוות בצורת הפרי ולכן על החקלאים להקפיד על המינונים המתאימים.
- ♦ ביצוע **חיגור** מונע מעבר מוטמעים (תוצרי פוטוסינתזה) לחלקים התחתונים של הצמח, וכך מגיעים יותר מוטמעים אל הפירות המתפתחים. לעתים קיטום של קדקודי צמיחה גורם לאותה תוצאה מכיוון שהצמח לא גדל גידול וגטיבי ועיקר המוטמעים מועברים לפירות המתפתחים.
- ♦ השפעה על מועד ההבשלה - פירות קלימקטריים (כגון: אבוקדו, בננה, עגבנייה) מסיימים את תהליך ההבשלה לאחר הקטיף. לתהליך זה קוראים **הבחלה**. אפשר לעכב את ההבחלה על ידי שמירת הפירות בתנאים של טמפרטורה נמוכה המעכבת נשימה, או לזרז את ההבחלה על ידי הוספת אתילן למרחב שבו מאוחסנים הפירות. מועד הוספת האתילן נקבע על פי הצורך בשוק בפירות אלו.

כדאי לדעת שלעיתים מעורבות החקלאים גורמת לכך שהפירות אמנם גדולים ונאים וחיי המדף שלהם ארוכים אך הם, במקרים רבים, פחות טעימים. זוהי אחת הסיבות לכך שגוברת כיום הנטייה לבחור בפירות שגודלו ללא כל התערבות מצד החקלאים.

יצירת פירות ללא זרעים (פרתנוקרפיה מושרית)

יש מקרים שבהם מתפתחים **פירות חסרי זרעים**, תופעה זו נקראת פֶּרְתֶּנוֹקָרְפִּיָּה (פרי - karpos; בתול - parthenos). פירות חסרי זרעים מתפתחים בטבע כאשר נקטע הקשר בין התפתחות הפרי לבין התפתחות הזרעים. יש צמחים שבהם שחלת הפרח מתפתחת לפרי אחרי ההפריה, אך 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 היעדר זרעים הוא חסרון כי לצמחים כאלה אין דור המשך.

דוגמאות לפירות פרתנוקרפיים הם **בננה**, **אנגוס** וזנים מסוימים של **אבטיח**, **אפרסמון**, **פירות הדר** ו**ענבים**.

בחקלאות התעשייתית אפשר לגרום באופן מלאכותי להתפתחות פירות ללא הפריה וללא זרעים. דרך אחת היא על ידי טיפול בהורמונים צמחיים: ריסוס ב**אוקסין** (תאנים), ריסוס ב**ג'ברלין** (אוכמניות, אגסים, גפן) וריסוס ב**ציטוקינין** (זני גפן מסוימים). דרך נוספת היא **הנדסה גנטית**. דוגמה לשימוש בדרך זו: החדירו לצמחי עגבנייה גן שמקורו בחיידקים. הגן גורם לפרחי העגבנייה להמשיך להתפתח לפרי גם אם לא התרחשה הפריה. הפרי המתקבל הוא חסר זרעים. יתרון השיטה בא לידי ביטוי גם כאשר התנאים האקלימיים לא מאפשרים האבקה והפריה בדרכים המקובלות.

עוד על:
חיגור, בסעיף 3.1.

עוד על:
הנדסה גנטית,
בפרק ה'.

ד.3 רבייה זוויגית ורבייה אל-זוויגית: עקרונות, יתרונות וחסרונות

כפי שצוין בתחילת הפרק בעולם החי מוכרות שתי צורות רבייה: **הרבייה הזוויגית** (רבייה מינית) ו**הרבייה האל-זוויגית** (כולל רבייה וגטיבית).

לכל אחת מצורות הרבייה יתרונות וחסרונות. לעתים בסביבה מסוימת צורה אחת מהווה חיסרון, אולם בסביבה שונה היא מהווה יתרון.

היתרונות והחסרונות של רבייה אל-זוויגית הוזכרו בסעיף 2.1ד. בסעיף זה נפרט את החסרונות והיתרונות של הרבייה הזוויגית.

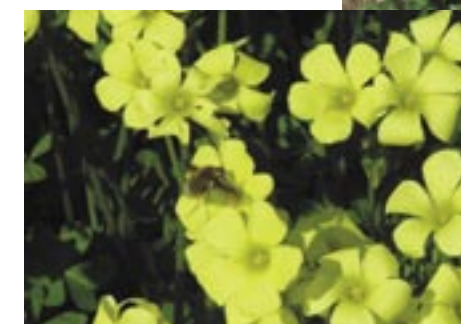
בצמחים החיסרון של רבייה זוויגית נובע מהצורך במאביקים. בעלי-חיים הם ניידים ויכולים לנוע זה לקראת זה כדי להזדווג. הצמחים לעומתם ניחים, קבועים במקומם. כדי שתאי הרבייה יעברו מפרט אחד לפרט אחר יש צורך להיעזר בגורם כלשהו. במקרים רבים מדובר בחרקים או בבעלי-חיים אחרים שעוברים מפרח לפרח וכך מעבירים את גרגרי האבקה ובהם תאי הרבייה הזכריים מפרח אחד למשנהו. בצמחים שמואבקים רק בהאבקה זרה, במקרה שיש מחסור במאביקים לא תתרחש רבייה, אלא אם כן הצמח יכול להתרבות גם באמצעות רבייה אל-זוויגית.

היתרון של רבייה זוויגית בא לידי ביטוי כאשר תנאי הסביבה משתנים. השונות במידע התורשתי בין צאצאי הרבייה הזוויגית מגדילה את הסיכוי שפרטים מסוימים ישרדו למרות שינוי בסביבה ויבטיחו את המשך קיום המין. לא כך הדבר כאשר כל הפרטים זהים במידע התורשתי (כמו אצל צאצאי רבייה אל-זוויגית), במקרה שחל שינוי בתנאי הסביבה שלא מאפשר לפרטים לשרוד, המין עלול להיכחד. כמו כן בזכות השונות הגדולה ניתן לטפח זנים חדשים, בעלי תכונות המתאימות לשווקים שונים.

מינים רבים של צמחים מתרבים בטבע בשתי הצורות, הן ברבייה זוויגית והן ברבייה אל-זוויגית, למשל: הכלנית, החצב, מיני שום ובצל, יבליית, נענה, תות שדה, אספרגוס. מינים אחרים מתרבים באופן טבעי ברבייה זוויגית בלבד, למשל: האלון, התפוח, הסביון, חיטה ועוד. מינים המתרבים ברבייה אל-זוויגית בלבד הם נדירים. בארץ גדל החמציץ הנטוי, על אף שהוא פורח בישראל לא נוצרים בו זרעים בשל מנגנון אי-סבילות עצמית הקיים בצמח, והריבוי של החמציץ בארץ הוא אל-זוויגי בלבד. מקורו של הצמח בדרום אפריקה, שם הוא מתרבה בשתי הצורות.



חמציץ



מבט מקרוב על פרח החמציץ

טבלה ד-3: השוואה בין רבייה זוויגית לרבייה אל-זוויגית בצמחים

היבט	רבייה זוויגית	רבייה אל-זוויגית
עיקרון	מידע גנטי "מתערבב" משני מקורות שונים, לכן מתקבלים בצאצאים צירופים גנטיים חדשים, וכתוצאה מכך הצאצאים שונים זה מזה ושונים מההורים	כל הצאצאים המתקבלים זהים מבחינה גנטית למקור שממנו התקבלו, והם גם זהים זה לזה
מספר תאי הרבייה המשתתפים בתהליך	1.	אין קשר לתאי רבייה
מספר ההורים שמהם נוצר הצאצא	בדרך כלל שניים (בהאבקה הדדית); הורה אחד בהאבקה עצמית	2.
שונות גנטית בין הורה לצאצא	יש	אין
זהות להורה	3.	4.
זהות לצאצאים אחרים	5.	6.
השלב במחזור החיים בו חל הריבוי	בשלב הרפרודוקטיבי	7.
האיברים בצמח המעורבים בתהליך הריבוי	8.	9.
תלות במאביקים/ברוח	10.	11.
יתרונות בחקלאות	יצירת זני מכלוא שיש להם תכונות רצויות/ מועדפות	שימור תכונות רצויות במשך דורות
	12.	13.
	14.	15.
חסרונות בחקלאות	16.	17.
היבט אבולוציוני	הגדלת שונות בין צאצאים; הגדלת סיכוי להישרדות פרטים בעקבות שינוי בתנאי הסביבה	שמירת תכונות מדור לדור; יתרון למין בתנאי סביבה קבועים

?? שאלה ד-16

השלימו במחברת את המידע החסר בתאים הממוספרים שבטבלה.

?? שאלות לסיכום הפרק

1. צמח בננה פורח רק לאחר צמחו לו לפחות ששה עלים. מה היתרון לצמח בכך?

2. בפרק ב' הוזכר עץ התמר "מתושלח". אחד המדענים אמר: "אנו חוששים שהעץ לא יניב פירות כלל". א. התמר הוא עץ דו־ביתי. מדוע חוששים שהעץ לא יניב פרי? ב. תמר מתרבה גם באמצעות חוטריו. מדוע החקלאים מפרידים חוטריו רק מעצים נקביים? ג. חקלאים נוהגים להרבות את עצי התמר על ידי חוטריו, בעיקר בשבע השנים הראשונות של חיי העץ כי לאחר מכן עץ התמר אינו מייצר חוטריו. בשנים האחרונות פיתחו שיטת ריבוי על ידי תרבית רקמה מעצי התמר. השוו בין שתי שיטות הריבוי, התייחסו ליתרונות ולחסרונות של כל שיטה.

3. ענף עץ אשל שצמח במעלה נחל נסחף בזרם. בהגיעו למורד הנחל הוא ננעץ בגדה, התפתחו לו שורשים והוא החל ללבלב. א. איזה סוג רבייה מייצג הענף שהחל ללבלב? ב. הענף במורד הנחל התפתח לעץ והחל לפרוח. האם תתקיים בו גם רבייה זוויגית? הסבירו. ג. בחרו את המשפט הנכון ונמקו. I. העץ במורד הנחל זהה במטענו הגנטי לעץ במעלה הנחל. II. העץ במורד הנחל דומה במטענו הגנטי לעץ במעלה הנחל. III. העץ במורד הנחל שונה במטענו הגנטי לעץ במעלה הנחל. IV. אי אפשר לדעת אם המטען הגנטי דומה או שונה בין שני העצים.

4. בצמח *תות שדה* מופרות שלוש צורות רבייה: רבייה באמצעות שלוחות, רבייה באמצעות זרעים ורבייה באמצעות תרבית רקמה. א. איזו מבין צורות הרבייה היא רבייה זוויגית? נמקו. ב. איזו מבין צורות הרבייה לא מתבצעת בטבע? ג. ציינו הבדל מהותי בין רבייה באמצעות שלוחות לבין רבייה באמצעות זרעים. ד. הסבירו יתרון אחד של כל אחת משלוש צורות הרבייה.

5. העתיקו למחברת את הטבלה הבאה והשלימו את החסר. אם עולה בדעתכם גורם נוסף להשוואה, הוסיפו אותו בטבלה.

השוואה בין דרכי רבייה: רבייה זוויגית בהאבקה עצמית, בהאבקה הדדית (זרה) וברבייה אל־זוויגית

היבט	רבייה זוויגית		רבייה אל־זוויגית
	האבקה עצמית	האבקה הדדית (זרה)	
מידת השונות של הצאצאים			
יתרונות לצמח			
חסרונות לצמח			
יתרונות לחקלאים			
חסרונות לחקלאים			

6. קבוצת חוקרים גידלה תות שדה בשתי חלקות. סוג הקרקע, הטמפרטורה ותנאי ההשקיה בשתי החלקות היו זהים. בחלקה אחת גידלו צמחי תות שדה שמקורם בשלוחות שהתפתחו מצמח אָם אחד, ובחלקה השנייה נזרעו זרעים של צמחי תות שדה שמקורם באותו צמח אָם. בעונת הקטיף נבדקה כמות הסוכר בפירות של שתי קבוצות הצמחים (חמישה צמחים בכל קבוצה). הנתונים מסוכמים בטבלה הבאה:

כמות הסוכר בפרי (מ"ג סוכר/ב-100 גרם פרי)		
מס' צמח	קבוצה א'	קבוצה ב'
1	120	250
2	450	274
3	330	260
4	97	280
5	250	270

א. איזו קבוצת פירות נלקחה מהצמחים שגודלו משלוחות, ואיזו קבוצת פירות נלקחה מהצמחים שגודלו מזרעים? נמקו. ב. צמחי התות רגישים לקרה. באיזו חלקה יש סיכוי שיישרדו יותר צמחי תות שדה לאחר מספר לילות של קרה? נמקו.

עיקרי הנושאים בפרק

- ◆ צמחים מתרבים ברבייה אל־זוויגית וברבייה זוויגית. רבייה אל־זוויגית אפשרית הודות ליכולת ההתחדשות ויכולת הצימוח של איברי הצמח.
- ◆ התהליך התאי שעליו מבוססת רבייה אל־זוויגית הוא חלוקת תא בדרך של מיטוזה, והרבייה הזוויגית - חלוקת תא במיטוזה.
- ◆ רבייה אל־זוויגית אפשרית מאיברים על־קרקעיים ותת־קרקעיים.
- ◆ ברבייה אל־זוויגית מתקבלים צאצאים זהים להורה וזהים זה לזה.
- ◆ חקלאים מעדיפים להשתמש ברבייה אל־זוויגית גם בצמחים המסוגלים להתרבות ברבייה זוויגית.
- ◆ ריבוי אל־זוויגי באמצעות ייחורים ותרבית רקמה הן שיטות נפוצות בחקלאות.
- ◆ בהרכבה יוצרים צמח חדש באמצעות חיבור בין כנה לרוכב.
- ◆ ברבייה זוויגית מתקבלים צאצאים שונים מהוריהם ושונים אלה מאלה.
- ◆ התפתחות פרחים היא שלב ראשון ברבייה זוויגית והיא מושפעת מגורמים חיצוניים ומגורמים פנימיים.
- ◆ חלקי הפרח - עלי גביע, עלי כותרת, אבקנים ועלי - ערוכים בדרך כלל במעגלים. מבנה הפרח מותאם לדרך ההאבקה.
- ◆ תהליך הרבייה הזוויגית בצמחים כולל שלבים אלה: האבקה והפריה.
- ◆ בעקבות ההפריה מתפתח הפרי ובתוכו זרעים.
- ◆ ההמשכיות של קיום המין מותנית באמצעים להפצה יעילה של הזרעים.
- ◆ הדרכים הנפוצות להפצת זרעים הן על ידי הרוח ועל ידי בעלי חיים. יש התאמה בין מבנה הפרי והזרעים לאופן הפצת הזרעים.
- ◆ החקלאים יכולים להתערב ולהשפיע על האבקה, מועד הפריחה, ומספר הפרחים והפירות ועל איכות הפרי ומועד הקטיף.
- ◆ לכל אחת מצורות הרבייה יתרונות וחסרונות.
- ◆ היתרונות ברבייה אל־זוויגית הם: אין צורך בשותפים והזהות בין הצאצאים מאפשרת לרבים מהם לשרוד בתנאי סביבה קבועים. הזהות בין הצאצאים היא חיסרון בתנאי סביבה משתנים.
- ◆ לרבייה זוויגית יש יתרון כאשר מעוניינים לטפח זו חדש ובתנאי סביבה משתנים. חיסרון של רבייה זוויגית נובע מהצורך בשותפים להאבקה ולהפצה.

7. תלמידים רצו לחקור בניסוי את ההשערה הבאה: תוספת של ההורמון אוקסין מזרזת השרשה של ייחורי ענפים.
- א. אילו גורמים יש לשמור קבועים בניסוי?
 ב. איזו בקרה יש לכלול בניסוי?
 ג. איזו תוצאה תאשש את ההשערה?
8. לפניכם כמה משפטים המתייחסים להאבקה מלאכותית ו/או להרכבה.
- העתיקו למחברתכם את אותיות המשפטים (א, ב, ג, וכו.) וציינו ליד כל אחד מהם האם הוא נכון לגבי הרכבה, לגבי האבקה מלאכותית או לגבי שניהם.
- א. ניתנת להיעשות רק בין צמחים מאותו מין בוטני (species).
 ב. יכולה להתרחש רק עקב מעורבות האדם.
 ג. מתרחשת התלכדות גרעינים של שני תאי רבייה שונים.
 ד. לאחד השותפים אין כל השפעה על המטען הגנטי של הצאצאים.
 ה. הזרעים הם צאצאי אחד השותפים בלבד.
 ו. יכולה להתרחש גם באופן טבעי ללא מעורבות האדם.
 ז. החקלאים משתמשים בשיטה זו כדי לקבל צאצאים הרצויים להם.
9. השוו בין ריבוי בעזרת ייחורים לבין שיטת ההרכבה. התייחסו להיבט דומה ולהיבט שונה.
10. בשלב הרפרודוקטיבי של מחזור החיים מקיימים חלק מהצמחים יחסי גומלין מסוג הדדיות עם בעלי חיים. ציינו שני טיפוסים של יחסי גומלין כאלה והסבירו את חשיבותם לבעלי החיים ולהמשכיות הדורות בצמחים.
11. מבין המושגים החשובים בפרק, בחרו חמישה זוגות של מושגים הקשורים זה לזה והסבירו את הקשר בין המושגים בכל זוג.
12. א. שימור של פירות יכול להיעשות גם על ידי ייבוש וגם על ידי שמירה בתמיסת סוכר מרוכזת (ריבה). מה העיקרון המשותף לשתי שיטות אלה? הסבירו.
 ב. לפירות קלימקטריים יש יתרון חשוב למגדל על פני פירות לא קלימקטריים. הסבירו.

מושגים חשובים בפרק

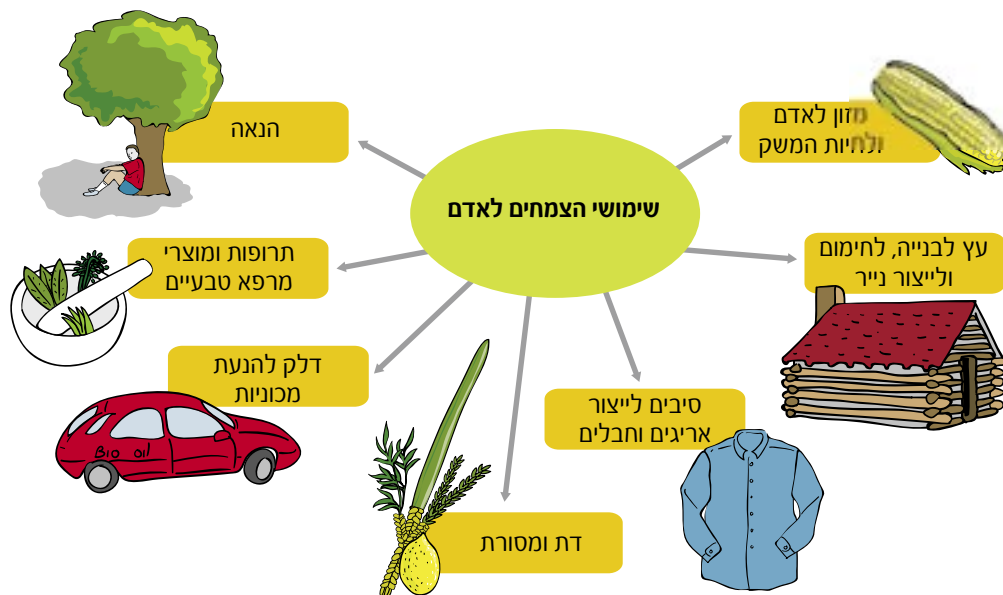
אבקן	הרכבה	פרח דו־מיני
אוקסין	זיגוטה	פרח חד־מיני
אורך יום	זיר	פרי
אנדוספרם	זרע	פרי ללא זרעים
ביצית	חד־זוויגי (חד־מיני)	פריחה
בצל	חומרי תשמורת	צופנים
ג'ברלין	חנטה	צלכת
גורמים חיצוניים	ייחור	צמח יום ארוך
גורמים פנימיים	כנה	צמח יום קצר
גרגרי אבקה	מאבק	רבייה אל־זוויגית (רבייה וגטטיבית)
דו־זוויגי (דו־מיני)	מיוזה	רבייה זוויגית
דילול פירות	מיטוזה	רוכב
דילול פרחים	נחשון	שונות גנטית
הפצת גרגרי אבקה	ניצן	שורשון
הפצת זרעים	עובר	שחלה
האבקה זרה (הדדית)	עלי	שלב וגטטיבי
האבקה מלאכותית	עלי גביע	שלב רפרודוקטיבי
האבקה עצמית	עלי כותרת	שלוחה
הבחלה	פוטופריודיזם	תא ביצה
הבשלה	פסיגים	תא רבייה זכרי
הורמונים	פקעת	תרבית רקמה
הפריה	פרח	



ה מעורבות האדם בגידול צמחים במשק חקלאי

מבוא

גידול צמחים במשק החקלאי החל לפני כ-10,000 שנה, ומטרתו לספק מזון מגוון לבני האדם ולחיות המשק וכן מוצרים רבים נוספים (איור ה-1).



איור ה-1: שימושי הצמחים לאדם

רוב איברי הצמחים מנוצלים על ידי האדם למטרות שונות. רוב יבול הזרעים משמש מרכיב חשוב מאד בתזונה של בני האדם ושל חיות המשק. מקצת הזרעים משמשים לגידול צמחי הדור הבא וליצירת זרעים נוספים.

מעניין לדעת



שלושה מיני דגניים - חיטה, אורז ותירס - מספקים יותר מ-50% מהמזון של בני-האדם בעולם, ו-20 מינים אחרים מכלל הגידולים החקלאיים מספקים כ-90% מהמזון. הרבה מאוד מיני צמחים אחרים, שיש להם פוטנציאל כמקור מזון עדיין אינם מנוצלים.

שדה חיטה

?? שאלה ה-1

א. ציינו איזה מבין מוצרי המזון והמשקאות הבאים הוכנו מזרעים: סלט חומוס, טחינה, לחם, סוכר, שמן, מיץ תפוזים, קפה, קקאו, צ'יפס, במבה.

ב. רשמו עוד מוצר מזון, שלא הופיע ברשימה בסעיף א, שהוכן מזרעים.

בעשרות השנים האחרונות הבינו החקלאים שאין די בלטמון זרעים באדמה, להמתין (ולהתפלל) לגשם שישקה את הצמחים ולקצור את היבול או לקטוף את הפירות. כיום, גידול צמחים במשק החקלאי הפך לתעשייה מתוחכמת המתבססת על ידע ועל טכנולוגיה מתקדמת. שיטותיה שונות מאוד מאלה שהיו נהוגות בעבר (ונהוגות עדיין גם כיום במקומות שונים בעולם). מעורבות האדם בגידול צמחים ניכרת בשלושה תחומים עיקריים:

- ♦ **הגדלת היבול** באמצעות השקיה, דישון, הדברת מזיקים ומחלות וגידול הצמחים בתנאים מבוקרים (אור, טמפרטורה, CO₂).
- ♦ **הכוונת הפריחה וייצור הפירות** באמצעות הוספת הורמונים, גיזום ושינוי תנאי תאורה.
- ♦ **הגדלת מגוון הצמחים** שהאדם מגדל לצרכיו השונים בדרכים שונות: **אקלום** צמחים שהובאו מאזורים גיאוגרפיים אחרים בעולם, **טיפוח זנים** ושינוי תכונותיהם בהתאם לצרכי האדם, באמצעות **ברירה מלאכותית**, הכלאות בין זנים/מינים ובינם לבין קרובי הבר שלהם, ושיטות של **הנדסה גנטית**.

בפרקים ב', ג' וד' הוסברו השיטות שבהן האדם מתערב במחזור חיי הצמח כדי להגדיל את היבול ולהתאימו לצורכי המגדלים והצרכנים וכאן נחזור ונסכם אותן (טבלה ה-1).

עוד על:
מעורבות האדם בגידול צמחים במשק חקלאי

עוד על:
מינים ולנים, בסעיף 2.

טבלה ה-1: דוגמאות להתערבות במחזור חיי הצמח

השלב במחזור החיים	הפעולה שעושים המגדלים	מטרה	דוגמאות ליישום
זרע	שחיקה, ריכוך כימי או ריסוק של קליפה קשה	1.	זית
	חשיפה לתנאי הארה מתאימים	2.	חסה
	השקיה, זיבול ודישון	3.	כל הגידולים החקלאיים
שלב וגטטיבי	הגברת פוטוסינתזה ושיפור הצמיחה	4.	ירקות ופרחים בחממות
	השפעה על התפתחות שורשים	5.	ייחורים
	גיזום וזמירה	6.	עצי פרי וגפנים
	ריסוס בחומר הגורם לנשירת עלים	הכנת הצמח לאיסוף פירות וזרעים	כותנה
	כיסוי השטח ברשת	7.	ירקות ופירות
	הכוונת מועד הפריחה לפי צרכי השוק	8.	פרחי נוי בחממות
	חיגור	9.	עצי פרי
שלב רפרודוקטיבי	דילול פרחים ופירות בדרך ידנית או באמצעות הורמונים	הקטנת תחרות בין מבלעים	עצי פרי
	הוספת כוורות	10.	הדרים, אבוקדו
	האבקה מלאכותית		תמרים
	כיסוי המטע ברשת	מניעת אכילת הפרי על-ידי ציפורים ועטלפים	בננות, שסק
	תרבית רקמה	ריבוי צמחים בדרך אל-זוויגית	בננה
	11.	הכוונת ההבחלה בפירות קלימקטריים	בננה, אבוקדו, אפרסמון
	12.	האטת תהליכים טבעיים כמו פריחה והבשלה; עיכוב הבחלה	פרחים לייצוא, תפוח, בננה, עגבנייה, פרי הדר
אחסון תוצרים של המשק החקלאי לאורך זמן	רחיצה, חיטוי	13.	פרי הדר, פלפלים
	ציפוי בדונג	צמצום איבוד מים מהפרי ושמירה על מראה מבריק; הקטנת הפגיעה המכנית; צמצום חשיפה למזיקים וליובש	פרי הדר, תפוחים

?? שאלה ה-2

השלימו במחברת את המידע בתאים הריקים שבטבלה. היעזרו במה שלמדתם בפרקים ב', ג' וד'.

ה.1. משם לכאן: אַקלום צמחים



שקמה - עץ שמוצאו באפריקה ואוקלם בארץ לפני מאות שנים

לא כל הגידולים החקלאיים גדלים באופן טבעי באזורנו. מאז שהחל גידול צמחים לצורכי האדם ניסו החקלאים לגדל צמחים שהובאו מכל מיני מקומות בעולם. התהליך שבסופו מצליחים לגדל בארץ צמחים שהובאו ממקומות אחרים נקרא **אַקלום**. במהלך האקלום חושפים בהדרגה את הצמחים (או את הזרעים) שהובאו מבית גידול אחד, לתנאים שבבית הגידול החדש. לעתים בוררים מתוך האוכלוסייה המיובאת צמחים שתכונותיהם מתאימות לתנאים החדשים. לא בכל מקרה מצליח האקלום בגלל ההבדלים בתנאים של בית הגידול המקורי: אקלים, סוג הקרקע, גורמי מחלות וכדומה.

כבר לפני יותר ממאה שנה הבינו המגדלים והחוקרים שהעברת צמחים מבית גידול אחד לאחר עלולה לגרום בעיות אקולוגיות חמורות. בשנת 1898 הוקם בארה"ב "שירות האינטרדוקציה" הממלכתי, (אינטרדוקציה: הכנסת צמח למקום גידול חדש) והוחל במחקר מבוקר בנושא של העברת צמחים ואקלומם והבעיות הכרוכות בכך.

אקלום צמחים אינו פעולה של מה בכך והצלחתו אינה תמיד מובטחת. היו מקרים שהאקלום כשל. היו גידולים שאקלומם כשל בניסיון הראשון, אך הצליח בניסיונות שלאחר מכן. היו מקרים שהאקלום הצליח מאוד אך הצמח הפך להיות "צמח פולש" ואף גרם (וגורם) נזקים לסביבתו החדשה. בכל ניסיון לאקלם צמחים בסביבה חדשה, יש לתת את הדעת להשלכות האקולוגיות האפשריות של התהליך, ומכאן הצורך לנקוט אמצעי זהירות בתהליך.

מעניין לדעת: צמחים מאוקלמים כפולשים



צמח שהובא לארץ ואוקלם כאן אך הפך למטרד של ממש הוא **שיטה כחלחלה**. הצמח הובא לארץ בשנות העשרים של המאה העשרים כדי לייצב חוליות (דיונות), והתפשט בכל הארץ. ככל הצמחים הפולשים **השיטה הכחלחלה** גורמת נזק לבתי הגידול שבהם היא מתרבה ללא בקרה: היא מונעת מצמחים מקומיים לצמוח בקרבתה, פוגעת במגוון הביולוגי במקום ומשנה את אופי הקרקע. בשל השתלטות השיטה על גדות הנחלים נגרמת לעתים קריסה של הגדה ופגיעה בתוואי הנחל. הרחקתה של **השיטה הכחלחלה** מבתי הגידול השונים היא משימה קשה וכמעט בלתי אפשרית, בשל מספר הזרעים העצום שנוצרים בצמח ומשום שכריתה ושריפה לא גורמות למות הצמח והוא שב וצומח. גם כאשר עוקרים את השיטה הכחלחלה לא נפתרת הבעיה, משום שבקרקע נותר מאגר זרעים העמיד במשך עשרות שנים.

?? שאלה-3

צינו שלוש תכונות של הצמח **שיטה כחלחלה** התורמות להצלחתו כמין פולש.



שיטה כחלחלה

ה.1.1 שלבי האַקלום

בתהליך האקלום מבחינים בשלושה שלבים עיקריים:

- ♦ בחירה של צמחים מתאימים לאקלום בארץ והבאתם,
- ♦ הסגר,
- ♦ ריבוי הצמח והפצתו.

א. בחירה של צמחים מתאימים לאקלום בארץ והבאתם

בעבר נהגו להעביר צמחים בוגרים שלמים וניסו לאקלם אותם במקומם החדש. עם השנים מצאו שכדי לאקלם צמחים בהצלחה עדיף להעביר זרעים. הסיבות לכך הן אלו:

- ♦ העברת צמחים בוגרים/שלמים שנעקרו מהקרקע היא כמעט תמיד מורכבת יותר ויקרה יותר ולא תמיד מסתיימת בהצלחה.
- ♦ בהעברת צמחים בוגרים קיימת סכנה שיועברו עם הצמחים גם גורמי מחלות ומזיקים שונים. סכנה זו אינה כה גדולה כאשר מעבירים זרעים.

כאשר התנאים בבית הגידול המקורי של הצמח ושל בית הגידול המיועד בישראל דומים, הסיכויים לאקלום מוצלח הם גבוהים יותר. יש אזורים בעולם שאקלימם דומה לאקלים השורר בישראל, למשל: דרום קליפורניה, דרום אפריקה וחלקים גדולים של אוסטרליה, ולכן מאזורים אלה הובאו לארץ צמחים רבים. אחת הדוגמאות היא **עופרית הכף** שהובאה לארץ מדרום אפריקה המשמשת כ"גדר חיה" ובולטת בפריחתה התכולה.



עופרית הכף

עם זאת במהלך השנים הסתבר שאפשר לאקלם בהצלחה בארץ גם צמחים הגדלים באזורי אקלים השונים מאקלים ארצנו. למשל זני **תפוח-אדמה** שהובאו מסקוטלנד שם האקלים קר ולח יותר מאשר בארץ, הצליחו כאן, ואילו זנים שהובאו מצרפת מאזורים בעלי אקלים דומה לזה שבארץ, לא הצליחו כאן.

בבחירת זנים של פירות, ירקות וגידולי שדה לאקלום, מעדיפים זנים בעלי יכול גבוה, חיי מדף ארוכים, עמידות למחלות, למזיקים ולתנאי עקה (יובש, מליחות).

מספר מיני הזרעים ומיני הצמחים החדשים שמובאים לארץ לצורך בדיקת התאמתם לאקלום הוא קטן יחסית בשל הסיכון שהם יעבירו מזיקים ומחלות לצמחי הארץ. מסיבה זו אסור לחלוטין לנוסעים ולתיירים להביא ארצה פירות, שתילים, פרחים וזרעים.

קשר לאקולוגיה:
התאמה.

קשר לאקולוגיה:
המגוון הביולוגי
וחסיבותו, צמחים
פולשים.

ב. הסגר

כל חומר צמחי - צמחים או זרעים - שמגיע ממקומות שמחוץ לישראל חייב להיות מחוטא ומצויד במסמך רשמי המאשר את היותו נקי ממחלות. לאחר מכן הוא חייב להימצא בהסגר בפקוח משרד החקלאות לתקופה מסוימת שבמהלכה בודקים שהחומר המיובא אינו נושא גורמי מחלה ומזיקים. כאשר יש חשש להימצאותם של גורמי מחלות ומזיקים מגדלים את הזרעים במקום סגור כשהם מבודדים מסביבתם (למשל בחממה סגורה) במשך כמה חודשים (לפחות עונה שלמה) כדי לוודא שהם אינם נגועים במחלה כלשהי.

ג. ריבוי הצמח והפצתו

לאחר תקופת ההסגר ולאחר שנמצא שהחומר המיובא אינו נושא מחלות ומזיקים, אפשר להתחיל להרבות ולהפיצו. במהלך ריבוי החומר הצמחי בודקים את תכונותיו ואת מידת הסתגלותו לתנאי האקלים בבית הגידול החדש. נהוג לגדל את הצמחים החדשים בכמה אזורים בארץ כדי לבחון באילו תנאים מתפתחים הצמחים בצורה הטובה ביותר. במהלך השלב הזה באקלום משגיחים מומחים על גידולם של הצמחים ואם מתגלה גורם מחלה או מזיק כלשהו, הצמחים מושמדים מיד כדי למנוע הפצת המחלה בארץ.

ה. 2.1 צמחים שאוקלמו בארץ

אקליפטוס המקור

האקליפטוס הוא העץ הנפוץ ביותר באוסטרליה. הוא הובא לישראל, בסוף המאה ה-19, כדי לסייע לייבוש ביצות שהן בית גידול ליתושים מעבירי מחלת הקדחת. האקליפטוסים צמחו והתפתחו להפליא במקומות רבים בארץ, ויערות אקליפטוסים נמצאים בעיקר במקומות שהיו בהם פעם ביצות. האקליפטוס כלול היום ברשימת המינים הפולשים בארץ.

מיני הדורים (תפוזים, אשכוליות ועוד)

עצי ההדר מקורם בדרום מזרח אסיה. כאשר הוקמו המושבות הראשונות בארץ ניטעו בהן גם פרדסים. שמם של ההדרים, ובעיקר התפוזים מהזן "שמוטי", יצא למרחוק כ"תפוחי הזהב של יפו" (Jaffa Oranges) - שם המעיד על איכות.



אקליפטוס המקור



עץ הדר

עצי פרי סובטרופיים

קשה לדמיין את המדפים בחנויות הפירות ללא האפרסמון, האבוקדו, המנגו, האנונה והגויאבה. מוצאם של אלו הוא מאזורים הסמוכים לאזורים הטרופיים שסביב קו המשווה (מכאן השם סובטרופיים) שבהם האקלים חם ולח יותר מאשר בארץ.

פירות אלו אוקלמו היטב בארץ ומשמשים גם לתצרוכת מקומית וגם וליצוא.

טבלה ה-2: דוגמאות לפירות סובטרופיים שאוקלמו בארץ

שם הצמח	האזור שממנו הובא הצמח
אבוקדו	מרכז אמריקה: מדרום מקסיקו ועד צפון אמריקה הדרומית
אנונה	מרכז אמריקה ודרומה
אננס	ברזיל (דרום אמריקה)
אפרסמון	דרום-מערב סין
גויאבה	מרכז אמריקה ודרומה
ליצי	מזרח אסיה
מנגו	דרום-מזרח אסיה, צפון הודו
קיווי	דרום סין
שסק	סין ויפן



פירות סובטרופיים על מדף במרכול (מימין לשמאל: מנגו, קיווי, אננס, ליצי)

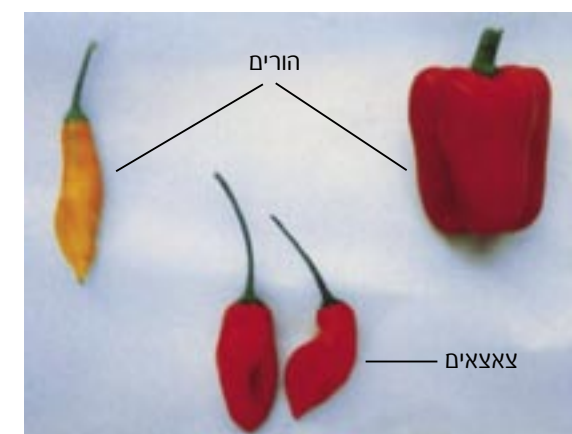
מעניין לדעת: עוד על אקלום צמחים בישראל

האקלום של גידולים שונים ושל עצי פרי החל בארץ עם הקמת המושבות הראשונות על ידי הברון רוטשילד. החוקר אהרון אהרונסון (אחיה של שרה "גיבורת ניל") שגילה ליד ראש פינה את "אם החיטה", החל באקלום של עצי פרי טרופיים בתחילת המאה ה-20 ליד עתלית. לאחר מותו בשנת 1919 נפסקה פעולת האקלום, אך היא חודשה כמה שנים לאחר מכן. ב-1931 ניטע גן אקלום בתחנת הניסיונות ברחובות והוכנסו ארצה מינים וזנים חדשים רבים. ביער אילנות שליד הישוב קדימה, במרכז הארץ, הקים משרד החקלאות בשנות ה-50 של המאה ה-20 גן אקלום לעצי נוי ויער. המטרה העיקרית הייתה לבדוק את מידת ההתאמה של מיני אקליפטוס שונים לתנאי הארץ ובנוסף לבדוק התאמתם של מיני עצי נוי ויער שנאספו מרחבי העולם כדי לשתול אותם בארץ. הגן משמש כאוסף צמחים לאומי (ארבורטום) והוא מעין מוזיאון של עצים. הוא משתרע על שטח של כ-130 דונם, ובו כ-750 מיני עצים ייחודיים מכל רחבי העולם.



ה2. מיטן יוצא חדש: טיפוח זנים באמצעות ברירה מלאכותית והכלאות

השיטות ל**טיפוח זנים** חדשים מבוססות על העובדה שבאוכלוסיות בטבע, הפרטים שנוצרו ברבייה זוויגית שונים במעט זה מזה בתכונותיהם. ה**שונות הגנטית** הזו היא המאפשרת לחקלאים לברור ולהעדיף פרטים מסוימים בעלי תכונות רצויות להם ולגדל רק אותם. החקלאים גם יכולים לגרום להאבקה מלאכותית ולהפריה בין פרטים מסוימים וכך להכליא ביניהם.



פלפלים צבעוניים והוריהם

במהלך דורות רבים של **הכלאות וברירה מלאכותית** שכזו מתקבל זן שהוא בעל תכונות הרצויות לחקלאים. למשל: עצי פרי נמוכים שקל לקטוף את פירותיהם, עצי פרי הנותנים יכול גבוה של פירות עסיסיים, גידולים עמידים כנגד מליחות, מזיקים ומחלות, פלפלים צבעוניים, פירות וירקות שחיי המדף שלהם ארוכים.

הכלאות כאלה כבר נעשו בעבר הרחוק, אף בטרם נודע המנגנון התורשתי שבאמצעותו מתקבל הזן החדש. כך למשל, המגוון הגדול של זני חיטה ושל הכלבים שאתם מכירים הוא תוצאה של הכלאות בין זנים שונים ושל ברירה מלאכותית. ניתן גם להכליא בין זנים תרבותיים לבין "קרובי משפחתם" הגדלים בטבע, וכך לטפח זנים חדשים בעלי תכונות רצויות למגדלים ולצרכנים.

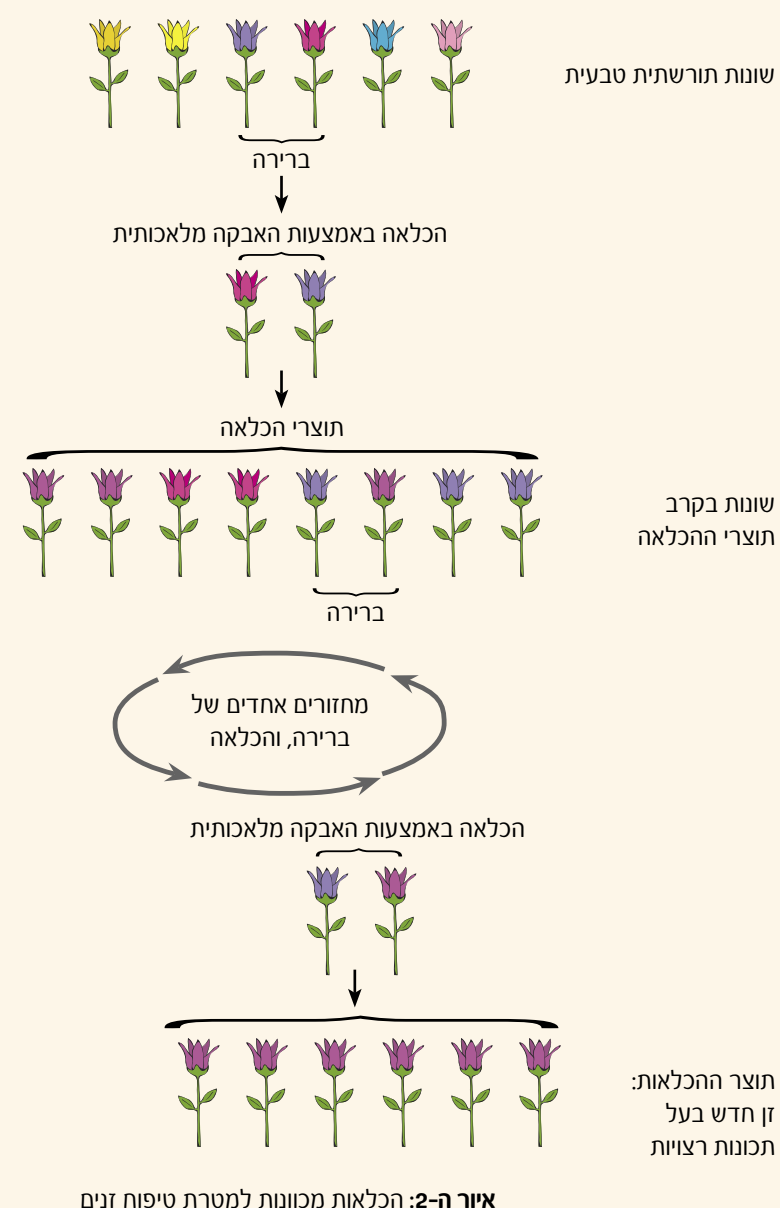
על מושגים: מינים וזנים

צמחים משתייכים ל**משפחות** הכוללות **סוגים** שונים שנחלקים ל**מינים**. ה**זנים** הם תת-קבוצה בתוך מין מסוים. לדוגמה: הסוג **תפוח** שייך למשפחת הוורדניים הכוללת מינים שונים של תפוחים. המין **תפוח תרבותי** כולל אלפי זנים (גרני סמית', דלישס, חרמון אדום ועוד). בין זנים שונים ניתן לבצע הכלאות ולעתים ניתן לבצע גם בין מינים שונים. ה**פומלית** היא תוצאת הכלאה בין המינים **אשכולית** ו**פומלה**.

ה2.1 איך מכילאים בצורה מכוונת?

בהכלאה הנעשית על ידי החקלאים כדי להשיג שילוב בין תכונות של שני פרטים, צריך למנוע האבקה עצמית טבעית. בפרחים דו-זוויגיים (דו-מיניים) החקלאים עושים זאת על ידי הסרת אבקנים והעברת גרגרי האבקה באופן ידני מפרח של פרט מסוים לפרח של פרט אחר. מובן מאליו שהאבקה מלאכותית בצורה זו דורשת עבודת ידיים עדינה ומומחיות (איור ה-2).

כיום נעזרים גם בזנים שאינם מייצרים גרגרי אבקה פוריים, כלומר הם בעלי **עקרות זכרית**. העקרות הזכרית מונעת האבקה עצמית ומאפשרת להאביק צמח מסוים בגרגרי אבקה פוריים של זן אחר. בזנים בעלי עקרות זכרית משתמשים הרבה מאוד בעולם לייצור זרעים של גידולים, כמו: **תירס**, **סורגום** ו**קנולה**.



?? שאלה ה-4

עמידות נגד מזיקים היא אחת התכונות שנוהגים לטפח. תכונה זו מועילה לצמח, למגדלים, למערכת האקולוגית ולנו כ"דיירים" במערכת. הסבירו שני היבטים חיוביים של עמידות צמחים כנגד מזיקים.

2.2 דוגמאות לתוצרים של תהליך טיפוח

חיטת התרבות וחיטה ננסית

בחיטת התרבות השיבולת אינה מתפרקת והגרורים נשארים צמודים לצמח האם, ולכן קל יותר לאסוף את היבול. חיטת התרבות טופחה לפני אלפי שנים באזורנו באמצעות ברירה מלאכותית מחיטת הבר ששיבולתה מתפרקת.

זנים ננסיים של חיטה טופחו באמצעות הכלאות בין זנים גבוהים לבין זנים נמוכים. היתרון של הזנים הנמוכים הוא שגבעוליהם אינם נשברים תחת כובד גרגרי החיטה המבשילים. כמו כן ההשקעה הווגטטיבית בגבעול קטנה יותר, והיבול של הזרעים גדול יותר בהשוואה לזני החיטה הרגילים. עבודת טיפוח זנים אלו בשילוב טכנולוגיות חקלאיות, דישון וחומרי הדברה כונתה "המהפכה הירוקה" במסגרתה הצליחו מדינות באסיה, באפריקה ובאמריקה הדרומית להגדיל את כמות המזון באופן ניכר ולהקטין את מצוקת הרעב בקרב תושביהן.



חיטת הבר

מעניין לדעת: הטיפוח מקנה פרס נובל לסלום

בשנת 1970 זכה המדען האמריקאי נורמן בורלוג (Norman Borlaug), בפרס נובל לשלום על תרומתו בתחום טיפוח זני חיטה ננסיים המניבים יבול גבוה.



זני שזיפים

במקרים רבים החקלאים מפתחים זנים חדשים על פי טעמים של הצרכנים ודרישותיהם. למשל: הצרכנים באנגליה מעדיפים זני שזיפים עסיסיים (מלאי מיץ) שציפתם "נמסה" בפה וטעמה מתוק חמוץ. בישראל מעדיפים זנים שאינם רכים מדי וטעמם מתוק. הזנים "שיני כריש" שפותחו בארץ הם שזיפים בגווני אדום, בורדו וצהוב והם בעלי צורה מוארכת הדומה לשן של כריש.

זני סייפנים

טיפוח זנים חדשים נעשה לעתים בשל בעיות "מעשיות מאוד". לדוגמה: משקל הגבעול. בזמנו הזן הנפוץ מבין הסייפנים היה בעל גבעול ארוך וכבד. משקלו הכבד של גבעול הפרח גרם לקושי במציאת אגרטל מתאים (הזר נטה ליפול על צדו ולהפיל את האגרטל) ולקושי בייצוא הפרחים לחו"ל. הכלאות של סייפן תרבותי עם סייפן הבר, שהוא עדין וקטן, הניבו זן חדש של סייפנים בעל התכונות הרצויות.



סייפנים תרבותיים

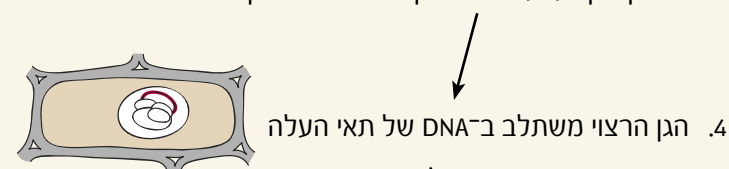
3. טיפוח זנים חדשים באמצעות הנדסה גנטית

בעשורים האחרונים משתמשים המטפחים גם בשיטות של **הנדסה גנטית** כדי לטפח זנים חדשים בעלי שילוב רצוי של תכונות. הנדסה גנטית מבוססת על העברה מכוונת של קטעי DNA מסוימים מאורגניזם אחד לאחר. הנדסה גנטית אפשרית גם כאשר האורגניזמים אינם שייכים לאותו **מין ביולוגי** (species) ואין אפשרות להכליא ביניהם. מכאן נובע שבאמצעות הנדסה גנטית משיגים שינוי במטען התורשתי של אורגניזם בדרך שאינה אפשרית כלל בטבע.

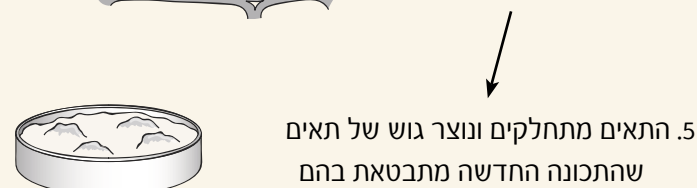
1.3 איך "מהנדסים" צמח?

יצירת צמח מהונדס מתחילה באיתור הגן לתכונה רצויה באורגניזם כלשהו: צמח, בעל חיים, ואפילו חיידק או נגיף. במעבדה מעבירים את הגן לצמח שאותו רוצים לשפר, לשנות. העברת גן מאורגניזם אחד למשנהו אינה משימה פשוטה. כדי לעשות זאת משתמשים לעתים באורגניזם "מעביר", למשל חיידק שב-DNA שלו שולב גם קטע של DNA נושא המידע לתכונה, שאותו רוצים להעביר לצמח (איור ה-3). מדביקים קטעים של עלים בחיידק וכך מועבר הגן הרצוי לתאי העלה. לאחר העברת הגן הרצוי, תאי הצמח המהונדס מכילים את המידע לתכונה הרצויה והיא מתבטאת בו.

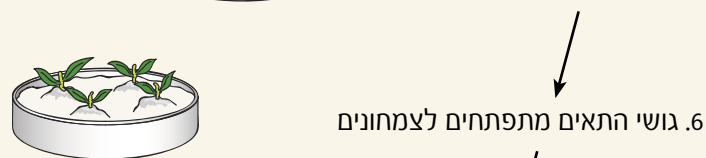
1. איתור ובידוד גן רצוי מאורגניזם אחר (חיידק, בעל-חיים)
2. ההשתלת הגן בחיידק "מעביר"
3. הדבקת קטעי עלה בחיידק שבו הושלת הגן הרצוי



4. הגן הרצוי משתלב ב-DNA של תאי העלה



5. התאים מתחלקים ונוצר גוש של תאים שהתכונה החדשה מתבטאת בהם



6. גושי התאים מתפתחים לצמחונים

7. הצמחים המהונדסים מועברים לחממה או לשדה



איור ה-3: יצירת צמח חדש בהנדסה גנטית

קשר לאקולוגיה:

שימושים בהנדסה גנטית.

לאחר שהצמחים המהונדסים התפתחו, הם מועברים לחממות ואף לשדה, תלוי בסוג הצמח ובתנאי גידולו. את הצמח המהונדס נוהגים להרבות במשך כמה דורות כדי להבטיח שכל הצאצאים לדורותיהם יהיו בעלי התכונה ה"חדשה"/הרצויה.

אחד היתרונות החשובים של ההנדסה הגנטית הוא האפשרות לייצר זנים בעלי עמידות גבוהה יותר למזיקים ואו מחלות, ועקב כך, בדרך כלל, לקבל יבול רב ואיכותי יותר וגם לצמצם את השימוש בחומרי הדברה המזיקים לסביבה. עד היום הצליחו בדרך זו להביא לידי יצירת צמחים עמידים בפני מזיקים ומחלות, עמידים בתנאים סביבתיים קשים כמו חום, קור, יובש ומליחות גבוהה ובעלי ערך תזונתי משופר.

אחד הכיוונים החדשנים בהנדסה גנטית של צמחים היא החדרת מידע לאנטיגן (לדוגמה: חלבון ממעטפת של וירוס גורם מחלה) לתאי תפוח-אדמה. בעקבות אכילת תפוח-האדמה תופעל מערכת החיסון הפעיל של האדם ויווצרו בו נוגדנים שיקנו לו חיסון כנגד הוירוס.

2.3. דוגמאות לתוצרים חשובים של הנדסה גנטית



אורז זהוב ואורז לבן

♦ **"אורז זהוב":** אחד הפיתוחים החשובים של הנדסה גנטית באורז התקבל לאחר שהחדירו לאורז שני גנים מצמח התירס. גן אחד נושא מידע לתכונות של אגירת ברזל, וגן שני נושא מידע לייצור בטא-קרוטן (ממנו נוצר ויטמין A בבעלי-חיים). בטא-קרוטן הוא מרכיב חיוני בייצור צבעני הראייה בבני אדם. רמות הברזל והקרוטן באורז הזהוב (שצבעו זהוב בגלל נוכחות הקרוטן) הן גבוהות מאלו שבאורז הרגיל וצריכתו עשויה למנוע אנמיה ועיוורון בקרב אוכלוסיות שניזונות בעיקר מאורז.

- ♦ **עגבניות** מועשרות בחומרים נוגדי חמצון כמו ליקופן, ושיש בהן שיעור גבוה יחסית הוויטמינים C ו-E.
- ♦ **כותנה, סויה, קנולה, תירס ותפוחי-אדמה** שהוחדר להם הגן ליצירת הרעלן Bt (שהתגלה לראשונה בישראל) שמקורו מחידק. הרעלן Bt פוגע בזחלי חרקים הניזונים מעלי הצמחים. שילובו של הגן ליצירת הרעלן מונע פגיעה ביבולים על ידי חרקים ומקטין את הצורך לרסס בחומרים להדברת מזיקים.

- ♦ **בחיטה** - גן שנלקח מחיטת בר והוחדר *לחיטה תרבותית* מקצר את זמן ההבשלה ומעשיר את גרגרי החיטה בחלבונים, אבץ וברזל.
- ♦ **חמניות** - שהועבר להן גן לייצור חלבון קזאין שמקורו בפרות, המייצרות את החלבון הזה. הקזאין מכיל כמה חומצות אמיניות החיוניות לגופנו ומעלה את הערך התזונתי של זרעי הצמח.
- ♦ **תפוח-אדמה** - לגידול זה הוחדר גן הנושא מידע לעמידות נגד פטרייה הגורמת למחלת הכימסון ואשר גרמה בעבר להרס של יבול תפוחי האדמה שהוביל לאסון הרעב שאירע באירלנד במאה ה-19 (ראו פרק ד, סעיף 2.1). הגן לעמידות נמצא בזן בר של תפוח אדמה הגדל במקסיקו.
- ♦ צמח זוהר כשהוא נמצא במצוקת מים. חוקרים הצליחו להחדיר לצמחים גן שמקורו במדוזה טרופית. נוכחותו של הגן גורמת לפליטת אור זוהר, כאשר הצמח מתחיל לסבול מעקת מים. בחושך ניתן להבחין בעלים הזוהרים ולדעת שהצמח סובל ממחסור במים.

טבלה ה-3: הנדסה גנטית במספרים - גידולים מהונדסים בארה"ב

הגידול	גודל השטח שבו מגדלים צמחים מהונדסים שהם עמידים בפני קוטלי עשבים ואו קוטלי חרקים (בארה"ב) (% מהשטח הכולל של הגידול)	
	בשנת 2000	בשנת 2009
כותנה	61%	88%
תירס	25%	84%
סויה	54%	91%

?? שאלה ה-5

- הכינו גרף על פי המידע בטבלה ה-3. נמקו את בחירת דרך ההצגה הגרפית.
- תארו את המגמה של השינויים במהלך השנים.
- אילו מוצרי מזון מיוצרים מסויה? אתרו מידע בנושא וסכמו בקצרה את הממצאים.
- חפשו במקורות מידע עדכניים (עיתונות יומית, רשת האינטרנט) כתבה העוסקת בשינוי של צמח (שלא הוזכר כאן) באמצעות הנדסה גנטית. ציינו מי האורגניזם שבו נעשה השינוי, מי האורגניזם שהוא המקור למידע הגנטי ומה היתרון שבביצוע התהליך.



הרחבה: דינאמית וסאלות פתוחות בנושא צמחים מהונדסים

בד בבד עם השימוש ההולך וגובר בצמחים מהונדסים גנטית, גובר בקרב הציבור החשש מצריכת מוצרי מזון המיוצרים מצמחים מהונדסים. ההתנגדות לצמחים מהונדסים מושתתת על סיבות שונות: דתיות, בריאותיות וסביבתיות. המתנגדים מסיבות של אמונה דתית טוענים שאין להתערב במנגנונים התורשתיים של יצורים חיים שהם "יציר הבריאה".

אחרים טוענים שאכילה של מזון מהונדס עלולה לפגוע בבריאות ולגרום לתופעות לוואי שלא ניתן היום לצפותן. לפי שעה לא ברור האם אכילת חלבונים "חדשים" שמקורם בצמח מהונדס תשפיע על בריאות האדם הניזון מצמחים אלה. גוף האדם מתייחס לחלבונים שאינו מכיר, כאל חומר זר, והם עלולים לגרום לאלרגיות ולעורר את המערכת החיסונית להגיב נגדם. עם זאת, ראוי לציין שבארה"ב, בקנדה ובאוסטרליה מיליוני אנשים ומיליוני חיות משק ניזונים כבר שנים מיבולים של זנים מהונדסים של תירס, סויה, כותנה וקנולה ולא נצפו כל תופעות לוואי לא רצויות.

רבים מתנגדים לשימוש בצמחים מהונדסים בשל החשש מההשלכות של הצמחים ה"חדשים" על **המערכת האקולוגית**: צמח שעבר שינוי בתהליכי הנדסה גנטית יכול להפיץ גרגרי אבקה זרעים, נושאי מידע תורשתי "חדש" לסביבתו. הפצה שכזו יכולה לשנות את הרכב המינים הטבעי, שכן ההכלאה בין צמח מהונדס לבין קרובו בטבע יכולה להביא ליצירת זן חדש שאי אפשר לצפות מראש מה תהייה תכונותיו. חוקרים רבים מנסים לבדוק את מידת הסכנה למערכת האקולוגית ולפי שעה אין מסקנות חד-משמעיות. מנגד, אחרים טוענים שהסכנה למערכת האקולוגית היא מזערית. התומכים בשימוש בצמחים מהונדסים מדגישים את יתרונותיהם התזונתיים ואת ההקטנה בצורך להשתמש בקוטלי חרקים ובדשנים שהשפעתם המזיקה על הסביבה כבר הוכחה.



סמל המציין שהמוצר אינו כולל רכיבים מאורגניזם מהונדס גנטית (Genetically Modified Organism)

סיבה נוספת להתנגדות לטיפוח צמחים מהונדסים מבוססת על הסכנה שהשימוש הממושך בזנים הנושאים את הגן לרעלן Bt יביא לברירה של חרקים עמידים לרעלן זה ואלה יתרבו באוכלוסייה ושוב יעלה הצורך להדביר את המזיקים באמצעות חומרי הדברה. דבר דומה קרה לאחר שהשתמשו שנים רבות בקוטלי חרקים; עם השנים התרבו באוכלוסיית החרקים פרטים העמידים לחומר קוטל החרקים, שיעורם באוכלוסייה גדל ועקב כך יעילות של החומר ההדברה פחתה.



4: הרחבה: מעורבות החקלאים משפיעה על הסביבה

חשיבות הצמחים לאדם היא רבה מאוד, אולם חשוב לזכור שהצמחים הם חלק מהמערכת האקולוגית, והגידולים החקלאיים בשדות ובמטעים משפיעים על המערכות האקולוגיות בסביבתם ועל הנוף. להלן מובאות דוגמאות אחדות להשפעות של החקלאות על הסביבה:

כריתת צמחייה טבעית: כריתה של יערות ושרפת הגזעים והענפים לשם יצירת שטחי קרקע לחקלאות או למרעה עלולה לגרום להכחדת מינים, להרס קרקעות ולשיטפונות (עקב השינוי בכיסוי הקרקע). כריתת הצמחייה הטבעית מקטינה את קיבוע ה- CO_2 , ושרפתה מגדילה את שחרור ה- CO_2 לאטמוספירה ועקב זאת גוברת התחממות האטמוספירה.

פיתוח שטחי חקלאות באזורים מדבריים: כדי לעצור את התפשטות שטחי המדבר - תהליך המכונה **מדבור** - משתמשים בשיטות טכנולוגיות מתקדמות, המאפשרות לגדל גידולי חקלאות גם בשטחי מדבר. תהליך המדבור אמנם מואט, אך בו בזמן מוסיפים מינים למערכת האקולוגית המקומית ומשנים את הרכבה.

שימוש בדשנים: עודפי דשנים מגיעים לקרקע, לנחלים, למאגרי מים ולמי תהום ופוגעים באיכותם.

שימוש בחומרי הדברה: חומרים להדברת חרקים, מכרסמים וצמחים עלולים לפגוע לא רק במזיקים לחקלאות אלא גם בבעלי-חיים ובצמחים בבתי הגידול הסמוכים לשטחים החקלאיים, שאינם גורמים כל נזק לגידול החקלאי. חומרי הדברה ודשנים עלולים להגיע גם למקורות מים ולפגוע באיכותם.

גידול צמחים מהונדסים: כפי שלמדתם בסעיף 3 ישנה אפשרות שיתרחשו הכלאות בין צמחים מהונדסים לבין קרוביהם הגדלים בר בטבע, וכך ייוצרו זנים חדשים שאין אפשרות לחזות מראש מה יהיו תכונותיהם. ייתכן שהם לא יהוו כל סכנה אך באותה מידה ייתכן והם ייהפכו למין פולש שיתחרה בצמחייה הטבעית ובגידול החקלאי, ולא ניתן יהיה להדבירו בדרכים המקובלות.

גידול צמחים המושכים בעלי חיים: הצמחים שמגדלים החקלאים מושכים אליהם בעלי-חיים, מהם שלא היו נפוצים באזור הגידול, ומהם שהיו באזור ואוכלוסייתם גדלה. לדוגמה: שדות הבוטנים בעמק החולה מושכים אליהם אלפי עגורים, החולפים מעל העמק בעונות הנדידה בדרכם מאירופה לאפריקה בסתיו וחזרה לאירופה באביב, והנזק ליבול הוא גדול ביותר. בפני החקלאים ניצבת דילמה: למנוע מהעגורים לאכול את הבוטנים, למשל על ידי השמעת קולות ירי המבריחים אותם מהשדות, או לפזר להם גרגרי תירס בסמוך לשדות הבוטנים, וכך להציל את יבול הבוטנים. בצד הנזק הנגרם לחקלאים מנוכחות העגורים הם מושכים לאזור המוני מטיילים הבאים לצפות בעגורים ותורמים לפיתוח ענף התיירות באזור.



עגורים בעמק החולה

להלן טבלה המסכמת את השפעת צבע הרשתות על היבול של פלפל.

צבע הרשת	יבול פלפל		
	כלל היבול (טונה לדונם)	באיכות המתאימה ליצוא (טונה לדונם)	משקל פרי פלפל ממוצע (גרם)
שחורה	6.79	4.51	162
צהובה	9.72	7.72	171
אדומה	9.22	6.94	169

- מהו המשתנה הבלתי תלוי ואלו הם המשתנים התלויים בניסוי המתואר?
- סרטוט גרף של כלל יבול הפלפל מתחת לרשתות השונות.
- מהו הקשר בין צבע הרשת לכמות היבול הכללית של הפלפל?
- מהו הקשר בין צבע הרשת לכמות היבול המתאימה לייצוא?
- מהו הקשר בין צבע הרשת למשקל הפרי הממוצע של פלפל?
- באיזו רשת תמליצו לחקלאים להשתמש? נמקו.
- מהו התהליך הביולוגי המשפיע על כמות היבול? הסבירו.



רשתות צבעוניות

- הכינו כרזת פרסומת למשיכת תיירים לקטיף של פירות.

כל הפעולות שתוארו הן התערבות מכוונת של החקלאים בסביבה הטבעית שמטרתה לייצר מזון ולהתפרנס מהחקלאות. אבל פעולות אלו עלולות לפגוע בטווח זמן ארוך במגוון הביולוגי הטבעי ובמאזן התהליכים במערכת האקולוגית.

צמחים, חקלאות ותיירות

בשנים האחרונות החלה להתפתח בארץ תיירות פנים הקשורה לגידולי החקלאות, למשל: חקלאים בגולן מזמינים אנשים לקטוף בעצמם דובדבנים, פירות יער, תפוחים ואגסים והקוטפים משלמים לבעלי המטע עבור הפירות. חוות לגידול תבלינים מציעות להכין תערובות תבלינים וצמחים מותאמות לטעמו של כל אחד, ובעונת הסתיו מוזמנים התיירים להשתתף במסיק הזיתים ובהכנת שמן זית. התיירות החקלאית הזו מהווה מקור הכנסה נוסף לחקלאים ושל תושבים אחרים באזור וגם מעלה את מודעות הקהל ה"עירוני" לבעיות החקלאות ולשמירת הטבע.

?? שאלות לסיכום הפרק

- למגדלי תות שדה ממליצים להציב כוורות של דבורי דבש בסמוך לחלקות המניבות פרי. הסתבר שהמפגש בין הדבורים וצמחי תות השדה תורם להפחתת העיוותים בצורת הפרי, להגדלת הכמות של פרי משובח בכ-75% ולהעלאת היבול הכללי בכ-15%.
 - באיזה שלב במחזור החיים של תות השדה מעורבות הדבורים?
 - מהו התהליך שלו מסייעות הדבורים, התורם להגדלת כמות הפרי והפחתת העיוותים בתות השדה?
 - מהם יחסי הגומלין בין צמחי תות השדה לבין הדבורים? הסבירו.
- לפניכם רשימה של פעולות הנהוגות בחקלאות. ציינו מהו העיקרון הביולוגי שעליו מבוססת כל פעולה.
 - אחסון ירקות ופירות בקירור
 - ציפוי פרי הדר המיועד ליצוא בדוג
 - טבילת ייחורים בתמיסות של מווסתי צמיחה
 - הארה מלאכותית של חלקות פרחי קטיף
- השפעת רשתות שחורות וצבעוניות על התפתחות הפלפל

רשתות צל שחורות הנפרשות מעל גידולים חקלאיים משמשות להגנה מפני קרינה חזקה, וכן להגנה מפני מזיקים מעופפים כמו ציפורים, חרקים ועטלפים, ופגעי מזג האוויר כמו: ברד ורוחות. בעשור האחרון נחקרה ההשפעה של רשתות צל שחורות ורשתות צבעוניות על הפריחה ועל היבול. רשת צל שחורה מקטינה את עוצמת הקרינה אך אינה משנה כלל את הרכב קרינת האור. הרשתות הצבעוניות משנות את הרכב הסוגים של קרינת האור העובר דרכן, הן מעבירות יותר קרינה בתחום האור האדום ואדום-רחוק.

עיקרי הנושאים בפרק

- ◆ מעורבות האדם בגידול צמחים באה לידי ביטוי בשלושה תחומים:
 - ◆ הגדלת כמות היבולים באמצעות השקיה, דישון, הדברת מזיקים ומחלות וגידול בתנאים מבוקרים (אור, טמפרטורה, CO₂, מינרלים).
 - ◆ הכוונת הפריחה וייצור הפירות למועדים מתאימים לשיווק באמצעות הוספת הורמונים, גיזום ושינוי תנאי התאורה.
 - ◆ הגדלת מגוון מיני הצמחים שהאדם מגדל לצרכיו השונים באמצעות אֶקְלוּם צמחים שמקורם באזורים גיאוגרפיים אחרים בעולם וטיפול זנים חדשים באמצעות הכלאות, ברירה מלאכותית והנדסה גנטית.
 - ◆ גידול צמחים מהנדסים וצריכת מזון שמקורו בצמחים שהם תוצרי הנדסה גנטית מעורר דילמות שונות.
 - ◆ הגידולים החקלאיים בשדות ובמטעים משפיעים על המערכות האקולוגיות בסביבתם ועל הנוף.
 - ◆ פיתוח מוקדי תיירות באזורים חקלאיים הוא תחום מתפתח התורם לכלכלת החקלאים והאזור.

מושגים חשובים בפרק

- אקלום
- ברירה מלאכותית
- האבקה מלאכותית
- הכלאות
- הנדסה גנטית
- טיפול זנים
- שונות גנטית

מילון מונחים

מונחים ש**מודגשים** בתוך ההגדרה מופיעים גם הם במילון.
המונח האנגלי יסייע לכם לחפש חומרים ברשת האינטרנט.

אבקן (stamen) – איבר הרבייה הזכרי בפרח שבו נוצרים גרגרי האבקה. כולל **זיר ומֵאֶבֶק**.

אוקסין (auxin) – **הורמון** בצמחים המווסת גדילה של תאים ומשתתף בבקרה של שינויים באופן הגידול של הצמח. האוקסינים נוצרים בעיקר בקצות שורשים וב**קדקודי הצמיחה**.

אזור (רקמת) ניתוק (abscission zone) – אזור בבסיס פטוטרת של עלה או של עוקץ פרי. בזמן שלכת או בעת **הבשלת הפרי** חל ניתוק בין תאי הרקמה באזור זה והאיבר נושר.

אנדוספרם (endosperm) – רקמה בזרעים המכילה **חומרי תשמורת**, הנוצרת בעקבות ההפריה ונמצאת מסביב לעובר או לצֶדו. לפני ה**נביטה** או במהלכה מפורקים החומרים באנדוספרם לרכיביהם המסיסים ומאפשרים את גדילתו של הנבט.

אֶקְלוּם (acclimation) – שינוי הפיך במורפולוגיה או בפיזיולוגיה של אורגניזם בתגובה לשינוי בתנאי הסביבה. בחקלאות האקלום כולל תהליך של **ברירה מלאכותית**.

אתילן (ethylene) – חומר גזי המופרש בצמח ופועל בו כהורמון המווסת תהליכי צמיחה שונים. יחד עם **אוקסין**, הוא משפיע על ניתוק עלים בעת שלכת ועל הבשלת פירות בשרניים.

ביצית (ovule) – החלק שבתוך **השחלה** שבו מתרחשת **מיזוג** שאחד מתוצריה הוא תא הביצה שהוא **תא הרבייה הנקבי**. אחרי ההפריה מתפתחת הביצית לזרע. יש צמחים שבשחלותיהם ביצית אחת ויש צמחים שבשחלותיהם כמה ביציות.

בצל (bulb) – איבר תת־קרקעי של צמח המורכב מעלים עבים ובשרניים הנמצאים על גבעול מקוצר. הבצל משמש כמאגר של חומרים המשמשים להתחדשות הצמיחה לאחר עונת תרדמה. ראו גם: **גיאופיט**.

בְּרִיָּה טבעית – (natural selection) – תהליך הקובע את התרומה היחסית של פרטים שונים באוכלוסייה לדור הבא. פרטים המותאמים יותר מאחרים לתנאי הסביבה מעמידים יותר צאצאים פוריים ששורדים.

בְּרִיָּה מלאכותית – (artificial selection) – ברירה הנעשית בידי האדם, במטרה לטפח זני צמחים ובעלי חיים בעלי תכונות רצויות למטפת. המגדלים מונעים את התרבותם של פרטים החסרים תכונות אלו. ראו גם: **טיפול זנים**.

גבעול (stem) – הציר המרכזי של צמח הנושא עלים ופרחים. גבעול יכול להיות על־קרקעי או תת־קרקעי. הוא בנוי מפרקים ובתוכו צינורות הובלה. ראו גם: **נצר**.

גדילה (growth) – תוספת בלתי הפיכה של ביומסה, בעקבות חלוקת תאים בדרך של **מיטוזה** והתארכות תאים. לרוב מלווה בהתמיינות לרקמות ולאברים.

גורמים חיצוניים (external factors) – גורמים בסביבת הצמח שמשפיעים על הצמח ועל התפתחותו, כגון: טמפרטורה, אורך יום, זמינות חמצן, כמות המים והמינרלים וזמינותם, ריכוז פחמן דו־חמצני ועוד. ראו גם: **גורמים פנימיים**.

גורמים פנימיים (internal factors) – גורמים המשפיעים על הצמח ועל התפתחותו שמקורם באורגניזם עצמו, בתהליכים פנימיים המתרחשים בו, כגון: כמות מווסתי הצמיחה, גיל הצמח, המידע התורשתי שלו ועוד.

גיאופיט (geophyte) – צמח **רב־שנתי** בעל איבר אגירה תת־קרקעי. בתום עונת הצמיחה החלקים העל־קרקעיים של הצמח נובלים והצמח נכנס למצב של תרדמה. בסיום התרדמה שבים ומתפתחים עלים ופרחים. ראו גם: **בצל, פקעת**.

גִּיבֶּרֶלִינִים (gibberellins) – (ביחיד – ג'יברלין) – קבוצה של **הורמונים** בצמחים המשפיעים על התארכות הצמח, הם מזרזים נביטת זרעים ופעילים גם בוויסות **הפריחה**.

גידולים חסויים – גידול צמחים במחסה, כמו: חממות, מנהרות פלסטיק וכדומה. הצמחים בהן מוגנים וגדלים בתנאים השונים מהתנאים בסביבה הטבעית.

גיצום ענפים (pruning) – חיתוך של ענפי שיחים ועצים שנעשה למטרות אלה: סילוק ענפים מתים או ענפים הנגועים במחלות, עיצוב צורת העץ, גובהו ורוחבו והגדלת כמות היבול ואיכותו.

דילול (thinning) – פעולה שנעשית לשם הקטנת מספר הפירות ו/או הפרחים במטרה לקבל פירות בגודל רצוי ובאיכות גבוהה.

דשן (fertilizer) – תרכובות אנאורגניות המוספות לקרקע, מספקות לצמח יסודות מינרליים בצורה שהצמח יכול לקלוט אותם ותורמות לגידול הצמח.

האבקה (pollination) – התהליך של העברת גרגרי אבקה (באמצעות רוח, חרקים, מים ועוד) מהאבקנים של **הפרח** אל **הצלקת** שבראש **העלי** בפרח מאותו מין ביולוגי.

האבקה זרה (הדדית) (heterogamy) – מעבר של גרגרי אבקה, בין פרטים שונים של אותו מין ביולוגי.

האבקה מלאכותית (artificial pollination) – העברה של גרגרי אבקה מפרח לפרח הנעשית בידי האדם.

האבקה עצמית (autogamy) – מעבר של גרגרי האבקה אל צלקת באותו הפרט.

הבחלה (after ripening) – תהליך מלאכותי להבשלת פירות שנקטפים בטרם הבשילו. ההבחלה נעשית בדרך כלל בעזרת חשיפה לחומרים כימיים כמו **אתילן**. נהוג להבחיל פירות הדר, תמרים ובגנות על פי המועד המתאים לשיווקם לצרכנים.

הבשלה (ripening) – שלב סופי של התפתחות **הפרי**.

הורמון (hormone) – חומר טבעי המופרש על ידי תאים או איברים במקום אחד בגוף הצמח, ומשפיע על פעילותם של תאים או איברים במקום זה או בחלק אחר של הצמח. ראו גם: **מווסתי צמיחה**.

הזדקנות (senescence) – תהליכים בצמח, או באיברים מסוימים בצמח, שבמהלכם נפסקים בהדרגה תהליכי גדילה וייצור. חומרים שונים מועברים מהרקמות המזדקנות אל חלקי הצמח הנותרים ונאגרים לשימוש בעתיד. בחלקי צמח נשירים (עלים, ענפים, איברי פרח, פרחים, פירות וזרעים) מתפתח **אזור ניתוק**.

הכלאה (hybridization) – פעולה מכוונת של האדם הגורמת להפריה בין אורגניזמים למטרות **טיפוח זנים** והשבחה. הכלאה נעשית בין פרטים נבחרים שונים (מבחינה גנטית) של אותו מין ביולוגי או בין מינים קרובים.

הנדסה גנטית (genetic engineering) – שינויים בחומר התורשתי של אורגניזם הנעשים למטרות שימושיות.

הפריה (fertilization) – התהליך הבסיסי של **רבייה זוויגית**: התלכדות של שני **תאי רבייה** ויצירת **זיגוטה** דיפלואידית.

הצצה (emergence) – הופעת הנצרון מעל פני המצע שבו נובט הזרע. דרך מקובלת בחקלאות לאמוד את אחוז הנביטה.

הרכבה (grafting) – שיטה לריבוי אל־זוויגי (וגטטיבי) של צמחים כדי לקבל צמח המורכב מחלקים שנלקחו משני צמחים שונים, המתאחים בעקבות ההרכבה לצמח אחד. החלק התחתון הכולל את מערכת השורשים נקרא **כנה** ואילו החלק העליון שאותו מרכיבים על הכנה נקרא **רוכב**. הכנה והרוכב נבחרים על פי תכונות רצויות של כל אחד מהם.

התמיינות תאים (differentiation) – תהליך שבו תאים משתנים בצורתם, במבנה שלהם ובתפקודם. תהליך זה מתרחש במהלך התפתחות העובר ובתהליכי צמיחה של איברים חדשים בצמח.

זבל אורגני (organic fertilizer) – תרכובות אורגניות שמקורן בחלקי צמחים ובהפרשות של בעלי חיים. הזבל האורגני מתפרק בהדרגה ומשחרר לקרקע יסודות מינרליים. הזבל האורגני משמש גם לשיפור איכות הקרקע.

זיגוטה (zygote) – תא המתקבל מהתלכדות בין **תאי רבייה** נקביים וזכריים (הפריה). מתא זה מתקבלים באמצעות **מיטוזה** כל התאים המרכיבים את היצור הרב־תאי.

זיר (filament) – הציר של **האבקן** הנושא בראשו את **המאבקן**. מבנה הזיר ותכונותיו המכניות מותאמים לדרכי ההאבקה (רוח, חרקים, ציפורים וכו').

זרע (seed) – יחידת התפוצה הבסיסית של צמחי הזרע. מבנה המכיל **עובר**, **חומרי תשמורת** ומעטפות זרע. הזרע מתפתח בעקבות **האבקה והפריה**. חומרי התשמורת מאוחסנים ב**פסיגים** או ברקמת **אנדוספרם** שמצויה סביב העובר או לצדו.

חד־שנתי (annual) – צמח המשלים מחזור חיים מנביטה לפריחה, ייצור זרעים, הזדקנות ומוות בעונה אחת או בשנה אחת. ראו גם: **רב־שנתי**.

חומרי תשמורת (storage materials) – תרכובות הנאגרות באיברי הצמח ובזרעים ומשמשות בעת הצורך כמקור לחומרים ולהפקת אנרגיה.

חֶנְטָה (fruit set) – השלב בחיי הצמח שבו מתחילה התפתחות הפרי.

חשופי זרע (gymnospermae) - צמחים חסרי פרחים ופירות המאופיינים בכך שהביציות וגרגרי האבקה שלהם חשופים על עלה או קשקש של איצטרובל (איבר המכיל את אברי הרבייה בצמחים חשופי זרע, מורכב מעלים קטנים המאורגנים יחדיו. במקרים רבים הוא מעוצה). לקבוצה זו שייכים בין השאר אורן, ארז וברוש.

טיפוח זנים (breeding) - טיפוח זנים של צמחים ובעלי חיים בעלי תכונות הרצויות לאדם באמצעות תהליכי ברירה מלאכותית.

ייחור (cutting) - קטע מצמח שבתנאים מתאימים יכול להתפתח לצמח חדש על כל חלקיו. חלקי הצמח המתאימים להיות ייחורים שונים מצמח לצמח (ענפים, עלים, שורשים). ריבוי באמצעות ייחורים הוא דרך של רבייה אל־זוויגית.

כֶּנֶה (stock) - חלק צמח מושרש המהווה חלק חשוב בתהליך ההרכבה. על הכנה מרכיבים את הייחור המשמש כרוכב.

לחץ טורגור (turgor pressure) - הלחץ שמפעילים הנוזלים שבתוך החלולית שבתא הצמח על קרום התא ועל דופן התא. לחץ טורגור פועל בכל הכיוונים במידה שווה. כאשר הצמח סובל ממצוקת מים לחץ הטורגור יורד והעלים כומשים.

מָאָבֶק (anther) - החלק המורחב בקצה האבקן המכיל את גרגרי האבקה.

מווסתי צמיחה (growth regulators) - הורמונים צמחיים מלאכותיים (סינתטיים). ראו גם: **אוקסין**, **גיברלין**, **אתילן**.

מחזור חיים (life cycle) - מהלך חיי הצמח מ**נביטה** ועד יצירת זרעים **הזדקנות** ומוות. מהלך זה כולל **שלב וגטיבי ושלב רפרודוקטיבי**. יש צמחים בעלי מחזור חיים **חד־שנתי** ואחרים בעלי מחזור חיים **רב־שנתי**.

מי קולחין (treated wastewater) - שפכים שעברו תהליך טיהור וניתן להשתמש בהם להשקיית גידולים חקלאיים לתעשייה.

מיזוה (חלוקת הפחתה) (meiosis) - תהליך של חלוקת גרעין התא לאחר הכפלת החומר התורשתי. בסופו מתקבלים מגרעין דיפלואידי ארבעה גרעינים הפלואידים השונים זה מזה במידע התורשתי. **תאי רבייה** נוצרים בעקבות מיזוה - שלב ייחודי והכרחי ב**רבייה זוויגית**.

מיטוזה (mitosis) - תהליך של חלוקת גרעין לאחר הכפלת החומר התורשתי. בסופו מתקבלים מגרעין אחד שני גרעינים שמערכת הכרומוזומים שבכל אחד מהם זהה לזו שבאחר וזהה לזו שהייתה בגרעין שממנו נוצרו. בדרך כלל לאחר חלוקת הגרעין (מיטוזה) מתחלקים מרכיבי התא האחרים. תוצאת החלוקה היא שני תאי בת, הזהים במסענם התורשתי.

מים מליחים (low/medium salinity water) - מים ששיעור המלחים בהם גבוה משיעור המלחים במי השתייה, אך נמוך מזה של מי ים. ניתן להשתמש במים אלו בתעשייה ולהשקיית גידולים מסוימים בחקלאות. ראו גם: **מי קולחין**.

מכосי זרע (angiospermae) - כלל הצמחים בעלי פרחים המאופיינים בכך שה**ביציות** שלהם נמצאות בתוך **שחלה** וה**זרעים** נוצרים ב**פרי** ומתפתחים בו.

מעכב נביטה (germination inhibitor) - תרכובת כימית המצויה בזרע או בפרי המעכבת את ה**נביטה**.

מריסטמה (meristem) - גוש של תאים לא ממוינים, שתאיו מתחלקים ומייצרים תאי בת, אך שומרים על כושר ההתחלקות שלהם. מריסטמה קדקודית נמצאת ב**קדקודי צמיחה** ומריסטמה היקפית - **קמביום** - נמצאת בהיקף הגבעולים והשורשים. מהמריסטמות מתפתחים רקמות הצמח ואיבריו.

נבט (seedling) - צמח צעיר שהתפתח מה**עובר** שב**זרע**. כולל **שורשון** ו**נצרון**. בדרך כלל השורשון פורץ תחילה את קליפת הזרע ובעקבותיו הנצרון. ראו גם: **נביטה**.

נביטה (germination) - תחילת הפעילות המטבולית והגדילה של ה**עובר** בזרע ובקיעת ה**שורשון** מתוך קליפת הזרע. נביטה מתרחשת רק לאחר שמתקיימים תנאים מתאימים: זמינות מים, טמפרטורה מתאימה, זמינות חמצן ובצמחים מסוימים גם תנאי ההארה.

נחשון (pollen tube) - חלק תא מאורך, מעין "צינור" דקיק המתפתח מגרגר אבקה כאשר הוא נובט על גבי ה**צללקת** ו"צומח" בתוך **עמוד העלי** עד הביצית ב**שחלה**. דרך הנחשון נודדים תאי הרבייה הזכריים אל הביצית שבה מתרחשת ה**הפריה**.

ניצן (bud) - קצה צעיר וקצר מאוד של **נצר** (גבעול) שממנו מתפתחים עלים או פרחים. ניצן בקצהו של הנצר הוא ניצן קודקודי וניצן בחיק עלה הוא ניצן חִיקִי.

נצר (shoot) - חלקי הצמח העל־קרקעיים - הגבעולים, העלים והפרחים.

נֶצְרוֹן (plumule) - חלק הנבט המהווה את תחילתו של ה**נצר**, בראשו ה**ניצן** הקודקודי.

נשירה (abscission) - היתקקות מהצמח של עלים, פרחים או פירות כתוצאה מהיווצרות **אזור ניתוק** במקום החיבור אל ה**גבעול**. הנשירה קשורה בשינויים הורמונליים בצמח.

עובר (embryo) - צמח צעיר רדום, המתפתח מה**זיגוטה**. בעובר מבחינים ב**שורשון**, **פסיגים** ו**נצרון**. העובר נשאר רדום עד הנביטה.

עלה (leaf) - איבר של הנצר, לרוב ירוק, שטוח ודק. בעלה מתרחש תהליך ה**פוטוסינתזה**.

עלי (pistil) - איבר הרבייה הנקבי של ה**פרת**, בנוי מ**שחלה** ו**צללקת**, ובדרך כלל גם עמוד עלי המחבר ביניהם.

פוטוסינתזה (photosynthesis) - התהליך שבאמצעותו צמחים ממירים אנרגיית אור לאנרגיה כימית ומשתמשים בה להרכבת פחמימות מ־CO2 וממים.

פוטופריודיזם (photoperiodism) - תגובות התפתחותיות של צמחים למחזוריות היומית של אור וחושך. בצמחים תחילת ה**פריחה** תלויה במידת אורכה של תקופת חושך רצופה במהלך היממה.

פירות ללא זרעים ראו: **פרתנוקרפיה**

פסיג (cotyledon) - עלה ראשוני שהוא חלק מעובר הצמח בזרע. במינים מסוימים נאגרים בו **חומרי תשמורת** שישמשו את ה**עובר** בעת ה**נביטה**. צורת הפסיגים שונה, בדרך כלל, מצורתם של עלי הצמח הבוגר. על פי מספר הפסיגים ממיינים את הצמחים מכосי הזרע לחד־פסיגיים ולדו־פסיגיים.

פקעת (corm) - גבעול תת־קרקעי קצר ומעובה שנאגרים בו **חומרי תשמורת** וממנו צומחים שורשים, כלפי מטה, ועלים ופרחים כלפי מעלה. ראו גם: **גיאופיט**.

פרח (flower) - מבנה בצמחים מכוסי זרע המכיל את איברי הרבייה. בדרך כלל בנוי מעלי גביע, עלי כותרת, **אבקנים** ו/או **עלי**.

פרח דו־זוויגי (bisexual flower) - פרח שיש בו גם איברי רבייה זכריים וגם איברי רבייה נקביים.

פרח חד־זוויגי (unisexual flower) - פרח שיש בו איברי רבייה זכריים **או** איברי רבייה נקביים.

פרי (fruit) - איבר המתפתח מה**שחלה** (ולפעמים גם מחלקים אחרים) של הפרח (בדרך כלל לאחר הפריה) משמש בית קיבול לזרעים ומסייע להפצתם.

פריחה (flowering) - שלב במהלך התפתחות הצמח שבו משתנה כיוון ההתפתחות של **קדקודי הצמיחה** והם מתפתחים לפרחים. הפריחה עשויה להיות מושפעת מגורמים פנימיים או מגורמים חיצוניים, כמו אור וטמפרטורה.

פרתנוקרפיה (parthenocarpy) - היווצרות פרי ללא הפריה, ולכן הפרי חסר זרעים. דוגמה: בננה, אננס.

צופן (nectary) - רקמה מפרישה צוף הנמצאת ב**פרח** או בסמוך לו. מיקומו של הצופן מותאם לרוב למבנה גופו של המאביק (חרק או בעל חיים אחר) כך שבעת איסוף הצוף המאביק יבוא במגע עם **מאבק** ויעביר את גרגרי האבקה **לצלקת** בפרח אחר.

צלקת (stigma) - קצהו העליון של ה**עלי**, חלק ממערכת הרבייה הנקבית בצמחים בעלי פרחים. המבנה של הצלקת והחומרים המופרשים ממנה מותאמים לקליטת גרגרי האבקה ולנביטתם.

צמחי יום ארוך (long day plants) - צמחים שפורחים רק כאשר מספר שעות החושך קטן מערך מסוים (ערך סף). ראו גם: **פוטופריודיזם**.

צמחי יום קצר (short day plants) - צמחים שפורחים רק כאשר מספר שעות החושך גדול מערך מסוים (ערך סף). ראו גם: **פוטופריודיזם**.

קדקוד צמיחה (apical meristem) - אזור של **מריסטמה** בקצה ה**שורש**, בקצה ה**נצר** ובניצנים.

קומפוסט (compost) - תוצר של פירוק שאריות של חומר אורגני, על ידי שלשולים, פטריות וחיידקים. בקומפוסט משתמשים להשבחת הקרקע והשימוש בו מצמצם את הצורך בדשנים.

קמביום (cambium) - רקמה מריסטמטית בהיקף הגבעול והשורשים. מחלוקת תאי הקמביום נוצרים תאים של רקמה ההובלה והגבעול והשורש מתעבים.

קנה שורש (rhizome) - גבעול אופקי תת־קרקעי, בעל פרקים קצרים ועבים יחסית, הצומח במקביל לפני הקרקע. גבעול זה מצמיח מה**ניצנים** שבמפרקים ענפים נושאי עלים ושורשים. אחת מהדרכים לרבייה **אל־זוויגית** של מיני צמחים רבים.

קרקע (soil) - תוצר של התפוררות מכנית וכימית של סלעים ושל פעילות אורגניזמים. הקרקע משמשת מצע גידול לאורגניזמים החיים ביבשה.

רבייה אל־זוויגית (רבייה וגטיבית) (asexual reproduction) - היווצרות צמח חדש מהורה יחיד, ללא יצירת תאי רבייה. ההרכב התורשתי של הצאצא(ים) ברבייה אל־זוויגית זהה לזה של ההורה. ראו גם: **רבייה זוויגית**.

רבייה זוויגית (sexual reproduction) - היווצרות צמח חדש בעקבות התלכדות שני **תאי רבייה** - זכרי ונקבי - שנוצרו בעקבות **מיזוג** ויצירת **זיגוטה**. צאצאי הרבייה הזוויגית שונים, בדרך כלל, בהרכבם התורשתי הן זה מזה, והן מהוריהם. ראו גם: **רבייה אל־זוויגית**.

רב־שנתי (perennial) - צמח שיכול להתקיים שנים אחדות ולעתים אף שנים רבות. הוא יכול להתרבות יותר מפעם אחת במהלך חייו. ראו גם: **גיאופיט**, **חד־שנתי**.

רוכב (scion) - קטע מענף בעל ניצנים (**ייחור**) המורכב על צמח אחר - **כנה**. ראו גם: **הרכבה**.

רקמת ניתוק - ראו: **אזור ניתוק**.

שונות גנטית (תורשתית) (genetic variation) - ההבדלים ברצף ה־DNA בין פרטים באוכלוסייה. להבדלים אלו יש משמעות מבחינה אבולוציונית והם משמשים כ"חומר גלם" ל**ברירה הטבעית** ול**ברירה המלאכותית**.

שורש (root) - איבר של צמחים, שתפקידיו העיקריים הם קליטה של מים ומינרלים מהקרקע ואספקתם לנצר, ועיגונו של הצמח בקרקע. השורש חסר כלורופיל, עלים וניצנים. מהשורש מסתעפים שורשים צדדיים. בקצה השורשים מתפתחות יונקות, הקולטות את המים ואת החומרים המומסים בהם. שורשים של צמחים מסוימים משמשים לתפקידים נוספים כמו אגירת **חומרי תשמורת**.

שורשון (radicle) - השורש של ה**עובר** ושל ה**נבט** שממנו תתפתח מערכת השורשים של הצמח. השורשון פורץ ראשון את קליפת הזרע בעת ה**נביטה**.

שחלה (ovary) - חלקו התחתון, המורחב והחלול של ה**עלי** שבתוכו מתפתחות הביציות. לאחר ההפריה מתפתחת השחלה ל**פרי** ובתוכו הזרע/ים. שחלה קיימת רק בצמחים **מכוסי זרע**.

שלב וגטיבי (vegetative stage) - שלב בהתפתחות הצמח מזרע לבוגר, במהלכו מתווספים לצמח שורשים, עלים וענפים, אך לא איברים הקשורים לרבייה זוויגית.

שלב רפרודוקטיבי (reproductive stage) - שלב בהתפתחות הצמח שבו נוצרים איברים המעורבים **ברבייה הזוויגית** (פרחים ופירות). באיברים אלו נוצרים **תאי רבייה** ומתרחשים בהם תהליכי ה**האבקה**, ה**הפריה** ומתפתחים זרעים ופירות.

שלוחה (stolon) - גבעול אופקי, בעל פרקים ארוכים ודקים יחסית הצומח במקביל לפני הקרקע (בדרך כלל מעל הקרקע, אך ייתכנו גם שלוחות תת־קרקעיות). גבעול זה מצמיח מה**ניצנים** שבמפרקים ענפים נושאי עלים כלפי מעלה ושורשים כלפי מטה. אחת מהדרכים ל**רבייה אל־זוויגית** של מיני צמחים רבים. ראו גם: **קנה שורש**.

מפתח

א			ג		
אבולוציה	25		ג'ברלין	65, 38	
אבקנים	97, 16		- השפעה על פריחה	93	
אורור הקרקע	57		- ועמילאז	66, 65	
- ונביטה	42		- בנביטה	65	
אוטורופים	49, 10		גבעול	20, 14, 13	
אוקסין	63		- מעובה	14	
- השפעה על השתרשות ייחורים	87		- תפקודים של..	14	
- יישומים בחקלאות	71		גדילה	63, 48	
- תגובה לאור	64		גורם מגביל	51	
אור			גורמים חיצוניים/סביבתיים	63, 50, 48, 39, 30, 8	
- ונביטה	42, 39			93, 92, 86	
- ויצירת כלורופיל	51		- השפעה על פריחה	94	
- מקור אנרגיה לפוטוסינתזה	50		גורמים פנימיים	63, 50, 48, 43, 30, 8	
- תנאי תאורה	123			94, 93, 92, 86	
- השפעה על פריחה	94		גיאופיטים	83, 61, 19	
אזור (רקמת) ניתוק	62		גידולים חסויים	67	
אחסון זרעים	43		גזום	123, 111, 72	
אחסון תוצרים	123		גרגרי אבקה	97	
אטיולציה (חיוורון)	51		- נביטה של..	102	
איברי רבייה	16				
אנדוספרם	104, 103, 27, 26		ד		
אנזימים	38, 37		דו־ביתי	98	
אנרגיית אור	11		דו־זוויגי, פרח	98	
אקלום	124, 123		דו־פסיגי	26	
- שלבים	125		דיות	53, 52	
אקלים ים תיכוני	19		דילול		
אקלים ממוזג	19		- פירות	123, 72, 60	
אקליפטוס	126		- פרחים	123	
אתילן	66		- פרחים ופירות	111	
- הבשלת פרי	107		דישון	135, 123, 71, 70	
- השפעה על פריחה	93		דרווין, צ'.	63	
- יישומים בחקלאות	71		ה		
			האבקה	99, 98, 8	
ב			- זרה	100	
ביות מיני בר	41		- חשיבותה לחקלאות	101	
בִּיצָה	28		- מלאכותית	129, 128, 123, 102	
ביצית	103, 98		- עצמית	100	
בית גידול/בתי גידול	19		- עצמית, מניעה	128, 100	
- יבשתי	20		- על ידי בעלי חיים	99	
- מימי	20		- על ידי רוח	98	
בנק זרעים	33		הבחלה	112	
בעלי זרעים, צמחים	104		הבשלת פירות	123, 107, 6	
בצל	83, 15		הגנה	15, 14, 11	
ברירה מלאכותית	129, 128, 123, 41				

תא ביצה - ראו: תא רבייה נקבי.

תא רבייה זכרי (male gamete) - תא שנוצר בגרגר האבקה בעקבות מיוזה. תא הרבייה הזכרי מועבר אל השחלה והביצית באמצעות הנחשון. בגרעין התא שלו n כרומוזומים.

תא רבייה נקבי (female gamete) - תא שנוצר בביצית שבשחלה בעקבות מיוזה. בגרעין התא שלו n כרומוזומים.

תרבית רקמה (tissue culture) - שיטה לגידול צמחים שלמים מתאים או מקטע של רקמה מחוץ לגוף האורגניזם שממנו הם נלקחו. הגידול בתרבית רקמה נעשה בתנאים מבוקרים על מצע סטרילי המספק את כל התנאים והצרכים לקיום ולהתרבות: חומרי מזון, חומציות (pH), טמפרטורה וכדומה.

תרדמת זרעים (dormancy) - תופעה המתבטאת בכך שהזרעים אינם נובטים על אף שתנאי הסביבה כמו: מים, אור, חמצן וטמפרטורה מאפשרים את צמיחת העובר. הפעילות המטבולית של זרע רדום היא נמוכה מאוד. הגורמים העיקריים לתרדמה הם קליפה קשה של הזרע ואי־בשלות של העובר.

מקורות התמונות (לפי מספרי העמודים)

עדות המים	6
סביון	8
זית	8
יונקות	12
שורשי אוויר	13
צבר, קולרבי,	14
קנוקנות	15
הרדוף, מכנף	17
ירקות ופירות במטבח	18
האבקה	21
מבנה זרעים מותאם להפצה הרדוף	29
חבצלת החוף	29
דקל "מתושלח"	31
זרעים יבשים ותפוחים	35
לוטם שעיר ולוטם מרווי	40
נבטים מוכנים לאכילה	43
יונים ליד ממגורת דגון בחיפה	43
זית עתיק	48
ענף אלודיאה	55
תאים וכלורופלסטים באלודיאה	55
ענף אלודיאה מקרוב	55
סימנים מחסור בברזל	57
צמחים טורפים	58
חקלאים בעבודתם	67
מנהרות	67
חממות	67
ממטרות	69
קונוע	69
מתקן לקומפוסט	71
מימוזה	73
מימוזה	73
מנגנוני טריפה נפילה	73
מנגנוני טריפה נסגרת	73
חמניות	74
הנצה	81
גזע תמר עם חוטרים	82
יחורים של תאנה	86
צמח בתרבות רקמה	88
שתילי בננות לפני העברה למטע	89
תפוח לאחר הרכבה	90
קקטוסים מורכבים	91
התפתחות שעועית (2 תמונות)	92
שושן צחור	97
גרגרי אבקה (שושן וחמנית)	99
מלפפון מפרח לפר'	105
הדרים מפרח לפר'	105
אפרסק	108
הפצה על ידי הרוח (הרדוף)	109
פירות עסיסיים	109
מכנף נאה	110
פרי של אספסת	111
אבטיח ללא גרעינים	113
חמצץ	114
שדה חיטה	122
עץ שקמה בת"א	124
הדר בפריחה	126
אקליפטוס	126
פירות סובטרופיים במרכול	127
זני פלפלים	128
חיתת הבר	130
סייפנים	130
אורז לבן וצהוב	132
עגורים בעמק החולה	135
רשתות צבעוניות	137

1. תמונות שמקורן לא צוין צולמו על ידי רות אמיר. עשוינו כל מאמץ לאתר את כל בעלי הזכויות של התמונות ואם חלה טעות נשמח לתקנה.
2. (WM) - התמונה נלקחה מ-Wikimedia Commons וניתנת לשימוש חופשי תוך ציון שם הצלם.

80	- וגטטיבית	54, 49, 48	פיוניות
92, 80, 79, 16	- זוויתית	31	פיוזור בזמן ובמרחב
114	- זוויתית ואל-זוויתית, יתרונות וחסרונות	95	פיטוכרומ
	רבייה מינית ראו: רבייה זוויתית	113, 112	פירות ללא זרעים
90	רוכב	108	פירות קלימקטריים
55	רמות ארגון	104, 27, 26	פסיגים
52	- בצמח	83, 14	פקעת
92, 16, 8	רפרודוקטיבי, שלב	93, 92, 16	פרח/ים
	רקמות	98	- דו־זוויגיים
48	- בצמח	98	- חד־זוויגיים
20	- הובלה	96	- מבנה
20	- תמיכה	105, 16	פרי/פירות
62	רקמת (אזור) ניתוק	104	- גדילה
		107	- הבשלה
		105	- התפתחות
28, 18	שומנים	109	- עסיסי
128	שונות גנטית	94	פריחה
20, 13, 12, 11	שורשים	93	- השפעת הורמונים
13	- אוגרים	95	- השפעת טמפרטורה
13	- היצמדות	96	- השפעת תאורה מלאכותית
35, 26, 16	שורשון		
98, 97, 16	שחלה		
60, 48, 14	שיפה	98	צ
123, 47, 8	שלב וגטטיבי	80, 79	צופנים
123, 96, 92, 16, 8	שלב רפרודוקטיבי	112	צורות רבייה
93	- גורמים משפיעים על	108, 107	- יתרונות וחסרונות
81	שלוחה/שלוחות	98, 97	ציפה
72, 65	שלטון קדקודי	94	צלקת
62, 61	שלכת	94	צמחי יום ארוך
40	שריפה ונביטה		צמחי יום קצר
			צמחים
		104	- בעלי זרעים
		73, 58	- טורפים
103, 98	תא ביצה	134, 133	- מהונדסים
96, 67	תאורה מלאכותית	122, 7	- שימושים
16	תאי רבייה		
103, 102	- זכריים		ק
	תגובת הצמח	92, 64, 47	קדקוד צמיחה
73	- למגע	20	קוטיקולה
74	- לשמש	70	קומפוסט
74	- למזיקים	37	קליטת חמצן בנביטה
18	תזונה צמחונית	12	קליטת מים ומינרלים
136	תיירות וחקלאות	104, 42, 34, 26, 17	קליפת הזרע
72	תנועה בצמחים	29	- ועיכוב נביטה
35, 34	תפיחה (של זרע)	15	קנקנות
74	תקשורת בצמחים	42	קרקע, אזור
123, 88, 85	תרבית רקמה		
89	- יתרונות וחסרונות		ר
38	תרדמה	61, 9, 8	רב־שנתי, צמח
33, 31, 30	- בזרעים	79	רבייה
31	- בזרעים, יתרונות וחסרונות	80, 79	- אל־זוויגית
21	תרופה מצמחים	85	- אל־זוויגית, בחקלאות
		84	- אל־זוויגית, יתרונות וחסרונות

