

נגדל צמחים

מדריך למורה



משרד החינוך

המזכירות הפדגוגית

האגף לתכנון ולפיתוח תכניות לימודים

ירושלים התשס"ט - 2009



אין לשכפל, להעתיק, לצלם, להקליט, לתרגם או ליישם את התוכן במאגרי תוכן אחרים ללא אישור מפורש של המחבר. © כל הזכויות שמורות למשרד החינוך, האגף לתכנון ולפיתוח תכניות לימודים.

כתיבה: דנה ודר-וייס

עריכת הלשון: רבקה שביט

תודה לפרופ' דודו וייס, לשי דותן ולד"ר גיא לוי שקראו והעירו.

תודה לאיה מזרחי ולגילה כהן, מחוות שולמית לחינוך חקלאי ברחובות, שסייעו לנו בפיתוח עבודה 11.

תוכן העניינים

5	מבוא
	פרק א: רבייה בצמחים
11	הרבייה הזוויגית
29	הרבייה האל-זוויגית
39	פרק ב: הזרע והנביטה
	פרק ג : התנאים הדרושים לגידול צמחים
55	הקרקע והצמח
68	המים והצמח
82	האור והצמח
94	המינרלים והצמח
108	הטמפרטורה והצמח
119	חקלאות ידידותית לסביבה

מבוא

המהדורה החדשה של הספר "נגדל צמחים"

ספר הלימוד "נגדל צמחים" הוא מהדורה חדשה ומשוכתבת של הספר "נגדל צמחים" שיצא לאור בשנת תשנ"ז (1977), ושל הספר "זרעים נובטים" שיצא לאור בשנת תשנ"ו (1976). המהדורה החדשה משקפת את התפיסה הרעיונית (הרציונל) של תכנית הלימודים "חקלאות ולימודי הסביבה", שפורסמה בשנת תש"ס (1999), והיא מיועדת לחטיבות הביניים ולחוות לחינוך חקלאי ולאיכות הסביבה.

את תכנית הלימודים תוכלו למצוא באתר של האגף לתכנון ולפיתוח תכניות לימודים:

http://www.education.gov.il/tochniyot_limudim/haklaut/index.html

התפיסה הרעיונית של התכנית

חקלאות היא התערבות של האדם בטבע ויצירת תנאי גידול להתפתחות צמחים ובעלי חיים. האדם מתערב בטבע באמצעות טכנולוגיות וידע מדעי בתחומים שונים, ידע שנרכש בעזרת המחקר המדעי. החקלאות המודרנית הגיעה להישגים גבוהים בתחומים שונים. היא מהווה בסיס לקיומו של האדם ועם זאת, מעצם טיבה היא מהווה גורם התערבות בטבע ופגיעה באיכות הסביבה. התערבות זו יוצרת בעיות אקולוגיות וחברתיות. הטיפול בבעיות האלה מתבצע בשיטות טכנולוגיות המבוססות על ידע מדעי. טיפול כזה מחייב לעתים התחשבות באילוצים כלכליים וחברתיים.

השילוב בין החקלאות לאיכות הסביבה בתכנית הלימודים משמעו לימוד ועיסוק במפעל אנושי עתיר ידע וטכנולוגיה, תוך הדגשת היבטים חברתיים, כלכליים, יצרניים וסביבתיים. פיתוח והפעלתה של החקלאות לשם הגדלת היבול, מבטיחים למין האנושי איכות חיים. הטיפול בבעיות סביבתיות וחברתיות שנוצרות במהלך הפיתוח וההפעלה אמור למנוע הרס תשתיות ומשאבים גם לדורות הבאים ולהשפיע גם על מעמדה של החקלאות.

בספר הלימוד מודגש הקשר בין החקלאות ובין פיתוח טכנולוגיות מתקדמות, וכן מודגש מקומה והשפעתה של החקלאות על הסביבה ועל החברה בישראל. הוראת הנושא תתבצע בבית הספר או בחווה לחינוך חקלאי ולאיכות הסביבה. ההוראה תלווה בהתנסות מעשית בסביבה ובביצוע מחקרי שדה. יש לקוות כי הלמידה העוסקת בסביבתם הקרובה של התלמידים ובבעיות יום-יומיות, ומערבת אותם בעשייה התורמת לסביבה, תמשוך את הלומדים ותעורר את סקרנותם ואת התעניינותם.

הקשר למטרות התכנית

בספר הלימוד יש התייחסות למטרות התכנית בתחום התוכן, בתחום המיומנויות ובתחום הרגשי.

המטרות בתחום התוכן

1. התלמידים יכירו עובדות, מונחים ומושגים בסיסיים במדעי החקלאות, בטכנולוגיה החקלאית ובמדעי הסביבה.
2. התלמידים יבינו את קשרי הגומלין בין החקלאות לבין הסביבה.
3. תלמידים יבינו את תלותה של החקלאות המודרנית בחידושים מדעיים שהם פרי המחקרים המדעיים.
4. התלמידים יבינו שהחקלאות היא תחום יצרני, ופגיעה בתחום זה עלולה לחבל באספקת המזון לאוכלוסיית העולם.
5. התלמידים יכירו ויבינו שיש אפשרות לקיים חקלאות תוך שמירה קפדנית על איכות סביבה. זאת, תוך פגיעה מזערית בתפוקה הגבוהה של החקלאות בישראל.

המטרות בתחום המיומנויות

1. התלמידים יבינו מידע הנמסר בטבלאות ובגרפים.
2. התלמידים יפתחו מיומנויות ניתוח טקסטים, עיבוד מידע וייצוגו.
3. התלמידים יפתחו מיומנויות חקר ויכולת לתכנן ולבצע ניסויים במעבדה, בשדה ובסביבה, ולהסיק מהם מסקנות.
4. התלמידים יפתחו מיומנויות שימוש במחשב לאיתור ואיסוף מידע, ולהצגת נתונים.
5. התלמידים יפתחו מיומנויות חשיבה ברמה גבוהה (יישום, סינתזה והעברה).

המטרות בתחום הריגושי

1. התלמידים יפתחו עמדות חיוביות ללמידת מדעי הצמח והסביבה.
2. התלמידים יפתחו רגש אחריות לסביבה, ובייחוד תודעה לניצול משאבי הטבע בצורה אחראית וגישה חיובית לרשות הרבים.
3. התלמידים יפתחו נכונות ויכולת לעבודת צוות.
4. התלמידים יפתחו יחס חיובי לחקלאות ולחקלאים כיצרנים.

הנושאים מתכנית הלימודים המטופלים בספר

1. טכנולוגיות חקלאיות בריבוי צמחים
2. הקרקע כבית גידול: היבטים של הפעילות החקלאית
3. הזנה מינרלית של צמחים

הסביבה הלימודית

הלמידה כוללת לימוד עיוני והתנסות מעשית בסביבה ובשדה. הלמידה העיונית תיעזר בחומרי למידה מקובלים מתחום הביולוגיה, החקלאות ולימודי הסביבה וממקצועות אחרים, ותסתייע בספרות מקצועית, במאגרי מידע ממוחשבים ובלומדות המותאמות לנושא ולרמת הגיל. ניסויי השדה הם מרכיב חשוב בלמידה ובהתנסות המעשית. לפי תיאוריות למידה עדכניות, ידע משמעותי נבנה בתהליך שבו הלומד הוא שותף פעיל. הלמידה העוסקת בסביבתם הקרובה של התלמידים ובעיות יום-יומיות והמערבת אותם בעשייה, תמשוך את הלומדים, תעורר את סקרנותם ואת התעניינותם ותהיה משמעותית בשבילם. ניסויי השדה מחייבים חלקה לגידול צמחים, ובמידת האפשר - אמצעים לביצוע ניסויים מבוקרים, כמו: חממה. בתי ספר שאין להם חלקה לניסויי שדה או חממה, ייעזרו בחווה לחינוך חקלאי ולאיכות הסביבה שקיימת ביישוב שלהם, או ביישוב סמוך. הלמידה תכלול גם עבודות במעבדה (שניתן לבצע גם בכיתה), וכן סיורים בסביבה, מלווים בתצפיות ובהתנסות במחקר סביבתי.

פיתוח מיומנויות

פיתוח מיומנויות היא אחת המטרות המרכזיות בתכנית הלימודים. הבוגר העתידי של מערכת החינוך אינו יכול להסתפק עוד בידע קבוע ומוגדר מראש שאותו ירכוש בבית הספר. הבוגר זקוק למיומנויות של למידה ולמיומנויות של חשיבה שתאפשרנה לו לרכוש במהלך החיים ידע חדש תוך הפעלת שיקול דעת, יצירתיות וביקורתיות. המיומנויות הנלמדות תסייענה לבוגר לתפקד טוב יותר בעולם המשתנה של המחר ולקבל החלטות שקולות. בספר יש דגש על פיתוח המיומנויות האלה:

מיומנויות למידה

1. איתור ובחירה של מידע: עמ' 21 - שאלות 2, 3, 4; עמ' 40 - שאלה 2; עמ'; כל השאלות בעמ' 132; עמ' 146 - שאלה 2.
2. עיבוד מידע – פענוח מידע המוצג בדרכים שונות:
 - טבלאות: עמ' 28 - שאלה 2; עמ' 30 - שאלות 1 ו- 2; עמ' 94 - שאלה 4; עמ' 115 - שאלה 1; עמ' 126 - שאלה 5.
 - גרפים: עמ' 76 - שאלה 4; עמ' 82 - שאלה 1; עמ' 118 - שאלה 3; עמ' 126 - שאלה 4; עמ' 127 - שאלה 6; עמ' 153 - שאלה 2; עמ' 158 - שאלה 1.
 - איורים: עמ' 55 - שאלה 5.
 - תרשימים: עמ' 154 - שאלה 5.
3. ניתוח טקסט: כל השאלות בעמ' 27; עמ' 105 - שאלה 5; כל השאלות בעמ' 161.

4. ייצוג ידע באמצעות ייצוגים שונים –

טבלאות: ארגון תוצאות הניסויים; עמ' 100 - שאלה 1.

גרפים: ארגון תוצאות הניסויים

תרשימים או מפות מושגים: עמ' 15 - שאלה 4; עמ' 31 - שאלה 3; עמ' 83 - שאלה 4;

עמ' 95 - שאלה 5; עמ' 115 - שאלה 3; עמ' 137 - שאלה 2; עמ' 167 - שאלה 7; עמ'

179 - שאלה 1.

5. הצגת ידע – תכנון הצגת ידע תוך שימוש בעזרים, כמו: מצגת או כרזה: עמ' 54 - שאלה

; עמ' 105 - שאלה 4; עמ' 155 - שאלה 9.

מיומנויות החקר המדעי

1. חקירה מדעית ופתרון בעיות - ניסוח שאלת חקר; ניסוח השערה; בידוד גורמים; איסוף

נתונים, תכנון ניסויים, ביצוע ניסויים, עיבוד נתונים, הצגת תוצאות, ניתוח ממצאים, הסקת

מסקנות. מיומנויות אלה קשורות להכרת דרכי החקר המדעי והן באות לידי ביטוי בכל ניסוי

השדה המוצעים בספר.

מיומנות החקר המדעי מתורגלת גם במטלות האלה: עמ' 31 - שאלה 4; עמ' 108 –

שאלה 2.

התאמת ההוראה לרמות שונות

על הפער בכיתות הטרוגניות ניתן להתגבר על ידי מטלות מיוחדות לתלמידים המתקדמים,

לצורך איסוף מידע נוסף מן הספרות המקצועית ומרשת האינטרנט. מטלות כאלה מאפשרות

למורה להתקדם בקצב איטי יותר עם התלמידים האחרים.

הספר מכון לרמה בינונית, אולם יש מגוון רב של שאלות ומטלות לביצוע ברמות שונות של

קושי. כדי להציב אתגר בפני התלמידים הטובים, המורה יבחר להם שאלות קשות יותר. כמו

כן, המורה יכול להוסיף שאלות מאתגרות, קטעי העשרה, ולמידה באמצעות אתרי אינטרנט

המובאים במדריך למורה.

אוכלוסיית היעד

הספר מוצע למגוון אוכלוסיות תלמידים:

1. תלמידים הלומדים ביולוגיה, מדע וטכנולוגיה, גיאוגרפיה, לימודי ארץ ישראל ומקצועות

אחרים, ומעוניינים להרחיב בנושאים הקשורים בצמחים ובלימודי סביבה.

2. תלמידים הלומדים חקלאות ולימודי הסביבה בבית הספר.

3. תלמידים הלומדים חקלאות ולימודי הסביבה במסגרת החווה לחינוך חקלאי ולאיכות

הסביבה.

המבנה של הספר לתלמיד

הספר לתלמיד מורכב משלושה פרקים: (א) רבייה בצמחים; (ב) הזרע והנביטה; (ג) הגורמים הדרושים לגידול צמחים. פרק א מורכב משתי יחידות: הרבייה הזוויגית והרבייה האל-זוויגית. פרק ב מורכב מיחידה אחת. פרק ג מורכב מ-6 יחידות: הקרקע והצמח, המים והצמח, האור והצמח, המינרלים והצמח, הטמפרטורה והצמח וחקלאות ידידותית לסביבה. בתוך כל יחידה יש כמה מקבצי שאלות, שמסכמות ומרחיבות את הנושאים הנלמדים. מרבית השאלות דורשות מן התלמיד רמה של הבנה, יכולת יישום וסינתזה, בדרגות קושי שונות. בסוף כל יחידה, יש רשימה של המושגים המרכזיים שנלמדו וכן סיכום תמציתי של הנושאים שנלמדו באותה יחידה. לעתים, היחידה מפוצלת לשניים על ידי סיכום ביניים של הנושאים והמושגים המרכזיים.

בספר יש קטעי מידע ופעילויות לימודיות שונות, ביניהן: תצפיות, ניסויים במעבדה, ניסויים בחממה ובשדה, תכנון ניסויים, סיורים, שאלות, עבודה עם מפות מושגים ותרשימים, פעילויות משלבות מחשב, קריאה וניתוח של כתבות ועריכת דיונים. הספר עשיר באיורים, בתמונות, בקטעי עיתונות, בגרפים ובטבלאות שהם חלק בלתי נפרד מן הטקסט, ולעתים הם מהווים מקור למידע נוסף.

בתוך הטקסט מודגשות המילים שהן בבחינת מושגים מרכזיים של הנושא. בסיום הצגת הנושא, מוצגים חלק מן המושגים האלה בצורה בולטת, כשכל מושג מלווה בהגדרה שלו. כל ההגדרות למושגים האלה מרוכזות בסוף הספר במילון המונחים. כמעט לכל נושא יש גם קטעי העשרה והם מודפסים על רקע צבעוני; לעתים, הקטעים האלה מהווים הרחבה והעמקה בנושא, ולעתים – "פיקנטריה" שנועדה להוסיף עניין לנושא. השימוש בלשון רבים, בשאלות ובהוראות השונות, אינו מכון דווקא לעבודה קבוצתית, אלא כדי להימנע מן השימוש בלשון זכר או בלשון נקבה בלבד. עם זאת, רצוי מאוד לבצע את הפעילויות בזוגות או בקבוצות.

רצף הוראה

מומלץ לתכנן את ההוראה על פי סדר הפרקים בספר, אך ניתן גם לתכנן רצף אחר בהתאם לאילוצים שונים. אפשר, למשל, להתחיל את ההוראה בפרק ב' (הזרע והנביטה), להמשיך-בפרק ג' (הגורמים הדרושים לגידול צמחים) ולסיים בפרק א' (רבייה בצמחים). אולם, בתכנון רצף ההוראה יש לקחת בחשבון את העבודות שמתכננים לבצע ואת המועדים המתאימים להן. שימו לב! עבודה 2 (פרק א'), עבודה 3 (פרק א') ועבודה 14 (פרק ג') רצוי לבצע בסתיו, ואילו עבודה 4 (פרק א') רצוי לבצע באביב. עבודות אחרות ניתן לבצע בעונות שונות של השנה. התייחסות ספציפית למועדי העבודות ניתן למצוא בפרקים המתאימים בספר לתלמיד

ובמדריך למורה. בשל ריבוי העבודות בספר, ניתן לבחור חלק מהן ולבנות את התכנית המתאימה לכיתה.

המבנה של המדריך למורה

המדריך למורה ערוך לפי סדר הפרקים והיחידות בספר לתלמיד. היחידות מאורגנות בסעיפים כדלהלן:

הרעיונות המרכזיים – תמצית התכנים הנלמדים ביחידה;

המושגים המרכזיים – רשימת המושגים המרכזיים שנלמדים ביחידה;

תשובות לשאלות – למרבית השאלות שמופיעות בספר לתלמיד יש תשובות במדריך למורה. לעיתים קרובות, התשובות כוללות את התשובה המצופה מן התלמיד, בתוספת מידע למורה, הרחבה או הדגשה של היבט מסוים.

הנחיות לעבודות – הנחיות למורה או לרכז החממה ופירוט של בעיות טכניות, שעלולות להתעורר תוך כדי ביצוע העבודות; תוצאות מצופות או תוצאות לדוגמה; תשובות לשאלות שמלוות את העבודה;

חשוב מאוד לנסות כל עבודה מראש לפני שמבצעים אותה עם הילדים, לפחות בהיקף קטן, כדי לוודא שכל הפרטים ברורים וכל האמצעים הדרושים זמינים.

הרחבה והעמקה – קטעי מידע שקשורים בתכני היחידה ואינם מופיעים בספר לתלמיד; הקטעים האלה מציגים דוגמאות נוספות, או נושאים חשובים שאינם נכללים בתכנית הלימודים, או תכנים שמיועדים להעשרה למורה. ניתן לשלב חלק מהמידע הזה בהוראה או להתבסס עליו בבניית שאלות ותרגילים.

תפיסות חלופיות – יש נושאים שלגביהם קיימות תפיסות חלופיות (נקראות גם "תפיסות שגויות") אשר הן נפוצות בקרב תלמידים, וכדאי להיות מודעים להן בעת ההוראה. המדריך למורה מציג את התפיסות האלה ומציע דרכים אפשריות להתייחסות.

הצעות לעבודות נוספות – הצעות לפעילויות וניסויים נוספים שקשורים בתכני היחידה ואינם מופיעים בספר לתלמיד;

הצעות לשאלות נוספות – הצעות לשאלות ותרגילים נוספים שקשורים בתכני היחידה ואינם מופיעים בספר לתלמיד;

סרטי וידיאו – תקציר של סרטי וידיאו שמתאימים לתכני היחידה וניתנים לרכישה; הסרטים המוצעים הם משידורי האוניברסיטה הפתוחה ומשידורי הטלוויזיה החינוכית הישראלית. להזמנת הסרטים ולפרטים על סרטים אחרים אפשר לפנות אל הכתובות האלה:



אין לשכפל, להעתיק, לצלם, להקליט, לתרגם או ליישם את התוכן במסגרת תוכנית לימודים. © כל הזכויות שמורות למשרד החינוך, האגף לתכנון ולפיתוח תכניות לימודים.

1. האוניברסיטה הפתוחה – <http://www.openu.ac.il/tv> או בטלפון: 03-6460585

2. הטלוויזיה החינוכית הישראלית, המרכז הפדגוגי הארצי, טלפון 02-5601351/4

לרכישת קטלוג "טלטבע" על גבי תקליטון ולקבלת הדרכה לשילוב משדרי הטלוויזיה החינוכית בהוראה, יש לפנות אל הטלוויזיה החינוכית, מחלקת "טלטבע", טלפון 03-6466375. דוא"ל: ruty_p@ietv.gov.il

סרטונים ברשת – רשימת סרטים קצרים שנמצאים באינטרנט והם קשורים לתכני היחידה ומתאימים להוראה;

אתרים ברשת – רשימת אתרים שקשורים לתכני היחידה, ומתאימים למורה או לתלמידים. רוב האתרים המוצעים הם בשפה העברית (במקרים שלא - מצוין שהאתר הוא בשפה האנגלית).

מקורות לקריאה נוספת – רשימה של מקורות אחדים המתאימים לתכני היחידה; המקורות המוצעים הם בעברית. חלקם מתאימים ברמתם לתלמידי חטיבת הביניים וחלקם מתאימים למורה.

פרק א: רבייה בצמחים

הרבייה הזוויגית

(עמ' 11-35 בספר לתלמיד)

הרעיונות המרכזיים

1. צמחים מתרבים בעיקר ברבייה זוויגית. ברבייה זוויגית, הצאצא נוצר כתוצאה מהתלכדות של תא זרע עם תא ביצה, והוא דומה להוריו ול"אחיו" אך אינו זהה להם בכל תכונותיו.
2. לצמחים בעלי פרחים יש מערכת רבייה זוויגית בפרח. הפרח מורכב מאבקנים, שהם איברי הרבייה הזכריים, ומעליים, שהם איברי הרבייה הנקביים. האבקנים מורכבים מזירים וממאבקים, ובמאבקים נוצרים גרגרי האבקה. העליים מורכבים מעמודי עלי, צלקות ושחלות, ובתוך השחלות נוצרות הביציות. איברי הרבייה מוקפים בעלי גביע ובעלי כותרת.
3. בתהליך ההאבקה, גרגרי האבקה יוצאים מתוך האבקן ומגיעים אל הצלקת שבעלי. בצמחים מסוימים ההאבקה היא עצמית ובצמחים אחרים יש האבקה זרה. האבקה זרה מתרחשת בעזרת מאביקים או בעזרת הרוח. המאביקים באים אל הפרח כדי לאסוף צוף וגרגרי אבקה שמשמשים להם מזון.
4. החקלאים מציבים כוורות של דבורי דבש ודבורי בומבוס ליד גידולים חקלאיים, וכך הם משפרים את ההאבקה. יש חקלאים שמנערים את הצמחים כדי לפזר את גרגרי האבקה וכך הם מבצעים האבקה מלאכותית.
5. כשגרגרי האבקה נמצאים על הצלקת מתפתחים מהם נחשונים, והם מעבירים את תאי הזרע מגרגרי האבקה אל תוך הביציות שבשחלה. בתוך הביציות מתרחשת ההפריה שבה תא הזרע מתלכד עם תא הביצה. מתא הביצה המופרה מתפתח העובר, והוא מתפתח לצמח חדש.
6. כדי שצמח יפרח הוא חייב להיות "בשל" לפריחה, והבשלות תלויה בגודל הצמח או בגיל שלו.
7. גם הורמונים שנוצרים בצמח משפיעים על הפריחה.
8. צמחים רבים מתחילים לפרוח כשהיום מתקצר או כשהיום מתארך, וכך מובטח שהפרח יתפתח בעונה המתאימה לו.
9. יש צמחים שדורשים קיוט, כלומר: חשיפה ל"מנת קור", כדי שהפרח ייווצר. צמחים אחרים, דורשים "מנת קור" לאחר היווצרות הפרח, על מנת שהפרח ייפתח.
10. החקלאים מכוונים את מועד הפריחה על ידי שינוי אורך היום, על ידי שינוי הטמפרטורה או על ידי טיפול חיצוני בהורמונים, בעיקר בג'יברלין.

המושגים המרכזיים

רבייה; רבייה זוויגית (רבייה מינית); פרח; עלה עטיפי; עלה גביע; עלה כותרת; צופן; צוף; אבקן; זיר; מאבק; גרגרי אבקה; תא זרע; עלי; עמוד עלי; שחלה; ביצית; תא ביצה; צלקת; האבקה; האבקה עצמית; האבקה זרה; מאביקים; האבקה מלאכותית; הכלאה; הפריה; נחשוך; צמח יום קצר; צמח יום ארוך; צמח "אדיש"; קיוט; בשלות לפריחה; הורמונים; ג'ברלין.

תשובות לשאלות

תשובה לשאלה בקטע הרחבה

(עמ' 13 בספר לתלמיד)

התכונות הרצויות בטיפוח פרחים הן: עמידות למחלות ומזיקים, חיי מדף ארוכים לאחר קטיף, גודל הפרח, מבנה וצורת הפרח (למשל: ריבוי עלי כותרת), וגם עמידות לתנאי עקה בזמן הגידול.

תשובות לשאלות

(עמ' 20-21 בספר לתלמיד)

1. פרח גדול וצבעוני מותאם להאבקה על ידי מאביקים אשר נמשכים אליו בגלל גודלו וצבעו. פרח בעל צוף וריח מותאם להאבקה על ידי מאביקים אשר נמשכים אל הריח שהוא מפיש וניזונים מן הצוף שהוא מייצר.

פרח בעל אבקנים בולטים מותאם להאבקה על ידי הרוח, כי גרגרי האבקה יכולים להתעופף ביתר קלות מן הפרח. עם זאת, פרח כזה מותאם גם להאבקה על ידי מאביקים, מכיוון שיש יותר סיכויים שגרגרי האבקה ייצמדו אל המאביקים. פרח בעל צלקות בולטות מותאם להאבקה על ידי הרוח, מכיוון שיש יותר סיכויים שגרגרי אבקה שמתעופפים יגיעו אל הצלקות הבולטות.

פרח בעל כמות עצומה של גרגרי אבקה מותאם להאבקה על ידי הרוח. פיזור האבקה על ידי הרוח הוא אקראי ולכן ככל שיש יותר אבקה כך גדול יותר הסיכוי שחלק ממנה יגיע אל הפרחים המתאימים.

פרח בעל צלקות דביקות מותאם להאבקה על ידי הרוח וגם להאבקה על ידי מאביקים. צלקות דביקות מגדילות את הסיכוי שגרגרי האבקה יישארו על הצלקת ולא ימשיכו להתפזר. פרח בעל גרגרי אבקה קטנים וקלים מותאם להאבקה על ידי הרוח. גרגרי אבקה קטנים יכולים להינשא בקלות על ידי הרוח ולהתפזר במרחב.

פרח בעל גרגרי אבקה דביקים ומחוספסים מותאם להאבקה על ידי מאביקים. גרגרי אבקה כאלה יכולים להיצמד לגופו של המאביק. לעומת זאת, גרגרי אבקה חלקים ויבשים מתאימים להאבקה על ידי הרוח.

דוגמאות ניתן למצוא באתר <http://science.cet.ac.il/science/reproduction/repro4.asp>

3. האבקה עצמית מתרחשת בקרקפות סגורות של מרור הגינות ובפרחים סגורים של נזמית לופתת. כאשר הפרחים נפתחים, יכולה להתרחש גם האבקה זרה, אבל כאשר תנאי הסביבה אינם מאפשרים לפרחים להיפתח, למשל, כשיורד גשם, והפרח נשאר סגור, ההאבקה היא עצמית. בצמחי פלפלת (פלפל ירוק) מתרחשת בעיקר האבקה עצמית אך גם האבקה זרה. לכרום הדמשקאי (זן של כרום השבכה) יש מאביקים שהם גבוהים מעמודי העלי וכפופים בקשת אל הצלקות, וכך מתאפשרת האבקה עצמית. בנר הלילה החופי, לעומת זאת, ההאבקה העצמית מתאפשרת על ידי התכופות עמוד העלי נושא הצלקות אל האבקנים. עם זאת, בצמח הזה, בדרך כלל הפרח מואבק על ידי חרקים.

4. יש הרבה אמצעים למשוך מאביקים, למשל: צוף, צבע בולט, נתיבי צבע שמובילים אל הצוף, ריח, חיקוי צורה/צבע/ריח של בן זוגו/ בת זוגתו של המאביק/ה, הפצת חום, פרח גדול או תפרחת גדולה שמורכבת מהרבה פרחים קטנים (משפחת המורכבים) ועוד.

תשובות לשאלות

(עמ' 22 בספר לתלמיד)

2. לפרחים הצעירים של תורמוס ההרים, לפני שהם מואבקים, יש צבע לבן והרבה אבקה. לפרחים ה"זקנים", לאחר שהואבקו, יש כתם של צבע סגול ומעט אבקה. בפרחי תורמוס ארץ ישראל, הצבע הלבן הופך לאדום לאחר שהפרח מואבק. שינוי הצבע מסמן לדבורים המאביקות להעדיף את הפרחים הצעירים שבהם נמצאת אבקה מרובה ולדלג על הפרחים הזקנים שכבר הואבקו. כך זכות הדבורים למזון רב יותר (יותר אבקה) והפרחים זוכים להאבקה יעילה יותר. נראה ששינוי הצבע מתרחש גם ללא האבקה, עם התבגרות הפרח, כלומר: שינוי הצבע מבוקר גם על ידי גיל הפרח וגם על ידי ההאבקה. תהליך יצירת הצבע מופעל על ידי ההורמון אתילן שנוצר לאחר ההאבקה, אך גם במהלך ההזדקנות הטבעית.

תופעה דומה קיימת בנר הלילה החופי; לאחר ההאבקה משנים הפרחים את צבעם הצהוב הבוהק לצבע כתום אדום עמום.

עוד בנושא הזה ניתן לקרוא במאמר "לבן הופך לסגול – האקולוגיה של ההאבקה ומשמעות שינוי הצבע בתורמוס ההרים", מאת גידי נאמן ורקפת נשר, **אקולוגיה וסביבה**, גיליון 1, כרך 2, דצמבר 1994 או באתר <http://www.snunit.k12.il/science/biology/e2.html>

תשובות לשאלות

(עמ' 28 בספר לתלמיד)

1. א. החומעה היא צמח יום ארוך, הניצנית היא צמח יום קצר והגרניום "אדיש" לאורך היום.

ב. החומעה מוצאה, כנראה, מאזור שבו החורף קר מאוד (למשל, צפון אירופה), ולכן היא פורחת רק כשהיום מתארך, כלומר: כשהחורף מסתיים והסביבה מתחילה להתחמם. הניצנית מותאמת לאזור שבו החורף נוח ואילו הקיץ חם ויבש, ולכן היא פורחת כשהיום מתקצר, כלומר: בסוף הקיץ כשהסביבה מתחילה להתקרר וגשם צפוי לרדת. מינים שונים של ניצנית גדלים בטבע באזורים טרופיים וסוב-טרופיים, בעיקר באפריקה ומדגסקר. באופן כללי, מוצאם של רבים מצמחי היום הקצר הוא מאזורים הסמוכים לקו המשווה, ואילו רוב צמחי היום הארוך מוצאם מאזורים ממוזגים.

2. אורך היום משתנה באופן קבוע וסדיר מדי שנה, ללא חריגות וללא השפעות מזג אוויר בלתי צפויות. בטמפרטורה, לעומת זאת, עשויות להיות תנודות משמעותיות שאינן עקביות, כלומר: יכולה להיות התחממות פתאומית בחורף או התקררות פתאומית בקיץ. מהבחינה הזאת, אורך היום הוא סימן יותר אמין מאשר הטמפרטורה להתחלפות עונות השנה.

3. התלמידים יכולים להציע שינוי אורך היום (קיצור או הארכה), שינוי הטמפרטורה (קירור או חימום) וגם הוספת הורמונים.

תשובות לשאלות

(עמ' 30-31 בספר לתלמיד)

1.

א. אפשר למנוע פריחה של ניצנית בחורף באמצעות תוספת תאורה בחורף (הארכת יום).
 ב. אפשר להשרות פריחה של ניצנית בקיץ באמצעות החשכה בקיץ (קיצור יום).
 ג. אפשר למנוע פריחה של חומעה בקיץ באמצעות החשכה בקיץ (קיצור יום).
 ד. אפשר להשרות פריחה של חומעה בחורף באמצעות תוספת תאורה בחורף (הארכת יום).

2. מוצאה של החרחבינה מאזורים שבהם החורף קר מאוד. באזורים אלה, השורשים המעובים של החרחבינה נשארים בקרקע במהלך החורף וקולטים את מנת הקור הדרושה להם. כאשר הסביבה מתחילה להתחמם מתפתחים מן השורשים האלה צמחים חדשים ובסוף האביב הם פורחים.

בניסוי המתואר, טיפול הקירור הקדים את מועד תחילת הפריחה והגדיל את כמות הצמחים הפורחים, בגלל אפקט הקיוט. השורשים המעובים קלטו את "מנת הקור" הדרושה לשם השראת הפריחה. ללא קירור, אפשר לייצא את פרחי החרחבינה לאירופה החל מחודש מאי, כי אז אחוזי הפריחה גבוהים באופן טבעי. אם מקררים את השורשים המעובים מדצמבר אפשר להקדים את הייצוא לחודש אפריל. למעשה, אפשר לקרר את השורשים במהלך ספטמבר ואוקטובר, לשתול בנובמבר ולקבל פריחה כבר בחודש מרס. עם זאת, יש עדויות לכך, שקירור ארוך מדיי פוגע באיכות הפרחים. ייצוא פרחי חרחבינה לאירופה בסוף החורף או בראשית האביב עשוי להיות רווחי מאוד, מכיוון שבאירופה החרחבינה פורחת באופן טבעי רק בתחילת הקיץ.

4. א. שאלת מחקר מתאימה: כיצד משפיעה תוספת ג'יברלין בשילוב עם הארכת יום בחורף על אחוזי הפריחה של צמחי הגיפסנית בחודשי החורף?
- ב. ההשערה: תוספת ג'יברלין בשילוב עם הארכת יום בחורף תגדיל את אחוזי הפריחה בחורף.
- ד. הטיפולים: (1) צמחי גיפסנית ללא תוספת תאורה וללא ג'יברלין; (2) צמחי גיפסנית ללא תוספת תאורה ועם תוספת ג'יברלין; (3) צמחי גיפסנית עם תוספת תאורה ללא תוספת ג'יברלין; (4) צמחי גיפסנית עם תוספת תאורה ועם תוספת ג'יברלין.
- החזרות: מספר רב של צמחים, של שורות ושל חלקות בכל טיפול.
- ה. הביקורת: צמחי גיפסנית ללא תוספת תאורה וללא ג'יברלין.
- ו. הבדיקות והמדידות: ספירת צמחים פורחים מדי שבוע וחישוב אחוזי הפריחה במועדים השונים.
- ז. הגורם המושפע: אחוז הצמחים הפורחים במועדים השונים.
- הגורם המשפיע: תוספת תאורה ותוספת ג'יברלין.
- ח. ההשערה תוכח אם התוצאות יראו שאחוזי הפריחה בחודשי החורף הם הגבוהים ביותר בטיפול 4, בהשוואה לטיפולים האחרים.

עבודה 2: כיצד משפיעים קירור והארה על מועד הפריחה של צמחים שונים?

(עמ' 32-35 בספר לתלמיד)

הנחיות

מועדים

את הניסוי כדאי לבצע בחודש נובמבר. 6 שבועות קודם לכן, כלומר: לא יאוחר מאמצע אוקטובר, יש להכניס למקרר את בצלי האירוס. שבועיים לפני התחלת הניסוי יש להכניס למקרר את שתילי החרצית, את זרעי הטופח ואת זרעי החיטה. המעקב אחר הצמחים עשוי להימשך עד האביב (מרס-אפריל). סיכום התוצאות מאפשר לערוך חזרה על חומר הלימוד שבפרק הזה.

זנים מומלצים

זני חרציות – כאלה שפורחים 9-11 שבועות לאחר קבלת ההשראה לפריחה, למשל: אינדיאנאפוליס (Indianapolis), ילו נייט (Yellow Knight) או פינק שמפיין (Pink Champaign).

זרעי חיטה – מהזן פ X א (Florence x Aurore).
 בצלי אירוס – מהזן Wedgewood (גודל 8 ומעלה, אם הבצלים עגולים; גודל 10 ומעלה, אם הבצלים פחוסים).
 זרעי טופח ריחני – מהזנים Swolanek או Spencer.

הארה – בנורות של 100 ואט / 24 וולט (בגלל ההשקיה אסור להשתמש במתח של 220 וולט), בבתי נורות עם רפלקטור. את הנורות יש לתלות בגובה של 1 מ' מעל פני השטח. מספיק להאיר את החלקה במשך 4 שעות, משעה 10 עד 2 בלילה; אפשר להיעזר ב"שעון שבת" רגיל. אפשר לתת הארה מחזורית: כל 30 דקות הארה של 15 דקות בלבד. בדרך זו אמנם חוסכים חשמל, אך לשם כך דרוש שעון מיוחד. אם אין אפשרות להיעזר בשעון, אפשר להשאיר את האור מהערב עד הבוקר וגם במהלך כל סוף השבוע. יש להמשיך בהארה עד 6 שבועות לאחר נביטת החיטה. חשוב לבדוק כל בוקר אם כל הנורות דלקו, ואם נורה נשרפה – להחליף אותה מיד. את צמחי החרציות שמקבלים תוספת תאורה יש להאיר כל לילה, החל מהעברתם מן המשתלה, שגם בה נמצאו השתילים בתנאים של יום ארוך, ועד גמר תקופת ההארה בניסוי. גם במקרה זה, מספיק לתת תאורה של 4 שעות במחצית הראשונה של הלילה.

קירור – בכל מקרה חשמלי ששומר על טמפרטורה אחידה. אירוס – 6 שבועות ב-10 מ"צ (במגרת הפירות); חרצית – שבועיים קרוב ל-0 מ"צ (מתחת לתא ההקפאה אך ללא מגע אתו) בשקית פלסטיק מנוקבת; חיטה וטופח – שבועיים ב-4-5 מ"צ (במרכז המקרר) בשקית פלסטיק אטומה.

לפני השתילה כדאי לחטא את בצלי האירוס על ידי השרייה בתמיסת כספן 3% לחצי שעה. לפני הזריעה, רצוי להשרות את הזרעים במים במשך הלילה.

אין הכרח לשתול ולזרוע את כל המינים באותו יום, אבל חשוב לשתול את כל הצמחים מאותו המין בכל החלקות (הארה, קירור וביקורת) באותו היום ובאותם תנאים. אין לזרוע את החיטה לפני תחילת נובמבר (כדי למנוע מצמחי הביקורת לקבל יום ארוך באופן טבעי). את צמחי הניסוי האחרים אפשר לשתול כבר באוקטובר.

תשובות לשאלות

1. שאלות חקר מתאימות לניסוי: כיצד משפיעה תוספת תאורה על מועד הפריחה, על גובה הצמח ועל מספר העלים באירוס, בחרצית, בחיטה ובטופח? כיצד משפיע קירור

- על מועד הפריחה, על גובה הצמח ועל מספר העלים באירוס, בחרצית בחיטה ובטופח?
- בניסוי זה, לתלמידים אין מידע שעליו הם יכולים לבסס את השערותיהם, ולכן ההשערות מבוססות על ניחושים. כל השערה שכוללת בניסוחה גם גורם משפיע וגם גורם מושפע תהיה השערה מתאימה.
 - הגורמים המשפיעים – מספר שעות האור ביממה; הטמפרטורה שבה שהו הבצלים והזרעים לפני השתילה והזריעה.
 - הגורמים המושפעים – משך הזמן מנביטה עד פריחה, גובה הצמחים בזמן הפריחה, מספר העלים בכל צמח בזמן הפריחה.
 - חשוב שחלקת ההארה תהיה רחוקה מן החלקות האחרות כדי שצמחי הקירור והביקורת לא יחשפו גם הם לתוספת הארה.
 - האפשרות לספק פרחים כל עונות השנה עשויה להגדיל את רווחיו של החקלאי, בייחוד בעונות שבהן יש מעט פרחים כאלה בשוק. נוסף לכך, גידול אותם צמחים במהלך כל השנה עשוי להקל על ארגון העבודה ולחסוך בעלויות.

תוצאות לדוגמה

מועד פריחה משוער בטיפולים השונים (אם זורעים או שותלים בנובמבר)

טופח	חיטה	חרצית	אירוס	
פברואר	מרס	ינואר	מרס	ביקורת
פברואר	מרס	ינואר	דצמבר	קירור
פברואר	דצמבר	מרס	מרס	הארה

אירוס – צמח אדיש לאורך יום: תוספת תאורה לא משפיעה על הפריחה; קירור מקדים את הפריחה.

חרצית – צמח יום קצר: תוספת תאורה מעכבת את הפריחה; קירור לא משפיע.

חיטה – צמח יום ארוך: תוספת תאורה מקדימה את הפריחה; קירור לא משפיע.

טופח – צמח אדיש לאורך יום: תוספת תאורה לא משפיעה על הפריחה; קירור לא משפיע.

5. בדרך כלל, צמחים שפורחים מאוחר מצמיחים יותר עלים בהשוואה לבני מינם שפורחים מוקדם. ההסבר לכך הוא שכאשר הפריחה מתחילה, הצמיחה הווגטטיבית נפסקת, כלומר: נפסקת התפתחות העלים. השפעת מועד הפריחה על גובה הצמחים משתנה. יש צמחים שבהם המעבר לפריחה מלווה בהפסקת הצימוח הווגטטיבי ובהפסקת ההתארכות. לעומתם, בצמחים רבים (למשל, בצמחי שושנת) חלה התארכות של הגבעול עם המעבר לפריחה, כך שהצמחים הפורחים גבוהים יותר מבני מינם שאינם פורחים. בחיטה ובאירוס, הצמח מתחיל

להתארך עם המעבר לשלב הפריחה, כך שגובה הצמח אינו מדד לזמן עד פריחה. לעומת זאת, בטופח וחרצית, הצמח מתארך כל הזמן מרגע הנביטה ומפסיק להתארך כאשר הוא עובר לשלב הפריחה.

6. החרציות פורחות באופן טבעי בחורף (או אפילו בסתיו), כאשר משך שעות האור מתקצר. כדי לכוון את פריחתן לאביב, החקלאים מגדלים אותן בתנאים של תוספת תאורה עד שהן מגיעות לגודל הרצוי. בתנאי הגידול האלה הן אינן פורחות. לקראת האביב, מקצרים את משך שעות ההארה בחממה (על ידי החשכה), וכך גורמים לצמחים לפרוח. בדרך זו מתקבלים צמחים פורחים במועד הרצוי ובגודל הרצוי. אפשר גם להאיר כל ערוגה של חרציות במשך זמן שונה, וכך לקבל מועדי פריחה שונים.

7. האירוס פורח באופן טבעי באביב. אפשר להקדים את הפריחה שלו על ידי אחסון הבצלים בקירור לפני השתילה.

8. החיטה פורחת באופן טבעי באביב ומייצרת זרעים לקראת הקיץ. אפשר להקדים את ייצור הזרעים על ידי תוספת תאורה במהלך החורף.

9. המסקנות המעשיות הנוספות הן, למשל: קירור והארה (בדרך שנעשתה בניסוי) לא מאפשרים לכוון את מועד הפריחה של הטופח הריחני. לעתים, דחיית מועד הפריחה מאפשרת גם לקבל צמחים ארוכים יותר ובעלי עלים רבים יותר. חשוב לציין שהמסקנות נכונות רק לגבי המינים והזנים שנבדקו.

10. אפשר לנסות להשפיע על מועד הפריחה גם על ידי קיצור היום (החשכה), טיפול בהורמונים (בעיקר ג'יברלינים) וגם בדרכים שונות שמשפיעות על ההתפתחות הכללית, כמו: מועד הזריעה, דישון, השקיה וכן ויסות הטמפרטורה במהלך הגידול. אמצעים כאלה יכולים לזרז או לדחות את ההגעה לבגרות (בשלות לפריחה) ועל ידי כך להשפיע על מועד הפריחה. במקרים מסוימים, דישון ומחסור בהשקיה (יובש) יכולים להשפיע ישירות על הפריחה ולא רק דרך השפעתם על קצב התפתחות הצמח.

הרחבה והעמקה

עוד על האבקת הלוף המנומר

לצמח לוף מנומר יש פרחים זכריים ופרחים נקביים. הם מאורגנים יחד בתפרחת ומועד ההבשלה שלהם שונה: הפרחים הנקביים מבשילים לפני הפרחים הזכריים. כאשר הפרחים הנקביים מבשילים, התפרחת מדיפה ריח דומה לריח של בשר רקוב, והריח הזה מושך חיפושיות וזבובים שניזונים מזבל ופגרים. באותו הזמן, התפרחות גם מתחממות והחום מגביר את הנדיפות של חומרי הריח לסביבה. גם החום עצמו מושך כנראה את החרקים. כאשר החרקים נכנסים אל תפרחת הלוף ויורדים אל בסיסה, הם לא מוצאים את המזון שלו

הם מצפים, אבל הם נלכדים בתוכה על ידי שערות המונעות מהם לטפס בחזרה במעלה התפרחת. רק כאשר הפרחים הזכריים מבשילים, החרקים מצליחים להיחלץ מן המלכודת, ובדרכם החוצה נדבקים אליהם גרגרי אבקה. החרקים שמשתחררים מן התפרחת "נופלים שוב בפח", בתפרחת אחרת שבה יש פרחים נקביים בשלים. בתפרחת הזאת משתחררים מהם גרגרי האבקה ונצמדים אל הצלקות.

עוד על "חיקוי ורמייה" בהאבקה

יש צמחים ש"מרמים" את המאביקים ומושכים אותם אליהם אבל לא מספקים להם מזון. המשיכה מתבצעת על ידי "חיקוי" צבע וצורה או ריח של מיני צמחים שכן מספקים למאביקים מזון. כדי שמצב כזה יוכל להתקיים לאורך זמן דרוש שהמין המחקה יהיה בשכיחות נמוכה לעומת המין שאותו מחקים. לדוגמה, הסחלב המצויר, הוא מין נדיר חסר צוף שמחקה בפרחיו את פרחי הזמזומית המצויה, שהיא מין מאוד נפוץ ועשיר בצוף. שני הצמחים (הסחלב והזמזומית) מואבקים על ידי אותם המאביקים. ללא נוכחות הזמזומית המצויה תתרחש בסחלב פחות האבקה.

בצמחים אחרים, למשל: בירוקת החמור, הפרחים הנקביים הם חסרי צוף ואבקה. צמחים אלה "מחקים" בצורתם את הפרחים הזכריים עשירי הצוף והאבקה. גם במקרים כאלה הפרחים המחקים שכיחים פחות מהפרחים שאותם הם מחקים.

לצמחים ממשפחת הסוככיים (למשל לגזר הגינה) יש כתמים במרכז תפרחות הסוכך הלבנות שלהם. הכתמים האלה הם מצבורי פרחים מנוונים ומצוי בהם ריכוז גבוה של אנתוציאן, שמקנה להם גוון ארגמני כהה עד שחור. חוקרים גילו שהכתם השחור מושך אל התפרחת את זבובי הבית. החוקרים משערים שהמשיכה אל הכתם נובעת מהתנהגות של התקבצות זבובים זה אל זה. הכתם השחור "מחקה" זבוב שכבר מצוי על התפרחת, והזבובים נמשכים למקום שבו מצוי כבר פרט אחד.

עוד בנושא זה תוכלו לקרוא במאמר "האם צמחים מתחפשים" מאת אקשטיין לאה, מתוך העלון למורי הביולוגיה, חוברת א, 1996, 145, או באתר:

http://www.snunit.k12.il/heb_journals/allon/145083.html

האבקה על ידי דבורים בחקלאות

המאביק הנפוץ ביותר לשימוש בחקלאות הוא דבורת הדבש. לדבורת הדבש יש כמה יתרונות כמאביקה: היא פעילה במשך כל השנה, ולא רק בעונה מסוימת (פרט לימים קרים, כאשר יש רוח חזקה או בימי גשם); היא אוספת גם צוף וגם גרגרי אבקה, כך שגם אם הפרח מספק סוג מזון אחד, הדבורה תימשך אליו; היא מאוד שעירה, ולכן גרגרי האבקה נדבקים אליה בקלות והיא יכולה להעביר אותם ביעילות; היא חוזרת שוב ושוב לאותו מין של צמחים, כך שהאבקה שנדבקה אליה בפרח אחד מגיעה לפרח אחר מאותו מין; באמצעות כוורת

ניידת, אפשר בקלות יחסית להעביר אוכלוסיה גדולה של דבורים (כ-50,000) לשטח שבו נדרשת האבקה.

בישראל מאביקים באמצעות דבורי דבש את הגידולים החקלאיים האלה: שקד, שזיף, תפוח, אגס, דובדבן, גודגדן, אבוקדו, קיווי, ליצי, מקדמיה, פיטאיה, מנגו, חמניות, מלון, אבטיח, קישוא (חלק מהזנים), תות שדה, פלפל חממה, מלפפון לתעשייה, בצל, תלתן, כותנה, דלועים, נוריות ועוד.

מנגנון בקרת הפריחה בצמחי יום ארוך ובצמחי יום קצר

המנגנון שבו אורך היום משפיע על מועד הפריחה היה בגדר תעלומה מדעית במשך כ-100 שנים. כבר לפני שנים רבות ידעו מדענים שאורך היום נמדד בעלים, ואולם לא ידעו כיצד הוא נמדד וכיצד עובר המידע הזה אל קצה הגבעול שבו מתפתח הפרח. רק בשנים האחרונות הצליחו החוקרים לפצח את התעלומה. היום מקובל ההסבר שאורך היום נמדד בעלים על ידי פעולה משולבת של קולטני אור ושל מנגנון פנימי של שעון ביולוגי יומי.

קולטני האור (הפוטורצפטורים) הם מולקולות חלבון שקולטות את האור. יש שתי קבוצות של קולטנים: קבוצה אחת קולטת אור בתחום האדום והאדום רחוק והיא נקראת פיטוטרומ, וקבוצה אחרת קולטת את האור הכחול והיא נקראת קריפטוטרומ.

המנגנון הפנימי של השעון הביולוגי היומי "מודד" את משך שעות האור ואת משך שעות החושך ביממה.

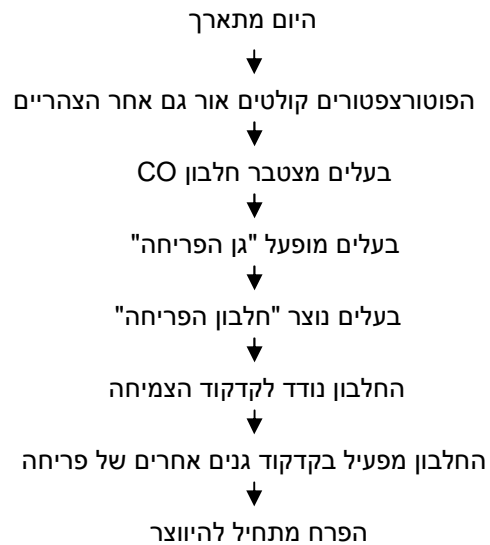
כיצד מודד השעון הביולוגי את משך הזמן שבו נקלט האור על ידי הפוטורצפטורים?

כדי ללמוד על תהליכי התפתחות בעולם הצומח נעזרו המדענים בצמח יום ארוך בשם תונדרינית (אַרְבִּידוֹפְסִיס), ששימש כמודל גנטי. במחקרים נמצא שבצמח הזה קיים גן אשר פעילותו מבוקרת על ידי שעון ביולוגי. הגן הזה מתחיל לפעול אחר הצהרים בסביבות השעה 17:00, ושיא פעילותו – בלילה. לפנות בוקר, הגן מפסיק לפעול. הוא מקודד לחלבון CO (שם מקוצר), אשר מתפרק במהירות בחושך, אך הוא יציב באור.

לכן, כאשר היום קצר (בחורף), חלבון CO שנוצר בצמח לפנות ערב בחושך, מתפרק מיד. אולם, כאשר היום ארוך (בקיץ), ויש אור גם בשעות היום המאוחרות (17:00-20:00), האור נקלט על ידי הפוטורצפטורים, ואלה מעבירים אות שמיצב את החלבון ומונע ממנו להתפרק. כך יכול החלבון להצטבר בצמח.

המדענים גם מצאו שהחלבון CO, שנוצר אחר הצהרים בתנאי יום ארוך, מפעיל גן אחר – "גן הפריחה". "גן הפריחה", שנקרא FT (שם מקוצר), מקודד לחלבון שנוצר בעלים, והחלבון הזה נע בצינורות השיפה אל קודקוד הצמיחה. בקודקוד, החלבון מפעיל את תהליך ההתמיינות לפרח. לעומת זאת, בתנאי יום קצר, החלבון CO מתפרק ואינו מצטבר. לכן, בצמחי יום ארוך שגדלים בתנאי יום קצר, "גן הפריחה" אינו יכול להיות מופעל.

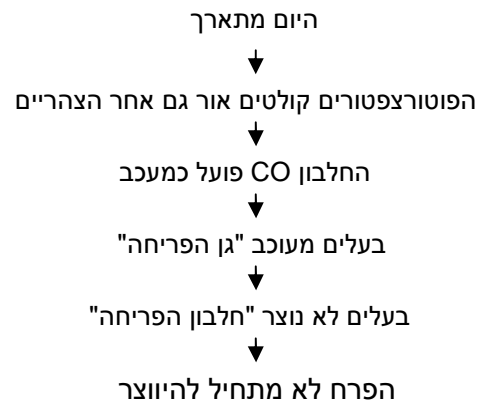
מנגנון בקרת הפריחה בצמחי יום ארוך (למשל, תודרנית)



במחקר שנערך בצמח האורז, שהוא צמח יום קצר, נמצא מנגנון דומה, אך שונה במעט. בצמח הזה, האור אינו מבקר את יציבות החלבון CO אלא את הפעילות שלו. גם במקרה הזה הגן CO (שנקרא באורז Hd1) מבוקר על ידי השעון הביולוגי והוא פעיל בשעות אחר הצהריים והלילה. אולם באורז, האור (אשר נקלט על ידי הפוטורצפטורים) גורם לחלבון CO לעכב את הפעילות של "גן הפריחה" FT (שבאורז נקרא Hd3). בחושך, או ליתר דיוק, לאחר כמה שעות של חושך (כלומר בתנאי לילה ארוך), החלבון CO משנה את פעילותו ומתחיל לעודד את הפעילות של "גן הפריחה". כך, בתנאי יום ארוך, החלבון CO פועל גם בסוף היום וגם בלילה הקצר כמעכב "גן הפריחה", ולכן כמעכב פריחה. בתנאי יום קצר (לילה ארוך), לקראת סוף הלילה הארוך, החלבון CO משנה את פעילותו ומתחיל להפעיל את "גן הפריחה" וכך הוא מעודד פריחה. גם באורז "גן הפריחה" FT מייצר את "חלבון הפריחה" אשר נע בצינורות השיפה לקדקוד ומפעיל את תהליכי התמיינות הפרח.

לאחרונה (סוף 2007), בצמח יום קצר אחר (לפופית), נמצא מנגנון פוטופריודי שונה מזה שנמצא באורז. גם בצמח הזה אורך היום מבקר את פעילותו של "גן הפריחה" FT, אך הבקרה אינה דרך החלבון CO. תופעה זו מצטרפת לתופעות אחרות שמעידות על כך שהמנגנון הפוטופריודי התפתח כמה פעמים במהלך האבולוציה באופן בלתי תלוי.

מנגנון בקרת הפריחה בצמחי יום קצר (למשל, אורז)



השפעת הטמפרטורה על הפריחה

הטמפ' משפיעה על הפריחה באופן ישיר בשלושה אופנים: קיוט, תרמופריודיזם ושבירת תרדמה. בשלושתם הדרישה היא לטמפ' נמוכה, והיא מפחיתה את הסיכוי לפריחה לפני שהסתיימה העונה הקרה.

בקיוט, מנת הקור יכולה להיקלט על ידי הזרע (בחד שנתיים), אך יש גם צמחים (דו שנתיים או רב שנתיים) שבהם מנת הקור נקלטת על ידי הצמח הבוגר אשר נשאר בחורף בצורת שושנת עלים (למשל סלק וגזר) או כאבר אגירה תת קרקעי (גאופיטים כמו כלנית ונורית). במקרים אלה הקור משמש כגירוי לפריחה ולכן הוא אחראי להתמיינות פקע הפריחה מהרקמה הווגטיבית.

שבירת תרדמה מתרחשת כאשר יש כבר פקע פריחה, אך נדרש קור על מנת שיפתח. תופעה זו קיימת במרבית עצי הפרי הנשירים, למשל: תפוח, אפרסק, שזיף, דובדבן ושקד. **בתרמופריודיזם**, שלבי התפתחות שונים של הפרח דורשים טמפרטורות שונות. למשל, בצמחי בצל כמו צבעוני ויקינטון, דרושות טמפרטורות שונות לשלבים שונים: השראת הפריחה מתרחשת בסוף הקיץ בטמפרטורות של 25-30 מ"צ; התמיינות הפרח בסתיו עם ירידת הטמפרטורות ל 20-25 מ"צ; השלמת התפתחות אברי הפרח בחורף בטמפרטורות של כ- 10 מ"צ; התארכות גבעול הפריחה ופתיחת הפרח בסוף החורף כאשר הטמפ' עולות בהדרגה. כל זה כמובן מותאם לשינויים הטבעיים בטמפרטורה באזור מוצאם של הצמחים – אזור סוב טרופי וים תיכוני.

הטמפרטורה יכולה גם להוות "דרישת רקע" לאורך יום. למשל: החרצית הסתוית פורחת בסתיו ובחורף, אבל התקצרות היום תגרום לפריחה רק אם טמפרטורת הלילה תהיה בסביבות 15 מ"צ.

ההורמון ג'יברלין

ההורמון העיקרי שמעורב בוויסות הפריחה הוא הג'יברלין. הג'יברלין מעודד פריחה בצמחים רבים בעלי דרישה ליום ארוך או מנת קור לפריחה. בצמחים כאלה, אפשר (לעיתים) להחליף את תוספת ההארה או את טיפול הקור בטיפול בג'יברלין חיצוני. בחלק מצמחים אלה גירוי הקור או תוספת ההארה גורמים כנראה לייצור מוגבר של ג'יברלין. יש גם צמחים שבהם ג'יברלין מעכב את הפריחה, בעיקר בעצים (לדוגמה עצי הדר). אפשר לנצל תופעה זו כאשר רוצים לדחות או למנוע פריחה. הג'יברלין יכול גם לסייע בשבירת התרדמה של פקעי הפריחה בעצי פרי, שדורשים מנת קור כדי להתעורר ולהתחיל לפרוח.

הג'יברלין מעודד גם התפתחות של פירות. בחקלאות משתמשים בתכשירי ג'יברלין, שהופקו מפטריות, על מנת להגדיל ענבים חסרי חרצנים ועל מנת ליצור פירות חסרי זרעים בעצי פרי נשירים, כמו: תפוח ואגס. טיפול זה נפוץ בעיקר באירופה (לעיתים בשילוב עם ההורמון אוקסין) שם הקור פוגע בהאבקה ובהתפתחות הפרי. הטיפול בג'יברלין מאפשר לעקוף את הצורך בהאבקה.

תפיסות חלופיות

תלמידים רבים חושבים שהצמחים, ובוודאי חלקי הצמחים, הם "דברים" שאינם חיים. רצוי מאוד לברר, בשלב מוקדם של הלמידה, מה הן התפיסות של התלמידים בהקשר הזה. ניתן לעשות זאת באמצעות פעילות בקבוצות שבה התלמידים מקבלים רשימה של פריטים (כגון זו שבטבלה) והם קובעים לגבי כל פריט ברשימה אם הוא חי או לא חי, ומסבירים מדוע הם חושבים כך. לאחר מכן, רצוי לקיים בכיתה דיון על מאפייני החיים, כגון: הזנה והפרשה, בנייה ופירוק חומרים, נשימה, גדילה והתפתחות, רבייה, תנועה ותגובה לגירויים. באמצעות דיון כזה יוכלו התלמידים להבין שהצמחים הם יצורים חיים.

טבלה לדוגמה

פריט	חי	לא חי	לא יודעים להחליט	נימוקים
עץ אורן				
זבוב				
זרע שעועית				
כלב				

אש				
פרח כלנית				
אופנוע				
פרי של תפוח				
פטרייה				
ענן				
חיידק				

ניתן גם לצפות בסרט **סימני החיים** (מתוך הסדרה **בעין חוקרת**, הטלוויזיה החינוכית הישראלית) שעוסק בנושא זה (ראו ברשימת סרטי הוידאו המומלצים).
(למידע נוסף בנושא זה ראו: חי, צומח דומם. תפיסות חלופיות של המושג "חיים" בזיקה להיסטוריה של המדע. לאה אקשטיין ודליה איתמר. מכון מופת. 2007.)

הצעה לעבודה נוספת

כדי להדגים במעבדה צמיחת נחשונים של גרגרי אבקה, אפשר לקחת זכוכית נושאת שעליה יש מצע של אגר וסוכר. מעל הזכוכית מנערים אבקן בשל מפרח טרי (למשל: נר הלילה, היביסקוס או יערה). מניחים את הזכוכית על גבי נייר סינון לח בתוך צלחת פטרי ומכסים. אחרי כ-30 דקות, אפשר להבחין, מבעד למיקרוסקופ, בנביטה של נחשוני הנביטה. (לפרטים נוספים, ראו בספר **רבייה והתפתחות ביצורים חיים**, האגף לתכנון ולפיתוח תכניות לימודים, 2005, עמ' 99).

הצעות לשאלות נוספות

1. בהרבה צמחים יכולה להתקיים גם האבקה עצמית וגם האבקה זרה. מדוע? (על מנת לאפשר יצירה של זרעים גם בתנאים של מחסור במאביקים או מחסור בצמחים שכנים בני אותו המין אבל להרוויח את השונות הגנטית שמתקבלת מהאבקה זרה).
2. יש פרחים ירוקים וקטנים שאינם בולטים לעין ואינם מייצרים צוף, למשל: פרחי החיטה. כיצד, לדעתכם, מואבקים הצמחים האלה? נמקו.
3. חבלבוב הדור הוא צמח שמוצאו במקסיקו, באזור שבו הקיץ חם מאוד ויבש ואילו החורף גשום אך לא קר מאוד. איזה משך הארה עשוי, לדעתכם, לגרום לצמח הזה לפרוח (יום קצר או יום ארוך)? מדוע?
4. חקלאים רצו לגדל בישראל בחורף מין של הצמח קיפודן ולייצא את הפרחים לאירופה. לשם כך ערכו ניסוי, שכלל 3 טיפולים. בטיפול אחד אחסנו את הפקעות בטמפרטורה של 4 מ"צ במשך חודשיים ושתלו אותן באוקטובר. בטיפול אחר אחסנו את הפקעות במשך

חודשיים בטמפרטורה של 25 מ"צ ושתלו אותן באוקטובר. בטיפול השלישי הפקעות נשאר בקרקע לאורך כל הניסוי. בטבלה שלפניכם מוצגות תוצאות הניסוי.

טבלה : ההשפעה של אחסון פקעות הקיפודן בטמפרטורות שונות על מועד הפריחה

מועד הפריחה	אחסון הפקעות ב-4 מ"צ	אחסון הפקעות ב-25 מ"צ	השארית הפקעות בקרקע
	תחילת פברואר	אמצע מאי	אמצע מאי

- באיזו עונה פרח הקיפודן בכל אחד מן הטיפולים?
- הסבירו מדוע היה הבדל במועדי הפריחה בין הטיפולים השונים.
- כיצד נקראת התופעה שגרמה להבדל הזה?
- מאיזה אזור, לדעתכם, מקורו של הקיפודן? איזה יתרון התופעה הזאת מעניקה לקיפודן באזור מוצאו?
- האם על פי תוצאות הניסוי אפשר לקבל פרחי קיפודן בישראל בחורף? אם כן, כיצד?
- מדוע רצו המגדלים לייצא את פרחי הקיפודן לאירופה דווקא בחורף?
- מה היה התפקיד של הטיפול שבו אחסנו את הפקעות ב-25 מ"צ ומה היה התפקיד של הטיפול שבו השאירו את הפקעות בקרקע?

סרטי וידיאו

האבקה בצמחים, מתוך הסדרה **תהליכי חיים בטבע**, הטלוויזיה החינוכית הישראלית (קוד קלטת 21 – 44); צילומים של תהליך הפריחה בצמחים שונים, תיאור מבנה הפרח, והסבר על חלקי הפרח; יש צילום מיקרוסקופי של נביטת גרגירי אבקה וצמיחת נחשונים ואנימציה של תהליך ההפריה ויצירת הפרות והזרעים. יש גם הסבר על האבקה עצמית, האבקה זרה ודרכי האבקה בסיוע רוח וחרקים, וכן תיאור שיטות שונות של ריבוי והשבחה, בחקלאות (16 דקות).

האבקה על ידי חרקים, מתוך הסדרה **מדעי הטבע**, הטלוויזיה החינוכית הישראלית (קוד קלטת 45 - 47); דרכים שונות להאבקה באמצעות חרקים (16 דקות).

העצים כיצורים חיים, מתוך הסדרה **תהליכי חיים בטבע**, הטלוויזיה החינוכית הישראלית (קוד קלטת 21 – 44); תיאור המבנה והתפקוד של חלקי העץ השונים, כולל תהליך הרבייה באמצעות פרחים; יש גם התייחסות לחשיבות העצים בעולמנו ולהשלכות של כריתת היערות (16 דקות).

מפרח לזרע, האוניברסיטה הפתוחה; תיאור מבנה הפרח ודרכי האבקה; אנימציה של תהליך ההפריה והתפתחות הזרע; מתורגם מאנגלית (18 דקות).

סימני החיים, מתוך הסדרה **בעין חוקרת**, הטלוויזיה החינוכית הישראלית (קוד קלטת 01 - 25); דרך חיפוש סימני חיים על פני כדור הארץ על ידי יצורים מן החלל מוצגים בעלי חיים וסימני החיים שלהם. כמו כן, נערך דיון לגבי יצורים כמו זרעים, שסימני החיים שלהם אינם ברורים, ולגבי דוממים שיש להם רק חלק מסימני החיים (20 דקות).

רטונים ברשת

האבקה

<http://www.youtube.com/watch?v=RuYrFwDuYn0&NR=1>

דוגמאות שונות של האבקה על ידי מאביקים ועל ידי הרוח; מלווה בהסברים באנגלית (4 דקות).

<http://www.youtube.com/watch?v=FbmlpJJRGel&feature=related>

דבורה מאביקה דבורנית (חצי דקה).

<http://www.youtube.com/watch?v=wmgKABRCZpo&NR=1>

תמונות מדהימות של מלכודות ומנגנונים צמחיים אחרים להבטחת האבקה על ידי חרקים; מלווה בהסבר באנגלית (2 דקות).

http://www.brainpop.co.il/category_8/subcategory_361/subjects_2995/preview.weml

אנימציה באתר בריינפופ (Brain Pop) בנושא האבקה (השימוש באתר כרוך בתשלום).

הפריה

<http://www.youtube.com/watch?v=AWXb6z1eD0o&NR=1>

אנימציה של תהליכי נביטת נחשון הנביטה, ההפריה, התפתחות הזרע והנביטה (הילוך מהיר); מלווה בהסברים באנגלית (3 וחצי דקות).

<http://www.youtube.com/watch?v=NfPP2CQGuC0&feature=related>

דוגמאות שונות של אמצעים לרבייה אל-זוויגית בצמחים (פקעות, קנה שורש, שלוחות וניצנים) ושל ריבוי (ייחורים ותרביות רקמה); מלווה בהסברים באנגלית (3 דקות).

אתרים ברשת

<http://science.cet.ac.il/science/reproduction/repro3.asp>

אתר מט"ח לתלמידים בנושא רבייה בצמחים, כולל פעילויות אינטראקטיביות.

<http://plants.galim.org.il/flower>

מידע, תמונות ופעילויות לתלמיד בנושא הפרח והאבקה, באתר גלים (השימוש באתר כרוך בתשלום).

http://www.snunit.k12.il/heb_journals/aretz/321038.html

מאמר בנושא מבנה פרח החלמונית (למורה).

http://www.snunit.k12.il/heb_journals/kimat2000/008002.html

מאמר בנושא מבנה הפרח והתאמה בין מבנה לתפקוד (למורה).

[http://www.orianit.edu-](http://www.orianit.edu-negev.gov.il/tamar/mataf/form_view.asp?id=03CD82413A0B461CBE6BB41A1ECE0)

[negev.gov.il/tamar/mataf/form_view.asp?id=03CD82413A0B461CBE6BB41A1ECE0](http://www.orianit.edu-negev.gov.il/tamar/mataf/form_view.asp?id=03CD82413A0B461CBE6BB41A1ECE0)

[340&noback=1](http://www.orianit.edu-negev.gov.il/tamar/mataf/form_view.asp?id=03CD82413A0B461CBE6BB41A1ECE0)

לקט שאלות רב-בררתיות בנושא רבייה בצמח; מלווה בתמונות (מתאים גם להערכה עצמית של התלמיד).

<http://www.edugal.org.il/hokrim/library/ma123.htm>

מאמר בנושא רבייה מינית בצמחים (למורה).

<http://www.snunit.k12.il/science/biology/how.htm>

מאמר בנושא תהליכי חישה של אור וטמפרטורה והשפעתם על התפתחות הצמח (למורה).

<http://www.edugal.org.il/hokrim/library/ma125.htm>

מאמר בנושא השפעת האור על הפריחה, כולל הסבר המנגנון המולקולרי (למורה).

<http://www.edugal.org.il/hokrim/library/ma038.htm>

מאמר בנושא הגורמים המווסתים את הפריחה של צמחים "מבשרי גשם" (למורה).

<http://www.agri.gov.il/Publications/OpenDoor/Ornamentals/Door-02.html>

ריאיון עם חוקרת על מחקרה בתחום הכוונת הפריחה, כולל הנדסה גנטית (למורה).

<http://www.edu-negev.gov.il/nagar/lomdot/lomda4.htm>

לומדה ובה הצעה לחקר בנושא הכוונת הפריחה, כולל מערך ניסויים ועיבוד תוצאות באקסל.

<http://www.misgav.galil.k12.il/new/hamama/heker.htm>

הנחיות לעבודות חקר בנושא התפתחות הצמח והפריחה; כוללות ניסויים בחממה.

http://www.snunit.k12.il/heb_journals/allon/103001.html

מאמר בנושא תרומת הבוטניקה למדע, כולל הסברים בנושא הכלאות וגנטיקה (למורה).

<http://www.ginatnoy.co.il/art/grafting.html>

הנחיות לריבוי צמחים בגינה.

[http://stwww.weizmann.ac.il/tech-center/mot-net/teachers/biology/zipi-](http://stwww.weizmann.ac.il/tech-center/mot-net/teachers/biology/zipi-heiman/haavakat_zmahim.htm)

[heiman/haavakat_zmahim.htm](http://stwww.weizmann.ac.il/tech-center/mot-net/teachers/biology/zipi-heiman/haavakat_zmahim.htm)

פעילות מתוקשבת בנושא האבקה על ידי חרקים; מתאים כחזרה וסיכום (לתלמיד).

<http://www.snunit.k12.il/science/biology/flo.html>

מאמר בנושא התנהגות האבקה ו"שיקולי בחירה" של מאביקים (למורה).

http://www.snunit.k12.il/heb_journals/allon/145083.html

מאמר בנושא "התחפשות צמחים" לצורך משיכת מאביקים (למורה).

http://www.snunit.k12.il/heb_journals/mada/331034.html

מאמר בנושא משיכת מאביקים בצמחי לוף (למורה).

<http://147.237.72.225/webs/ganan2.nsf>

מצגת שמדגימה אמצעים למשיכת מאביקים ואמצעי רמייה בצמחים.

<http://www.honey.org.il/welcome.htm?page=http://www.honey.org.il/info/haavaka/haavaka.htm>

מידע בנושא האבקת דבורי דבש (מתאים גם לתלמידים).

http://www.snunit.k12.il/heb_journals/aretz/285039.html

מאמר בנושא דבורים בכלל והאבקה בפרט (למורה).

http://www.miloupri.co.il/research_toured_bee.html

http://www.fruit.org.il/megadlim/Research_Info.asp

דוח מחקר בנושא שיפור האבקת אבוקדו בעזרת דבורי בומבוס.

http://magazine.ort.org.il/madaim/forums_files/12939.doc

מבחן בנושא רבייה.

מקורות לקריאה נוספת

ביולוגיה, האחידות והמגוון של החיים, ס' סטאר ור' טגארט, האוניברסיטה הפתוחה, 2002, כרך ב, עמ' 646-636, 649-651.

חי, צומח דומם - תפיסות חלופיות של המושג "חיים" בזיקה להיסטוריה של המדע, לאה אקשטיין ודליה איתמר, מכון מופת, 2007.

עקרונות הפיסיולוגיה של הצמח, יעקובי ב', הוצאת י"ל מאגנס, האוניברסיטה העברית, ירושלים, תשנ"ט, עמ' 236-254; 270-284, פעילות הפיטווכרום ותופעת הפוטופריודיזם.

פוטוסינתזה והזנה מינרלית בצמח, משרד החינוך, האגף לתכניות לימודים; האוניברסיטה העברית, הפקולטה לחקלאות, התשס"ב, עמ' 10-22, האור ותפקידו כגירוי לתהליכי התפתחות בצמח.

רבייה באדם, בבעלי חיים ובצמחים, משרד החינוך, האגף לתכניות לימודים; האוניברסיטה העברית, הפקולטה לחקלאות, 1990, עמ' 149-190.

תהליכי התפתחות בעולם הצומח, לשם י' והלוי א', הוצאת יחדיו וספריית פועלים, 1980, עמ' 78-93, 126-134, תופעות הפוטומופרוגנזה והפוטופריודיזם ופעילות הפיטווכרום.

הרבייה האל-זוויגית

(עמ' 36-56 בספר לתלמיד)

הרעיונות המרכזיים

1. צמחים רבים יכולים להתרבות גם ברבייה זוויגית וגם ברבייה אל-זוויגית.
2. ברבייה האל-זוויגית לא מתרחשת התלכדות של תאים. הצמח הצאצא נוצר תמיד מצמח הורה יחיד, והוא זהה בכל בתכונותיו להורה ולצאצאים האחרים, שנוצרו ברבייה אל-זוויגית מאותו הורה.
2. רבייה אל-זוויגית מתרחשת בטבע באמצעות חוטרים, נצרים, פקעות, בצלצלים, קני שורש, שלוחות וניצנים על עלים.
3. הריבוי האל-זוויגי מאפשר לשמר תכונות מוצלחות של צמחים ולקבל כמות גדולה של צמחים זהים זה לזה בזמן קצר, יחסית. הוא גם מקל על תהליך הריבוי בצמחים שמייצרים מעט זרעים או בצמחים שהזרעים שלהם אינם נובטים בקלות.
4. לצורך ריבוי אל-זוויגי אפשר להשתמש ביחידות ריבוי אל-זוויגיות, שנוצרות בצמחים באופן טבעי, ואפשר גם להשתמש בשיטות, כמו: ריבוי מייחורים, הרכבה ותרבית רקמה.
5. הייחור הוא חלק שמנתקים מן הצמח ומאפשרים לו להצמיח שורשים, ענפים ועלים. לעיתים כדי למנוע התייבשות של הייחורים מורידים מהם את העלים או דואגים שהסביבה שלהם תהיה לחה מאוד. בחלק מן הצמחים אפשר לזרז ולשפר את השתרשות הייחורים בעזרת הורמון השרשה (אוקסין).
6. בהרכבה מחברים רוכב עם כנה. הרוכב הוא החלק העליון של צמח שמייצר פרחים ופירות בעלי תכונות רצויות, והכנה היא החלק התחתון של צמח שיש לו גזע ושורשים שעמידים למחלות ומתאימים לקרקע המקומית.
7. בתרבית רקמה יוצרים, בתנאי מעבדה, כמות גדולה של צמחים מרקמת תאים של צמח אחד. תרבית רקמה מאפשרת לקבל מספר רב מאוד של צמחים זהים בעלי תכונות רצויות, בשטח קטן ובזמן קצר, יחסית. כמו כן, היא מאפשרת לקבל צמחים נקיים מנגיפים.

המושגים המרכזיים

רבייה אל-זוויגית (רבייה אל-מינית); יחידת ריבוי; חוטרים; נצרים; פקעות; בצלצלים; קני שורש; שלוחות; ניצנים; ריבוי אל-זוויגי; ייחורים; השתרשות; מצע השתרשות; אוקסין; הרכבה; כנה; רוכב; תרבית רקמה.

תשובות לשאלות

תשובות לשאלות

(עמ' 38 בספר לתלמיד)

2. הזהות של הצאצאים ברבייה האל-זוויגית מהווה יתרון כאשר תנאי הסביבה קבועים ומתאימים לתכונות של המין, אולם כאשר תנאי הסביבה משתנים הזהות עלולה להוות חיסרון מכיוון שהיא אינה מאפשרת שונות והתאמה לתנאים החדשים. (הכוונה בשאלה זו היא ליתרונות ולחסרונות של הרבייה האל-זוויגית בתנאים טבעיים ולא בחקלאות).

3. א. בסביבה שמתחממת משנה לשנה, למין שעמיד לטמפרטורות גבוהות ומתרבה ברבייה אל-זוויגית יהיה יתרון, מכיוון שכל הצאצאים יהיו עמידים לטמפרטורות הגבוהות. ב. בסביבה שמתחממת משנה לשנה, מין שרגיש לטמפרטורות גבוהות ומתרבה ברבייה אל-זוויגית עלול להיפגע ואולי אפילו להיכחד, מכיוון שכל הצאצאים יהיו רגישים לטמפרטורות הגבוהות והתפתחותם תיפגע. ברבייה זוויגית, לעומת זאת, יש סיכוי שחלק מהצאצאים יהיו פחות רגישים להתחממות, והם עשויים לשרוד, למרות השינויים האקלימיים. כך יובטח המשך קיומו של המין.

4. במשתלות, יש יתרון לאחידות של הצמחים גם בגלל נוחות בארגון ותכנון מהלך הגידול והעבודה וגם בגלל היציבות של התכונות החקלאיות הרצויות, כלומר: מאוד נוח לעבוד עם צמחים שנובטים באותו זמן, מגיעים לאותו גובה, מגיעים באותו הזמן לשלב האסיף או הקטיף, מפתחים תוצרת (פירות, פרחים, זרעים) אחידה וכו'.

5. דשא שהתרבה ברבייה אל-זוויגית מצמח רגיש לקור עלול להיפגע בלילות חורף, מכיוון שכל הצמחים שמרכיבים את מרבד הדשא רגישים לקור באותה מידה. ואולם, גם אם הדשא יקפא (בתנאי הארץ) הוא לא ימות, מכיוון שהוא יתחדש מניצנים תת-קרקעיים.

6. היכולת של הצמחים להתרבות גם ברבייה זוויגית וגם ברבייה אל-זוויגית מאפשרת להם לשמור על יציבות של תכונות מותאמות לסביבה, ועם זאת לשמור על שונות מסוימת שמאפשרת הסתגלות לתנאי סביבה משתנים.

תשובות לשאלות

(עמ' 40 בספר לתלמיד)

1. בַּהֲשָׁאָה הַבִּיטוּי "חוטר מגזע" משמש ככינוי לצאצאים, לבניו של אדם, ליוצאי ביתו.

2. דוגמאות לצמחים שמתרבים באמצעות יחידות הריבוי השונות:

שלוחות – ירקה; פקעות – סייפן, בטטה, נורית ורקפת; בצלים – צנונית, נרקיס ויקינטון; חוטרים (צומחים מהגבעול) ונצרים (צומחים מתחת לפני הקרקע) – אננס; קנה שורש – אספרגוס, שן ארי, אירוס וקנה מצוי.

תשובה לשאלה בקטע הרחבה

(עמ' 41 בספר לתלמיד)

בטבע, המוטציות ברבייה האל-זוויגית מאפשרות שונות גנטית באוכלוסייה ועל ידי כך מתאפשרת הסתגלות מסוימת לתנאי סביבה משתנים. בחקלאות, המוטציות מאפשרות קבלת תכונות חקלאיות חדשות רצויות, אם כי תופעה זו נדירה, יחסית.

תשובה לשאלה בקטע הרחבה

(עמ' 53 בספר לתלמיד)

הדקל ממאוריציוס יכול, כנראה, להתרבות באופן טבעי ברבייה זוויגית, אך לא בהאבקה עצמית, כלומר: כדי להפרות את פרחיו של העץ נדרשת אבקה מעץ אחר, מכיוון שההבשלה של הפרחים הזכריים והנקביים על אותו העץ אינה מתרחשת באותו הזמן.

תשובות לשאלות

(עמ' 54-55 בספר לתלמיד)

4. כאשר מרבים תפוחי אדמה באמצעות קטעי פקעות משך הגידול עד לקבלת צמח בוגר קצר בהרבה מאשר בריבוי באמצעות זרעים. החקלאים בדרך כלל אינם משתמשים בפקעות שהם גדלו בעונה הקודמת אלא קונים פקעות חדשות לריבוי, כאלה שגודלו בקרקע נקייה ללא מחלות.

5. היחס בין ריכוזי האוקסין והציטוקינין משפיע על ההתפתחות של צמחונים בתרבית רקמה. בשלב הראשון, כדי שתפתח רקמה שבה כל התאים דומים זה לזה (רקמת קאלוס) לא מוסיפים כלל הורמונים. כשיש מספיק קאלוס, ורוצים שתהיה התמיינות של נצרים (גבעולים ועלים), מעבירים את הרקמה למצע שמכיל ריכוז נמוך יחסית של אוקסין וריכוז גבוה יחסית של ציטוקינין. בהמשך התהליך, מפרידים בין הנצרים וכך מקבלים מספר גדול של צמחונים בעלי נצרים. אחר כך, מעלים את ריכוז האוקסין ומורידים את ריכוז הציטוקינין באופן שמעודד התפתחות של שורשים (ציטוקינין מעכב התפתחות של שורשים). לפיכך, סדר הטיפול הרצוי הוא כזה: טיפול 1, טיפול 2 ואחר כך טיפול 3.

עבודה 3: הכנת ייחורי ורדים וגידולם

(עמ' 43-46 בספר לתלמיד)

הנחיות

את העבודה הזאת כדאי לבצע בנובמבר. אם בוחרים לבצע עם התלמידים, גם את העבודה הזאת וגם את עבודה 2, רצוי להקדים את ביצוע עבודה 2 לתחילת נובמבר ואחר כך לבצע

את העבודה הזאת. אם המורה מלמד/ת כמה כיתות, אפשר לבצע את עבודה 2 עם כיתה אחת ובמקביל לבצע את העבודה הזאת עם כיתה אחרת. איסוף התוצאות בעבודה זו נמשך כמה שבועות וסיכום התוצאות יכול להוות הזדמנות לחזרה על החומר שבפרק הזה.

כדי למנוע התפתחות של ענפים בלתי רצויים (סורים) מן הניצנים התחתונים של הייחורים, משאירים בכל ייחור רק את שני הניצנים העליונים, ואת כל האחרים מסירים. בזמן הסרת הניצנים, יש להעמיק ולחתוך בתוך הענף כדי להבטיח הסרה של ניצנים צדדיים שאינם נראים לעין. כמו כן, יש לפסול ייחורים עקומים, ייחורים שבחלקם התחתון צמחו ענפים וייחורים שאינם מעוצים במידה מספקת.

בשבועות הראשונים, חשוב להקפיד על ההשקיה, שכן הרטיבות היא תנאי לקליטה ולהשתרשות של הייחורים. יש להמטיר פעמים אחדות ביום, לשם שמירה על הלחות בשכבה העליונה של הקרקע ובאוויר הסמוך לייחור. אחרי שהייחורים משתרשים, מצמצמים בהדרגה את ההשקיה עד לתדירות השקיה רגילה של גינה.

תשובות לשאלות

1. שאלות חקר מתאימות הן: כיצד משפיע הזן של הוורדים על קליטת הייחורים? כיצד משפיע הכיוון שבו שותלים את הייחורים על קליטתם? מה הקשר בין עובי הייחור לקליטתו? כיצד משפיעה הסרת העלים על קליטת הייחורים? כיצד משפיעה הסרת כל הניצנים על קליטת הייחורים?
2. כל השערה שכוללת בתוכה את אחד הגורמים המשפיעים בניסוי ואת אחד הגורמים המושפעים יכולה להיות השערה מתאימה. עם זאת, רצוי לבסס את ההשערה על מידע קיים, ולכן כדאי לשאול את הילדים על מה ביססו את ההשערות שניסחו. חשוב לא לפסול השערות רק מכיוון שהן סותרות את התוצאות שאנו, כמורים, מצפים להן.
3. הגורמים המשפיעים הם: זן הוורדים, כיוון השתילה, עובי הייחורים, נוכחות עלים ונוכחות ניצנים. הגורם המושפע הוא קליטת הייחורים, או במילים אחרות: אחוזי הקליטה ומשך הזמן עד להתפתחות עלים.

תוצאות צפויות

הטיפול המיטבי בניסוי אמור להיות השתילה הנכונה של ייחורים מזן רוזה אינדיקה. בטיפול הזה אחוזי הקליטה של הייחורים אמורים להיות הגבוהים ביותר וההתפתחות תהיה המהירה ביותר. בלאק מאג'יק הוא זן קשה השתרשות ולכן אחוזי הקליטה שלו אמורים להיות נמוכים בהשוואה לרוזה אינדיקה. הייחורים שנשתלו הפוך, אמורים גם הם להיקלט אך קליטתם תהיה פחות טובה מאשר בשתילה נכונה. בייחורים הדקים, אחוזי הקליטה אמורים להיות נמוכים למדי, בגלל מחסור בחומרי תשמורת. גם הייחורים נושאי העלים לא אמורים להיקלט

היטב, בגלל אובדן רב של מים בדיות. ייחורים חסרי ניצנים לא יכולים להתפתח, מכיוון שללא ניצנים לא תיתכן צמיחת ענפים.

ההמלצות הנובעות מן הניסוי הן: יותר קל ומוצלח לרבות ייחורים מזן רוזה אינדיקה (בהשוואה לבלאק מאג'יק). ברובה אינדיקה צריך לשתול את הייחורים כשבסיסם פונה כלפי מטה. מומלץ להימנע מייחורים דקים, רצוי להסיר את כל העלים ולהשאיר כמה ניצנים.

עבודה 4: השפעת הורמון השרשה על השתרשות ייחורים של פוקסיה

(עמ' 46-49 בספר לתלמיד)

הנחיות

את העבודה הזאת מומלץ לבצע באביב (אפריל-מאי) מכיוון שאז טמפרטורת הסביבה היא האופטימלית להשתרשות ייחורי פוקסיה. לכן, הניסוי הזה מתאים במיוחד לרצף ההוראה אם נושא הרבייה נלמד במחצית השנייה של שנת הלימודים.

הטיפול באוקסין הוא באמצעות תערובת השרשה מסחרית של הורמון מסוג IBA לצמחים עשבוניים (T3). יש לעבוד לפי ההוראות של היצרן.

מומלץ להשתמש במצע השרשה מאוורר, למשל: 2/3 כבול, 1/3 גרגירי קלקר.

תשובות לשאלות

- שאלת חקר המתאימה לניסוי היא: כיצד משפיע טיפול באוקסין על הקליטה ועל ההתפתחות של ייחורי פוקסיה?
- הגורם המשפיע בניסוי הוא תוספת אוקסין לשורשים. הגורם המושפע הוא קליטת הייחורים והתפתחותם, או במילים אחרות: אחוז ההישרדות של הייחורים, קצב הצמיחה שלהם והתפתחות מערכת השורשים שלהם.
- חשוב לכסות את הייחורים כדי למנוע התייבשות. החורים בכיסוי דרושים כדי לאפשר תחלופה של גזים מסביב לייחורים – שלא ייווצר מחסור בחמצן ו/או עודף בפחמן דו-חמצני בסביבת הייחורים. חשוב למנוע חשיפה לשמש ישירה, כדי למנוע התחממות יתר וכדי לצמצם את הדיות.

תוצאות ומסקנות

האוקסין הוא הורמון השרשה, כלומר: הוא מעודד את התפתחות מערכת השורשים בייחורים. האוקסין מקדים את הופעת השורשים, מגדיל את מספר השורשים ומגביר את צמיחתם. מערכת שורשים יותר מפותחת משמעה יותר קליטה של מים ומינרלים, ולכן גם התפתחות וצמיחה מואצות של הצמח. טיפול באוקסין מאפשר לקצר את תהליך ההשתרשות של ייחורי פוקסיה.

האוקסין נוצר באופן טבעי בצמח ויש לו השפעות שונות בחלקים שונים של הצמח. הוא מווסת תהליכי צמיחה, כמו: התחלקות תאים והתארכותם, יצירת עלים והתפתחותם, נשירת עלים, פירות ופרחים והפעלת שלטון קדקודי. האוקסין הטבעי נוצר בקדקוד הצמיחה ונע דרך הגבעול לעבר בסיס הצמח, שם הוא מעודד יצירה של שורשים. כאשר מרבים באמצעות ייחורים ומסירים את קדקוד הצמיחה, מעכבים את התפתחות השורשים. הוספה חיצונית של אוקסין (הורמון השרשה) לקצה העליון של הייחור (במקום לקדקוד) או לבסיס הייחור יכולה למנוע עיכוב כזה.

חשוב לציין שהאוקסין מעודד את ההשתרשות של צמחים רבים, אך יש גם מינים זנים שאינם מגיבים לאוקסין, ולכן לא ניתן להשליך מתוצאות הניסוי הזה לגבי צמחים אחרים, מבלי לבדוק. גם לגבי הריכוז האופטימלי של ההורמון, יש הבדלים בין מיני הצמחים השונים: ריכוז מתאים לצמח אחד יכול להיות גבוה מדי ומזיק לצמח אחר.

עבודה 5: הכנת ייחורי עלים

(עמ' 49-51 בספר לתלמיד)

תוצאות ותשובות

העלים של כל הצמחים שמוצעים לעבודה יכולים להשתרש, אולם, כדי שייחורי העלים ימשיכו להתפתח לצמחים חדשים נדרשת יצירה של ניצנים. מייחורי עלה של פפרומיה ובגוניה מתפתחים ניצנים ולכן הייחור הופך לצמח; מייחורי עלה של שעועית והרדוף הנחלים לא מתפתחים ניצנים ולכן הייחור לא יכול להתפתח לצמח חדש. אין טיפול חקלאי מקובל שגורם להתפתחות ניצנים מייחורי עלים, שלא מייצרים ניצנים באופן טבעי. בייחורים שכן מפתחים ניצנים, ניתן לזרז ולשפר את הקליטה ואת ההתפתחות על ידי ויסות תנאי הסביבה האלה: אוורור במצע, לחות, אור וטמפרטורה (באוויר ובמצע השרשה), וגם על ידי טיפול בהורמון השרשה.

הרחבה והעמקה

שיטות נוספות לריבוי אל-זוויגי

חלוקה – לוקחים צמח מסועף בעל ציצת שורשים (לא צמח בעל שורש שיפודי), חותכים ממנו חלקים אחדים, ומקפידים שבכל חלק יהיו ענפים, שורשים ועלים. שותלים כל חלק בנפרד.

הברכה – מכופפים (בצורה של ברך) ענף של עץ או של שיח (למשל, קיסוס), מבלי לחתוך אותו ותוקעים אותו בקרקע. כעבור זמן מה, יתפתחו שורשים מן הענף במקום שבו הוא

מכוסה בקרקע, והענף יהפוך לצמח עצמאי, שאפשר להפריד אותו מן השיח ולשתול אותו במקום אחר.

הברכת אוויר – דומה להברכה רגילה, אלא שבשיטה זו "פוצעים" את הענף וקושרים מצע לח על מקום הפציעה. כאשר באזור הפציעה גדלים שורשים, מנתקים את הענף מן השיח ושותלים. שיטה כזאת מבצעים, למשל, בעצי פיקוס.

בצמחים מסוימים, אפשר לעודד את התפתחות יחידות הריבוי האל-זוויגיות. בתמר, למשל, החקלאים קושרים מסביב לבסיס החוטר שק שמכיל נסורת לחה, או מצע לח אחר, כדי לזרז את התפתחות השורשים של החוטר לקראת ניתוקו מעץ התמר הבוגר.

גורמים חיצוניים שמשפיעים על התפתחות ייחורים

מצע ההשרשה צריך לספק אוורור טוב, לחות, בסיס לאחיזת השורשים, ובחלק מהמקרים גם סביבה חשוכה. חימום מצע ההשרשה יכול לזרז ולשפר את התפתחות השורשים. רצוי לחמם את המצע על ידי חימום השולחנות שעליהם נמצאים הייחורים, למשל באמצעות צינורות המוליכים מים חמים.

גם הלחות, האור וטמפרטורת האוויר משפיעים על התפתחות הייחורים. בייחורים מענפים קשים (ייחורים מעוצים), כמו: ייחורי ורדים, מסירים לעתים את כל העלים לפני השתילה כדי למנוע דיות. בייחורים מעוצים יש כמות חומרי תשמורת שתוכל לספק את חומרי המזון הדרושים להתפתחות הייחורים, גם בהיעדר עלים. לכן, אפשר להסיר את העלים ועל ידי כך להימנע מהתפתחות מחלות על העלים, במהלך ההשרשה שנמשכת זמן רב. לעומת זאת, בייחורים מגבעולים ירוקים ורכים (ייחורים עשבוניים), כמו ייחורי חרצית, אין מספיק חומרי תשמורת ולכן לא מסירים את העלים. בייחורים כאלה ההשרשה גם מהירה יותר ויש פחות סכנה של התפתחות מחלות על העלים.

כדי למנוע איבוד מים דרך העלים בייחורים עשבוניים, עד להשתרשות, חשוב לשמור על לחות גבוהה באוויר מסביב לייחורים. אפשר לעשות זאת על ידי ריסוס טיפות מים קטנות מסביב לייחורים (ערפול) או על ידי כיסוי הייחורים, למשל, ביריעת פלסטיק שקוף. חשוב גם לדאוג ללחות מספקת במצע, לשמור על טמפרטורות מתונות באוויר, ולעתים גם לצמצם את עוצמת האור (על ידי הצללה), כדי להפחית את הדיות. הורדת עוצמת האור גם מונעת את הפירוק של ההורמון אוקסין אשר מצוי בצמח ודרוש לתהליך יצירת השורשים.

עוד על תרבית רקמה

בתרבית רקמה, מתפתחת רקמת תאים לא ממוינים ממקטעי צמח. רקמת התאים נקראת קאלוס. רקמת הקאלוס מסוגלת, בשינויים מתאימים של המצע שעליו היא גדלה, לחזור

להתמייין וליצור צמח שלם. כך ניתן לקבל מספר רב של צמחים ממקטע קטן של רקמה ממוינת אשר יוצרת רקמת קאלוס.

בשיטת הריבוי של תרבית רקמה משתמשים גם למחקר וליצירת צמחים "מהונדסים" גנטית. בהנדסה גנטית לוקחים גן שנושא את התכונה הרצויה ומחדירים אותו לתאים בודדים של הצמח. מן התאים האלה מגדלים, בשיטה של תרבית רקמה, צמח חדש (מכל תא מתקבל צמח שלם). כל התאים של הצמח השלם מכילים את הגן שהחדירו. הצמח הזה הוא צמח "מהונדס" גנטית ויש לו אותה תכונה רצויה חדשה.

הרבייה של דקל הקוקוס

יש הטוענים שדקל הקוקוס הוא העץ החשוב ביותר בעולם. הוא משמש למאכל, לסיבים ולשמן ואפשר לייצר ממנו ומפירותיו מרגרינה, סבון, נרות, משחות, בשמים, צבעים, חבלים, מברשות ועוד חפצים רבים אחרים.

אגוזי הקוקוס שאנו רואים בישראל הם פירות שקליפתם העליונה ובשרה של הקליפה הורדו מעליהם. האגוז שנמכר כאן, הוא למעשה הגרעין של אגוז הקוקוס (כמו, שקד או אגוז מקולפים).

בניגוד לצמחי דקל אחרים, דקל הקוקוס הוא חד-ביתי והוא אינו מצמיח חוטרים או אמצעי ריבוי וגטטיביים אחרים. קשה לרבותו והוא נותן פרי רק מהשנה השישית לחייו. בשל הנתונים האלה, גם ההשבחה של דקלי הקוקוס קשה מאוד. במשך שנים רבות, ניסו מדענים להרבות דקלי קוקוס בתרביות רקמה ולבסוף אף הצליחו. כיום מרבים דקלי קוקוס בקנה מידה מסחרי בשיטה של תרבית רקמה.

הצעה לעבודה נוספת

האם ניצנים הכרחיים להתרבות תפוחי אדמה?

כדי לענות על השאלה הזאת אפשר לערוך ניסוי שבו משווים את ההתפתחות של שתילי תפוחי אדמה מפקעות בעלות ניצנים לעומת ההתפתחות של פקעות חסרות ניצנים. בוחרים תפוחי אדמה בגודל אחיד ומחלקים אותם ל-3 קבוצות. בקבוצה אחת מסירים מכל תפוח אדמה את כל הניצנים בתוספת קטע הפקעת שמסביבם (כדי לוודא שלא נשארים ניצנים קטנטנים). בקבוצה אחרת משאירים בכל תפוח אדמה ניצן אחד בלבד – הגדול והמפותח ביותר. הקבוצה האחרונה תהווה קבוצת ביקורת. את כל תפוחי האדמה חותכים ל-5 מקטעים בגודל אחיד (מבלי לפגוע בניצנים שנשארו). שותלים באדמה ועוקבים אחר ההתפתחות.

הצעה לשאלה נוספת

1. יש שלוש שיטות שבאמצעותן אפשר לרבות ורדים: באמצעות זרעים, על ידי ייחורים או על ידי הרכבה. באיזו מן השיטות הפרחים יהיו דומים ביותר לצמח האם? לאחר הרכבה – האם הפרחים יהיו דומים לפרחי הצמח שממנו נלקחה הכנה או לפרחי הצמח שממנו נלקח הרוכב?

סרט וידיאו

ריבוי צמחים, האוניברסיטה הפתוחה; תיאור דרכים שונות לריבוי צמחים; מתורגם מאנגלית (6 דקות).

סרטונים ברשת

http://www.brainpop.co.il/category_12/subcategory_130/subjects_2689/preview.weml
אנימציה באתר בריינפופ (Brain Pop) בנושא שיבוט הכבשה דולי (השימוש באתר כרוך בתשלום).

http://www.brainpop.co.il/category_12/subcategory_130/subjects_2688/preview.weml
אנימציה באתר בריינפופ (Brain Pop) בנושא תהליך השיבוט (השימוש באתר כרוך בתשלום).

אתרים ברשת

<http://science.cet.ac.il/science/reproduction/repro3.asp>
אתר של מט"ח ובו הסבר קצר ותמונות בנושא רבייה אל-זוויגית בצמחים, כולל פעילות אינטראקטיבית להשוואה בין רבייה זוויגית לרבייה אל-זוויגית.

<http://www.edugal.org.il/hokrim/library/ma121.htm>

מאמר בנושא רבייה אל-זוויגית בצמחים, מלווה בתמונות.

http://www.snunit.k12.il/heb_journals/allon/103001.html

מאמר בנושא תרומת הבוטניקה למדע (כולל תרבות רקמה) (למורה).

<http://www.kdror.co.il/studies/helpers/ep1.ppt#8>

מצגת מלווה בתמונות ובדוגמאות רבות של רבייה אל-זוויגית בצמחים.

<http://www.kdror.co.il/studies/helpers/pl.ppt#16>

מצגת בנושא ריבוי אל-זוויגי.



אין לשכפל, להעתיק, לצלם, לקלוט, לתקלט, לפרסם או לנצל את תוכן המאמר ללא אישור מפורש של המחבר. © כל הזכויות שמורות למשרד החינוך, האגף לתכנון ולפיתוח תכניות לימודים.

<http://www.ginatnoy.co.il/art/grafting.html>

מאמר המפרט שיטות לריבוי זוויגי ואל-זוויגי של צמחים בגינה (למורה).

<http://www.edu-negev.gov.il/nagar/lomdot/lomda2.htm>

הצעה מפורטת לחקר בנושא השפעת הורמון השתרשות על התפתחות חרציות.

http://magazine.ort.org.il/madaim/forums_files/12939.doc

מבחן בנושא רבייה.

מקורות לקריאה נוספת

האנציקלופדיה לחקלאות, מדעי היסוד ב, הוצאת האנציקלופדיה לחקלאות, תשמ"ח, עמ' 396-416, תרבית רקמה של צמחים.

רבייה באדם, בבעלי חיים ובצמחים, משרד החינוך, האגף לתכניות לימודים; האוניברסיטה העברית, הפקולטה לחקלאות, 1990, עמ' 113-147.

פרק ב: הזרע והנביטה

(עמ' 57-88 בספר לתלמיד)

הרעיונות המרכזיים

1. לאחר ההפריה, הביציות שבתוך השחלה שבפרח מתפתחות לזרעים. מן השחלה מתפתח הפרי-ובתוכו הזרעים.
2. הזרעים הם המקור לדור ההמשך של הצמחים; מהעוברים שבתוכם מתפתחים הצאצאים של הצמחים.
3. הזרע מכיל קליפה, עובר ומאגר מזון. הקליפה מגינה על הזרע. העובר מורכב משורשון, נצרון ופסיגים. מאגר המזון נמצא בפסיגים ובאנדוספרם.
3. בחלק מן הצמחים, יחידות ההפצה נופלות על הקרקע בסביבת הצמח, ובצמחים אחרים מתקיימת הפצה למרחקים.
4. ההפצה למרחקים מתבצעת באמצעות רוח, מים ובעלי חיים וגם בהפצה עצמית.
5. יש זרעים שיכולים להישאר הרבה זמן בקרקע בלי לנבוט ובלי לאבד את חיוניותם.
6. הזרעים נובטים רק כשיש מסביבם מספיק מים, מספיק חמצן וטמפרטורה מתאימה.
7. הרבה זרעים לא נובטים גם כשיש מספיק מים וחמצן וטמפרטורה מתאימה, בגלל שהם נמצאים בתרדמה.
8. יש זרעים שנמצאים בתרדמה בגלל שהקליפה שלהם קשה מידי או שהיא בלתי חדירה למים וחמצן. בצמחים אחרים, הגורמים לתרדמה הם חומרים מעכבי נביטה. גם אור או חושך יכולים לגרום לתרדמה.
9. כאשר מאחסנים זרעים צריך לשמור עליהם במקום יבש וקריר ולטפל בהם בחומרי הדברה. לפני הזריעה, נהוג לתת לזרעים טיפולים שגורמים ליציאה מתרדמה.
10. הנביטה מורכבת מארבעה שלבים. בשלב הראשון הזרע קולט מים ותופח והקליפה מתבקעת. במקביל מתחיל פירוק של חומרי מזון אגורים. בשלב השני השורשון והנצרון מתחילים להתארך. בשלב השלישי השורשון הופך לשורש והנצרון הופך לגבעול. בשלב הרביעי העלים מוריקים והצמח מתחיל לייצר חומרי מזון והופך לעצמאי.

המושגים המרכזיים

עובר, שורשון, נצרון, קליפה, פסיגים, חד-פסיגיים, דו-פסיגיים, אנדוספרם, מאגר מזון, הפצת זרעים, יחידת הפצה, חיוניות זרעים, טמפרטורה מיטבית, תרדמה, חומרים מעכבי נביטה, הכמנה, נביטה, נבט, תפיחה.

אפשרות אחרת למיקום שלבי הנביטה ברצף ההוראה

יש גם אפשרות ללמד על שלבי הנביטה מיד אחרי נושא ההפצה, לפני ההסברים על התנאים הדרושים, התרדמה וכו'. אם מקדימים את שלבי הנביטה לפני התרדמה, צריכים לוותר על השפעת האור והחושך בעבודה 4.

תשובות לשאלות

תשובות לשאלות

(בעמ' 60 בספר לתלמיד)

4. לקיקיון יש פסיגים שטוחים ומאגר המזון נמצא באנדוספרם.
 5. דוגמאות לזרעים נאכלים הן: דגניים למיניהם (כמו: חיטה, אורז, תירס ושיבולת שועל), קטניות (כמו: סויה, אפונה, שעועית, עדשים וחמוס), ו"פיצוחים" (כמו: שקדים, פקאנים, גרעיני חמנייה ובוטנים).
 6. זרעי השעועית מכילים בממוצע כ-60% פחמימות, 25% חלבונים ו-2% שומנים. זרעי השעועית נחשבים מקור טוב לחלבון, מכיוון שיחסית לצמחים אחרים, הם עשירים מאוד בחלבון.
- אפשר לחלק את זני החמניות לשתי קבוצות, על פי מטרת השימוש בזרע: זני שמן דקי קליפה המכילים שמן עד 50% ממשקלם, וזני פיצוח, שלהם יש קליפה עבה, ותכולת השמן שלהם היא 27%. עיקר גידול זרעי החמניות בעולם הוא לשמן, ורוב הזנים מתאימים למטרה זאת.
- חומר התשמורת העיקרי בזרעים של אורז הוא עמילן. מעריכים כי עבור מחצית מאוכלוסיית העולם האורז הוא מקור המזון העיקרי.

תשובה לשאלה בקטע הרחבה

(עמ' 66 בספר לתלמיד)

1. בזמן שרפה, זרעי האורן מופצים בקרבת מקום. בחמסין מלווה ברוח, הפצת הזרעים היא למרחקים.
2. שטח חשוף מקנה יתרון לצמחים הצעירים כי אין הם צריכים להתחרות עם צמחים בוגרים על משאבים, כגון: אור, מים ומינרלים.
3. השרפות מאפשרות התחדשות טבעית של הצמחייה והחלפה של חברות צומח "זקנות" בחברות "צעירות". תחלופה כזאת מאפשרת הופעה מחודשת של מינים שנעלמו מן השטח במהלך השנים; מאפשרת היעלמות של מיני מחלות ומזיקים ואולי גם התחדשות של פוריות הקרקע. יש הרואים בשרפות טבעיות תהליך חיובי שיש לו תפקיד אקולוגי חשוב. ואולם, לשרפות יש גם השלכות סביבתיות שליליות, כמו: השמדת צמחים ובעלי חיים, פליטת פחמן-

דו חמצני לאטמוספירה וחשיפת הקרקע לסחיפה. חלק מההשלכות האלה שנויות במחלוקת, למשל, בישראל, לא ברור אם השרפות גורמות לדלדול הקרקע ממינרלים או שהן דווקא מעשירות את הקרקע, ולא ברור אם חשיפת הקרקע לסחיפה בעקבות שרפה היא משמעותית או לא. גם לגבי ההשפעה על אוכלוסיות בעלי החיים (לטווח ארוך) הדברים אינם חד-משמעיים.

תשובות לשאלות

(עמ' 68 בספר לתלמיד)

2. הזרעים של האדר הסורי מופצים על ידי הרוח בעזרת הכנף הקרומית שמחוברת לכל זרע.

הזרעים של אלת המסטיק מופצים בתוך הגוף של ציפורים שניזונות מן הפרי. (ראו הרחבה בנושא בתשובה לשאלה 3.)

הזרעים של כפתור החולות מופצים על גבי גופם של בעלי חיים; הם נצמדים לצמר, לטלפים של בעלי החיים ואף לצמיגים, לנעליים או לרגליים יחפות (עניין שכרוך, כמובן, באי נעימות מסוימת).

הזרעים של הגדילן מופצים גם על ידי הרוח וגם על ידי נמלים שאוספות אותם אך לא אוכלות אותם. כל זרע נושא ציצית שערות שמסייעת בתעופתו ברוח. הזרעים שמבשילים בתוך הקרקפת, מוגנים בתוך עלי מעטפת לחים. שם, גם הציציות סגורות ולחות. כשהצמח מתייבש, עלי המעטפת נפשקים והקרקפת נפתחת. אז מתייבשות הציציות וזיפיהן נפשקים; הזרע ניצב על הקרקפת מוכן לבואה של הרוח שתעיף אותו. גשם או טל כבד, שמרטיב את הציציות, פוגם ביעילות ההפצה. כדי למנוע הרטבת הציציות, התפתח בגדילן מנגנון שגורם להתקפלות עלי המעטפת וסגירת הקרקפת כאשר היא נרטבת (ניתן להדגים זאת על ידי התזת מים על קרקפת של גדילן).

לאחר שזרעי הגדילן מגיעים אל הקרקע, ציצית השערות נושרת והם נישאים על ידי נמלות קציר אל קיניהן. זרעי הגדילן עצמם אינם נאכלים על ידי הנמלים, אך צמוד לכל זרע יש גוף שומני שמהווה מקור מזון לנמלים. בקינים, הנמלים מסירות את גופי השומן (שנקראים אליאוזומים, elaiosome) ואת הזרעים הן משליכות החוצה מבלי להזיק להם. הזרעים נובטים ליד הקינים, שבהם הקרקע עשירה במינרלים ומתאימה לנביטה מבחינת הטמפרטורה, הנקבוביות, שיעורי הרטיבות, רמת ה-pH, תכולת החומרים האורגניים והשפע של המיקרואורגניזמים. עושר הקרקע בקרבת הקן מקורו בפעילות הנמלים, שצוברות חומרי פסולת, וכן שרידי צמחים ובעלי חיים. לפיכך, זרעים הנאספים לקינים מגיעים לאתרים טובים לנביטה ולהתבססות.

זרעי חבצלת החוף מופצים על ידי מים.

זרעי הלוטוס המכסיף מופצים בהפצה עצמית.

3. הזרעים של אלת המסטיק מופצים בתוך הגוף של ציפורים שניזונות מן הפרי. הציפורים נמשכות אל הפרי הבשל שצבעו אדום, נהנות מהעסיסיות שלו וניזונות מהסוכר שבתוכו (שאינו נחוץ לצמח). הן יכולות לנקר בפרי בקלות בזכות הקליפה הדקה שלו. לעומת זאת, הזרע שבתוך הפרי עטוף בקליפה קשה ולכן הוא מוגן מפני עיכול ואינו ניזוק תוך כדי ההפצה. כאשר הפרי אינו בשל (והזרעים בתוכו אינם בשלים) הוא מכיל חומרים דוחים או אפילו חומרים רעילים. בשלב הזה, הפרי הוא ירוק ולכן, הציפורים אינן נמשכות אליו ואינן אוכלות אותו. לעתים קרובות, פירות שמופצים על ידי ציפורים קשורים בקשר חזק וקבוע אל הענף, ואינם נופלים לארץ עם הבשלתם, אלא "ממתנים" לציפורים שפיצו אותם למרחקים. הציפורים מפיצות בדרך כלל פירות קטנים (3-17 מ"מ), פירות ניתנים לבליעה בנגיסה אחת על ידי הציפור. לעומת זאת, הפירות שיונקים מפיצים הם, בדרך כלל, גדולים יותר (אפרסק, אננס, אבוקדו, דום מצרי).

4. עוד דוגמאות להפצת זרעים הן:

הזרעים של **מקור החסידה** השעיר מופצים על ידי הרוח. כל יחידת הפצה כוללת פרודה, שבתוכה הזרע, ואליה מחובר מקור שעיר ומסולסל בבסיסו. רוחות חזקות מנתקות את יחידות ההפצה ומסיעות אותן למרחקים. כאשר הפרודה נוחתת על הקרקע, השינויים בלחות גורמים למקור להתפתל עוד יותר והשערות הקשות "מבריגות" את המקור לתוך הקרקע לעומק הדרוש לנביטה.

הסוף המצוי "כובש" שטחים חדשים על ידי הפצת זרעיו ברוח. כאשר הפירות שלו מבשילים, עמוד הפריחה מתפורר לזרעים רבים. כל זרע נושא על גבו מעין סיבים צמריים, והוא מתעופף ברוח. זרעי הסוף גם נישאים במים.

צמחי גלגל, כמו: **עכובית הגלגל**, ניתקים מן האדמה לאחר שפירותיהם מבשילים והם מתגלגלים ברוח על פני השדות היבשים. בדרך גלגוליהם הם מפיצים את זרעיהם. בראש פרי הפרג יש פתחים רבים ודרכם נופלים הזרעים ארצה.

לשיח **הפטל** יש פרי אדום, עסיסי ומתוק, והזרעים שבתוכו מופצים על ידי ציפורים. לפירות **הסירה הקוצנית** יש קליפה אטומה למים. הפירות מכילים רקמה ספוגית, לכן הם יכולים לצוף במים, וכך הם מופצים למרחקים קצרים וגם למרחקים של עשרות קילומטרים. פירות הסירה הקוצנית יכולים גם להתעופף ברוח חזקה. רבים מהפירות מופצים בהפצה עצמית – הם נופלים ונשארים מתחת לצמח האם.

לפירות של **לכיד הנחלים** יש קוצים מאונקלים, שבעזרתם הם נתפסים בצמר ובפרוות של בעלי החיים, ואלה מפיצים אותם למרחקים.

תשובות לשאלות

(עמ' 69 בספר לתלמיד)

2. קליפה עבה וקשה מגנה על הזרע מפני פגיעות מכאניות, מפני מזיקים ומפני מחלות. כמו כן, קליפה שאינה מאפשרת חדירה של מים מונעת כל אפשרות שתתחיל נביטה. ולכן, הזרעים יכולים לשמור לאורך זמן על חיוניות ולא לנבוט במשך זמן רב.

תשובה לשאלה בקטע הרחבה

(עמ' 71 בספר לתלמיד)

לעתים קרובות, מתרחש אירוע גשם בודד במדבר, ולאחריו, במשך זמן רב, אין ממטרים נוספים. הדרישה לשני אירועי גשם לצורך נביטה מונעת אפשרות שלאחר אירוע גשם אחד הזרע יתחיל לנבוט אך לא יצליח להשלים את הנביטה בגלל מחסור במים.

תשובות לשאלות

(עמ' 73 בספר לתלמיד)

1. מחסור במים הוא ההסבר הסביר ביותר לכך שזרעים לא נבטו בקיץ. נוסף לכך, ייתכן שהטמפרטורה הגבוהה בקיץ עיכבה את הנביטה. אפשרויות אחרות יכולות להיות כאלה: זריעה עמוקה מדי (ועקב כך מחסור בחמצן) או תרדמה מסוג כלשהו.
2. א. זרעי התורמוס לא נבטו במשך כל השנים מפני שלא היו להם התנאים הבסיסיים (מים, חמצן וטמפרטורה מתאימה) הדרושים לנביטה.
ב. כשרוצים לאחסן זרעים ולמנוע את נביטתם בטרם עת חשוב להקפיד על יובש ועל טמפרטורות נמוכות. גם מחסור בחמצן (וואקום, למשל) ימנע נביטה מוקדמת.

תשובות לשאלות בקטע הרחבה

(עמ' 75 בספר לתלמיד)

1. עיכוב הנביטה של צמחים אחרים ליד האורן מונע מהאורן את הצורך להתחרות עם צמחים אחרים על משאבי הסביבה. גם מן הצמחים האחרים שאינם נובטים ליד האורן נמנעת התחרות הזו. יש יתרון בנביטה בשטח פנוי, שאין בו עצים גדולים (כמו האורן) שצורכים מים רבים ומפילים הרבה צל.
2. קוטלי העשבים המלאכותיים יכולים לזהם את הקרקע והמים ולגרום למותם של עופות ובעלי חיים קטנים אחרים. שאריות החומרים נשארות בקרקע ונשטפות עם מי הגשמים וההשקיה לעומק הקרקע ואף למי התהום. יש הטוענים, שקוטלי העשבים פוגעים גם בבריאות האדם האוכל תוצרת חקלאית שבאה במגע עם החומרים. זאת ועוד, העשבים הרעים מפתחים עמידויות נגד חומרי ההדברה, ולכן צריכים להגביר את השימוש בחומרים האלה.

תשובות לשאלות

(עמ' 76-77 בספר לתלמיד)

1. א. בכלי ב, שלא היה בו מיץ עגבניות, הזרעים נבטו מהר יותר.
- ב. ג. במיץ העגבניות מצויים חומרים מעכבי נביטה, שמונעים את הנביטה של זרעי העגבנייה בתוך הפרי. בדרך זאת מובטח שהזרעים לא ינבטו לפני שיופצו ויתפזרו, ויגיעו אל הקרקע שבה הם יוכלו להמשיך להתפתח ולגדול לצמח בוגר.
2. את זרע א', שבו האור גורם לתרדמה, צריך לזרוע בעומק כדי למנוע חשיפה לאור ולאפשר התעוררות מן התרדמה. את זרע ב', שבו האור שובר תרדמה, יש לזרוע סמוך לפני הקרקע כדי לאפשר חשיפה לאור ושבירת תרדמה.
3. יכולות להיות כמה סיבות לכך שזרע שנטמן בקרקע רטובה לא נבט, ביניהן: הזרע נטמן עמוק מדיי וסבל מחוסר חמצן או ממחסור באור שדרוש לשבירת התרדמה. הקרקע הייתה רטובה מדיי ולא היה בה מספיק חמצן. הטמפרטורה לא הייתה מתאימה לנביטה. הזרע היה בתרדמה שנגרמה על ידי חומרים מעכבי נביטה. הזרע היה בתרדמה שנגרמה על ידי קליפה עבה וקשה או בלתי חדירה למים וחמצן.
4. לשלח הערבות יש מנגנון של שעון גשם שמאפשר לזרעים לנבט רק לאחר שחומרים מעכבי נביטה הוסרו (נשטפו) מהם על ידי כמות מסוימת של מי גשם. המנגנון מבטיח שהזרעים לא ינבטו לאחר חשיפה קצרה למים, אלא רק לאחר שירדה כמות מספיקה של מים שמאפשרת השלמת הנביטה.
5. חבצלת החוף צומחת לאורך חופי הים התיכון. הזרעים של החבצלת יכולים להתפזר על ידי מי הים למרחק של כמה קילומטרים, ולשמור על כושר הנביטה שלהם לאחר שהם נשטפים במי גשם. (גם רוחות והצפות מעורבות בהפצת זרעי חבצלת החוף.)
 - א. האור גורם לתרדמה בזרעים של חבצלת החוף והחושך שובר את התרדמה.
 - ב. הזרעים יכולים לנבט רק כאשר הם מכוסים בשכבת חול, שהאור לא יכול לחדור דרכה.
 - ג. היתרון בדרישה הזאת הוא הקטנת הסיכוי שהחול שמכסה את הנבטים יסחף והזרעים יחשפו וייתייבשו. גם בצמחים אחרים שגדלים בחולות האור גורם לתרדמת הזרעים. עוד בנושא זה אפשר לקרוא באתר <http://bioteach.snunit.k12.il/upload/.webpage/dinahavazelet.html>
6. א. לפי הממצאים האלה הקליפה של הזרע העליון גורמת לתרדמתו, ופציעת הקליפה שוברת את התרדמה.
 - ב. לפי הממצאים האלה מחסור בחמצן הוא שמעכב את נביטת הזרע העליון. הקליפה של הזרע העליון כנראה אינה חדירה לחמצן במידה מספקת, ולכן בתנאים של ריכוז חמצן אטמוספרי, לא חודר לתוך הזרע מספיק חמצן והזרע לא יכול להתחיל לנבט. פציעת הקליפה מאפשרת חדירה של חמצן לזרע והתחלת הנביטה.

תשובות לשאלות

(עמ' 80 בספר לתלמיד)

3.

טבלה : טיפול בזרעים בחקלאות

המטרה	הפעולות החקלאיות
שבירת תרדמה שקשורה בקליפת הזרע	טבילה בחומצה, ערבול הזרעים במכונה, הקרנה במיקרוגל, טבילה במים רותחים, פציעת הקליפה
שבירת תרדמה שקשורה באור	הארת הזרעים, החשכת הזרעים
הסרת חומרים מעכבי נביטה	שטיפת הזרעים במים, הכמנה
הגנה על הזרע מפני בעלי חיים ומחלות	ציפוי בחומרי הדברה, אחסון בסביבה יבשה, אחסון בסביבה קרירה
מניעת נביטה בזמן האחסון	אחסון בסביבה יבשה, אחסון בסביבה קרירה
אספקת מים לנביטה	השקיה במידה נכונה
אספקת חמצן לנביטה	ערבוב הקרקע, השקיה במידה נכונה
התאמת הטמפרטורה לנביטה	חימום סביבת הנביטה, קירור סביבת הנביטה

תשובות לשאלות

(עמ' 82 בספר לתלמיד)

1. לאחר שהזרעים קולטים מים ותופחים, העמילן שנאגר בהם מתחיל להתפרק והגלוקוז שמשחרר משמש להפקת האנרגיה הדרושה לנביטה.
3. תהליך הנביטה צורך אנרגיה והמקור לאנרגיה הוא בחומרי התשמורת המצויים בזרע. חומרי התשמורת משמשים כמקור אנרגיה עד אשר הצמח הצעיר מתחיל לבצע בעצמו פוטוסינתזה. זרעים גדולים, כמו חמוס, מכילים חומרי תשמורת בכמות שמאפשרת נביטה ממושכת עד להצצה ולהתחלת ייצור המזון בפוטוסינתזה. לכן, הם מצליחים להשלים את הנביטה ולהציץ, גם אם הם טמונים בעומק האדמה. לזרעים קטנים, כמו חיטה, יש מעט חומרי תשמורת ולכן הם אינם יכולים לנבוט במרחק גדול מפני האדמה. אם יזרעו אותם בעומק, מלאי חומרי התשמורת עלול להיגמר לפני שהם יגיעו אל פני האדמה. זרעים כאלה ינבטו רק אם הם יוטמנו סמוך לפני הקרקע, במקום שהאור יכול לחדור אליו. לכן, זרעים שצריכים אור לנביטה הם בדרך כלל זרעים קטנים; האור משמש גורם בקרה שמונע מהזרעים הקטנים לנבוט בעומק גדול מדי, ביחס לכמות חומרי התשמורת שיש בהם.

לנביטה בעומק רב יש כמה יתרונות: הגנה מהתייבשות, הגנה מסחיפת קרקע, הימנעות משינויים קיצוניים בטמפרטורה, והגנה מציפורים. היתרון העיקרי בנביטה סמוך לפני הקרקע הוא מהלך נביטה קצר עד לשלב ההצצה.

עבודה 7: מהי חשיבות הפסיגים?

(עמ' 61-63 בספר לתלמיד)

הנחיות

הסרת הפסיגים מחייבת זהירות יתרה, כדי שהנבט עצמו לא ייפגע. אפשר להסיר את הפסיגים במלקטת או במספריים קטנים (המלקטת עדיפה על המספריים). לפני עריכת הניסוי רצוי להתאמן. לעתים הפסיגים עטופים בשרידים של קליפת הזרע. זהו מעטה דק ואפור, המכוסה בגרגרי אדמה. את המעטפת ניתן לסלק מעל הפסיגים בלי קושי, באמצעות מלקטת קטנה. את הנבטים המשמשים לביקורת משאירים עם המעטפת. כדי להסיר את הפסיגים, מכניסים בזהירות זרוע אחת של המלקטת בין הפסיגים, סמוך למקום חיבורם על הגבעול. הזרוע השנייה תופסת את הצד החיצוני של אחר הפסיגים. מרחיקים בעדינות רבה את הפסיג. תוך כדי כך נחשפים שני העלים הקטנים החבויים בין הפסיגים. מושכים את הפסיג לאחור עד שמנתקים אותו מן הנבט. אם הסרת הפסיגים נעשית במספריים, אפשר לפרוס את הפסיגים על ידי עיפרון חד, על מנת לגלות את נקודת החיבור שלהם אל הגבעול. את המספריים יש להחזיר אל נקודת החיבור של הפסיגים אל הגבעול, כשהמספריים סגורים. לאחר מכן, יש לפתוח את המספריים, אך לא יותר מהדרוש על מנת להסיר פסיג אחד. את הפסיג השני אפשר לנתק במשיכה זהירה, כאשר האצבעות ממלאות את תפקיד המלקטת.

תשובות לשאלות

2+1. שאלת חקר מתאימה לניסוי: כיצד משפיעה הסרת הפסיגים על התפתחות נבטי שעועית (או תורמוס)? השערה מתאימה: הסרת הפסיגים פוגעת בהתפתחות נבטי שעועית (או תורמוס).

שאלת חקר מתאימה אחרת: כיצד משפיע מספר הפסיגים על גובה נבטי שעועית (או תורמוס)? השערה מתאימה: ככל שמספר הפסיגים קטן יותר כך הנבטים נמוכים יותר.

3. הגורם המושפע בניסוי הוא גובה הנבטים (התפתחותם).

4. הגורם המשפיע בניסוי הוא מספר הפסיגים שהוסרו/שנשארו.

תוצאות לדוגמה

השפעת מספר הפסיגים על גובה הנבטים

טיפול א	טיפול ב	טיפול ג	
נבטים חסרי פסיגים	נבטים עם פסיג אחד	נבטים עם שני פסיגים	
5.8 ס"מ	10.1 ס"מ	13.2 ס"מ	הגובה הממוצע של הנבטים

ניתוח התוצאות והסקת מסקנות

בזרעי שעועית ותורמוס, הפסיגים הם המקור העיקרי לחומרי מזון במהלך הנביטה. הסרת הפסיגים פוגעת בהספקת המזון לזרע הנובט ולכן הנבט צומח פחות לגובה. מן הניסוי הזה אפשר להסיק שהפסיגים דרושים להתפתחות תקינה של הנבט. עם זאת, הניסוי אינו מוכיח שבפסיגים יש חומרי תשמורת. כדי להוכיח זאת, צריך לערוך בדיקות כימיות לזיהוי החומרים שבפסיגים.

עבודה 8: הלחץ שיוצרים זרעים תופחים

(עמ' 84 בספר לתלמיד)

עבודה פשוטה ומאוד מרשימה! ממחישה יפה את הלחץ שמפעילים הזרעים הנובטים על האדמה שמסביב להם; מהווה מערכת מצוינת לצפייה בשלבי הנביטה. כדי ללמוד את סמיכות עיסת הגבס הרצויה, מומלץ לנסות לפני השיעור. אם מחזיקים את הכוסות בתוך חדר, אין צורך להוסיף מים; הלחות שבגבס מספיקה. אם רוצים להוסיף לניסוי עוד משתנים, אפשר להשוות בין סוגי זרעים שונים ו/או בין כמויות שונות של זרעים. אם לא רוצים לבצע את עבודה 9 (שלבי הנביטה של זרעי צנונית באור ובחושך) אפשר לבדוק בעבודה זו גם את השפעת האור על הנביטה בתוך הגבס; לאחר התייבשות הגבס מכסים חלק מהכוסות בבריסטול שחור (שיוצרים ממנו מעין חרוט ובתוכו מציבים את הכוסות) ואת הכוסות האחרות מכסים בפלסטיק שקוף (שקפים, למשל).

התוצאות הצפויות

הזרעים שבתוך הגבס קולטים מים ותופחים. כתוצאה מכך הם גורמים לסדיקת הגבס. לעתים, ניתן לראות זאת כבר בשעות הראשונות של העבודה. בחלק מהמקרים, הלחץ המופעל על ידי הזרעים התופחים גדול כל כך שהוא אף גורם לשבירת כוסות הפלסטיק. כעבור 24 שעות כבר אפשר לראות התחלה של נביטה, ובמהלך השבוע הנבטים מתפתחים וצומחים כלפי מעלה וגם דרך הסדקים שבכוס.

עבודה 9: שלבי הנביטה של זרעי צנונית באור ובחושך

(עמ' 85-86 בספר לתלמיד)

הנחיות

אפשר לוותר על עבודה זו ולשלב טיפול החשכה בעבודה 8 (הלחץ שיוצרים זרעים תופחים), כפי שמתואר בהנחיות לעבודה 8.

אם נתקלים בבעיות בעליית המים בבריסטול, אפשר להוסיף נייר סינון מאחורי הבריסטול ובו עליית המים תהיה טובה יותר.

מדי יום, אפשר לסמן בצבע על גבי הזכוכית את אורך השורשונים והנצרונים, וכך להמחיש עוד יותר את התפתחותם. אפשר גם למדוד את השינויים באורך ולחשב את קצב ההתפתחות.

לאחר התחלת הנביטה, אפשר להניח את המערכת על צדה, בתוך קערת מים, ולצפות בצמיחת השורשים לכיוון כוח הכובד.

כדי לצפות בכל שלבי הנביטה, מומלץ לערוך תצפיות מדי יום או יומיים. הנביטה מתחילה תוך 24-48 שעות, אך גם אם אין אפשרות לתצפיות תכופות כל כך, עדיין אפשר לראות יפה את חלקי הנבט אחרי כמה ימים, וכן את העובדה שהזרעים נובטים גם באור וגם בחושך אך התפתחותם בשני המצבים שונה.

בניסוי הזה לא מתקבלים הבדלים מובהקים בקצב הנביטה בין האור לחושך. עם זאת הניסוי חשוב מכיוון שהוא מהווה הזדמנות מצוינת להדגים שהצלחה של ניסוי אינה דווקא קבלת התוצאות הצפויות או קבלת תוצאות חיוביות. הניסוי הזה מדגים יפה, שאם מבצעים ניסוי בצורה נכונה, כל תוצאה היא תוצאה נכונה, גם אם נמצא שאין הבדל בין הטיפולים שבדקנו.

תשובות לשאלות

1. שאלת חקר מתאימה לניסוי היא "כיצד משפיע האור על נביטת זרעי צנונית?"
2. יש כמה השערות מתאימות/הגיוניות לניסוי הזה, למשל: "האור מונע את נביטת זרעי הצנונית" או "האור מעכב את נביטת זרעי הצנונית" או "האור לא משפיע על נביטת זרעי הצנונית".
3. הגורם המשפיע בניסוי הוא האור והגורם המושפע הוא הנביטה.
4. המים עולים בעלייה נימית, דרך החללים שבתוך הבריסטול, עד לזרעים.
5. כיסוי הכוס עשוי להשפיע על משתנים נוספים, מלבד האור, למשל: על הלחות ועל ריכוז החמצן באוויר. חשוב לכסות כוס אחת בשקית שקופה כדי להבטיח שהמשתנה היחיד שיהיה שונה בין שני הטיפולים הוא האור, ולא המשתנים האחרים.

6. כאשר מסירים את כיסוי האלומיניום חושפים את הזרעים או את הנבטים לאור, ולכן אי-אפשר עוד להתייחס אל אותם זרעים כאל זרעים מוחשכים לחלוטין. יכול להיות מצב שבו החושך משרה תרדמה בזרעים, וחשיפה קצרה מאוד לאור תספיק כדי לשבור את התרדמה. במקרה כזה הסרת הכיסוי עלולה לשבור את התרדמה ולהשפיע על התוצאות.
7. ההשוואה לתוצאות של תלמידים אחרים בכיתה חשובה מאוד, בייחוד בניסוי כזה שבו אין כמעט חזרות. התלמידים ייוכחו לראות שיש שונות גדולה בקצב הנביטה בין הזרעים השונים, וקשה מאוד להגיע למסקנות על סמך ניסוי יחיד ללא חזרות.
8. לאחר יום עד יומיים (קצב הנביטה עשוי להשתנות בהתאם לטמפרטורה) הקליפה נבקעת, ובדרך כלל לאחר יום נוסף אפשר כבר לראות בבירור את התחלת ההתארכות של השורשון כלפי מטה. בהמשך, הנצרונים מתפתחים כלפי מעלה, ואפשר גם לראות התפתחות של יונקות על פני השורשים והסתעפות של השורשים.
9. זרעי הצנונית נובטים גם באור וגם בחושך וקשה להבחין בהבדלים מובהקים בקצב הנביטה בין האור לחושך. עם זאת, לאחר שהנצרון מתארך אפשר לראות בבירור הבדלים בצבע של הנבטים שהיו באור לנבטים שהיו בחושך; הנבטים שהיו בחושך אינם מוריקים אלא נשארים צהובים, משום שבחושך לא נוצר כלורופיל, שהוא הפיגמנט שמקנה את הצבע הירוק. תופעה זו נקראת חיזורון (אתיולציה etiolation) והיא כוללת גם התארכות רבה יותר של הנצרונים, ב"ניסיון" להגיע אל האור. (עוד על האתיולציה ראו בפרק על האור.)
10. לפי תוצאות הניסוי, המשפטים הנכונים הם: (ב) האור לא מונע את נביטת זרעי הצנונית; (ד) זרעי הצנונית יכולים לנבוט עם אור או בלי אור.
12. לפי תוצאות הניסוי, קשה לקבוע באיזה עומק להמליץ לחקלאי לזרוע את זרעי הצנונית, מכיוון שהאור כנראה אינו משפיע על הנביטה. עם זאת, מכיוון שהזרעים קטנים, הגיוני לזרוע אותם בעומק לא רב, על מנת שיצליחו להשלים את הנביטה ולהגיע אל האור לפני שיסתיימו חומרי התשמורת שבזרע. בדרך כלל מומלץ לזרוע זרעי צנונית בעומק של כ-1 ס"מ.
13. תכנון ניסוי לבדיקת השפעה של הטמפרטורה על הנביטה של זרעי צנונית
- א. שאלת חקר לדוגמה: מה הקשר בין הטמפרטורה לבין קצב הנביטה של צנונית? השערה לדוגמה: ככל שהטמפרטורה גבוהה יותר קצב הנביטה גבוה יותר.
- ב. מהלך הניסוי: אפשר להשתמש באותה מערכת של זכויות ובריסטול להנבטת צנונית ולבדוק טמפרטורות שונות (במקפוא, במקרר, בחדר, באינקובטור).

ג. בניסוי השוואתי מסוג זה אין ממש ביקורת; כל טיפול מושווה לטיפול אחר. אם שאלת החקר היא "כיצד משפיע הקירור על נביטת הצנונית?", הטיפול הנבדק יהיה קירור והביקורת תהיה טמפרטורת החדר. כדי לקבל חזרות, אפשר לשים בכל טיפול כמה כוסות, או בכל כוס – כמה זכוכיות עם זרעים.

ד. הבדיקות הדרושות הן: (1) מעקב יומימי אחר התפתחות הנבטים; (2) מדידת אורך השורשונים; (3) מדידת אורך הנצרונים. אפשר גם להתייחס למועד הופעת העלים הראשונים.

ה. הגורם המושפע בניסוי כזה הוא קצב הנביטה/התפתחות הנבטים. הגורם המשפיע הוא הטמפרטורה.

הרחבה והעמקה

פירות חסרי זרעים

בפירות של אבוקדו ושל מנגו יש רק זרע אחד, מכיוון שבשחלה מתרחשת הפריה אחת ומתפתח עובר אחד. יש פירות שיש בהם הרבה זרעים, למשל: בקישוא ובעגבנייה. הפירות האלה נוצרים משחלה שהתרחשו בה הרבה הפירות ולכן בו-זמנית התפתחו הרבה עוברים, כלומר: הרבה זרעים.

יש פירות שהם חסרי זרעים כלל. באופן טבעי, לאחר ההפריה, נוצרים הורמונים בשחלות של הפרחים והם גורמים להתפתחות הפירות. אם מונעים הפריה ומוסיפים לפרחים הורמונים, מתפתחים פירות חסרי זרעים. יש צמחים שיכולים ליצור פירות חסרי זרעים גם ללא טיפולים הורמונליים (כתוצאה ממוטציה גנטית).

החקלאים מעוניינים בפירות חסרי זרעים מכמה סיבות: (א) פירות, כמו: אבטיחים וענבים, קל ונעים יותר לאכול ללא זרעים ולכן כולם מעדיפים לקנות אותם ללא זרעים; (ב) פירות חסרי זרעים קל יותר לעבד למוצרים תעשייתיים. לדוגמה, קל יותר לייצר רסק מעגבניות חסרות זרעים, מכיוון שאין צורך להוציא מהן את הזרעים; (ג) כאשר מגדלים פירות חסרי זרעים אין צורך בהאבקה, וזה מקל על תהליך הגידול ומוזיל אותו. בעגבניות, למשל, אם מגדלים עגבניות חסרות זרעים חוסכים את ההוצאות על דבורים מאביקות.

חוקרים השתמשו בשיטות של הנדסה גנטית כדי ליצור עגבניות חסרות זרעים, ללא צורך בתוספת הורמונים. החוקרים החדירו לצמחים גן מחיידק, והגן גרם לייצור של הורמון בשחלות הפרחים. ההורמון שנוצר גרם להתפתחות של פירות, אף על פי שלא התרחשה הפריה.

החשיבות של בנק הזרעים הטבעי בקרקע בעת שרפה

ל"בנק הזרעים" יש תפקיד חשוב ביותר בחידוש הצמחייה לאחר שרפה. במיני צמחים רבים, הצמח כולו מת בשרפה, כולל האיברים התת-קרקעיים. המשך קיומם של המינים האלה, באזור השרפה, תלוי ב"בנק הזרעים" שהצטבר בקרקע עד השרפה. הזרעים שהצטברו בקרקע לא נפגעים מן השרפה והם נובטים בחורף הראשון שלאחר השרפה. חלק מן הזרעים האלה, למשל: זרעים של הצמח סירה קוצנית, יכולים לנבוט רק אחרי שרפה, מכיוון שהזרעים שלהם דורשים אור שמש לנביטה. זרעים כאלה לא יכולים לנבוט בצל של עצי החורש. רק לאחר שרפה, נחשפת הקרקע לאור השמש ומתאפשרת נביטת הזרעים. זרעים אחרים, כמו הזרעים של הצמח קידה שעירה, אינם יכולים לנבוט, כי הקליפה שלהם קשה ולא חדירה למים. כאשר מתרחשת שרפה, החום פוגע בקליפה ואז היא נעשית חדירה למים והזרעים יכולים לנבוט. לכן, לעיתים קרובות, הקידה השעירה "משתלטת" על שטחים שרופים.

עוד על "שעון הגשם" של שושנת יריחו

לאחר שהזרעים של שושנת יריחו נוצרים, הצמח מתייבש ונקמץ כאגרוף. במצב הזה, הפירות חבויים ומוגנים על ידי ענפים הדוקים. רק לאחר הרטבה, במשך כחצי שעה, הצמח נפרס והפירות נחשפים לטיפות הגשם. הפירות החשופים נרטבים ומתרככים, ואם ממשיך לרדת גשם והוא בעוצמה מספיק חזקה, הטיפות גורמות לפתיחת הפירות, והזרעים נופלים מן הצמח. כאשר הזרעים שנפלו נרטבים, הם מתכסים בריר שנוצר משכבת התאים החיצונית של קליפת הזרע. הריר מדביק חול אל הזרעים, מונע מהם תזוזה נוספת ומסייע בשמירה על סביבה לחה סביב הזרעים הנובטים. לסיכום, כדי שהזרעים של שושנת יריחו יפצו דרוש גשם ממושך, וכדי שהם ינבטו דרוש גשם נוסף בעוצמה חזקה; שני גשמים כאלה מספקים כנראה כמות מים שמספיקה לנביטה ולהתבססות של הנבטים. בגלל יכולתו של הצמח שושנת יריחו ל"התעורר לחיים" לאחר שהתייבש, הנוצרים רואים בו סמל לתחייתו של ישו. יש תיירים שלוקחים אתם שושנות יריחו לאירופה כמזכרת מארץ הקודש. הבדווים בסיני קוראים לשושנת יריחו "כף אל רחמן". הם אומרים שכמו שהרחמן (אלוהים) פותח ידו ונותן גשם, גם הצמח פותח כפיו; הם גם תולים את הצמח באוהליהם "למען המזל".

הצעות לעבודות נוספות

טיפולים לזירוז הנביטה

כדי לבחון את האמצעים לטיפול בקליפות זרעים לפני ההנבטה, אפשר לערוך ניסוי. לשם כך לוקחים כמה סוגי זרעים, למשל: חרוב או שעועית, ומשווים את תהליך הנביטה שלהם לאחר שנותנים להם טיפולים שונים. הטיפולים יכולים להיות כאלה: (1) השריה במים רותחים במשך 10 דקות; (2) השריה במים בטמפרטורה של 75 מ"צ במשך 4-5 דקות; (3) השריה

במי ברז במשך 24 שעות; (4) גירוד קליפת הזרעים בעזרת מגרדת. רצוי לבקש מהתלמידים להציע עוד טיפולים שעשויים לזרז את תהליך הנביטה ולאפשר להם לנסות את הצעותיהם.

השפעת עומק הזריעה על ההצצה

אפשר לתת לתלמידים לתכנן ולבצע ניסוי שבו יבדקו מהו עומק הזריעה המיטבי (למשל: 2 ס"מ, 7 ס"מ או 15 ס"מ) לזרעים שונים, למשל: זרעי גזר, חסה, צנון או חיטה.

הצעות לפעילויות ולשאלות נוספות

1. **כנפי זרעים** - כדי להדגים את פעילות הכנפיים, אפשר לזרוק לאוויר זרעים של מכנף נאה. הכנף של הזרעים גורמת לתנועה סיבובית של יחידת ההפצה, ותנועה זאת מקטינה את מהירות הנפילה של יחידת ההפצה ומגדילה את משך שהותה באוויר. מספיקה רוח קלה, כדי שהכנף עם הזרע תפעל ממש כמו מדחף של הליקופטר.

2. **אוסף זרעים** – אפשר להכין אוסף כיתתי של זרעים, לבחור קריטריונים למיון, ולמייין על פי הקריטריונים את הזרעים.

3. **"סלט מדעי"** – כדי להבחין בין ההגדרה המדעית של פרי לבין השימוש היומיומי במושג הזה אפשר להציע לתלמידים את קטע הקריאה הבא ואת השאלות שאחריו.

בחיי היומיום אנחנו מבחינים בין פרי לירק לפי הטעם ולפי מנהגי האכילה. ואולם, מבחינה מדעית חלק גדול מן הירקות שאנו אוכלים הם למעשה פירות, כלומר: הם התפתחו מן הפרח ויש בהם זרעים. כך למשל, המלפפון הוא הפרי של צמח המלפפון, והפלפל הוא הפרי של צמח הפלפל. יש ירקות שהם חלקים אחרים בצמח, למשל: הכרוב הוא העלים, והגזר הוא השורש. מבין צמחי המאכל יש גם צמחים, למשל: בוטנים ודלעת, שהחלקים הנאכלים בהם הם הזרעים. החלקים האלה מכונים, בדרך כלל, "גרעינים".

שאלה

לפניכם רשימה של צמחי מאכל: חסה; תפוח אדמה; עגבנייה; אפונה; אבטיח; בצל; אבוקדו; ברוקולי; שקד; תפוז; חציל; חמנייה; קישוא; שעועית; דלעת.

א. באילו מהצמחים שברשימה החלקים הנאכלים הם פירות?

ב. באילו מהצמחים שברשימה החלקים הנאכלים הם זרעים?

ג. מה הם החלקים הנאכלים בצמחים האחרים שברשימה? תוכלו להיעזר במקורות מידע אחרים.

3. זרעים של שיח קפה אינם נובטים כאשר בקרקע יש קפאין (למרות העובדה שהם עצמם מכילים קפאין). לכן, זרעי הקפה אינם יכולים לנבוט מתחת לצמח שממנו הם נשרו. איזה יתרון מקנה הפרשת חומרים מעכבי נביטה (א) לצמח שמפריש את החומרים? (ב) לזרע שנביטתו מעוכבת?

סרטי וידיאו

זרע ונביטה, האוניברסיטה הפתוחה; בסרט מוצגים סוגים שונים של זרעים, התנאים הדרושים לנביטה ומהלך הנביטה; מתורגם מאנגלית (13 דקות).

מפרח לזרע, האוניברסיטה הפתוחה; תיאור מבנה הפרח ודרכי האבקה; אנימציה של תהליך ההפריה והתפתחות הזרע; מתורגם מאנגלית (18 דקות).

סרטונים ברשת

<http://www.youtube.com/watch?v=3nRVZPJdXOo&NR=1>

תהליך הנביטה של זרע שעועית, בהילוך מהיר במבט מעל פני הקרקע; חצי דקה.

<http://www.youtube.com/watch?v=d26AhcKeEbE&NR=1>

תהליך הנביטה של זרעי צנונית, בהילוך מהיר במבט מתחת ומעל לפני הקרקע; 45 שניות.

http://www.brainpop.co.il/category_8/subcategory_361/subjects_546/preview.weml

אנימציה באתר בריינפופ (Brain Pop) בנושא תהליך התפתחות הזרע. (השימוש באתר כרוך בתשלום)

אתרים ברשת

[/http://plants.galim.org.il/seed](http://plants.galim.org.il/seed)

מידע ותמונות לתלמידים בנושא הזרע והנביטה, באתר גלים (השימוש באתר כרוך בתשלום).

[/http://plants.galim.org.il/fruit](http://plants.galim.org.il/fruit)

מידע לתלמידים בנושא המבנה של פירות שונים והתפקוד שלהם, והגידול שלהם בחקלאות, באתר גלים (השימוש באתר כרוך בתשלום).

<http://science.cet.ac.il/science/reproduction/repro6.asp>

אתר מט"ח ובו הסברים קצרים, תמונות ופעילות אינטראקטיבית בנושא מנגנוני הפצת זרעים (לתלמיד).

<http://www.orianit.edu->

[negev.gov.il/tamar/mataf/form_view.asp?id=03CD82413A0B461CBE6BB41A1ECE0340&noback=1](http://www.orianit.edu-negev.gov.il/tamar/mataf/form_view.asp?id=03CD82413A0B461CBE6BB41A1ECE0340&noback=1)

לקט שאלות רב-בררתיות בנושא רבייה בצמח; מלווה בתמונות; מתאים גם להערכה עצמית של התלמיד.

<http://www.edugal.org.il/hokrim/library/ma113.htm>

מאמר בנושא הנביטה: התנאים הדרושים לנביטה, עיכוב הנביטה ותהליכים המתרחשים בעת הנביטה, כולל השוואה בין חד-פסיגיים לדו-פסיגיים; מלווה בסרטון קצר.

<http://science.cet.ac.il/science/reproduction/Zraim-Atikim.asp>

מאמר בנושא חיוניות זרעים; מלווה בדוגמאות ובסיפורים.

<http://bioteach.snunit.k12.il/upload/.webpage/dinahavazelet.html>

מאמר מתורגם ומעובד על השפעת גורמי סביבה על נביטה של חבצלת החוף (למורה).

http://www1.snunit.k12.il/heb_journals/allon/139037.html

מאמר בנושא השפעת השרפה על נביטת זרעים; כולל הצעה לחקר (למורה).

http://magazine.ort.org.il/madaim/forums_files/12939.doc

מבחן בנושא רבייה ונביטה.

מקורות לקריאה נוספת

האנציקלופדיה לחקלאות, ירקות א, הוצאת האנציקלופדיה לחקלאות, תשמ"ט, עמ' 27-39; הזרע.

רבייה באדם, בבעלי חיים ובצמחים, משרד החינוך, האגף לתכניות לימודים; האוניברסיטה העברית, הפקולטה לחקלאות, 1990, עמ' 191-213.

פרק ג: התנאים הדרושים לגידול צמחים

הקרקע והצמח

(עמ' 89-109 בספר לתלמיד)

הרעיונות המרכזיים

1. הקרקע היא גורם חשוב מאוד בהתפתחות הצמחים. הצמחים נאחזים בקרקע, השורשים חודרים לתוכה וממנה הם קולטים מים, מינרלים וחמצן.
2. הקרקע מורכבת ממוצקים, מנוזלים ומאוויר. המוצקים הם חלקיקי הקרקע והרקבובית. הנוזלים (מים) והגזים (אוויר) נמצאים בחללים שבין חלקיקי הקרקע.
3. הגודל של החלקיקים בקרקע משפיע על מידת האוורור, על כושר החזקת המים, על קלות העיבוד של הקרקע ועל ההתאמה לחדירת השורשים. בעיקרון, ככל שהקרקע עשירה יותר בחלקיקים קטנים (כלומר, דקת גרגר - חרסיתית), החזקת המים בה רבה יותר, אבל האוורור עלול להיות מועט יותר והיא קשה יותר לעיבוד ולחדירת שורשים.
4. הקרקע מהווה בית גידול להרבה יצורים, וביניהם מתקיימים יחסי גומלין. הרבה מהם ניזונים מן הצמחים. חלק מהם מזיקים לצמחים ואחרים מועילים לצמחים.
5. הרבה קרקעות חקלאיות בעולם נהרסות ואינן מתאימות עוד לעיבוד חקלאי. הגורמים העיקריים להרס קרקעות בישראל הם: המלחה, סחיפה וזיהום.
6. המלחת קרקעות נגרמת בעיקר בגלל השקיה ודישון ממושכים.
7. סחיפת קרקעות נגרמת בעיקר בגלל פעולות של האדם, כמו רעיה וכריתת יערות, שהורסות את הצמחייה הטבעית ומשאירות את הקרקע חשופה ללא צמחים. קרקע חשופה נסחפת בקלות על ידי הרוח והמים.
8. זיהום הקרקע נגרם בגלל שימוש בחומרים מזהמים בחקלאות, בתעשייה ובבתי המגורים.
9. כדי להימנע ממחלות קרקע או מבעיות אחרות בקרקע המקומית אפשר לגדל צמחים במצעים מנותקים. יתרונות אחרים של הגידול במצעים מנותקים הם היכולת להשפיע על התנאים בסביבת השורשים, האפשרות לחסוך בחומרי דישון ובמים ולצמצם את הזיהום והאפשרות לנצל טוב יותר את שטח הגידול.

המושגים המרכזיים

קרקע; הרכב הקרקע; רקבובית; חלקיקי הקרקע; קרקעות חוליות; קרקעות חרסיתיות;
קרקעות בינוניות; קרקעות קלות; קרקעות כבדות; חלחול; המלחת קרקעות; זיהום קרקעות;
סחיפת קרקעות; מצעים מנותקים.

תשובות לשאלות

תשובות לשאלות

(עמ' 94-95 בספר לתלמיד)

2. א. בעיקרון, צמח שרגיש במיוחד לחוסר חמצן, עדיף לגדל בקרקע חולית, מכיוון שבקרקע כזו יש יותר אוורור. בקרקע חרסיתית יבשה, יש יחסית מעט אוורור ויש גם יותר סיכוי להצפה, שבה האוורור לקוי במיוחד.

ב. צמח שרגיש במיוחד ליובש, עדיף לגדל בקרקע חרסיתית, מכיוון שכושר אחזקת המים בקרקע כזו גבוה יחסית. בקרקע חולית המים מחלחלים במהירות לעומק והצמחים עשויים לסבול ממחסור במים.

ג. צמח שהשורשים שלו מתקשים במיוחד לחדור לקרקע עדיף לגדל בקרקע קלה (חולית) שבה יש יותר חללים ופחות היצמדות של חלקיקי הקרקע זה לזה.

3. בסביבה קרה מאוד או יבשה מאוד, שרידי היצורים שמתו מתפרקים בקצב מאוד איטי, ולכן ההתחדשות של החומר האורגני בקרקע (הרקבובית) תהיה, יחסית, איטית. החומר האורגני הוא אחד המקורות למינרלים בקרקע, ולכן מחסור בחומר אורגני יכול לגרום למחסור במינרלים בקרקע. מחסור בחומר אורגני גם יכול לפגוע בהיווצרות תלכידים בקרקע, ובשל כך לפגוע באוורור, בניקוז ובחדירת השורשים.

4. חשוב לציין שהדגימות מייצגות רק את הקרקע שממנה הן נלקחו. ייתכן שבכל אחד מן האזורים יש כמה סוגי קרקעות, ומכיוון שאין מידע על פיזור הדגימות אי-אפשר להסיק מהן לגבי האזור כולו.

א. בדגימות מראשון לציון הייתה הקרקע חולית, בנהלל – הקרקע חרסיתית ובבאר שבע – הקרקע בינונית.

ב. בדגימות מראשון לציון הייתה קרקע קלה ובדגימות מנהלל – קרקע כבדה.

ג. לפי הדגימות, האוורור הטוב ביותר הוא בקרקע מראשון לציון, מכיוון שהיא מכילה יחסית כמות רבה ביותר של חלקיקים גדולים. האוורור חשוב לנשימת השורשים (הוא משפיע על תפקוד השורשים בקליטת המים והמינרלים) ולמניעת מחלות ריקבון בשורשים.

ד. לפי הדגימות, כושר אחזקת המים הנמוך ביותר נמצא בקרקע ראשון לציון, בדגימת הקרקע הזאת נמצאו חלקיקים גדולים רבים ביותר. כושר החזקת מים נמוך עשוי לגרום מחסור במים באזור בית השורשים. עם זאת, הוא מוריד את הסיכוי למצבים של הצפה.

6.

טָרָה רוֹסָה (טרה = אדמה; רוסה = אדומה) – קרקע חרסיתית בצבע חום-אדום; נוצרת על פני סלעים קשים של גיר ודולומיט בתנאי אקלים ים-תיכוני (לח ולח-למחצה). הטררה-רוסה בדרך כלל רדודה, עד כדי כך שמבצבים מתוכה מחשופי סלע. הטררה רוסה היא קרקע פורייה, אבל עיבודה מחייב סיקול ובנייה של טרסות. בקרקעות טרה רוסה מגדלים בעיקר

מטעים, למשל: גפנים וזיתים. הצומח האופייני לקרקע הזאת הוא חורש ים-תיכוני, בעיקר חברת אלון מצוי ואלה ארץ-ישראלית. הטרה-רוסה מצויה באזורים גשומים, מהגליל ועד הרי יהודה.

רנְדְזִינָה – קרקע אפורה-בהירה עד חומה; נוצרת על סלעי חוואר וקרטון (גיר רך עד קשה). הרנדזינה הבהירה עשירה בגיר ואילו הרנדזינה הכהה ענייה יחסית בגיר, והיא בעלת תכולה גבוהה יחסית של חרסית ושל חומר אורגני. רנדזינות בהירות מתפתחות בנופים "מעוגלים", על מדרונות מתונים, והן נוחות לעיבוד חקלאי וליצירת טרסות רחבות. רנדזינות כהות מצויות בדרך כלל בנוף של סלעים קשים הפזורים על פני השטח. בנופים האלה הצמחייה האפיינית היא של אלון תבור או של חרוב, בליווי שיחים כגון: אלת המסטיק, קידה שעירה וסירה קוצנית. קרקעות רנדזינה נמצאות בגליל, בשומרון, בשפלה, בהרי יהודה וברמות מנשה.

קרקע בזלתית – קרקע שחורה או חומה-כהה חרסיתית; מתפתחת מבלייה של סלעי בזלת. באזורים הטרשיים, יחסית (צפון רמת הגולן ומרכזה, מזרח הגליל העליון), הקרקעות הבזלתיות הן בדרך כלל רדודות (עד חצי מטר), והן חסרות גיר. הקרקע הבזלתית והאקלים באזור זה מתאימים מאוד לגידול מטעים נשירים וגפני יין. בדרום רמת הגולן וברמות יששכר מצויות קרקעות בזלתיות עמוקות מאוד, והן משמשות לגידולים שונים, בעיקר ירקות. בחורף הקרקעות העמוקות תופחות ונאטמות ובקיץ הן נסדקות מאוד. בעלייה מהכנרת מזרחה, מתחלף הצומח משלטון של שיזף מצוי, לחברה של אלון תבור ואלה אטלנטית, המלווה בשיזף השיח. הצמחייה עשירה מאוד בדגניים רב-שנתיים ובעשבוניים חד-שנתיים. בחלק הלח יותר של מזרח הגולן ובצפונה שולט חורש סבוך של אלון תולע ואלון מצוי, המלווה בעצי יער ממשפחת הוורדניים.

חמרה (בערבית אדום) – קרקע אדומה; נוצרת מחול דיונות. החול נודד מהים לחוף, וממנו נע עם הרוחות אל פנים היבשה. תנועתו של החול נעצרת לאחר שצמחים מתבססים בתוכו, והוא מתחיל לצבור אבק מדברי שמגיע עם הרוח (אבק האיאולי). האבק שוקע על החול ונע לתוכו עם מי הגשם. האבק מכיל מינרלים יוצרי קרקע וגיר, וברבות השנים הוא עובר בלייה, ונוצרים ממנו מינרלי חרסית ותחמוצות ברזל, אשר מצפות את גרגרי החול ומקנות לקרקע את צבעה האדום. עומק הקרקע משתנה בהתאם לדרגת הבשלתה. הקרקעות "הצעירות" רדודות יותר, והן מצויות על דיונות חול צעירות, במערב מישור החוף. הקרקעות "המבוגרות" והבשלות יותר מצויות ברכסי החמרה, במרכז מישור החוף ומזרחו, ועומקן יכול להיות מטרים אחדים. חמרות הן בדרך כלל קרקעות מאווררות ומנוקזות היטב, והן מתאימות לחקלאות (בייחוד לפרדסים), אבל הן דלות בחומר אורגני ובמינרלים. עם זאת, הקרקעות "המבוגרות" יכולות להיות חרסיתיות למדיי, וחלקן אף אטומות למים (נזאז).

לס – קרקע דקת-גרגר צהבהבה או חומה בהירה; מקורה בתוצרי בלייה של סלעים (בעיקר סלעי משקע ימיים) באזור מדבר סהרה. חומר הבלייה הדק מאוד מובל על ידי הרוח לצפון הנגב, ושם הוא שוקע כמו האבק האיטלי במישור החוף. בגלל הקרבה למקור האבק (המדבר), מרבצי הלס האיטלי יכולים להיות עמוקים למדי (עד כ-12 מ'). קרקע לס מתפתחת מהאבק האיטלי במהלך שקיעתו, ואופיה תלוי במידה רבה בקצב השקיעה ובאקלים ששרר בעת השקיעה ואחריה. קרקעות לס שונות נפוצות באזורים צחיחים וצחיחים למחצה, ממרכז הנגב עד צפונו. בצפון האזור, ובעיקר מבאר שבע מערבה וצפונה, מעבר לבית קמה, קרקעות הלס העמוקות נוחות, יחסית, לעיבוד חקלאי, והן מתאימות לגידולי שלחין. על חלק מקרקעות הלס, שנרטבות במי גשם, נוצר קרום כמעט לא חדיר למים. הקרום הזה מקטין את קצב החלחול, וגורם לזרימת מים עילית ולסחף קרקע. כשהקרום מתייבש הוא מתכווץ ונסדק בשכבה העליונה. מראה הקרום והסדקים הוא מראה אופייני לאדמת לס.

תשובות לשאלות

(עמ' 100 בספר לתלמיד)

1.

פעילויות של יצורים בקרקע שפוגעות בצמחים	פעילויות של יצורים בקרקע שמועילות לצמחים
אכילת שורשי צמחים	פירוק חומר אורגני
גרימת מחלות	הגנה מפני מחלות
	ייצור חומרים מעודדי התפתחות

2. דוגמאות ליצורים בקרקע: חיידקי ריזופיום – חיידקים שחיים בשורשי צמחים (קטניות) ומעשירים את הקרקע בחנקן; חיידקי אַזוֹספְּרִילום – חיידקים שחיים סמוך לשורשי צמחים (בעיקר דגניים) ועל ידי ייצור הורמונים גורמים לשיפור בהתפתחות מערכת השורשים, וכתוצאה מכך לשיפור בקליטת המים והמינרלים בצמחים (נוסף ליכולתם לקשור חנקן); פטריות מיקוריזה – מסייעות לצמחים בקליטת מינרלים מן הקרקע, בעיקר זרחן (ראו הרחבה בפרק מינרלים בחוברת זו); פטריית פּוֹזְרִיום – גורמת מחלות בצמחים; פטריית טְרִיכוֹדֶרְמָה – מגנה על הצמח מפני פטריות אחרות שגורמות מחלות בשורשים; שלשולים – מסייעים בפירוק החומר האורגני, מאווררים ומטייבים את הקרקע (ראו קטע הרחבה).

תשובות לשאלות – סחיפת קרקעות

(עמ' 103 בספר לתלמיד)

1. הקרקע יכולה להישאר במקום שבו היא נמצאת אלפי שנים. אולם כאשר היא חשופה מצמחים, היא יכולה להיסחף ממקום למקום באמצעות רוחות ומים. כאשר הקרקע נסחפת

נשאים רק הסלעים שהיו מתחתיה, ואלה אינם מתאימים לעיבוד חקלאי. צמחים שגדלים על הקרקע שומרים עליה מפני סחיפה; העלים שנושרים מן הצמחים ומצטברים על הקרקע, מונעים את הסחיפה של הקרקע. השורשים שבתוך הקרקע נאחזים בחלקיקי הקרקע, וכך הם "מצמידים" את הקרקע למקומה. קרקע ללא צמחים נסחפת ביתר קלות, ולכן תהליכים שגורמים להריסת הצומח מגבירים את הסחיפה. תהליכים כאלה הם, למשל, כריתת יערות ורעייה של צאן ובקר. הצאן והבקר אוכלים את הצמחים עד שלעתים הקרקע נשאת קירחת מצמחייה.

2. יש כמה דרכים לצמצם סחיפה של קרקעות, ביניהם: (א) אפשר להפחית את הכריתה של יערות; (ב) אפשר לווסת ולבקר את הרעייה של הצאן והבקר; (ג) בשטחים שבהם הצומח כבר נהרס, אפשר לטעת מחדש עצים או לשתול צמחים אחרים; (ד) אפשר להשתמש בחיפוי קרקע, כלומר: לכסות את הקרקע בחומרים שונים, כגון: חצץ, יריעות פלסטיק וקש. חומרי החיפוי שומרים את הקרקע במקומה; (ה) במדרונות, אפשר לבנות טרסות (מדרגות). הטרסות מאטות את המהירות של זרימת המים במדרונות ומונעות סחף.

תשובות לשאלות – זיהום קרקעות

(עמ' 105 בספר לתלמיד)

1. יש בעולם שטחים נרחבים של קרקעות שיוצאים מכלל שימוש בגלל זיהום. אחד הגורמים העיקריים לזיהום קרקעות הוא השימוש החקלאי בחומרים רעילים, בעיקר בחומרי הדברה. חומרי הדברה אמורים לפגוע ביצורים שמזיקים לגידולים החקלאיים. ואולם, חלק מחומרי הדברה נשאר בקרקע ופוגע גם ביצורים שאינם מזיקים, ואפילו ביצורים שמועילים לגידולים. חומרים רעילים אחרים שמזהמים את הקרקע הם חומרי דלק. חומרי הדלק מגיעים אל הקרקע בעיקר כאשר הם דולפים או נפלטים מתוך מכלי דלק וצינורות. גם מתוך מזבלות נשטפים חומרים רעילים. בתוך הקרקע החומרים האלה מרעילים את כל היצורים החיים. הפגיעה ביצורי הקרקע פוגעת ביצירת התלכידים, ביצירת הרקבובית ובכמות של היסודות המינרליים שזמינים לצמחים.

2. אפשר לצמצם את זיהום הקרקעות על ידי הפחתת השימוש בחומרים רעילים בחקלאות והגברת השימוש בתחליפים שאינם מזהמים. אפשר גם להשתמש באמצעי זהירות שונים בעת ההובלה של חומרי דלק ולהקטין את מספר הדליפות. גם במזבלות אפשר למנוע שטיפה של חומרים רעילים לקרקע על ידי איטום קרקעית המזבלות וקבירת החומרים המסוכנים במכלים אטומים.

תשובות לשאלות

(עמ' 105 בספר לתלמיד)

1. הסכנה של המלחת הקרקע בישראל גבוהה יותר, כנראה, מאשר באנגליה, מכיוון שבישראל התאדות המים מן הקרקע גדולה יותר ולכן יש יותר הצטברות של מלחים. בישראל גם יורדים פחות גשמים שיכולים לשטוף את המלחים שמצטברים בקרקע אל השכבות העמוקות.

2. בעיקרון, בטמפרטורה גבוהה יש סבירות גבוהה יחסית של המלחה, מכיוון שיש יותר התאדות של מים ולכן גם הצטברות המלחים מרובה יותר.

3. דחיקת המלחים לעומק הקרקע דורשת שימוש בכמויות גדולות של מים (שאינם תמיד זמינים), והיא גם עלולה לגרום לחדירה של מלחים אל מי התהום.

5. א. חיפוי קרקע הוא כיסוי הקרקע בחומרים אורגניים או בחומרים אנאורגניים (חיפוי באנגלית Mulching או Composting Sheet).

ב. יש כמה יתרונות לחיפוי קרקע: צמצום סחיפת הקרקע; הקטנת התאדות המים מפני הקרקע ועל ידי כך שמירת הרטיבות בקרקע; הורדת הטמפרטורה של הקרקע (ובאמצעות קרות – שמירה על טמפרטורת קרקע גבוהה יחסית, בזמן כפור); מניעת קרינה ישירה שפוגעת במבנה הקרקע ומגבירה את ההתאדות; יצירת תנאי גידול נוחים עבור יצורונים וחרקים בקרקע ועל ידי כך הגברת מחזור החומר האורגני בקרקע; מניעת הנביטה של עשבים בלתי רצויים.

כיום החיפוי משמש במקרים רבים גם לנוי.

ג. חומרי חיפוי אורגניים הם, למשל: עשבים טריים או יבשים, עלים, דשא קצור, קש, שבבי עץ ושאריות אחרות של צמחים. חומרי חיפוי אנאורגניים הם, למשל: אבנים, חצץ, חרסים, שברי צדפים, שברי רעפים ויריעות פלסטיק.

ד. שני יתרונות עיקריים יש לחיפוי האורגני, בהשוואה לחיפוי האנאורגני: (א) הוא מעשיר את הקרקע בחומרים אורגניים ובמינרלים, כלומר, הוא מהווה גם חומר דשן; (ב) הוא מוצלח יותר ביצירת תנאי טמפרטורה נוחים (לעומת החיפוי האנאורגני שמעלה את טמפרטורת הקרקע ביום). אחד החסרונות של החיפוי האורגני הוא העובדה שהוא מתכלה ויש לחדש אותו כל הזמן, כדי לשמור על שכבה בעלת עובי קבוע, או להחליפו כל כמה שנים (חיפוי אנאורגני אינו מתבלה). החיפוי האורגני גם פחות יעיל במניעת ההתפתחות של עשבים בלתי רצויים, בהשוואה לחיפוי האנאורגני. (מאמרים נוספים על חיפוי אורגני, ראו ברשימת האתרים המומלצים)

תשובות לשאלות

(עמ' 108-109 בספר לתלמיד)

1. **כבול** – מורכב משרידי צמחים ששקעו בביצות, והתפרקו באופן חלקי בתהליך הדרגתי ללא חמצן; הכבול הוא חומר קל משקל ונקבובי מאוד, ולכן הוא בעל כושר אחזקת מים גבוה ורמת אוורור גבוהה. עם זאת, קשה מאוד להרטיב אותו מחדש, לאחר שהוא מתייבש. הכבול עלול לשאת גורמי מחלות של צמחים, ולכן יש לחטא אותו לפני השימוש בו (למשל בקיטור).

טוף – עשוי מחומר וולקני; שומר על יציבות המבנה שלו במשך שנים רבות. אינו מכיל חומר אורגני, אינו מתפרק ואינו מתהדק. הטוף נקבובי מאוד. יש לו יחס מים-אוויר מיטבי, והוא נקי מזרעי עשבים.

מצע קוקוס – מקורו בשאריות של תעשיית החבלים מקליפות אגוזי קוקוס; למרות העובדה שהוא עשוי מחומר אורגני, הוא עמיד ברובו לפירוק מיקרוביאלי, ולכן הוא עמיד לאורך שנים וניתן לעשות בו שימוש חוזר. למצע הקוקוס יש כושר אחזקת מים גבוה ורמת אוורור גבוהה. מצע קוקוס הוא בעל משקל נמוך, הוא דחיס ונוח מאוד לעבודה ולשינוע. ואולם, בגלל משקלו הנמוך, אם רוצים להשתמש בו בשביל צמחים בעלי נוף גדול שגדלים בעציצים, יש לערבב אותו עם מצע כבד (למשל טוף), כדי לעגן את הצמחים בעציצים. לאחר שמצע הקוקוס מתייבש ניתן להרטיבו מחדש בקלות, יחסית. הוא נקי ממחלות, ממזיקים ומנמטודות וגם מזרעים של עשבים רעים, אך הוא מכיל ריכוז נמוך יחסית של חנקן, ולכן נדרשת תוספת דשן חנקני למצע כבר בראשית הגידול.

פרלייט – מקורו בחומר וולקני תת-ימי; הפרלייט הוא מצע תעשייתי (דומה לחצץ לבן) שמשמש לאוורור תערובות אדמה. הפרלייט נקבובי ובעל כושר גבוה של אחזקת מים והולכת מים, ואוורור מצוין. הפרלייט נוצר בטמפרטורה של כ-900 מעלות צלזיוס, ולכן הוא סטרילי ואינו נושא מחלות. כמו כן, הוא קל משקל ונוח לטיפול.

2. ג. שאלת חקר מתאימה יכולה להיות "כיצד ישפיע הגידול במצעים שונים על ההתפתחות של שתילי חסה?"

ד. הגורם המושפע בניסוי יהיה קצב ההתפתחות של שתילי החסה. הגורם המשפיע יהיה סוג מצע הגידול.

ה. בניסוי יהיו 5 טיפולים: שתילי חסה במצע טוף; שתילי חסה במצע קומפוסט; שתילי חסה במצע כבול; שתילי חסה במצע חול;

ו. טיפול ביקורת – שתילי חסה בקרקע מן החלקה של החקלאי.

ז. בכל טיפול צריך יהיה לעקוב אחר התפתחות שתילי החסה, למשל: למדוד מדי שבוע את גובה השתילים.

עבודה 10: השוואה בין קרקע חולית לקרקע חרסיתית

(עמ' 96-98 בספר לתלמיד)

תוצאות צפויות

המאפיינים של קרקע חולית ושל קרקע חרסיתית

הקרקע		הבדיקה
חולית	חרסיתית	
גדול	קטן	גודל החלקיקים
גבוהה	נמוכה	מהירות חלחול המים
נמוך	גבוה	כושר החזקת המים
נמוך	גבוה	כושר היצמדות החלקיקים
מועטה	רבה	היאטמות בתגובה להרטבה

תשובות לשאלות

1. כאשר השכבה העליונה של הקרקע נאטמת כתוצאה מהרטבה, המים אינם יכולים לחלחל לשכבות עמוקות יותר וזה עשוי לפגוע באספקת המים לשורשים העמוקים.
2. חלקיקי הקרקע החרסיתית הרטובה מתרחבים ונצמדים זה לזה, ולכן כאשר דורכים על קרקע חרסיתית רטובה, או כאשר נוסעים עליה בטרקטור היא תהיה הדוקה ואטומה יותר מאשר קרקע חולית. יש המעריכים כי אובדן היבולים הנובע מהידוק הקרקע על ידי כלים חקלאיים כבדים הוא בשיעור של 10-25%. הידוק הקרקע הורס את המבנה התלכדי של הקרקע ולכן הוא משבש את מאזן הלחות והאוויר בקרקע ומפריע לקיומם של אורגניזמים שוכני קרקע. במחקרים שונים התברר, שיש מקומות שבהם הושפעה הקרקע מלחץ גלגלי רכבים עד לעומק של עשרות סנטימטרים. השכבות שנדחסו, כתוצאה מלחץ הגלגלים, לא אפשרו למים לחדור דרכן, ולכן זרמו המים על פני הקרקע והאיצו את תהליכי סחיפת הקרקע. תהליכי הסחיפה גרמו לאיבוד כמות גדולה של קרקע ושל מינרלים, וכתוצאה מכך לתגובת שרשרת שכללה הרס בתי גידול של צומח וחי, שהיו תלויים ביציבות הקרקע. תופעה זאת היא אחת הסיבות שבשמורות טבע בארץ ובעולם לא מתירים נסיעה חופשית של ג'יפים וטרקטורונים בשטח, ומקפידים על נסיעה בשבילים מסומנים. באופן כזה ההפרעה הנגרמת לבתי הגידול הטבעיים מוגבלת לנתיבים מצומצמים בלבד.
3. היתרון העיקרי של קרקע חרסיתית הוא כושר גבוה של אחזקת מים. נוסף לכך, לקרקע חרסיתית יש יחסית, כושר גבוה של ספיחת יונים ולכך יש השפעה חיובית על אספקת המינרלים לצמחים. החסרונות של קרקע חרסיתית הם אוורור לקוי (בעיקר כשהקרקע

רטובה), היאטמות למים בתגובה להרטבה מרובה, קשיים בעיבודים חקלאיים מכניים, וקושי בחדירת שורשים.

היתרונות של קרקע חולית הם אוורור טוב במיוחד (בעיקר כשהקרקע יבשה), נוחיות בעיבודים חקלאיים ואפשרות לחדירת שורשים. החסרונות של קרקע חולית הם חלחול מהיר של מים (כושר אחזקת מים נמוך) וכושר ספיחת יונים נמוך, שעשוי להשפיע לרעה על אספקת המינרלים לצמחים. (עוד על ספיחת היונים, ראו בקטעי ההרחבה)

הרחבה והעמקה

מבנה הקרקע

חלקיקי הקרקע יכולים להיות בודדים או מאוגדים בתלכידים. תלכיד הוא אוסף של חלקיקים שדבוקים זה לזה באמצעות "חומרי דבק". חומרי הדבק שיוצרים את התלכידים הם בעיקר חלקיקי חרסית, רקבובית וגיר. לעיצוב המבנה התלכיד של הקרקע תורמים גם שורשי הצמחים והפעילות של יצורים שונים בקרקע (למשל: השלשולים). השורשים צומחים ומסתעפים מסביב לתלכידים ובתוכם, ויוצרים מארג צפוף ששומר על יציבות התלכידים. היצורים בקרקע מפרישים חומרים אשר תורמים גם כן ליצירת התלכידים.

בין התלכידים מצויים חללים גדולים, יחסית, ודרך החללים האלה מתאפשרת תנועה חופשית של מים ואוויר. התלכידים תורמים אפוא לתכונות הרצויות בקרקע, כמו: אוורור, ניקוז והתאמה לחדירת שורשים. קרקע חולית היא קרקע חסרת מבנה תלכיד; כאשר חול מתייבש הגרגרים נפרדים בקלות זה מזה מכיוון שהם אינם מאורגנים בתלכידים. לעומת זאת, בקרקעות שמכילות חרסית, כגון: קרקעות הטרסה-רוסה בהרי יהודה ובגליל, נוצרים בדרך כלל תלכידים רבים. לכן, בקרקעות האלה, למרות שהן דקות גרגר, האוורור והניקוז טובים. המבנה התלכיד של הקרקע איננו תכונה יציבה והוא מושפע מהרטבה ומהידוק. נסיעה בכלים כבדים (כמו: טרקטורים), בייחוד אם הקרקע רטובה, גורמת להידוק הקרקע ולהרס המבנה התלכיד.

ספיחת היונים

המינרלים, המומסים בתמיסת הקרקע כיונים, נספחים לשטח הפנים של חלקיקי הקרקע. כושרה של הקרקע לספוח יונים תלוי בגודל החלקיקים (בשטח הפנים הכללי שלהם) ובמטענם. ככל ששטח הפנים של חלקיקי הקרקע גדול יותר, כושר ספיחת היונים גבוה יותר. חלקיקי החרסית הם בעלי כושר ספיחה מצוין, מכיוון שהשטח הכללי שלהם גדול והם בעלי מטען חשמלי שלילי עודף. המטענים החשמליים שבשטח הפנים של חלקיקי החרסית מהווים מעין מעטפת המקיפה אותם. גם חלקיקים זעירים אחרים בקרקע, כגון: חלקיקים של חומר אורגני, מצטיינים בתכונות דומות ובכושר ספיחת יונים גבוה. חלקיקי חול, לעומת זאת, הם

בעלי כושר ספיחה נמוך. כושר ספיחת היונים משפיע במידה רבה על תכולת המינרלים הזמינים לצמח.

החמצת קרקעות וגשם חומצי

החמצת הקרקעות היא תהליך שגורם להרס קרקעות חקלאיות. קרקעות חומציות הן קרקעות שה-pH שלהן נמוך, כלומר: קרקעות שיש בהן ריכוז גבוה של יוני מימן. בקרקעות כאלה יש מחסור במינרלים זמינים לצמחים, ועלייה בזמינות של יסודות רעילים, בעיקר אלומיניום. ההתפתחות של הצמחים בקרקעות כאלה נפגעת, ותוך כמה שנים הן עלולות להפוך מקרקעות פוריות לקרקעות שוממות. הדרך המקובלת לתקן מצבים של חומציות בקרקע היא להוסיף גיר או דולומיט לקרקע. הגיר או הדולומיט מעלים את ה-pH בקרקע (מורידים את ריכוז יוני המימן).

קרקעות חומציות נפוצות בעיקר באזורים גשומים, למשל: לאורך קו המשווה. אחד הגורמים שמגבירים את החמצת הקרקעות הוא ה"גשם החומצי". גשם חומצי הוא גשם שמכיל חומצות והוא נוצר כתוצאה מזיהום האוויר. הגורם העיקרי לזיהום הזה הוא שרפה של חומרי דלק בתחנות כוח, בתעשייה ובתחבורה. כל אלה פולטים גזים מזהמים רבים, והגזים האלה גורמים להפיכת הגשם לחומצה. היום קיימים אמצעים טכנולוגיים, למשל: התקנת מסננים בארובות של מפעלי תעשייה ושימוש בדלק דל גופרית, שבאמצעותם אפשר להקטין את תופעת הגשם החומצי.

הצעה לעבודה נוספת

השפעת סוג הקרקע על נביטת זרעים

אפשר לתת לתלמידים לתכנן ולבצע ניסוי שבו ישוו את אחוז הנביטה ואת הקצב שלה (למשל: בזרעי חיטה), בסוגים שונים של קרקעות (למשל: קרקע חרסיתית לעומת קרקע חולית). ניתן לבצע את הניסוי בעצים, וחשוב להקפיד שכל הטיפולים יקבלו אותה כמות של מים.

הצעה לשאלה נוספת

בטבלה שלפניכם רשומים נתונים על גודל השטחים המלוחים העיקריים בישראל ב-1996.

טבלה: השטחים המלוחים העיקריים בישראל ב-1996

האזור	גודל השטח (בדונמים)
עמק עכו	5600
עמק זבולון	100
עמק יבנאל	600

עמק יזרעאל	13300
עמק חרוד	3000
עמק בית שאן	16000
בקעת הירדן	1200
ביצות כברה	1700
חדרה	1300
כיכר סדום	700

א. מה היה סך כל השטח המלוח בישראל ב-1996?

ב. באיזה אזור היו ב-1996 שטחים מלוחים מרובים ביותר?

ג. מה הם הגורמים האפשריים להמלחה?

ד. מדוע ההמלחה מזיקה?

ה. כיצד אפשר להתגבר על בעיות המלחה בקרקע?

סרטי וידיאו

מחזור החומרים בטבע, מתוך הסדרה בלב העיניים, הטלוויזיה החינוכית הישראלית (קוד קלטת 26 – 45); תיאור התהליך הטבעי של מחזור החומרים האורגניים בקרקע באמצעות יצורי הקרקע, והנזק שהאדם גורם כאשר הוא מחדיר לקרקע חומרים רעילים (23 דקות).
צמחים למאכל, מתוך הסדרה בעין חוקרת, הטלוויזיה החינוכית הישראלית (קוד קלטת 02 - 25); המחזור במזון בעולם וחיבתם של הצמחים כמקור מזון; תיאור הגורמים המשפיעים על גדילת צמחים: מים, דשן, אור וטמפרטורה, וכיצד מווסתים את הגורמים האלה על מנת להגדיל את כמות היבול; יש גם התייחסות להשפעה של החקלאות על הסביבה (20 דקות).

סרטונים ברשת

http://www.brainpop.co.il/category_8/subcategory_96/subjects_3031/preview.weml

אנימציה באתר בריינפופ (Brain Pop) בנושא הקרקע (השימוש באתר כרוך בתשלום).

אתרים ברשת

<http://he.wikipedia.org/wiki/%D7%A7%D7%A8%D7%A7%D7%A2>

הסבר על תכונות הקרקע וסוגי קרקעות בישראל.

http://school.discovery.com/schooladventures/soil/soil_safari.html

מסע וירטואלי בתוך הקרקע; לתלמידים דוברי אנגלית או בליווי תרגום.

<http://www.blm.gov/nstc/soil/Kids>

<http://www.blm.gov/nstc/soil/index.html>

http://soils.usda.gov/sqi/concepts/soil_biology/soil_food_web.html

מאמרים למורה ופעילויות לתלמיד בנושא הביולוגיה של הקרקע (אנגלית).

http://www.gardening.org.il/articles/art_hipuum.html

מידע בנושא חיפוי קרקע.

<http://www.ginatnoy.co.il/art/hipuy.html>

מאמר בנושא חיפוי קרקע; כולל פירוט של סוגי חיפויים ויתרונותיהם.

<http://www.edugal.org.il/hokrim/library/ma145.htm>

מאמר בנושא מצע קוקוס, יתרונותיו וחסרונותיו; כולל תמונות (למורה).

מקורות לקריאה נוספת

האנציקלופדיה לחקלאות, מדעי היסוד א, הוצאת האנציקלופדיה לחקלאות, תשמ"ו, עמ' 399-365; 417-409; 523-499, **תכונות הקרקע, היווצרותה והתפתחותה; בעיות בפוריות קרקעות וקרקעות ארץ ישראל**.

יסודות מדע הקרקע, להב נ' ואחרים, 1999, **תכונות הקרקע והיווצרותה; החומר האורגני בקרקע ופירוקו; המיקרואורגניזמים בקרקע**.

פוטוסינתזה והזנה מינרלית בצמח, משרד החינוך, האגף לתכניות לימודים; האוניברסיטה העברית, הפקולטה לחקלאות, התשס"ב, עמ' 184-237, **תכונות הקרקע, המינרלים בקרקע, בעיות בהזנת צמחים בקרקעות שונות וחקלאות במצעים מנותקים**.

צומח וצמחים, האוניברסיטה הפתוחה, 1992, יחידה 2, עמ' 18-26, **התפתחות הקרקע ותכונותיה**.

צמחים בחקלאות, זיו ע' ורימון ד', משרד החינוך, האגף לתכניות לימודים, 1998, עמ' 73-45; 109-99, **היווצרות הקרקע ותכונותיה; סוגים שונים של קרקעות, בעיות בקרקעות חקלאיות וגידול במצעים מנותקים**.

המים והצמח

(עמ' 111-128 בספר לתלמיד)

הרעיונות המרכזיים

1. המים חיוניים לקיומם של הצמחים ויש להם כמה תפקידים חשובים, ביניהם: שמירה על נפח התאים ועל יציבות הצמח, המסת חומרים, הובלת חומרים בצמח, קיום סביבה מתאימה לתגובות כימיות והשתתפות בתהליך ייצור המזון בצמח.
2. כשצמח סובל ממחסור במים, כמות המים בתאים יורדת והוא כומש. אם המחסור במים מתמשך, ההתפתחות של הצמח נפגעת והוא עלול למות.
3. הצמחים קולטים את המים מן הקרקע באמצעות יונקות השורש שנמצאות בקצות השורשים. רוב המים שהצמחים קולטים, הם מאבדים בדיות דרך הפיוניות שבעלים.
4. במזג אוויר חם ויבש הצמחים עלולים לכמוש ולכן צריך להשקות אותם. חשוב להשקות במידה נכונה, מכיוון שהשקיה מוגזמת מבזבזת מים והיא עלולה לפגוע בצמחים ובקרקע.
5. אפשר להשקות את הצמחים בהמטרה או בטפטוף. ההשקיה בטפטוף יותר חסכונית במים.
6. המקור העיקרי למי השקיה בישראל הוא מי גשמים שנאגרים כמי תהום ובכנרת.
7. בישראל, בגלל שאין מספיק מילוי מחודש של מאגרי המים ובגלל שיש עליה בצריכת המים נוצר מחסור חמור במים.
8. המחסור במים בישראל מחמיר גם בגלל זיהום והמלחה של מקורות המים.
9. כדי לצמצם את המחסור במים צריך לחסוך במים, לנקוט בפעולות שיצמצמו את זיהום והמלחת המים ולהגדיל את ייצור המים החלופיים.
10. בחקלאות, צריך לחסוך במי השקיה ולהשתמש במקורות מים חלופיים, כגון: מי קולחים, מי שיטפונות, מים מליחים ומים מותפלים.

המושגים המרכזיים

כמישה; יונקות השורש; פיוניות; דיות; השקיה פתוחה; השקיה סגורה; המטרה; טפטוף; ממטרה; מתז; טפטפות; מי תהום; מי הכנרת; מים שפירים; מי קולחים; מי שיטפונות; מים מליחים; מים מותפלים; התפלה.

תשובות לשאלות

תשובות לשאלות בקטע הרחבה

(עמ' 113 בספר לתלמיד)

1. הפקת מים מצמחים, בדרך שמתוארת בקטע, עדיפה על אכילת הצמחים עצמם משום שכך מתקבלים מים טהורים ללא מומסים שעלולים להיות רעילים.
2. גורמי אקלים, כמו: טמפרטורה, לחות ורוח, יכולים להשפיע על כמות המים שאפשר להפיק בשיטה הזאת, מכיוון שהם משפיעים על הדיות. גם כמות הצמחים שנאספים ומידת בשרניותם יכולות להשפיע.

תשובות לשאלות בקטע הרחבה

(עמ' 114 בספר לתלמיד)

התאמות צמחים לתנאי יובש יכולות להיות בכמה דרכים.

- "בריחה" מתנאי היובש – צמחים חד-שנתיים מתים לקראת העונה היבשה ומשאירים אחריהם זרעים ששורדים את התקופה היבשה במצב של תרדמה. בגאופיטים (שהם צמחים רב שנתיים) החלק העל-קרקעי מתייבש לקראת העונה היבשה, ובקרקע נותר איבר התחדשות ששורד את הקיץ במצב של תרדמה.
- סגירת הפיוניות ביום ופתיחתן בלילה.
- עלים גילדניים – מכוסים רקמות קשיחות ושעווה שמקטינים את הדיות.
- עלים וגבעולים בשרניים – שאוגרים מים מעונת הגשמים.
- גבעולים רותמיים וירוקים – מרבית הפוטוסינתזה מתרחשת בהם במקום בעלים.
- פיוניות שקועות בפטוטרות העלים או בגבעולים – הן אינן חשופות כלפי חוץ ולכן לחות האוויר סביבן נשמרת ושיעור הדיות מהן נמוך.
- שורשים ארוכים – מעמיקים ומסועפים לרוחב.

תשובות לשאלות

(עמ' 115 בספר לתלמיד)

1. הצמח איבד כ-99% מהמים שהוא קלט, בעיקר בדיות. רק כ-1% מהמים שהוא קלט נשארו בצמח, והם שימשו לפוטוסינתזה, להובלה והמסת חומרים ולייצוב הצמח והתאים.
2. כאשר קוטפים פרחים מנתקים אותם מהספקת המים. הפרחים הקטופים ממשיכים לאבד מים בדיות, ומכיוון שאינם קולטים מים, מהר מאוד נוצר בהם מחסור במים, והדבר בא לידי ביטוי בכמישהו. אם שומרים את גבעולי הפרחים הקטופים במים, הם יכולים לקלוט מים דרך הגבעולים וכך נמנעת (או לפחות נדחית) הכמישהו. חידוש החתך בקצה הגבעול, לפני הכנסתו למים, מבטיח חדירה של מים לתוך הגבעול, וכך אפשר להאט את

הכמישה. גם קירור הפרחים מאט את הכמישה, משום שהוא מקטין את שיעור הדיות, וכך גם הסרת חלק מן העלים.

תשובות לשאלות

(עמ' 117-118 בספר לתלמיד)

1. א. כאשר משקים בהמטרה, טיפות המים מתפזרות בכל השטח, גם בין צמחי החקלאות. עשבים רעים שגדלים בין צמחי החקלאות יכולים לנצל את המים שמגיעים אליהם ולהתפתח. ב. כשמשקים בטפטפות המים מכוונים רק לאזור בית השורשים של צמחי החקלאות ואינם מתפזרים בין הצמחים.

2. היתרון העיקרי של השקיה בטפטוף, באזורים שחונים, הוא חיסכון במים!

3. לפי תוצאות הניסוי, השקיה תכופה הניבה יותר יבול מאשר השקיה יומית, למרות העובדה שהצמחים בשני הטיפולים קיבלו, בסך הכל, אותה כמות מים. ייתכן שההסבר לכך הוא שהצמחים מסוגלים לנצל ביעילות רבה יותר מנות קטנות של מים, שמפוזרות במהלך היום, בהשוואה לכמות מים גדולה שניתנת במנה אחת. כשניתנת מנה אחת גדולה של מים, הצמחים מצליחים לקלוט רק חלק קטן מן המים, והיתרה מחלחלת החוצה מן המכל שבו הצמחים גדלים (ראו קטע הרחבה בנושא תכיפות ההשקיה).

לפי תוצאות הניסוי, היבול המרבי היה במצע פרלייט שניתנה לו השקיה תכופה. ואולם, כדי להחליט שבתנאים כאלה הגידול הוא הרווחי ביותר, צריך להביא בחשבון נתונים על עלויות המצעים השונים ועלויות שיטות ההשקיה השונות.

תשובות לשאלות

(עמ' 125-127 בספר לתלמיד)

1. לפי הנתונים בשאלה, כל עץ הדר בשפלת החוף צריך לקבל במשך שנה 35 מ"ק מים $(\frac{600+800}{40})$, שהם 35,000 ליטר. בממוצע ליום, כל עץ הדר צריך לקבל כ-96 ליטר מים $(\frac{35,000}{365})$. אם בן אדם שותה ביום כ-8 כוסות מים, הוא צורך כ-1.5 ליטר מים ביום, שזה בערך 1.5% מהצריכה של עץ הדר ביום. הפרדסים אינם גידול חסכני במים ולכן, על פניו, אינם נראים כגידול המתאים ביותר למדינה עם משבר מים כשלנו. עם זאת, חשוב לציין שענף הפרדסנות בישראל הצטמצם לא בגלל המחסור במים, אלא בעיקר בגלל תחרות עם ארצות שבהן כוח העבודה זול בהרבה. את הפרדסים ניתן להשקות במי קולחין וכך להתגבר על בעיית ההשקיה המרובה הדרושה.

2. היתרונות של השקיה במי קולחים הם חיסכון במים שפירים ופתרון בעיות של איכות הסביבה שקשורות בטיפול בשפכים. החיסרון הוא הסיכון של זיהום הקרקע ומי התהום והמלחתם.

3. לפי תקנים של משרד החקלאות אפשר להשקות גידולים תעשייתיים, כמו כותנה, במים מטוהרים באיכות ירודה; גידולי מרעה ומספוא או פרחים, אפשר להשקות במים מאיכות בינונית; גידולי עצים שפירותיהם נאכלים בלי הקליפה, כמו פרי הדר, אפשר להשקות במים מטוהרים מאיכות טובה. לעומת זאת, ירקות שגדלים בשיחים סמוך לקרקע, כמו: עגבניות, מלפפונים ופלפל, יש להשקות במים מטוהרים משובחים. הקו המנחה הוא הסיכוי של חדירת חומרים שאינם בריאים לגופם של בני האדם ובעלי החיים. בכל מקרה, המים המוזרמים לחקלאות עוברים בדיקות חוזרות ונשנות, כדי לוודא שלא נמצאים בהם מחוללי מחלות או מינרלים רעילים, שעלולים להזיק לבריאות האדם.
5. א. "מים אחרים" כוללים מי שיטפונות, מים מליחים ומים מותפלים.
 ב. בכל אחת מהשנים השתמשו במים שפירים בכמות הרבה ביותר.
 ג. ב"מים אחרים" השתמשו בכמות הקטנה ביותר.
- ד+ה. אחוז המים השפירים הלך וירד במהלך השנים ואילו אחוז מקורות המים החלופיים הלך ועלה. הסיבות לכך הן עליית מחירי המים השפירים, הקטנת הקצאת המים השפירים לחקלאות ועליה בזמינות מקורות המים החלופיים.
6. א. לפי הנתונים בגרף, ב-1983 נצרכו בישראל בסך הכול כ-1850 מיליון מ"ק מים, ב-1995 נצרכו כ-1980 מיליון מ"ק, וב-2007 – 2000 מיליון מ"ק.
 ב. כמות המים שנצרכה בישראל עלתה במשך השנים.
 ג. בכל אחת מן השנים, נוצלו הכי הרבה מים לחקלאות והכי פחות מים נוצלו לתעשייה.
 ה. התצרוכת הביתית עלתה במשך השנים במידה הרבה ביותר, בגלל גידול האוכלוסייה והעלייה ברמת החיים.
 ו. צריכת המים בחקלאות ירדה במשך השנים בגלל הקטנת הקצאת המים לחקלאות ועליית מחיריהם. כתוצאה מכך צומצמו השטחים החקלאיים, התרחש מעבר לגידולים חסכניים ועלה השימוש באמצעים לחיסכון במים.
7. א. אפשר לחסוך במים בגינות על ידי השקיה בערב ושימוש באביזרי בקרה בהשקיה (למשל, השקיה ממוחשבת). חשוב להשקות בהתאם לצורכי הצמחים ולא יותר מכך; להשקות רק כשאזור השורשים מתייבש ולא בתגובה לכל התייבשות של פני הקרקע. נוסף לכך, חשוב להיות עירניים לדליפות ולטפל במקרים כאלה בהקדם.
 ב. הורדת מים בשירותים צורכת מים בכמות הרבה ביותר בבית (40% מהצריכה המשפחתית).
 ג. אפשר לחסוך במים בשירותים על ידי התקנת מכל הדחה דו-כמותי.
 ד. כדי לחסוך במים בבית רצוי להשתמש גם באביזרים, כגון: חסכמים, ראש מקלחת מווסת, וסת ספיקה ווסת לחץ; חשוב לסגור את ברז המים בעת שטיפת כלים וצחצוח שיניים; את שטיפת המכונת יש לעשות בעזרת דלי (ולא צינור); חשוב להתאים את

תכנית השטיפה במכונת הכביסה לכמות הכביסה; צריך להיות עירנים לדליפות ולדאוג לתיקון מידי של כל דליפה.

8.א. כמות המים בכינרת אינה קבועה, והיא משתנה בהתאם לכמות המים שנכנסת אל הכינרת ולכמות המים שיוצאת ממנה. כמות המים שנכנסת תלויה בעיקר בכמות הגשמים. כמות המים שיוצאת תלויה בכמות השאיבה של המים ובמידת ההתאדות. כמות המים בכינרת קובעת את גובה המים בה. הגובה של מי הכינרת נקרא "מפלס הכנרת".

ב. הקו האדום העליון הוא בגובה כ-209 מטרים מתחת לפני הים. אם מי הכינרת מגיעים לקו האדום העליון (וזוה קורה לעתים נדירות), פותחים את סכר דגניה, שנמצא בדרום הכינרת, ומזרימים את עודפי המים אל הירדן הדרומי.

ג. הקו האדום התחתון הוא בגובה כ-215 מטרים מתחת לפני הים. הקו האדום התחתון של הכינרת נקבע כמפלס הנמוך ביותר של מי הכינרת שמתחתיו עלול להיגרם נזק כבד לאיכות המים ולמערכות החיים בכינרת. כאשר מפלס הכינרת מגיע לקו האדום התחתון, מפסיקים את שאיבת המים מהכינרת.

הרחבה והעמקה

מים זמינים ומים בלתי זמינים בקרקע

את המים בקרקע אפשר לחלק למים בלתי זמינים לצמח ולמים זמינים לצמח. מים שמחלחלים לעומק הם מים בלתי זמינים לצמח. גם המים שאחוזים לחלקיקי הקרקע בכוחות גדולים כל כך שאינם מאפשרים יניקה על ידי השורשים הם מים בלתי זמינים. המים הזמינים לצמח הם מים שנמצאים בשכבות הקרקע העליונות, עד לעומק צמיחת השורשים. המים הזמינים נמצאים בחללים שבין חלקיקי הקרקע או שהם יכולים להתנתק מחלקיקי הקרקע בתגובה לכוח יניקה שמפעילות עליהם יונקות השורש. כמות המים הזמינים לצמח בקרקע תלויה בכמה גורמים.

כמות המשקעים – מי הגשמים, הברד והשלג מחלחלים לתוך הקרקע ושם הם יכולים להיות זמינים לצמח.

סוג הקרקע – בקרקעות חוליות, בעלות חלקיקים גדולים יחסית, כושר החזקת המים נמוך, יחסית. בקרקעות כאלה, רוב המים מחלחלים לעומק רב, מתחת לעומק השורשים, ולכן יש מעט מים זמינים לצמח. בקרקעות חרסיתיות, לעומת זאת, מעט מים מחלחלים לעומק, כושר החזקת המים גבוה יותר, ולכן יש יותר מים זמינים. כמות המים הזמינים בקרקע תלויה גם במבנה הקרקע (כמות התלכידים) ובכמות הרקבובית בקרקע. ככל שיש יותר תלכידים ויותר רקבובית בקרקע, כך יש יותר מים זמינים.

המליחות בקרקע – כמות גדולה של מלחים בקרקע מפריעה לצמח לקלוט מים, ולכן הוא יכול לקלוט רק חלק קטן מן המים שיש בקרקע. בקרקע מלוחה יש מעט מים זמינים לצמח. **גורמי אקלים אחרים** – חלק ממי הגשמים שמגיעים לקרקע מתאדים לאוויר. תנאים של חום, אוויר יבש ורוח מגבירים את התאדות המים מן הקרקע. לכן, בתנאים כאלה יש בקרקע פחות מים זמינים לצמח.

גורמים שמשפיעים על שיעור הדיות

יש כמה גורמים שמשפיעים על שיעור איבוד המים בתהליך הדיות; חלקם גורמים סביבתיים וחלקם קשורים בצמח עצמו.

הטמפרטורה – ככל שטמפרטורת הסביבה עולה, עולה שיעור הדיות. עלייה של 10°C מכפילה את שיעור ההתאדות של המים.

הלחות היחסית – ככל שהלחות היחסית של האוויר קטנה יותר, כך גוברת התאדות המים מן העלה, בהתאם להפרש בין ריכוז אדי המים בתוך העלה ומחוץ לו. כאשר הלחות היחסית באוויר היא 100%, שיעור הדיות נמוך מאוד עד להפסקה מוחלטת של הדיות.

הרוח – כאשר יש משב רוח, מתגבר שיעור הדיות; הרוח מפזרת את אדי המים מעל פני העלה ומאפשרת לכמות נוספת של מים להתאדות מן העלה.

מבנה הצמח – ככל ששטח הפנים של עלי הצמח גדול יותר ביחס לנפח הצמח, כך איבוד המים מן הצמח רב יותר. גם למבנה העלה יש השפעה. צמחים שגדלים באזור יבש מתאפיינים בדרך כלל במבנים ייחודיים, כמו: קוטיקולה עבה, דפנות עבות של תאים, פיוניות שקועות וכיסויי שערות. המבנים האלה מפחיתים את שיעור הדיות.

פתיחה וסגירה של הפיוניות - למנגנון הפתיחה והסגירה של הפיוניות יש השפעה מכרעת על שיעור הדיות. המנגנון הזה מושפע מגורמים רבים: אור, ריכוז CO_2 , טמפרטורה, לחות יחסית של האוויר, עקת יובש וכן חומרי צמיחה (הורמונים). הפיוניות רגישות מאוד לאיבוד מים מן העלים וגם למחסור מים בקרקע. כאשר כמות המים בעלה יורדת מתחת לערך קריטי, יש צורך לחסוך במים, ומופעלת מערכת חירום שסוגרת את הפיוניות. לא ידוע בבירור כיצד "חש" הצמח את הירידה בכמות המים בעלה, או את המחסור במים בקרקע, אבל התברר כי החומצה האבציסית (ABA) מקשרת בין מנגנוני החישה למנגנון התגובה. הוכח כי החומצה האבציסית מיוצרת בעת עקת יובש, וגורמת לסגירת הפיוניות.

ברוב מיני הצמחים, הפיוניות נפתחות באור ונסגרות בחושך, ואילו אצל צמחים שמותאמים במיוחד לתנאי יובש, למשל: צמחים ממשפחת הקקטוסים והטבוריתיים, הפיוניות נפתחות בלילה ונסגרות ביום.

הפיוניות נוטות להיפתח בעת שריכוז ה- CO_2 בעלה יורד אל מתחת לסף קריטי, והן נסגרות כאשר ריכוז ה- CO_2 בעלה גבוה. בתנאים של עקת יובש, או כאשר הטמפרטורות גבוהות, גדל שיעור הנשימה בתאים, וכתוצאה מכך עולה ריכוז ה- CO_2 בחללי האוויר של העלה,

והפיוניות נסגרות. לתגובה הזאת יש חשיבות מיוחדת כאמצעי לשמירת מים ברקמות הצמח, בתנאים של עקת יובש וחום.

התאמתו של צמח לסביבה נתונה מותנית ביכולת הפיוניות שלו להגיב לכלל הגורמים בצורה שתבטיח שמירה על מאזן מים תקין, מבלי לפגוע בשיעור הפוטוסינתזה.

כמות השקיה

השקיה נכונה היא השקיה שמשפרת את היבול, חוסכת במים ושומרת על הקרקע. מחסור במים פוגע ביבולים, אך גם עודף מים אינו רצוי. עודף מים בקרקע גורם להתפתחות מחלות שפוגעות בצמחים, והוא גורם גם למחסור בחמצן שנחוץ לנשימת השורשים. השקיה מוגזמת גם מבזבזת מים ועלולה לפגוע במבנה הקרקע. כמות המים שנדרשת להשקיה נכונה תלויה בכמה גורמים: בכמות המים בקרקע, באקלים ובצרכי הצמח.

כמות המים בקרקע – כמות המים בקרקע תלויה בכמות הגשמים, בסוג הקרקע ובתנאי האקלים. החקלאים משתמשים במכשירי מדידה כדי להעריך כמה מים יש בקרקע. ככל שהקרקע יבשה יותר, כך צריך להשקות בכמות גדולה יותר של מים.

האקלים – השדה מאבד מים לאוויר גם בהתאדות ישירה מן הקרקע וגם בדיות דרך הצמחים. כמות המים שיש להוסיף בהשקיה היא כמות המים שהולכת לאיבוד בשני התהליכים האלה. לכן, החקלאים מודדים בשדה את מידת ההתאדות היומית, באידי ישיר מן הקרקע ובדיות, וקובעים לפיה את מנת ההשקיה הדרושה. תנאי סביבה, כמו: לחות יחסית של האוויר, עננות, מהירות הרוח וטמפרטורה, משפיעים על התאדות המים מן השדה.

צרכי הצמח – לא כל הצמחים צורכים אותה כמות של מים ולכן צריך להתאים את כמות המים לצרכים של הצמחים. את כמות המים צריך גם להתאים לשלב ההתפתחות של הצמחים, מכיוון שקליטת המים יכולה להיות שונה בכל שלב משלבי ההתפתחות של הצמח. כך למשל, לצמחים רבים דרושה כמות גדולה יחסית של מים בשלב שבו הפירות מתפתחים.

תכיפות השקיה

כאשר משקים בכמות גדולה של מים בבת אחת, חלק מן המים מחלחלים לעומק, לפני שהשורשים מספיקים לקלוט אותם. המים האלה הופכים להיות בלתי זמינים לצמח וכך, חלק ממי ההשקיה אינו מנוצל. כדי לצמצם את התופעה הזאת חשוב לתת את כמות המים שהצמח זקוק לה בכמה השקיות. מרווח הזמן הרצוי בין השקיה להשקיה וכמות המים בכל השקיה תלויים בשני גורמים עיקריים: ביכולת של הצמח לנצל את המים ובסוג הקרקע.

היכולת של הצמח לנצל את המים – צמחים בעלי מערכת שורשים מסועפת ועמוקה יכולים לקלוט כמות גדולה יחסית של מים בבת אחת. לכן, בגידולים כאלה, למשל בעצי הדר, אפשר לתת מעט השקיות, כשבכל השקיה יש כמות גדולה יחסית של מים, ובין ההשקיות יש רווח

גדול של זמן. לעומת זאת, בצמחים בעלי מערכת שורשים שטחית ומצומצמת, כמו תפוחי אדמה, צריך להשקות לעתים תכופות ובכל השקיה לתת מעט מים.

סוג הקרקע – בקרקעות שבהן יש חלחול מהיר של מים, למשל בקרקעות חוליות, צריך להשקות בכמויות קטנות של מים ולהשקות לעתים תכופות. לעומת זאת, בקרקעות שבהן יש מעט חלחול של מים, למשל בקרקעות חרסיתיות, אפשר לרווח בין ההשקיות ולתת בכל השקיה מנות גדולות של מים.

המלחת מי התהום

המלחת מי התהום מושפעת מכמה גורמים.

שאיבת יתר – מאגרי מי התהום מתמלאים במים שפירים שמקורם במי הגשמים. מים שחודרים דרך הסלע ממסים מלחים שנמצאים בסלע, והמלחים מגיעים לתחתית שכבת האקוויפר. מי התהום השפירים קלים יותר והם צפים מעל המים המלוחים. שאיבת מים שפירים מן הבארות, בקצב שעולה על קצב המילוי במי גשמים, גורמת להקטנת שכבת מי התהום (ירידה במפלס מי התהום). במצב כזה, המים המלוחים מתחתית שכבת האקוויפר עולים וגורמים להמלחתן של הבארות.

קרבה אל הים – באקוויפר החוף, מי התהום באים במגע עם מי הים המלוחים. המליחות של מי התהום נמוכה יותר ממליחות מי הים, ולכן מי התהום קלים יותר והם צפים על מי הים. כאשר שואבים שאיבת יתר, כמות מי התהום פוחתת, ומים מלוחים מן הים זורמים מתחת לשכבת מי התהום לכיוון היבשה. המים המלוחים חודרים לבארות שניזונים ממי התהום ולא ניתן לנצל את הבארות האלה (איור ו-12).

בנייה צפופה – הבנייה הצפופה מקטינה את השטח של פני הקרקע שסופגים גשמים. באזור בנוי, המים זורמים ברחובות על בטון ואספלט ונשטפים אל הים, דרך מערכת הביוב. מאגרי מי התהום אינם מתחדשים בקצב הדרוש ורמת המליחות שלהם עולה.

השקיה במי קולחים – במי השפכים המטוהרים, שמשמשים להשקיה, יש כמות גדולה יותר של מלחים, בהשוואה לכמות במים שפירים. השקיית שדות במי קולחים גורמת לחדירה של מלחים אל מי התהום. למעשה, מליחות הקולחין נובעת בראש ובראשונה ממי המקור (למשל מי התהום); אם מליחות מי המקור עולה, גם מליחות הקולחים עולה. למליחות המקורית נוספת המליחות של הביוב העירוני.

מתכות כבדות

אחת הבעיות העיקריות, הנובעות מזיהום על ידי שפכים תעשייתיים, היא רעילותן של מתכות כבדות, המצויות בשפע בשפכים כאלה. מתכות כבדות, כמו: עופרת, כספית, כרום, קדמיום וניקל, הן תוצרים תעשייתיים שכיחים, והם נמצאים, למשל, בסוללות. שימוש נרחב במתכות כבדות נעשה גם בתעשיית הצבע, בחומרי צילום, בדשנים ובחומרי הדברה. המתכות

הכבדות נחשבות לחומרים רעילים ביותר, והן מסוכנות לאדם, לחי ולצומח. רעילותן של המתכות הכבדות נובעת מיכולתן לגרום נזקי חמצון ברקמות, ועל ידי כך לפגוע בשומנים, בחלבונים ובחומצות גרעין. כיום, ידועים כ-400 מיני צמחים בעלי כושר קליטה ועמידות למתכות כבדות. עמידות הצמחים למתכות כבדות מבוססת בעיקר על קשירת המתכות לתרכובות אורגניות או על מידור המתכות בחללית התא. העמידות הזאת מאפשרת לגדל צמחים בקרקע ובמים מזוהמים במתכות כבדות, והצמחים האלה משמשים בעיקר לטיהור הקרקע או לטיהור מים מזוהמים.

בפקולטה לחקלאות, ברחובות, חוקרים פיתחו שימוש בשרך מים, שנקרא אזולה, לטיהור מים מזוהמים במתכות כבדות. האזולה אינה קולטת את המתכות הכבדות, אך הן נספחות אל שטח הפנים שלה. ק"ג אחד של אזולה יכול לספוח 120 גר' עופרת ו-100 גר' קדמיום. האזולה גם יכולה לספוח חומרים רדיואקטיביים, כגון אורניום.

צמחים מטהרים אחרים פותחו באמצעות ההנדסה הגנטית. כך יצרו עצי צפצפה ואורז עמידים לכספית. לצמחים האלה החדירו, באמצעות הנדסה גנטית, גן מחיידק שעמיד לכספית. הגן שהחדירו לצפצפה אחראי להיווצרות אנזים, אשר הופך את הכספית לצורה פחות רעילה. בעצי הצפצפה המהונדסים נוצר האנזים הזה, והכספית שנקלטה הפכה לפחות רעילה.

תפיסות חלופיות

יש תלמידים שסבורים כי המים שנפלטים בדיות הם מים שנוצרו בפוטוסינתזה, ויש גם תלמידים שסבורים כי המים הדרושים לתהליך הפוטוסינתזה נכנסים לצמח דרך הפיוניות, כפי שנכנס הפחמן הדו-חמצני. הנכון הוא שרוב המים שנפלטים מן הצמח בדיות, מגיעים מן הקרקע ורק עוברים דרך הצמח; הם אינם תוצר של תהליך מטבולי. לימוד מאזן המים בצמח (כולל הנתונים הכמותיים) עשוי לסייע בהתמודדות עם התפיסה השגויה הזאת.

בנוסף, יש תלמידים שסבורים כי הפוטוסינתזה גורמת לדיות, או שהדיות גורמת לפוטוסינתזה, או שהדיות היא חלק (שלב) בתהליך הפוטוסינתזה. כדאי לדון עם התלמידים על הקשר בין שני התהליכים ולהדגיש שאין קשר סיבתי ישיר ביניהם. הם מתרחשים במקביל וקיים תנאי משותף להתרחשותם – פיוניות פתוחות.

(ראו: **הוראת הפוטוסינתזה**, אמיר ר', המרכז הישראלי להוראת המדעים ע"ש עמוס דה-שליט, האוניברסיטה העברית בירושלים, 1993, עמ' 62-65; 67-72).

הצעות לעבודות נוספות

כדי להמחיש את עליית המים בצמח, אפשר להכניס גבעולים קטופים של פרחים לבנים (למשל: ציפורן, סייפן או בוגונוויליה) לתוך כוסות שבהן יש תמיסות צבעוניות, למשל: תמיסת

דיו כחול או תמיסת פוקסין בריכוז 0.25% (צבע אדום). אפשר גם להשתמש בצבעי מאכל, אולם דרוש ריכוז גבוה של צבע כדי לקבל תוצאות יפות. תמיסת הצבע עולה בצינורות ההובלה שבגבעול ומשנה את צבע עלי הכותרת. כדי לזרז את התהליך רצוי להצמיא את הצמחים כמה שעות לפני הפעילות, לחדש את החתך בבסיס הגבעול לפני הטבילה בתמיסה הצבעונית, ולחמם את התמיסה.

ניתן לבצע את ההדגמה גם עם עלים של סלרי ולראות את הצבע שמצטבר בצינורות ההובלה בחתך רוחב של הגבעול.

(פרטים נוספים ראו בספר **מערכות ותהליכים באדם, בבעלי חיים ובצמחים**, האוניברסיטה העברית, האגף לתכניות לימודים ומטה מ"מ, 2006, עמ' 297 ועמ' 320)

הצעות לשאלות נוספות

1. מתי קצב הדיות גבוה יותר: כשהקרקע רטובה אך האוויר יבש או כאשר הקרקע רטובה והאוויר לח? הסבירו.
2. ברוב הצמחים יש פיוניות רבות יותר בצד התחתון של העלה. כיצד משפיעה תופעה זו על הדיות?
3. לעתים, אפשר לראות נטיעות חדשות של עצי דקל, שעליהם מכונסים ועטופים בשק. מהי מטרתו של הטיפול הזה?
4. לעתים, אפשר לראות חלקות גידול מוקפות בעצים גבוהים שמשמשים כשוברי רוח. המטרה העיקרית של שוברי הרוח היא למנוע שבירה של הצמחים על ידי הרוח. לשוברי הרוח יכולות להיות גם השפעות אחרות.
 - א. כיצד משפיעים שוברי הרוח על האקלים בחלקה?
 - ב. כיצד הם משפיעים על הדיות בצמחים?
5. בעבר הרחוק הסתפקו החקלאים במי הגשמים, ולא הוסיפו השקיה מלאכותית. חקלאות ללא תוספת השקיה נקראת חקלאות בעל (על שם אל הגשם שנקרא בעל). בחקלאות בעל, הגידולים החקלאים מוגבלים לאזורים שבהם כמות הגשמים מספיקה לגידולם. חקלאות בעל אינה מתאימה לאזורים שחונים שיש בהם מעט גשמים. גם כיום, נהוגה חקלאות בעל במקומות שונים בעולם, בעיקר בגידולי חורף, אך שיטת הגידול העיקרית היא חקלאות שלחין. בחקלאות שלחין, נוסף למי הגשמים משקים את הקרקע גם בהשקיה מלאכותית. החקלאות הזאת נקראת שלחין כי החקלאים בימי קדם היו "שולחים" את המים בתעלות, מן המעיינות אל השדות. חקלאות שלחין מאפשרת לגדל צמחים שדורשים כמות רבה של מים גם בעונות היבשות וגם באזורים שחונים.
 - א. מדוע חקלאות בעל מתאימה בעיקר לגידולי חורף?
 - ב. מדוע עדיף להשתמש בחקלאות בעל כשאפשר?

ג. באיזו שיטה חקלאית משתמשים לגידולי קיץ?
 6. באיזה מהמקרים הבאים אפשר לתת השקיה במרווחים הגדולים ביותר ובכמויות הגדולות ביותר? הסבירו.

- א. צמח בעל מערכת שורשים קטנה בקרקע קלה
- ב. צמח בעל מערכת שורשים גדולה בקרקע קלה
- ג. צמח בעל מערכת שורשים קטנה בקרקע כבדה
- ד. צמח בעל מערכת שורשים גדולה בקרקע כבדה

7. עיינו באתר <http://www.snunit.k12.il/seder/water/save.html>

וענו על השאלות האלה:

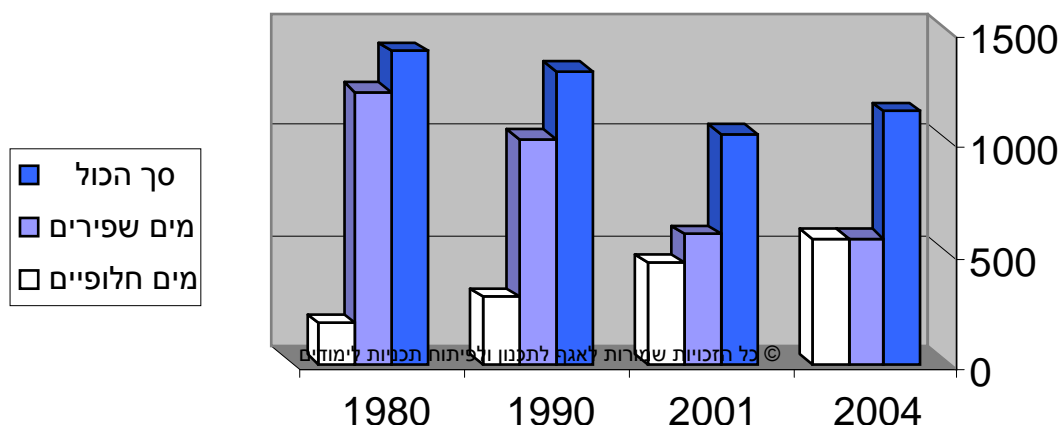
- א. מהו הנושא המרכזי שבו דן המאמר שבאתר?
 - ב. אילו טענות מציג המאמר בעד קיצוץ כמות המים שמפנים לחקלאות?
 - ג. אילו טענות מציג המאמר נגד קיצוץ כמות המים שמפנים לחקלאות?
 - ד. מהי דעתך בנושא זה? הסבר.
7. על סמך הנתונים בטבלה שלפניכם, תארו והסבירו את השינויים בצריכת המים במהלך השנים 1996-2006. (ניתן להשתמש בנתונים שבטבלה על מנת להכין גרף שאותו ינתחו התלמידים.)

צריכת המים בישראל בשנים 1996-2006 (מיליון מ"ק)

2006	2004	2002	2000	1998	1996	
732	712	688	662	671	604	צריכה ביתית
123	113	122	124	129	124	צריכה תעשייתית
610	564	486	408	447	392	צריכה חקלאית של מים ממקורות חלופיים
530	566	535	729	918	892	צריכה חקלאית של מים שפירים

8. התבוננו בגרף שלפניכם וענו:

צריכת המים בישראל בשנים 1980-2004 (מיליון מ"ק)



א. כיצד השתנתה צריכת המים הכוללת בישראל במהלך השנים? מה היה יכול לגרום לשינוי הזה?

ב. השוו בין השתנות צריכת המים השפירים להשתנות צריכת המים החלופיים והסבירו את ההבדלים.

סרט וידיאו

מפעל המים, מתוך הסדרה **בלב העניינים**; הטלוויזיה החינוכית הישראלית (קוד קלטת 27 – 45); סרט על מקורות המים וזמינותם ועל הצורך בחיסכון במים; בסרט יש תיאור של הגורמים לבזבז מים והסבר על האפשרויות לטיהור מים ולחיסכון במים (24 דקות).

סרטונים ברשת

http://www.brainpop.co.il/category_8/subcategory_102/subjects_2858/preview.weml

אנימציה באתר בריינפופ (Brain Pop) בנושא זיהום מים (השימוש באתר כרוך בתשלום).

http://www.brainpop.co.il/category_9/subcategory_362/subjects_2638/preview.weml

אנימציה באתר בריינפופ (Brain Pop) בנושא המים בישראל (השימוש באתר כרוך בתשלום).

<http://www.edugal.org.il/hokrim/concept/mu228.htm>

תהליך התפתחות יונקות השורש בהילוך מהיר (אנגלית).

אתרים ברשת

המים בצמח

<http://science.cet.ac.il/science/transportation/transport6.asp>

מידע ואנימציות בנושא הובלת חומרים (מים, מינרלים וסוכרים) בצמח (למורה ולתלמיד).

<http://science.cet.ac.il/science/transportation/transport9.asp#1>

מעבדה וירטואלית בנושא ריכוז המים בתאי צמחים ובתאי בעלי חיים (למורה ולתלמיד).

<http://science.cet.ac.il/science/transportation/transport7.asp>

מעבדה וירטואלית בנושא הפיזיולוגיה וחילוף הגזים דרכן (למורה ולתלמיד).

http://main/upload/ab/id_diut.html/http://agribio.snunit.k12.il

פעילות לבדיקת ויסות הדיות בצמח בתנאי סביבה שונים, בליווי גיליון אלקטרוני לעיבוד וניתוח התוצאות (למורה).

התאמות לתנאי יובש:

http://www.snunit.k12.il/heb_journals/aretz/296021.html

מאמר בנושא הסתגלות צמחים לתנאי מדבר (למורה).

http://www1.snunit.k12.il/heb_journals/aretz/29704.htm

מאמר בנושא הסתגלות צמחים לתנאי מדבר (חלק ב) (למורה).

<http://motnet.proj.ac.il/scripts/article.asp?pc=858410423&item=498745560&gid=638628929>

הצעה לפעילות בנושא סוקולנטים.

משק המים בישראל:

<http://www.eco-logi.co.il/watlinks.htm>

רשימת קישורים למאמרים בנושא משק המים בישראל.

<http://www.snunit.k12.il/seder/water/problem1.html>

פתרונות בנושא משבר המים בישראל.

http://www.amalnet.k12.il/meida/water/maamar.asp?cur=1801&lv=bb&main_id=501&code_name=@A_maim0002

מאמר בנושא הקצאת המים וצריכתם בישראל.

<http://www.sviva.gov.il/bin/en.jsp?enPage=BlankPage&x=1&enDisplay=view&enDisp&What=Zone&enDispWho=maim&enZone=maim>

מידע בנושא מקורות המים בישראל, זיהום המים וחיסכון במים; אתר המשרד לאיכות הסביבה (למורה ולתלמיד).

<http://sababa.sviva.gov.il/water>

הסברים ופעילויות בנושא מים וסביבה (לתלמיד).

http://main/upload/.ab/id_gina.html/http://agribio.snunit.k12.il

פעילות בנושא שיעור התאדות המים ותכנון גינה חסכנית, בליווי גיליון אלקטרוני לעיבוד הנתונים (למורה).

מקורות לקריאה נוספת

"ממלח יצא מתוק", פסטרנק ד', **השדה** עא (ב), 1990, עמ' 182, **גידול עגבניות במים מליחים**.

מערכות ותהליכים באדם, בבעלי חיים ובצמחים, משרד החינוך, האגף לתכנון ולפיתוח תכניות לימודים; האוניברסיטה העברית; מל"מ ירושלים, 2006, עמ' 329-360, הובלת המים בצמח.

עקרונות הפיסיולוגיה של הצמח, יעקובי ב', הוצאת י"ל מאגנס, האוניברסיטה העברית, ירושלים, תשנ"ט, עמ' 99-112; 217-224, תהליך הדיות ומנגנון פתיחת הפיוניות ובקרתו. **צומח וצמחים**, האוניברסיטה הפתוחה, 1996, יחידה 8, עמ' 47-50; 59-77, תהליך הדיות, מבנה הפיוניות, מנגנון פתיחתן והבקרה על התהליך.

צומח וצמחים, האוניברסיטה הפתוחה, 1996, יחידה 7, עמ' 9-72, מבנה מערכת השורשים ומהלך התפתחותה; קליטת המים והיונים בשורשים.

"צמחי מים ושיפור איכות קולחים", ברומר מ', **עלון למורי הביולוגיה** 145 (א) 1996, עמ' 93-94, ניסוי לשיפור איכות קולחים באמצעות צמחי מים שונים.

האור והצמח

(עמ' 129-140 בספר לתלמיד)

הרעיונות המרכזיים

1. צמחים אינם יכולים להתקיים ללא אור. האור דרוש לצמחים כדי לייצר חומרי מזון בתהליך הפוטוסינתזה.
2. בתהליך הפוטוסינתזה, הצמחים משתמשים באור כדי לייצר סוכרים מפחמן דו-חמצני וממים, תוך כדי שחרור חמצן לאוויר. האור נקלט בעיקר על ידי הכלורופיל שבעלים.
3. הסוכרים שנוצרים בתהליך הפוטוסינתזה משמשים כחומרי מזון לצמחים ולכל היצורים החיים האחרים. החמצן שנוצר בתהליך הפוטוסינתזה משמש לנשימה של הצמחים ושל כל בעלי החיים. תהליך הפוטוסינתזה גם שומר על רמה קבועה של פחמן דו-חמצני באוויר, רמה שמתאימה לצרכים של מרבית היצורים החיים.
4. כשאין מספיק אור, קצב הפוטוסינתזה נמוך והצמח אינו מייצר מספיק סוכרים. במצב כזה הצמח אינו גדל ואינו פורח.
5. האור מהווה גם איתות חיצוני לצמח להפעלת תהליכי התפתחות, כמו: נביטה, נשירת עלים, תרדמה ופריחה.
6. בארצות שבהן יש מעט אור בחורף, כדאי להוסיף תאורה מלאכותית בבתי צמיחה כדי להגדיל את היבול ולשפר את איכותו. בישראל, לעומת זאת, צמחי בית שרגישים לעוצמות אור גבוהות, צריך לגדל מתחת לרשת צל.
7. ברוב הגידולים, חשוב להקפיד שהצמחים לא יטילו צל זה על זה. לשם כך, צריך לשתול במרווחים מספיק גדולים, לדלל, לגזום או לגדל בהדליה.

המושגים המרכזיים

הטמעה, פוטוסינתזה, חומרים אורגניים, חומרים אי-אורגניים, כלורופיל, תוספת תאורה, גיזום, דילול, הדליה, רשת צל.

תשובות לשאלות

תשובות לשאלות בקטע הרחבה

(עמ' 132 בספר לתלמיד)

1. בדרך כלל כורתים יערות כדי לברא שטחים לצורכי חקלאות, לצורכי מרעה ולצורכי בנייה ופיתוח, וכן כאשר צריך לפנות שטחים לצורך חיפושי נפט, מכרות, בניית סכרים הידרו-חשמליים ועוד; את עצי היערות כורתים גם לתעשיית העץ ולתעשיית הנייר.

2. נתונים מספריים רבים מעידים על קצב כריתת יערות הגשם: באינטרנט, למשל, אפשר למצוא ממצאים שונים, מ-20,000 קמ"ר בשנה ועד ל-200,000 קמ"ר בשנה. זו הזדמנות טובה לדון באמינות המידע מהאינטרנט ובדרכים לסנן אותו ולאמת אותו.

3. כריתת היערות גורמת שינויים אקלימיים ועלולות להיות להם השלכות שליליות חמורות. הכריתה גורמת למדבור שטחים ולחשיפת הקרקע לסחיה. היא פוגעת גם בבעלי החיים שהיערות מהווים בית גידול שלהם. כריתה אינטנסיבית גם עלולה לגרום להיעלמות של מיני צמחים (ובעלי חיים) ולהקטנת המאגר הגנטי העומד לשימוש של האדם למטרות שונות, למשל: לפיתוח תרופות. כריתת היערות גם משפיעה על העלייה בריכוז הפחמן הדו-חמצני באוויר וגורמת, כנראה, להגברת אפקט החממה שמוביל להתחממות הדרגתית של כדור הארץ. (עוד על כריתת היערות ראו ברשימת אתרי האינטרנט).

תשובות לשאלות

(עמ' 134-135 בספר לתלמיד)

2. אם השמים יתמלאו בענני אבק ופיח לא יהיה מספיק אור לצמחים לצורכי פוטוסינתזה וצמיחתם תיפגע. גם האדם ובעלי החיים שניזונים מן הצמחים עלולים להיפגע, במיוחד בארצות מתפתחות דלות אמצעים. הפגיעה בצמחים עלולה להשפיע גם על ריכוז הגזים באוויר (ריכוז החמצן והפחמן דו-חמצני), ועקב כך להגביר את אפקט החממה, עם כל ההשלכות הנובעות מכך.

3. בתוך אקוואריום, כדאי לשים עם הדגים גם צמחי מים כדי שיספקו חמצן למערכת. למעשה, הצמחים תורמים לסביבת האקווריום גם על ידי כך שהם קולטים תרכובות חנקניות מזהמות שהדגים מפרישים למים. הצמחים מנצלים תרכובות אלה כמינרלים.

5. ביערות סבוכים, הצמחים גדלים בצפיפות רבה ומסתירים זה לזה חלק מן האור או אף את רובו. ניתן לומר שהצמחים מתחרים על קרינת האור. ביער כזה, צמחים שדרושה להם עוצמת אור גבוהה הם העצים הגבוהים, שצמרותיהם חשופות לקרינה מרבית. הצמחים האחרים הם צמחי צל, שמותאמים לעוצמות אור נמוכות. חלק מן ההתאמות של צמחי הצל, שמשפרות את קליטת האור, קשורות במבנה שלהם, למשל: עלים רחבים ודקים. יש צמחים אשר דורשים עוצמות אור נמוכות בשלבי התפתחות מוקדמים, אך זקוקים לעוצמות גבוהות יותר עם ההתבגרות. חלק מן הצמחים האלה מאופיינים ביכולת לטפס על צמחים אחרים. כאשר הם מגיעים לשלב הבוגר, הם מגיעים לצמרות העצים ושם הם חשופים לעוצמות אור גבוהות יותר. התאמות אחרות של צמחי הצל קשורות בארגון חברת הצמחים ביער, למשל: מועד הצמיחה של חלק מצמחי הצל מותאם לתקופה שבה העצים הגבוהים עומדים בשלכת; צמחי הצל נוטים לגדול במקומות חדירים לאור; חלק מהם טפילים (ולכן אין להם צורך באור). גם המנגנון הפוטוסינתטי של צמחי הצל מותאם לפעולה בעוצמות אור נמוכות, יחסית.

6. לעתים קרובות, לצמחים שגדלים בצל יש גבעולים ארוכים ודקים שמגדילים את סיכוייהם להיחשף לאור. לתופעה זו קוראים אֶתִּיּוֹלְצִיָה (חיוורון) והיא מלווה בהיעדר צבע ירוק (על החיוורון – גם בפרק הזרע והנביטה). צמחים ונבטים שסובלים ממחסור באור, צומחים במהירות לגובה ולא מייצרים כלורופיל, שממילא אינו נחוץ כל עוד אין מספיק אור לצורכי הפוטוסינתזה. מנגנון האתיולציה נחוץ בעיקר לזרעים אשר נובטים עמוק באדמה. הנבטים שמתפתחים בתנאי חושך מתארכים במהירות, והפסיגים שלא נפרסים יכולים לפרוץ מהקרקע במהירות, וכמעט ללא התנגדות של הקרקע. עם החשיפה לאור, קצב ההתארכות יורד, הפסיגים נפרסים, הגבעול מתעבה ומתחילה הצטברות מהירה של כלורופיל.

תשובות לשאלות

(עמ' 137 בספר לתלמיד)

1. את רוב הצמחים אי-אפשר לגדל בכמה קומות, מפני שהם יסבלו ממחסור באור. רק צמחים שמותאמים לעוצמות אור נמוכות, בדרך כלל צמחי בית שמקורם בתת-היער, מתאימים לגידול בקומה התחתונה.

כדאי לנסות

(עמ' 134 בספר לתלמיד)

מומלץ מאוד לבצע הדגמות פשוטות אלה. הן קלות מאוד לביצוע וממחישות יפה את תופעות הפוטוטרופיזם והאתיולציה.

1. כאשר חושפים צמח למקור אור מכיוון אחד בלבד הוא צומח לכיוון מקור האור. צמיחה כזאת מבטיחה חשיפה מרבית לאור והיא נקראת פוטוטרופיזם. גדילה לכיוון מקור האור נובעת מהתארכות נמרצת של תאים בצד המוצל. בתהליך הזה מעורבים מווסתי צמיחה (הורמונים צמחיים). יש גם צמחים, כמו כותנה ושעועית, שבהם העלים נעים במשך היום בהתאם לתנועת השמש בשמים. בצמחים האלה יש מנגנון פנימי שמניע את העלים כאילו היו עוקבים אחרי השמש. כך, עמדת העלים מבטיחה קליטת אור מרבית בכל שעה משעות היום. תנועות יומיות כאלה נובעות משינויים זמניים בתכולת המים בתאים.

2. הנבטים בכוס המכוסה אינם חשופים לאור ולכן הם מתפתחים באופן אתיולנטי: הם ארוכים יותר, דקים יותר וחיוורים יותר מאשר הנבטים החשופים לאור. כאשר פותחים "חלון" בכיסוי של הנבטים האתיולנטיים, הם מתחילים לצמוח לכיוון החלון (לכיוון מקור האור) עד שהם מציצים דרכו החוצה (פוטוטרופיזם).

עבודה 11: השפעת ההצללה על ההתפתחות והצבעוניות של צמחי קולאוס

(עמ' 137-139 בספר לתלמיד)

הנחיות

העבודה פשוטה מאוד לעריכה ולמעקב, והתוצאות ברורות מאוד ובולטות לעין גם ללא ביצוע מדידות.

את הניסוי יש לבצע בבית צמיחה שאפשר להתקין בו רשת צל מעל העציצים, או במקום שיש בו מראש אזורים עם עוצמות אור שונות. ניתן להתקין רשת צל, למשל, על ידי הצבת קשתות מעל העציצים ופריסה של רשת צל מעל הקשתות. לחלופין, אפשר לבצע את הניסוי בשני בתי צמיחה נפרדים אבל זהים; באחד מהם יש הצללה ובאחר – אין. חשוב לוודא, במקרה כזה, שכל התנאים האחרים בבתי הצמיחה, למעט עוצמת האור יהיו זהים. כדי לקבל תוצאות ברורות מומלץ להשתמש ברשת שנותנת 80% צל, לפחות, או להשוות בין אזור של 100% אור עם אזור של 20% אור. אם מבצעים את הניסוי בקיץ רצוי לרדת אפילו עד 10% אור. רצוי לבצע מדידות של עוצמות אור מתחת לכיסוי ומחוץ לו, כדי להמחיש לתלמידים את ההבדלים, אך אם אין מד-אור, ניתן בהחלט לבצע את הניסוי ללא מדידות כאלה.

את העבודה הזאת ניתן לבצע כל השנה, אך ייתכן שבתקופות שונות ההבדל בין שני הטיפולים יהיה שונה, בהתאם לעוצמות האור.

לעבודה הזאת אפשר להוסיף בדיקה של השפעת ההצללה על ההתפתחות של צמחים אחרים, למשל, צמחי בית מובהקים, כמו: סינגוניום או פילדנדרום, שהתפתחותם טובה יותר בצל מאשר באור שמש מלא. אפשר גם לעקוב אחר צמחים, כמו פלפלים, משלב הנביטה ועד שלב הבשלת הפירות.

תוצאות לדוגמה

שבוע 5		שבוע 3		שבוע 1		
עם רשת צל	בלי רשת צל	עם רשת צל	בלי רשת צל	עם רשת צל	בלי רשת צל	
30	21	11.6	8.8	4.9	4.7	הגובה הממוצע של הצמחים (בס"מ)
16	32	7.5	6.5	6	6	מספר העלים הממוצע לצמח
ירוק בהיר ומעט אדום בהיר	ירוק ואדום כהה	ירוק ואדום בהיר	ירוק ואדום כהה	ירוק ואדום כהה	ירוק ואדום כהה	צבע העלים

תשובות לשאלות

1. שאלת חקר מתאימה לניסוי היא, למשל: כיצד תשפיע ההצללה על התארכות צמחי הקולאוס, על התפתחות העלים ועל צבעם?
2. השערה מתאימה לניסוי: ההצללה תעודד את התארכות צמחי הקולאוס ותפגע בהתפתחות העלים ובצבעונותם (יש לקבל כנכונה גם השערה הפוכה).
3. הגורמים המושפעים בניסוי הם התארכות צמחי הקולאוס, מספר העלים וצבעונותם.
4. הגורם המשפיע בניסוי הוא עוצמת האור (ההצללה).

ניתוח התוצאות והסקת מסקנות

- 1, 2, 3. הצללה מרובה של קולאוס גורמת לאתילוציה – התארכות נמרצת של הגבעול, צבע (אדום וירוק) חיוור ויצירה מועטה של עלים. בהיעדר אור, הצמחים צומחים לגובה (ב"שאיפה" להגיע אל האור) ומשקיעים פחות אנרגיה בייצור פיגמנטים ועלים. למעשה, העיכוב ביצירת הפיגמנטים, כאשר הצמח חשוף לעוצמות אור נמוכות, הוא גם עיכוב עקיף שנובע מירידה בכמות המוטמעים בצמח, וגם עיכוב ישיר שבו האור מבקר את יצירת הפיגמנטים דרך הפעולה של קולטני אור (פיטוכרום וקרפטוכרום). השפעה ישירה כזאת נקראת אפקט פוטומוֹרְפּוֹגְנֵטִי.
4. לעתים, ניתן להבחין גם בהשפעות על גודל העלים, על הסתעפויות ענפים צדדיים ועל עובי גבעולים.
5. צמחי קולאוס מתפתחים באור מלא טוב יותר מאשר בעוצמות אור נמוכות (30% מאור מלא).
6. אם רוצים לגדל צמחי קולאוס רצוי לגדל את הצמחים באור מלא ולא להשתמש ברשת צל.

הרחבה והעמקה

שלבי תהליך הפוטוסינתזה

השלב הראשון בתהליך הפוטוסינתזה, שלב קליטת האור, מתרחש בקרומי התילקואידים שבכלורופלסטים. בשלב הזה, אנרגיית האור נקלטת על ידי מולקולות כלורופיל וגורמת לעירורן. בעקבות עירור מולקולות הכלורופיל, מתפרקות מולקולות המים (H_2O) ליוני מימן (H^+), לאלקטרונים (e^-) ולחמצן (O_2). החמצן, המשתחרר ממולקולות המים, נפלט לאוויר כמולקולות O_2 חופשיות, וזהו החמצן שאנו נושמים.

יוני המימן, המתקבלים מפירוק המים, מועברים למולקולות שנקראות **נשאי מימנים**. נשאי המימנים מסוגלים לקלוט יוני מימן, לשאת אותם ולשחרר אותם בעת הצורך. הם משתתפים בתהליך יצירת הפחמימות בשלב קיבוע ה- CO_2 . האלקטרונים משתתפים בשרשרת של תגובות כימיות, ובסופן גם הם נקלטים על ידי נשאי המימנים. שרשרת התגובות הזאת מאפשרת יצירה של מולקולות ATP. כך, בשלב קליטת האור, מומרת אנרגיית האור, שנקלטת על ידי הכלורופיל, לאנרגיה כימית במולקולות ATP. האנרגיה הזאת היא המאפשרת את קיבוע הפחמן. השלב השני, שלב קיבוע ה- CO_2 מתרחש בסטרומה שבכלורופלסטים. בשלב הזה מנוצלים התוצרים משלב קליטת האור. CO_2 , שחדר אל הצמח דרך הפיוניות, עובר קיבוע אל תוך תרכובות אורגניות; מולקולות ה- CO_2 נקשרות למולקולות פחמניות והופכות, לאחר סדרה של תהליכים אנזימטיים, לחלק ממולקולות של פחמימות. בתהליך יצירת הפחמימות עוברים יוני מימן ואלקטרונים מנשאי המימנים, שמקורם בשלב קליטת האור, אל הפחמימות הנוצרות. מולקולות ה-ATP, שנוצרו בשלב קליטת האור, מספקות את האנרגיה הדרושה לתהליך. כך מומרת, בסופו של דבר, אנרגיית האור, שנקלטה על ידי הכלורופיל, לאנרגיה כימית בפחמימות. קיבוע ה- CO_2 מתבצע בסדרה מעגלית של תהליכים ביוכימיים. רצף התהליכים המעגלי נקרא מעגל קלווין, על שם החוקר מ' קלווין (M. Calvin), שגילה את פרטיו, וזכה על כך בפרס נובל.

הגורם המגביל את קצב הפוטוסינתזה

קצב הפוטוסינתזה בכל צמח תלוי בגורמים פנימיים ובגורמים חיצוניים-סביבתיים שונים. גורמים פנימיים המשפיעים על קצב הפוטוסינתזה הם, למשל: מספר הכלורופלסטים בעלה, ריכוז הכלורופיל בעלה, מבנה העלה, צפיפות הפיוניות ומיקומן, גיל העלה וקצב הובלת המוטמעים. הגורמים החיצוניים-סביבתיים המשפיעים על קצב הפוטוסינתזה הם: ריכוז ה- CO_2 , עוצמת האור, הטמפרטורה, זמינות המים, לחות האוויר, זמינות המינרלים וזיהום אוויר. כל אחד מן הגורמים האלה משפיע בנפרד על תהליך הפוטוסינתזה. בפועל, קצב הפוטוסינתזה נקבע על ידי שילובם של כל הגורמים. כאשר צמח כותנה, למשל, גדל בשדה בקיץ, יש לו תנאים מתאימים - עוצמת אור, ריכוז CO_2 באוויר וטמפרטורה - על מנת שקצב הפוטוסינתזה יהיה מרבי. אולם, אם הצמח לא יקבל השקיה ויחסרו לו מים, הפיוניות ייסגרו והפוטוסינתזה תעוכב. במצב כזה, הגורם החיצוני אשר יגביל את תהליך הפוטוסינתזה יהיה זמינות המים, ולכן הוא זה שיכתיב את קצב התהליך. כאשר תהליך מושפע בו-זמנית מכמה גורמים, הגורם שחסר או הגורם שרמתו נמוכה הוא הגורם המגביל את קצב התהליך. הגורם המגביל קובע את קצב התהליך.

כדי לגלות מהו הגורם המגביל את קצב הפוטוסינתזה בכל מצב נתון, יש להגביר בנפרד את הרמה של כל אחד מן הגורמים המשפיעים על התהליך. הגורם שעלייה ברמתו תגרום לעלייה בקצב התהליך, הוא הגורם המגביל. עם זאת, ייתכן שכמה גורמים יגבילו את קצב התהליך במקביל. במקרה כזה, רק אם נעלה את הרמה של כולם יחד נגרום להגברת התהליך. כך למשל, אם הטמפרטורה נמוכה מדי ויש מחסור במים, העלאת הטמפרטורה בלבד לא תגביר את קצב הפוטוסינתזה. רק אם נעלה את הטמפרטורה ובמקביל נספק מים נגרום להגברת התהליך.

במרבית המקרים, כאשר כל גורמי הסביבה מצויים ברמה מיטבית, הגורמים הפנימיים בצמח הם הגורמים המגבילים.

עוצמות אור גבוהות או: משקפי השמש של דונליאלה

לכל סוג של צמחים יש תחום אחר של עוצמת אור מרבי שמשפיע על שיעור הפוטוסינתזה, ותחום זה תלוי בסף הקליטה של המערכת הפוטוסינתטית של הצמח. כך, למשל, עוצמות אור שגורמות להגברת שיעור הפוטוסינתזה בצמחים המותאמים לגידול בשמש, לא יגבירו את שיעור הפוטוסינתזה בצמחים המותאמים לגידול בצל. כאשר המערכת הפוטוסינתטית קולטת את מלוא אנרגיית האור שביכולתה לקלוט, כל מרכיביה פועלים בקצב מרבי, ואין היא יכולה לקלוט אנרגיית אור נוספת ולהשתמש בה. לכן, גם אם נגביר את עוצמת האור, מעל לסף הקליטה, הצמח לא יקלוט יותר אנרגיה ולתוספת לא תהיה כל השפעה על שיעור הפוטוסינתזה.

בצמחים שרגישים לעוצמות אור גבוהות, עוצמות אור גבוהות גורמות לתהליכי חמצון בלתי מרוסנים בתא ואלה עלולים לגרום נזקים לכלורופיל, ובעקיפין – גם נזקים לכלורופלסט. ברוב הצמחים קיימות מערכות הגנה (כגון: הפיגמנט ביתא קרוטין), שתפקידן למנוע נזקי חמצון כאלה. בצמחים שאין להם הגנות מספיקות, קרינת שמש עודפת גורמת לתופעת הלבנה וצריבה בעלים.

מנגנון ההגנה מפני נזקי שמש של אצה, שנקראת דונליאלה, כולל, נוסף לביתא-קרוטין, גם חלבון מסוים. החלבון הזה התגלה על ידי קבוצת חוקרים ישראלים. הדונליאלה גדלה בתנאי מדבר קיצוניים, והיא שורדת בעוצמות קרינה גבוהות במיוחד. כאשר מערכות הפוטוסינתזה של האצה מצויות בסכנה, בשל עודפי קרינה, נוצר בה החלבון. החוקרים סבורים כי אם יוכלו להפעיל מנגנון דומה בצמחים עילאיים, למשל בגידולים חקלאיים, יהיה אפשר להגביר את עמידותם לשמש, וכך לאפשר את גידולם בתנאי מדבר קשים.

ריפוי סרטן עור - באמצעות אור

צוות מדענים ממכון ויצמן למדע פיתח שיטה חדשנית להילחם במחלת הסרטן בעזרת כלורופיל. טכניקה זו מבוססת על היכולת של מולקולות הכלורופיל לקלוט אנרגיית אור ולהעבירה הלאה. בתאי הצמח, האנרגיה שהכלורופיל קולט מנוצלת לתהליך הפוטוסינתזה. אבל אם מבודדים את הכלורופיל מן המערכת הטבעית שלו, אנרגיית האור שהוא קולט יכולה לעבור למולקולות חמצן ולגרום לשפעולן. מולקולות החמצן המשופעלות מחמצנות רכיבי תא חיוניים והורסות אותם. בדרך זו, אנרגיית האור שקולט הכלורופיל הורסת תאים.

מולקולות הכלורופיל, שבהן משתמשים להרס גידולים סרטניים, מקורן בחיידקים המבצעים פוטוסינתזה. לכלורופיל הזה מצמידים נוגדנים או מולקולות אחרות, שמשמשים כ"נווטים" המובילים את הכלורופיל אל תוך התאים הסרטניים. בדרך זו מבטיחים שרק התאים הסרטניים ייפגעו מן הטיפול. כאשר מולקולות הכלורופיל מגיעות אל התאים הסרטניים מקרינים הרבה אור על אזור הגידול, והאנרגיה שנקלטת על ידי מולקולות הכלורופיל משפעלת מולקולות חמצן בתא, וגורמת למותו של התא הסרטני. מולקולות הכלורופיל יכולות לגרום נזק לתאים הסרטניים גם בדרכים אחרות, ללא נוכחות חמצן ברקמה. הטיפולים האלה נמצאו יעילים נגד כמה סוגי סרטן, ביניהם סוגים של סרטן העור שקשים לטיפול. הטיפולים נוסו עד כה בהצלחה בתרבויות תאים ובגידולים בבעלי חיים. לנוכח תוצאות הניסויים האלה, החליטה חברת תרופות רב-לאומית להשקיע בפיתוח יישומים רפואיים המבוססים על גישת הטיפול הזאת.

האומנם ריאות ירוקות?

יש הטוענים שהריאות הירוקות של כדור הארץ הן בעיקר השטחים החקלאיים ואילו היערות והחורשים אינם תורמים תרומה משמעותית למאזן הגזים באוויר. לטענתם, ביערות ובחורשים חיים בעלי חיים רבים והם קולטים את כל כמות החמצן שהצמחים פולטים. בעלי החיים האלה גם פולטים את כמות הפחמן הדו-חמצני שהצמחים קולטים. לפיכך, היער או החורש, עם כל בעלי החיים שחיים בתוכם, לא משנים את מאזן הגזים באוויר. בשטחים חקלאיים, לעומת זאת, אין הרבה בעלי חיים, ולכן התרומה של הצמחייה היא כן משמעותית. (למידע נוסף, ראו רשימת אתרים מומלצים).

תפיסות חלופיות

משמעות המושג "מזון"

לפי אחת התפיסות החלופיות, הנפוצות ביותר בקרב תלמידים, הצמח קולט מן הקרקע חומרים אורגניים והם המקור לחומר האורגני שבצמח. ייתכן שהסיבה לתפיסה הזאת היא בהגדרת המושג "מזון". את המושג "מזון" אפשר להגדיר בשתי צורות:

הגדרה צרה – המזון הוא תרכובות פחמן אורגניות אשר מהן נוצרים חומרים המשמשים לבניית הגוף ולהפקת אנרגיה.

הגדרה רחבה – המזון הוא כל חומר המשמש מקור לחומרים אחרים שמהם נבנה הגוף ומפיקים אנרגיה, והוא כולל תרכובות אורגניות, מים, וכן תרכובות ויסודות אנאורגניים (מינרלים).

כדאי לדון עם התלמידים במושג "מזון" ולברר למה מתכוונים כשמתמשים במושג. (ראו: **הוראת הפוטוסינתזה**, אמיר ר', המרכז הישראלי להוראת המדעים ע"ש עמוס דה-שליט, האוניברסיטה העברית בירושלים, 1993, עמ' 12-16).

משמעות המושג "אנרגיה"

תלמידים רבים נוהגים לחשוב כי בפוטוסינתזה "נוצרת" אנרגיה. ואולם, בתהליך הפוטוסינתזה, צורת האנרגיה רק משתנה; אנרגית האור מומרת לאנרגיה כימית. כאשר מדברים על אנרגיה חשוב להקפיד שלא להשתמש במונח "יצירה"! כמו כן, יש להבחין בין חומר ואנרגיה, שכן תלמידים רבים משתמשים במושגים האלה ללא הבחנה ביניהם.

(ראו: **הוראת הפוטוסינתזה**, אמיר ר', המרכז הישראלי להוראת המדעים ע"ש עמוס דה-שליט, האוניברסיטה העברית בירושלים, 1993, עמ' 17-27).

הצעות לשאלות נוספות

1. מדוע חשוב להקפיד על הניקיון של כיסוי בית הצמיחה, בייחוד בעונת החורף?
2. באילו מקרים, לדעתכם, הצמח יגדל בכיוון המנוגד למקור האור? הסבירו.
3. אחת התופעות השכיחות, שפוגעות ביבול הוורדים, היא תופעה שנקראת "עיוורון". ענף "עיוור" הוא ענף שלא התפתח עליו פרח. בארצות צפוניות, כמו דנמרק, מוסיפים תאורה מלאכותית בעוצמה גבוהה כדי למנוע "עיוורון".
- א. לפי הנתונים האלה, מה גורם לעיוורון בוורדים? הסבירו.
- ב. מדוע אפשר למנוע עיוורון על ידי תוספת תאורה מלאכותית?
4. כדי לבחון כיצד משפיעה תוספת CO_2 על הכמות והאיכות של יבול צמחי פלפל ערכו ניסוי. בניסוי הוסיפו כמויות שונות של CO_2 לבית צמיחה שבו גדלו צמחי פלפל. תוספת ה- CO_2 ניתנה רק בימים שבהם הייתה עוצמה גבוהה של אור. תוצאות הניסוי מובאות בטבלה שלפניכם.

השפעת תוספת CO₂ על הכמות של יבול צמחי פלפל

כמות CO ₂ שהוסיפו (יחידות יחסיות)	כמות היבול (ק"ג לדונם)
0	14190
500	16030
1000	14990

- אילו כמויות של CO₂ הוסיפו בניסוי?
- כיצד השפיעו הכמויות השונות של CO₂ על הכמות של יבול הפלפלים? הסבירו.
- השלימו את המשפט הבא והסבירו אותו: המסקנה שנובעת מתוצאות הניסוי היא שתוספת CO₂ בכמות של _____ מעלה את _____ של צמחי פלפל.
- ד. אילו הייתם מגדלים פלפלים, האם הייתם מוסיפים CO₂? אם כן, באיזו כמות? אילו נתונים נוספים הייתם בודקים כדי להחליט?
- ה. מדוע בניסוי לא הוסיפו CO₂ כאשר עוצמת האור הייתה נמוכה?
- ו. מה הייתה הביקורת בניסוי?

פעילויות מחשב

- כדי לבדוק באמצעות ניסויים ווירטואליים את ההשפעה של עוצמת האור ושל ריכוז ה-CO₂ על קצב (עוצמת) תהליך הפוטוסינתזה אפשר להיכנס לאתר הזה:
<http://science.cet.ac.il/science/energy/energy1.asp>
 - א. היכנסו למעבדה וקראו את הוראות ההפעלה.
 - ב. בחרו את הציר האופקי שמתאר את עוצמת האור. בדקו כיצד משתנה קצב הפוטוסינתזה כאשר מעלים את עוצמת האור אבל משאירים את ריכוז ה-CO₂ באפס. תארו והסבירו את התוצאות.
 - ג. בחרו את הציר האופקי שמתאר את ריכוז ה-CO₂. בדקו כיצד משתנה קצב הפוטוסינתזה כאשר מעלים את ריכוז ה-CO₂ אבל משאירים את עוצמת האור באפס. תארו והסבירו את התוצאות.
 - ד. בחרו שוב את הציר האופקי שמתאר את עוצמת האור. כווננו את ריכוז ה-CO₂ ל-0.035 (ריכוזו באוויר), ובדקו כעת כיצד משתנה קצב הפוטוסינתזה כאשר מעלים את עוצמת האור. תארו והסבירו את התוצאות.

ה. בחרו שוב את הציר האופקי שמתאר את ריכוז ה- CO_2 . כווננו את עוצמת האור ל-100 (אור השמש), ובדקו כעת כיצד משתנה קצב הפוטוסינתזה כאשר מעלים את ריכוז ה- CO_2 . תארו והסבירו את התוצאות.

2. הדמיה שמדגימה את הקשר בין תהליך הנשימה בתאי הצמח ובין תהליך הפוטוסינתזה אפשר למצוא באתר <http://science.cet.ac.il/science/energy/energy3.asp>

- א. היכנסו לאתר וקראו את הוראות ההפעלה.
- ב. הפעילו את ההדמיה כדי לבדוק מה מתרחש בצמח ביום ומה מתרחש בלילה. ענו על השאלות בפעילות "נשימה ופוטוסינתזה בצמחים".
- ג. אדם נמצא בתא סגור והוא רוצה לשמור על רמה גבוהה של חמצן באוויר שבתא. מתי כדאי לו להחזיק צמחים בתא הסגור – ביום, בלילה או בשניהם? הסבירו.
- ד. קראו את הקטע על הפוטוסינתזה והתפתחות החיים וענו על השאלה שמופיעה בסוף הקטע.
- ה. נסו להשלים את התרשים שמתאר את הקשר בין תהליך הפוטוסינתזה לתהליך הנשימה שמתרחש בתאי הצמח.

סרטונים ברשת

http://www.youtube.com/watch?v=zctM_TWq5lk&feature=related

גדילת הצמח בכיוון האור וצמיחת השורשים בכיוון כוח הכובד, בהילוך מהיר (אנגלית).

<http://www.youtube.com/watch?v=wjZ1UYwrO8A>

תנועת הצמח בעקבות האור, בהילוך מהיר.

http://www.brainpop.co.il/category_8/subcategory_361/subjects_544/preview.weml

אנימציה באתר בריינפופ (Brain Pop) בנושא תהליך הפוטוסינתזה (השימוש באתר כרוך בתשלום).

<http://plants.galim.org.il/leaf>

אנימציה באתר גלים בנושא תהליך הפוטוסינתזה (השימוש באתר כרוך בתשלום).

אתרים ברשת

<http://lib.cet.ac.il/pages/item.asp?item=2687>

מידע בנושא השמדת יערות, סיבות והשלכות (למורה ולתלמיד).

<http://bioteach.snunit.k12.il/upload/.docs06/1747.doc>

מאמר בנושא כריתת יערות ואפקט החממה (למורה).

<http://sababa.sviva.gov.il/world/forests/index.asp>

קטעי מידע בנושא יערות הגשם, חשיבותם והשמדתם (לתלמיד).

<http://www.leslietaylor.net/gallery/destruction/destruction.htm>

מצגת תמונות בנושא השמדת יערות.

http://www.snunit.k12.il/heb_journals/allon/120017.html

מאמר שעוסק בביטוי "ריאות ירוקות" ובשאלה עד כמה הוא נכון (למורה).

מקורות לקריאה נוספת

- ביולוגיה של התא**, זמסקי א', הפקולטה לחקלאות ברחובות, 1992, עמ' 262-278, הביוכימיה של תהליך הפוטוסינתזה.
- הוראת הפוטוסינתזה**, אמיר ר', המרכז הישראלי להוראת המדעים ע"ש עמוס דה-שליט, האוניברסיטה העברית בירושלים, 1993, עמ' 81-91, תהליך הפוטוסינתזה.
- עקרונות הפיסיולוגיה של הצמח**, יעקובי ב', הוצאת י"ל מאגנס, האוניברסיטה העברית, ירושלים, תשנ"ט, תהליך הפוטוסינתזה ותהליכי התפתחות שבהם האור מעורב.
- פוטוסינתזה והזנה מינרלית בצמח**, משרד החינוך, האגף לתכניות לימודים; האוניברסיטה העברית, הפקולטה לחקלאות, התשס"ב, סוגי הקרינה והאור, חשיבות האור בחיי הצמח, שלבי תהליך הפוטוסינתזה, תוצריו וחשיבותו.
- פרקים בפיסיולוגיה של הצמח**, האוניברסיטה הפתוחה, 1984, יחידות 1-2, תהליך הפוטוסינתזה.
- צומח וצמחים**, האוניברסיטה הפתוחה, 1996, יחידה 8, תהליך הפוטוסינתזה.

המינרלים והצמח

(עמ' 141-155 בספר לתלמיד)

הרעיונות המרכזיים

1. את המינרלים שבקרקע, הצמח קולט עם המים באמצעות מערכת השורשים שלו. המינרלים משתתפים בתהליכים רבים שמתרחשים בצמח, והם דרושים לבנייה של חומרים שונים בצמח.
2. כאשר יש מחסור במינרלים בקרקע, ההתפתחות של הצמחים נפגעת ומופיעים סימני מחסור בצמח. גם עודף במינרלים יכול לפגוע בהתפתחות הצמח.
3. כדי למנוע את דלדול הקרקע החקלאית ממינרלים צריך לדשן או לזבל.
4. הדשן הכימי מיוצר באופן תעשייתי, והוא מכיל כמות גדולה של מינרלים, בעיקר: חנקן, זרחן ואשלגן, שמשתחררים לקרקע בבת אחת.
5. הזבל האורגני מיוצר מהפרשות ומשרידים של בעלי חיים וצמחים, והמינרלים משתחררים ממנו לאט ובהדרגה.
6. עודפי דישון (ולעתים גם עודפי זיבול) אינם מגדילים את היבול, להפך: הם יכולים לפגוע בהתפתחות הצמחים והם גורמים זיהום והמלחה של הקרקע והמים. לכן, חשוב להפחית את השימוש בחומרי דישון ולהקפיד על איכות חומרי הזיבול.
7. כדי לצמצם את הפגיעה בסביבה אפשר גם להעשיר את הקרקע בשיטות אחרות, כמו: שימוש בדשנים שהמינרלים משתחררים מהם בהדרגה, שימוש חוזר בחומרי דישון וזיבול, מחזור זרעים והוספה של חיידקים מועילים לקרקע.

המושגים המרכזיים

מינרלים; סימני מחסור; דשן כימי; זבל אורגני; מחזור זרעים.

תשובות לשאלות

תשובות לשאלות

(עמ' 146 בספר לתלמיד)

1. יבול החסה יכול להיות פגום בגלל מחסור במינרלים בקרקע. כדי לבדוק אם אמנם זו הסיבה אפשר להוסיף מינרלים לקרקע ולעקוב אחרי הצמיחה. כדי לבדוק אילו מינרלים חסרים אפשר לגדל חסה בתמיסות חסר שונות (כלומר: תמיסות שבכל אחת מהן חסר מינרל אחר) ולראות באיזו תמיסת חסר מתקבלים סימפטומים דומים לאלו שהתקבלו בשדה. חשוב לציון, שבמקרים רבים, חסר במינרלים שונים יכול לבוא לידי ביטוי בסימפטומים מאוד

דומים, ורק מומחה יכול להבדיל ביניהם. אם אכן הפגיעה נגרמה בגלל מחסור במינרלים, הדרך לפתור את הבעיה היא, כמובן, לספק לצמחים את המינרלים החסרים, בדרך של דישון או זיבול.

2.

המינרל	הפעילות	סימני המחסור
חנקן (N)	מרכיב בחומצות אמיניות, בחלבונים, בחומצות גרעין, בכלורופיל, ב-ATP, בהורמונים ובקואנזימים.	כלרוזה; במקרים חמורים העלים מצהיבים לגמרי, אחר כך הם משחמים ולבסוף מתים; לעתים, מצטברים על העלים פיגמנטים סגולים; הצמח אינו גדל, יש מעט עלים והם קטנים.
אשלגן (K)	מעורב בשמירה על פוטנציאל אוסמוטי תקין ועל מאזן יוני, וכן מעורב בבקרה על פתיחת הפיוניות וסגירתן; מפעיל אנזימים רבים.	כלרוזה; כתמים נקרוטיים, בעיקר בשולי העלים; הגבעולים דקים וחלשים.
סידן (Ca)	מרכיב בדופנות תאים; דרוש לפעולת אנזימים; מעורב בבקרת תפקודי קרומים ואנזימים; דרוש להעברת אותות פנימיים.	קדקודי נצר ושורשים מתים; עלים צעירים מתכופפים ולאחר מכן מתחילה תמותה של העלים מהשוליים שלהם; הצמח אינו גדל; במקרים רבים הפירות נפגעים.
מגנזיום (Mg)	מרכיב במולקולת הכלורופיל; מפעיל אנזימים רבים.	כלרוזה בעלים שמתחילה בין העורקים; לעתים, מופיעה התאדמות ויש כתמים נקרוטיים; שולי העלה מתקפלים כלפי מעלה; הגבעולים נעשים דקים.
גופרית (S)	מרכיב בחלבונים ובקואנזימים.	כלרוזה.
זרחן (P)	מרכיב במולקולות ATP ו-ADP, בחומצות גרעין, בקואנזימים ובשומנים (פוספוליפידים).	כלרוזה וכתמים נקרוטיים מופיעים בעלים; לעתים, צבע העלים משתנה לכחלחל, בעיקר, בצד התחתון של העלה; הצמח אינו גדל; העלים הבוגרים נעשים חומים-כהים ולאחר מכן – מתים.
כלור (Cl)	מעורב בשמירה על פוטנציאל אוסמוטי תקין ועל מאזן יוני; מעורב, כנראה, בתהליך שחרור החמצן בפוטוסינתזה.	כלרוזה וכתמים נקרוטיים מופיעים בעלים הבוגרים והם נובלים; לעלים יש צבע ברונזה; חל עיכוב בהתארכות

המינרל	הפעילות	סימני המחסור
		השורשים ונוצרת התעבות בקצותיהם.
ברזל (Fe)	דרוש ליצירת כלורופיל; מרכיב בנשאי אלקטרונים בפוטוסינתזה ובנשימה התאית.	מופיעה כלורוזה בין העורקים בעלים צעירים; לאחר שהעלה כולו מצהיב מופיעה נקרוזה; העורקים הראשיים ירוקים; פיגמנטים סגולים מצטברים בעלים; הגבעולים נעשים קצרים ודקים.
מנגן (Mn)	מפעיל אנזימים מסוימים; נחוץ לשלמות קרומי הכלורופלסט ולשחרור חמצן בפוטוסינתזה.	מופיעה כלורוזה בין העורקים בעלים צעירים, ומופיעים כתמים נקרוטיים.
בור (B)	משפיע על ניצול סידן, על יצירת חומצות גרעין ועל שלמות קרומים בתא.	התארכות השורשים נעצרת; העלים הצעירים ירוקים-בהירים בבסיסם; במחסור חמור, העלים הצעירים מתעוותים, משחומים ומתים; ניצנים, פרחים ופירות צעירים נושרים.
אבץ (Zn)	מרכיב או מפעיל של אנזימים רבים; דרוש ליצירת הורמונים מסוימים.	פרקי הגבעול מתקצרים ושטח העלים קטן; שולי העלים מתעוותים; מופיעה כלורוזה בין העורקים.
נחושת (Cu)	מרכיב או מפעיל של אנזימים רבים, המעורבים בתהליכי חמצון-חיזור.	העלים הצעירים ירוקים-כהים ומעוותים; מופיעים כתמים נקרוטיים; ניצנים קדקודיים מתים.
מוליבדן (Mo)	נחוץ למטבוליזם של החנקן.	כלורוזה בין העורקים ונקרוזה.

תשובות לשאלות

(עמ' 153-155 בספר לתלמיד)

1. בשדה בור יש מחזור טבעי של המינרלים כי הצמחים נשארים בשדה, וכשהם מתים או כשגידולם מסתיים, הם מפורקים ומרכיביהם חוזרים לקרקע. לעומת זאת, בשדה חקלאי, הגידול מנצל את המינרלים והם אינם חוזרים לקרקע. בשדה חקלאי גם ההשקיה מרובה, והיא מגבירה את שטיפת המינרלים משכבות הקרקע העליונות.
4. 5. לפני הזריעה, עדיף להשתמש בזבל אורגני מכיוון שהפירוק שלו הדרגתי והמינרלים משתחררים ממנו בקצב איטי, יחסית, שיכול להתאים לקצב קליטת המינרלים של הצמחים.

באמצע עונת הגידול, עדיף להשתמש בדשן שמספק את המינרלים שחסרים לצמחים באופן מידי.

6. ד. לפי הממצאים של הניסוי, הדישון בזרחן בלבד הגדיל את פרי התפוז רק במעט, ואילו הדישון המשולב בזרחן ובאשלגן הגדיל את פרי התפוז במידה רבה יותר. (הממצאים האלה מוצגים באופן שאינו כמותי, ולכן אפשר לנצל את ההזדמנות כדי לדון על ההבדל בין תוצאות כמותיות לתוצאות איכותניות).

ו. לפי תוצאות הניסוי, אי אפשר לדעת כיצד משפיע דישון באשלגן בלבד על גודל פרי התפוז. ייתכן שדישון באשלגן ללא זרחן יגרום להגדלת הפרי, אבל גם ייתכן שלא. חשוב לדון על המסקנות שאפשר להסיק מתוצאות של ניסוי כזה.

7. שיקולים כלכליים יכולים להסביר מדוע לא מדשנים בכמות שאמורה לתת יבול מרבי. בשיקולים האלה מחשבים את תוספת היבול שאמורים לקבל מול מחיר הדשן שצריך להוסיף. גם שיקולים סביבתיים יכולים להשפיע על קביעת כמות הדשן, כלומר: מביאים בחשבון את תוספת היבול שתתקבל מול הנזק הסביבתי שייגרם.

8. כמויות מופרזות של זבל אורגני יכולות לגרום לשחרור יתר של מינרלים אשר עלולים לזהם את הקרקע והמים. נוסף לכך, מן הזבל האורגני עשויים להשתחרר חומרים בלתי רצויים שבכמות גדולה יגרמו נזק.

עבודה 12: ההשפעה של מחסור במינרלים על התפתחות צמחים

(עמ' 143-145 בספר לתלמיד)

הנחיות

רצוי להשתמש במים מזוקקים להכנת תמיסות ההשקיה, אך אפשר גם להשתמש במי ברז. אם תמיסות ההשקיה מבוססות על מי ברז, אין צורך לשטוף את הוורמיקוליט במים מזוקקים לפני הזריעה.

הכנת מִשְׁרַת קִרְקֵעַ: לוקחים אדמת גינה פורייה, עשירה ברקבובית, ומשרים אותה בתוך מים מזוקקים (כחצי דלי אדמה עם דלי אחד של מים) למשך כ-24 שעות. את התערובת שמתקבלת יש לסנן דרך גזה כפולה.

אפשר להחליף את מִשְׁרַת הִקְרָקֵעַ ב"תמיסה חסרה" או בכמה תמיסות חסרות, למשל: תמיסה אחת ללא ברזל ותמיסה אחת ללא חנקן. היתרון של השימוש במִשְׁרַת קִרְקֵעַ הוא המחשת התפקיד של הקרקע בהזנה, וחיבור חזק יותר לשטח ופחות למעבדה. היתרון בשימוש בתמיסות חסר הוא עבודה בתנאים מבוקרים יותר ולכן אפשרות לקבל תוצאות ברורות יותר.

אפשר להרתיח דוגמה מכל אחת מתמיסות ההשקיה ולאדות את כל המים עד שיישאר רק משקע. התלמידים יוכלו לראות את ההבדל בכמות המשקע בין התמיסות השונות, המלמד על ההבדל בכמות המומסים.

הכנת תמיסת מזון מלאה: מכינים תמיסה מחומר דשן מסחרי לפי הוראות היצרן. כדי להדגים סימני מחסור שונים, אפשר לתת לקבוצות שונות לעבוד עם מיני צמחים שונים, אבל רצוי שעם כל מין של צמח יעבדו לפחות שתי קבוצות (כדי שיהיו לפחות שתי חזרות על כל ניסוי).

תשובות לשאלות

1. העציץ שהושקה במים מזוקקים לא קיבל כלל מינרלים; מצב זה מקביל לקרקע חסרת מינרלים לחלוטין. העציץ שהושקה בתמיסה מלאה קיבל את כל המינרלים הדרושים לצמח; מצב זה מקביל לקרקע מדושנת. העציץ שהושקה במישרת קרקע קיבל השקיה שהיו בה רק חלק מן המינרלים הדרושים לצמח; מצב זה מקביל לשדה ללא דישון בתנאים טבעיים.
2. שאלת חקר מתאימה לניסוי היא למשל: "כיצד ישפיע מחסור במינרלים (או כיצד ישפיע הרכב תמיסת ההשקיה) על התפתחות וסימני המחסור של הצמחים?".
3. השערה מתאימה לניסוי היא למשל: "צמחים שיושקו במים מזוקקים יתפתחו בקצב אטי ביותר ויסבלו מסימני מחסור רבים ביותר, ואילו צמחים שיושקו בתמיסה מלאה יתפתחו בקצב מהיר ביותר ולא יסבלו מסימני מחסור". אפשר גם לנסח השערה הפוכה.
4. הגורם המושפע בניסוי הוא התפתחות הצמחים (כל אחד מהמדדים שנבדקו).
5. הגורם המשפיע בניסוי הוא הרכב תמיסת ההשקיה.
6. קבוצת הביקורת בניסוי הזה היא קבוצת הצמחים שהושקו בתמיסה מלאה. בהזדמנות זאת כדאי לציין שהביקורת תלויה במטרת הניסוי; אם המטרה היא לזהות סימני מחסור, הביקורת תהיה קבוצת הצמחים שיקבלו את כל המינרלים הדרושים להם, ולכן הם לא יראו סימני מחסור. אם מטרת הניסוי היא לבדוק כיצד משפיעה רמת הדישון על התפתחות הצמחים (כמו בעבודה 13), הביקורת המתאימה תהיה צמחים ללא דישון (כלומר, ההשקיה תהיה במים בלבד).

ניתוח התוצאות והסקת מסקנות

1. הצמחים שהושקו בתמיסה מלאה אמורים להתפתח מהר ולהגיע לגובה הרב ביותר, ואילו הצמחים שהושקו במים בלבד אמורים להתפתח לאט ולהגיע לגובה הנמוך ביותר, בגלל המחסור במינרלים חיוניים.
2. הצמחים שהושקו במישרת קרקע בדרך כלל לא יגיעו לגודל של הצמחים שהושקו בתמיסה מלאה, מכיוון שיש להם מחסור בחלק מן המינרלים שדרושים להתפתחות אופטימלית.

3. הקשר בין התפתחות מערכת השורשים להרכב תמיסת ההשקיה אינו פשוט. במקרים רבים, כאשר הצמח מקבל את כל המינרלים הדרושים לו ומתפתח באופן מיטבי, גם מערכת השורשים מתפתחת באופן מיטבי. עם זאת, יש מקרים שבהם דווקא מחסור במינרלים גורם להתפתחות של מערכת שורשים גדולה, יחסית, שמאפשרת לצמח לקלוט בצורה יעילה את מעט המינרלים הזמינים.
4. סימני המחסור יהיו בולטים ביותר אצל הצמחים שהושקו במים בלבד, אם כי חלק מסימני המחסור עשויים להופיע, במידה זו או אחרת, גם אצל הצמחים שהושקו במשרת קרקע. סימני המחסור שאפשר לצפות להם יהיו, למשל, כלורוזה (עלים חיוורים כתוצאה ממחסור בכלורופיל), גבעולים דקים, עלים מעוותים וכתמים נקרוטיים (כתמי תמותה). לסימנים נוספים – ראו שוב טבלת המינרלים, תפקודיהם וסימני המחסור שלהם.
5. אחת המסקנות שאפשר להסיק מניסוי זה היא שככל שהצמח מקבל פחות מינרלים שדרושים לו, כך יופיעו יותר סימני מחסור (או שסימני המחסור יהיו קשים יותר).

עבודה 13: ההשפעה של כמויות דשן שונות על התפתחות חסה

(עמ' 148-150 בספר לתלמיד)

הנחיות

הדשן המתאים לניסוי הוא דשן שמכיל 20% חנקן, 20% זרחן, 20% אשלגן (20:20:20) ויסודות קורט (על יסודות הקורט ראו הסבר בהמשך). יש להביא בחשבון שהטמפרטורה משפיעה על קצב הצמיחה של השתילים ועל הופעת ההבדלים בין הטיפולים. לכן, אם עורכים את הניסוי בחורף, רצוי לבצע אותו בבית צמיחה. בסוף הניסוי, אפשר להוציא את השתילים מן האדמה, לשטוף את השורשים מתחת למי ברז ולהשוות את גודל מערכת השורשים בטיפולים השונים.

תשובות לשאלות

- שאלת חקר מתאימה לניסוי היא "מה הקשר בין ריכוז הדשן לבין התפתחות שתילי חסה?".
- השערה מתאימה לניסוי היא "עלייה בריכוז הדשן תגביר את התפתחות שתילי החסה". ההשערה אינה חייבת להתאים לתוצאות, שאנו כמורים, מצפים להן. חשוב לעודד את התלמידים לנסח השערות לפי מה שהם חושבים, ולהדגיש את האפשרות לנסח השערות שונות שכולן יהיו תקפות באותה מידה. אין השערה אחת נכונה! התלמידים יוכלו ללמוד על מהלך המחקר המדעי אם תוצאות הניסוי יפריכו את ההשערה שלהם.
- הגורם המושפע בניסוי הוא התפתחות שתילי החסה (או יותר בפירוט: גובה הצמחים, מספר העלים וכו').

4. הגורם המשפיע בניסוי הוא ריכוז הדשן.
5. טיפול 6 מהווה ביקורת. בניסוי הזה שאלת החקר מתייחסת להשפעת תוספת מינרלים, ולכן הביקורת המתאימה היא טיפול ללא תוספת מינרלים, כלומר: ללא דישון כלל. וזאת, בניגוד לעבודה 12, שבה שאלת החקר התייחסה להשפעת המחסור במינרלים, ולכן הביקורת המתאימה הייתה טיפול ללא מחסור במינרלים, כלומר השקיה: בתמיסה מלאה.

ניתוח התוצאות והסקת מסקנות

1. בניסוי הזה אפשר לצפות שהגדלת כמות הדשן תעודד את התפתחות הצמחים. עם זאת, מרמה מסוימת, הגדלת כמות הדשן תשפיע פחות ופחות, ואף תגרום לעיכוב ההתפתחות. כאשר מדובר בשתילי חסה, יש לצפות שמספר העלים יושפע יותר מגובה הצמחים. צמחי חסה הם צמחי שושנת, כלומר: צמחים בעלי גבעול קצר מאוד שמורכב מפרקים קצרים. לכן, העלים שיוצאים ממפרקים שונים נראים כאילו הם יוצאים מאותה נקודה. צמחי שושנת אחרים הם, למשל, גזר, צנון, צבעוני וחצב. בצמחי שושנת, ההתפתחות באה לידי ביטוי במספר העלים ולא בהתארכות הגבעול. בהזדמנות זאת רצוי להשוות בין מדדי התפתחות שונים שאמורים לייצג את אותו תהליך. ייתכן שמדד אחד של התפתחות יושפע בצורה משמעותית ואילו מדד אחר של התפתחות יושפע פחות. אפשר גם לציין את ההבדל בין מיני צמחים שונים; יש צמחים שההתפתחות שלהם באה לידי ביטוי בעיקר בהתארכות, ואחרים – בייצור מספר רב של עלים.
2. כאשר הדשן ניתן בריכוזים נמוכים, יחסית, ההשפעה שלו משמעותית מאוד, אך ככל שהריכוז עולה ההשפעה פוחתת. מעבר לריכוז אופטימלי, הדשן יכול אף להזיק לצמח ולפגוע בהתפתחותו.
4. ההמלצה שאפשר לתת, מתאימה רק לתנאים שבהם התבצע הניסוי; היא לא תתאים לחסה שגדלה בשדה פתוח. אי-אפשר להסיק מניסוי בעיצים בבית צמיחה על המצב בקרקע בשדה. בשדה יש גורמים אחרים שעשויים להשפיע על התוצאות.

הרחבה והעמקה

מינרלים חיוניים

- הצמח קולט כמעט את כל היסודות המינרליים המצויים בקרקע, אך רק חלק מהם חיוניים להתפתחותו. כדי לקבוע אם מינרל כלשהו חיוני לצמח, יש לבחון 3 קריטריונים עיקריים:
- א. האם המינרל נחוץ לצמח כדי להשלים את מחזור חייו (כלומר, ליצור זרעים חיוניים)?
 - ב. האם הוא מהווה חלק ממולקולה או מרכיב אחר כלשהו, החיוני לבניית הצמח ולתפקודו?
 - ג. האם לא ניתן להחליף את המינרל הזה במינרל אחר?

כבר ב-1885 מצאו החוקרים שלפחות 10 יסודות, מבין ה-60 המצויים בצמחים, חיוניים לגידולם התקין. בהיעדרו של כל אחד מעשרת היסודות האלה נפגעת התפתחותם של הצמחים. במהלך המאה ה-20, זוהו עוד 6 יסודות חיוניים. כיום, מסכימים רוב החוקרים, שמספר היסודות החיוניים לרוב הצמחים הוא 16. היסודות האלה כוללים 13 מינרלים שנקלטים מן הקרקע על ידי השורשים, ו-3 יסודות שנקלטים מן האוויר או מן המים (פחמן, חמצן ומימן). יש מינרלים שקשה לקבוע אם הם חיוניים לצמח או לא, למשל: כאשר לא ידוע מהי פעילותו של המינרל בצמח, אבל ידוע שהוא חיוני להשלמת מחזור החיים של הצמח. את המינרלים החיוניים אפשר לחלק לשתי קבוצות עיקריות לפי תפקודם בצמח.

1. מינרלים שמהווים חלק ממבנה של מולקולה או חלק מתרכובת חשובה: החנקן, למשל, מהווה מרכיב בחומצות אמיניות ובחומצות גרעין; הזרחן מהווה מרכיב במולקולות ATP, בחומצות גרעין, בחלבונים אחדים ובשומנים, והמגנזיום מהווה מרכיב במולקולות כלורופיל.

2. מינרלים שמעורבים בהפעלת אנזימים: הנחושת, למשל, מפעילה אנזימים רבים המעורבים בתהליכי חמצון-חיזור, והסידן מפעיל אנזימים המעורבים בתהליכי חישה של אותות בצמח.

נוסף לפעילותם הייחודית, כל היסודות המינרלים תורמים לפוטנציאל האוסמוטי בצמח, ועל ידי כך מסייעים לשמירת לחץ הטורגור, הדרוש לשימור הצורה, לקצב הגידול ולתנועות מסוימות בצמח (כגון: פתיחת הפיוניות וסגירתן). פרטים נוספים על תפקודים של מינרלים שונים בצמח, ראו תשובה לשאלה 2 מעמ' 146.

מקרואלמנטים ומיקרואלמנטים

96% מן המסה היבשה של הצמח מורכבים משלושת היסודות המצויים בכל החומרים האורגניים: פחמן, מימן וחמצן. היסודות האלה הם בעלי הריכוז הגבוה ביותר בצמח. יסודות אחרים שכיחים פחות בצמח, וריכוזם של הנדירים ביותר הוא 0.00001%. יסודות חיוניים שריכוזם בצמח גבוה יחסית (גבוה מ-0.1% מן החומר היבש) נקראים מקרואלמנטים, ובמקרים רבים הם מהווים חלק ממולקולה או מתרכובת חשובה בצמח. חנקן, אשלגן, סידן, מגנזיום, גופרית וזרחן הם מקרואלמנטים. יסודות חיוניים, שריכוזם בצמח נמוך, יחסית (נמוך מ-0.01% מן החומר היבש) נקראים מיקרואלמנטים. למיקרואלמנטים קוראים גם יסודות קורט, ובמקרים רבים הם מעורבים בהפעלת אנזימים. כלור, ברזל, מנגן, בור, אבץ, נחושת ומוליבדן הם יסודות קורט.

טבלה: היסודות החיוניים לצמח והריכוז הממוצע שלהם בצמחים ירוקים

היסוד	הסימון הכימי	ריכוז ממוצע בחומר צמחי יבש (באחוזים)
מקרואלמנטים		
פחמן	C	45
חמצן	O	45
מימן	H	6
חנקן	N	1.5
אשלגן	K	1.0
סידן	Ca	0.5
מגנזיום	Mg	0.2
גופרית	S	0.2
זרחן	P	0.1
מיקרואלמנטים		
כלור	Cl	0.010
ברזל	Fe	0.010
מנגן	Mn	0.0050
בור	B	0.0020
אבץ	Zn	0.0020
נחושת	Cu	0.0006
מוליבדן	Mo	0.00001

"עם קצת עזרה מאחרים..." – אספקת מינרלים בעזרת יצורים אחרים

חיידקים – בשורשים של צמחים מסדרת הקטניות (למשל: אפונה ושעועית) חיים חיידקי ריזוביום (Rhizobium), בתוך מבנים עגולים שנקראים "פקעיות שורש". פקעיות השורש נוצרות לאחר שהחיידקים חודרים לתוך השורשים דרך היונקות וגורמים לחלוקות נמרצות של תאי קליפת השורש. בתוך פקעיות השורש גדלים ומתרבים החיידקים. בכל תא בפקעית מצויים כמה אלפי חיידקים והם מבצעים שם תהליך של קשירת חנקן. קשירת החנקן מתבצעת על ידי אנזים חיידקי (ניטרוגנאז) אשר מחזר חנקן מולקולרי לאמוניה. התהליך הזה דורש אנרגיה רבה, ואותה מספק הצמח לחיידק, בצורת פחמימות. הקשר בין חיידקי הריזוביום לקטניות הוא קשר של סימביוזה: החיידקים מספקים לצמחים חנקן זמין ו"בתמורה" מספקים הצמחים לחיידקים חומרי מזון, בעיקר פחמימות.

חקלאים משתמשים בקטניות כזבל אורגני להעשרת הקרקע בחנקן זמין, שיוכל לשמש גם את הגידולים החקלאיים בעונה הבאה. בחלק מגידולי הקטניות, למשל בבוטנים, מאֵלחים (מדביקים) את הזרעים בחיידקי ריזוביום לפני הזריעה. פעולה כזאת נקראת בקטור. הבקטור בריזוביום משפר את הצימוח ואת היבול, ומהווה תחליף לדישון חנקני. הבקטור עדיף על פני דישון כימי מפני שהוא זול יותר ופחות מזהם את הסביבה. מאמצים רבים מוקדשים לחקר חיידקי הריזוביום ולפיתוח שימושים יעילים בהם בחקלאות. את עיקר המאמץ משקיעים בחיפוש דרכים שיגבירו את אספקת החנקן בקטניות. החוקרים גם מחפשים דרכים לפתח צמחים שיוכלו לייצר בעצמם תרכובות של חנקן. אחת הדרכים לעשות זאת היא להעביר לצמחים, בשיטות של הנדסה גנטית, את היכולת לייצר תרכובות של חנקן, כלומר: להחדיר לצמחים את הדנ"א שמאפשר לחיידקים ליצור תרכובות של חנקן.

אצות – בסין, שדות האורז מוצפים במים, ובהם גדל ומתרבה שרך מים שנקרא אַזוֹלָה. בתוך עלי השרך חיה אצה כחולית קושרת חנקן, המספקת לשרך את תרכובות החנקן הדרושות לגידולו. עם צמיחת האורז, יורדים פני המים בשדות, ואז נובלים השרכים, ועמם מתות גם רוב האצות שבתוכם. שיירי הפירוק של השרכים ושיירי האצות שבתוכם, מספקים לאורז את עיקר הדשן החנקני הדרוש לו.

פטריות – בצמחים רבים יש פטריות שיוצרות רשת של קורים בתוך השורשים ומסביבם. רשת הקורים משתרעת מעבר לשורשים ומקשרת את השורשים למינרלים שמרוחקים מהם. כך מסייעות הפטריות לשורשים לקלוט מינרלים. גם הפטריות עצמן קולטות מינרלים ומעבירות אותן לשורשים. הפטריות משפרות בעיקר את קליטת הזרחן בשורשים. "בתמורה" השורשים מספקים לפטריות חומרים אורגניים שונים, בעיקר פחמימות וחומצות אמיניות. יחסי הזנה הדדיים כאלה, בין פטריות לבין שורשי צמחים, נקראים מיקוריזה (mycos=פטרייה; rhiza=שורש). דוגמה למיקוריזה ידועה היא הקשר בין פטריית האורנייה המצויה לבין אורן ירושלים. יותר ויותר מתברר, שמיקוריזה היא תופעה כמעט כללית בעולם הצמחים, והיא מתפתחת כנראה בסביבת רוב הצמחים בטבע. המיקוריזה חשובה במיוחד בקרקעות שיש בהן מחסור במינרלים. בגידולים מסוימים, כגון: עירית ובצל, מקובל להוסיף פטריות מיקוריזה למצע הגידול כדי לשפר את הצימוח והיבול. במקרים נדירים, כמו בנבטים של צמחים ממשפחת הסחלבים, המיקוריזה מספקת לצמח לא רק מינרלים אלא גם פחמימות.

טפילות – צמחים מסוימים, כגון: עֵלְקֶת, כְּשֹׁת, דְבָקוֹן הזית והַרְנוֹג השיטים, הם צמחים טפילים, והם קולטים מינרלים מצמחים אחרים, במקום מן הקרקע. לצמחים הטפילים יש "מצצנים", שחודרים לתוך השורש או הגבעול של הצמח שאותו הם מנצלים. בעזרת המצצנים, הצמחים הטפילים "שואבים" מן הצמחים האחרים מים, מינרלים ולעתים גם סוכרים.

סוגי דשן

את הדשן הכימי אפשר לתת לפני תקופת הגידול של הצמח או במהלך גידולו. דשן שניתן לפני הזריעה נקרא דשן יסוד, והוא מיועד לספק לצמח מינרלים במשך זמן ממושך. דשן שניתן לאחר נביטת הצמחים נקרא דשן ראש והוא אמור להיקלט על ידי הצמחים מיד עם אספקת הדשן, או זמן קצר לאחר מכן. דשן יסוד מחדירים בדרך כלל לתוך הקרקע, כשמכינים את השדה לזריעה. דשן ראש אפשר להחדיר לתוך הקרקע בצדי שורות הצמחים, ואפשר גם לפזר מעל הצמחים או לספק בתוך מי ההשקיה.

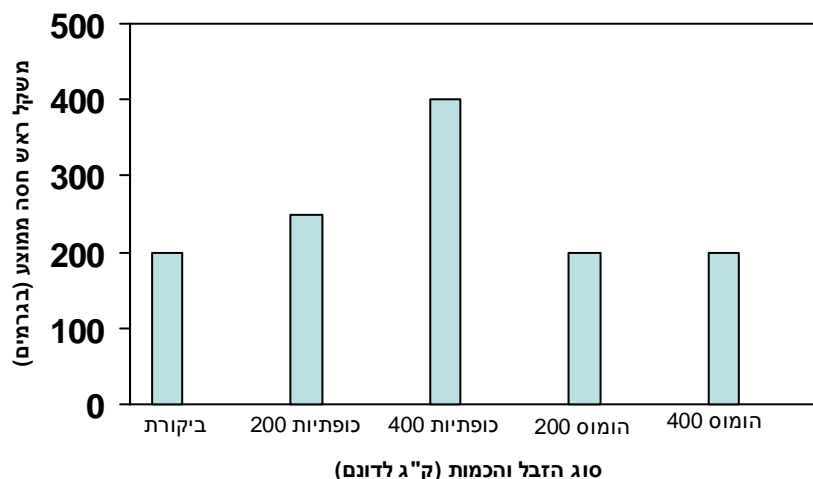
אופן הדישון צריך להתאים להרכב הדשן. לדוגמה: בדשנים המבוססים על אמוניה יש להתחשב בנטייתו של האמוניה להתנדף. אם דשן כזה נשאר על פני הקרקע ימים אחדים הוא עלול לאבד עד 20% מהחנקן שבו, על ידי התנדפות לאוויר. לכן, דישון המבוסס על אמוניה מתבצע, על פי רוב, בהצנעה או באמצעות מי ההשקיה, כך שמרבית החנקן מחלחל עם מי ההשקיה אל תוך הקרקע לפני שהוא מתנדף.

דרך אחרת לספק דשן ראש היא בדישון עלוותי, כלומר בריסוס על העלים. בכמה גידולים, למשל: במטעים, בפרדסים ובגפנים, ממליצים לרסס את העלים ביסודות קורט, ולעתים אף בחנקן, בזרחן ובאשלגן. הדישון העלוותי יעיל במיוחד כשיש בעיות בפעילות מערכת השורשים, או כשיש בעיות בקליטה של יסוד מינרלי מן הקרקע. תגובת הצמח לדישון עלוותי היא מקומית, מהירה וודאית, אך תיקון המחסור הוא זמני, ובדרך כלל נדרשים ריסוסים חוזרים.

הצעות לשאלות נוספות

1. חוקרים בדקו את ההשפעה של שני סוגי זבל אורגני על התפתחות חסה. החוקרים השוו בין כמויות שונות של זבל שנקרא "הומוס" ושל זבל שנקרא "כופתיות". תוצאות הניסוי מוצגות בעקום שלפניכם.

ההשפעה של שני סוגי זבל בכמויות שונות על התפתחות החסה



- א. מה היו הטיפולים בניסוי?
- ב. מה הייתה הביקורת בניסוי?
- ג. מה היה משקל ראש חסה ממוצע בכל אחד מן הטיפולים?
- ד. כיצד השפיעה הגדלת כמות ההומוס על משקל החסה וכיצד השפיעה הגדלת כמות הכופתיות?
- ה. מה היה הטיפול המיטבי בניסוי, כלומר: באיזה סוג זבל ובאיזו כמות התקבלו ראשי החסה הגדולים ביותר?
- ו. איזו מסקנה יכול חקלאי שמגדל חסה להסיק מן הניסוי הזה?
- ז. הציעו הסבר מדוע הזבל הזה מועיל יותר.
- ח. בניסיון להסביר את תוצאות הניסוי, בדקו החוקרים את הרכב הזבלים ששימשו בניסוי. בטבלה שלפניכם מוצגות תוצאות הבדיקה.

טבלה: הרכב הזבלים ששימשו בניסוי (באחוזים)

סוג הזבל	חנקן	זרחן	אשלגן
כופתיות	2.3	2.2	3.7
הומוס	1.9	1.0	1.5

- ט. כיצד מסבירות תוצאות הבדיקה הזאת את תוצאות הניסוי?
2. אפשר לגדל צמחים במערכת הידרופונית, כלומר: בתמיסה שמכילה את כל החומרים הדרושים לצמח (במקום בקרקע). אם רוצים להשיג צמיחה מרבית במערכת כזאת, צריך להחליף את התמיסה כל כמה ימים. מה יכולות להיות הסיבות לכך?
3. חוקרים ערכו ניסוי ובו הם בדקו כיצד התוספת של פטריות מועילות לקרקע משפיעה על התפתחות צמחי הדורים. תוצאות הניסוי מוצגות בטבלה שלפניכם.

השפעת תוספת פטריות לקרקע על התפתחות צמחי הדורים

הצמח	פטריות	מסת הצמח בק"ג
חושחש	-	8.0
חושחש	+	54.6
לימון גס	-	11.8
לימון גס	+	69.5

- א. כיצד השפיעה תוספת הפטריות על התפתחות הצמחים בניסוי? הציעו הסבר לתופעה.
- ב. כדי לקבל יבול רב ואיכותי בגידול הדרים, נדרשת על פי רוב תוספת של זרחן לקרקע. האם אפשר להסיק מתוצאות הניסוי שתוספת הפטריות יכולה להחליף את הדישון בזרחן? הסבירו.
- ג. אילו בדיקות נוספות צריך לערוך כדי להסיק מסקנה כזאת?
4. לעתים, מדשנים בכמות דשן קטנה יותר מן הכמות שאמורה לתת את היבול הרב ביותר. מה יכולות להיות הסיבות לכך?

סרטונים ברשת

http://www.youtube.com/watch?v=y_gKCvVSyY&feature=related

צמחים טורפים בפעולה.

http://www.youtube.com/watch?v=lau_Wwohzio&feature=related

צמחים טורפים בפעולה.

<http://www.youtube.com/watch?v=ymlpQNyl6g&feature=related>

צמח טורף צפרדע!

אתרים ברשת

http://www1.snunit.k12.il/heb_journals/mada/271020.html

מאמר בנושא קשירה ביולוגית של חנקן (למורה).

<http://www.sviva.gov.il/bin/en.jsp?enPage=BlankPage&enDisplay=view&enDispWhat=Object&enDispWho=Articals^12650&enZone=dishun>

מידע מטעם המשרד להגנת הסביבה בנושא נזקי דישון והאמצעים לצמצומם.

<http://www.edugal.org.il/hokrim/concept/mu050.htm>

מידע ותמונות בנושא מינרלים, קשירת חנקן ביולוגית, זיבול ודישון (לתלמיד).

http://www.gardening.org.il/articles/art_deshen.html

מידע בנושא דישון וסימני מחסור בצמח (למורה).

מקורות לקריאה נוספת

האנציקלופדיה לחקלאות, מדעי היסוד ב, הוצאת האנציקלופדיה לחקלאות, תשמ"ח, עמ' 298-312, המינרלים החיוניים; השפעת ההזנה המינרלית על הצמח, השפעת עודף הזנה על הצמח ויחסי גומלין בין מינרלים שונים.

עקרונות הפיסיולוגיה של הצמח, יעקובי ב', הוצאת י"ל מאגנס, האוניברסיטה העברית, ירושלים, תשנ"ט, עמ' 119-139, המינרלים החיוניים ופעילותם בצמח.

פוטוסינתזה והזנה מינרלית בצמח, משרד החינוך, האגף לתכניות לימודים; האוניברסיטה העברית, הפקולטה לחקלאות, התשס"ב, עמ' 151-178; 237-258, המינרלים בצמח וקליטתם; דישון כימי וזיבול אורגני.

צומח וצמחים, האוניברסיטה הפתוחה, 1996, יחידה 7, עמ' 52-66, המינרלים החיוניים בצמח ופעילותם, סימני מחסור ועודף במינרלים וקשירה ביולוגית של חנקן.

צמחים בחקלאות, זיו ע' ורימון ד', משרד החינוך, האגף לתכניות לימודים, 1998, עמ' 107-105; 112-120, המינרלים החיוניים בצמח, מחזור החנקן ודישון בחקלאות.

הטמפרטורה והצמח

(עמ' 156-171 בספר לתלמיד)

הרעיונות המרכזיים

1. צמחים זקוקים לטמפרטורת סביבה מתאימה כדי שההתפתחות שלהם תהיה תקינה.
2. כאשר יש טמפרטורה מיטבית לצמחים, קצב הגדילה שלהם הוא מרבי. מעל ומתחת לטמפרטורה המיטבית, הצמיחה יותר אטית.
3. טמפרטורות קיצוניות (גבוהות או נמוכות) גורמות להפסקת הצמיחה וההתפתחות, ועלולות לגרום למות הצמח.
4. צמחים רבים, שמוצאם מאזורים קרים, נכנסים לתרדמה לקראת החורף, כשהיום מתקצר והסביבה מתקררת. הצמחים האלה יוצאים מן התרדמה רק אחרי שהם נחשפים ל"מנת קור" מסוימת והטמפרטורה עולה ואז הבלבול והפריחה מתחדשים. (בישראל צמחים נשירים מתחילים לבלבל במהלך החורף לאחר שקיבלו את מנת הקור ולא דרושה עליה בטמפרטורה כיוון שטמפרטורת החורף בישראל "חמה" מספיק כדי לאפשר ליבלוב.)
5. בישראל יש צמחים שמתייבשים לקראת הקיץ ו"משאירים" בתוך הקרקע פקעת או בצל בתרדמה. הצמחים האלה מתעוררים מן התרדמה לקראת החורף, כשהסביבה מתחילה להתקרר, ואז מתחדשת הצמיחה מן האיבר שנשאר בתוך הקרקע.
6. החקלאים יכולים לשנות את הטמפרטורה בסביבת הצמח וכך למנוע נזקי טמפרטורה. שינוי הטמפרטורה מאפשר גם לגדל צמחים מחוץ לאזור הטבעי שלהם, ומחוץ לעונה הטבעית שלהם. כמו כן, הוא מאפשר להגדיל ולשפר את היבול ולהתאים את מועד קבלת היבול לדרישות השוק.
7. הדרכים לחימום סביבת הצמחים הן: (א) גידול בבתי צמיחה או במנהרות; (ב) חימום בתנורים ע"י שרפת גז או נפט; (ג) הזרמת מים חמים בצינורות. הדרכים לקירור סביבת הצמחים הן: אוורור, השקיה, הצללה וסיווד הגגות בצבע לבן.

המושגים המרכזיים

טמפרטורה מיטבית, תרדמה, אפקט החממה, מנהרות.

תשובות לשאלות

תשובות לשאלות

(עמ' 159 בספר לתלמיד)

2. א. לפי הטבלה אפשר לראות שהדוחן הוא גידול קיץ, כלומר: הוא מותאם לטמפרטורות גבוהות, יחסית, ואילו שיבולת השועל היא גידול חורף, כלומר: היא מותאמת לטמפרטורות נמוכות, יחסית. לכן, בסביבה קרה, הדוחן ייפגע יותר מאשר שיבולת השועל.
- ב. חומוס הוא גידול חורף ואילו שעועית היא גידול קיץ, כלומר: בסביבה חמה, החומוס ייפגע יותר מאשר השעועית.
- ג. מוצאו של הגזר הוא מאירופה ומדרום מערב אסיה ואילו הדלעת מוצאה, כנראה, ממרכז אמריקה.
- ד. מוצאה של הבטטה הוא מאפריקה ומאסיה (האזורים החמים) ואילו הכרוב, מוצאו מדרום ומערב אירופה ומן המזרח התיכון.
- ה. בקיץ, בנגב, אפשר לגדל כותנה ותירס (שהם גידולי קיץ) עם השקיה אבל חיטה ותפוח אדמה (שהם גידולי חורף) אי-אפשר לגדל.
- ו. ברמת הגולן, בחורף, אפשר לגדל תרד וחרדל (שהם גידולי חורף), אבל סורגום וחמנייה (שהם גידולי קיץ) אי-אפשר לגדל.

תשובות לשאלות

(עמ' 163 בספר לתלמיד)

1. א. הסימן לפריחת השקד הוא משך התקופה הקרה שחלפה, כלומר: השקד מתחיל לפרוח לאחר שהוא מקבל את "מנת הקור" הדרושה. הסימן לרקפת הוא התקררות הקרקע.
- ב. בארצות קרות, אם השקד היה פורח בחורף הוא היה עלול להיפגע מהקור. בארץ, החורף לא כל כך קר, ולכן גם אם השקד פורח באמצע החורף (מה שאכן קורה לעתים קרובות), הפריחה אינה נפגעת. אם הרקפת הייתה פורחת בקיץ היא הייתה עלולה להתייבש.
2. אפשר לגרום לרקפות להתעורר מן התרדמה בקיץ על ידי הכנסת הפקעות לקירור.
3. "איתות" משולב של אור ושל טמפרטורה גם יחד מהווה מעין גיבוי למקרה שאחד האיתותים אינו "מתנהג" כרגיל. למשל, אם יש מצב של התקררות לפני המועד הרגיל, והצמח מגיב רק לאיתות של אורך היום, הוא לא ייכנס לתרדמה והוא עלול להיפגע. לעומת זאת, אם הצמחים מגיבים רק לאיתות של טמפרטורה, הם עלולים להיכנס לתרדמה עקב ימים ולילות קרירים באביב, לאחר שכבר התחילו לבלב. הרגישות גם לשינוי הטמפרטורה מאפשרת לצמח "גמישות" שמונעת ממנו נזקים במקרה של מזג אוויר בלתי צפוי. אבל אם הוויסות יהיה רק על פי הטמפרטורה, הצמח עלול להתעורר מן התרדמה בתגובה לעלייה זמנית בטמפרטורה, עוד לפני שהעונה הקרה מסתיימת.

4. מה גורם לשקד להיכנס לתרדמה בסתיו; האם ירידת הטמפרטורה או התקצרות היום או שניהם יחד. כדי לבדוק זאת, אפשר לגדל 3 קבוצות של עצי שקד בתנאים מבוקרים, ולתת לכל קבוצה טיפול אחר: טיפול א – יום קצר וטמפרטורות נמוכות; טיפול ב – יום ארוך וטמפרטורות נמוכות; טיפול ג' – יום קצר וטמפרטורות גבוהות. ומעקב אחרי התפתחות העצים ייתן לנו תשובה לשאלה.

תשובות לשאלות

(עמ' 166-167 בספר לתלמיד)

2. א. הפלפל הוא גידול קיץ, כלומר: הוא מותאם לטמפרטורות גבוהות יחסית. כדי לקבל יבול טוב של פלפל בחורף, צריך לגדל אותו בסביבה מחוממת, כלומר: במנהרות או בבתי צמיחה.

ב. באירופה, החורף קר מאוד ויש מעט שעות שמש. אם מגדלים באירופה פלפל בחורף צריך לעשות זאת בבתי צמיחה ולהוסיף חימום, שעלותו גבוהה יחסית. לכן, יקר מאוד לגדל פלפל באירופה בחורף, והמחיר שלו בתקופה זו גבוה. בארץ, אפשר לגדל פלפל בחורף, יחסית בזול, מכיוון שלא קר מאוד ויש שמש שמספיקה לחימום הצמחים בחלק ניכר מן הימים. גם עוצמת האור משפיעה מאוד על התפתחות הפלפל. בצפון אירופה, במרכז החורף יש מעט מאוד שעות אור וכדי לגדל פלפל צריך להוסיף תאורה, שהיא יקרה מאוד.

3. גם התחממות האוויר בבתי הצמיחה וגם התחממות כדור הארץ מבוססים על עקרון אפקט החממה. בשני המקרים הקרינה חודרת דרך שכבה כלשהי; בכדור הארץ השכבה עשויה גזים, ואילו בבתי הצמיחה השכבה עשויה, בדרך כלל, מפלסטיק (או זכוכית). בשני המקרים הקרינה שחודרת הופכת לקרינת חום שמצטברת בפנים, ואינה יכולה לצאת בחזרה דרך השכבה שמסביב לה. יש, כמובן, גם הבדלים בנפחים שמתחממים ובשיעור ההתחממות.

4. קרינת השמש חודרת דרך הכיסוי השקוף של בית הצמיחה ומחממת את חלל בית הצמיחה. במצב כזה, אין צורך לחמם את בתי הצמיחה בתנורים. אולם, בימים מעוננים ובלילות אין מספיק קרינת שמש שמחממת ולכן צריך להוסיף חימום בתנורים.

5. כאשר משאירים מכונית סגורה, חשופה לאור השמש, החלל שבתוכה מתחמם על פי עקרון אפקט החממה. קרינת השמש חודרת דרך הזכוכית של החלונות, פוגעת בחפצים שבתוך המכונית והופכת לקרינת חום. החום אינו יכול לצאת דרך הזכוכית, ולכן הוא מצטבר בתוך חלל המכונית וגורם לעלייה ניכרת בטמפרטורה.

6. השימוש בהצללה לקירור בית הצמיחה מפחית גם את עוצמת האור, ולכן יורד גם שיעור הפוטוסינתזה. דבר זה עלול לפגוע בכמות היבול ובאיכותו (תלוי בסוג הגידול).

עבודה 14: השפעת הגידול במנהרות על התפתחות צמחי קישוא

(עמ' 168-170 בספר לתלמיד)

הערות והנחיות טכניות

על מנת להיווכח בהשפעה החיובית של החימום, יש לבצע עבודה זו במהלך החורף, כלומר: רצוי להתחיל את הניסוי בסתיו (בסוף אוקטובר, תחילת נובמבר). אם התוכנית הזאת נלמדת במהלך שנתיים, ניתן לבצע את הניסוי הזה בתחילת השנה השנייה. אם התכנית נלמדת רק שנה אחת, ניתן לבצע את הניסוי בתחילת השנה, מבלי ללמוד את הנושא לעומק, וכאשר מסכמים את הניסוי ניתן להעמיק בלמידת נושא הטמפרטורה.

את הניסוי שבוחן את השפעת הטמפרטורה על התפתחות צמחי קישוא, רצוי לבצע במנהרות ולא בבתי צמיחה. כך ניתן לגוון את אמצעי הגידול שהתלמידים יכירו במהלך לימודיהם. עם זאת, ניתן לבצע ניסוי דומה גם בבתי צמיחה. אפשר לגדל את אותם צמחים בתוך בית צמיחה ומחוצה לו, ולהשוות את הטמפרטורות ואת התפתחות הצמחים בשני המקומות. בניסוי כזה, כמו גם בניסוי המנהרות, יש גורמים אחרים שמשתנים, כמו: עוצמת האור, הלחות וריכוז הפחמן הדו-חמצני, וחשוב לציין זאת בפני התלמידים. אפשר גם לפתח דיון עם התלמידים על הדרך הטובה ביותר לבצע ניסוי מסוג כזה, וכן לספר לתלמידים על הפיטוטרון, שמשמש למחקר בצמחים, כאשר רוצים לבודד משתנים (על הפיטוטרון ראו קטע הרחבה בהמשך). את הניסוי הזה אפשר לבצע גם בשני בתי צמיחה זהים, כאשר באחד מהם מוסיפים חימום ובשני לא. אפשר לבצע ניסוי כזה עם צמחים אחרים ממשפחת הדלועיים (למשל: מלפפונים ומילונים), שמתפתחים לאט יותר בטמפרטורות נמוכות, וגם עם תות שדה.

תשובות לשאלות

1. שאלת חקר מתאימה לניסוי היא, למשל, "כיצד משפיע ניסוי פלסטיק שקוף על טמפרטורת האוויר והקרקה ועל התפתחות צמחי קישוא". שאלת החקר יכולה להתייחס גם למדד מסוים בהתפתחות, למשל: להשפעת הכיסוי על מועד הפריחה, על מועד התפתחות הפירות או על גודלם.

2. השערה מתאימה לניסוי היא, למשל, "הכיסוי בפלסטיק שקוף מעלה את טמפרטורת האוויר והקרקה ומזרז את התפתחות הפרחים והפירות של צמחי הקישוא". גם השערה הפוכה היא השערה מתאימה לניסוי, למשל: "הכיסוי בפלסטיק שקוף מעלה את טמפרטורת האוויר והקרקה ומעכב את התפתחות הפרחים והפירות של צמחי הקישוא". אם התלמידים מנסחים השערה כזאת יש לקבל אותה, מכיוון שאין בה פסול מבחינה מדעית. ההשערה שהתלמידים מציעים לא חייבת להתאים לתוצאות שאנו, כמורים, מצפים להן. עם זאת, כדאי

- לשאול את התלמידים על מה ההשערה שלהם מבוססת. במקרה הזה, אפשר לעמת את ההשערה שהתלמידים מציעים עם המידע שהקישוא הוא גידול קיץ.
3. הגורמים המושפעים בניסוי הם טמפרטורת האוויר והקרקה, וכן מדדים שונים של התפתחות צמחי קישוא.
4. הגורם המשפיע בניסוי הוא הכיסוי בפלסטיק שקוף.
5. טיפול הביקורת בניסוי הוא הערוגה ללא מנהרה.
- 6,7. אפשר להתייחס לצמחים בתוך כל ערוגה כאל חזרות, אך תוצאות הניסוי יהיו מהימנות יותר אם הניסוי יתבצע על פני כמה ערוגות ובכמה מנהרות.
8. חשוב לפתוח את המנהרה בימים חמים ובהירים, על מנת למנוע התחממות יתר שעלולה לפגוע בצמחים. האוויר גם מצמצם התפשטות מחלות בעלים ובפירות ומונע הצטברות של עודפי מים. את המנהרות חשוב לסגור בשעות אחר הצהריים כאשר עדיין יש קרינה, כדי שחלק מן החום שיצטבר בתוך המנהרה יישאר בה גם למשך הלילה.
9. ראו תשובה לשאלה 2 מעמ' 166.

ניתוח התוצאות והסקת מסקנות

1. בדרך כלל, בשעות הלילה יש הבדל של 2-4 מעלות צלזיוס בין טמפרטורת האוויר והקרקה בתוך המנהרה הסגורה לבין הטמפרטורה בחוץ; תלוי, כמובן, בשעת המדידה ובתנאים המקומיים, כמו גם בעומק המדידה (בקרקע) ובסוג הקרקע. הגורם להבדלים הוא הצטברות החום בתוך המנהרה (אפקט החממה).
2. ההבדלים הצפויים הם בעיקר במועד הפריחה ובמועד ההבשלה. הסיבה להבדלים היא העובדה שצמחי הקישוא מותאמים לטמפרטורות גבוהות, ולכן הם מגיעים לפריחה ולהבשלה מהר יותר כאשר הם נמצאים בתנאים של טמפרטורה גבוהה יותר.
3. לחקלאי שרוצה לייצא קישואים בחורף נמליץ לגדל אותם בסתיו ובחורף בתוך מנהרות.
4. הקמת מנהרות פשוטה יותר וזולה יותר מאשר הקמת בתי צמיחה אך היא מאפשרת פחות בקרה של תנאי הגידול.

הצעה לעבודה נוספת

השפעת הטמפרטורה על נביטת זרעים

אפשר לערוך ניסוי שמטרתו להשוות את הנביטה של זרעים, למשל: זרעי שעועית, בתנאי טמפרטורה שונים. את הזרעים אפשר להנביט במערכות שונות, למשל: בכלי שיש בו חול, על גבי צמר גפן או אפילו (אם מדובר בזרעים קטנים) בין שתי זכוכיות נושא. האפשרות הפשוטה ביותר היא להשוות בין התפתחות הזרעים בחדר להתפתחותם במקרר. אפשר גם להוסיף טיפול של חימום על ידי הצבת מנורה מעל הזרעים או אחזקת הזרעים באינקובטור

מחומם. בכל מקרה, מומלץ לבצע מדידות של הטמפרטורות בכל טיפול בעזרת מד-חום, על מנת להעריך את ההבדלים בין הטיפולים. מכיוון שבחדר יש אור ואילו במקרה חשוך, את המערכות שנמצאות בחדר, צריך לכסות בנייר אלומיניום או בבריסטול שחור.

הצעות לשאלות נוספות

1. חקלאים רצו לגדל בישראל מין של הצמח קיפודן שמוצאו מצפון אירופה. באירופה, הקיפודן פורח בקיץ ואחרי הפריחה, הגבעול והעלים מתים ובקרקע נשאר מעין פקעת. מהפקעת הזאת מתחדשת הצמיחה באביב הבא. בישראל, רצו לגדל את הקיפודן בחורף ולייצא את הפרחים לאירופה. לשם כך ערכו ניסוי שהיו בו 3 טיפולים: טיפול א' – באוגוסט, לאחר הפריחה, עקרו את הצמחים ואחסנו את הפקעות בטמפרטורה של 4 מ"צ במשך חודשיים. באוקטובר שתלו את הפקעות באדמה. טיפול ב' – באוגוסט, לאחר הפריחה, עקרו את הצמחים ואחסנו את הפקעות בטמפרטורה של 25 מ"צ במשך חודשיים. באוקטובר שתלו את הפקעות באדמה. טיפול ג' – באוגוסט, לאחר הפריחה, השאירו את הפקעות בקרקע. בטבלה שלפניכם מוצגות תוצאות הניסוי.

טבלה : השפעת האחסון של פקעות הקיפודן, בטמפרטורות שונות, על מועד הפריחה

מועד הפריחה	טיפול א'	טיפול ב'	טיפול ג'
	אחסון הפקעות ב-4 מ"צ	אחסון הפקעות ב-25 מ"צ	השארת הפקעות בקרקע
	תחילת פברואר	אמצע מאי	אמצע מאי

- ח. תארו והסבירו את תוצאות הניסוי.
- ט. כיצד נקראת התופעה שמסבירה את תוצאות הניסוי, ואיזה יתרון היא מעניקה לקיפודן, באזור מוצאו?
- י. האם על פי תוצאות הניסוי אפשר לגדל פרחי קיפודן בישראל בחורף? אם כן, כיצד?
- יא. מדוע רצו המגדלים לייצא את פרחי הקיפודן לאירופה בחורף?
- יב. מה היה התפקיד של טיפול ב' ומה היה התפקיד של טיפול ג'?

הרחבה והעמקה

למה באמת החצב פורח בסתיו?

באביב, כשהסביבה מתחממת ומתייבשת, גם העלים של החצב מתייבשים. בתוך האדמה נשאר הבצל במצב של תרדמה. בשלב זה, פקע הפריחה כבר נוצר בתוך הבצל, אך הוא "ממתין" לאות חיצוני או פנימי על מנת להתארך ולהשלים את התפתחותו. בסוף הקיץ, הפקע מקבל את האות ועולה מתוך הבצל, תוך יצירת גבעול פריחה ארוך. העלים החדשים מתפתחים מאוחר יותר, לאחר סיום הפריחה.

מהו האות להשלמת התפתחות פרח החצב? לא סביר שהתקצרות היום היא האות לפריחה, מכיוון שהאיבר היחידי שיכול לקלוט את האות הזה הוא הבצל, והוא נמצא בתוך האדמה ואינו חשוף לאור (העלים, כאמור, יבשים). יתירה מזאת, בניסויים שנערכו לא מצאו כל השפעה לאורך היום. אחת ההשערות היא שתחילת התקררות הלילות היא האות לפריחת החצב. אולם, לעתים אפשר לראות חצבים פורחים כבר בחודש באוגוסט כאשר טמפרטורות הלילה עדיין בשיאן. מהות האות המכוון את פריחת החצב היא עדיין בגדר נעלם.

הפיטוטון

הפיטוטון הוא בית צמיחה מבוקר ברמה גבוהה ביותר. בפיטוטון ניתן לגדל צמחים בתנאים קבועים של טמפרטורה, של אורך יום ושל לחות. הפיטוטון מצויד במערכות קירור וחימום מיוחדות המאפשרות לשמור בו על טמפרטורת אוויר רצויה, באופן אחיד ורציף גם בתנאי סביבה קיצוניים ביותר (ניתן לשמור על טמפרטורה נמוכה גם כאשר בחוץ חמסין, או על טמפרטורה גבוהה גם כאשר בחוץ כפור). הפיטוטון מצויד במערכת תאורה מלאכותית ובמערכת החשכה המאפשרות לבקר את אורך היום וכן במערכות המבקרות את לחות האוויר.

לרוב, הפיטוטון מחולק לחדרים, ובכל חדר נשמרים תנאי טמפרטורה שונים אך קבועים. בכל חדר ניתן לגדל את הצמחים בתנאי יום ארוך, על ידי תוספת הארה מלאכותית בשעות הלילה, או בתנאי יום קצר, על ידי החשכת הצמחים למספר השעות הרצוי.

הפיטוטון מאפשר לבדוק את השפעת הטמפרטורה, אורך היום והלחות (וכן שילובים שונים שלהם) על שלבים שונים וספציפיים בהתפתחות הצמחים (לדוגמה, על תהליך הפריחה) והוא משמש לצורכי מחקר ופיתוח.

במה שונה הפיטוטון מחממה רגילה?

בחממה, בדומה לפיטוטון, ניתן לבקר את אורך היום וגם לחמם לטמפרטורה הרצויה, אך לא ניתן לקרר בצורה יעילה. חממות אינן מצוידות במערכות קירור יעילות (מזגנים) אלא רק במערכות צינון (מזרון לח) או אוורור אשר יכולות להוריד במעט את הטמפרטורה בתנאי חום ועוצמת קרינה גבוהה. בחממה גם לא ניתן לבקר באופן יעיל את הלחות.

במה שונה הפיטורון מתאי גידול מלאכותיים?

בתאי גידול מלאכותיים ניתן לבקר את אורך היום, את הטמפרטורה ואת הלחות באופן דומה לזה שבפיטורון. ואולם, בתאי הגידול התאורה היא מלאכותית בלבד, ואילו בפיטורון הצמחים גדלים באור השמש (מבנה הפיטורון הוא מזכוכית ולכן חדיר לאור השמש). ההארה המלאכותית בפיטורון היא רק לצורך הארכת היום.

נזקים של טמפרטורות נמוכות

כאשר טמפרטורת הסביבה נמוכה מהטמפרטורה המזערית הדרושה לגידול הצמח, הצמח סובל מנזקי צינה או מנזקי קרה.

נזקי צינה מופיעים כאשר טמפרטורת הסביבה היא בין 1 ל-10 מעלות צלזיוס. עם זאת, יש צמחים רבים אשר עמידים לצינה. הצינה פוגעת רק בצמחים אשר רגישים לטמפרטורות נמוכות, ואלה הם בעיקר צמחים טרופיים או סוב-טרופיים. הפגיעה היא בקרומי התאים ובכלורופיל, והיא גורמת להפסקת תהליך הפוטוסינתזה ולתמותת תאים. כתוצאה מכך כל תהליכי ההתפתחות בצמח מעוכבים והוא מפסיק לצמוח. יש צמחים, כמו מנגו, שבהם נזקי הצינה הם הפיכים, כלומר: הצינה פוגעת בעלים אבל הצמח "מתאושש" במהירות לאחר שהצינה חולפת. צמחים אחרים, למשל: מינים מסוימים של סחלבים טרופיים, רגישים יותר לצינה, וצינה ממושכת יכולה לגרום למותם.

נזקי קרה מופיעים כשטמפרטורת הסביבה יורדת אל מתחת ל-0 מעלות צלזיוס. בטמפרטורה כזאת, חלקים בצמח קופאים וקרומי התאים נפגעים. כתוצאה מכך, חלקים בצמח משחירים, העלים, הפירות והפרחים מתייבשים והצמח כולו עלול למות. אם רק הגבעול והעלים נפגעים, הצמח יכול להתחדש באביב, אבל אם גם השורשים נפגעים, הצמח לא יוכל להתחדש.

הרגישות לקרה אינה שווה אצל כל הצמחים. יש צמחים, למשל זנים מסוימים של ורדים, אשר יסבלו מנזקי קרה רק אם הטמפרטורה תרד אל מתחת למינוס 9 מעלות צלזיוס. גם משך הזמן שהצמח יכול להתקיים למרות הקרה שונה מצמח לצמח.

עמידות לעקות טמפרטורה באמצעות הנדסה גנטית

עקה היא מצב שגורם הפרעה והגבלה לתהליך התפתחות הצמח. חוקרים הצליחו ליצור צמחים מהונדסים (טבק, למשל) שהיו עמידים לצינה. לצמחים המהונדסים החדירו גנים מחיידקים או מצמחים אחרים שהם עמידים לצינה. הגנים האלה גרמו לשינויים בהרכב של קרומי התאים בצמחים המהונדסים. השינויים האלה הגנו על הקרומים והם לא נפגעו מן הטמפרטורות הנמוכות. הקרומים המוגנים מנעו את הנזק לתאים ולצמח כולו.

חוקרים אחרים הצליחו ליצור צמחי תודרנית מהונדסים שהיו עמידים לקרה פתאומית, אפילו לטמפרטורה של מינוס 7 מעלות צלזיוס. לשם כך, השתמשו החוקרים בגנים שנמצאים בתודרנית באופן טבעי ומגנים עליה מפני קרה, אלא שהגנים האלה מתחילים לפעול רק כמה ימים לאחר שמתחילה הקרה. לכן, במקרה של קרה פתאומית, צמחי התודרנית ה"רגילים" מתים כבר בטמפרטורה של 0 מעלות צלזיוס. בצמחים המהונדסים, החוקרים גרמו לגנים המגנים לפעול באופן קבוע, ולכן הצמחים היו מוגנים גם מפני קרה פתאומית. הגנים שפעלו בצמחים המהונדסים השפיעו, כנראה, על יציבות קרומי התאים, שהם הנפגעים העיקריים בקרה.

אמצעים נוספים לוויסות הטמפרטורה

סחרור האוויר בבית הצמיחה – סחרור האוויר מגביר את שיעור הדיות של הצמחים, וכתוצאה מכך מגביר את הצינון העצמי שלהם. כאשר משתמשים באמצעי כזה יש להבטיח אספקת מים סדירה לצמח למניעת מחסור במים.

מזרן לח – המזרן הלח הוא מתקן שעשוי מקרטון מיוחד; צורתו דומה לכוורת ודרכו זורמים מים. המזרן הלח מותקן לאורך אחד הקירות של בית הצמיחה ובקיר ממול מותקן מאוורר אשר שואב את האוויר החם מבחוץ פנימה, דרך המזרן הלח. אוויר חם ויבש, שנכנס לבית הצמיחה דרך המזרן הלח, "מוטען במים", וכאשר הוא עובר דרך החממה לכיוון המאווררים השואבים אותו החוצה, המים מתאדים והאוויר מתקרר (מכיוון שהאידי צורך אנרגיית חום מן הסביבה).

מערכת התזה – ממקמים מתקני התזה סמוך לפתחי הגג או בגובה הגידול ומשליבים גם אוורור או סחרור של האוויר בתוך בית הצמיחה. אידיי המים המותזים מקרר את אוויר בית הצמיחה. החיסרון של השיטה הזאת הוא בעובדה שהטיפות הגדולות יוצרות שכבת מים על הצמחים ולכן הן עשויות לגרום מחלות בצמחים. הבעיה הזאת אינה קיימת, בדרך כלל, בתנאי שרב, משום שאז קצב ההתאדות הוא מהיר. אם במים המותזים יש מינרלים רבים, יש סיכוי רב שיצטברו מלחים על העלים. המלחים שמצטברים מלכלכים את העלים ואף יכולים לגרום לצריבת העלים. לכלוך העלים והצריבות הם בעלי משמעות בייחוד בצמחי נוי.

ערפול – אפשר לרסס טיפות זעירות של מים (כמה מיקרונים בלבד), שמתאיידות באוויר לפני שהן מגיעות לצמח או לקרקע.

השקיה – בזמן קרה, המים חמים יותר מן האוויר. לכן, בזמן קרה, אפשר לחמם את האוויר בסביבת הצמחים באמצעות השקיה.

ערבול – כדי למנוע נזקי קרה אפשר להשתמש במאווררים שמערבלים את האוויר הקר (אשר מצטבר בתחתית החממה) ואת האוויר החם יותר (אשר מצטבר מתחת לתקרת החממה), ועל ידי כך מונעים הצטברות של האוויר הקר באזור הצמחים. כמו כן, אפשר

להשתמש בכל אמצעי אחר אשר מונע את "בריחת" האוויר החם לתקרת החממה, למשל, אפשר לפרוס רשת מעל הצמחים.

תפיסות חלופיות

רבים מאתנו, ילדים ומבוגרים, נוטים להשתמש בצורה מוטעית במושגים שקשורים בחום. אנו משתמשים נכון במילים "חם" או "קר" כדי לציין גופים בעלי טמפרטורה גבוהה או נמוכה. אנו גם אומרים "חימום" או "קירור" כדי לציין העלאה או הורדה של הטמפרטורה. משמעות החימום היא הוספה של חום (או אנרגיית חום), אך קירור אין פירושו הוספה של "קור" אלא הרחקה של חום. גם המכשירים השונים שבעזרתם אנו מווסתים את טמפרטורת הסביבה פועלים כך. התנור מוסיף חום לסביבתו, ואילו המקרר אינו מוסיף "קור", אלא מרחיק חום מהאזור שהוא מקרר.

חשוב להקפיד שלא להשתמש במושג "קור" כמושג מנוגד למושג חום. המושג "קור" אינו מושג מדעי. אי-אפשר "להוסיף קור לגוף", ולא נכון לומר ש"הצמח נפגע מהקור"; הצמח נפגע בגלל היותו בסביבה קרה או בטמפרטורות נמוכות.

סרט וידיאו

אפקט החממה, מתוך הסדרה **בעין חוקרת**, הטלוויזיה החינוכית הישראלית (קוד קלטת 20 - 25); סקירה של תיאוריות מדעיות שונות שמתארות ומסבירות את תופעת ההתחממות הגלובלית ומה ניתן לעשות כדי לצמצם את התופעה (20 דקות).

סרטונים ברשת

http://www.brainpop.co.il/he/category_8/subcategory_102/subjects_575/preview.wem
!

אנימציה באתר בריינפופ (Brain Pop) בנושא אפקט החממה (השימוש באתר כרוך בתשלום).

http://www.brainpop.co.il/category_8/subcategory_102/subjects_574/preview.wem
אנימציה באתר בריינפופ (Brain Pop) בנושא התחממות כדור הארץ (השימוש באתר כרוך בתשלום).

אתרים ברשת

<http://www.edugal.org.il/hokrim/library/ma038.htm>

מאמר בנושא הגורמים המווסתים את הפריחה של צמחים "מבשרי גשם" (למורה).

<http://www.snunit.k12.il/science/biology/gar.html>

מאמר בנושא הנדסה גנטית להקניית עמידות לקור (למורה ולתלמיד).

http://www.moag.gov.il/meteorology/sharav_yerakot.htm

מידע מטעם משרד החקלאות בנושא תופעות הקרה והשרב ואמצעי ההתמודדות עימן בחקלאות.

http://www.edu-negev.gov.il/nagar/green/metlet2_3.htm

מידע בנושא התגוננות מפני נזקי קרה בחקלאות (למורה).

<http://www.ces.ncsu.edu/depts/hort/consumer/weather/tempeffect-plants.html>

מאמר בנושא השפעת הטמפרטורה על התפתחות צמחים (למורה; באנגלית).

<http://www.agri.gov.il/Publications/OpenDoor/Ornamentals/Door-07.html>

מאמר בנושא הפיטורון.

http://www.plantstress.com/Articles/heat_i/heat_i.htm

מאמר בנושא השפעות עקות חום על התפתחות צמחים (למורה; באנגלית).

מקורות לקריאה נוספת

האנציקלופדיה לחקלאות, ירקות א, הוצאת האנציקלופדיה לחקלאות, תשמ"ט, עמ' 81-87; השפעת גורמים אקלימיים על גדילת ירקות - טמפרטורה.

חום וטמפרטורה, חוברת למורה, משרד החינוך, האגף לתכניות לימודים; האוניברסיטה העברית, המרכז להוראת המדעים, התשנ"ד, עמ' 30-33, המעבר של אנרגיית החום וקשיים מושגים בנושא.

"חיטוי שמש להדברת פגעים שוכני קרקע בלא כימיקלים", קטן י' ואחרים, מחקר חקלאי בישראל, ח (1-2) 1996, עמ' 83-100, עקרונות החיטוי התרמי-סולארי ויתרונותיו.

כאויר לנשימה, האוניברסיטה העברית, הפקולטה לחקלאות; המרכז הישראלי לחינוך מדעי-טכנולוגי ע"ש עמוס דה-שליט, 1997, עמ' 70-83, אפקט החממה (נתונים ופעילויות).

מערכות אקולוגיות – מדריך למורה, האוניברסיטה העברית, המרכז להוראת המדעים; משרד החינוך, האגף לתכניות לימודים, 2000, עמ' 83-94, מחזור הפחמן ואפקט החממה.

צמחים בחקלאות, זיו ע' ורימון ד', משרד החינוך, האגף לתכניות לימודים, 1998, עמ' 258-250, עקרונות הגידול בבתי צמיחה, ויסות גורמים סביבתיים.

"שיטות חימום והשפעתן על המיקרואקלים החממה", טייטל מ' וחובריו, השדה, עז (ד) 1997, עמ' 60-61, שיטות החימום השונות המקובלות בבתי צמיחה.

חקלאות ידידותית לסביבה

(עמ' 172-181 בספר לתלמיד)

הרעיונות המרכזיים

1. אם בחקלאות ינצלו ללא הגבלה את משאבי הסביבה וימשיכו לפגוע בהם, החקלאות לא תוכל להתקיים לאורך זמן.
2. בחקלאות ידידותית לסביבה (חקלאות בת-קיימא) משתמשים במשאבי הסביבה באופן מוגבל וחסכוני ומקטינים את הפגיעה בהם, כדי להפחית את הנזקים בסביבה בה אנו חיים וכדי שהחקלאות תוכל להמשיך ולהתקיים לאורך זמן.
3. בחקלאות ידידותית לסביבה מגדלים צמחים שמתאימים לתנאי האזור, מקפידים על מחזור וחיסכון במים, ומשתדלים לצמצם את השימוש בחומרים מזהמים ולהגדיל את השימוש בתחליפים ידידותיים לסביבה.
4. בחקלאות ידידותית לסביבה משתמשים בקומפוסט, בזבל ירוק, בחיפוי קרקע, בגידול משותף, במחזור זרעים ובטיפול משולב במחלות, בעשבים ובמזיקים. בדרך הזאת מונעים את דלדול הקרקע ממינרלים, מפחיתים את הפגיעה של מחלות ומזיקים ושומרים על הקרקע ועל מי התהום.
5. אפשר לייצר קומפוסט מפסולת ולהשתמש בו כזבל אורגני. ייצור הקומפוסט מסייע בפתרון של כמה בעיות שנובעות מהצטברות של פסולת. השימוש בקומפוסט יכול להחליף את השימוש בדשן כימי.
6. החקלאות האורגנית היא סוג של חקלאות ידידותית לסביבה. בחקלאות האורגנית נמנעים לגמרי משימוש בחומרים כימיים סינתטיים (שמוצרים בתעשייה), כמו: דשנים, חומרי הדברה והורמונים.
7. המזון שמיוצר בחקלאות אורגנית יקר, יחסית, אך הוא פוגע פחות בסביבה ורבים טוענים שהוא גם יותר בריא לאדם.
8. הטענה העיקרית נגד החקלאות האורגנית היא שהיא יקרה מדי ואינה יכולה לספק מזון לכל אוכלוסיית העולם.

המושגים המרכזיים

חקלאות ידידותית לסביבה, חקלאות בת-קיימא, חקלאות אורגנית, גידול משותף, גידולי זבל ירוק, מחזור זרעים, קומפוסט, מחזור, חיפוי קרקע, טיפול משולב במחלות ומזיקים.

תשובות לשאלות

תשובות לשאלות

(עמ' 180 בספר לתלמיד)

3.

המטרה	שיטות וחומרים מקובלים	שיטות וחומרים לסביבה ידידותיים
אספקת מינרלים	דישון וזיבול	חיפוי קרקע; מחזור זרעים; גידול משותף; זבל ירוק; קומפוסט
טיפול במחלות ובמזיקים	הדברה כימית	טיפול מונע; הדברה ביולוגית; גידול משותף; מחזור זרעים; קומפוסט; חומרי הדברה טבעיים

את הטבלה אפשר להרחיב באופן כזה:

המטרה	השיטות בחקלאות מקובלות	השיטות בחקלאות ידידותית לסביבה
אספקת מים	השקיה	השקיה מזערית; בחירת גידולים בעלי צרכים מתאימים; שמירה על רטיבות הקרקע, למשל: בעזרת חיפוי קרקע
ויסות הטמפרטורה	בתי צמיחה; מנהרות; תנורים	גידול צמחים מקומיים; מנהרות ובתי צמיחה; חיפוי קרקע
ויסות התאורה	החשכה; הארה; הצללה	גידול צמחים מקומיים; הצללה
עיבוד הקרקע	מכונות	כלים ידניים

4. דישון חנקני וגידול זבל ירוק הם שני אמצעים שמשמשים להעשרת הקרקע בחנקן. הדישון מספק לצמחים כמות גדולה של חנקן באופן מידי וזמין, והוא נוח לשימוש, אך הוא עלול לזהם את הקרקע ואת המים. גידול זבל ירוק, לעומת זאת, מעשיר את הקרקע בחנקן בריכוז נמוך יותר, אך במשך כל תקופת הגידול וללא סכנה של זיהום הסביבה. הזבל הירוק גם יכול לשמש בהמשך כחומר חיפוי או כחומר גלם ליצירת קומפוסט.

עבודה 15: הכנת קומפוסט

(עמ' 176-177 בספר לתלמיד)

הנחיות

אפשר להכין קומפוסט כל עונות השנה. בעונות החמות הקומפוסט נוצר מהר יותר. לערמת הפסולת ניתן להכניס כל פסולת צמחית מן המטבח (לא עצמות, דגים ובשר). אפשר גם להכניס את כל הפסולת הצמחית מן הגינה, למעט מחטים של עצי אורן (שמכילות חומרים מעכבי צמיחה) וחלקי צמחים נגועים במחלות. אפשר גם להכניס שאריות של בד טבעי (כותנה או צמר), נייר וקרטון, וכן זבל שמקורו בבעלי חיים שניזונים רק מצמחים.

אם יש אפשרות, מומלץ להכין את הקומפוסט בתוך מכל מתאים – קומפוסטר. את תחתית המכל כדאי לרפד בחומר גזם גס, ומעליו לסדר לסירוגין שכבות של חומרים יבשים וחומרים רטובים. את המכל יש להציב בצל. רשימה של ספקי קומפוסטרים ניתן למצוא באתר של המשרד להגנת הסביבה.

http://www.sviva.gov.il/Enviroment/Static/Binaries/ModulKvatzim/compost-salers_07_1.pdf

ככל שהחלקים בערמה קטנים יותר, כך הכנת הקומפוסט מהירה יותר (הפירוק מהיר יותר). יש חשיבות גדולה לרמת הלחות בערמה. הערמה צריכה להיות לחה כמו סמרטוט סחוט – לא יותר ולא פחות. אם הערמה אינה מתחממת, או אם נודף ממנה ריח רע או שהיא רטובה מדי, יש להוסיף חומרים יבשים ולערבב. אם היא יבשה מדי, יש להוסיף מים.

תשובות לשאלות

1,2. במהלך הפירוק הביולוגי שמתרחש בערמת הקומפוסט נפלט חום, ולכן הערמה מתחממת. הטמפרטורה יכולה להגיע עד ל-80 מעלות צלזיוס. כאשר בערמת הקומפוסט הטמפרטורה גבוהה, סימן שמתרחש פירוק. (בטמפרטורות השיא, הפירוק מתרחש על ידי חיידקים שעמידים יחסית לחום.) כאשר קצב הפירוק יורד, גם הטמפרטורה יורדת. הטמפרטורה הגבוהה ממיתה גורמי מחלות וזרעים בלתי רצויים (למגדל) שעשויים להימצא בערמת הקומפוסט.

הצעות לעבודות נוספות

לאחר הכנת הקומפוסט מומלץ להשתמש בו לזיבול צמחים בחווה או בבית הספר. ניתן לתכנן, יחד עם התלמידים, ניסוי שיבחן את השפעה של הזיבול בקומפוסט על התפתחות

הצמחים. ניתן לבדוק את ההשפעה של ריכוזים שונים של קומפוסט וגם להשוות לזיבול בחומר זבל אחר או בדשן כימי.

הצעות לשאלות נוספות

1. בטבלה שלפניכם יש נתונים על שטח הגידולים האורגניים בישראל ב-2004.

טבלה: שטח הגידולים האורגניים בישראל בשנת 2004

הענף החקלאי	גודל השטחים האורגניים (בדונם)	אחוז השטחים האורגניים מסך כל השטחים בענף
פרי הדר	4,900	2.6
מטעים	10,100	2.7
ירקות בשטח גלוי	10,500	2.1
ירקות בבתי צמיחה	1,700	5.4
גידולי שדה	30,000	1.6
תבלינים	500	2.5
סך הכול	57,700	1.9

- מה היה סך כל השטח החקלאי האורגני בישראל ב-2004? איזה אחוז הוא היווה מסך כל השטח החקלאי בישראל?
- באיזה ענף השטח האורגני היה הגדול ביותר?
- האם בענף הזה, השטח האורגני היווה אחוז גבוה מסך כל השטחים? מה אפשר ללמוד מכך?
- באיזה ענף, אחוז השטח האורגני היה הגבוה ביותר מסך כל השטחים?

הרחבה והעמקה

את ההבדלים בין שיטות גידול "רגילות" לשיטות גידול בחקלאות ידידותית לסביבה אפשר לסכם בטבלה כזאת.

הנזקים לסביבה	שיטות שגורמות נזקים	שיטות שמצמצמות את הנזקים
זיהום קרקע	דישון והדברה	קומפוסט; זבל ירוק; גידול משותף; חיפוי קרקע
זיהום מים	דישון והדברה	קומפוסט; זבל ירוק; גידול

משותף; חיפוי קרקע		
קומפוסט; זבל ירוק; גידול משותף; חיפוי קרקע	מונוקולטורה	דלדול הקרקע ממינרלים
חיפוי קרקע; טרסות	רעייה; כריתת עצים	סחיפת הקרקע
גידול זנים מקומיים; גידול משותף; חיפוי קרקע קומפוסט; זבל ירוק	דישון; השקיה	המלחת הקרקע
קומפוסט; זבל ירוק; גידול משותף; חיפוי קרקע	דישון; השקיה	המלחת המים
חיפוי קרקע; זנים מקומיים	השקיה	בזבוז מים

הזנת הצמח בחקלאות האורגנית

שיטת ההזנה המקובלת ביותר בממשק של החקלאות האורגנית היא זיבול בקומפוסט אורגני. את הקומפוסט האורגני מכינים מזבל פרות אורגני, שהוא זבל מפרות שאוכלות רק מזון אורגני, מזון שגדל בשדות שזובלו בקומפוסט אורגני. גם זיבול בהומוס שלשולים נפוץ בחקלאות האורגנית. הומוס שלשולים הוא זבל בעלי חיים, שעבר קומפוסטציה ולאחריה עבר דרך איברי העיכול וההפרשה של השלשולים. להעשרת הקרקע בחנקן, משתמשים בחקלאות האורגנית בעיקר בזבלים אורגניים שתכולת החנקן בהם גבוהה וקצב שחרור החנקן מהיר, למשל: בגואנו או בקמח נוצות. בחקלאות האורגנית נפוץ גם הבקטור בחיידקי ריזוביום והשימוש בזבל ירוק (בעיקר קטניות). גם זבל עופות יכול לשמש כדשן אורגני, אבל בחקלאות אורגנית מרשים להשתמש בו רק לאחר שמתסיסים אותו במים. ההתססה מפרקת את התרופות וההורמונים שניתנים לעופות במזון ומופרשים בלשלת. בחקלאות האורגנית גם מדשנים באבקות סלעים, כמו: בזלת (שעשירה בברזל וביסודות קורט), וכן בחומר שמכילים מכבול, בתחליב שמפיקים מפגרי דגים ובתרכיזי אצות. בחקלאות האורגנית גם מקפידים על "מחזור זרעים", כדי למזער את דלדול היסודות המינרליים בקרקע ולשמור על פוריותה.

חסידי חקלאות בת קיימא דוגלים בהפחתה מבוקרת של שימוש בשיטות חקלאיות "מזהמות", ומרבים להשתמש בחלופות "אורגניות" יעילות. המוטו של הגישה הזאת הוא: "שימוש בדשנים כימיים - מעט ככל האפשר, אך הרבה ככל הנחוץ."

קיימות

קיימות היא המונח שקבעה האקדמיה ללשון כתרגום למילה Sustainability. פירוש המונח הוא יכולת להתקיים, לשרוד לאורך זמן ממושך. קיימות חותרת לפיתוח המתחשב ברמת

הרווחה ובמרחב האפשרויות של הדורות הבאים, שיאפשר להם לזכות במשאבי הסביבה וערכי הטבע העומדים כיום לרשותנו. לפי הגישה של קיימות יש להתייחס לפיתוח בראייה רחבה מבחינת טווח הזמן, המרחב והאוכלוסיה המושפעת. פיתוח בר-קיימא (Sustainable Development) הוא פיתוח שיכול להתקיים לאורך זמן רב ביותר באותו אופן, כיוון שהוא אינו פוגע בבסיס המשאבים שהוא נשען עליהם. ניצול המשאבים נעשה בקצב המאפשר לתהליכים טבעיים לחדש את מה שנוצל. פיתוח כזה מגביל את יכולת הצמיחה שלו עצמו לפי כמות המשאבים והתחדשותם על פני כדור הארץ, ודואג לטפח את המערכות הטבעיות שמספקות לנו ישירות או בעקיפין את מרבית המשאבים הללו. זהו פיתוח מתוכנן, והוא אינו יוצר בסביבתו מפגעים לא-הפיכים. גם בצירופים אחרים שבהם מופיעה המילה "בר-קיימא" (סביבה בת-קיימא, חקלאות בת-קיימא) מתכוונים למהות, להתנהגות או לאורח חיים שיכולים להתקיים כפי שהם לאורך זמן.

קומפוסטציה

קומפוסטציה היא תהליך יצירת הקומפוסט – תהליך שבו חומרים אורגניים, שמקורם מהחי או מהצומח, עוברים פירוק ביולוגי בתנאים אווירניים (בנוכחות חמצן) מבוקרים. הפירוק מתרחש על ידי מיקרואורגניזמים עמידים לחום, בתהליך של חמצון, ולכן התהליך דורש חמצן. אמנם פירוק חומר אורגני, כלומר ריקבון, מתרחש גם באופן טבעי ללא התערבות האדם, אך תהליך הקומפוסטציה נעשה בתנאים מבוקרים לשם קבלת תכונות קומפוסט רצויות.

תהליך הקומפוסטציה מורכב משלושה שלבים: בשלב הראשון, בימים הראשונים של התהליך, טמפרטורת הקומפוסט עולה ל-40-50 מעלות צלזיוס, ומתרחש בו פירוק של סוכרים ושל חומרים אחרים שמתפרקים בקלות. בשלב השני, שיכול להימשך חודשים, הטמפרטורה עולה ל-40-80 מעלות צלזיוס. בשלב הזה מתרחש פירוק של חומרים קשי פירוק, כמו תאית, ויש תמותה של מרבית היצורים החיים שעדיין קיימים בקומפוסט, ביניהם מיקרואורגניזמים, זרעים ונבגים. בשלב השלישי, קצב הפירוק יורד והטמפרטורה גם היא יורדת בהדרגה. בשלב הזה מתחילות להיווצר בקומפוסט אוכלוסיות מיקרואורגניזמים חדשות, בלתי מזיקות לצמחים. בסופו של תהליך הקומפוסטציה מתקבל קומפוסט נקי מגורמי מחלות ומריחות רעים.

הקומפוסט משפר את תכונות הקרקע ומשמש כמצע גידול מנותק. קיים מגוון גדול של קומפוסטים בעלי הרכב כימי וביולוגי שונה. השוני נובע משימוש בחומרי גלם שונים ובשיטות ייצור שונות וכן ממידות שונות של הבשלה. השונות הרבה מאפשרת את התאמתו של כל קומפוסט לצרכים חקלאיים שונים. תוספת קומפוסט עוזרת לשמור על תכונות פסיקליות

רצויות של הקרקע, כמו: חדירות הקרקע למים, אוורור, רמת pH וריכוז מלחים בקרקע. הקומפוסט גם מעשיר את הקרקע בחומרי הזנה (תרכובות אורגניות ומינרלים) ובמיקרואורגניזמים. תוספת מעשירה כזאת יכולה להגדיל את כמות היבול ולשפר את איכותו. סוגים מסוימים של קומפוסט גם יכולים לסייע בדיכוי מחלות קרקע שונות שפוגעות בצמחים.

עם זאת, הקומפוסט גם עלול לפגוע בהתפתחות הצמחים, אם הוא מכיל חומרים רעילים (למשל: מתכות שמקורם בחומרי הגלם ששימשו להכנת הקומפוסט), או אם נשארו בו גורמי מחלות אשר לא הושמדו בתהליך הקומפוסטציה או שהתפתחו כחלק מהאוכלוסיה החדשה בקומפוסט לאחר הבשלתו. כדי להימנע מנזקים כאלה, משרד החקלאות דורש לבצע בדיקה כימית וניסוי הקומפוסט לפני התחלת השימוש בו, בהתאם לתקנים מסוימים.

סרטונים ברשת

http://www.youtube.com/watch?v=c0iNW_ljF4E

http://www.youtube.com/watch?v=H9c4z_l2bMc&feature=related

סרטים של תלמידים בנושא הכנת קומפוסט וחיבותו.

http://www.brainpop.co.il/category_8/subcategory_102/subjects_3825/preview.weml

אנימציה באתר בריינפופ (Brain Pop) בנושא טיפול באשפה (השימוש באתר כרוך בתשלום).

אתרים ברשת

חקלאות אורגנית וקיימות

<http://www.agri.huji.ac.il/~szekely/69STHEB.doc>

התקן הממשלתי לחקלאות אורגנית.

<http://www.heschelcenter.org/newsletter/issue7/organic.doc>

מאמר שמתאר את שיטות הגידול האופייניות לחקלאות האורגנית.

<http://www.organic-israel.org.il/profile.asp>

האתר של הארגון לחקלאות אורגנית.

http://environment.gov.il/bin/en.jsp?enPage=BlankPage&enDisplay=view&enDispWh at=Object&enDispWho=Articals^12749&enZone=agricultural_management

מידע מטעם המשרד להגנת הסביבה בנושא ממשק חקלאי ידידותי לסביבה (למורה).

<http://www.heschel.org.il/heshelphp/hazon.php?cat=kaiamut&ind=13>

מאמר בנושא קיימות (למורה ולתלמיד).

קומפוסט

http://www.sviva.gov.il/Enviroment/Static/Binaries/index_pirsumim/p0064b_1.pdf

הוראות הכנה ותחזוקה של קומפוסט (למורה ולתלמיד).

<http://telem.openu.ac.il/courses/2006a/c20237/compost-gold.htm>

מאמר בנושא קומפוסטציה, יתרונותיה והתנאים לשימוש בה (למורה).

http://groworganic.info/wordpress/?page_id=369

מאמר בנושא קומפוסט; כולל מידע ותמונות.

שונות

<http://www.qinatnoy.co.il/art/hipuy.html>

מאמר בנושא חיפוי קרקע, סוגים שונים של חיפוי ויתרונותיהם.

http://www.sviva.gov.il/Enviroment/Static/Binaries/index_pirsumim/p0156_1.pdf

חוברת רקע בנושא הדברה ביולוגית באמצעות תנשמות (למורה).

http://www.snunit.k12.il/heb_journals/biosfera/2310011.html

מאמר בנושא הדברה ביולוגית (למורה).

מקורות לקריאה נוספת

האנציקלופדיה לחקלאות, ירקות א, הוצאת האנציקלופדיה לחקלאות, תשמ"ט, עמ' 206-191; גידול ירקות בחקלאות אורגנית-ביולוגית.

יסודות מדע הקרקע, להב נ' ואחרים, 1999, זבל בעלי חיים, זבל ירוק וחקלאות אורגנית. "הומוס שלשולים כתחליף לקומפוסט בגידול מלפפוני חממה", אבירם ח', השדה סז (יב) 1987, עמ' 2488-2489, ניסוי לבדיקת ההשפעה של קומפוסט והומוס שלשולים על יבול מלפפונים.

צמחים בחקלאות, זיו ע' ורימון ד', משרד החינוך, האגף לתכנון לימודים, 1998, עמ' 111-109, מחזור זרעים.