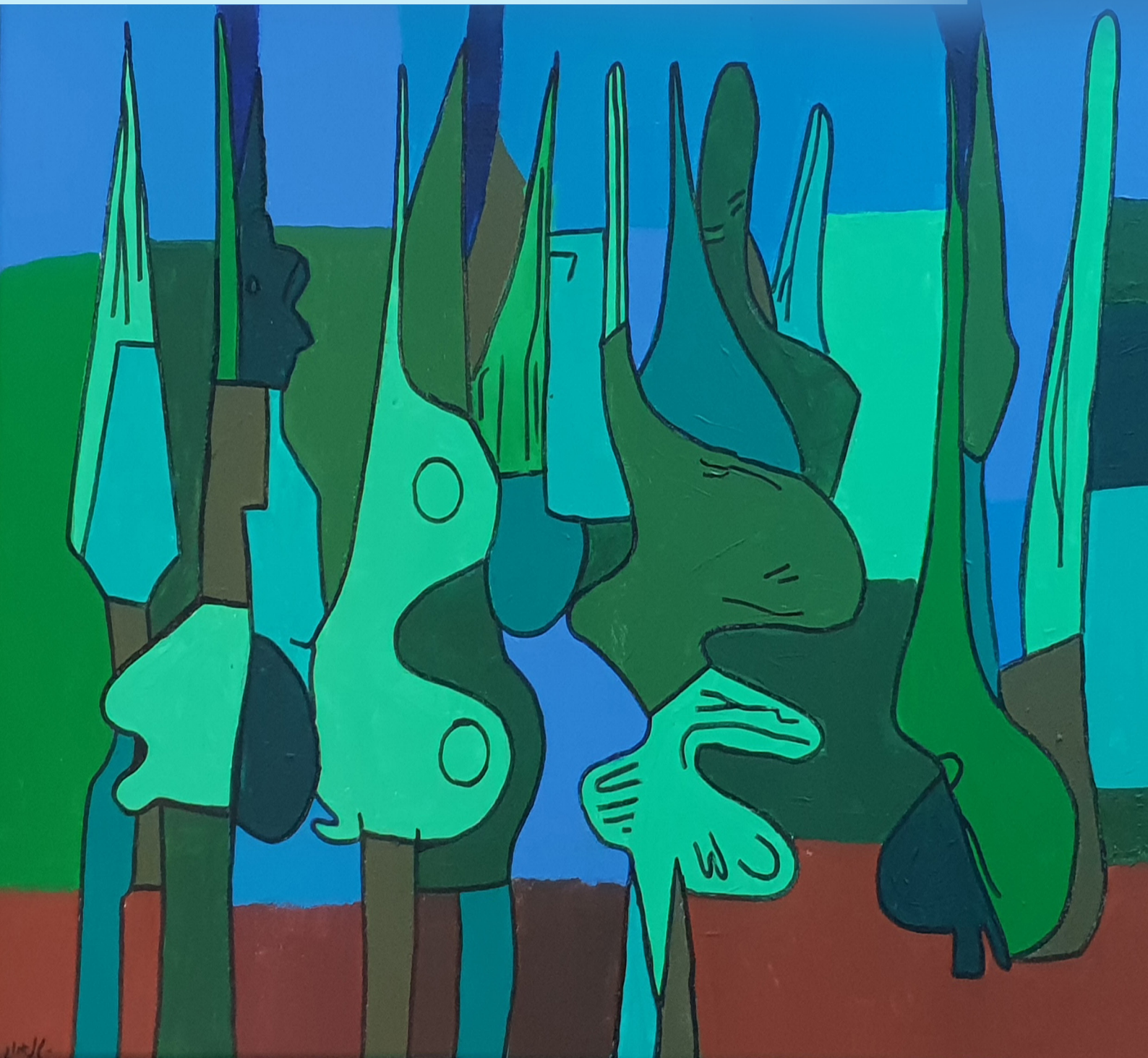


יודע הקלאי פיקה

עלון מורי מדעי החקלאות | גליון מס' 1 | יולי 2018 תשע"ח



המרכז הארצי למורי מדעי החקלאות
المركز القطري لمعلمي علم الزراعة

המרכז הארצי למורי מדעי החקלאות שמח להגיש לכם את העלון הראשון שהוא חלק בלתי נפרד מהאתר החדש שאנו משיקים בימים אלו. האתר והעלון הם רק חלק מהאמצעים לשדרוג המקצוע החשוב הזה. בעלון הנוכחי מאמרים מעניינים הנוגעים להיסטוריה של הכשרת מורים למדעי החקלאות, כתבות מקצועיות בתחומי ההתמחות השונים ואפילו מאמר מיוחד על החקלאות בספרות. אנחנו מקוות שתיהנו מהמאמרים ושתוכלו להשתמש בהם בהוראה. תודה לכל תורמי המאמרים.

ד"ר הדר הלר - מנהלת מרכז המורים למדעי החקלאות

ד"ר ג'אנט טלמון - עורכת העלון למורי מדעי החקלאות

ד"ר נירית ברנשטיין - יועצת אקדמית לעלון

דבר המפמ"ר

ישראל הפכה במהלך 70 שנות קיומה למעצמה עולמית בכל הנוגע ליזמות וחדשנות חקלאית. הרעיונות וההמצאות אשר יצאו מן השדה החקלאי, היצירתיות, המיומנות, התעוזה והחשיבה הרב-תחומית, של חקלאי וחוקרי החקלאות סייעו לאותם רעיונות להפוך למוצרים לפרוץ אל העולם כולו, והובילו את ישראל להישגים רבים. השגייה של ישראל בתחום החקלאות כמדינה חדשנית ופורצת דרך בקנה מידה עולמי, השפיע ומשפיע על כמות גדולה של אנשים בעולם.

ביטויים לכך תמצאו בעלון היוצא במתכונתו החדשה מטעם מרכז המורים להוראת מדעי החקלאות. בטוחני כי העלון ישרת את קהילת הלומדים ויתרום להעשרת הידע בקרב מורים תלמידים וכל המתעניין בתחום דעת זה.

מאחל לכולם קריאה מהנה ומועילה.

אבי אלקיים

מפמ"ר מדעי החקלאות

תוכן עניינים

2 - 4	ההיסטוריה של מדעי החקלאות- ראיון עם פרופ' אהוד יונגוירט ופרופ' עמוס דריפוס
5 - 8	מה השתנה בתכניות לימודים בחקלאות במאה שנים הראשונות- פרופ' אברהם בלום
9 - 10	החוזה החקלאית, מבט על פילוסופיה וחינוך- ד"ר דניאל פלורנטין
11 - 19	שגיאות נפוצות של מורים ותלמידים בנושאים של זרימת מים- פרופ' אלי זמסקי
20 - 29	עקרונות בהשרשת ייחורים - אבי אליהו וד"ר עינת שדות
30 - 37	דגי אמנון - תזונה ומזונות מלאכותיים עבורם - פרופ' שנאן הרפז ונתן גור
38 - 41	סקירה כללית על מחלת הכלבת- ד"ר בוריס יעקובסון
42 - 45	גישה אקולוגית בביקורת ספרות: אדם ואדמתו בשתי יצירות של מאיר שלו - ד"ר אורנה מונדשיין



ההיסטוריה של מדעי החקלאות

ראיון עם פרופ' אהוד יונגוירט ופרופ' עמוס דריפוס

כך הגעתי עם עליית הנוער לקיבוץ גן שמואל. זה היה המפגש הראשון שלי עם חקלאות.

בקיבוץ גן שמואל לא נשארתי הרבה זמן בשל "אי התאמה". בהמשך, למדתי גננות ושתלנות בחברה פרטית בירושלים והשתלמתי בגננות נוי במקווה ישראל במשך שנתיים.

בין השנים 1942-1946 שרתתי בחיל האוויר הבריטי, בעקר במצרים, עדן ואומן. תוך כדי השרות הצבאי, הצלחתי ללמוד לקראת Matriculation Exam London University, תעודה המקבילה לתעודת בגרות. על סמך תעודה זו, התקבלתי לאוניברסיטה העברית במכון ללימודי החקלאות ב-1946.

בשנת 1952 קבלתי תואר מוסמך למדעי החקלאות

רופ' אהוד יונגוירט הקים בשנת 1956 את "המגמה להוראת החקלאות" בפקולטה לחקלאות של האוניברסיטה העברית ברחובות, לימים המגמה הפכה ל"מחלקה לחינוך חקלאי והדרכה חקלאית". אחריו ניהלו את המחלקה פרופ' אברהם בלום ופרופ' עמוס דריפוס.

פנינו אל פרופ' אהוד יונגוירט ופרופ' עמוס דריפוס על מנת ללמוד יותר על המניעים והשתלשלות להתפתחות המקצוע.

אהוד: "נולדתי בווינה בשנת 1923. ב-12/3/38 יום הולדתי ה-15, נכנסו הנאצים לווינה וחצי שנה אחר



פרופ' אהוד יונגוירט



פרופ' עמוס דריפוס

והתקבלתי כמורה לטבע וחקלאות בבן שמן. באותם הימים פעלו ליד שגרירות ארה"ב בישראל ועדות מקצועיות לייעוץ לישראל הצעירה. אחת הועדות הייתה ועדה חקלאית ובראשה עמד מומחה לחינוך חקלאי פרופ' בדימוס בשם ויבר.

פרופ' ויבר התעניין ומצא שיש מחסור חמור במורים לחקלאות ושגם אלו שנמצאים במערכת לא ממש מקצועיים. פרופ' ויבר ומפקח בקרו בבתי הספר החקלאיים במטרה לאתר בין המורים לחקלאות את האדם המתאים אותו אפשר לשלוח להשתלמות לארה"ב. הם הציעו לי שנת השתלמות בארה"ב ולאחריה הקמת המגמה הפדגוגית בפקולטה לחקלאות. חזרתי לבן שמן אחרי שהשתלמתי באוניברסיטה של קליפורניה בדייויס במחלקה לחינוך חקלאי, ובמקביל התחלתי לנהל את המגמה הפדגוגית בפקולטה לחקלאות ברחובות. נאמר לי שעל מנת להמשיך לנהל את המגמה עלי להיות בעל תואר דוקטור. החלטתי לעשות דוקטורט ובחרתי בנושא שהסתמך על הניסיון שלי בהוראה בבן שמן. במחקרי בדקתי את ההשפעה של הוראת מקצועות משולבים (חקלאות וביולוגיה) בכיתה א' של בית הספר החקלאי (כיתה ט').

עד אז היה נהוג ללמד ביולוגיה לחוד וחקלאות לחוד. למשל, ללמד לחוד על הקרקע, לחוד על מים ולחוד על צמח. אני לימדתי את זה באופן אינטגרטיבי מנקודת המבט של הצמח".

מעיון בדוקטורט של אהוד (1961!), נראה שהשאלות והבעיות אתן מתמודד החינוך החקלאי גם כיום אינן שונות בהרבה. הבעיות עליהן המחקר כוון היו: איך להפוך נוער שעיקרו ללא רקע חקלאי ובחלקו אף אינו אוהד את החקלאות לעתודה חקלאית? איך להקנות לנוער זה את הרגלי החשיבה האינטגרטיבית שתיצור בהם את הגמישות המחשבתית הדרושה במקצוע לאחר גמר הלימודים?

המסקנות העיקריות מעבודת הדוקטורט של אהוד מעניינות ביותר, ונראה שהן רלוונטיות גם כיום. נמצא שאפשר להעלות את הישגי התלמידים בצורה משמעותית על ידי הוראת אותם נושאים בצורה אינטגרטיבית לעומת ההוראה המסורתית. מסקנה נוספת, לא פחות חשובה היא שאפשר לפתח את החשיבה האינטגרטיבית של התלמידים על ידי אינטגרציה של מקצועות הלימוד בשטחי הטבע והחקלאות כך שתוגבר יכולתם לפתור בעיות יישומיות בהשוואה להוראה המסורתית.

דוגמא למערך שעור בכיתה הניסוי: הנושא - הזרע בקרקע. דיון כיתתי לגבי המצב האופטימלי לקליטת

הזרע בקרקע על מנת שתהיה נביטה אופטימלית; בדיקת השפעת תנאים סביבתיים על נביטת הזרעים; הנבטת זרעים שונים בקרקעות שונות; סיור בשדה ובדיקה של גידולים;

בתום ההוראה התלמיד ידע מה קורה לצמח בקרקע. הקרקע מספק את כל התנאים לצמח על ידי הספקת מים ומזון. למסקנות אלה יש השפעה לגבי מועדי הזריעה ועוד.

אהוד: "תוצאות המחקר היו די מעודדות. הצעתי את שיטות ההוראה לאגף לחינוך חקלאי (שהיה אז במשרד החקלאות). באגף דחו את ההצעה בטענה כי "אין ספר לימוד כזה". לכן החלטתי לכתוב ספר ונתתי לו את השם אגרוביולוגיה. הספר אמור היה להיות בעל 2 כרכים. האחד, בהיבט הבוטני חקלאי והשני בהיבט הזואולוגי חקלאי. אני כתבתי כרך 1 - ההיבט הבוטני וחיפשנו שותף שיכתוב את הכרך השני, על ההיבט הזואולוגי. כששותף כזה לא נמצא, השימוש בספר דעך. עזבתי את האגרוביולוגיה ברגע שהגיעה לארץ תכנית BSCS¹".

שאלה:

מתי מתחיל תהליך הכשרה ממוסד של מורים לחקלאות בפקולטה?

אהוד: "בשנת 1956, לפני כן לא היה כלום בפקולטה לחקלאות ברחובות. מי שבחר ללכת להוראה קיבל רק רקע עיוני ולא פדגוגי דידקטי. בשנות ה-50 המאוחרות נפתחה המגמה להוראה בפקולטה לחקלאות. קיבלנו תלמידי שנה ג' ללימודי תעודת הוראה. בהתחלה בתעודת ההוראה היה כתוב חקלאות, אחר כך נכתב גם ביולוגיה. כלומר, בוגר הפקולטה הוכשר ללמד בשיטה משולבת.

התעוררה התנגדות מהפקולטה לביולוגיה בירושלים. אחת הבעיות הייתה שהגורם המוסמך באוניברסיטה העברית למתן תעודות הוראה היה בית הספר לחינוך בירושלים והם לא ראו בעין יפה את קיום המחלקה בפקולטה לחקלאות. גם בפקולטה היו אנשים שאמרו שזה לא שייך לכאן. בסופו של דבר אלה שלא היו מעוניינים במחלקה ניצחו, עם סגירת המחלקה בשנת 2011".

שאלה:

מה עניין אותך במחקרים שלך?

אהוד: "רוב המחקרים שלי עסקו בהיבטים שונים של הוראת הביולוגיה או המדעים. לתפיסתי, לימוד משמעותי הוא כזה שהתלמיד יבין, ולא רק יזכור

את מה שלמד. ההבנה בעיני צריכה להיות יישומית, (אפליקטיבית). אם אין הבנה יישומית הלימוד לא היה משמעותי.

יצאתי לפנסיה בשנת 1990, ומאז אני לא מתעסק בחינוך, אלא בבולאות של ארץ ישראל.

פנינו לפרופ' עמוס דריפוס, גמלאי של האוניברסיטה העברית. חוקר הוראת המדעים והחקלאות. לשעבר מנהל המחלקה לחינוך חקלאי וחבר סגל החוג להוראת המדעים באוניברסיטה העברית. כיום ראש התוכנית לתואר שני בחינוך סביבתי במכללת סמינר הקיבוצים, תלמידו וממשיכו של פרופ' אהוד יונגורט ניהל את המחלקה ללימודי חינוך חקלאי והדרכה עד שנסגרה. השאלות אותן שאלנו את עמוס נגעו בעקר למקצוע מדעי החיים והחקלאות.

שאלה:

בזמנך היו שני מקצועות, מדעי החיים והחקלאות. מה היה הקשר ביניהם, אם בכלל.

עמוס: "בשנות ה-60-50 של המאה הקודמת, התפיסה שרווחה בארה"ב התייחסה לחקלאות כמקצוע מדעי לכל דבר. גם היום, מדעי החקלאות משתייך למזכירות הפדגוגית במשרד החינוך ולא לגף מדע וטכנולוגיה. מדעי החיים והחקלאות סיפקו את הבסיס הביולוגי לנושאים חקלאיים.

אף פעם החינוך החקלאי לא הוגדר כמקצועי, אלא חינוך של אדם. בכפרי הנוער, שם לימדו ועדיין מלמדים חקלאות, תלמידים מגיעים לפנימייה מסיבות חברתיות כך עם השנים החקלאות הפכה לאמצעי לחינוך ולא למטרה.

בשנות ה-90 של המאה הקודמת, הצענו לפיקוח על החקלאות פרויקט בבתי הספר החקלאיים שהתבסס על הרעיון שזה לא רק מדע אלא חינוך לקבלת החלטות. הפרויקט זכה לשם "פרויקט עיינות", היות ועיקר הפעילות התבצעה בכפר הנוער עיינות.

בין המטרות של הפרויקט, שיפור התרומה של המשק ללמידת נושאים מגוונים ורלוונטיים לפעילות התלמיד בענף ובבית הספר; חיזוק המיומנויות של התלמידים בתחום המידענות, ושימוש בטכנולוגיות תקשוב

בהקשרים שונים של הפעילות בענף החקלאי; סיוע והנחיה בתכנון העבודה בענף והצעות לשינוי האופי של שילוב המשק החקלאי בתהליך החינוכי; בניית דגמים שונים של פעילות בענף, המשלבים טכנולוגיות מידע ותקשורת בתהליך הלמידה; שימת דגש על ההיבטים השיווקיים והכלכליים של הענף, כחלק מתהליך הכשרת החניך; גיבוש עבודת צוות בקרב התלמידים תוך יצירת קשר בין כלל התלמידים העובדים בענף. כל זאת תוך הדגשת ההיבטים החברתיים הקשורים לעבודה בקבוצה בעלת הרכב מגוון, המתמודדת עם משימות משותפות, שיתוף פעולה, יחסים אנושיים בין התלמידים בינם לבין עצמם, וכן בין התלמידים לבין הממונים עליהם בהיררכיה הבית ספרית.

בשל בעיות תקציביות, יישום הפרויקט לא יצא לפועל."

שאלה:

כיום אנחנו מתמודדים עם הבעיה שמדעי החקלאות ממותג כמקצוע לתלמידים חלשים. כיצד לדעתך אפשר לשנות מצב זה ולתת למדעי החקלאות את המקום הראוי? הרי החקלאות הישראלית היא פורצת דרך וטכנולוגית.

עמוס: "היו מקרים של כפרי נוער בהם מקצוע החקלאות מותג כמקצוע מתקדם, למשל באשל הנשיא. המפתח היה אצל המורים. סיכויי ההצלחה למיתוג כזה הוא בבתי ספר חקלאיים בהם יש תלמידים חזקים יחד עם מורים טובים."

שאלה:

מה החזון שלך לגבי לימודי החקלאות?

עמוס: "להפוך את החקלאות כתומך במגוון רחב של מקצועות, ולא רק כמקצוע לבגרות. מקצוע המחנך לערכים ומחנך את התלמידים להיות אזרחים הדואגים ותורמים לסביבה.

על בית הספר להיות מחובר לקהילה. יש לבצע פעולות שמטרתן לשכנע את הורי התלמידים שלמקצוע החקלאות תפקיד מחנך יחד עם אקדמי. זאת הלמידה המשמעותית."

מה השתנה בתכניות לימודים בחקלאות במאה שנים הראשונות

פרופ' אברהם בלום

בן 90, עלה משווייץ כחקלאי, נוטע בקיבוץ, מרכז מטעים ומורה בבן שמן, למד חקלאות ברחובות וחינוך בשיקגו, היה בין מייסדי היחידה תכניות לימודים ופרופסור לחינוך חקלאי, מתנדב בחינוך.

טבע ועבודת האדמה כנושאים מרכזיים. הם הרבו בטיולים. הם האמינו שההסתכלות בסביבה היא כלי הכרחי ליצירת הקשר בין התלמיד לנוף ארצו. זאת, וההחלטה ללמד הכול בעברית היוו מהפכה לא קטנה לעומת ההוראה ב"חדר", שהייתה מבוססת על קבלת הנכתב בספרים בלבד. וילקומיץ ואפשטיין היו מושפעים מהמחנך השווייצרי פסטלוצי, שהיה הראשון שכלל בסדר היום בכפר הילדים שיסד - גם עבודה חקלאית.

מולדת כמקצוע בזמן הוועד הלאומי

בזמן השלטון הבריטי, מחלקת החינוך של "הוועד הלאומי של כנסת ישראל" פרסמה ב-1923 תכנית לימודים לבית הספר היסודי, ובו "מקצוע רב-ענפי" בשם מולדת. מקצוע זה כלל פרקים בטבע, חקלאות וגיאוגרפיה של ארץ ישראל, אבל השתמשו גם בסיפורי המקרא ובנביאים הראשונים כדי לחזק את הקשר הנפשי של התלמידים למולדת. "הדוד" יהושע (מרגולין) בלט בין המורים לטבע וחקלאות. הוא הקים את המכון הביולוגי-פדגוגי בתל-אביב. הוא פיתח את הרעיון של פינות חי בבתי ספר. הוא היה גם תומך נלהב של גינות בית הספר, אם כי תקוותו הייתה שיגדלו בהם צמחים ממשפחות בוטניות רבות, כדי שהתלמידים יוכלו להכיר אותן. בכל החידושים הדגיש את חשיבות **החקר**. המטרה הייתה לעורר בתלמידים הרצון לחקור את סביבתם ולא "להבין את הדיסציפלינה".

באנגלית מבדילים בין שתי רמות של תכניות לימודים:

(1) **syllabus** - הכולל לרוב כמה פסקאות על מטרות התכנית, מבנהו ודרכי ההוראה, ובעיקר רשימת הנושאים והמושגים המרכזיים והערות לגבי מדידת ההישגים.

(2) **curriculum** - הכולל מעבר לסילבוס גם דיון בגישה הדידקטית, העומדת אחרי התכנית, חומרי לימוד, הנחיות למורים, הצעות כיצד להתאים את הוראת התכנית לקבוצות תלמידים שונים וכלי מדידה מפורטים.

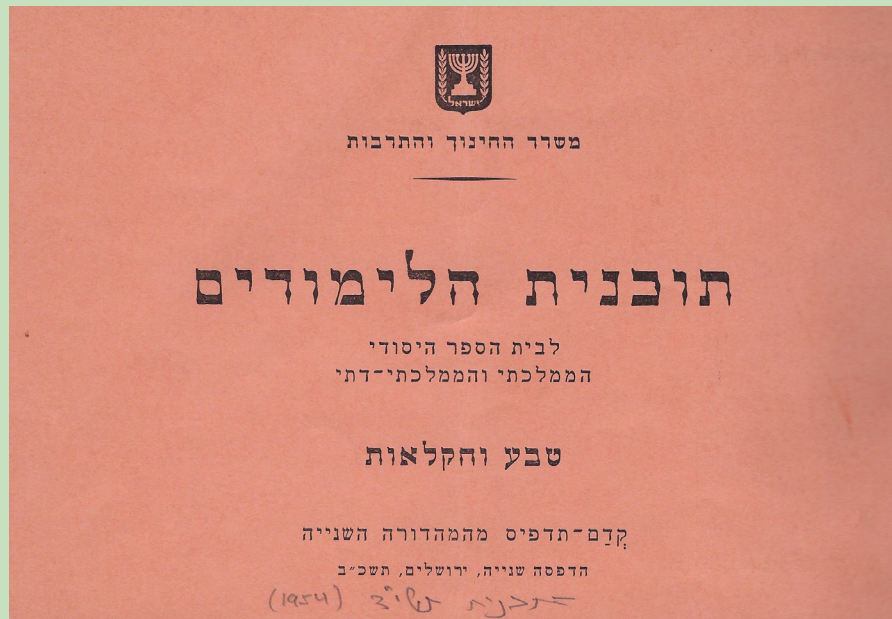
כאשר מתווסף ידע חדש, אפשר קל יחסית לעדכן את הסילבוס, לפרסם החלטות רלבנטיות של משרד החינוך, הנחיות הפיקוח וקיום ימי השתלמות. הדבר שונה, כאשר זרמים חברתיים ותרבותיים מביאים לדרישה לשנות נושאים חשובים ושיטות ההוראה והלמידה בתחום חינוכי מסוים. אדון בהמשך בשינויים בולטים שנעשו בתכניות הלימודים בתחום החקלאות במשך המאה ה-20.

החקלאות כחלק אינטגרלי של תכנית הלימודים

כאשר שמחה חיים וילקומיץ ויצחק אפשטיין פיתחו בתחילת המאה ה-20 בראש פינה תכנית לימודים לבית הספר הכפרי - הם הנהיגו לימודי



פרופ' אברהם בלום



מדענים אלה התחילו לשתף פעולה עם מורים בפיתוח תכניות לימודים מתאימים יותר. גם בארץ יזמו מדענים קבוצות דומות עם מורים במקצועות מדעים שונות. כך, למשל, אמצו המורים לביולוגיה בבית הספר התיכון. את הגרסה הצהובה של תכנית ה-BSCS האמריקאית והתאימו אותה לתנאי הארץ. במקביל עבדו קבוצות מורים אחרות באותה גישה על תכניות הלימודים במדעים אחרים, גם לבתי הספר היסודיים.

הרפורמה של שנות ה-60 וה-70

שתי התפתחויות שליליות הביאו להכרה, שיש צורך במהפכה בארגון החינוך בארץ. גל העלייה הגדול מארצות האסלאם (ולא רק משם) ויישובם הלא-שוויוני יצרופער חברתי גדול בין האוכלוסייה הוותיקה והעולים החדשים. תקופתו של חינוך החובה הוארך מגיל 14 ל-16, אבל לא היו מספיק מורים מוסמכים, ואלה התרכזו באזורים מבוססים יותר. הפער ברמת ההשכלה בין ישראל "הראשונה" וה"שנייה" גדל. הוחלט לשנות את מבנה מערכת החינוך הדו-שלבית (4+8 שנים) לתלת-שלבית (3+3+6). הוחלט להפריד את כיתות ז-ח מבית הספר היסודי ולהוסיף להם כיתה ט. כיוון שבית הספר היסודי שכוונתי ויש לו צביון השכונה, ובבית הספר התיכון הקיים הייתה הפרדה בין תלמידים ששאפו לבגרות ולאילו שכוונו לבית ספר מקצועי, רצו המתכנים שלפחות בחטיבת הביניים ילמדו תלמידים מאזורים מבוססים ומשכונות

אחרי קום המדינה - טבע וחקלאות כמקצועות נפרדים אחרי קום המדינה התקיימו בכנסת דיונים סוערים סביב מבנה החינוך וקביעת המטרות. הזרמים (כללי, עובדים ומזרחי), שנשלטו על ידי פוליטיקאים, בוטלו וב-1954 פרסם משרד החינוך תכנית לימודים חדשה, שבה מקצועות טבע, חקלאות וגאוגרפיה הופרדו. בתכנית לימודים זו עדיין מדובר ב"הקניית ידע על טבע המולדת... והקשר הטבעי אליה... ולנטוע בלב התלמידים יחס אינטימי לחלקת אדמה שהם עובדים אותה... והשאפה לעבודת החקלאית ולחיי כפר כצורת חיים נכספת, הן מבחינת בריאות הנפש והגוף והן מבחינת ההגשמה החלוצית ובניין המולדת". יש לזכור שמתחילת שנות ה-50 של המאה הקודמת ציפו קברניטי המדינה הצעירה שהכלכלה שלה תהיה מבוססת על חקלאות עתירת מדע. חוק החינוך הממלכתי של 1953 קבע שהחינוך הממלכתי וממלכתי-דתי יהיו מבוססים (בין היתר) על "אימון בעבודה חקלאית והמלאכה, על הכשרה חלוצית...". חוק זה שונה רק ב-1996, כאשר העמידו את התלמיד (ולא את שאיפות החברה) במקום הראשון: "עיסוק בית הספר הוא קידום הישגיו ופיתוח אישיותו וכישרונותיו של התלמיד".

נחזור לשנות ה-50, כאשר התקיים מרוץ בין ארצות הברית ורוסיה, מי יצליח ראשון לשלוח לוויין מלאכותי סביב כדור הארץ. כידוע, הרוסים ניצחו ב-1957 עם ספוטניק. מדענים אמריקנים האשימו את הממסד החינוכי בארצם שהוראת הטבע אינה מכשירה בוגרים שמבינים כיצד המדע קשור במחקר ובטכנולוגיה.

במצוקה - ביחד. כמו כן היה לחץ לכך שבחטיבת הביניים ילמדו מורים עם השכלה אקדמית. לכן הושקע מאמץ גדול בהשתלמות מורים. לא כאן המקום לשפוט אם התקוות שהיו למייסדי חטיבת הביניים התגשמו.

המהפך בתכניות הלימודים

במקביל לארגון מחדש של מערכת החינוך נעשה מאמץ אדיר לחדש את תכניות הלימודים.

ב-1965 נשלחה קבוצה של שבעה מורים לאוניברסיטת שיקגו, לשנת השתלמות בפיתוח תכניות לימודים והערכתן (על חשבון אונסקו!). למרות שכל אחד מהם ייצג מקצוע שונה, הם שאפו לתאום ביניהם על סמך מטרות החינוך, שעליהן החליטה הכנסת.

שר החינוך זלמן ארן וגם ועדה מטעם הכנסת היו מודאגים מכך, שבכיתות הגבוהות של בבית הספר היסודי מלמדים 15 מקצועות, חלק גדול על ידי מורים מקצועיים. מורים אלה רואים לעתים קרובות את התלמידים של כיתה מסוימת רק במשך שעותיים בשבוע. ברור שכך אי-אפשר שייווצרו קשרים אישיים בין מורה לתלמידיו בכיתות הרבות והצפופות, שבהם מורה מקצועי צריך ללמד, כדי למלא את כל המכסה. לכן הורה השר ארן לקבוצה בשיקגו לקבץ מקצועות קרובים, ולהתרכז בחטיבת הביניים שעמדה לקום. הנציג החקלאי עבד קרוב עם האחראים על תכנון הביולוגיה, הכימיה והפיזיקה. הקו המנחה היה שבחקלאות מנצלים ידע מהמדעים לטובת פתרון בעיות בחיי היום-יום.

אחרי שובם ייסדו את היחידה לתכניות לימודים והכשירו צוותים נוספים בתכנון לימודים. אם עד

ואגף) לתכניות לימודים 120 חברי צוות - למעשה כולם במשרה חלקית. חלק גדול של ההצלחה יש ליחס לצורת העבודה. ראשי הצוותים היו בדרך כלל מורים בעלי השכלה אקדמית בתחומם, קשורים למדענים מובילים כיועצים ועם ועדות תומכות. גם מרכזי הצוותים, שניהלו את הפרויקטים השונים, עבדו חלקית גם בהכשרת מורים, חברי הצוות היו מורים שחיפשו אתגרים, אבל המשיכו ללמד גם בבית ספרם, ושם יכלו לנסות את החומרים שבפיתוחם השתתפו. כך נוצרו הרבה מאות מבניות מגוונות. מנהל המרכז לתכניות לימודים הוזמן לוועדת החינוך של הכנסת, שם האשימו אותו בכך שהמרכז לוקח את הפרנסה של המו"לים. יושבת הראש של הוועדה הייתה במשך הרבה מאוד זמן שושנה פריזיץ האגדית - והיא בעצמה הייתה בעלת חברה להוצאת ספרים. הוחלט שכל התוצרת של המרכז לתכניות לימודים תצא לאור על ידי חברות ואלה יתחרו ביניהם בשוק החופשי. ומה קרה? המו"לים ייסדו חברה (מעלות) שבו כל המו"לים של ספרי לימוד השתתפו.

הגיבוש של "כוחות משימה" היה כה חזק שביקשנו מקצין חינוך ראשי לאפשר לנו להכין חומר לימודי "נערי רפול" - חיילים שלא סיימו את בית הספר היסודי והצבא אפשר להם להשלים את לימודי היסוד. עשינו זאת כחיילי מילואים והדרכנו את החיילות ששימשו כמורות.

כיצד התווסף המושג "וסביבתי" לתכניות בחקלאות

הוועדה מטעם הכנסת שתכננה את חטיבת הביניים, חשבה שבכיתות ז-ט צריך ללמד חקלאות רק

בהתייחסות ובערים צריך ללמד רק מלאכה. צוות החקלאות ערער בטענה ההפוכה. דווקא מושבניק צריך להיות מסוגל לתחזק מכשירים רבים, ודווקא תושבי העיר חייבים לדעת לגדל פרחים וליפות את הסביבה שבה שולט הבטון. בסוף החליטו שבכיתות ז-ט ילמדו שנה חקלאות, שנה מלאכה ובשנה השלישית אחד מהם. ברור ש"פיתרון" זה לא היה מעשי. צוות החקלאות מצדו החליט להדגיש את העיסוק עם גידול פרחים (שאז גם נעשה ענף חשוב ביצוא החקלאי). כמו כן הוחלט להדגיש את ניצול הישגי המדע בחקלאות. כדוגמה בולטת פיתחו את הניסוי שבו התלמידים מגלים כיצד אפשר לשנות את עונת הפריחה של צמחים שונים על ידי שינוי אורך היום. הניסוי הזה, שבו חלק



אז תכניות הלימודים היו מטיפוס סילבוס, דהיינו פרסום רשמי של חוברת דקה עם הגדרת המטרות, ובעיקר נושאי הלימוד, וספרי הלימוד חוברו לרוב על ידי המפקחים על המקצועות השונים, עברו עכשיו לפיתוח קוריקולום שלם. בתחום החקלאות, למשל, פרסמו ספרי לימוד, דפי עבודה לתלמידים, חומר הדרכה למורים (במקביל לחוברות לתלמידים, עם חומר רקע), מפות לארגון הניסויים והעבודות בגינה בבית הספר או ליד הבית, משחקים לימודיים בעלי אופי שונה, שקופיות (למשל על התפתחות האפרוח, כאשר לארצו שהילדים ינתחו), דפים לחישוב השטח בחלות, שבהם הדבורים מלאו דבש או גידלו וולד. בשיא התפתחות, עבדו ביחידה (אחר כך מרכז

מדע וטכנולוגיה בחברה מודרנית (מוט"ב)

"ועדת הררי"² המליצה בדוח שלה, ב-1992, לפתח מקצוע לימודים חדש - מדע וטכנולוגיה בחברה מודרנית - שיהיה חובה לתלמידים בחטיבה העליונה, אשר אינם מתכוונים להמשיך לימודים בכיוון מדעי-טכנולוגי. הנחת הייסוד הייתה שלכל אזרח בעולם המודרני צריכה להיות הבנה, כיצד המדע והטכנולוגיה משפיעים, לטוב או לרע. כיוון שיש אין סוף מצבים כאלה, לא חשבו שאפשר לבנות תכנית לימודים מפורשת. לכן המקצוע החדש נבנה מודולארית ועיקרו איננו בהיקף החומר הכלול ובכיסוי פרקי המדע והטכנולוגיה כולם, כי אם בהקניית כלים והרגלי חשיבה מדעיים וטכנולוגיים. הכוונה הייתה שמורים יכולים לבחור בין מיני-מבניות ש"יתחרו בשוק". בפקולטה לחקלאות ברחובות פיתח פרויקט יח"ס (יעד: חינוך סביבתי) בין היתר מבנית על בעיית ההדברה הכימית וכיצד אפשר לפתור את הבעיה. הפרק על החיטוי הסולרי של הקרקע פותח זמן קצר אחרי שטכנולוגיה זו, שפותחה בארץ על ידי חוקרים בפקולטה, התפשטה בכל העולם (במקום שהתנאים הטבעיים מתאימים). לפני כמה שנים אוחד מוט"ב עם תכנית לימודים דומה וקיבל שם חדש - "מדע וטכנולוגיה לכל". עדיין עובדים על פרטי התכנית החדשה, תוך הבטחה שחופש הבחירה של המורים יישאר עקרון חשוב.

מהצמחים מוארים בלילה, משך בהרבה מקומות את עיני השכנים. כאשר הצגנו את תכנית הלימודים החדשה לכיתה ז' לפני יו"ר המזכירות הפדגוגית, שרגא עדיאל, הוא קבע שזה כבר לא החקלאות של גידול הירקות בגינת בית הספר, והנושאים מהווים יותר חינוך סביבתי מהוראת החקלאות שהכרנו. הוא הציע לקרוא למקצוע "לימודי סביבה" - כאשר מושג זה עוד לא היה באופנה. כאשר ההצעה לשנות את שם המקצוע הגיעה לשר זלמן ארן, זה אמר שאיננו רוצה להיכנס לתולדות החינוך כשר שאחראי להוצאת מקצוע החקלאות מאשכול מקצועות החובה. כך פורסמו ב-1968 שתי תוכניות לימודים: "חקלאות ולימודי סביבה" בחטיבת ביניים, ו"לימודי סביבה וחקלאות" בבית הספר היסודי. זאת הייתה גם התקופה שבה גם בארצות רבות עברו מלימודי חקלאות תחת השם Rural Studies למושג החדש של Environmental Education. לקראת כנס אונסק"ו למדע בבית הספר היסודי, שהתקיים ב-1969 ברחובות, ביקשו מהפרויקטים בהוראת המדעים בארץ לתרגם קטעים טיפוסיים שלהם לאנגלית. הצגנו את "נגדל צמחים" תחת השם: Agriculture as Environmental Science Project. ראש המשלחת כתבה למזכירת הוועדה הישראלית לאונסק"ו שהם מאוד התרשמו מהחוברת, הפורמט והסגנון שלו, ושהם מבקשים להפיץ אותה בכנסים שהם עומדים קיים בפיג'י ובצילון (היום סרי לנקה). הנוהג "לשדרג" שם של מקצוע כ"מדעי" נכנס גם לתכניות לימודים בארץ, ובמיוחד בחטיבה העליונה. כאשר פורסם ב-1980 תכנית לימודים חדשה לבתי ספר חקלאים והתיישבותיים, היא התייחסה ל"מדעי החיים והחקלאות". אבל כבר ב-1975 פרסם המרכז לתכניות לימודים על פוסטר, באותיות קידוש הלבנה, אילו ספרים אפשר לרכוש מהסדרה של "חקלאות כמדע סביבתי לכיתות ח-ט".

1. Biological Science Curriculum Study

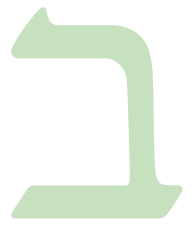
תכנית שפותחה בארה"ב בראשית שנות ה-60 על ידי בחירי המדענים בתחום הביולוגיה. התכנית בטאה את הרעיונות המרכזיים בתחום הביולוגיה. ההצעה הייתה שיש ללמד עקרונות אלה בגישת חקר תוך העמדת המעבדה במרכז ההוראה.

2. ועדת הררי כוננה כך על שם יושב הראש שלה, פרופ' חיים הררי. מטרת הוועדה הייתה לבחון את מצב מערכת החינוך בתחומי המדע והטכנולוגיה, ולהציע הצעות לשיפורים על מנת לקדם את החינוך הטכנולוגי לקראת המאה ה-21.

החוה החקלאית - מבט על פילוסופיה וחינוך

ד"ר דניאל פלורנטיין

מנהל חווה חקלאית בת ים, המרכז למחקר ולמידע, משרד החינוך



מאמר קצר זה יוצג רעיון הלמידה בחוות לחינוך חקלאי מזווית הבוחנת את פעילות הילדים בחוות החקלאיות מעבר לחזון משרד החינוך ומעבר לחזון הרשות המקומית וצוות המורים.

תצפית מקפת בראייה של שניים שעיסוקם פסיכולוגיה וחינוך. האחד, הוא האיש שהכיר בכך שלילדים יש צרכים פסיכולוגיים שונים מצרכי מבוגרים, מהחלוצים ששילבו פסיכולוגיה וחינוך.

ג'ון דיואי (John Dewey 1859-1952) פילוסוף, פסיכולוג, ואיש חינוך אמריקני, שהגותו השפיעה נחרצות בארצות הברית ובעולם המערבי. מ-1904 כיהן כפרופסור לפילוסופיה באוניברסיטת קולומביה בניו יורק". (http://he.wikipedia.org/wiki/he:ג'ון_דיואי)

לדיואי הייתה השפעה עצומה ועמוקה על עולם החינוך, השפעה שינקה, בן השאר, מתפיסת המציאות של שפינוזה.

בספרו "A Common Faith" שהופיע ב-1934 בארצות הברית, פורש דיואי משנה בדבר קיום רגש חזק המניע בני אדם, רגש שאינו קשור לדת ממסדית או לאלוהים כפי שמופיע בדתות המוכרות, רגש פליאה, הערצה ואהבה לטבע. רגש חזק ופועם המניע אנשים לפעול בלהט ולאורך זמן במגמה להבין את העולם, לספק, למלא ולממש את תשוקתם לבנות, ליצור, להמציא, להעניק חיים ולהפיח רוח ברעיונותיהם היוקדים. מבחינת דיואי הרגש החזק, ההערצה והשאיפה להתחבר למשהו גדול מביא את האדם לגייס עצמו למאמץ טוטלי למימוש רעיון שבו הוא מאמין עמוקות. רגש הערצה עמוק לנפלאות הבריאה, תחושה האופפת בני אדם כי עולמם הקרוב והרחוק הוא חלק ממערכת מסתורית, עצומת ממדים ולא מובנת, מערכת המקיפה

אותם בזמן ובחלל, אותה הוא מכנה 'יקום'. דיואי רואה את הקשר הרגשי בין ה"עצמי" ל'יקום' כקשר הכרחי ומתקיים, כאורח חיים, לכל רוחב החיים ומגיע לכל תחום וצד בהם.

למימוש חזונו, הקים דיואי ב-1919 עם שותפים ומאמינים בדרכו את The New School for Social Research. בידיעה שהתפרסמה ב-The New York Times ב-30 בספטמבר 1919 נכתב כי חזון בית הספר "לחנך לגילוי האמת של הסדר הקיים ואת בריאתו" (The New York Times, 1919).

בתי ספר כאלה קיימים בסגנונות שונים ומדגימים כיצד תפיסה זו השפיעה באופן ניכר ומכריע על מערכות מוסדות החינוך המערבי עד היום. הדמות השנייה היא הפסיכולוג השווייצרי ז'אן פיאז'ה (Jean Piaget) 1896-1980. פיאז'ה התפרסם במחקריו העוסקים בתהליכי למידה בקרב ילדים, בין השאר, חילק את התפתחות יכולת הלמידה לארבע תקופות:

שלב א' מגיל 0-2 - השלב הסנסומוטורי (הילד לומד את המציאות באמצעות החושים).

שלב ב' 2-7 - השלב הפרה-אופרציונלי (בו הילד לומד את המציאות באמצעות דימויים).

שלב ג' 7-11 - שלב התפתחות החשיבה הלוגית מתמטית (שלב בו הילד מפתח יכולת חשיבה כמותית).

שלב ד' 12- ואילך - פיתוח חשיבה מופשטת (שלב בו הילד מבין השלכות עתידיות של תהליכים בעבר ובהווה).

הרעיון שדיואי ופיאז'ה שואפים להנחיל הוא ראיית האדם את עצמו כחלק מהמציאות בה הוא שרוי, הכרה במורכבות הטבע מביאה להערצתו את נפלאות היקום סביבו והיא הניסיון להבין את משמעות הקיום בהיותו חלק מהיקום, (דניאל פלורנטין, 1977).



יסוד משותף לגיון דיואי ולז'אן פיאז'ה הוא קונסטרוקטיביזם, בלשונו של פיאז'ה "סכמות חשיבה ולמידה" העוסקות בשאלות בנייה והתפתחות של רעיונות, של גופים, של מבני חשיבה ומבנים אורגניים ושל טיב יחסי הגומלין בין חלקים שונים של המציאות בטבע ובחברה האנושית.

קשה לראות מוסד חינוכי הולם יותר את התפיסה של דיואי ושל פיאז'ה מחווה חקלאית בה מתגלים לילדים תהליכי חיים מורכבים המתרחשים בטבע, יחסי גומלין בין הצמחים לצמחים אחרים, בינם לבין החיים באדמה, לבין החרקים, המים ושאר היסודות שפירטנו קודם. החווה החקלאית מציעה שפע של "סכמות חשיבה" שהן מערכות ותת מערכות בכל הקשר שניתן להעלות על הדעת. הכרה והבנת התהליכים הללו עשויה לעורר הערצה לנפלאות היקום וליצור תובנות אודות משמעות חיי בני האדם.

המשמעות נוצרת עם ראיית הקשר רחב יותר ובשל הצגת התמונה הקיומית בה האדם הוא חלק בודד בישות גדולה ממנו, חלק מהישות הגדולה והישות הגדולה היא חלק ממנו.

השהייה בחוות החקלאיות מתרגמת את תפיסתם של דיואי ופיאז'ה לחיי מעשה. הכרת החממות על שלל צמחיהן, המשק החי, כוורות הדבורים, הידרופוניקה, עבודת השדה וגן הירק, עבודות החקר ושאר מרכיבי חיי החווה חושפת את התלמיד לחומרים מהם עשוי העולם, אדמה לסוגיה, מים, מיני עצים, שיחים פרחים ושלל גידולים למיניהם השונים, ציפורים, חרקים, פרפרים, יונקים למיניהם, סלעים, מחצבים שונים וכיוצא בכל אלה.

ביבליוגרפיה

he.wikipedia.org/wiki/גיון_דיואי

דניאל פלורנטין. תפיסת הדתיות של גיון דיואי ומשמעותה החינוכית. עבודת גמר לקראת התואר "מוסמך" במדעי הרוח באוניברסיטת תל אביב. 1977.

Jean Piaget, ההתפתחות הקוגניטיבית,

<https://www.youtube.com/watch?v=8nz2dtv--ok&list=PL8dPuuaLjXtOPRkzVLY0jY-uHOH9KVU6&index=18>

Dewey, John, 1934, "A Common Faith". pp. 21-23 Research School to Open The New York Times 30 september 1919

שגיאות נפוצות של מורים ותלמידים בנושאים של זרימת מים

פרופ' אלי זמסקי

אמריטוס של האוניברסיטה העברית.

לימד וחקר בפקולטה לחקלאות יותר מ-35 שנה והעמיד דורות רבים של תלמידים. כתב וערך 13 ספרים בעברית ובאנגלית בתחומים מגוונים ופרסם מאות מאמרים. כיהן בעבר כמדען הראשי של רשות הטבע והגנים וכנשיא המכללה האקדמית לחינוך אחוה. משמש כיום כראש בית הספר לתואר שני במכללת חמדת הדרום.



משך כחמישים שנה לימדתי נושאים שונים של ביולוגיה של התא ומדעי הצמח באוניברסיטה (הפקולטה לחקלאות) ובמכללות (אחוה, הקיבוצים, חמדת הדרום). במשך הקריירה האקדמית שלי נחשפתי לא אחת לשגיאות שגורות בפי תלמידים ומורים בכל הקשור לתכונות של מים, תנועה של מים ממקום למקום והולכת המים בצמחים. הסוגיות הללו כולן נמצאות בתחום הפיסיקה והתרמודינמיקה ולכן כדי לתאר את המצב של המים יש צורך להשתמש במושגים של אנרגיה ועבודה ואולי זו הסיבה שמתקשים בהבנתם ונזקקים למושגים של האנשה ("המים שואפים" "המים רוצים") כדי להתחמק מדיון לא שגוי. המטרה של הכתוב כאן היא להרחיב את הרקע בנושא המים ולהעמיד את הקורא בפני שאלות שמשבשות את דרך הלימוד השגויה. פרטים נוספים ניתן למצוא בספריי (זמסקי 2015, 2016).

כללים לתנועה שלמים ושיקולים אנרגטיים במקורותינו נאמר - "כל הנחלים הולכים אל הים, והים איננו מלא" (קהלת א ז). בפרק זה נברר את השאלה העולה מחלקו הראשון של הפסוק: מדוע כל הנחלים הולכים אל הים? מים זורמים מנקודה אחת לאחרת על פי עיקרון אחד בלבד: ממקום שבו הם מסוגלים לבצע יותר עבודה למקום שבו הם מסוגלים לבצע פחות עבודה. לדוגמה מים נופלים במפל (תמונה 1). בכל סוגי תנועת המים,

גם בתנועת מים מלמטה למעלה בתוך הצמח, אפשר לתאר את תנועת המים על פי אותם עקרונות של נפילת מים במפל (ממקום שאפשר לבצע יותר עבודה למקום שאפשר לבצע פחות עבודה). כבר לפני אלפי שנים ידעו בני האדם לנצל את כושרם של המים לבצע עבודה באמצעות רתימת המפל להנעת גלגל בתחנות קמח. כשהמים נופלים במפל הם מאבדים מכושרם לבצע עבודה ולכן הירידה הזאת מסומנת בסימן שלילי ΔG - שמשמעותו ירידה באנרגיה החופשית של גיבס (Gibbs free energy, המסומנת באות G). האנרגיה החופשית של גיבס היא אנרגיה זמינה של חומר שאפשר לבצע בה עבודה (בטמפרטורה ובלחץ קבועים). G מבטא למעשה את הפוטנציאל התרמודינמי של המערכת כשהמשתנים הטבעיים שלו הם טמפרטורה ולחץ והוא גם קובע לאיזה כיוון תתבצע התגובה הכימית כשהלחץ והטמפרטורה נשלטים. ΔG - מבטא ירידה במידת העבודה "החופשית" שאפשר להפיק ממערכת סגורה כשהלחץ והטמפרטורה קבועים. קשה לחשב את הערכים המוחלטים של G, אך אפשר לחשב בקלות את ΔG , כלומר את ההפרש באנרגיה בין תחילת התהליך לסופו.

תנועה של מים ממקום למקום היא תנועה ספונטנית אקראית. המים זורמים אל תוך התא או מן התא החוצה בדיוק לפי אותם הכללים המכתיבים את נפילת המים במפל. המים זורמים כמסה ממקום למקום בכיוון המפל של האנרגיה הפוטנציאלית (potential energy),



תמונה 1 : מפל מים בנחל יהודייה ברמת הגולן. המים הנופלים במפל מפסידים אנרגיה ולכן יכולים לבצע פחות עבודה בתוך הברכה מאשר במעלה המפל.

המומסים נמוך למקום שבו ריכוז המומסים גבוה (בתנאי לחץ וטמפרטורה קבועים), ממקום שבו אין חומר סופח מים למקום שבו יש חומר סופח מים. בכל הדוגמאות הללו, המים נעים כאמור ממקום שבו כושרם לבצע עבודה (פוטנציאל המים) הוא גבוה, למקום שבו כושרם לבצע עבודה הוא נמוך. לכן אפשר לומר שמים יכולים לקבל ערכים שליליים (כמו למשל מים בתמיסה, מים בתאים, או מים בקרקע), או אפס (מים טהורים ללא מומסים, בגובה פני הים בלחץ אטמוספרי) או ערכים חיוביים (אם מפעילים על המערכת לחץ, מחממים אותה, או מים הנמצאים במקום גבוה מפני הים). הפסוק שהובא לעיל מקהלת: "כל הנחלים הולכים אל הים והים איננו מלא..." מתאר בדיוק את הנאמר: המים הנקווים בהרים ובנהרות הם בעלי ערכים חיוביים בגלל האנרגיה הפוטנציאלית שלהם (יכולתם לבצע עבודה, כמו במפל). משם הם זורמים אל הים, שבו כושרם לבצע עבודה הוא שלילי. יש לזכור שלתמיסת מי הים ערכים שליליים בגלל נוכחות המלחים, ורק למים טהורים בגובה פני הים יש ערכים של אפס. המים כמובן מצייתים לחוק השני של התרמודינמיקה.

היא האנרגיה האצורה בגוף וניתנת להמרה לצורת אנרגיה אחרת. אפשר לנצל את האנרגיה הפוטנציאלית של המים בעזרת הכבידה ולהפוך אותה לאנרגיה קינטית ולאנרגיה מכנית, כפי שאכן נעשה בהפעלת תחנות כוח. האנרגיה הפוטנציאלית של המים, או כושרם של המים לבצע עבודה, מכונה פוטנציאל המים (water potential) ומסומנת באות היוונית פסי (Ψ). כשהמים זורמים במערכת, או נופלים במפל, חלה ירידה בכושרם לבצע עבודה, ויש צורך להשקיע עבודה כדי להעלות את המים במעלה המפל בחזרה, כמו שאי-אפשר להחזיר גז מתפשט למצבו ההתחלתי בלי להשקיע עבודה בדחיסתו. מכאן אפשר ללמוד כי בתהליכים ספונטניים, כמו בזרימה של מים ממקום למקום, גדלה האקראיות, או כפי שהיא מכונה אנטרופיה (entropy), המסומנת באות S ויחידותיה cal/deg .

מולקולות של מים ינועו במערכת ממקום למקום בתנאים הבאים: ממקום שבו הטמפרטורה גבוהה למקום שבו הטמפרטורה נמוכה, ממקום שבו הלחץ גבוה למקום שבו הלחץ נמוך, ממקום שבו ריכוז

לחוק כמה ניסוחים: כמות האנטרופיה (ראו להלן) במערכת סגורה לעולם אינה קטנה ויכולה רק לגדול; במערכת סגורה לעולם גדל האי-סדר. יוצא אפוא שהאנרגיה חופשית של המערכת במצב הסופי נמוכה תמיד מהאנרגיה הפוטנציאלית של המערכת במצב ההתחלתי. תהליך כזה מכונה אקסרגוני (exergonic, אנרגיה החוצה). רק תהליך אקסרגוני מתבצע ספונטנית. המילה "ספונטני" עשויה להטעות שכן מבחינה אנרגטית לעתים יש צורך באנרגיית אקטיבציה כדי שהתהליך יצא אל הפועל, כמו למשל בתהליך אנזימתי, זאת אף על פי שמבחינה אנרגטית התהליך צריך לצאת אל הפועל, או יוצא אל הפועל במהירות נמוכה מאוד. כלומר המונח ספונטני מראה את כיוון הראקציה, אך לא את מהירות הראקציה. שני גורמים קובעים אם התהליך הוא ספונטני. האחד הוא ΔH : המבטא את השינוי בתכולת החום של המערכת, כאשר H מציין את האנתלפיה (enthalpy). השינוי בתכולת החום הוא קרוב מאוד לשינוי באנרגיה הפוטנציאלית. הגורם השני הקובע את כיוון התהליך הוא האנטרופיה (entropy) המצוינת באות S. האנטרופיה כאמור היא ערך המבטא את ה"סדר" או את ה"אקראיות" של המערכת. השינוי הכללי של תכולת החום והאנטרופיה במערכת מכונה השינוי באנרגיה החופשית (free energy change) ומבוטא כאמור ב- ΔG . אם התהליך הוא ספונטני-אקסרגוני, התוצאה הסופית תהיה שהאנרגיה במערכת תרד, ולכן מסמנים תהליך כזה בסימן מינוס, ΔG - (ראו סימון המפל בתמונה 1). אם התהליך דורש אנרגיה הוא נקרא תהליך אנדרגוני (endergonic), שינוי האנרגיה של המערכת הוא חיובי ($+\Delta G$). כשאין שינוי באנרגיה החופשית המערכת נמצאת במצב שיווי משקל $\Delta G = 0$. המבנה המולקולרי של המים מקנה להם תכונות מיוחדות, כמו התנגדות ללחץ או למתח. אם לוחצים או מותחים מים, אין מבחינים בשינוי בנפח המים, אך הפעולה משפיעה על מולקולות המים ועל כושרן לבצע עבודה (פוטנציאל המים). אני מציע למורים להדגים זאת לתלמידים באופן הבא: אפשר להדגים זאת בלחיצה על בוכנה של מזרק מלא מים שפתחו נאטם באצבע. כמובן שלא ניתן להקטין את הנפח של המים במזרק אבל בעזרת הלחץ הוספנו אנרגיה למים! עובדה, אם נסיר את האצבע מפתח המזרק המים יפרצו החוצה. בדומה לכך, משיכה לאחור של בוכנת המזרק המלא במים כאשר פתחו אטום באצבע. "המתח" שיצרנו במים מוריד את כושרם של המים לבצע עבודה.

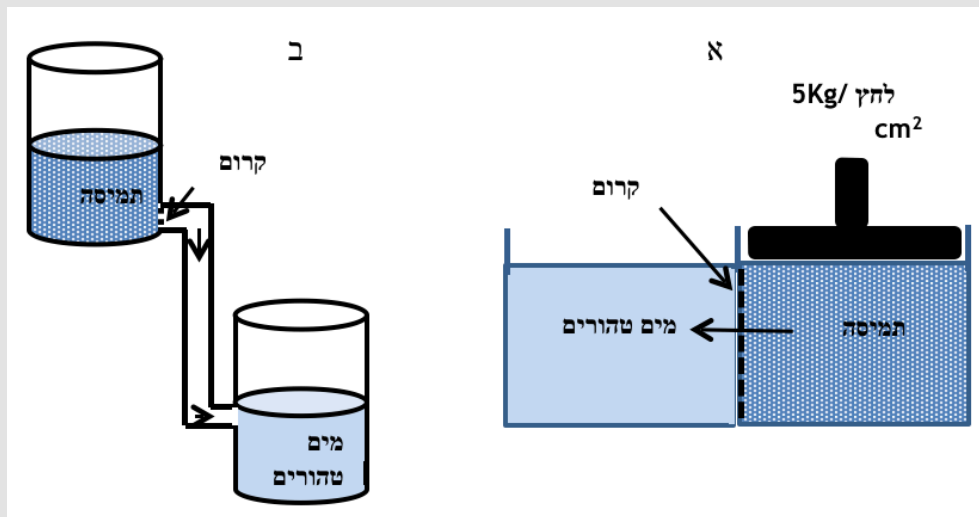
מהאמור לעיל נובע כי לתנועה של המים ממקום למקום אין "שאיפות", ו"המים אינם שואפים להשוות ריכוזים" (כפי שאומרים סטודנטים על בסיס

מה שלמדו בתיכון ועל כך נרחיב את הדיון בהמשך), הם נעים ממקום למקום על פי נתונים אנרגטיים של המערכת. אי-לכך מים עשויים גם לנוע מתוך תמיסה אל מים טהורים. ראו את שני המצבים המודגמים בתמונה 2. במצב א: מפעילים לחץ גבוה על התמיסה (אפשר לחשב איזה לחץ להפעיל כדי להתגבר על השפעת המומסים), מעלים בה את פוטנציאל המים מעל לאפס והמים יזרמו מהתמיסה אל המים הטהורים. במצב ב: כלי שבו תמיסה מורס מעל כלי שבו מים טהורים. פוטנציאל המים בתמיסה עולה על זה של המים הטהורים (פוטנציאל אפס בגובה פני הים בלחץ אטמוספרי) והמים יזרמו דרך הקרום כלפי מטה. אם כן, לפנינו שני מצבים מתוך רבים אחרים המבטלים את ההגדרה השגורה בפי התלמידים ש"מים שואפים להשוות ריכוזים". הדוגמאות הללו אינן תיאוריות גרדא, הן קיימות בטבע.

המסקנה היא שצריך להביא בחשבון את כל הרכיבים המשפיעים על כושרם של המים לבצע עבודה בתוך המערכת ויש כמה כאלה. במערכות ביולוגיות ובקרקע הגורמים העיקריים המשפיעים על פוטנציאל המים הם מומסים (s), המורידים את פוטנציאל המים, לחץ (p), המעלה את פוטנציאל המים, וחומרים סופחי מים (m), המורידים את פוטנציאל המים.

שאלות לחשיבה

1. מדוע המים זורמים אל הים?
2. הנביא ישעיהו ניבא: "ושאבתם מים בששון ממעיני הישועה" (יב ג). כידוע את המים שאבו בימי קדם מן הבאר בעזרת חבל וכלי קיבול. לאן "נעלמת" העבודה שמשקיעים בהעלאת המים מן הבאר?
3. היכן יש למים יותר אנרגיה פוטנציאלית: בכלי שעל גב הגמל, על פי הבאר, או במעמקי הבאר?
4. במקומות יישוב רבים אפשר להבחין בברכות מים גדולות הממוקמות במקומות הגבוהים ביותר של היישוב. מדוע נבחר המקום הגבוה ביותר?
5. האם אפשר לגרום למים לנוע דרך קרום בררני מתמיסה מרוכזת לתמיסה מהולה בניגוד למפל הריכוזים?
6. האם אפשר להשתמש באנרגיה של המים הנופלים במפל כדי להעלות אותם בחזרה למעלה?
7. אילו כוחות מעלים את המים לפה בשתייתם מכוס בעזרת קשית?
8. מיכל מים העשוי פלסטיק קשיח ומכיל 10 מטר מעוקב של מים ועומד בגובה של 5 מטרים נוקב לאורכו בשלושה נקבים שהמרחק ביניהם הוא מטר. האם זרימת המים מהנקבים תהיה בעוצמה שונה או זהה?



תמונה 2: תנועה של מים מתמיסה אל מים טהורים דרך קרום בררני בניגוד למפל הריכוזים, בה-שפעת לחץ (מימין א), או בהשפעת הכבידה (משמאל ב).

אוסמוזה ופוטנציאל המים

אוסמוזה מוגדרת כתנועה ספונטנית אקראית של חלקיקים בתמיסה המופרדת על ידי קרום בררני (או תווך אחר) החדיר במידה שונה לרכיבים שבתמיסה (ממס ומומסים). הממס הטבעי הם מים ולכן בדרך כלל מדברים על מים. הבדלים בפוטנציאל המים משני צדי הקרום יגרמו לתנועה של מים מפוטנציאל גבוה אל פוטנציאל נמוך (כמו נפילת מים במפל). תאים מכילים כמות רבה של מומסים שונים, אך מהירות תנועתם של מומסים דרך הקרום היא אטית יחסית, או אפס, ותלויה בגורמים רבים (דיפוזיה, דיפוזיה מסתייעת, הובלה בעזרת נשאים המעוגנים בקרום, תנועה בכיוון מפל הריכוזים או נגד מפל הריכוזים). לכן עדיף להשתמש במושג "קרום בעל חדירות בררנית" ולא "קרום חצי חדיר". לעומת המומסים, מהירות מעבר מים דרך הקרום היא גבוהה יחסית בגלל נוכחות של נקבים הידרופיליים. במערכת של אוסמוזה חייבים להתקיים שני תנאים: 1. נוכחות קרום בררני המאפשר חדירת רכיבים במהירויות שונות. הקרום עשוי להיות בלתי עביר לרכיב מסוים ואז מתייחסים אליו כאל "חצי חדיר" (זהו מקרה פרטי של קרום בררני), כלומר בלתי חדיר לרכיב המסוים אך חדיר למים. 2. אפשרות

להתפתחות לחץ.

נדגים את הכוחות הפועלים ומכוונים את תנועת המים בעזרת כלי המכונה אוסמומטר (תמונה 3). אוסמומטר הוא כלי העשוי זכוכית בדרך כלל, בצורת משפך, המכיל תמיסה. חלקו הרחב של הכלי מכוסה בקרום בררני וטבול בתוך מים. במקרים השכיחים הקרום מעביר מים במהירות רבה ומומסים במהירות אטית. לכן ההשפעה הראשונית המתקבלת היא מעבר מים דרך הקרום. כשמולקולות המומס גדולות מאוד (למשל חלבונים וחומצות גרעין) הן אינן עוברות דרך הקרום ואז אפשר להתייחס אל הקרום כ"חצי חדיר" שהמעבר דרכו יהיה רק של מים. כשהמומס שבאוסמומטר מורכב ממולקולות קטנות, כמו מלחים או חד-סוכרים, גם הן יעברו דרך הקרום, אך בדיפוזיה אטית. עם מעבר מולקולות המומס נקבל גם תנועה של מים באותו כיוון דרך הקרום, כדי לפצות על מעבר המומסים. בהדרגה, עם מעבר המומס בדיפוזיה מהאוסמומטר אל הכלי של המים, הם יחדלו להיות "טהורים" ויתקבל פוטנציאל שלילי שילך ויעשה בהדרגה שלילי יותר ויותר. התפתחות פוטנציאל שלילי בכלי המים החיצוני ילווה בחזרה מקבילה של מים מהאוסמומטר אל כלי המים. כך יתקבל שיווי משקל דינמי, כשחדירת מומס דרך הקרום מלווה בחדירת מים באותו כיוון. בסופו של התהליך, יתקבל מצב של

שיווי משקל שבו פוטנציאל המים בתוך האוסמומטר ומחוץ לו, בכלי המים, יהיה שווה, גם מבלי שתחול השוואת ריכוזים! נברר כיצד יקרה כדבר הזה של שיווי משקל ללא השוואת ריכוזים. יש לזכור שבקרומים הביולוגיים של התאים לעולם אין השוואת ריכוזים של מומס מסוים, ולמרות זאת מתקבל שיווי משקל דינמי משני צדי הקרום!

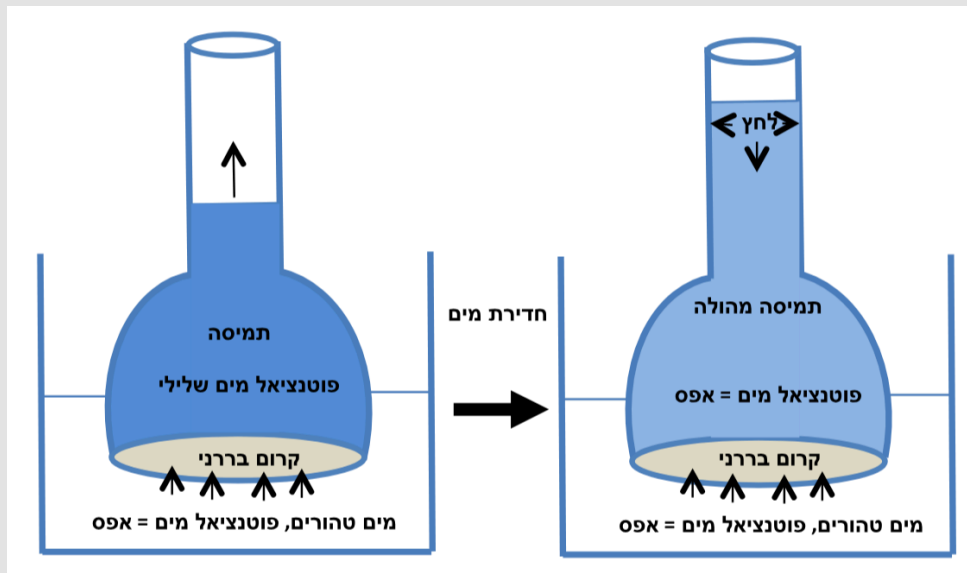
נא לשים לב לדיון הבא: בדיון עם תלמידים וסטודנטים, חביבה עליי השאלה: "עד מתי ייכנסו מים לתוך האוסמומטר?" או בניסוח אחר: "מתי המערכת תגיע למצב שווי משקל שבו לא ייכנסו יותר (נטו...) מים לתוך האוסמומטר?" קיבלתי שפע של תשובות מפי האמיצים, אבל רק לעתים נדירות קיבלתי את התשובה הנכונה. התשובה השגויה הנפוצה היא "עד שיושוו הריכוזים" (כי כך לימדו אותנו בתיכון... וזה כמובן שגוי!). התשובה הנכונה היא ש"מים ייכנסו לאוסמומטר עד שכושרם של המים לבצע עבודה (פוטנציאל המים) בתוך האוסמומטר יהיה שווה לכושרם של המים לבצע עבודה בכלי החיצוני", ובמצב כזה לא יושוו הריכוזים כלל! אבל (וכאן אני ממשיך להציק): "כושרם של מים טהורים לבצע עבודה בגובה פני הים שווה לאפס, אם כך כיצד ייתכן שכושרם של המים שבתמיסת האוסמומטר, שהוא שלילי, יהיה שווה לאפס" גם כן?

ובכן הדבר יקרה כשהלחץ ההידרוסטטי, דהיינו לחץ עמודת המים הנוצרת באוסמומטר (פוטנציאל חיובי) על דפנות הכלי והקרום הבררני, יהיה שווה ובסימן הפוך לפוטנציאל המומסים (פוטנציאל שלילי). ככל שעמודת המים תהיה גבוהה יותר (אם ריכוז התמיסה באוסמומטר היה גבוה), יגדל הלחץ ההידרוסטטי. כשהמערכת תהיה במצב של שיווי משקל, לא ייכנסו עוד מים נטו לתוך האוסמומטר. הנה ראינו שכושרם של המים לבצע עבודה עלה מערכים שליליים בתוך האוסמומטר לאפס, כמו זה של מים טהורים, וזאת בהשפעת הלחץ שבמערכת. יש לזכור שכשהמומס עובר גם הוא דרך הקרום הבררני, באטיות אמנם בהשוואה למים, עמודת התמיסה באוסמומטר תהיה נמוכה מהצפוי, אבל גבוהה מאשר בזמן אפס. המצב הזה מדמה את משק המים של התא הצמחי כמוסבר להלן. האם ישנם מקרים שמים יכולים לעבור מתוך תמיסת האוסמומטר אל מים טהורים דרך הקרום? ודאי שכן! ראינו קודם לכן שאם נפעיל לחץ בעזרת בוכנה על התמיסה שבאוסמומטר, שיבטל את השפעת המומסים, יעברו מים מהאוסמומטר אל הכלי עם המים הטהורים. באוסמומטר הלחץ המתקבל עם כניסת המים לתמיסה הוא לחץ הידרוסטטי, לחץ של עמוד המים על

דופנות הכלי ועל הקרום. בתא צמחי הלחץ המתקבל מכניסת מים לתוכו הוא לחץ הטורגור, הלחץ שמפעיל הפרוטופלסט החי על דופנות התא וכתוצאה מכך לוחץ הדופן על התא באותו הכוח. תאים של בעלי חיים הם חסרי דופן תא, אבל הלחץ מתקבל מההילחצות שלהם זה אל זה ברקמה. אפשר לבצע במעבדה את ניסוי האוסמומטר בעזרת משפך וקרום של שקית דיאליזה. שימו לב, השימוש במונח ריכוז כדי לתאר תנועה של מים מריכוז אחד לריכוז אחר אינו ראוי (גם כאשר מדברים על "ריכוז המים" לא על "ריכוז המומסים", ראו להלן). כפי שראינו המים יכולים לנוע מריכוז גבוה של תמיסה לריכוז נמוך של תמיסה עם מפעילים על תמיסת הריכוז הגבוה לחץ גדול מספיק, או אם בתמיסה בריכוז נמוך המומס סופח מים. המונח ריכוז מבטא כמות מומס ביחידת נפח של ממיס. מבטאים זאת במולריות של תמיסה וסימנה M (מספר מולים של מומס בליטר של תמיסה) או מולליות שסימנה mol (מספר מולים של מומס ב-1 ק"ג של ממיס). לכן הנפח הסופי של תמיסה מולרית הוא 1 ליטר, אבל הנפחים הסופיים של תמיסות מולליות אינם שווים. שימו לב להבדל הגדול בין שני המונחים. בתמיסה מוללית ממיסים את החומר בתוך 1 ליטר של מים, ובתמיסה מולרית ממיסים את החומר במים ומשלימים את הנפח הסופי ל-1 ליטר. מכאן נובע שמולריות נמדדת על פי נפח התמיסה ומולליות נמדדת על פי מסת התמיסה. אף על פי שהתמיסות של 1 מולל מכילות מספר זהה של חלקיקים (מספר אבוגדרו ולכן השפעתם על התמיסה היא שווה), הנפחים של תמיסות 1 מולל של חומרים שונים אינם זהים. ישנן אף תמיסות 1 מולל (של מלחי כספית הסופחים מים) שהנפח הסופי שלהן קטן אפילו מ-1 ליטר (מאחר שריכוז מבטא כמות לנפח, האם נאמר שריכוז המים עלה, כי הנפח קטן? חס וחלילה!). שימו לב, אף על פי שבתמיסות 1 מולל של חומרים שונים מתקבלים נפחים שונים, ההשפעה שלהם על פוטנציאל המים תהיה זהה (לפי חוק ראול המבטא את הקשר הישיר בין לחץ האדים לשבר המולי של התמיסה), בתנאי שהמומסים הם אידאליים (שאינם מגיבים עם המים). לאור זאת הביטוי הנכון של פוטנציאל המים יהיה על פי לחץ האדים מעל התמיסה, או השבר המולי שלה ולא "ריכוז המומס (כמות בנפח...)", או "ריכוז" המים.

כיצד עולים המים בצמח?

אחת השגיאות הנפוצות אצל מורים ותלמידים היא שהמים עולים בצמח בכוחות נימיים. מדוע נפוצה האיוולת הזו? אולי כי כך הכי פשוט להסביר כיצד מים עולים בניגוד לכוח הכבידה... להלן נוכיח מדוע זו איוולת.



תמונה 3: תרשים של אוסמומטר דמוי משפך הפוך שבתוכו תמיסה ופתחו המונח במים טהורים חסום בקרום בררני. תחילת הניסוי (משמאל) ובמצב שיווי משקל (מימין). במצב שיווי משקל, אם הקרום אינו עביר למומס, לא יושוו הריכוזים כלל, אלא יושוו פוטנציאל המים בכלי ובאוסמומטר והוא יהיה שווה לאפס. פוטנציאל המים באוסמומטר, שהיה בתחילת הניסוי בעל ערך שלילי, עלה לאפס (כמו פוטנציאל המים הטהורים) עקב הלחץ ההידרוסטטי שהתפתח עם כניסת מים לתוכו. במצב שיווי משקל, הלחץ ההידרוסטטי מבטל את ההשפעה השלילית של המומס על פוטנציאל המים.

מדוע המים אינם עולים בכוחות נימיים?

בצמחים ישנם שני סוגי רכיבים המובילים מים והם נוצרו מתאים מתים: טרכאות וטרכאידים. הטרכאות הם צינורות הבנויים מחוליות היושבות זו על גבי זו ונקבים ביניהן. כל חוליית טרכאה נוצרה מתא אחד שמת ונותרה רק דופןו אך לפני שמת נוצרו נקבים בדפנו הרוחב שלו. טרכאידים הם תאים בודדים, מתים, החופפים בקצותיהם אלה את אלה ואינם יוצרים מבנה צינורי כמו בטרכאות. קוטר הרכיבים המובילים מים בצמחים נע בין $20\text{--}30\text{ }\mu\text{m}$ ל- $500\text{ }\mu\text{m}$ בטרכאות ו- $20\text{--}30\text{ }\mu\text{m}$ בטרכאידים. המוליכים הטובים ביותר הם טרכאות בצמחים דו-פסיגיים ובמטפסים (שקוטרן כחצי מ"מ) והגרועים ביותר הם טרכאידים, המשמשים לצד הטרכאות בצמחים מכוסי הזרע ונפוצים בחשופי הזרע באופן בלעדי במערכת הולכת המים. אם כן, בעזרת נוסחאות פיזיקליות אפשר לחשב את כוח הנימיות שמבטא את הקשר שבין כוחות התאחיזה של המים בדופנות הצינורית, את זווית הטיפוס של המים בדופנות הכלי ואת גובה פני המים בצינור נימי. כאן נשאלת השאלה - לאיזה גובה יעלו מים בצינור נימי שקוטרו כשל טרכאה רחבה בקוטר ממוצע של $100\text{ }\mu\text{m}$? כוחות התאחיזה שבין מולקולות המים לדופנות צינורות ההובלה זהים כמעט לכוחות התאחיזה שבין מולקולות המים לדופנות הצינור הנימי העשוי מזכוכית (תמונה 4) ולכן אפשר לבצע את הניסוי

בצינור קפילרי מזכוכית. מובן שככל שקוטר הצינור הנימי קטן יותר, יעלו המים לגובה רב יותר. החישוב מראה כי מים יטפסו לגובה של 14.87 מטר בצינור נימי בקוטר $1\text{ }\mu\text{m}$, אך אין צינורות מוליכי מים בקוטר כזה בצמחים. מים יעלו בצינור נימי בטרכאה ממוצעת בקוטר של $100\text{ }\mu\text{m}$ רק לגובה של 14.87 ס"מ! וזה כמובן לא יכול להיות הגורם לעליית המים לגובה של עשרות מטר בעצים!

מחישוב זה יוצא כי מים אינם עולים בצמח בכוחות נימיים. שתי סיבות לכך:

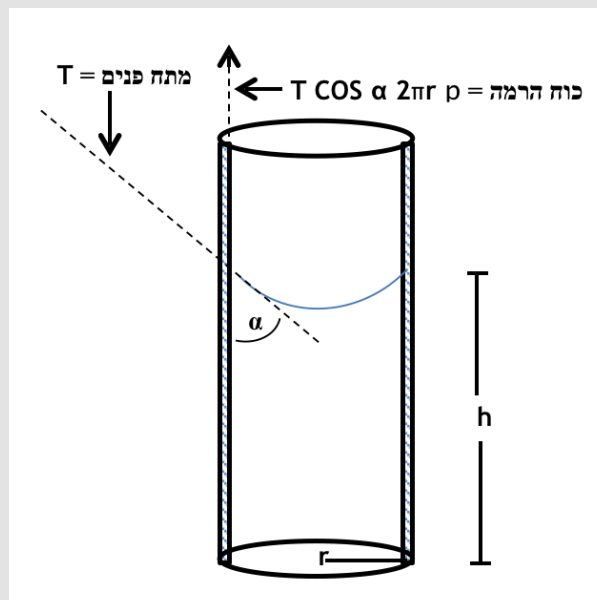
1. אין הכוחות הללו מספיקים כדי להעלות מים לגובה רב במערכת הצמחית.
2. בצינורות הולכת המים בצמח אין מצב "נימי", כלומר אין נוכחות של אוויר מעל המים. מערכת הולכת המים רוויה במים והם ממלאים את כל הצנרת ועמודת המים היא רציפה! יתר על כן טרכאות שיש בהן אוויר הן טרכאות שלמעשה הפסיקו להוליך מים. משיקולים פיזיקליים, בטרכאות רחבות אי-אפשר לדחוק החוצה את האוויר שבטרכאות שאינן מוליכות מים כדי שיחזרו לתפקד משום שלשם כך נדרשים לחצים של מאות אטמוספרות. לכן טרכאות שפרץ לתוכן אוויר, לא יוכלו לשוב ולהתמלא במים, או לשוב לתפקד אלא אם כן הן צרות (כמו במקרה של קפיאת המים בצנרת בחורף ושחרור האוויר שכלוא בקרח לאחר ההפשרה באביב) והאוויר שבהן נמס בתוך המים.

מדוע המים אינם עולים בלחץ השורש?

בצמחים מסוימים, בעיקר במטפסים, בשעות הבוקר אפשר למדוד לחץ שורש. בצמחים עשבוניים, חד-פסיגיים ודו-פסיגיים, אפשר לראות בשעות הבוקר המוקדמות טיפות מים זעירות בקצות העורקים שבשפת העלים. טיפות אלה אינן טל, אלא מוהל המים שבעצה הנדחף החוצה בלחץ והתופעה מכונה דמיצה (Guttation). כובע הנזיר (Tropaeolum) ויהודי נודד (Tradescantia) הם צמחים מצוינים להמחשת תופעה זו (תמונה 5). הטיפות מופרשות מהטרקאות דרך רקמות מיוחדות הנמצאות בקצות העורקים של העלה ומכונות הידטודות. הטיפות מעידות על קיומו של לחץ שורש, אך הן נעלמות לאחר זריחת החמה, בשעות שהצמח נזקק למים. דוגמה נוספת אפשר לראות בענף של גפן (Vitis). אם גוזמים ענף של גפן בשעות הבוקר, מוהל המים שבמערכת ההובלה יופיע כטיפות על פני שטח החתך של הזמורה המחוברת לגפן. טיפות של תמיסת מים יזלגו משטח החתך במשך דקות ארוכות בשעות הבוקר. משמעות הדבר היא שהמים שבמערכת העצה של הגפן (או צמחים מטפסים) אכן שרויים בלחץ המכונה לחץ השורש. אילו המים היו שרויים ב"מתח מים" ("בלחץ שלילי"), הם היו נסוגים משטח החתך פנימה ולא היינו מבחינים בהם על פני שטח החתך.

לחץ שורש נוצר בדרך כלל במהלך הלילה, כשהדיות (הטרנספירציה) נמוכה ולחות הקרקע גבוהה. הלחץ נוצר בגלל הפרשת יונים לתוך מערכת הולכת המים (העצה) באמצעות שכבת האנדודרמיס, השכבה הפנימית של הקליפה העוטפת את הגליל המרכזי שבו נמצאות מערכות ההובלה, העצה, מערכת הולכת המים, והשיפה, מערכת הולכת המוטמעים. כשתנועת המים במערכת פוסקת, או שהיא אטית מאוד במהלך הלילה והדיות מזערית היונים המופרשים מהאנדודרמיס מצטברים בצינורות העצה שבמערכת השורשים ובעקבותיהם חודרים גם מים מהקרקע למערכת ההובלה בשורש וגורמים להתפתחות לחץ הידרוסטטי הדוחף את התמיסה כלפי מעלה. תופעת לחץ השורש אינה יכולה להסביר את תנועת המים מהשורשים אל העלים מכמה סיבות:

1. לחץ שורש מתפתח רק בקבוצות מסוימות של צמחים (בדרך כלל עשבוניים ומטפסים).
2. גם בצמחים שמתפתח אצלם לחץ שורש הוא נעלם במהלך שעות הבוקר ובמקומו מתפתח מתח מים. בשעות החמות של היום, כשהצמח דורש אספקת מים ניכרת לעלים, פוטנציאל המים במערכת נעשה שלילי ("מתח מים") ואין מבחינים בלחץ שורש.



תמונה 4: כוח ההרמה של נוזל בצינור נימי שווה ל- $T \cos \alpha$ ככל שכוחות התאחיזה (כוחות הטיפוס) של הנוזל בדפנות הצינור הנימי חזקים יותר (והמיניסקוס של פני הנוזל קעור יותר), זווית α תהיה קטנה יותר, $\cos \alpha$ גדל, וכוח ההרמה עולה בהתאם.



תמונה 5: דמיעה (Guttation) בעלים של כובע הנזיר (Tropaeolum). התופעה מופיעה בשולי העלה, בנקודת הקצה של צורות ההובלה ונראית רק בשעות הבוקר המוקדמות. בשעות הבוקר המאוחרות, עם התגברות הדיות, נעלמות הטיפות.

2. כוחות התאחיזה החזקים שבין מולקולות המים לבין עצמן.

3. המתח נוצר במסת המים בתוך מערכת ההובלה. הערכים השליליים ביותר של פוטנציאל המים הם בעלים ומשם מתפתח מפל של מתח לאורך הצמח עד לשורשים.

יוצא מזה שהמים זורמים על פי הכללים שלמדנו קודם לכן: מפוטנציאל מים גבוה (בשורשים) לפוטנציאל מים נמוך (בעלים ובאוויר), אלא שכיוון הזרימה בצמח הוא כלפי מעלה ועמודת המים היא רציפה (אין נימיות!).

לשם המחשה אפשר לראות את עמודת המים בצמח כעשויה מחוליות של מולקולות הקשורות זו לזו כמו בשרשרת, בכוחות תאחיזה של קשרי מימן, ונסחבות מלמעלה. כשחוליה אחת ניתקת מהעלה לאוויר נוצרת מתיחה (משיכה) של כל החוליות כלפי מעלה והמתח הנוצר מגביר את כוחות היניקה של המים מהקרקע על ידי השורש. הלוח שלהלן מדגים הפרשים משוערים בפוטנציאל המים מהקרקע, דרך הצמח, לאוויר.

ההפרשים בפוטנציאל המים לאורך המסלול מראים כי הכוח המניע את תנועת המים בצמח הוא הדיות. מולקולות מים עוזבות את העלה במהירות רבה יחסית כי האוויר "יבש", ומושכות אחריהן את מסת המים למעלה. דומה הדבר לפתיל הטבול במים

3. בעצים הגבוהים ביותר על פני כדור הארץ, איקליפטוסים (Eucalyptus) באוסטרליה (מכוסה זרע, שעיקר הולכת המים בו נעשה בטרקאות) ועצי סקוויה (Sequoia) בקליפורניה (חשוף זרע, שעיקר הולכת המים בו נעשה בטרקאידים), אין מבחינים בלחץ שורש כלל.

4. ערכי הלחץ שנמדדו בשעות המוקדמות של הבוקר אינם מספיקים כדי להעלות את תמיסת המים בעצה לגובה רב. הערך המקסימלי של לחץ, שנמדד בצמחים מטפסים, הוא 0.6 מגה-פסקל. פסקל היא יחידת לחץ בדומה ל"אטמוספירה", "בר", "טור" ו"פסי" (מגה-פסקל אחד, או 106 פסקל, שווה ל-10 בר, או ל-9.8 אטמוספרות). באופן תאורטי, לחץ של 0.6 MPa יכול לדחוף מים לגובה של כ-60 מטר, אך בהתחשב בכבידה המתנגדת לעליית המים ולחיכוך במערכת ההובלה, הערך המעשי יהיה כמחצית מהערך התאורטי. מהשיקולים האלה יוצא שמים אינם עולים בצמחים בגלל לחץ השורש.

כיצד, אם כן, עולים המים אל צמרות עצים גבוהים? המנגנון המעלה מים בצמחים מכונה טרנספירציה (דיות)-תאחיזה (קוהיזה)-מתח. השם מרמז על שלושה כוחות הפועלים במערכת:

1. הכוח המניע את התהליך הוא הדיות מהעלים (אך גם מהענפים הצעירים).

שקצו העליון באוויר. אפשר להוכיח זאת במספר רב של דרכים. אחת מהן היא השוואה של עצמת קליטת המים מהקרקע לעצמת הדיות לאורך היום (תמונה 6). דרך נוספת להוכיח, שעמודת המים בצמח נמצאת במתח ולא בלחץ, היא לחתוך ענף ולבדוק את מצב המים בשטח הפנים של שני החצאים שלו (תמונה 7). אם המים הם בלחץ, תופיע טיפת מים על שטח הפנים של המקטע התחתון המחובר לצמח (תמונה 7ב) כי הלחץ בא מלמטה. אך אין זה המצב בצמחים, חוץ מאשר במטפסים ובצמחים עשבוניים בשעות הבוקר. כשהמים נמצאים במתח, הם ייסוגו לאחור, אל תוך הצמח, משני צדי החתך (תמונה 7ג). אפשר לדמיין את עמודת המים לקפיץ מתוח האחוז בשני קצותיו ולחשוב מה יקרה לקפיץ אם ייחתך במרכזו. מובן ששני חלקי הקפיץ ייסוגו לאחור, למצב נינוח מבחינה אנרגטית. מכאן אנו למדים שהמים העולים בצמח אינם נדחפים מלמטה, אלא נמשכים מלמעלה והכוח המניע את

התהליך הוא ההפרש בין פוטנציאל המים בעלה לזה שבאוויר.

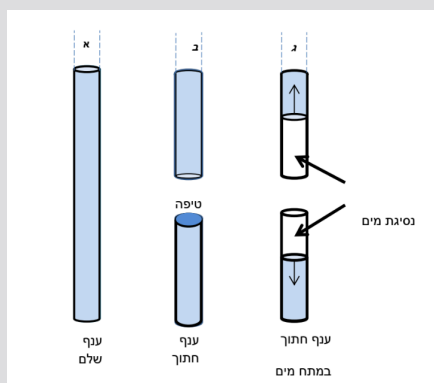
כדי לבדוק אם המנגנון של טרנספירציה-תאחיזה-מתח תקף ויכול להתקיים יש צורך לענות על שלוש שאלות:

1. האם מולקולות המים יכולות ל"אחוז" זו בזו (כוחות תאחיזה) מבלי להינתק במתחים הקיימים במערכת?

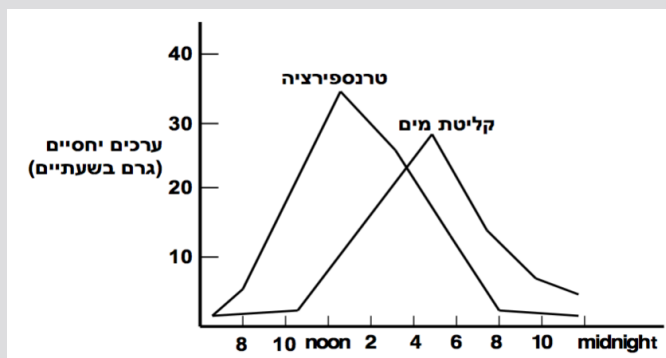
2. האם המים יוצרים עמודה רציפה בתוך המערכת?

3. האם מולקולות המים אכן נמצאות במתח בתוך המערכת?

התשובה לשלוש השאלות היא "כן".



תמונה 7: ענף או גבעול של צמח (א) שנחתך. האם הוא במצב של לחץ מים (ב) או של מתח מים (ג)? המצב הקיים בצמח הוא מתח מים ולכן המים בענף נסוגים משני צדי החתך (ג).



תמונה 6: קליטת מים ואיבוד מים (טרנספירציה, דיות) בעץ צעיר של מילה (Fraxinus). שימו לב ש'הסובב' (הגורם) הוא הדיות וה'מסובב' (התוצאה), הוא קליטת המים כי העלייה בדיות במהלך היום יוצרת מתח ומקדימה את קליטת המים.

ביבליוגרפיה

זמסקי, א. 2015. חשיבה יצירתית בהוראת מדעי הטבע. הוצאת מכון מופ"ת.

זמסקי, א. 2017. תהליכים ומנגנונים בעולם הצמחים. הוצאת מאגנס, האוניברסיטה העברית.

עקרונות בהשרשת ייחורים

אבי אליהו וד"ר עינת שדות

המחלקה לצמחי נוי וביוטכנולוגיה חקלאית,
המכון למדעי הצמח, מנהל המחקר החקלאי - מרכז וולקני

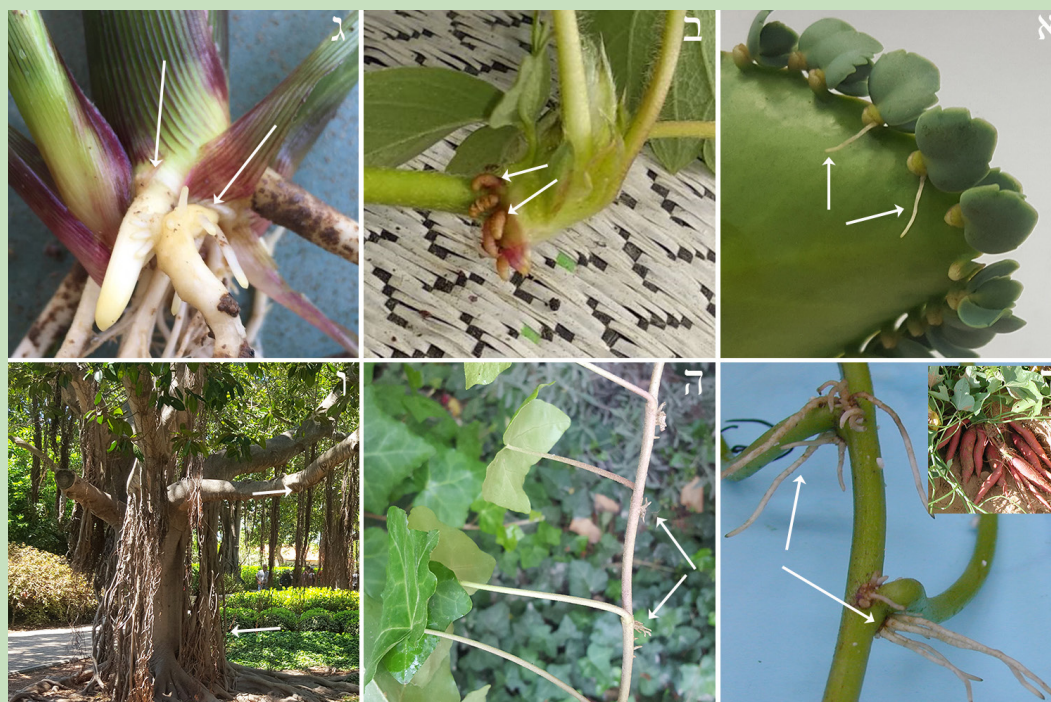
תקציר

לריבוי הווגטטיבי מקום מרכזי בענף השתלנות בשל יתרונו כמגביר כח כלכלי משמעותי במערכות חקלאיות הדורשות אחידות, ובשל היותו כלי הכרחי לתכניות השבחה. תופעת הטבע העומדת בבסיס הפרקטיקה של השרשת ייחורים היא התמיינות שורשים אדוונטיביים - התפתחות שורשים מאיברים שאינם שורש. מדובר בתהליך מורכב שמתרחש ביתר קלות בצמחים צעירים ושיעילותו הולכת ויורדת ככל שהצמח מתבגר. שיעור ההשתרשות עשוי לעלות בתגובה לטיפולים שונים בצמחי אם כגון הצערה, דחיית תרדמה ומניעת פריחה. בנוסף, טיפול בייחורים תוך שימוש בחומרי צמיחה מסוגים שונים וכיול תנאים המתאימים להשרשה נמצאו כמעודדי התמיינות לשורשים אדוונטיביים ומגדילי שיעורי השתרשות בייחורים שמקורם מהחלק העל האדמתי של הצמח, הנצר.

מבוא

בעולם הצומח קיימות שתי דרכי רבייה - רבייה מינית המתרחשת על ידי זרעים ורבייה אל מינית, המכונה גם רבייה ווגטטיבית, בה מתפתח אורגניזם שלם עצמאי מאיבר אחד שנותק מהצמח. ריבוי ווגטטיבי המאפשר שיכפול של מספר רב של צאצאים זהים מבחינה גנטית, הוא מגביר כח כלכלי משמעותי במערכות חקלאיות רבות המחייבות אחידות. כמו כן, הינו מרכיב הכרחי בתוכניות טיפוח וסלקציות של צמחים שנמצאו כמצטיינים בתכונות מבוקשות. אחת השיטות לריבוי ווגטטיבי היא השרשת ייחורים, טכנולוגיה חקלאית שנמצאת בשימוש נרחב בענף צמחי הנוי, יערנות וריבוי כנות ייחודיות לעצי פרי. בין השיטות הנוספות לריבוי ווגטטיבי ניתן למנות את הריבוי בתרבות רקמה והרכבות בהן לא נדון במאמר זה.

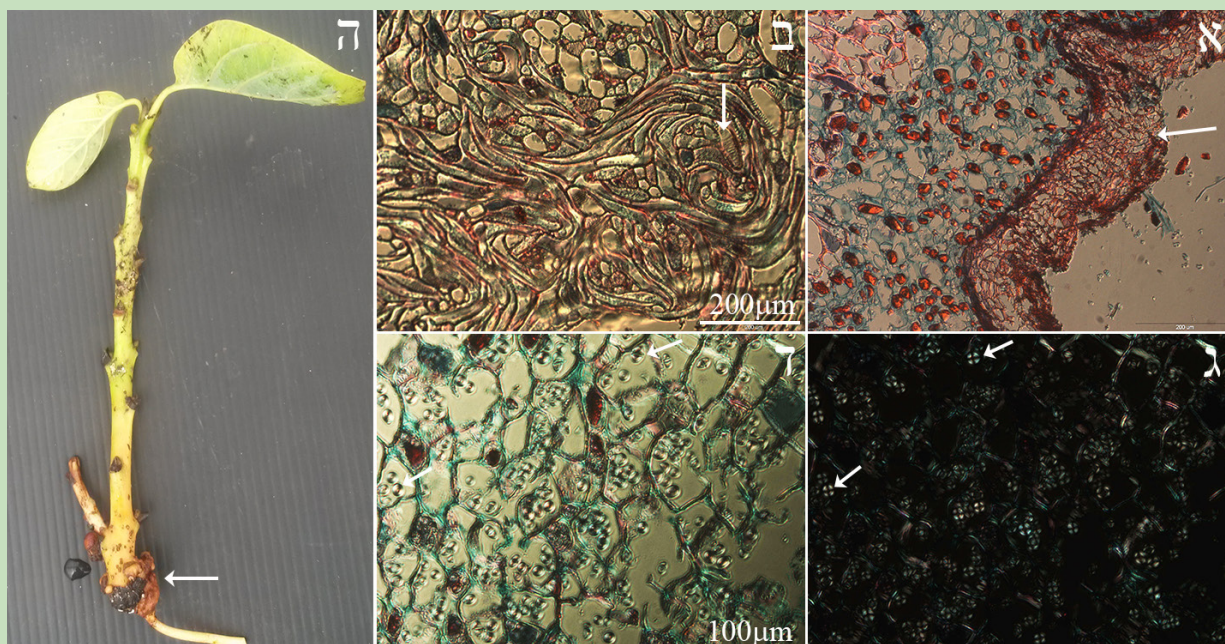
תופעת הטבע העומדת בבסיס השרשת ייחורים היא התמיינות שורשים מתוך רקמה שאינה שורש (Casson and Lindsey, 2003; Geiss et al, 2009) תופעה זו יכולה להתרחש כחלק מהתכנית הטבעית של צמחים מסוימים. ביניהם, הניצנית המשוונת (*Bryophyllum daigremontianum*) אשר שורשים אדוונטיביים מתמיינים מניצנים המצויים בהיקף העלים שלה (Batygina et al, 1996) (איור 1 א') ותות שדה (*Fragaria x ananassa*) בו שורשים אדוונטיביים מתמיינים מתוך פרקים בקנה השורש שמבחינה בוטנית הינו גבעול (*stolon*) (Steffens and Rasmussen, 2016) (איור 1 ב'). בתירס (*Zea mays*), השורשים האדוונטיביים מתמיינים בדפוס של כתר בבסיס הנצר ("שורשי כתר"). מקור השורשים הללו הוא בפרימורדיות (בעברית: "התחל") קיימות שהן רקמות ממוינות המצויות בשלבים התחלתיים של התפתחות איבר (Bellini et al., 2014) (איור 1 ג'). דוגמא נוספת היא הבטטה (*Ipomoea batatas*) שהיא שורש אדוונטיבי מעובה המתמייין מפרימורדיות קיימות בגבעול ומתפתח בהמשך לאיבר אגירה (Firon et al, 2009) (איור 1 ד'). כמו כן, ניתן למנות את הקיסוס המטפס (*Hedera helix*) שמפתח שורשי אחיזה מפרקים בנצר (Steffens and Rasmussen, 2016) (איור 1ה'), ואת עץ הפיקוס הבנגאלי (*Ficus benghalensis*) אשר שולח מענפיו שורשי אויר (איור 1 ו'). כמו כן, ישנם צמחים אשר מפתחים שורשים אדוונטיביים בתגובה לעקות אליהן הם נחשפים באופן טבעי. לדוגמא, מין מסוים של ערער קנדי (*Juniperus virginiana*), תויה מערבית (*Thuja occidentalis*) ואשוחית שחורה (*Picea mariana*) שמפתחים שורשים אדוונטיביים



איור 1: שורשים אדוונטיביים טבעיים בצמחים שונים (סימון בחיצים). א - ניצנית משוננת; ב - תות שדה (צילום: אגמון נאמן); ג - "שורשי הכתר" בתירס ד - בטטה (צילום: דר' נורית פירון). בתמונה הגדולה - יחידת ריבוי הכוללת שורשים אדוונטיבים שחלקם יתמיינו לבטטה. בתמונה הקטנה - שורשים אדוונטיבים שהתמיינו לבטטות; ה - קיסוס מטפס; ו - פיקוס בנגלי. (צילום א', ג' ה, ו': אבי אליהו)

בשלב חלוקת התאים או שלב ההתמיינות (Ballester, 1999; Greenwood, 1987; Vidal et al, 2003). לעיתים בתגובה לטיפול באוקסין מתפתחת בבסיס הייחור רקמת קאלוס, איבר דמוי יבלת בעל ארגון רקמה שונה, שעשוי להכיל זו לצד זו רקמת אגירה, אלמנטים טרכיאריים (מבנים בעלי מאפיינים של עצה), רקמת שעם ועוד, כמו למשל בקאלוס הנוצר בבסיס ייחור של אבוקדו (Persea Americana Mill) (איור 2). למרות נוכחות תאים ממוינים בקאלוס הוא חסר יכולת לתפקד כשורש. שורשים אדוונטיביים יכולים להתפתח מאיברים שונים, ביניהם: היפוקוטיל (תת פסיג) בצמחים צעירים; נצרים שטרם עברו התעבות (בהם חתך הרקמה מורכב מצרורות בדידים של אלמנטי העצה, תאי השיפה וביניהם רקמת הקמביום, אשר מכילה

בתגובה לכיסוי בחול דיונות (Dech and Maun, 2006). בתהליך השרשת ייחורים יזום במשתלות, השורש מתפתח מתאי הצמח ברקמה שאינה שורש ושבילית גירוי חיצוני לא היו מתמיינים לשורש (Steffens and Rasmussen, 2016). תהליך ההתפתחות של שורש אדוונטיבי מורכב מארבעה שלבים: שלב הדה-דיפרנציאציה בו תאים בוגרים אשר סיימו את תהליך החלוקה שלהם, עוברים תהליך מסוים שמכשיר אותם להיכנס מחדש למעגל חלוקות התאים; שלב חלוקת התאים, שלב ההתמיינות לרקמת שורש ולבסוף, שלב הצצת השורשים (Klerk et al, 1999). ההורמון הצמחי אוקסין מהווה תפקיד משמעותי בכל אחד מהשלבים הללו. תהליך זה מתרחש בחלק מהצמחים ביתר קלות ובחלק מהצמחים הוא לא מתרחש או שהוא נפגע

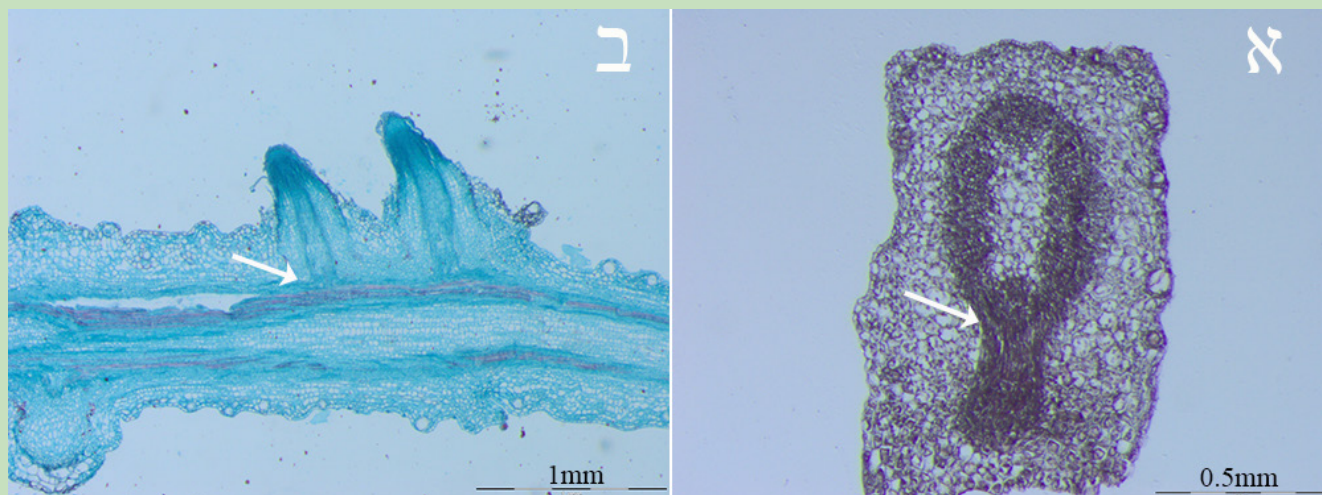


איור 2: חתכים היסטולוגיים ברקמת קאלוס של אבוקדו. צביעה: אדום - ליגנין (עצן), תרכובת המאפיינת דפנות של תאים ברקמות מעוצות; כחול - צלולוז (רב סוכר המאפיין את דפנות התאים בצמחים) וציטופלזמה (נוזל תוך תאי). החיצים מצביעים על סוגי התאים השונים כמפורט. א - רקמת שעם; ב - אלמנטים טרכיאריים ג-ד - רקמת אגירה עשירה בעמילופלסטים, גרגירי עמילן תוך תאיים, הנצפים באור מקוטב ובאור לבן בהתאמה. ה - הייחור המושרש ממנו נלקח הקאלוס בו נעשו החתכים (חץ).

אקליפטוס גרנדיס (*Eucalyptus grandis*) שהשתרשו בתגובה לטיפולים שונים. מחתכים אלו ניתן להבחין כי הפרימורדיות החלו מרקמה סמוכה לצורות ההובלה, ככל הנראה הקמביום (איור 3).

השלב ההתפתחותי של הרקמה הינו גורם שעשוי להשפיע באופן ניכר על שיעור ההשתרשות של הייחור. בספרות המדעית מציינים ארבעה שלבים התפתחותיים בצמח (Greenwood, 1987; Poethig, 1990): השלב העוברי, השלב הצעיר (post embryonic juvenile vegetative phase), השלב הבוגר הווגטטיבי והשלב הבוגר הרפרודוקטיבי (בו מתחילה הפריחה). כושר ההשתרשות אופייני לרב לרקמה המצויה בשלב הצעיר, (היובנלי) והוא הולך ופוחת עם התבגרות הצמח (Bennett et al, 1994; Fett-Neto et al, 2001).

תאי גזע השומרים על כושר חלוקה והתמיינות); נצרים שניוניים (בהם הקמביום, העצה והשיפה מהווים רקמה היקפית רציפה והנצר כבר עבר התעבות משנית); ומהעלים. שורשים אדוונטיביים מתמיינים בדרך כלל מרקמת הקמביום, אך נצפו גם שורשים אדוונטיביים שהתמיינו מרקמות אחרות כמו האפידרמיס והקורטקס בניצנים, ובהיפוקוטיל של צמח קרדמין פרטנזיס (*Cardamine prantensis*), הפריציקל בנצר צעיר של תירס, קרני עצה בין הפריציקל והקמביום באשל (*Tamarix spp*), וקרני שיפה בקיסוס (Fahn, 1990). ניתן ללמוד על התהליך ועל מקור השורשים האדוונטיביים באמצעות חתכים וצביעות היסטולוגיות בדוגמאות שנלקחו מרקמות מהן התמיינו שורשים אדוונטיביים ואשר עברו קיבוע. במעבדתנו ביצענו חתכים היסטולוגיים בייחורי



איור 3: חתכים היסטולוגיים של ייחור של אקליפטוס גרנדיס.

א - חתך רוחבי המראה כי מקור ההתמיינות של הפרימורדיה ככל הנראה ברקמת הקמביום (חץ).

ב - חתך אורכי המראה את חיבור צרורות ההובלה של השורש האדוונטיבי לזה של הגבעול (חץ).

בנושא במרוצת השנים נתן מענה חלקי למספר סוגיות הקשורות בריבוי וגטטיבי, אך עדיין נותרו בעיות רבות ללא פתרון. במאמר זה נסקור את הידע הקיים כיום בתחום, והדרכים לשיפור שיעור השתרשות ייחורים מצמחים קשיי השתרשות.

צמח האם - תחילתו של התהליך

צמחי האם הם המקור לייחורים, מה שהופך אותם למרכיב חשוב מאוד בתהליך. על כן, צמחים אלו צריכים להיות במצב פיזיולוגי מיטבי מחד ומאידך, כזה שמגדיל את סיכויי ההשתרשות של ייחורים שהורדו מהם. על כן, התחזוקה של צמחים אלו צריכה להיעשות על הצד הטוב ביותר ובכלל זה השקיה מיטבית, דישון, גיזום וניתור מזיקים ונגעים באופן קבוע. בנוסף לטיפולים אלו, ישנם טיפולים מיוחדים

(Hutchison et al, 1999; Vidal et al, 2003). בצמחים מסוימים הירידה בכושר ההשתרשות עשויה להתחיל כבר בשלב היובנלי או בשלב הבוגר הווגטטיבי לפני רכישת הכושר לפריחה (Levy et al., 2014). הסיבה לתופעה זו עדיין אינה ברורה. אין הוכחות לכך שרמת האוקסין המיוצר על ידי הצמח מהווה את הגורם המגביל להשתרשות במהלך ההתבגרות, מכיוון שלא נמצאו הבדלים בקליטה, במטבוליזם ובתנועה של אוקסין בין ייחורים בעלי כושר השתרשות וחסרי כושר השתרשות (Díaz-Sala et al., 2002). מכלול התופעות הללו כגון הימצאות מינים חשובים קשי השתרשות, אבדן כושר ההשתרשות עם התבגרות הצמח והיווצרות קאלוסים בשלב בו היינו מצפים להיווצרות שורשים מעמיד בפני השתלן אתגרים בריבוי הווגטטיבי של צמחים לחקלאות. המדע, באמצעות מחקרים שנעשו

שמוענקים לצמחים הללו בכדי שייחורים מהם ישתרשו ביתר קלות. מכיוון שצמחים צעירים משתרשים יותר בקלות, קיים עניין בהצעת רקמות בצמחים בוגרים (Rejuvenation). במרוצת השנים פותחו מספר שיטות להצעת רקמות:

הרכבות חוזרות של ייחורים בוגרים על גבי כנות יובנליות. שיטה זו כוללת הרכבת ענף מעץ בוגר על גבי נבט מזרע. לאחר שההרכבה נקלטה והרוכב התחיל לבלב, חותכים ממנו ענף ואותו מרכיבים שוב על נבט חדש מזרע. על פי הספרות לאחר מספר סבבי הרכבה, מתחיל שחזור של תכונות יובנליות, כולל התחדשות כושר ההשתרשות של הרוכב. יצוין כי שיטה זו הוכיחה את יעילותה רק במספר צמחים וכי שיעור ההצלחה של תהליך זה הינו תלוי מין (Wendling et al., 2014).

סדרת העברות של הרקמה הצמחית בתרבות רקמה. שיטה זו כוללת הכנסת החומר הבוגר לתנאי גידול סטריליים בתרבות רקמה, בדרך כלל מכניסים פרקים עם ניצנים בחיק העלים לאחר שהאחרונים הוסרו מהגבעול. באמצעות טיפולים בריכוזים שונים של ההורמונים אוקסין וציטוקינין ניתן להמריץ את צימוח הניצנים הרדומים ומהם עוד ועוד ניצנים נוספים. זהו שלב ההכפלה. אתהנצרונים מעבירים למצעי גידול טריים מספר פעמים בהפרשים של מספר שבועות. לאחר תהליך זה, יש ומתקיים שחזור של כושר ההשתרשות (Hackett, 2011). **השרשות חוזרות.** לאחר שהצלחנו להשריש בשיעור נמוך מספר קטן של ייחורים מצמח בוגר כלשהו, ניתן להשתמש בייחורים אלו כצמחי אם שיוחזקו בתנאים משופרים

בהשוואה לתנאים בהם הוחזק הצמח הבוגר ושניתן לעשות בהם טיפולים משפרי שיעור ההשתרשות (יפורט בהמשך). יש וייחורים מאותם שתילים ישתרשו בייתר קלות וייחורים מהשתילים החדשים ישתרשו בשעורים אף גבוהים יותר. תהליך שכזה הוכח בהשרשת צמחי פרוטאה אובטוסיפוליה (Faruchi et al., 1997) (*Protea obtusifolia*).

טיפול של צמחי האם בהורמון הצמחי גיברלין שהשימוש בו בחקלאות נפוץ ביישומים נוספים. הזרקת גיברלין לגזע העץ שיפרה את השתרשות הענפים שנלקחו ממנו להשרשה. דרך זו פותחה על בסיס מחקרים שמצאו שהורמון זה הוא אחד מהגורמים ליובנליות (Hackett, 2011). אמצעי זה נוסה בהצלחה בצמחים

שונים (Eshed et al., 1996) אך מצריך מזרק ייחודי וכנראה שמשום כך שיטה זו לא נכנסה כפרקטיקה חקלאית נפוצה. לבד מהצעת צמחי האם ניתן לשפר השתרשות ייחורים באמצעות טיפולים פשוטים יותר לצמחי האם, לדוגמא, שליטה בעוצמת האור ובאורך היום בהם צמח האם מוחזק. בניסויים בהם נבחנו שיעורי ההשתרשות של ייחורים מצמחים אשר שגודלו תחת הצללה בהשוואה לייחורים שגודלו בתנאי תאורה רגילים מצאו כי גידול צמחי אם תחת הצללה עשוי להגדיל את שיעור ההשתרשות בייחורים מהם (Hartmann 2011; Maynard and Bassuk, 1988). בניסויים דומים שנערכו בארץ, נמצא יתרון להצללה בצמחי אם ממינים שונים, ביניהם, פרוטאה אובטוסיפוליה (Faruchi et al., 1997), אלות מקומיות (*Pistacia spp*) (וינוגרד, 1995) ואקליפטוס (י. ריוב - תוצאות שלא פורסמו). בנוסף, בניסוי השרשה לאחר הצללה של צמחי אם של קוטינוס (*Cotinus coggygria*) בו האוקסין יושם הן בטבילת בסיס הייחור, והן בריסוס העלווה, נמצא כי הקטנת עוצמת האור השפיעה על התפתחות צמח האם כך שהפרקים בגבעולים היו ארוכים יותר ומעוצים פחות ושחלקה היחסי של רקמת הסקלרנכימה בצמח קטן באופן ניכר. כמו כן, אלמנטי ההובלה החדשים שנוצרו בצמחים אלו תחת ההצללה היו דקים באופן ניכר ומעוצים הרבה פחות מאשר בצמחי הביקורת. ייחורים שנלקחו מצמחים שהיו בהצללה והראו שינויים אלו ברקמה השתרשו ביתר קלות בהשוואה לייחורים מצמחי הביקורת לאחר טיפול בחומרי השרשה. בעקבות הבדיקות שערכו העלו החוקרים מספר השערות שעשויות לקשור בין השינויים שחלו בצמח כתוצאה מההצללה לבין השיפור בשיעור ההשתרשות: השערה אחת מציעה כי רקמת הסקלרנכימה (רקמה שתפקידה בצמח הוא מתן תמיכה מכנית) הדקה יותר הקטינה את המחסום הפיזי שמקשה על פריצת הפרימורדיות. עוד הציעו כי התפתחות עלים עם שטח פנים גדול יותר ושכבת אפידרמיס (שכבת התאים החיצונית ביותר) דקה יותר בתגובה להצללה הגבירו את חדירות האוקסין האקסוגני דרך העלים. באנליזות ביוכימיות שנעשו לדוגמאות מצמחי האם שהוחזקו בהצללה בהשוואה לצמחי הביקורת, מצאו החוקרים כי בתגובה לטיפול ההצללה חלה ירידה בתכולת הסוכרים המסיסים, תכולת החלבונים המסיסים, התכולה של החומצה האבציסית (ABA) בצורתה החופשית ובעליה בתכולה של הכלורופיל החופשי, חומצות האמינו החופשיות, החומצות הפוליפנווליות והאוקסין IAA בצורתו החופשית (Pacholczak et al., 2005). שינויים דומים ברקמת הצמח לאחר הצללה התקבלו מניסויים באלה לבנה (Maynard and Bassuk, 1996) (*Carpinus betulus*).

טיפול באמצעות החשכה מוחלטת (גידול בחושך לקבלת רקמה דלה בכלורופיל) המכונה אתילוציה נמצא יעיל מאוד ובמקרים מסוימים כמו בריבוי של עצי אבוקדו, אף הכרחי להתמיינות שורשים אדוונטיבים (Frolich and Platt, 1972). טיפול זה נהוג במספר גידולים, אך הסיבה לשיפור בהשתרשות בעקבות אתילוציה עדיין אינה ברורה לחלוטין. הועלו מספר השערות למנגנונים שעשויים לעמוד בבסיס השיפור בהתמיינות שורשים מרקמה אתילנטית. נמצא שקיימת ירידה בסינתזה של צלולוז בחושך, דבר הגורם להיווצרות תאים בעלי דופן יותר דקה (Bischoff et al., 2011). ידוע ששינויים בתכונות המכניות של דפנות תאים משפיעים על התמיינות של שורשים צדדיים (Lucas et al., 2013; Sassi and Traas, 2015). מעניין לציין בהקשר הזה שמשך גורן בעבודת המוסמך שלו, תיאר תאים בעלי דופן יותר דקה בענפי אבוקדו אתילנטיים (Goren, 1982). ניתן להשפיע על סינתזת צלולוז, ארגון סיבי הצלולוז וכך על התכונות המכניות של הדופן על ידי התערבות במבנה שלד התא מעורב בהתמיינות שורשים אדוונטיבים באקליפטוס (Abu-Abied et al., 2014) ובארבידופסיס (Arabidopsis thaliana (Abu-Abied et al., 2015a, 2015b). במחקר שנעשה בשעועית מצויה (Phaseolus Vulgaris) נמצא כי בצמחים שהוחזקו בחסות החשכה כמות מולקולת האוקסין IAA הייתה גבוהה יותר בהשוואה לצמחים שהוחזקו באור וכי כמות ה-IAA ירדה בהם באופן משמעותי לאחר שנחשפו לאור (Koukourikou-Petridou, 1998). עוד נמצא כי מעבר של צמחי ארבידופסיס מחושך לאור גרמה לעליה באוקסין והתמיינות שורשים אדוונטיבים מההיפוקוטייל המאורך (Sorin et al., 2005). בהתבסס על ניסויים שנעשו על צמחים מהסוג מורן (Viburnum dentatum), הוצע גם כי אתילוציה מסייעת לצמח לתחזק מאזן אוקסין-ציטוקינין אשר מעודד התמיינות לשורשים אדוונטיביים (Dai et al., 2011). ואכן, בזמן שידוע שציטוקינין מעכב השתרשות (Van Staden and Harty, 1988), נמצא שאתילוציה של ענפי אלון (Quercus spp), קשה השתרשות, הובילה לירידה ברמות הציטוקינין האנדוגני ושיפור בהשתרשות (Eshed, 2004). כמו כן ידוע שקיים מסלול העברת אותות בו עליה באוקסין גורמת לירידה בסינתזה של ציטוקינין (Schaller et al., 2015). מכך נובע שלהעלאת ריכוזי האוקסין בייחור יש פוטנציאל להורדת סינטזת הציטוקינין.

ישנם צמחים שכושר ההשתרשות שלהם מושפע מאורך היום. לדוגמא, בניסוי להשרשת עצי אורן צעירים,

הראו החוקרים כי ייחורים מצמחי אס שהוחזקו בתנאים של יום קצר השתרשו ביתר קלות, בהשוואה לייחורים מצמחי אס שהוחזקו בתנאי יום ארוך וזאת ללא תלות בעונת השנה (Hansen and Ernstsens, 1982). טיפול כזה נוסה ויושם בהצלחה במשתלות בארץ גם על צמח הנוי דיפלדניה (Mandevilla spp) (ריוב ידע אישי). בהקשר זה יש לציין שהעונה בשנה עשויה להיות קריטית לשיעורי השתרשות. ישנם צמחים כמו מספר מיני אקליפטוס ששיעור ההשתרשות שלהם יורד באופן ניכר בעונת החורף בעוד שעצים בוגרים מהסוג אורן (Pinus) ניתן להשריש רק בחורף (ריוב, שדות, תוצאות לא מפורסמות), תוצאה שנמצאת בהתאמה לממצאים שהוצגו בייחורי אורן צעיר (Hansen and Ernstsens, 1982). נמצא גם כי מניעת הפריחה או דחייתה באמצעות שליטה על תנאי אורך היום והטמפרטורה עשויות לשפר את שיעור ההשתרשות של ייחורים מצמחים מסוימים. זאת בהנחה שהפרח מהווה מבלע חזק של מוטמעים ואוקסין ומתחרה עם בסיס הייחור (Hartmann 2011).

סוג הייחור

בבואנו להוריד ייחורים מצמח האס, יש לתת את הדעת על מספר דברים: החלק בצמח ממנו עדיף להוריד את הייחורים, עובי ואורך הייחור המיטבי, מספר העלים שכדאי להשאיר על הייחור, אופי הייחור: מעוצה, חצי מעוצה או ירוק. כמו כן, יש לקבל החלטה באם להשאיר את קודקוד הצמיחה האמירי לקבלת ייחור אמירי או להורידו לקבלת ייחור תת אמירי (איור 4 א', 4 ב'), החלטה שעשויה להשפיע גם על התפתחות הייחור לצמח עצמאי לאחר ההשתרשות. בחירת הייחור עשויה להיות קריטית להצלחת ההשתרשות וקיים מידע רב בספרות לגבי צמחים שונים. בצמחים מעוצים, התכונות היובניליות, כולל כושר ההשתרשות, נשמרות בחלק התחתון של הנצר ובאופן הדרגתי או במעבר חד, מוחלפות בתכונות המאפיינות צמחים בוגרים ככל שעולים בגובה הצמח או מתרחקים מהציר המרכזי שלו אל הענפים הצדדיים (Wang et al., 2011). על כן, נעדיף ייחורים שנלקחו מהאזורים השומרים על התכונות היובניליות ובכלל כן, על כושר ההשתרשות, כלומר ענפים הגדלים קרוב ככל האפשר לבסיס הגזע. גם לכלל זה יש יוצא מן הכלל: מניסיונו, בהשרשת ייחורים של זית (Olea europaea) מזן קלמטה ושל עצי אורן בוגרים הידועים כקשי השתרשות, הייחורים מהצימוח הצעיר החד שנתי בצמרות העצים משתרשים טוב יותר מהייחורים בענפים הנמוכים. עם זאת, גם במקרים אלו נשמרת המגמה בה ככל שעולים בגיל העץ, כושר ההשתרשות שלו יורד. דוגמא נוספת

היא האלמון ההודי (*Quisqualis indica*) שריבוי נעשה באופן מסורתי תוך שימוש בייחורי שורש, אך חוקרים מהאוניברסיטה העברית הצליחו להגיע לשיעור השתרשות של 100 אחוז דווקא מייחורים אמיריים (י' ריוב, מידע אישי).

תנאי ההשרשה

ישנו מידע רב בספרות לגבי תנאי ההשרשה האופטימליים של צמחים רבים. עם זאת, חלק ניכר מהמידע הוא תוצאה של ניסויים בתנאים שונים מאלו העומדים לרשות כל משתלה ולכן שילוב של מספר גישות, תשומת לב קפדנית ומעקב צמוד אחר שיעור ההשתרשות בתגובה לטיפולים השונים בכל סוג ייחור הם כלים חשובים בעבודה עם צמחים חדשים.

התנאים בהם מתקיים תהליך ההשתרשות באים לשרת מספר עניינים: ראשית, התהליכים הפיזיולוגיים המעורבים בהתמיינות השורשים בייחורים. לא פחות חשוב מכך, הקטנת הנגיעות בפתוגנים אשר עשויים להסב פחת ניכר וכן מניעת התייבשות הייחורים. שלושת העניינים הללו קשורים זה בזה ומכאן שתנאי ההשרשה צריכים להיות בשיווי משקל מדויק ומכויל ביניהם בהתחשב באופי הייחורים, מין הצמח, עונת השנה ועוד.

כשמתייחסים לייחור כישות עצמאית בהשוואה לצמח השלם בולטים מספר הבדלים ניכרים: בעוד שאת הצמח השלם משרתת מערכת שורשים ענפה אשר מספקת לו מים ואלמנטים מהקרקע באופן יעיל ובררני, לייחור יש חתך בעל שטח פנים קטן בבסיסו אשר קליטת המים דרכו הינה מוגבלת ובלתי בררנית למלחים המסיסים בתמיסת המצע. בנוסף, בעלי הייחור נמשך תהליך הפוטוסינתזה והטרנספירציה (דיות של מים דרך הפיוניות. Klopotek et al., 2012; Smalley et al., 1991; Yue and Margolis, 1993). בנוסף, תהליך ההשתרשות דורש טמפרטורה ממוצעת של 25°C, מה שלעתים דורש מהשתלן לחמם את המצע. מכלול העובדות הללו מעמיד פוטנציאל גבוה של התייבשות הייחור במהלך התהליך.

על כן, יש לשקול מספר פעולות בכדי לצמצם ולהאט את מוליכות הפיוניות. ביניהם, התקנת מסך הצללה להפחתת קרינת השמש בתוך החממה, חיתוך כמחצית משטח הטרף של עלי הייחור במידה ואלו בעלי שטח פנים גדול (יוסי ריוב, מידע אישי, איור 4 ג'). וכאמור, שמירה על סביבה לחה ואקלים מבוקר (באמצעות חיפוי שולחנות ההשרשה, ובקרת אקלים בבית הצמיחה על ידי התקנת אמצעים כמו מזרון



איור 4: ייחורים של זית מזן נבאלי

א - ייחור אמירי. ב - ייחור תת אמירי. ג - ייחור אמירי בו נחתכו טרפי העלים על מנת להקטין את שטח הפנים.

לח (ומאוררים). בצמחים הרגישים להמלחה, רצוי להשתמש במים מזוקקים בשולחנות ההשרשה (יוסי ריוב מידע אישי). את הסביבה הלחה בסביבת הייחור ניתן להשיג באמצעות המטרה מחזורית במהלך שעות היום. אלא שככל שהמצע עשיר יותר בכבול ובחומרים סופחי מים, יש להתאים את מידת ההמטרה כך שרטיבות המצע תהיה מיטבית ולא עודפת. רטיבות יתר, יחד עם חימום המצע מעודדים התפתחות פתוגנים אשר עשויים להסב פחת ניכר. מאידך, הקטנת תכיפות ההמטרה עלולה כאמור לגרום להתייבשות העלווה והייחור כולו לכן, יש לכייל בקפידה את התאימות בין כל הגורמים. חלופה מוצלחת להמטרה היא ערפול בית הגידול. פעולה זו נעשית באמצעות מערפל ("פוגר") המרסק את טיפות המים לטיפות זעירות בגודל של עד עשרה מיקרון. ערפול שומר על לחות יחסית גבוהה וקבועה, מקטין שטיפת חומרי הזנה מהייחורים ומפחית במידה רבה את הרטבת הייחורים והמצע באופן שמצמצם את מידת הנגיעות בפתוגנים במצע ובייחורים. בניסויים שנעשו בארץ בהשרשת אוג פשוט (*Rhus ovata*) במערפלים התקבלו שיעורי השתרשות גבוהים יחסית לאלו שהתקבלו בהמטרה, ויתרה מכך, הייחורים המושרשים היו באיכות גבוהה יותר (קגן וחוב, 1998). עם זאת, התקנת מערפל בבית ריבוי דורשת מיזמנות ברמה גבוהה תוך לקיחה בחשבון של כלל המשתנים בבית הצמיחה כגון גודל המבנה, חשיפתו לשמש, מידת ההתחממות ומידת האוורור בו. עוד בהתייחס לפתוגנים בתהליך ההשתרשות - ניתן לשקול שימוש בקוטלי פטריות במהלך התהליך לשם הקטנת נגיעות שעשויה להסב פחת.

האוקסין - "הורמון ההשרשה"

גילוי האוקסין בשנות ה-30 ויכולתו להשרות התמיינות לשורשים אדוונטיביים בצמחים היווה פריצת דרך בריבוי הווגטיבי המסחרי של צמחים רבים (Blythe et al., 2007). בהתבסס על ידע רב שנים לפי חומרים ממשפחת האוקסין מעודדים התמיינות לשורשים אדוונטיביים, הטיפול המקובל והנפוץ ביותר שניתן כיום לייחורים לשם עידוד השתרשות הוא טבילת החלק הבזאלי של הייחור בתכשירי אוקסין שונים (Hartmann, 2011). האוקסינים נחלקים לשלוש קבוצות חומרים: אינדולים, נפתלנים וחומצות פנוקסי. בקבוצת האינדולים נמנים ה-IAA (חומצת אינדול 3 אצטית), שנחשבה בעבר לאוקסין הטבעי הבלעדי, ו-IBA (חומצת אינדול 3 בוטירית) שהוכח לאחר מכן כי גם היא אוקסין טבעי (Badenoch-Jones et al., 1984; Blommaert, 1954; Epstein et al., 1989; Fallik et al., 1989; Schneider et al., 1985). בעבודות רבות הוכח שהפעילות של IBA לעידוד יצירה של שורשים

אדוונטיביים גבוהה באופן משמעותי מזו של IAA (Hartmann, 2011). בעבר ייחסו את יעילותו הגבוהה יחסית של IBA ליציבותו הרבה ברקמות הצמח, אולם הוכח שקצב המטבוליזם של IBA בייחורים דומה לזה של IAA (Wiesman et al., 1989). הועלתה ההשערה לפיה חומר המוצא ל-IAA הוא IBA. בכדי לבדוק השערה זו, ייחורי זית וגפן טופלו ב-IBA המסומן באיזוטופים רדיואקטיביים של פחמן. באנליזה כימית שנעשתה לייחורים לאחר 26 ימים נמצאו בייחורים מולקולות IAA מסומנות בפחמן רדיואקטיבי. מכאן למדו החוקרים כי IBA הוא אכן חומר מוצא ל-IAA סברה זו אוששה בהמשך כאשר אופיינו האנזימים המעורבים בתהליך הפיכת IBA ל-IAA. על בסיס הבנה זו, ניתן להציע כי IBA עשוי לגרום לשחרור איטי של IAA, תכונה הנחשבת כבעלת יתרון בהשרשת ייחורים (Krieken et al., 1997). באותה השיטה, הוכח כמה שנים לאחר מכן כי קיים בצמח מסלול ביוכימי לכיוון ההפוך בו IAA הופך ל-IBA Ludwig-Müller and Epstein, 1991), ולכן IBA עשוי לשמש גם כתוצר תשמורת של IAA. קיימים כמה תכשירים מסחריים של IBA - כהורמון השרשה - אבקות טלק המכילות אוקסין וקוטל פטריות, תמיסת IBA או תערובות של IBA ו-NAA (יפורט בהמשך) בריכוזים שונים בתמיסה מימית או בגיל. השימוש הנפוץ ב-IBA בארץ הוא בתכשירי הטלק, אולם בשנים האחרונות גוברת המודעות בקרב השתלנים בארץ לאפקט החיובי שבשימוש דווקא במלח האשלגני של IBA K-IBA. המלח של IBA מסיס במים וניתן להכין ממנו תמיסות בריכוזים שונים על פי מפתח לפיו גרם אחד בליטר מים שווה ל-1000 חלקי מיליון. נמצא שצמחים שונים שאינם מגיבים במידה מספקת לאבקת הטלק, השתדרשו בשיעור ניכר לאחר טיפול באוקסין בתמיסה מימית. דוגמאות בולטות לכך הן פטוניה (קגן וריוב, 1997) ואוג פשוט (קגן וחוב, 1998) שייחורים מהם השתדרשו בשיעור טוב יותר באופן מובהק לאחר שנטבלו בתמיסה מימית. את התמיסה ניתן להכין על ידי מיהול IBA בכהל ולאחר מכן במים או על ידי מיהול ישיר של המלח האשלגני K-IBA במים. לשם השרשת ייחורים קשיי השתרשות במעבדתנו אנחנו משתמשים בתמיסות מימיות של המלח האשלגני בריכוז של 6000 חלקי מיליון (ח"מ) כאשר הייחורים נטבלים בחלקם הבזאלי למשך דקה בטרם הנעיצה במצע ההשרשה. לחילופין טבילה של הייחורים כל הלילה בתמיסה של K-IBA בריכוז של 600 ח"מ הייתה אפקטיבית במינים שונים. עם הנפתלנים נמנה ה-NAA (חומצת אצטית 1 נפתלנית), שניתן כהורמון יחיד או במשולב עם IBA לעידוד השתרשות ייחורים (Hartmann, 2011). בניגוד לשימוש הנרחב יחסית של NAA להשרשת ייחורים במשתלות

Bennett, I., McComb, J.A., M Tonkin, C., A. J. McDavid, D., 1994. Alternating Cytokinins in Multiplication Media Stimulates in vitro Shoot Growth and Rooting of *Eucalyptus globulus* Labill. *Ann. Bot.* 74, 53–8.

Bischoff, V., Desprez, T., Mouille, G., Vernhettes, S., Gonneau, M., Höfte, H., 2011. Phytochrome regulation of cellulose synthesis in *Arabidopsis*. *Curr. Biol.* CB 21, 1822–1827.

Blommaert, K.L.J., 1954. Growth- and Inhibiting-Substances in Relation to the Rest Period of the Potato Tuber. *Nature* 174, 970–972.

Blythe, E.K., Sibley, J.L., Tilt, K.M., Ruter, J.M., 2007. Methods of Auxin Application in Cutting Propagation: A Review of 70 Years of Scientific Discovery and Commercial Practice.. September 21.

Casson, S.A., Lindsey, K., 2003. Genes and signalling in root development. *New Phytol.* 158, 11–38.

Dai, W., Su, Y., Castillo, C., Beslot, O., Dai, W., Su, Y., Castillo, C., 2011. Plant regeneration from in vitro leaf tissues of *Viburnum dentatum* L. *Plant Cell Tissue Organ Cult.* PCTOC 104, 257–262.

Dech, J.P., Maun, M.A., 2006. Adventitious Root Production and Plastic Resource Allocation to Biomass Determine Burial Tolerance in Woody Plants from Central Canadian Coastal Dunes. *Ann. Bot.* 98, 1095–1105.

Díaz-Sala, C., Garrido, G., Sabater, B., 2002. Age-related loss of rooting capability in *Arabidopsis thaliana* and its reversal by peptides containing the Arg-Gly-Asp (RGD) motif. *Physiol. Plant.* 114, 601–607.

Epstein, E., Chen, K.-H., Cohen, J.D., Chen, K.-H., Cohen, J.D., 1989. Identification of indole-3-butyric acid as an endogenous constituent of maize kernels and leaves. *Plant Growth Regul.* 8, 215–223.

Epstein, E., Lavee, S., 1984. Conversion of Indole-3-butyric Acid to Indole-3-acetic Acid by Cuttings of Grapevine (*Vitis vinifera*) and Olive (*Olea europea*). *Plant Cell Physiol.* 25, 697–703.

Eshed, Y., 2004. Involvement of Endogenous cytokinins in adventitious root formation in woody cuttings (Thesis submitted for the degree of DOCTOR OF PHILOSOPHY, to the senate of the Hebrew University of Jerusalem).

Eshed, Y., Riov, J., Atzmon, N., 1996. Rooting Oak Cuttings from Gibberellin-treated Stock Plants.

Fahn, A., 1990. *Plant anatomy*. Pergamon Press.

Fallik, E., Okon, Y., Epstein, E., Goldman, A., Fischer, M., 1989. Identification and quantification of IAA and IBA in *Azospirillum brasilense*-inoculated maize roots. *Soil Biol. Biochem.* 21, 147–153. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(89\)90024-2](https://doi.org/10.1016/0038-0717(89)90024-2)

Faruchi, Y., Ackerman, A., Gilad, S., Ben-Jacov, J., Riov, J., 1997. Improved Methods for Rooting Cuttings of *Protea obtusifolia*, in: *Acta Horticulturae*. International Society for Horticultural Science (ISHS), Leuven, Belgium, pp. 153–157.

Fett-Neto, A.G., Fett, J.P., Veira Goulart, L.W., Pasquali, G., Termignoni, R.R., Ferreira, A.G., 2001. Distinct effects of auxin and light on adventitious root development in *Eucalyptus saligna* and *Eucalyptus globulus*. *Tree Physiol.* 21, 457–464.

Firon, N., LaBonte, D., Villordon, A., McGregor, C., Kfir, Y., Pressman, E., 2009. Botany and Physiology: Storage Root Formation and Development, in: *The Sweetpotato*. Springer, Dordrecht, pp. 13–26.

Frolich, E., Platt, R., 1972. Use of the etiolation technique in rooting avocado cuttings. *California Avocado Society. Calif. Avocado Soc.* 55, 97–109.

Geiss, G., Gutierrez, L., Bellini, C., 2009. Adventitious Root Formation: New Insights and Perspectives, in: Beeckman, T. (Ed.), *Root Development*. Wiley-Blackwell, Oxford, UK, pp. 127–156.

Goren, M., 1982. Approaches to the production of avocado cuttings with etiolated bases, and the endogenous changes involved in the

במקומות שונים בעולם, השימוש באוקסין זה בארץ מועט ביותר. הועלתה ההנחה, של-NAA ישנה השפעה פיטוטוקסית על הייחורים תחת תנאי הטמפרטורה הגבוהות יחסית השוררות במתקני ההשרשה בארץ במרבית עונות השנה (י. ריוב, מידע אישי).

הקבוצה הגדולה ביותר היא קבוצת חומצות הפנוקסי שמונה מספר רב של חומרים סינתטיים בעלי פעילות אוקסין, שסונתזו ונבחנו על מערכות צמחיות שונות עוד לפני שנים רבות. חלק מחומצות הפנוקסי מעודדות השתרשות בריכוזים נמוכים, אולם הינן בעלות השפעות רעילות לצמח בריכוזים גבוהים, ולכן טווח הריכוזים המעודד השתרשות, אך לא רעיל הינו מצומצם מאד (Weaver, 1972). בספרות דווח על הפעילות הביולוגית של מספר רב של חומצות פנוקסי בעלות מבנה כימי טבעתי אליו קשורים יוני כלור (Hitchcock and Zimmerman, 1942). מבין החומרים שנבחנו בעבר, 2-DP (2-(2,4-Dichlorophenoxy)propionic acid) נמצא כחומר היעיל ביותר להשתרשות ייחורים. החומר לא הוכנס לשימוש מסחרי בשל הרעילות הגבוהה שלו בעבור הצמח.

רשימת ספרות:

Abu-Abied, M., Mordehaev, I., Kumar, G.B.S., Ophir, R., Wasteneys, G.O., Sadot, E., 2015a. Analysis of Microtubule-Associated-Proteins during IBA-Mediated Adventitious Root Induction Reveals KATANIN Dependent and Independent Alterations of Expression Patterns. *PLOS ONE* 10

Abu-Abied, M., Rogovoy (Stelmakh), O., Mordehaev, I., Grumberg, M., Elbaum, R., Wasteneys, G.O., Sadot, E., 2015b. Dissecting the contribution of microtubule behaviour in adventitious root induction. *J. Exp. Bot.* 66, 2813–2824.

Abu-Abied, M., Szwerdszarf, D., Mordehaev, I., Yaniv, Y., Levinkron, S., Rubinstein, M., Riov, J., Ophir, R., Sadot, E., 2014. Gene expression profiling in juvenile and mature cuttings of *Eucalyptus grandis* reveals the importance of microtubule remodeling during adventitious root formation. *BMC Genomics* 15, 826.

Badenoch-Jones, J., Summons, R.E., Rolfe, B.G., Letham, D.S., Badenoch-Jones, J., Rolfe, B.G., Summons, R.E., 1984. Phytohormones, Rhizobium mutants, and nodulation in legumes. IV. Auxin metabolites in pea root nodules. *J. Plant Growth Regul.* 3, 23.

Ballester, A., 1999. Anatomical and Biochemical Events during in vitro Rooting of Microcuttings from Juvenile and Mature Phases of Chestnut. *Ann. Bot.* 83, 619–629.

Batygina, T.B., Bragina, E.A., Titova, G.E., 1996. Morphogenesis of propagules in viviparous species *Bryophyllum daigremontianum* and *B. calycinum*. *Acta Soc. Bot. Pol.* 65, 127–133.

Bellini, C., Pacurar, D.I., Perrone, I., 2014. Adventitious Roots and Lateral Roots: Similarities and Differences. *Annu. Rev. Plant Biol.* 65, 639–666.

banding effects on adventitious root formation. *Adv. Plant Sci. Ser. USA*.

Pacholczak, A., Szydło, W., Łukaszewska, A., Szydło, W., Łukaszewska, A., 2005. The effect of etiolation and shading of stock plants on rhizogenesis in stem cuttings of *Cotinus coggygria*. *Acta Physiol. Plant.* 27, 417–428.

Poethig, R.S., 1990. Phase Change and the Regulation of Shoot Morphogenesis in Plants. *Science* 250, 923–930.

Sassi, M., Traas, J., 2015. When biochemistry meets mechanics: a systems view of growth control in plants. *Curr. Opin. Plant Biol.* 28, 137–143.

Schaller, G.E., Bishopp, A., Kieber, J.J., 2015. The yin-yang of hormones: cytokinin and auxin interactions in plant development. *Plant Cell* 27, 44–63.

Schneider, E.A., Kazakoff, C.W., Wightman, F., Kazakoff, C.W., Wightman, F., 1985. Gas chromatography-mass spectrometry evidence for several endogenous auxins in pea seedling organs. *Planta* 165, 232–241.

Smalley, T.J., Dirr, M.A., Armitage, A.M., Wood, B.W., Teskey, R.O., Severson, R.F., 1991. Photosynthesis and Leaf Water, Carbohydrate, and Hormone Status during Rooting of Stem Cuttings of *Acer rubrum*. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 116, 1052–1057.

Sorin, C., Bussell, J.D., Camus, I., Ljung, K., Kowalczyk, M., Geiss, G., McKhann, H., Garcion, C., Vaucheret, H., Sandberg, G., Bellini, C., 2005. Auxin and light control of adventitious rooting in *Arabidopsis* require ARGONAUTE1. *Plant Cell* 17, 1343–1359.

Steffens, B., Rasmussen, A., 2016. The Physiology of Adventitious Roots. *Plant Physiol.* 170, 603–617.

Strader, L.C., Culler, A.H., Cohen, J.D., Bartel, B., 2010. Conversion of endogenous indole-3-butyric acid to indole-3-acetic acid drives cell expansion in *Arabidopsis* seedlings. *Plant Physiol.* 153, 1577–1586.

Van Staden, J., Harty, A., 1988. Cytokinins and adventitious root formation, in: *Root Formation in Cuttings* (Davis, T., Haissig, B. Sankhla, Eds.). Diacorides Press, Portland, Oregon, pp. 70–78.

Vidal, N., Arellano, G., San-José, M.C., Vieitez, A.M., Ballester, A., 2003. Developmental stages during the rooting of in-vitro-cultured *Quercus robur* shoots from material of juvenile and mature origin. *Tree Physiol.* 23, 1247–1254. Wang, J.-W., Park, M.Y., Wang, L.-J., Koo, Y., Chen, X.-Y., Weigel, D., Poethig, R.S., 2011. MiRNA Control of Vegetative Phase Change in Trees. *PLOS Genet.* 7, e1002012. Weaver, R.J., 1972. *Plant growth substances in agriculture*. San Francisco, W.H. Freeman and Company.

Wendling, I., Trueman, S.J., Xavier, A., Wendling, I., Xavier, A., 2014. Maturation and related aspects in clonal forestry—part II: reinvigoration, rejuvenation and juvenility maintenance. *New For.* 45, 473–486.

Wiesman, Z., Riov, J., Epstein, E., 1989. Characterization and Rooting Ability of Indole-3-Butyric Acid Conjugates Formed during Rooting of Mung Bean Cuttings. *Plant Physiol.* 91, 1080–1084.

Yue, D., Margolis, H.A., 1993. Photosynthesis and dark respiration of black spruce cuttings during rooting in response to light and temperature. *Can. J. For. Res.* 23, 1150–1155.

וינוגרד, א., 1995. ריבוי אלות מקומיות מזרעים וייחורים.

האוניברסיטה העברית בירושלים.

קגן, ס., קירי, א., ריוב, י., 1998. יצירת ייחורים מושרשים של

אוג פשוט (*Rhus ovata*). דפי מידע 1, 68.

קגן, ס., ריוב, י., 1997. פוטיניה: ריבוי וגטטיבי מייחורים. דפי

מידע 9, 54–53.

rooting process (Thesis submitted to the Faculty of Agriculture of the Hebrew University of Jerusalem for the degree of Master of Sciences in Agriculture).

Greenwood, M.S., 1987. Rejuvenation of Forest Trees, in: *Hormonal Control of Tree Growth*, Forestry Sciences. Springer, Dordrecht, pp. 1–12.

Hackett, W.P., 2011. Juvenility, Maturation, and Rejuvenation in Woody Plants, in: Janick, J. (Ed.), *Horticultural Reviews*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA, pp. 109–155.

Hansen, J., Ernstsens, A., 1982. Seasonal changes in adventitious root formation in hypocotyl cuttings of *Pinus sylvestris*: Influence of photoperiod during stock plant growth and of indolebutyric acid treatment of cuttings. *Physiol. Plant.* 54, 99–106.

Hartmann, H.T., Kester, D.E., Davies, F.T., 2011. *Hartmann and Kester's plant propagation: principles and practice*, 8th ed. ed. Prentice Hall, Boston.

Hitchcock, A., Zimmerman, P., 1942. Methods of rating the root-inducing activity of phenoxy acids and other growth substances, in: *Auxins Cytokinins IAA Growth Substances, Cuttings*. Contrib. Boyce Thompson Inst, pp. 21–38.

Hutchison, K.W., Singer, P.B., McInnis, S., Diaz-Sala, C., Greenwood, M.S., 1999. Expansins Are Conserved in Conifers and Expressed in Hypocotyls in Response to Exogenous Auxin. *Plant Physiol.* 120, 827–832.

Klerk, G.-J. de, Krieken, W. van der, Jong, J.C. de, 1999. Review the formation of adventitious roots: New concepts, new possibilities. *Vitro Cell. Dev. Biol. - Plant* 35, 189–199.

Klopotek, Y., George, E., Druege, U., Klaering, H.-P., 2012.

Carbon assimilation of petunia cuttings in a non-disturbed rooting environment: Response to environmental key factors and adventitious root formation. *Sci. Hortic.* 145, 118–126.

Koukourikou-Petridou, M.A., 1998. Etiolation of stock plants affects adventitious root formation and hormone content of pea stem cuttings. *Plant Growth Regul.* 25, 17–21.

Krieken, W.M.V. der, Kodde, J., Visser, M.H.M., Blaakmeer, A., Groot, K. de, Leegstra, L., Tsardakas, D., Leegstra, L., Groot, K. de, Blaakmeer, A., Krieken, W.M.V. der, Visser, M.H.M., Kodde, J., Leegstra, L., Groot, K. de, Blaakmeer, A., Krieken, W.M.V. der, Visser, M.H.M., Kodde, J., 1997. Increased Induction of Adventitious Rooting by Slow Release Auxins and Elicitors, in: *Biology of Root Formation and Development*, Basic Life Sciences. Springer, Boston, MA, pp. 95–104. Landrein, B., Hamant, O., 2013. How mechanical stress controls microtubule behavior and morphogenesis in plants: history, experiments and revisited theories. *Plant J. Cell Mol. Biol.* 75, 324–338.

Levy, A., Szwerdszarf, D., Abu-Abied, M., Mordehaev, I., Yaniv, Y., Riov, J., Arazi, T., Sadot, E., 2014. Profiling microRNAs in *Eucalyptus grandis* reveals no mutual relationship between alterations in miR156 and miR172 expression and adventitious root induction during development. *BMC Genomics* 15, 524.

Lucas, M., Kenobi, K., von Wangenheim, D., Voß, U., Swarup, K., De Smet, I., Van Damme, D., Lawrence, T., Péret, B., Moscardi, E., Barbeau, D., Godin, C., Salt, D., Guyomarc'h, S., Stelzer, E.H.K., Maizel, A., Laplaze, L., Bennett, M.J., 2013. Lateral root morphogenesis is dependent on the mechanical properties of the overlaying tissues. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 110, 5229–5234.

Ludwig-Müller, J., Epstein, E., 1991. Occurrence and in vivo Biosynthesis of Indole-3-Butyric Acid in Corn (*Zea mays* L.) 1. *Plant Physiol.* 97, 765–770.

Maynard, B.K., Bassuk, N.L., 1996. Effects of Stock Plant Etiolation, Shading, Banding, and Shoot Development on Histology and Cutting Propagation of *Carpinus betulus* L. *fastigiata*. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 121, 853–860.

Maynard, B.K. (Cornell U., Bassuk, N.L., 1988. Etiolation and

דגי אמנון - תזונה ומזונות מלאכותיים עבורם

פרופ' שנאן הרפז¹ ונתן גור²

¹מינהל המחקר החקלאי המחלקה לעופות ומדגה, ²מכון תערובות צמח

תזונה ומבנה מערכת העיכול

המזון האופייני של אמנונים בוגרים הוא חומר צמחי ו/או חומרי רקב (דטריטוס) ממקור צמחי. אצות פיתופלנקטוניות, אצות הגדלות בקרקעית, צמחים עילאיים ופריפיתון (אצות וחד תאיים היוצרים קרום אורגני על מצע) משמשים כמזון לכל המינים, במידה רבה או נמוכה, אולם מיני *Oreochromis* הם בעיקר אוכלי יצורים זעירים בעוד מיני הסוג *Tilapia* אוכלי צמחים עילאיים. למרות שהאחרונים ניזונים ע"י סינון אצות זעירות בצעירותם, בבגרותם הם עושים זאת רק לעתים רחוקות. מספר מינים מסננים אצות זעירות ניזונים גם על זואופלנקטון. ראוי לציין עם זאת כי לאמנונים גמישות תזונתית רבה והם מראים שונות עונתית במזונם הטבעי ובהעדף מזון מועדף יעברו למזונות

אחרים. בטבע מוצאים מגוון של התאמות מבנה הפה והשיניים של אמנונים למזונם.

מבנה הפה: במשפחת האמנוניים שלוש שיטות עיקריות לתפיסת המזון: שאיבה - שבה המזון נשאב אל תוך חלל הפה בעוד הדג נייח, סינון - הדג שוחה בפה פעור וקולט מזון עם המים, ונשיכה - שימוש בשינון ע"ג הלסתות לתפיסת המזון. למרות שכל השיטות מוכרות באמנונים, התמחויות מורפולוגיות להתאמה לשיטה זו או אחרת אינן שכיחות כמו בקבוצת ההאפלוכרומינים. אין כמעט שונות בצורת הראש או בצורת חלל הפה בין דוגרי-הפה האימהיים. המזון הנאסף בסינון ובשאיבה נתפס באמצעות מסננת קשתות הזימים וחוטירר המופרשים מתאים מיוחדים לכך הממוקמים בקשתות הזימים. בניגוד לבעלי חיים אחרים הריר אינו מכיל אנזימי עיכול ומטרתו לכידת



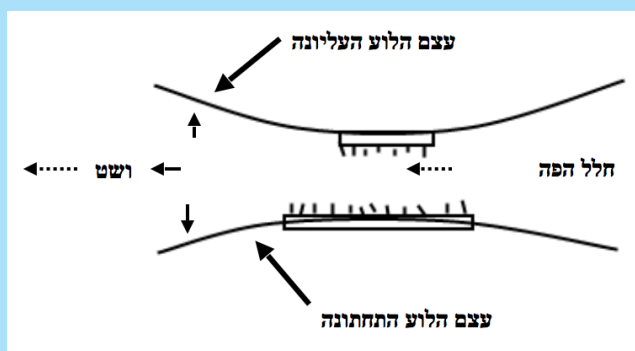
איור 2: מבט-על על הלסת התחתונה של אמנון מוזמביק. מימין השפה התחתונה ומשמאל עצם הלוע משוננת; במרכז קרני הזימים

[מקור: © Jubb, 1967; Courtesy of the Albany Museum, Grahamstown, South Africa]

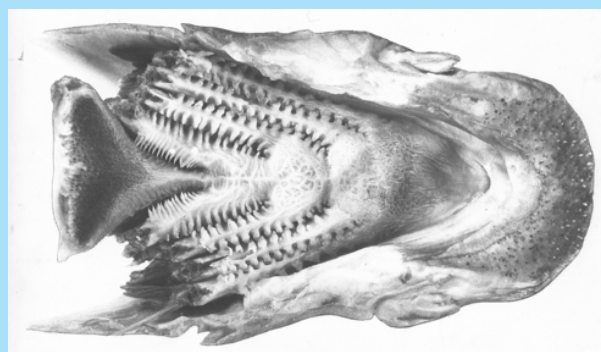


משטחים משוננים על גבי הלסתות

איור 1: שינון השפתיים באמנון [צילום: אבנר כנעני]



איור 4: מבט-צד סכמטי על מתקן הלוע באמנון. החצים מסמנים את כיוון תנועת הלסתות בעת גריסת המזון [מעובד על פי Fryer and Iles, 1972]



איור 3: עצם הלוע התחתונה במיני אמנונים. מלמעלה משמאל בכיוון השעון: אמנון רנדאלי, T. cabrae, אמנון מוזמביק, אמנון גליל, אמנון יאור. [מקור: Beveridge and Baird, 2000 with Springer permission]

הזנה ומזונות טבעיים

בבריכות ומקווי מים טבעיים יש מזון טבעי רב הזמין לדגי האמנון: אצות רב וחד תאיות וכן מגוון עשיר של זואופלנקטון וחרקים. ככל שטמפרטורת המים גבוהה יותר ומשך זמן התאורה הטבעית גבוה יותר יתקבל עושר רב יותר של מזון טבעי בבריכה. במקומות רבים בעולם נהוג להעשיר את מי בריכות הגידול בחומר אורגני על מנת שישמש להגברת כמות המזון הטבעי העומדת לרשות הדגים. החומר האורגני המשמש לשם כך הוא פסולות חקלאיות שונות או הפרשות של בעלי חיים. במזרח הרחוק נהוג לגדל עופות בכלובים מעל הבריכות כשהפרשות העופות המגיעות אל המים ומכילות חנקן וזרחן משמשות לגדילה מואצת של אצות והללו משמשות קרקע מזון למגוון מיני זואופלנקטון הניזון עליהן. בשיטות דומות נהוג לגדל בעלי חיים ליד הבריכות ולהעשיר את מי הבריכה בכמויות מדודות של הפרשות בעל החיים. בדרך זו ניתן למחזר פסולות ולהאיץ את גדילת הדגים. העשרת הבריכה בחומר אורגני הייתה נהוגה גם בארץ אך המעבר לגידול אינטנסיבי של דגים חייב מעבר למזונות מלאכותיים תוך הסתמכות מועטת ביותר על מזונות טבעיים. שיטה טבעית נוספת להעשרת המזון הטבעי העומד לרשות הדגים הינה על ידי הפעלת תאורה מעל מי הבריכה. תאורה זו מושכת חרקים אשר מטילים ביצים במים או לחילופין נופלים לתוך המים ומשמשים ישירות כמזון לדגים. פריפיתון (Periphyton) מורכב מתלכיד של אצות, ציאנובקטריה, חיידקים הטרוטרופיים וחומר רקבובי (דטריטוס). פריפיתון מצוי בכל מקווי המים

המזון. האכילה מבוצעת ע"י נשיכה וגירוד מסתייעת בשיניים הממוקמות בקדמת הלסתות באחת עד חמש שורות (איור 1).

צורת העצמות, המבנה שלהן, כמות השינון וצורת השיניים מצטיינת בשונות רבה בתוך המשפחה בהתאמה למזון הטבעי האופייני למינים השונים. למיני Tilapia אוכלי הצמחים שיניים גסות וחזקות, בעוד למינים מסנני הפלנקטון כמו אמנון היאור שיניים רבות, דקות ועדינות (איור 3). המזון הנכלא בין שני המשטחים נגרס כתוצאה מתנועה מהירה בכיוונים מנוגדים (איור 4). ריר המיוצר בבסיסי השיניים על-גבי עצמות הלוע משמש כנראה לסיכה של מתקן הלוע. המזון הגרוס נדחף אל הושט ע"י תנועה לאחר של עצם הלסת העליונה ודרכו אל צינור העיכול.

צינור העיכול: לאמנונים וושט קצר המוביל אל קיבה דמוית-שק המופרדת ממעי ארוך ומפותל, האופייני לאוכלי צמחים, באמצעות שריר סוגר. אורכו של המעי באמנון בוגר גדול פי כמה (עד פי 8) מאורכו הכללי של הדג והוא דומה במינים השונים למרות הרגלי התזונה השונים (איור 5). בלוטות הנמצאות בקיבה מפרישות חומצה בנוכחות מזון בקיבה, וחומציות הקיבה (ה-pH) תלוי במידת מילוי הקיבה. עם עלות השחר, לאחר התחלת אכילה, מתחילה הפרשת החומצה. קצב הפרשת החומצה עולה באופן מעריכי (אקספוננציאלי) וה-pH יורד בהדרגה ועשוי להגיע עד ערך של pH = 1 - נמוך (חומצי) יותר מכל דג גרם אחר. עם הפסקת האכילה נפסקת הפרשת החומצה, ובלילה, כשהקיבה פחות או יותר ריקה עולה ה-pH בקיבה ומתקרב לערך של 7.

טבעית בלבד ולא נעשה שימוש במזון מלאכותי מוסף ניתן להגיע ליבול מקסימאלי של כ- 350-400 ק"ג ל-1000 מ"ר (דונם אחד) של בריכה. בארץ ניתן להגיע בשיטה זו ליבול מקסימאלי של כ- 150 ק"ג לדונם בריכה ובאמצעות העשרת הבריכה והעמדת מצע מתאים להתפתחות מוגברת של פריפיתון ניתן להגיע כמעט להכפלת היבול. המחסור במים ובשטחים לגידול דגים בארץ מחייב לעבור לגידול אינטנסיבי של דגי האמנון, ולכך נדרש שימוש במזון מלאכותי המיוצר בשיטות שיתוארו להלן.

מזונות האמנון המשמשים בגידול מלאכותי אינטנסיבי לאמנון קיבה ומעיים ארוכים יחסית. נתונים אנטומיים אלה מאפשרים לו לנצל ביעילות מגוון רחב של מזונות ממקורות צמחיים כמו גם מזונות מן החי והוא מוגדר כדג אוכל כל. מזון מלאכותי לאמנון מתוכנן כך שישפך לדג את צרכיו התזונתיים אולם בתכנון המזון עבור דגים המגודלים בבריכות עפר יש להתחשב בתרומה של הסביבה לתזונת הדג ולכלול במזון רק את אותם מרכיבים שבית הגידול אינו יכול לספק.

תכולות נדרשות במזון: חלבון - כללי וחומצות אמינו חיוניות; שומן - כללי וחומצות שומן חיוניות; פחמימות כמקור אנרגיה וחומר קישור; אנרגיה נעכלת; מינרלים וויטמינים. בטכנולוגיה הקיימת היום נעזרים בתוכנת מחשב הבוחנת בו זמנית את מחיר חומרי הגלם השונים והשילוב המיטבי ביניהם. כך ניתן להגיע לשילוב אופטימאלי של חומרי גלם אשר יספק את כל הדרישות התזונתיות של הדג בעלות

ומשמש מזון טבעי נפוץ ובעל תכולת חלבון גבוהה יחסית לדגים (איור 6). דגי האמנון אינם יכולים לאכול באופן ישיר חיידיקים (המכילים 70% חלבון) אך הם יכולים בקלות להיזון מתלכיד המכיל חיידיקים ובכך הם הופכים לזמינים לדגים.

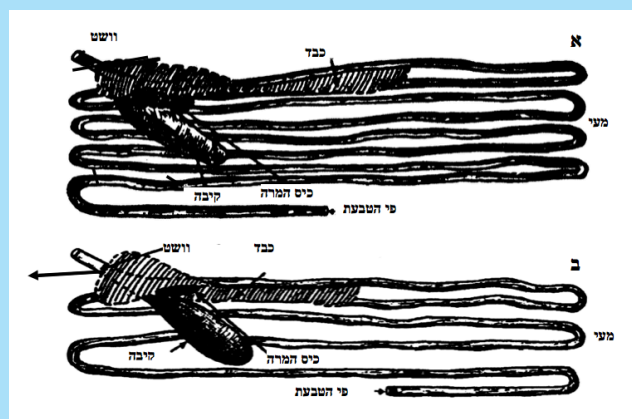
נהוגות שיטות שונות להגדלת בסיס השטח בבריכה הזמין לקליטת פריפיתון. אחת הדרכים הנפוצות במזרח הרחוק ובמערב אפריקה הינה הכנסת צמחיה כגון כפות תמרים או ענפים שונים למים. חיסרון השיטה נובע מכך שהחומר הצמחי עובר פרוק במים ואיננו יכול לשמש כמצע לאורך זמן. דרכים אחרות כוללות הכנסת חומרים פלסטיים שאינם מתפרקים ויכולים לשמש כמצע לאורך זמן. המצע צריך להיות מוצב בחלק העליון של מי הבריכה החשוף לאור השמש כך שהתפתחות האצות עליו תהיה מיטבית. ניסויים שנערכו בארץ הראו ששימוש ברשתות פלסטיק, המגדילות משמעותית את שטח הפנים, מאפשר יצירת 2 גרם (משקל יבש) של מזון למ"ר רבוע רשת ליום. כן נמצא שצבע הרשת משפיע על כמות הפריפיתון הנוצרת - על רשת לבנה הכמות הייתה כמעט כפולה מזו שנוצרה על גבי רשת שחורה.

בשלבי חייהם הראשונים של הדגים יש חשיבות מרבית למזון הטבעי בבריכה שכן מערכת העיכול של הדגים איננה מפותחת כל צרכה וחסרה חלק מאנזימי העיכול. תפיסת מזון חי (זואופלנקטון) מאפשרת לדג לעשות שימוש באנזימי העיכול של הטרף ובכך ליעל את תהליך עיכול המזון. ככל שהדגים גדלים ומפתחים מערך אנזימטי מלא משלהם התלות במזון החי יורדת.

באזורים טרופיים, במקומות בהם מסתמכים על הזנה



איור 6: צילום פריפיתון במקווי מים



איור 5. תיאור דיאגרמטי של צינור העיכול באמנון יאור (א) ובאמנון מצוי (ב).

הנמוכה ביותר. המזון מהווה את ההוצאה העיקרית מבין ההוצאות השוטפות בגידול דגים (כ-60%) ועל כן כל חיסקון במרכיב יקר זה יביא להגדלת רווחיות הגידול. ככלל הגברת נצולת המזון בדגים תורמת להקטנת הזיהום הסביבתי ובמקביל מקטינה את הוצאות הייצור.

תכולות המזון: הדרישות התזונתיות של דג האמנון נמוכות יחסית לדגים אחרים כמו טורפים למיניהם, קרפיון ועוד. חלבון - תכולת החלבון והאנרגיה הנעכלת גבוהה בשלבי הגידול הראשונים ויורדת עם העלייה במשקל הדג. במזונות המיועדים לשלבי הגידול הצעירים לדוגמא, תכולת החלבון נעה בין 40% ל-50% והיא יורדת עד ל-25% במזון המיועד לשלבי הפיטום המאוחרים. בדרך כלל, תכולת החלבון במזונות הפיטום היא 30-32%. הרכב אבני הבניין של החלבון (חומצות האמינו) חשוב אף הוא ורמת חומצות האמינו החיוניות בהרכב החלבון הנדרש על ידי האמנון אף היא נמוכה בהשוואה לדגים אחרים. שומן - האמנון מתקשה לנצל רמות שומן גבוהות במזונו. רמות השומן במזונות האמנון נעות בין 3% ל-8% בהתאם לגודל הדג ורמת החלבון במזון. רמת שומן עודפת במזון תגרום לצבירה של שומן רב בחלל הבטן של הדג ובמקרים רבים תגרום לכבד שומני וקשיים בתפקודי כבד. תאית - מרכיבי דופן תא (תאית, NDF) הינם בד"כ בעלי נעכלות נמוכה. לאמנון יכולת טובה להתמודד עם רמות גבוהות של מרכיבים אלה במזונו, בעיקר בשלב הפיטום. עובדה זו מאפשרת שימוש במזונות צמחיים, עשירים במרכיבי דופן תא, בהרכבת מזונות האמנון.

קבוצות החומרים המשמשות חומרי גלם ליצור מזונות האמנון כיום:

גרעינים - חיטה, סורגוס, תירס, שעורה, שבולת שועל, דוחן. גרעינים הינם מקור עיקרי לעמילן ובנוסף הם מספקים גם מעט חלבון ושומן. העמילן שבמזון הינו מקור אנרגיה חשוב במזון האמנון. בנוסף, בעת הכנת הכופתיות החום גורם לעמילן להפוך דביק ועל כן הוא מרכיב הכרחי בקשירת מרכיבי המזון לכופתית יציבה ועמידה.

כוספאות - סויה, לפתית, חמניות, כותנה. הכוספאות הינן מוצר לוואי הנשאר לאחר שהופקו שמני מאכל מן הגרעינים. הן עשירות, יחסית, בחלבון אך הרכב חומצות האמינו החיוניות בהן אינו מאוזן לצורכי האמנון (ודגים בכלל). הכוספאות עשירות במרכיבי דופן תא צמחי בעלי נעכלות נמוכה ולכן תכולת האנרגיה הנעכלת בהן נמוכה יחסית. מבין הכוספאות, כוספת הסויה הינה בעלת הרכב חומצות האמינו הטוב ביותר עבור האמנון. כוספת סויה מהווה לרוב את מקור החלבון העיקרי במזון האמנון.

מוצרי לוואי של תעשיות מזון ודלק - סובין חיטה סובין (לטש) אורז הם תוצרי לוואי של טחנות קמח ומלטשות

אורז. סובין עשיר במרכיבי דופן תא ורמת החלבון בו נמוכה יחסית. גלוטן תירס - מוצר לוואי של תעשיית העמילן. עשיר מאד בחלבון אך החלבון בו אינו מאוזן. בעל תכולת אנרגיה נעכלת גבוהה. קמח גלוטן תירס גם הוא מוצר לוואי של תעשיית העמילן, בעוד DDGS Dried Distillers Grains with Solubles הוא תוצר לוואי של תעשיית האתנול (המשמש כדלק למכוניות) - הם מכילים חלבון ברמה בינונית ובלתי מאוזן, ומרכיבי דופן תא ברמה גבוהה. קטניות שונות כמו תורמוס ושעועית למיניה משמשים מקור טוב לחלבון ועמילן במזונות לאמנון. צמחי שורש כדוגמת טפיוקה משמשים מקור לעמילן במזון האמנון.

חלבונים מן החי: קמח דגים נחשב במשך שנים למקור חלבון מעולה במזונות לדגים (ועופות). רמת החלבון הגבוהה בו (60% ומעלה), הרכב חומצות אמינו אופטימלי, חומצות שומן מסדרת אומגה-3 ותכולת זרחן גבוהה, כל אלה בשילוב נעכלות גבוהה והיותו מעודד צריכה, הופכים את קמח הדגים למרכיב מזון אידיאלי. קמח דגים הינו המרכיב היקר ביותר מבין חומרי הגלם במזונות לדגים.

בשנים האחרונות ישנה עלייה ניכרת במחיר קמח דגים בעולם הנובעת מהפער בין ההיצע המצטמצם לביקוש הגדל והולך לקמח דגים בהזנת דגים בחקלאות מים. לרוע המזל, הזמינות היורדת והמחיר העולה של קמח הדגים, גרמו להוצאתו מחלק גדול ממזונות הדגים ובתוכם מזונות האמנון. על מנת למנוע עליות מחירים תכופות של מזונות הדגים ועל מנת להוריד במידת האפשר את מחירי המזון, נערכים ניסיונות למציאת חומרי גלם חלופיים שמחירם נמוך יותר ויציב יותר ביחס לזה של קמח הדגים. מלבד המחיר חשוב גם לוודא שחומר הגלם החלופי לא יפגע בקצב הגדילה ובבריאות הדגים. נכון לעת הזו, לאחר מספר שנות מחקר, ניתן לייצר מזון איכותי לדג האמנון ללא כל שימוש בקמח דגים.

חמרי גלם חלופיים התורמים חלבון מן החי הם מוצרי לוואי של תעשיית העופות: קמח עוף מיוצר מהקרביים וחלקים אחרים של פטמים והודים בעת עיבודם. זהו מקור חלבון מצוין ובנוסף הוא תורם שומן ומינרלים. החומר מהווה תחליף טוב לקמח הדגים במזון האמנון. קמח נוצות מכיל רמת חלבון גבוהה ביותר אולם חלבון זה אינו מאוזן ובמצבו הטבעי כמעט ואינו נעכל. טיפול בחום ובלחץ גבוה משפר מאד את נעכלות חלבון הנוצות והופך אותו למקור חלבון כלכלי במזונות האמנון. קמח דם עופות מכיל חלבון ברמה גבוהה ביותר והוא עשיר בחומצות האמינו החיוניות ליזין. החומר רגיש לחום ועיבודו בדרך לא מתאימה פוגעת מאד בנעכלותו. קמח דם שעובד כראוי (בתרסיס) הינו מקור חלבון מעולה. קמחי בשר בקר מופקים משאריות של בתי המטבחיים לבקר. הם מקור טוב לחלבון ומינרלים. יחד עם זאת עקב מחלת "הפרה המשוגעת" העלולה להיות מועברת בעת שימוש בקמחים אלה, הם אינם בשימוש כיום במזונות לדגים.

בבחירת מרכיבי המזון ואף יצור מזונות יעילים על טהרת המרכיבים הצמחיים.

תוספים שונים: מסיבות שונות לעיתים יש להוסיף למזונות האמנון תוספים שונים. על אלה נמנים חומרים מעכבי עובש, חומרים נוגדי חמצון, חומרים המשמשים כמעודדי מערכת חיסונית, ותרופות (בהתאם למרשם וטרינרי) ועוד. חשוב לשים לב לעמידות של התוספים השונים בתהליך העיבוד באקסטרוזיה בו נוצר חום גבוה העלול לפגוע בהם.

שיטות עיבוד המזון:

כדי להבטיח נעילות טובה, כל מרכיבי המזון צריכים להיאכל בו זמנית כדי להיות מנוצלים על ידי הדג בצורה מיטבית. חלקיקי המזון צריכים להיות קטנים ביותר וזאת על מנת להבטיח חשיפה מרבית שלהם לאנזימי מערכת העיכול. בנוסף, יש להבטיח שכל מרכיבי המזון יהיו מלוכדים יחד לכופתית חזקה ועמידה במים למשך זמן מספיק, כדי שיאכלו במהירות וביעילות על ידי הדגים. האמנון הוא אמנם דג מסנן אשר מסוגל לאסוף גם חלקיקי מזון קטנים ביותר אבל הוא יצטרך להשקיע אנרגיה רבה באיסופם. מזון שהתפורר וחלקיקיו התפזרו לפני שהדגים הספיקו לאכלם יהיה פחות יעיל ואף יגרום, בסופו של דבר, לזיהום המים. ככלל, יש יתרון ברור להזנת האמנון במזון צף. הזנה במזון הצף מאפשרת מעקב מדויק אחר צריכת המזון על ידי הדגים ולכן מונעת האכלה בעודף או בחוסר. בנוסף, המזון עמיד במים לאורך זמן ואינו מתפרק גם אם אכילתו איטית ומתמשכת. יתרונות נוספים של המזון הצף הם היותו מוגש בסביבה העשירה ביותר בחמצן והנוחה ביותר לדגים וכן יכולתו להתפזר על פני שטח נרחב, דבר המאפשר גישה למזון למספר רב של דגים בו זמנית. במצבים מסוימים לא ניתן להזין במזון צף, למשל כאשר יש בבריכה ריבוי של עופות האוכלים את המזון הצף או טורפים את הדגים העולים לפני השטח לאכול את המזון. גם כאשר יש רוחות חזקות בזמן ההאכלה יש קושי להזין במזון צף כי הוא נסחף לדפנות הבריכה. במצבים כאלה יש להשתמש במזון שוקע.

האמצעים ליצור כופתית עמידה הינם רמה מספקת של עמילן במזון, גריסת המרכיבים לחלקיקים קטנים ככל האפשר, בישול העמילן (ג'לינציה) ודחיסה בלחץ של התערובת לצורה הסופית. ישנן שתי צורות עיבוד עיקריות להכנת מזון לדגים:

כיפתות במכש: לאחר גריסתו וערבול מרכיביו מקבל המזון טיפול מקדים בקיטור ואחרי כן נדחס דרך מטריצה עם חורים בגודל הרצוי. לאחר מכן החומר מקורר ומיובש על ידי הזרמת אוויר דרכו. יתרון השיטה - השקעת אנרגיה נמוכה, הספקים גבוהים, עלות העיבוד נמוכה.

שמנים: דג האמנון זקוק לשומן במזונו הן כמקור אנרגיה והן כמקור לחומצות שומן חיוניות. האמנון זקוק לגדילתו בעיקר לחומצות שומן מסדרת אומגה-6 ולמעט חומצות שומן מסדרת אומגה-3. בניגוד למיני דגים אחרים כמו טורפים או קרפיונאים למשל, האמנון אינו מסוגל לנצל רמות גבוהות של שומן במזונו ולכן מזונות האמנון מאופיינים על פי רוב בתכולת שומן נמוכה יחסית. השמנים העיקריים המשמשים ביצור מזון לאמנון הינם שמן סויה, שמן עופות ולעיתים מעט שמן דגים.

מינרלים: האמנון, כמו כל הדגים, מסוגל לספוג מינרלים מסיסים ישירות מן המים דרך הזימים אבל רוב המינרלים "הגדולים" צריכים להינתן במזון על מנת להבטיח אספקה סדירה שתאפשר גדילה מרבית. סידן מסופק ישירות במזון ממספר מקורות, בנוסף לספיגה מהמים. על אלה נמנים גיר, דו סידן זרחתי וכן שאריות העצמות שמקורן בחלבון מן החי. זרחן-מזונות האמנון עשירים יחסית בזרחן אבל הזרחן מהמקורות הצמחיים אינו נעכל כמעט על ידי הדג. כדי לספק את צרכי הזרחן של הדג יש לספק לו זרחן מינרלי בצורת דו- או חד-סידן זרחתי, או שאריות העצמות שמקורן בחלבון מן החי. לחילופין ניתן לעשות שימוש באנזים פיטאז המשפר את זמינות הזרחן מן המקורות הצמחיים. מלח - בשנים האחרונות נמצא (ראה פרוט ברשימת החומר לקריאה נוספת) שהוספת מלח למזון האמנון בכמות של עד 3% מן התכולה משפרת את ביצועי הגדילה. מחיר המלח נמוך ביותר ועל כן עלות הוספתו נמוכה משמעותית לעומת השיפור המתקבל בניצולת המזון. יסודות קורט (מיקרו-אלמנטים) - נחושת, אבץ, ברזל, מנגן, סלניום, קובלט ויוד - נהוג להוסיף יסודות אלה במזונות לגידול אמנונים במערכות סגורות וכן לדגיגים ולדגי רביה. בגידול חצי-אינטנסיבי במים ירוקים לא נמצאה תועלת בהוספת יסודות אלה למזון ונראה שהם מסופקים ברמה מספקת ע"י המזון הטבעי.

ויטמינים: בגידול אמנונים במערכות בעומס נמוך עם מים ירוקים אין תועלת בהוספת ויטמינים למזון שכן הדג מקבל את כל צרכיו מן האצות, הצמחייה והזואופלנקטון שבמערכת. בתנאים מסוימים של צפיפות גידול גבוהה יש הכרח להוסיף ויטמינים למזון. נהוג להוסיף ויטמינים בגידול במערכות אינטנסיביות בהן אין לדגים גישה למזון טבעי, וכן בטמפרטורות מים נמוכות בהן מערכת החיסון של הדגים נחלשת כדי לעודד את פעילותה. בתנאי עקה הדרישה לחלק מן הויטמינים עולה. לדגיגים מוסיפים ויטמינים למזון בגלל רגישותם ולדגי רביה כדי להבטיח פוריות גבוהה ושרידות טובה של הלוות.

חומצות אמינו סינטטיות: מספר חומצות אמינו חיוניות כמו ליזין, מתיונין ועוד, מיוצרות היום באופן מלאכותי. זמינותן מאפשרת גמישות רבה ביותר

חסרון השיטה - דרגת הגילטיניזציה של העמילן שבמזון נמוכה, עמידות המזון במים נמוכה, לא ניתן ליצר מזון צף בטכנולוגיה זו.

אקסטרוזיה: לאחר גריסתו וערבולו מקבל המזון טיפול מקדים בקיטור ומים במשך זמן ארוך יחסית. לאחר מכן החומר עובר דחיסה, לישה וערבול בתוספת קיטור ומים. התהליך מאופיין בלחץ גבוה וטמפרטורת בישול גבוהה. בסוף התהליך החומר נידחס דרך מטריצה בגודל החור הרצוי. בשלב הסופי המזון עובר יבוש בטמפרטורה גבוהה ולבסוף, קירור בזרם אויר. יתרון השיטה - גילטיניזציה גבוהה של העמילן. עמידות מצוינת של המזון במים. שליטה מלאה על המשקל הנפחי של המזון - צף או שוקע. עיקור (סטריליזציה) מלא של המזון, ניטרול מעכבי עיכול, הקטנה ניכרת בכמות האבקה הנושרת מן הכופתיות לאחר הכנתן. חסרון השיטה - עלויות העיבוד גבוהות: עלות הציוד גבוהה, צריכת אנרגיה גבוהה בתהליך העיבוד, ההספק נמוך יחסית, הרס מוגבר של ויטמינים.

גודל חלקיקי המזון:

גודל חלקיקי המזון צריך להיות מותאם לגודל הדגומפתח הפה שלו. לנושא זה חשיבות משני היבטים - ראשית צריך להיות מתאם כלשהו בין מספר הדגים בבית הגידול למספר חלקיקי המזון כך שלמספר מקסימאלי של דגים תהיה גישה למזון בו זמנית. שנית, כאשר גודל המזון אינו מתאים למפתח הפה של הדגים יש בזבז אנרגיה רבה באיסוף או באכילת מזון קטן או לחילופין בזבז מזון שאינו זמין לדגים ועובר פירוק במים לפני שנאכל על ידי הדגים. מזונות בעלי גודל חלקיקים קטן מ- 1.5 מ"מ מיוצרים, בדרך כלל, על ידי ריסוק של כופתיות גדולות יותר לפירורים בגודל הרצוי. בטכנולוגיה הקיימת ניתן לייצר כופתיות בקוטר החל מ- 1.5 מ"מ ועד 8 מ"מ. גודל המזון המוגש מותאם לגודל מפתח הפה של הדגים החלקיקים הקטנים (1.5 מ"מ) מתאימים לדגים בטווח המשקלים של כ- 10 ג' לעומת זאת הכופתיות בגודל 8 מ"מ מתאימות לדגים במשקלים של 700-800 ג'.

אחסון המזון וחיי מדף:

המזון, כמו כל חומר ביולוגי, עובר תהליכי חמצון ופירוק. ככל שטמפרטורת הסביבה גבוהה יותר תהליכי הפירוק יהיו מהירים יותר. מזונות האמנון עמידים יחסית בסביבה חמה וזאת עקב רמת השומן הנמוכה שבהם. בנוסף, רוב השומן במזון מכיל מעט חומצות שומן רב-בלתי רוויות שלהן רגישות גבוהה לחמצון. מזונות המכילים תוספת ויטמינים הינם בעלי רגישות גבוהה יותר לחום.

באחסון בצל ניתן לשמור מזונות אמנון מספר חודשים גם בתקופת הקיץ. לעומת זאת מזונות המאוחרסנים בתפזורת במיכלים חשופים לשמש לא מומלץ לאחסן

בתקופת הקיץ לפרקי זמן העולים על חודש ימים. שמירת המזון בתנאי קירור יכולה להאריך משמעותית את חיי המדף שלו. על פי רוב תאריך התפוגה של המזון הוא כחצי שנה לאחר יצורו. יש חשיבות רבה לשמירת המזון יבש ולהימנע מחשיפתו לרטיבות. במזון לח יתפתחו פטריות עובש העלולים ליצר רעלנים המזיקים לדגים (כגון אפלטוקסין היכול לגרום נזקים לכבד ובמקרים קיצוניים לגרום למוות). חשוב לנקות את מיכלי המזון מדי פעם כדי לסלק עובשים המתפתחים על דפנות מיכלי המזון.

משטר ההזנה:

המזון המוגש צריך להיאכל מהר ככל האפשר על ידי הדגים. שהות ממושכת של המזון במים בטרם נאכל גורמת לאיבוד מרכיבים תזונתיים מסיסים כמו סוכרים, חלבון, ויטמינים, מינרלים ועוד. בשהייה ממושכת במים בטמפרטורות גבוהות יחסית מתחילים תהליכי תסיסה ואיבוד נוסף של הערך התזונתי.

יש להזין את הדגים מספר פעמים ביום ולדאוג שהמזון יפוזר על שטח נרחב מספיק כדי לאפשר למקסימום דגים גישה בו-זמנית למזון ולמנוע מצב שבו פרטים דומיננטיים ישתלטו על איזור ההאכלה. גודל המנה בארוחה אינו אחיד. בדרך כלל, בארוחה ראשונה הדגים יצרכו כמות מזון גדולה יותר שכן במשך הלילה הם אינם אוכלים. דג האמנון מגיע לפעילות מרבית של מערכת העיכול - הפרשת אנזימים וחומצה כלורית - כשעתיים לאחר אור ראשון. יש להתאים את תחילת ההזנה לדפוס פעילות זה. רצוי לשמור את הדגים רעבים במקצת וזאת כדי להבטיח צריכה מלאה של המזון המוגש תוך פרק זמן קצר.

על מנת לעזור למגדל בקביעת מנת המזון הדרושה לדגים פותחו טבלאות הזנה המבוססות על מחקרים וניסיון ארוך שנים. טבלאות אלה לוקחות בחשבון את גודל הדגים הצרכים המשתנים בהתאם לטמפרטורה ותכולות המזון. דגים קטנים גדלים בקצב מהיר ביותר וזקוקים על כן לכמויות מזון גדולות יותר (עד 30% ממשקל גופם ליום) ולתכולה גבוהה יותר של חלבון לבניית רקמות גופם. דגים גדולים זקוקים לפחות מזון ותכולת החלבון בו יכולה להיות קטנה יותר. דגים הינם בעלי דם קר ולפיכך ככל שהטמפרטורה תהיה גבוהה יותר פעילות הדגים תגדל וכך גם צריכת המזון (ראה טבלה 1).

הזנה יעילה תביא לנצילות מזון או יחס היפוך מזון (= FCR Feed Conversion Ratio) טוב. יחס זה נקבע על פי משקל המזון הניתן לדג על מנת לייצר ק"ג דג. יחס זה עומד בדרך כלל בשלב הפיטום באמנונים על 1.2-1.8, כלומר ליצירת ק"ג אחד של דג נדרשים 1.2-1.8 ק"ג של מזון. שימוש במזון עשיר יותר בחלבון יביא ליחס משופר יותר ולנצילות מזון טובה יותר (ראה טבלה 2).

טמפרטורת המים		20-22°C	22-24°C	24-26°C	26-28°C	28-30°C
גודל הדג בגרמים	תכולת חלבון בק"ג מזון (גרם)					
10-25	400	2.62	3.15	3.79	4.52	5.37
25-50	400	1.83	2.20	2.64	3.15	3.74
50-75	370	1.54	1.86	2.23	2.67	3.16
75-100	370	1.33	1.60	1.92	2.29	2.72
100-150	350	1.22	1.47	1.76	2.10	2.49
150-200	350	1.06	1.28	1.52	1.81	2.14
200-300	350	0.95	1.14	1.35	1.60	1.88
300-400	320	0.87	1.04	1.25	1.48	1.75
400-500	300	0.82	0.99	1.19	1.42	1.68

טבלה 1: טבלת הזנה לאמנונים בגדלים שונים ובטמפרטורות גדילה שונות. מנת המזון ליום מבוטאת כאחוז מתוך הביומסה של הדגים.
[מקור: דו"ח של אינגריד לופטש שהוגש לאגף הדיג 2006]

גיל (ימים)	תקופת ההזנה (ימים)	משקל ממוצע (גרם)	תוספת משקל (גרם/יום)	קצב גדילה, SGR (% ביום)	שעור האכלה יומי (% מביומסה)	מזון לדג (גרם/דג/יום)	נצילות מזון מצטברת
1	1-10	0.5	0.27	18.68	30	0.2	
10	10-20	3.2	0.43	8.50	8.3	0.3	0.46
20	20-30	7.6	0.61	5.92	5.3	0.4	0.55
30	30-40	13.7	0.79	4.55	4.7	0.6	0.60
40	40-50	21.6	0.97	3.70	4.4	1.0	0.68
50	50-60	31.3	1.15	3.12	4.2	1.3	0.77
60	60-70	42.7	1.32	2.70	3.7	1.6	0.87
70	70-80	56.0	1.50	2.38	3.6	2.0	0.95
80	80-90	71.0	1.68	2.12	3.5	2.5	1.03
90	90-100	87.8	1.86	1.92	3.3	2.9	1.12
100	100-110	106.4	2.04	1.75	3.2	3.4	1.19
110	110-120	126.7	2.21	1.61	3.1	3.9	1.27
120	120-130	148.9	2.39	1.49	2.9	4.3	1.35
130	130-140	172.8	2.57	1.39	2.6	4.5	1.41
140	140-150	198.5	2.75	1.30	2.4	4.8	1.45
150	150-160	226.0	2.93	1.22	2.3	5.2	1.49
160	160-170	255.2	3.10	1.15	2.2	5.6	1.52
170	170-180	286.3	3.28	1.09	2.1	6.0	1.55
180	180-190	319.1	3.46	1.03	1.9	6.1	1.58
190	190-200	353.7	3.64	0.98	1.8	6.4	1.60
200	200-210	390.1	3.82	0.93	1.7	6.6	1.61
210	210-220	428.2	3.99	0.89	1.7	7.3	1.62
220	220-230	468.2	4.17	0.85	1.6	7.5	1.64
230	230-240	509.9	4.35	0.82	1.5	7.6	1.65
240	240-250	553.4	4.53	0.79	1.45	8.0	1.66
250		598.7					1.67

טבלה 2: טבלת גידול והזנה לאמנוני מכלוא. הוכנה ע"י נתן גור ונתן קינסבורסקי ז"ל.
מתואמת לפיטום בטמפרטורת מים של 27-29 מ"צ.
מנת המזון ליום מבוטאת כאחוז מתוך הביומסה של הדגים.



לקריאה נוספת:

- Beveridge MCM, Baird DJ (2000). Diet, feeding and digestive physiology. In: MCM Beveridge, BJ McAndrew (Eds.) *Tilapias: biology and exploitation*. Kluwer Academic Publishers, London, pp. 33-58.
- Cnaani A, Barki A, Slosman T, Scharcanski A, Milstein A, Harpaz S (2010). Dietary salt supplement increases the growth rate in freshwater cultured tilapia hybrids. *Aquacult. Res.*, 41:1545-1548.
- Hakim Y, Uni Z, Hulata G, Harpaz S (2006). Relationship between intestinal brush border enzymatic activity and growth rate in tilapias fed diets containing 30 or 48% protein. *Aquaculture*, 257:420-428.
- Harpaz S, Uni Z (1999). Activity of intestinal mucosal brush border membrane enzymes in relation to the feeding habits of three aquaculture fish species. *Comp. Biochem. Physiol. A*, 124:155-160.
- Harpaz S, Becker K, Blum R (1999). The effect of dietary L-carnitine supplementation on cold tolerance and growth of the ornamental cichlid fish *Pelvicachromis pulcher*. *J. Thermal Biol.*, 24:57-62.
- Milstein A, Peretz Y, Harpaz S (2008). Periphyton as food in organic tilapia culture: Comparison of periphyton growth on different substrates. *Isr. J. Aquacult. - Bamidgeh*, 60: 243-252.
- Milstein A, Peretz Y, Harpaz S (2009). Culture of organic tilapia to market size in periphyton-based ponds with reduced feed inputs. *Aquacult. Res.*, 40:55-59.

סקירה כללית על מחלת הכלבת

ד"ר בוריס יעקובסון

מנהל מעבדת הכלבת, מכון קמרון, השירותים הווטרינריים, משרד החקלאות

רקע כללי

מחלת הכלבת ידועה ונפוצה בכל חלקי העולם מאז שחר ההיסטוריה האנושית. במאה ה-13 התפרצו באירופה מגיפות כלבת בהיקף נרחב בקרב זאבים וכלבים. במאה ה-18 התפשטה המחלה ברוב חלקי אירופה ובשל עליית פופולאריות הכלבים כחיות מחמד הפכו אלו למאגר עיקרי של המחלה. מחלת הכלבת הקלאסית התפשטה בכל העולם ע"י העברת בע"ח נגועים באוניות משא.

המחלה היא חשוכת מרפא ונגרמת על ידי נגיף אשר פוגע בכל היונקים. על פי דיווח של ארגון הבריאות העולמי WHO, מדי שנה מתים כ-55,000 איש ממחלת הכלבת.

99.9% ממקרי ההדבקות בבני אדם נגרמים ע"י הזן הקלאסי של מחלת הכלבת. כיום מאופיינים 15 זנים נוספים אשר מקורם בעטלפים.

עם הופעת הסימנים הקליניים הראשונים בבני אדם או בבע"ח כבר לא ניתן להציל את החולה והמוות הינו ודאי ומוחלט. יחד עם זאת, ניתן למנוע את המחלה. בבני אדם ניתן למנוע אותה ע"י חיסון לאחר חשיפה לנגיף ובבעלי חיים ניתן למנוע אותה ע"י חיסון הניתן מבעוד מועד.

מחלת הכלבת קיימת בישראל ובמדינות השכנות ומדי שנה מטופלים במדינת ישראל מאות אנשים אשר ננשכו או נחשפו למגע עם בע"ח נגועים או החשודים כנגועים במחלת הכלבת.

דרכי העברת המחלה

מחלת הכלבת היא מחלה סופנית המופיעה במגוון צורות, ואין מקרה אחד דומה למשנהו. המחלה מועברת על ידי נשיכה כאשר הנגיף מצוי בבלוטות הרוק של החיה הנגועה. במקרים נדירים עשויה הכלבת לעבור ע"י התזת רוק מבעל חיים נגוע לפצעים פתוחים או ריריות עיניים, פה ואף. לאחר

מכן הנגיף נע באיטיות במערכת העצבים ועושה דרכו אל המוח. כאשר הוא מגיע למוח גורם הנגיף להופעת סימני מחלה ולמוות תוך ימים ספורים. מרגע ההדבקה ועד להתפרצות המחלה והופעת הסימנים הקליניים, עשויה לחלוף תקופה ממושכת, ממספר שבועות ועד למספר חודשים. בבני אדם תקופה זו ("תקופת הדגירה"), מנוצלת למתן סדרת זריקות חיסון המגינות מפני המשך התפתחותה של המחלה. מומלץ להתחיל בסדרת הבדיקות מיד לאחר החשיפה.

סימני המחלה

בימיה הראשונים של המחלה, חל שינוי התנהגותי בבעל החיים הנגוע. בעל חיים שהוא ידידותי בדרך כלל הופך לתוקפני, ולהיפך.

במהלך תקופת המחלה לוקים בע"ח נגועים בטירוף, נעים למרחקים, נושכים בדרכם חפצים דוממים, בעלי חיים אחרים ובני אדם. שיתוק שרירים הפוגע בבית הבליעה גורם לשינוי הקול ולהופעת ריר קצפי בפה. בחיות אלו ניכרת הרחבת אישונים.

בשלביה הסופיים של המחלה, החיות אינן מגיבות לגירויים ובהדרגה לוקות בשיתוק ובהמשך בהתכווצויות עד למותן. בעלי חיים המפתחים את הסימנים הקליניים של המחלה ימותו בתוך ארבעה עד עשרה ימים.

אין שוני מהותי בין הסימנים הקליניים במיני החיות השונים. חשוב לזכור כי חית-בר שאינה חוששת להתקרב לאדם או הופכת "ידידותית" חשודה מאד בכלבת.

מחלת הכלבת בישראל

מקורות המחלה

כל יונק עלול להידבק במחלת הכלבת, אולם באזורנו מאובחנים בדרך כלל שלושה סוגי בעלי חיים:

1. חיות בר, כגון: שועלים, תנים, זאבים, נמיות וגיריות
2. חיות בית, כגון: כלבים וחתולים.
3. חיות משק, כגון: פרות, צאן, חמורים וסוסים.

כלבת במכרסמים או בעטלפים נדירה ביותר, ועד עתה לא אובחנו מקרי כלבת בבע"ח כאלה בישראל. עד לשנות ה-60 היתה המחלה נפוצה בעיקר בקרב כלבים ותנים. עם התקנת תקנות הכלבת (חיסון) המחייב בחיסון שנתי, חלה ירידה משמעותית בשיעור הכלבים הנגועים. משנות ה-70 ועד לשנות ה-90 המאוחרות, היוו השועלים מאגר עיקרי להפצת נגיף הכלבת. עם הטמעת החיסון האוראלי בחיות הבר אשר יוסבר עליו בהמשך, כמעט ונעלמה המחלה בקרב השועלים.

בשנת 2005 חדר לישראל ואריאנט חדש מסוריה אשר עבר הסבה לכלבים. הנגיף במקורו הגיע מטורקיה. רוב המקרים התגלו בסמוך לגבולות הצפוניים והם לא התפשטו לעומק המדינה.

בשנת 2017 התגלה ואריאנט נוסף אשר חדר לישראל מירדן וגרם להתפרצות חריפה של המחלה בעמקים בקרב אוכלוסיית התנים. התפרצות זו התפשטה לעומק המדינה והשירותים הווטרינריים נקטו באמצעים רבים לבלימת ההתפשטות. נכון לחודש יוני 2018, ההתפשטות נבלמה.

מקרי הדבקות בבני אדם בישראל

בין השנים 1948-1957, מתו בישראל 23 בני אדם ממחלת הכלבת. בשנת 1958 החלו השירותים הווטרינריים במשרד החקלאות בפעולות מניעה, כגון: החלת חיסון חובה בכלבים ומניעת שוטטות בעלי-חיים. מאז פעולות המניעה ועד לשנת 1971 אירעו 4 מקרי הדבקה נוספים, שניים מהם בתחומי הקו הירוק, ושניים אחרים מיד לאחר מלחמת ששת הימים בשטחים.

במשך 25 שנים לאחר מכן לא התגלו מקרי כלבת בבני אדם. בשנים 1996-1997 עם התפשטות המחלה בקרב אוכלוסיית השועלים, נדבקו ומתו ממחלת הכלבת 3 בני אדם אשר לא קיבלו טיפול הולם בזמן - חייל ברמת הגולן, ילדה מקלנסווה וגבר מהכפר ג'דידה שליד עכו אשר ננשכו על ידי חיות לא מזוהות בעת שנתם בלילה. כל שלושת המקרים אובחנו כחיוביים בבדיקות שנעשו במעבדות המכון הווטרינרי בבית דגן.

בשנת 2003 נפטרה מכלבת אישה שננשכה על ידי חתול באזור ירוחם. אף במקרה זה לא ניתן טיפול מונע אחרי הנשיכה.

על פי נתוני משרד הבריאות, הוצאות הטיפול בבני אדם לאחר חשיפה עומדות על כ-16 מיליון ש"ח.

אבחון מחלת הכלבת במעבדת הכלבת של

מכון קמרון

אבחון הכלבת בישראל מתבצע במעבדת הכלבת

של מכון קמרון השירותים הווטרינריים במשרד החקלאות. זו המעבדה היחידה בישראל העוסקת באבחון המחלה בבע"ח ובבני אדם.

בשנת 2017 הוכרזה המעבדה כמעבדת יחוס בינלאומית המוכרת ע"י ה-OIE (ארגון למחלות מגפתיות בבעלי חיים). משמעות הסמכה זו היא שהמעבדה מוסמכת לתת שירותי מעבדה וייעוץ בנושא כלבת למדינות אחרות.

כל שיטות האבחון במעבדה מבוצעות בהתאם לתקן ISO 17025-אשר הוסמכו על ידי הרשות הישראלית הלאומית להסמכת מעבדות.

לצורך האבחון מתבצעות במעבדה הבדיקות הבאות:

בדיקה אימונופלורסצנטית לגילוי הנגיף. אשר תוצאותיה נמסרות בתוך 24 שעות מזמן מסירתה לבדיקה.

בדיקת PCR - בדיקה משלימה לבדיקה האימונופלורסצנטית, המאפשרת גם בדיקת דגימות במצב רקבון.

בידוד נגיף בתרביות תאים אשר נעשית בעת חשד לחשיפת בני אדם לנגיף.

בדיקה ביולוגית הנעשית ע"י הזרקת הנגיף למוחות עכברים. בדיקה זו נעשית במקרים נדירים אשר בהם לא מתאפשר בידוד באמצעות תרביות תאים.

בדיקה ביולוגית מולקולרית הנעשית לצורך זיהוי טיפוס הנגיף במקרה שבו מתגלה תוצאה חיובית באחת הבדיקות שלעיל.

בדיקות נוגדנים - בנוסף לאבחון הנגיף, מבצעת המעבדה אלפי בדיקות בשנה לגילוי נוגדני כלבת בכלבים המיועדים ליצוא וכן לבני אדם המצויים בסיכון תעסוקתי להדבקות במחלה.

פרסום מקרי גילוי כלבת בישראל

מקרי הכלבת מתפרסמים באתר משרד החקלאות בסמוך לאחר אבחון המקרה. פרסום המקרה כולל את תיאור האירוע, בעה"ח שנדבק, מקום המצאותו והאם באו אותו במגע בעלי חיים או בני אדם. כל המקרים מוצגים במפת ארץ ישראל לפי שנים.

משנת 2011 עד שנת 2016 התגלו כ-20 מקרי כלבת בשנה במוצע, כאשר מרבית המקרים התרכזו באזור הצפון. בשנת 2017, לאור התפרצות המחלה בתנים, אובחנו 74 מקרים בעיקר באזור העמקים וגם באזור הצפון בסמוך לגבול הלבנוני.

עד לחודש יוני בשנת 2018, התגלו 52 מקרי כלבת באזור העמקים. מקרים אלו הם המשך ישיר להתפרצות בשנת 2017.

הכרזת אזורי סיכון

מדי שנה מכריז מנהל השירותים הווטרינריים על אזורים המוגדרים כאזורי סיכון וזאת בהסתמך על מקרי האבחונים בשנה שחלפה.

דרכי מניעת התפשטות והדבקות מחלת

הכלבת בישראל

שיבוב וחיסון חיות מחמד

בהתאם לתקנות כלבת (חיסון) ותקנות להסדרת הפיקוח על הכלבים, התשס"ג - 2002, כלב מגיל 3 חודשים ומעלה חייב בחיסון שנתי נגד כלבת וסימון בשבב אלקטרוני.

על הרופא המחסן מוטלת חובת הדיווח על ביצוע החיסון לרופא הווטרינר הרשותי באזור שבו נמצא הכלב.

פיקוח על הכלבים

החוק להסדרת הפיקוח על הכלבים התשס"ג - 2002, מסדיר את אופן הפיקוח על הכלבים, כגון:

• מדי שנה חייב בעלי הכלב להוציא רישיון החזקה ברשות המקומית שבו הוא מתגורר.

• החוק מתיר יציאת כלבים מחוץ לבתיהם רק כאשר הם מובלים ברצועה.

• כלבים משוטטים נאספים ע"י פקחי הרשויות המקומיות. באם היסטוריית החיסונים של הכלבים אינה ידועה הם מוכנסים להסגר למשך 30 יום טרם העברתם לאימוץ. באזורי סיכון תקופת ההסגר הינה 60 יום.

הסגר ותצפית על כלב שנשך

במקרה של תקיפה או נשיכה של כלב מתבצע איתור וזיהוי של הכלב שנשך וכן של בעליו במידה ויש לו בעלים. אירוע נשיכה מדווח למשרד הבריאות או לרופא הווטרינר הרשותי והכלב הנושך מוכנס להסגר.

התצפית נועדה לקבוע אם הכלב שנשך, אמנם נגוע בכלבת. כלבים וחתולים מובאים למאורת בידוד לצורך הסתכלות, למשך 10 ימים מיום ההסגרה. במידה והכלב/חתול מראה סימנים קליניים של המחלה או מת במהלך עשרת הימים, מוחו נבדק בקפידה לאיתור הימצאות נגיף הכלבת.

חיסון אוראלי של חיות בר

בשנת 1998 הוקם המטה הלאומי למאבק בכלבת. המלצתו העיקרית של המטה הייתה להתחיל בפרויקט חיסון אוראלי (דרך הפה) של חיות בר כמקובל ברוב ארצות אירופה וצפון אמריקה.

מטרת הפרויקט הייתה והינה חיסון שועלים ותנים כנגד מחלת הכלבת, על ידי פיזור אווירי של פיתיונות המכילים תרכיבי חיסון אוראלי. פרויקט זה מיושם על ידי רשות הטבע והגנים (רט"ג) ביחד עם השירותים הווטרינריים של משרד החקלאות.

משנת 1998 ועד היום מתבצעים פיזורים מדי שנה. ברבות השנים התרחב שטח הפיזור בהדרגה וכיום הוא משתרע על פני כן 20,000 קמ"ר. שטח זה כולל את שטחי הרשות הפלשתינאית ויהודה ושומרון. הפיזור מתבצע באופן מוגבר לאורך גבולות המדינה,

מאחר ובמדינות השכנות לא קיימת פעילות מונעת כנגד התפשטות המחלה.

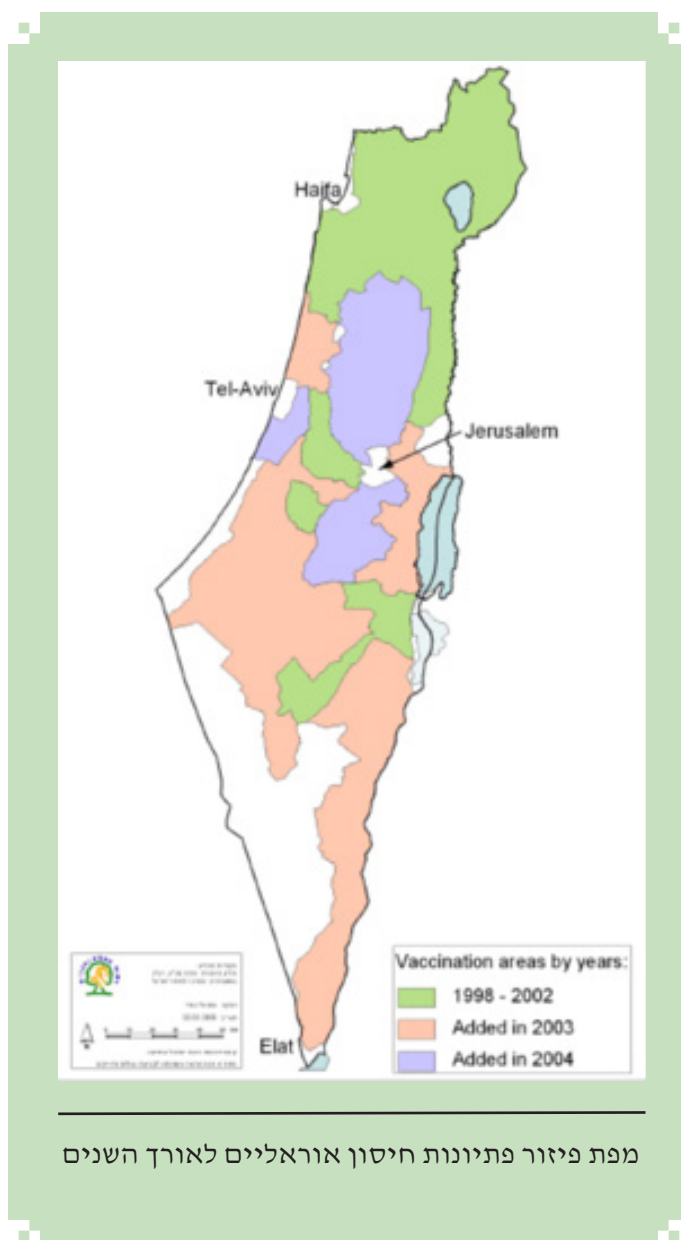
בנוסף לפיזור האווירי מתבצע מדי שנה פיזור קרקעי תוך נסיעה ברכב. פיזור זה נעשה בעיקר בשולי ישובים ובמקומות בהם קיימות מגבלות לפיזור מהאוויר ומתרכז בעיקר במקומות בהם נצפו שועלים ותנים. הפיזור מתבצע על ידי פקחי רט"ג ורופאים רשותיים.

לאחר כל סבב פיזור, מתבצעת פעילות ניטור שיעור בעה"ח שצרכו מן התרכיב שפוזר. הניטור מתבצע באמצעות בדיקת טטראציקלין בעצמות (אשר מוסף לפיתיון כסמן) ובדיקת נוגדנים בדם.

דרכי ההתמודדות עם התפרצות המחלה

בשנים 2017-2018

בשנים 2017-2018 התפרצה המחלה בהיקף אשר לא נצפה לפני כן וזאת בשל חדירה מאסיבית של המחלה מצד הגבול הירדני ובשל המצאותם של תנים צעירים רבים באזור זה.



ריבוי אוכלוסיית התנים נובעת בעיקר מהמצאותו של מזון זמין עבורם. התנים מוצאים את מזונם בפסולת החקלאית, עופות ובריכות הדגים באזורי העמקים.

ההתפרצות נבלמה לעת עתה וזאת הודות לאמצעים שונים אשר ננקטו ע"י משרד החקלאות והם:

1. פיזור כפול של פתיונות בצפיפות גבוהה יותר. עד כה פוזרו כ - 620,000 פתיונות עם תרכיב לחיסון אוראלי
- ב- 4 פיזורים אוויריים כוללים, פיזורים אוויריים נוספים סביב הישובים ופיזורים ידניים מהקרקע.
2. תגבור הרשויות מקומיות באזור הסיכון, ע"י אספקת תרכיבים ללא עלות לחיסון חתולים, בקר וכן מתן חיסוני דחף לכלבים באזור ההתפרצות.
3. בשל סכנת חדירה לעומק המדינה, חוסנו אלפי כלבים ע"י רופאים מחוזיים של השירותים הווטרינריים באזורי הדרום והצפון אשר בהם

שיעור החיסון הוא נמוך.

4. מענה מידי של יחידת הפיצו"ח והעלאת מודעות בקרב הציבור.
- לאחר בלימת ההתפרצות מתמקד משרד החקלאות באמצעים נוספים למניעת התפרצות חוזרת, כגון: חיסון אוכלוסיית התנים הצעירים במהלך קיץ 2018 וכן הפחתת התרבות התנים ע"י צמצום מקורות המזון (סניטציה).

חינוך והסברה

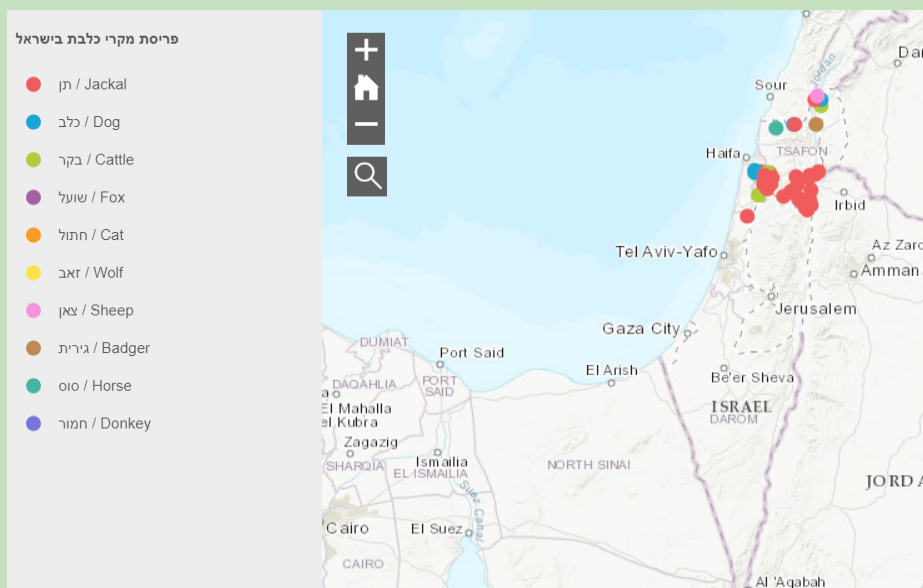
בשל הסיכון להדבקות בני אדם במחלה, משקיע משרד החקלאות בהסברה על המחלה ודרכי מניעת החשיפה אליה. ההסברה מתמקדת גם בבתי הספר בעברית ובערבית, וזאת בשל הסיכון המוגבר לחשיפת ילדים למחלה (מצורפים פוסטרים בעברית ובערבית אשר הוכנו במיוחד לילדי בתי ספר).



מפה דינמית להתפרסות מחלת הכלבת לשנת 2018



הגדרת אזור סיכון למחלת הכלבת 2017



גישה אקולוגית בביקורת ספרות: אדם ואדמתו בשתי יצירות של מאיר שלו

ד"ר אורנה מונדשיין

בעלת תואר דוקטור לספרות משווה מאוניברסיטת בר אילן.
מחברת הספר "ספרות הסנטורים" בהוצאת רסלינג

חוקר אקולוגי Commoner כתב כי החוק הראשון באקולוגיה הוא:
Everything is connected to everything else, דהיינו, ספרות אינה מרחפת בוואקום מעל למציאות המוכרת אלא משחקת תפקיד מרכזי במערכת הגלובלית בה ישנו קשר כל ינתק בין חומר, אנרגיה ורעיונות הגותיים.

חוקרי הספרות הפונים במחקרם לממדים האקולוגיים של היצירות הנחקרות אינם אחידים בגישתם הן ליצירה הנחקרת והן לסביבה. במילים אחרות, היוצר ער לעובדת היות הסביבה ישות הטרוגנית התלויה לא רק בתיאוריות אקולוגיות אלא בתרבות ובמנהגים מקומיים. דוגמא אחת מיני רבות היא תרבות הצייד; ישנן חברות בהן מסע צייד מהווה טקס חניכה חברתי ופסיכולוגי, חברות בהן הצייד הוא סמל למעמד חברתי גבוה ובחברות אחרות הוא צורך קיומי יומיומי.

Bate (2000) מעדיף את השימוש במונח Green Studies, מונח שלדעתו מקיף את כול התופעות האקולוגיות בסביבה ובעיות איתן חשוב להתמודד ולהציע דרכים לכך ולא להסתפק בתיאורן. לדעתו העתיד חשוב לא פחות מן הווה והדרך בה הביספרה תתמודד ותשתמר היא בעיניו המלחמה היחידה ששווה להילחם אותה, ולצורך מאבקים אלו ניתן לגייס את הספרות והאומנות. שאלה מרכזית בביקורת האקולוגית היא שאלת כוונת המספר, כלומר, מה קודם למה; האם המודעות האקולוגית של היוצר היא המכתיבה את תוכן היצירה ומכוונת את כול מרקם העלילה לכיוון הדידקטי-אקולוגי, או מודעותו האקולוגית של הקורא היא המפתח להבנת היצירה ולחשיפת הרבדים הנסתרים בהם המסרים האקולוגיים. לתיייה זו בעלת שני ממדים, לכאורה סותרים, אין תשובה אחת נחרצת, חד-משמעית. קיומם מאשש את רב-הגונית של הספרות לדורותיה. ממד היוצר מכוון את הקורא אל הספרות שנכתבה החל מן השליש השלישי של

בות נאמר ונכתב על הקשר בין אדם לאדמתו, קשר כל ינתק גם בזמן שהאדם נולד בעיר בנויה בטון וברזל ומבלה בה את כול חייו. הרי נאמר "מן העפר באת ואל העפר תשוב" ודי בדברים אלו כדי לאשש את הקשר בין אדם לאדמתו. כדי להסיר כול ספק ופקפוק השכילה הלשון העברית לכלול שלושה יסודות: דם, אדם, אדמה, וכמו בחידוני הפירמידה הלשונית, נבנית התפיסה היסודית של ההכלה; האדמה המכילה את האדם החי על פניה ואת דמו, שהוא החיים.

תחום חדש יחסית בחקר ספרות הפוסט מודרנית הוא Ecocriticism דהיינו בחינת היצירה הספרותית לאור מערכת היחסים הנבנית בין היצירה הספרותית לבין הסביבה הפיזית, מוחשית, בה מתרחשת העלילה. (Glotfelty 1996) מציינת כי בביקורת והמחקר האקוקריטיציסטי נשאלות השאלות הבאות: כיצד מוצג הטבע ביצירה, מהו התפקיד של הטבע והסביבה בבניית העלילה, האם הערכים המוצגים ביצירה תואמים את אופיו של הטבע, האם היצירה מסוגלת להשפיע על הקורא בנוגע ליחסו אל הטבע והסביבה, האם נוצר דיאלוג בין האדם לבין היצורים המאכלסים את הטבע ומה טיב דיאלוג זה, והאם ישנה הפרייה הדדית בין הטבע ובין דיסציפלינות נוספות כגון היסטוריה, פילוסופיה, אומנות, פסיכולוגיה וכו' (Cheryll Glotfelty & Harold Fromm, 1996).

שאלות אלו מהותיות וחשובות ביותר בתקופה זו בה הועלו על סדר היום העולמי סוגיות רבות הקשורות לאקולוגיה ולנזק העצום, על פי חוקרים רבים, שהאדם גרם לסביבתו. מבלי להיכנס לעומק הסוגיה, ומבלי לקבוע עמדה שיפוטית ניתן לקבוע באופן חד-משמעי שהאנושות למדה והפנימה את העובדה שהאדם חייב לשמור על איזון ביחסו לסביבה הקרובה והרחוקה.

המאה ה-20, תקופה בה המודעות האקולוגית החלה להתגבש. ממד הקורא מציב אתגר של "תרגום" יצירות, שנכתבו בעבר ובהן התייחסות מרכזית לטבע, לתפיסה האקולוגית של ימינו מתוך ידיעה כי תיאוריות אלו לא היו מוכרות ליוצרים הקדמונים.

(Williams 2000) מנתח יצירות מן הספרות האנגלית ממאות 18-19, שירים מאת וורדסוורת, קולרידג' וקלייר, וחושף בהם את היסודות האקולוגיים. לדוגמא; בשירי וורדסוורת ניתן למצוא את הביטחון המוחלט שיש לאדם בטבע והעובדה כי דרך ההתבוננות בטבע האדם למד כיצד לשפר את חייו ואת תכונותיו שלו. הטבע, כגן העדן של הילדות, מאיר את חיי הבוגר ומנתב את דרכו.

הספרות המודרנית והפוסט-מודרנית היא ברובה ספרות אורבנית. האורבניזציה, כתהליך היסטורי, סוציולוגי ואנתרופולוגי מהדהדת בספרות מזה מאות שנים, אך מקומה לא היה מרכזי ודומיננטי. באופן מכליל ביותר ניתן לומר כי החל מן המאה ה-19 העיר נתפסה כמקום מאיים, מפחיד, מסוכן ואנטיתזה לטבע השלו והרענן. מגמה זו נמצא הן בספרות הכללית והן בספרות העברית בהתאם למגמות החברתיות והפוליטיות הכלליות בארץ ובעולם. אומנם, הישוב היהודי בארץ-ישראל בראשית המאה ה-20 היה ברובו חקלאי, נוסדו נקודות ישוב רבות שיושביהן היו איכרים ויצירות ספרות רבות הוקדשו לנושא זה.

הערים המעטות בתחילת המאה ה-20 היו מאוכלסות ברובן על ידי יהודים דתיים כגון; ירושלים, צפת, טבריה. עם התגברות העלייה הישוב היהודי החל להתרחב והאוכלוסייה היהודית ייסדה ישובים עירוניים והדוגמא הבולטת ביותר היא יסודת תל-אביב ב-1909. מאז ועד ימינו אלה, שתי צורות הישוב, החקלאי והעירוני, מאכלסות יצירות ספרותיות רבות וכותביהן הביעו בדרכים אומנותיות מגוונות את ההבדלים המהותיים בין שתי צורות התיישבות אלו. ההבדלים הינם בדרך החיים, במטרות ויישומן ומעל לכול מאפייניו הייחודיים של האדם היושב בעיר למול הכפר.

בכמה מקומות ישוב, כולל ירושלים, מתגורר היום קרוב לטבע, באלוני אבא. היצירות ייבחנו לאור העיקרון המרכזי של הביקורת האקולוגית בה בראש הפירמידה הקיומית ניצב הטבע על מרכיביו השונים ומתחתיו האדם. כלומר, נבחן את היצירות דרך זווית ראייה אקונטרית שמקורה הקמאי בסיפור הבריאה. הטבע נברא קודם לאדם, החי, הצומח, צבאות השמיים, הים והיבשה. רק לאחר שנשלמה מלאכת הבריאה האקולוגית, הביוספירה, נברא האדם. תשובות רבות נמצאו לשאלה מדוע האדם נברא אחרון ורובן מתמקדות באמונה כי האדם, כנזר הבריאה, קיבל מן המוכן, עקב היותו בעל רוחניות ומוסר, את הבריאה בה יחיה את חייו. אין בכוונתנו להתמקד ולפרט את האספקטים האמוניים, שהקורא מכיר ומוקיר, אלא להוסיף נדבך נוסף, שאינו סותר כלל את הנדבך האמוני. האדם נברא לתוך ביוספירה קיימת ועליו לנהל את חייו בהרמוניה ובשילוב עם סביבתו מתוך ענווה והכרת מקומו במכלול הבריאה. הביקורת האקולוגית שמה דגש על אספקטים אלו ונבחן אותם ביצירות, שהוזכרו לעיל.

רומן רוסי

"רומן רוסי" הוא רומן על אדם ואדמתו. כדי לקרוא ולפענח את הרומן על פיעקרונות הביקורת האקולוגית, נבחן את מרכיבי העלילה ודמויותיה בהקשרם לסביבה, לנוף ולטבע. הדמויות המאכלסות את הרומן נעות בין היותן ריאליסטיות לבין אפיון כדמויות מיתיות, על-מציאותיות, דמויות שחייהן התנהלו על פי קודים בלתי כתובים הרשומים בכתב סתרים במחזוריות של הטבע, כתב הניתן לפיענוח רק על ידם. סבא מירקין, סבו של המספר, מראשוני המתיישבים, בנה בית מעץ וגם כאשר שאר אנשי הכפר עברו לבתי לבנים הוא נשאר בצריף מעץ באומרו: "בית של עץ נע וזע, מזיע ונושם. כול אדם שפוסע בו משמיע חריקה שונה" (שם, עמ' 9). משפט זה מדגים את תפיסת העולם של מירקין, ההתמזגות עם הטבע והערכת

תכונותיהם של היסודות

השונים המשרתים את האדם והאדם משרת אותם. אולם, תפיסת עולם זו מתערערת כאשר בכפר מסרבים לקבל את בנו אפרים ואז הוא מחליט להתנקם בכפר דרך הטבע. כלומר, בצוואתו הוא מבקש להיקבר במטע ולהפוך את המטע לבית קברות. "אתה תקבור אותי כאן... זה השטח שלי ושלך. אחר כך תקבור כאן את שולמית, ואפשר שיהיו אחרים שיבואו"



במאמר זה נתמקד בשתי יצירות מאת הסופר מאיר שלו, "רומן רוסי" ו"גינת בר". "רומן רוסי" פורסם ב-1988 ו"גינת בר" ב-2017. כ-30 שנים מפרידות בין שתי היצירות ומגמתן אחת; להציג את הקשר האיתן שבין אדם לאדמתו, את עולמו הפיזי והרוחני של מי שקבע את חייו בתיאום עם מחזורי חיי הטבע, האדמה. שלו, שנולד בנהלל, ונדד

רומן אקולוגי מובהק הוא "גינת בר". לכאורה, המספר משתף את הקורא בשלבים השונים של הקמת גינה בחצר ביתו שבעמק יזרעאל. התיאורים המפורטים של זני פרחים ועצים, כלי חקלאיים, עונות שתילה וזריעה, המזיקים השונים למול החרקים ודומיהם המועילים וכד', עלולים היו להפוך ספר זה למעין ספר הדרכה לגן חובב. נכון, גן חובב יכול למצוא עצות מועילות וחכמות, להתקנא בהצלחת המספר ולנסות ליישם דבריו בגינתו הפרטית. יתכן ויצליח ויתכן שלא, אולם, בוודאי אוצר המילים שלו יהפוך לעשיר יותר

כאשר ילמד את שמות הפרחים, השיחים והעצים, את ההבדלים בין כלים השונים ודרכי השימוש בהם. גם בכך דינו, אבל בכך נחמיץ אספקט ספרותי חשוב. הרי לפנינו יצירה ספרותית המבקשת להתפענח, המרמזת על רבדים סמויים, על משמעויות ספרותיות וחץ-ספרותיות. המפתח לכך, כפי שהוזכר לעיל, הפענוח האקולוגי.

(Love, 1990) במאמרו מחפש הגדרה חדשה למושג "פסטורלי", מושג שמתקשר לשלווה ורוגע בחיק הטבע. בקריאה ראשונה ב"גינת בר" הקורא חש באותה רוח של שלווה ורוגע שהטבע מעניק למחבר העובד בגינתו ומנסה לברוח מהבלי העולם הזה. אולם Love מבין כי העולם המודרני דורש הגדרה חדשה כיוון שהרוגע והשלווה נתונים בסכנה לאור שינויים קיצוניים שהעולם עובר מבחינה חברתית, כלכלית, תרבותית וכד'. הפסטורלי כבר לא מובן מאליו, התיעוש והעיור מאיימים על כול חלקת אדמה פורייה, סדרי העדיפות משתנים לאור הגידול באוכלוסייה והצרכים הכלכליים הגוברים. האדם מתנהג בדורסנות כיוון שזו המדיניות אותה רואה סביבו. לא בכדי פותח שלו את הרומן באפיזודה בה קבוצת אנשים החוגגים מסיבת חתונה והצלמים פולשים לגינת הבר כדי להנציח את היום המאושר בחייהם בתמונות שצולמו בטבע. המספר מתרעם על ההרס, אבל לאחר שהחבורה מסתלקת הוא אומר: "שבתי אל ביתי נפוח מגאווה. לא בכל יום זוכה גן חובב למחמאה כזאת- שחתן וכלה יבואו ממרחקים להצטלם בין פרחי גינתו הצנועה" (שם, עמ' 10). על פי Love ערכיה של המודרנה גברו על הפסטורלי, כלומר, המונחים הקלאסיים הספרותיים מתעדכנים לאור תופעות חברתיות ותרבותיות חדשות ומכילות בתוכן אספקטים שהיו זרים להן בעבר.



(שם, עמ' 270). לאחר שהסבא נקבר במטע, המטע כולו מת; העצים התייבשו, חרקים שונים שגשגו, ריחות רעים נדפו מן העצים והמספר, הנכד ברוך, שהבין כי האדמה לעולם לא תניב החליט להפוך את החלקה ל"בית עולם לחלוצים". בעבר, בימים הטובים בהם נראה כי ההרמוניה עם הטבע לעולם לא תופר נמצא את התיאור הבא: "באותה שנה פרח המטע של סבא בעוצמה מיוחדת. הוא ביקש מחיים מרגוליס שיציב כמה כוורות בין עצי הפרי... רוב שעות היום היה סבא מסתובב בין שורות העצים, שפריחתם וריחותיהם חושבו בדייקנות מחודש שבט לחודש ניסן, וחוזר שיכור ומתנודד

מניחוח הבלוב..." (שם, עמ' 112). מרגוליס הכוורן, עיסוק שהיום נקרא דבוראי, אמר: "אבל דבורים אינן רק דבש... ללא הדבורה לא נפריח את הארץ, בלי דבורים אין פירות, אין תלתן וירקות, אין מאומה..." (שם, עמ' 48).

במוסדות הכפר מתנגדים בתוקף להפיכת המטע המשגשג לבית קברות. ברוך שוכר עורך דין, שפירא, שאומר: "מרשימתפרנס, פשוטו כמשמעו מן האדמה... רואה עצמו עובד אדמה... הוא מפעיל כלים חקלאיים לצורך חפירה, שתילה, דישון והשקיה... גידוליו של מרשי הוכיחו את עצמם... דונם קברים מכניס יותר מכול גידול חקלאי אחר..." (שם, עמ' 277). אכן, כול חבריו של מירקין, אנשי העלייה השנייה נקברו בבית עלמין זה ולאחר שהאחרון הובא למנוחת עולמים נסגר בית הקברות. סביבו הטבע המשיך לפרוח, שדות ומטעים, כותנה, דגן ותיירס. המעגל האקולוגי נסגר כדי לפתוח מעגל אקולוגי אחר, מוות וחיים, חידלון וצמיחה מחליפים תפקידים ביצירה זו, כול יסוד בזמנו, מבלי להיות מופרע ומאויס על ידי יסוד אחר. "רומן רוסי" מאגד בתוכו נושאים רבים, יחסי אבות ובנים, יחסי הורים וילדים, נאמנות בין חברים, נאמנות לאדמה ולאתוס הציוני, בניית הארץ ועבודת האדמה. כול אחד ואחד מנושאים אלו מתקיים ומתפתח לאור כללי הכתיבה ה"טבעית". בכתיבה זו נמצא את האספקט האקולוגי כמסד ואבן יסוד. אנשי הכפר פועלים על פי כללים אלו, מבלי שתונח לרגלם משנה אקולוגית סדורה. הם מבינים בחושיהם ובכול ישותם את האיזון הנדרש בין האדם לסביבתו ומשכילים לנהל חייהם לאורו. התרבות, שנוצרה בחברה כפרית-חקלאית זו, יכלה להתגבש ולהתפתח רק לאור הכבוד שהפרט חש למול הטבע ומבין את מקומו במארג העדין של הבריאה.

צירוף המילים גינת בר יוצר פרדוקס, אוקסימורון המכיל בתוכו שני עולמות מנוגדים: הגינה מאפיינת את התרבות והציוויליזציה ואילו הבראת ההפך, את הפראי, הקמאי והטבעי. המספר, מתוך התכוונות ברורה, מקשר בין שני חלקי הפרדוקס ומכוון את הקורא להבין כי בעולמו, בעולמינו, יש מקום לשניהם. זו תפיסת עולמו של החוקר האקולוגי המנסה בכול מאודו לשמור על האיזון האקולוגי העדין של כדור הארץ תוך כדי יצירת בתי גידול, חממות ושאר אמצעים חדשניים בהם יובטח המשך קיומם של זנים הנתונים בסכנת הכחדה. שלו הולך באותו התלם ובגינתו נוצרת מעין ביוספרה המציגה את הפסטורלי הנתון בסכנה לא רק מפני הכחדה אלא מפני החידושים הטכנולוגיים של החקלאות המודרנית. "החקלאות הישראלית של היום שוב איננה בראש מעייני החברה והשלטונות, ובגידוליה החדשים ובשיטותיה המודרניות שוב אינה נאמנה לסדרים של לוח גזר. גידולים רבים גדלים ומבשילים בכול העונות... מי שקשוב לקולותיה של הגינה וער להשתנות גווניה וריחותיה... יודע גם את עונותיה" (שם, עמ' 82).

הקריאה בספר זה מעשירה את עולמו של הקורא לא רק ברזי הפרחים, העצים, השיחים ובעלי החיים השונים הפוקדים את הגינה, אלא גם במתכונים, עצות ואזכורים מן הספרות והיסטוריה. מיקרוקוסמוס המעיד על המקרוקוסמוס ויוצר דיאלוג חכם ומחכים בין האלמנטים השונים המאכלסים את עולמנו, את הטבע. הקרבה הבלתי אמצעית אל הטבע והכבוד שרוחש הגן גם אל אחרוני הזוחלים, הנמלים והחרקים, שחלקם מזיקים, הם התשתית עליה נבנה המסר האקולוגי.

דוגמא נפלאה נמצא בפרק בו המספר מתאר את מלחמתו בחולד, יצור חמקמק המרבה להסב נזקים בגינתו. המספר מנסה שיטות מגוונות להילחם בפולש המזיק עד שלבסוף שואל את עצמו את השאלה הבאה: "אז מי כאן בעל החיים המזיק? הוא או אני?" (שם, עמ' 50). מכאן והלאה המלחמה הופכת לסכסוך ושניהם חיים בהבנה זה ליד זה. האם ישנו מסר אקולוגי משמעותי יותר מזה? הקשר העמוק אל האדמה בא לידי ביטוי מוחשי על ידי המגע הבלתי אמצעי עמה. "ולפעמים, כשאני נעצר, עומד יחף על הקרקע ולא פוסע הלאה, אני מרגיש שהיא אוחזת בי בעדינות, מזכירה לי שגם אם בדרך כלל אני בסנדלים, אני ממנה ושלה." (שם, עמ' 179). וקטע נוסף, שאינו דורש פירוש על היחסים עם עץ האלה: "ומדי פעם, כשיותר מדי טוב לה אצלי, והיא מצמחת ענפים כלפי מטה ומפריעה לי לעבור תחתיה בקומה זקופה, אני מרשה לעצמי גיזום קל וידידותי שלה, ממש כמו שהיא מרשה לעצמה לשרוט את פדתי" (שם, עמ' 232).

סיכום

שתי היצירות שנדונו לעיל מדגימות את הגישה האקולוגית בביקורת הספרות, את הכלל, שהוזכר לעיל, הכול קשור בכול, ככלל האקולוגי המכוון. האדם חייב לחשוף את הקשרים הגלויים והסמויים הנטוויים בינו לבין עולם הטבע, הביוספרה, לדעת את מקומו במארג עדין זה ולשמרו. יצירות ספרות הינן אחת מן הדרכים להעצים מסרים אלו ולהעבירם דרך הכלים האומנותיים המגוונים. הקורא המפענח את היצירה על פי המודעות האקולוגית שלו, ייצא נשכר.

מקורות

שלו, מאיר, גינת בר, עם-עובד 2017

שלו, מאיר, רומן רוסי, עם עובד, 1988

Glottfely Cheryl & Fromm Harold, The Ecocriticism Reader, ed. Athens, Georgia, The University of Georgia Press, 1996
(Bate Jonathan The Green Studies Reader, ed. Laurence Coupe, Routledge, 2000) pp, 2-7
(Raymond Williams, The Green Language, in "The Green Studies Reader", 2000) pp, 50-58
Love, Glen. A, Revaluing Nature, in The Ecocriticism Reader 1990, pp. 225-240