

הקדמה



נושא האקולוגיה הוא נושא מרכזי בתוכנית הלימודים בביולוגיה, ובאמצעותו ניתן להשיג מטרות רבות שהודגשו בתוכנית הלימודים: הבנת רעיונות מרכזיים בביולוגיה, הבנת מהות המדע והקשר מדע-טכנולוגיה-חברה, טיפוח מודעות להיבטים ערכיים הקשורים למדע וחברה ולאחריות האדם בטבע, פיתוח כישורי למידה, חשיבה מדעית, מיומנויות חקר ועבודה בשדה.

החוברת אקולוגיה – הלכה למעשה מציגה לקט מאמרים באקולוגיה שעובדו במיוחד לתחרות האולימפיאדה לביולוגיה, וכן מאמרים נוספים ופעילויות בתחום האקולוגיה. המאמרים נוגעים כל מיני תחומים באקולוגיה, כמו הכרת בתי גידול למיניהם, הבנת יחסי גומלין בין האורגניזמים, התאמות והתערבות האדם בטבע. כל המאמרים מלווים בשאלות. חלק מהמאמרים תורגמו לשפה הערבית. בחוברת גם 30 צילומי טבע שצולמו על ידי תלמידים לתחרות הצילום "ביולוגיה מבעד לעדשה", שהתקיימה בשנה"ל תשס"ז לרגל עשור לאולימפיאדה לביולוגיה.

כל הפעילויות המוצעות בחוברת יכולות לשמש מורים ותלמידים כתמיכה בלימוד נושא האקולוגיה, כמקור מידע לעבודות אקולוגיות/עבודות בידע של תלמידים, וכתרגיל בקריאת מאמרים ופיתוח מיומנויות חקר וחשיבה.

תודה לרות אברהם, רכזת האולימפיאדה, ולמנחים לביולוגיה על ההשקעה והמסירות.

תודה מיוחדת על העזרה בהפקת החוברת לדבורה שפירא, לאורה הירש,
לשרה ורטהיימר ולעדנאן ג'באלי.

חוברת זו מוקדשת לזכרו של פרופ' צבי זקס, חבר, איש חינוך ומדען, שנפטר
ב־י"ט טבת תשס"ז (9.1.07). צבי תרם רבות להוראת הביולוגיה בארץ, ואנו
כואבים את לכתו מעמנו.

קריאה מהנה ומועילה!

רותי מנדלוביץ
מפמ"ר ביולוגיה

יחסי גומלין בין האורגניזמים והתאמות לבית הגידול



יחסי גומלין של הדדיות בין דגים לאלמוגים במפרץ אילת – מחקר ישראלי חדש¹



שוניות האלמוגים במפרץ אילת הן מהיפות בעולם. צוללים מכל העולם מגיעים אליהן כדי ליהנות מהנוף התת-מימי המדהים שמציע הים האדום (עוד כינוי לים סוף).

שוניות אלמוגים נחשבות לאחד מפלאי תבל, ולאחת המערכות האקולוגיות המורכבות והמגוונות ביותר מבחינת היצורים החיים המאכלסים אותן.

בים סוף טמפרטורת המים בקרבת השונית גבוהה יחסית לטמפרטורה בים התיכון, ואינה יורדת בחורף מתחת ל-18 מעלות. טמפרטורת המים בים סוף אינה משתנה בצורה ניכרת בין העונות השונות ובין היום והלילה. התנועה האנכית של המים מועטת, ולכן אין כמעט ערבול מים ואין גלים גבוהים כפי שמוכרים לנו בים התיכון. כך, תרכובות מזינות ששקעו לקרקעית אינן מועלות לשכבות העליונות. כתוצאה מכך, השכבות העליונות של מי הים עניות

1 מעובד על פי: Rotem Goldshmid, Roi Holzman, Daniel Weihs, Amatzia Genin, Aeration of Corals by sleep-swimming fish, *Limnol. Oceanogr.* 49(5), 2004, 1839, 2004-1832.

תקליטור לצלול בשונית אלמוגים. נעה אבועלפיה, אילנה בוכהולץ, משרד החינוך, האגף לתכניות הלימודים, צוות ביולוגיה.

בנוטריוניטים (חומרי דשן חיוניים כגון חנקן וזרחן), והמים בים סוף כחולים וצלולים.

המרכיב העיקרי של השונית הוא אלמוגים, בעלי חיים ממערכת הנבוביים. האלמוגים בנויים ממושבה של יצורים זעירים הנקראים פוליפים, והם חסרי יכולת תנועה. כל פוליפ הוא יחידת חיים עצמאית, וצורתו כצינור. במרבית האלמוגים בשונית מפריש הפוליפ חומר סידני קשה, המחבר בינו לבין שאר הפוליפים במושבה. השלד הסידני של האלמוגים הוא הבסיס להיווצרות השונית. גוף הפוליפ מורכב משתי שכבות תאים בלבד, וביניהן שכבת ריר. לפוליפ פתח אחד, שדרכו המים נכנסים ויוצאים. כמו כן, דרך פתח זה מופרשים חומרי פסולת ותאי רבייה. פתח הפה מוקף זרועות צורבות זעירות, בעזרתן צד הפוליפ את מזונו – פלנקטון (יצורים זעירים המרחפים במים ומוסעים על ידי הזרמים). בתוך תאי השכבה הפנימית של הפוליפ חיות אצות חד-תאיות המכונות זואוקסנטלות. ניתן למצוא אלפי תאי אצות בתוך מילימטר מעוקב אחד של גוף האלמוג. האצות מייצרות חומר אורגני המנוצל על ידי הפוליפ.

התנאי הבסיסי להתפתחות אלמוגים המכילים זואוקסנטלות הוא אור. האלמוגים גדלים אך ורק במקומות שבהם אור שמש חודר לתוך המים בכמות מספקת, ותפוצתם מוגבלת לעומק שאליו חודרת כמות של לפחות 1% מהאור הפוגע בפני המים (כ-30 מטר בקירוב).

האלמוגים והאצות החד-תאיות מקיימים ביניהם יחסי הדדיות, ובמהלך האבולוציה התפתחו התאמות באלמוגים ובאצות לחיי השיתוף. האצות איבדו את כושר התנועה, והפכו קבועות מקום. תאי האצות הגדלות באלמוג הם בעלי דופן דק, המקל על מעבר חומרים בין תאי האצה ובין האלמוג. קצב ההתרבות של האצות אטי, ונובע מכך שהן מעבירות חלק ניכר מן החומר האורגני המוטמע בהן לאלמוג.

האלמוג 'שיחן שכיח' הוא אחד ממיני האלמוגים השכיחים ביותר בבתי גידול למיניהם בשונית בצפון מפרץ אילת. גם השיחן מקיים יחסי הדדיות עם אצות חד־תאיות. כאשר משווים מושבות של שיחן שכיח המכיל אצות וגדל בתנאי אור, למושבות המכילות אצות וגדלות בצל, מוצאים כי צבעו של האלמוג הגדל בצל כהה יותר, וריכוז הכלורופיל בו גבוה יותר בהשוואה לאלמוג הגדל באור.

נוסף על יחסי ההדדיות בין האלמוגים לאצות, מתקיימים בתוך השונית יחסי גומלין מורכבים בין יצורים אחרים: הדדיות, טפילות, תחרות ויחסי טורף-נטרף.

כמה מינים של דגים קטנים, ביניהם אלמוגית השוליים, אלמוגית הפסים וכרומית ירקרקת, חיים בצמידות לאלמוגים באופן המעיד על קיומו של שיתוף פעולה ביניהם. לכל קבוצת דגים (2-20 פרטים) יש אלמוג משלה, שבקרבתו היא שוכנת במשך חודשים רבים, ואולי אף שנים. הדגים מוצאים בין ענפי האלמוג מזון ומסתור מטורפים, אך לא ברור מה התועלת שמפיק האלמוג מיחסי הגומלין. בתצפיות שנערכו בשנת 1995 נמצא כי קצב גידול של אלמוג, שבין זרועותיו מצויים דגים, מהיר יותר בהשוואה לאלמוג שחי בלי דגים. מכאן ניתן להסיק כי האלמוג מפיק תועלת כלשהי מיחסי הגומלין.

החוקרים שגילו את התופעה העלו שתי השערות:

- א. הדג 'מדושן' את סביבת האלמוג בהפרשותיו, ובכך מגביר את קצב התהליך של יצירת חומר אורגני על ידי האצות.
- ב. הדג מגן על האלמוג מטורפים. שתי ההשערות האלה לא נבחנו.

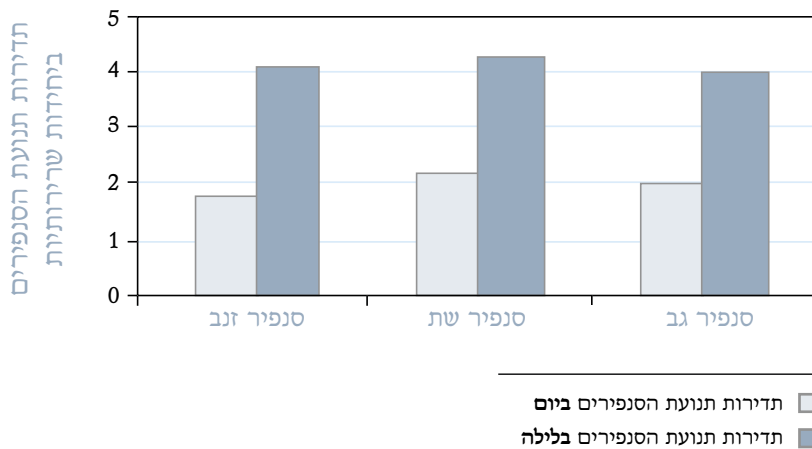
תצפית מקרית חדשה שנערכה במימי מפרץ אילת, הביאה לגילוי היבט חדש ביחסי הגומלין בין הדגים לאלמוגים. קבוצת חוקרים² הבחינה באחת מצלילות

2 חוקרים מהמכון הבין-אוניברסיטאי למדעי הים באילת בראשות פרופ' אמציה גנין מהאוניברסיטה העברית בירושלים.

הלילה שערכה בתופעה חריגה: הדגים, החיים דרך קבע סמוך לאלמוגים ושוהים בין ענפיהם במשך כל הלילה, התנהגו בצורה מוזרה. במקום לישון בלי תנועה, כפי שרוב דגי השונית נוהגים לעשות, הכו דגים אלה בסנפיריהם בחזקה. בתצפיות שנערכו בהמשך התברר שהדגים לא נחים לרגע, הם מכים בסנפירים בלי הפוגה במשך כל הלילה, עד שהם יוצאים מהאלמוג עם שחר. באיור מס' 1 מוצגות תוצאות ניסוי שבו נמדדה תדירות תנועת סנפירים בגוף של דגי אלמוגית השוליים הנמצאים בין ענפי האלמוג שיחן שכיח. בניסוי בדקו בנפרד את תנועתם של סנפיר הזנב, של סנפיר השת ושל סנפיר הגב. התוצאות מבוססות על ניתוח קטעים שצולמו במצלמות וידאו.

איור מס' 1:

תדירות תנועת הסנפירים של אלמוגית השוליים בין ענפי האלמוג שיחן שכיח



בצילומי וידיאו אפשר היה לראות שהדגים בקבוצה מחלקים ביניהם את שטח האלמוג לאזורים, כך שלכל דג יש אזור משלו וכל חלקי האלמוג נחשפים לתנועת הסנפירים. מרבית התנועה נעשית כשהדג נשאר קבוע במקום, וכך היא גורמת בעיקר להזזת המים ולא להזזת הדג.

השקעת מאמץ כה ניכר מצד הדג וקיומה של התופעה במינים שונים של דגים העידו על 'רווח אקולוגי' משמעותי לדג המנפנף, שבזכותו התפתחה התנהגות מוזרה זו במהלך האבולוציה. אך מהו רווח זה?

החוקרים העלו השערה:

ייתכן שהדגים מנפנפים בסנפיריהם כדי 'לאוורר' את האלמוג באמצעות הגברת שטף המים על פניו. נמצא כי האלמוג בולם בצורה ניכרת את זרם מי הים בתוכו – רוב המים נעים סביבו ולא נכנסים אל בין ענפיו. כאשר זרמי הים חלשים, המים בין זרועות האלמוג אינם מתחלפים וריכוז החמצן בין הזרועות יורד במהירות. ייתכן שהנפנופים המהירים בסנפירי הדגים גורמים לשחלוף יעיל בין המים העניים בחמצן שבין ענפי האלמוג ובין המים העשירים בחמצן שמחוץ לו, וכך יכולים הדגים להבטיח אספקת חמצן גבוהה לאלמוג ולעצמם.

לבדיקת ההשערה הציבו החוקרים אלמוגים במכלים עם מי ים, ומדדו את ריכוז החמצן בסביבתם. התוצאות הראו שבלילה, בלי הדגים, נוצרה עקת חמצן חריפה בין ענפי האלמוג. ריכוז החמצן במים שבסביבת האלמוג הגיע ל-30% מריכוזו בים הפתוח, אבל כשהכניסו למכלים את הדגים, הם נפנו בסנפירים ושמרו על ריכוז חמצן קבוע, שהגיע ל-80% ויותר מערכו במים שמחוץ לאלמוג.

ערבול המים על פני האלמוג מגביר גם אספקת חומרי הדשן לאצות ואת סילוק חומרי הפסולת והחול, ומגביר את הסיכוי למגע עם טרף. החוקרים הסיקו כי התנהגות זו של הדגים היא כנראה הסיבה שאלמוגים משגשים גם באזורים שבהם זרמי הים חלשים כמו באזור אילת.



1. שער: מהי התועלת לאצות מחיי השיתוף עם האלמוגים?
2. הצע הסבר לקשר בין צבע האלמוג הגדל בתנאי הארה שונים לבין ריכוז הכלורופיל בתאיו.
3. לניסוי שנערך במעבדה נלקחו מהשונית שתי קבוצות אלמוגים מהמין שיחן שכיח המכילים אצות: אלמוגים הגדלים באזור מואר בים ואלמוגים הגדלים באזור מוצל בים. בניסוי השוו את כמות החמצן הנפלטת, בתנאי הארה שונים, על ידי שיחן שכיח שגדל באור, לכמות הנפלטת על ידי שיחן שכיח שגדל בצל.

תוצאות הניסוי מוצגות בטבלה הבאה:

כמות החמצן הנפלטת/יחידת משקל/יחידת זמן (ביחידות שרירותיות)		
הארה חלקית	הארה מלאה	
9	12	שיחן הגדל בצל
6	9	שיחן הגדל באור

- א) ציין מהם התהליכים המתרחשים בגופם של השיחנים ומשפיעים על כמות החמצן הנפלטת מהם.
- ב) ציין שתי מסקנות מהשוואת שיעור פליטת החמצן בשתי קבוצות האלמוגים שנבדקו בניסוי.
- ג) נמצא כי שיעור יצירת חומר אורגני בשיחנים הגדלים בתנאי הארה שונים בשונית הוא דומה. האם תוצאות הניסוי תומכות בממצא זה? הסבר תשובתך.

4. (א) הסבר את תרומת ה'דישון' שמקורו בדגים להגברת קצב הפוטוסינתזה.
(ב) הדישון עשוי להשפיע על האלמוגים. הסבר כיצד.
(ג) מהי חשיבות הדישון דווקא בים סוף?
5. באיור מס' 1 מתואר ניסוי שבו נמדדה תדירות תנועתם של סנפירים במקומות שונים בגוף של אלמוגית השוליים.
(א) בניסוי יש שני משתנים בלתי תלויים. ציין אותם.
(ב) מדוע בחרו החוקרים להציג את התוצאות בעמודות ולא בעקומים?
(ג) מה ניתן להסיק מתוצאות הניסוי?
6. החוקרים שעררו כי חשיבות ה'אוורור' קשורה בהגדלת אספקת החמצן לאלמוג ולדגים השוהים בין ענפיו. הסבר מהי החשיבות האוורור דווקא בשעות הלילה.
7. בקטע מוצגים יחסי גומלין המתקיימים בשונית בין אלמוגים, בין דגים ובין אצות. בחר מערכת אחת של יחסי גומלין בין שני אורגניזמים מתוך השלושה. ציין את שמות האורגניזמים ותאר בקצרה מהי התועלת שכל אורגניזם מפיק מיחסי הגומלין.

הזמנה לחקר: מחקר אקולוגי בסתוונית ירושלים ובסתוונית היורה



מבוסס על: קשת, אלכס (1996). יחסי גומלין בין פרחי סתוונית ירושלים וסתוונית היורה למאבקהם בשוק האבקה הסתווי באזור ירושלים, עבודה לתואר דוקטור – האוניברסיטה העברית ירושלים.

הפעילות מומלצת לתלמידי כיתות י', י"א, י"ב וקשורה לנושאים אקולוגיה ורבייה בצמחים, ולתרגול מיומנויות חקר. זהו עיבוד של פעילות שנכתבה במסגרת סדנה לעיבוד מאמרים שנערכה ביחידה למדעים וטכנולוגיה שבמרכז הפדגוגי לעובדי הוראה בירושלים, בשיתוף התחום למדע וטכנולוגיה בעיריית ירושלים. הסדנה הונחתה על ידי נעה גרינברג-עפרת ורותי מנדלוביץ, והשתתפו בה: רחל אבט, שולה אמיתי, סיגלית גולן, עדה גורני, אלה הוכברג-פליג, רחל נחום, פנינה פורת, נעמי ריבשטיין.

1 על אופן הפעילות בעזרת הזמנה לחקר בעמ'..

חלק א'

סתונית ירושלים וסתונית היורה הם צמחים גיאופיטים השייכים למשפחת השושניים. פרח הסתונית מורכב משישה עלי כותרת, שישה אבקנים ושלושה עמודי עלי. האבקנים מחוברים בבסיסם לעלי הכותרת מצדם הפנימי, ועל ידי כך נוצרות 'כוסיות הצוף' – מקום הצטברות של הצוף המופרש. לפרחים מגוון צבעים, מלבן עד ורוד כהה.

הפרחים של הסתונית גדולים (2-6 ס"מ) ופתוחים לרווחה, עובדה המסייעת למשיכת מאביקים שונים הפועלים בעונת הפריחה. לסתונית פרחים זקופים (צעירים יותר) ופרחים שרועים (בוגרים יותר). מספר הפרחים הזקופים בממוצע לפרט גדול יותר באוכלוסיות של סתונית ירושלים מאשר באוכלוסיות של סתונית היורה. זמן הפריחה של סתונית ירושלים הוא סוף ספטמבר-תחילת נובמבר, ואילו סתונית היורה פורחת בתחילת נובמבר עד סוף דצמבר. תקופת הסתיו באזור הים התיכון מתאפיינת בכמות נמוכה יחסית של צמחים פורחים ובמספר קטן של מאביקים. הצוף בפרחים מופרש כאמצעי למשיכת מאביקים. הוא כולל בעיקר תמיסת מימית המכילה בעיקר סוכר ומעט חומצות אמינו וחומצות שומן.



1. צמחי סתונית ירושלים וסתונית היורה גדלים בבתי גידול דומים, ובסביבות אקולוגיות דומות.
 - א. ציין גורם שעליו מתחרים שני מיני הסתוניות.
 - ב. כיצד נמנעת תחרות בין-מינית זו?
2. האם צוף הפרחים יכול לשמש כמקור מזון יחיד לדבורים? נמק את תשובתך.

קצב הפרשת הצוף מושפע מהגורמים הבאים:

גיל הפרח, גודל הפרח, גודל הצמח, צפיפות הפרחים, מיקומו של הפרח והבדלים גנטיים בין הפרטים השונים באותו מין. גם גורמים א־ביוטיים, כגון: עונת הפריחה, שעת היום ובית הגידול יכולים להשפיע על יצירת הצוף ועל הפרשתו.

כמות הצוף המיוצרת ומופרשת בכל פרח אינה גדולה. דבר זה מעודד תנועת מאביקים בין פרחים שונים ומגדיל את סיכויי האבקה הזרה בתוך המין.

3. תנועת המאביקים יכולה להיות בין פרחים של אותו מין ובין פרחים של מינים שונים. מה החיסרון בדבר לגבי הסתונית?
 4. הצע הסבר לכך שכמות הצוף בכל אחד מהפרחים בסתונית היא בינונית. בתשובתך התייחס הן להשקעת אנרגיה ביצירת הצוף, הן למשיכת חרקים אל הפרחים.

חלק ב'

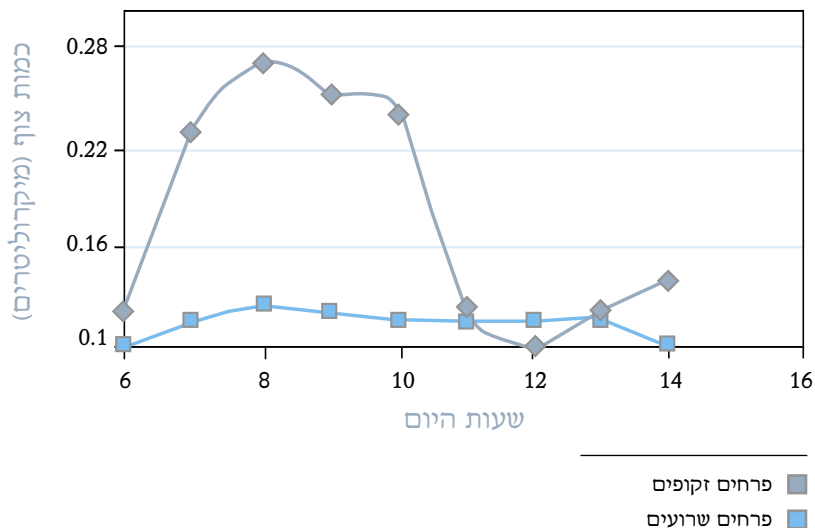
לפניך מחקר שבו נבדק הקשר בין ביקורי מאביקים לבין ייצור הצוף בסתונית ירושלים ובסתונית היורה. בשלב הראשון של המחקר נבדק הקשר בין 'עמדת הפרח' (זקוף ושרוע) לבין כמות הצוף המצויה בפרח ביחידת זמן. כמות הצוף מושפעת ממידת יצירתו של הצוף על ידי הצמח, ממידת צריכתו על ידי המאביקים ומתנאי מזג האוויר.

החוקרים מדדו את כמות הצוף ב-200 פרחים זקופים ופרחים שרועים של סתונית ירושלים ושל סתונית היורה. המדידות נעשו בין החודשים ספטמבר לנואר, בשישה אתרים שונים באזור ירושלים, וחושבה כמות הצוף הממוצעת וסטיית התקן.

השערת החוקרים הייתה, שפרחים זקופים ייצרו כמות רבה יותר של צוף ויימשכו מאביקים רבים יותר לעומת הפרחים השרועים. תוצאות הניסוי מוצגות בעקום 1 ו-2.

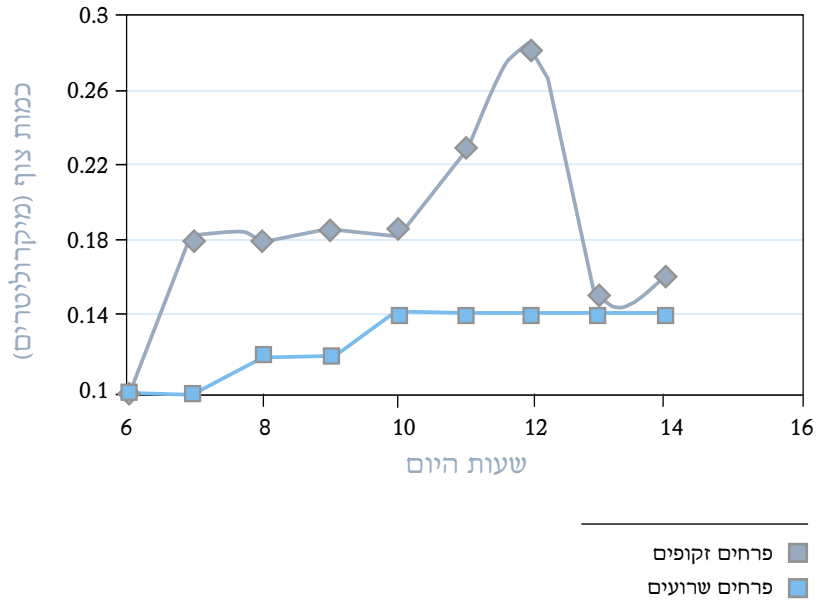
עקום 1:

כמות ממוצעת של צוף בסתונית ירושלים במשך היום



עקום 2:

כמות ממוצעת של צוף בסתוונית היורה במשך היום

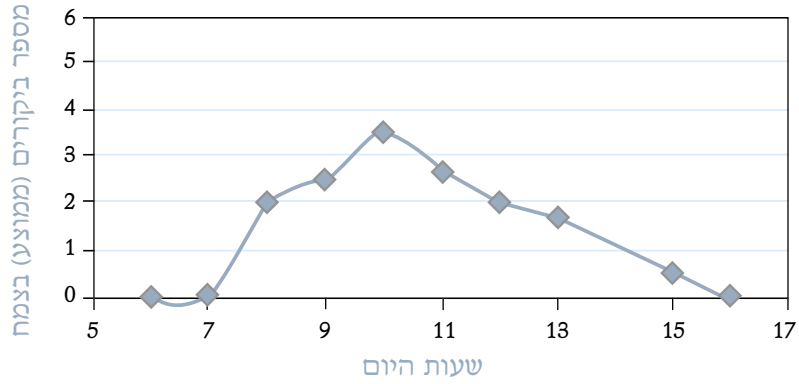


5. מה תוכל להסיק מתוצאות עקומים 1 ו-2?

בהמשך נבדקה שכיחות הביקורים של המאביקים במהלך היום בפרחי סתוונית ירושלים וסתוונית היורה. התוצאות מוצגות בעקומים 3 ו-4. הערכים המוצגים הם ממוצעים.

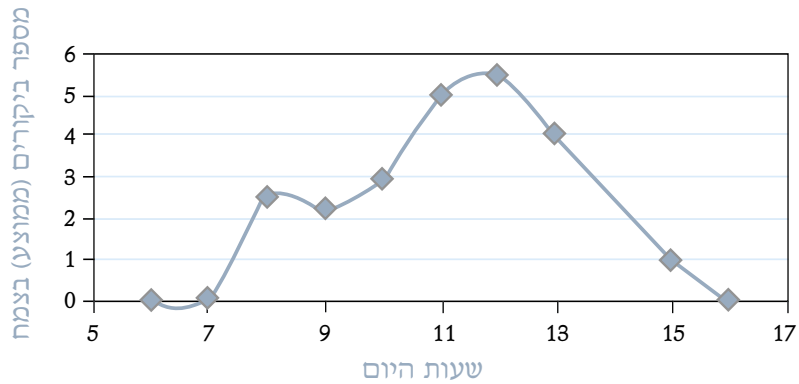
נקום 3:

ביקורי מאביקים בפרחי סתונית ירושלים במהלך היום
(ערכים ממוצעים)



נקום 4:

ביקורי מאביקים בפרחי סתונית היורה במהלך היום
(ערכים ממוצעים)





6. א. התבסס על התוצאות המוצגות בגרפים 1-4, וקבע האם קיים קשר בין שעות ביקורי המאביקים לבין כמות הצוף המצויה בפרחים.
ב. הצע הסבר לקשר בין כמויות הצוף לבין ביקורי המאביקים.
7. על פי התצפיות נמצא שפעילות המאביקים בפרחים הייתה מעטה כאשר הטמפרטורה ירדה מתחת ל-15 מעלות. הצע הסבר לכך.
8. במחקר זה תוארה תקשורת בין חרקים מאביקים לבין צמחי הסתונית.
א. מהו המסר המועבר על ידי הסתונית למאביקים?
ב. כיצד מועבר מסר זה?
ג. מהו היתרון לצמח ולחרק בקיום התקשורת?

משמעות שינויי צבע בפרחי נר הלילה החופי¹



מבוא

צבעי הפרחים ידועים כבעלי חשיבות במשיכת חרקים לפרחים. נוסף על הצבע, גם הגודל, צורת עלי הכותרת והריח הן תכונות הניתנות לזיהוי על ידי החרקים המבקרים את הפרחים.

החרקים אוספים מזון מן הפרח, גרגירי אבקה ו/או צוף. הצוף הוא אחד ממקורות המזון העיקריים לפחמימות ומשמש כמקור אנרגיה לכל החרקים המבקרים את הפרח, וגרגירי האבקה משמשים כמקור מזון עשיר בחלבונים. אגב ביקור החרק בפרח מתרחש לעתים תהליך ההאבקה (העברת גרגירי אבקה לצלקת). אחרי ההאבקה מתרחש בפרח תהליך ההפריה (התלכדות גמטה זכרית וגמטה נקבית), ובהמשך נובל הפרח וחלקים ממנו משתתפים ביצירת הפרי והזרעים. ההאבקה יכולה להיות עצמית או זרה.

האם לאחר שהתרחשה האבקה פרחים ממשיכים למשוך מאביקים?

במקרה זה המאביקים יבקרו בפרחים שכבר נלקחו מהם אבקה וצוף וכך תתבזבז אנרגיה מביקורם בפרחים בלי קבלת תגמול. ומבחינת הצמח – אם מאביקים יבקרו בכל הפרחים, כולל אלה שכבר הואבקו, הסיכוי להאבקה מוצלחת יפחת.

1 מעובד על פי עבודת מוסמך של ציפי לזר, 1985, בהדרכת פרופ' דן איזיקוביץ

במקרים רבים הפרחים מפסיקים למשוך מאביקים אחרי ההאבקה. במקרה זה המאביקים יבקרו רק בפרחים שעדיין לא הואבכו.

איך יכולה להתבטל יכולת המשיכה של הצמח אחרי האבקת הפרחים?

1. באמצעות שינוי צבע הפרחים.
2. באמצעות שינוי צורת עלי הכותרת.

תצפיות וניסויים שנערכו בצמח נר הלילה החופי ובחרקים המבקרים בו אפשרו למצוא תשובות לחלק מהשאלות שהועלו.

נר הלילה החופי הוא עשב רב-שנתי הנפוץ מאוד לאורך חוף הים התיכון בארץ. צמח זה בולט בפרחיו הצהובים-חלמוניים, הנפתחים בשעות הערב. מינים של רפרפים נמשכים אל הפרחים של נר הלילה החופי ומאביקים אותו (רפרפים – רפרפים המוצצים את הצוף מתוך הפרח תוך כדי רפרוף מעליו, מרביתם פעילים בשעות הערב והלילה). רפרפים מבקרים את הפרחים בשעות הערב, וכן דבורי דבש האוספות את האבקה.

תצפיות שנערכו בפרחי נר הלילה בטבע הראו שצבע הפרח וצורתו משתנים לאחר האבקה: הצבע משתנה מצהוב דרך כתום לכתום-אדום, ועלי הכותרת של הפרח הופכים מחלקים למקומטים. הרפרפים מחדירים את החדק על מנת למצוץ צוף, רק לפרחים צהובים פתוחים לרווחה וחלקים לגמרי, ואילו פרחים מקומטים, כתומים או אדומים, אינם זוכים כלל לביקורי רפרפים. כמו כן, נמצא כי פרחים, שלא ביקרו בהם חרקים, נשארו פתוחים במשך 36 שעות, ורק לאחר מכן החלו בתהליך של הזדקנות: תחילה התקמטו עלי הכותרת, בהמשך השתנה צבע עלי הכותרת לגוון כתום-אדום עד לנבילה מוחלטת של הפרחים.

מניחים שהתקשורת בין נר הלילה לרפרפים מקנה להם יתרון. הועלתה השאלה, האם קשר בין פעילות הרפרפים בתוך הפרחים לבין השתנות

צבע עלי הכותרת. כדי לברר שאלה זו ביצעו החוקרים כמה ניסויים בצמחי נר הלילה, שגודלו בתנאי חממה, כדי לחקות את פעילות הרפרפים בפרחים: שאיבת צוף, הידבקות גרגירי אבקה לחדק המציצה ונגיעה בצלקת (האבקה), וכדי לעמוד על השפעת כל שלב בפעולתו של המאביק על הפרח.

הניסוי

שיטות העבודה

1. אופן ההאבקה:

- (א) כדי לבצע **האבקה עצמית** נלקחו גרגירי אבקה מפרח אחד בעזרת מכחול, ופוזרו על צלקת של פרח אחר באותו הצמח, או התהליך נעשה בין צמחים שונים שמקורם באותו צמח אם.
- (ב) כדי לבצע **האבקה זרה** נלקחו גרגירי אבקה מפרחים ממקום שונה בארץ.
- כדי למנוע האבקה לא רצויה בחממה, כוסו הפרחים בשקיות בד־רשת.

2. קביעת צבע עלי הכותרת:

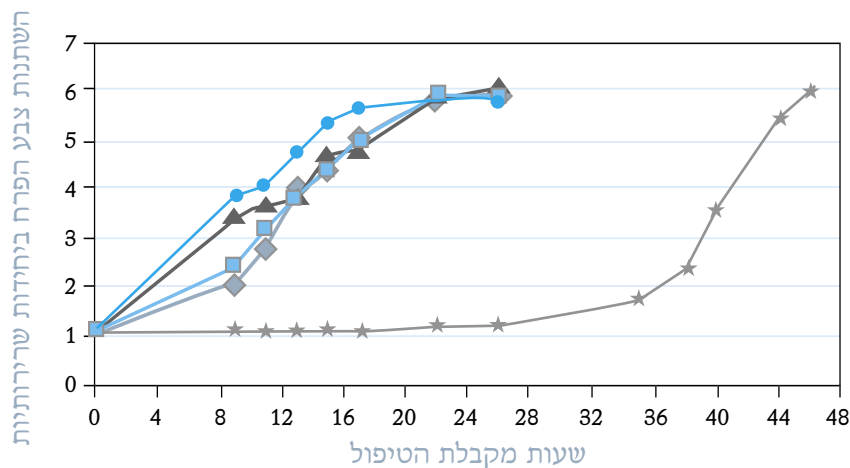
- הצבעים דורגו ומוספרו מ־1 עד 6 לפי קטלוג צבעים של חברת צבעים:
- (א) כולו צהוב;
- (ב) צהוב עם שוליים בצבע כתום בהיר;
- (ג) צהוב עם שוליים בצבע כתום;
- (ד) כתום בהיר;
- (ה) כתום;
- (ו) כתום־אדום.
- צבע עלי הכותרת הושווה ללוח הצבעים ונקבע לפי הדרגות הנ"ל.

תיאור הניסוי

הפרחים נקטפו בשדה בחודש ספטמבר בשעה 17:00 והועברו ל-5 כלים עם מים שעמדו על שולחן בחממה. בכל כלי 10 פרחים. בחדר המעבדה לא היו חרקים מאביקים.

בשעה 20:00, לאחר שהפרחים נפתחו, הם קיבלו את הטיפולים הבאים:

- קבוצה א': הפרחים הואבקו בהאבקה זרה;
- קבוצה ב': הפרחים הואבקו בהאבקה עצמית;
- קבוצה ג': מהפרחים נשאב הצוף בעזרת החדרת קפילרה – צינור נימי דק, בלי האבקה;
- קבוצה ד': מהפרחים נשאב הצוף כנ"ל וכן הפרחים הואבקו בהאבקה זרה;
- קבוצה ה': בלי טיפול.



מתוצאות הניסוי נראה כי אין הבדלים מובהקים בין קבוצות א', ב', ג', וד' מבחינת השתנות הצבע, אך נמצא הבדל מובהק ביניהן לבין קבוצה ה'.



1. (א) מהי הבקרה בניסוי זה? הסבר.
(ב) לאיזה מצב בטבע דומה קבוצת הבקרה? הסבר.
2. ציין יתרון אחד וחיסרון אחד של עריכת ניסוי בחממה בהשוואה לעריכת ניסוי בשטח.
3. הרפרף המבקר בפרח בדרך כלל אוסף צוף, מתלכלך באבקה ומאביק את הפרח. על פי תוצאות הניסוי, מהי השפעת פעולות אלה על הפרחים בקבוצות א'-ד' בהשוואה לקבוצה ה'?
4. (א) הסבר איזה יתרון מקנה שינוי צבע עלי הכותרת
 - לרפרפים
 - לנר הלילה.(ב) מהו סוג יחסי הגומלין בין נר הלילה ובין הרפרפים? נמק.
5. קיימים מיני צמחים שהפרחים שלהם פוריים (עושים זרעים) בהאבקה זרה בלבד, ואחרים פוריים בהאבקה זרה וגם בהאבקה עצמית.
(א) הסבר מהו היתרון למין בטבע המתרבה בהאבקה זרה בהשוואה להאבקה עצמית.
(ב) באילו תנאי סביבה עשוי להיות יתרון להאבקה עצמית? הסבר תשובתך.
6. על סמך תוצאות הניסוי (קבוצות א' ו-ב') האם ניתן לקבוע מהי דרך ההאבקה בנר הלילה (עצמית או זרה)? הסבר תשובתך.
7. הצוף בפרחים הוא תמיסת סוכר בעלת ריכוז מומסים גבוה מאוד ביחס לריכוז המומסים ברקמות הצמח.
(א) באיזה תהליך נוצרים הסוכרים המרכיבים את תמיסת הצוף?
(ב) הסבר מדוע סביר כי הפרשת הצוף לתוך צינור הפרח היא תהליך אקטיבי (פעיל) הצורך אנרגיה.

- ג) בניסוי אחר נמצא כי בפרחי נר הלילה, לאחר ההאבקה וההפריה, מתרחשת ספיגה חוזרת של צוף מצינור הפרח. הצוף המוחזר מתרכז בעיקר בשחלה ובניצן הראשי. הצע הסבר ליתרון הביולוגי של תהליך זה המתקיים בצמח, ולמקום שבו מתרכז הצוף המוחזר.
8. להלן רשומות כמה תכונות של נר הלילה. חלק מהתכונות קשורות להתאמת נר הלילה לתנאי בית גידולו בחוף הים, וחלקן קשורות להתאמת הצמח לשמש מודל נוח לבדיקת השאלות הקשורות למחקר זה.
- א) מיון את התכונות לשתי הקבוצות הנ"ל.
- ב) נמק בחירתך בקצרה לגבי שתי תכונות, אחת מכל קבוצה.
- ◆ לצמח פרחים בודדים וגדולים. צבע הפרחים צהוב בהיר.
 - ◆ צבע הפרחים משתנה לאחר ההאבקה.
 - ◆ עלי הצמח מכוסים שערות צפופות.
 - ◆ כל הפרחים נפתחים בערב, כמעט באותה השעה.
 - ◆ הצמח נמוך בדרך כלל, והענפים שרועים.

“משנה מקום משנה מזל” דרכים להקטנת תחרות תוך מיניית בזיקיות¹



מבוא

במאמר זה נסקור מחקר על זיקיות שנעשה בישראל, ובו נבדקו הבדלים בהתנהגותם של פרטים מקבוצות גיל שונות, המאכלסים אותו בית גידול.

הזיקית היא זוחל בעל צורת גוף מיוחדת ותכונות יוצאות דופן, ששימשו השראה בתרבויות שונות לאמונות תפלות רבות ולאגדות על אודותיו. יש הרואים בכושרה של הזיקית לצוד את הטרף בעזרת הלשון הנשלחת בחטף מפיה יכולת “לשלוח קללה”; אחרים רואים בהליכתה האטית סמל להליכת הזקנים וסימן לאריכות ימים. יש הטוענים שבשל כך הפכה הזיקית ליצור מוגן. המין המצוי בארץ הוא זיקית ים-תיכונית *Chamaeleo chamaelen*, והיא בעל חיים מוגן על פי חוק. משמעות החוק היא שחל איסור על איסוף פרטים, על החזקתם, או על הפרעה להם בבית גידולם הטבעי.

הזיקית היא בעל חיים יחידאי (=סוליטרי) ולכל פרט נחלה-טריטוריה משלו. הזיקית פעילה בשעות היום, מטפסת על עצים או שיחים במתינות ואורבת שם

1 עובד בעיקר על-פי: קרן ת' (2001). היבטים אונטוגנטיים של תחרות תוך מיניית על בית הגידול ועל מזון בזיקית הים-תיכונית, עבודה לקראת התואר מוסמך, אוניברסיטת תל-אביב.

לטרפה – חרקים למיניהם. הטורפים העיקריים המאיימים על הזיקית הם נחשים, חולדות ומינים אחדים של עופות. לזיקית כל מיני דרכי התגוננות: מחבוא מאחורי מחסה, שינוי צבע הגוף, התנתקות מהמצע ונפילה לקרקע, בריחה מהירה על הענף או על הקרקע, וכן השמעת קול נשיפה להפחדה המלווה בתנוחת איום הכוללת ניפוח ושיטוח הגוף, במקרים קיצוניים אף הרחבת הלוע ונשיכה. באירופה הזיקית אינה פעילה בחורף, אך בישראל הבוגרים פעילים גם בחורף, אם כי שיא הפעילות חלה בחודשים מאי-נובמבר.

הזיקית מגיעה לבגרות מינית תוך פחות משנה, ובכל שנה מקיימת מחזור רבייה אחד. החיזור וההזדווגות חלים בסוף הקיץ. בסתיו מוטלות הביצים המופרות במקום מוגן **בקרע לחה**. כעשרה חודשים לאחר ההטלה (במחצית השנייה של חודש אוגוסט) בוקעים הצאצאים מהביצים. הפרטים הבוגרים אינם דואגים לביצים ואינם מטפלים בצאצאים.

לזיקית יש התאמות מיוחדות לאורח חייה:

1. גופה צר ופחוס בצדדיו, ומאפשר מעבר בין ענפים ועלים צפופים. רגליה של הזיקית דקות וארוכות. אצבעות רגליה מאוחות לשתי חטיבות נפרדות, וכך הן משמשות כצבת האוחזת בחוזקה בענף. את האצבעות הלופתות את הענף מכסה עור מחוספס, שמחזק את האחיזה בענף. הזנב ארוך ויכול להיכרך סביב עצמו וסביב הענף, ולסייע במעבר הזיקית לענף אחר. תנועת הזיקית מקוטעת ואטית. דגם התנועה כולל הנעת הגוף קדימה ואחורה, כתנועת עלה ברוח. תנועה זו מקטינה את סכנת החשיפה שלה לטורפים-אויבים.
2. כל אחת מעיני הזיקית בולטת, עגולה ובעלת התאמה המאפשרת מיקוד. כל עין יכולה לנוע באופן עצמאי והודות לכך מושג שדה ראייה רחב. הפניית שתי העיניים קדימה מאפשרת ראייה בינוקולרית (תלת-ממדית). לזיקית, כמו לכל הזוחלים, אין אפרכסות אוזניים.

3. לשון הזיקית ארוכה, כאורך גופה וראשה. חלקה הקדמי של הלשון מעובה, קעור בקצהו ומכוסה ריר דביק המדביק את הטרף ללשון. חלקה האמצעי של הלשון מסוגל להתמתח ולהישלח לכיוון הטרף ואחר כך להתכווץ חזרה אל תוך הפה.
4. צבעה של הזיקית משתנה בהשפעת כמה גורמים, לדוגמה: תנאי ההארה, הטמפרטורה, מצב התזונה, צבע הרקע שבו היא נמצאת, 'מצב הרוח' שלה (פחד, כעס) ונוכחות זיקיות בסביבתה. עם זאת, ראוי לציין כי טווח הצבעים שבו חלים השינויים בצבע הגוף הוא מוגבל: צהבהב-ירוק, ירוק-אפור, אפור-חום עד שחור.
5. לזיקית ריאות המסתיימות בשקי אוויר, שהודות להם יכולה הזיקית לנפח את גופה במחווה של איום.
6. בחודשי החורף נצפו בזיקית כמה התנהגויות המשפיעות על טמפרטורת הגוף, לדוגמה: הגדלת שטח פני הגוף החשוף לשמש, שינוי צבע הגוף או הצמדת הגוף למשטח בסביבה הפולט קרינה.

ביצוע המחקר

בתצפיות שנעשו בהתנהגות של זיקיות בבית גידולן, נראו הבדלים בפיזור של פרטים צעירים ושל פרטים בוגרים בבית הגידול. בהתבססם על התצפיות, ביקשו החוקרים ללמוד על התחרות התוך-מינית באוכלוסיית הזיקיות.

במחקר נבדקו השאלות האלה:

1. האם יש הבדל בתפריט של פרטים צעירים ובוגרים?
 2. מהו מיקום פרטים צעירים ובוגרים בעת השיחור לטרף², בתנאים טבעיים (בנוכחות מתחרים) ובתנאי בידוד (בלי מתחרים)?
 - (א) מיקום הפרטים בשמש או בצל.
 - (ב) מיקום הפרטים על ענפים בגבהים שונים.
 3. האם דגם השיחור לטרף אופייני לקבוצות הגיל השונות?
- 2 במאמר זה המושג 'שיחור לטרף' פירושו איסוף מזון מהחי ומהצומח, ובאנגלית: foraging.

תנאי ביצוע המחקר והשיטות:

המחקר נעשה בשנים 1999-2000, בחוף הכרמל, בין צומת פוריידים לחיפה, בקטע שאורכו כ-14 ק"מ ורוחבו כ-2 ק"מ. האזור מתאפיין בצמחיית חורש ים-תיכוני ובה עצים, שיחים וצמחים עשבוניים. בבית הגידול יש שפע של מזון מן הצומח ומן החי, הודות לכמות הרבה של הצמחים הפורחים ומניבים פירות בעונות שונות במשך השנה. אקלים האזור הוא חם יחסית, והודות לכך מתבצעת בו פעילות של זיקיות במשך תקופה ארוכה בשנה. איתור הפרטים ולכידתם לצורך מדידה, סימון וניסויים נעשה בלילה. התצפיות והניסויים נערכו בשעות הבוקר ובמהלכן נבדקו כ-120 פרטים בוגרים וצעירים שמאפייניהם מוצגים בטבלה מס' 1.

טבלה מס' 1:

מאפייני הזיקיות שנבדקו במחקר

קבוצת גיל	מספר פרטים	משקל בגרמים	טווח הגילים בכל קבוצה	פיזור הפרטים על הצמחייה בשטח המחקר
צעירים	67	1.9-0.6	ימים ספורים - עד 3 חודשים	רובם על צמחים עשבוניים חלקם על צמחים מעוצים
בוגרים	53	76.5-13.3	9 חודשים ויותר	כולם על צמחים מעוצים

בתצפיות המתוארות להלן נבדקו פרטים בוגרים ופרטים צעירים בתנאים טבעיים, כלומר בנוכחות פרטים העשויים להיות מתחרים. הניסויים המתוארים להלן בוצעו בתנאי בידוד, כלומר נבדק פרט יחיד בלי נוכחות מתחרים. הבידוד הושג באמצעות הפרדת שטח על ידי רצועת פוליגל שגובהה חצי מטר, שהייתה נעוצה באדמה ותחמה שטח של כשבעה מ"ר. בשטח התחום שני פרטים של אשחר רחב עלים - עץ ושיח - וביניהם עשבים יבשים.

שאלות מחקר, תצפיות, ניסויים ותוצאות:

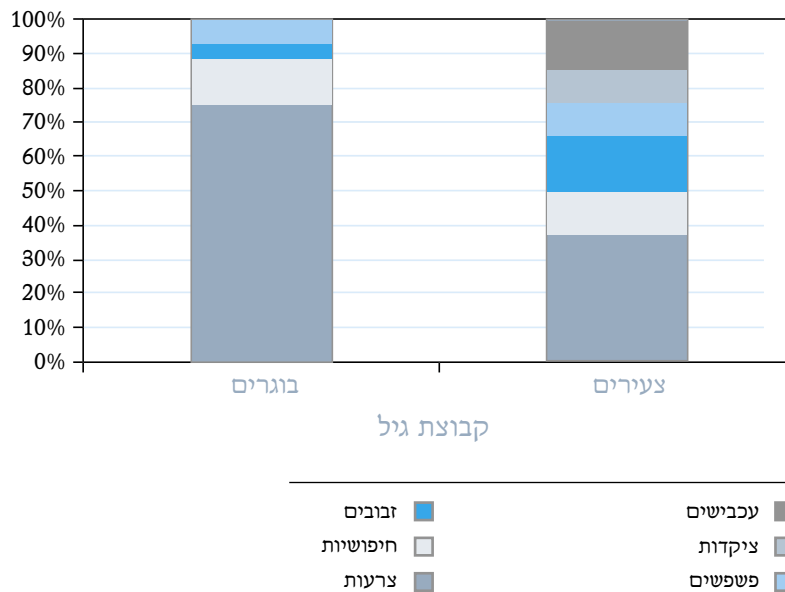
1. האם יש הבדל בתפריט של פרטים צעירים ובוגרים?

התפריט נבדק על ידי תצפיות ישירות במהלך טריפה, באמצעות בדיקת תכולת גללים של פרטים צעירים ובוגרים, וכן באמצעות בדיקת התכולה של קיבותיהם של פרטים בוגרים שנדרסו ומתו.

איור מס' 1:

מרכיבי המזון מן החי של פרטים בוגרים וצעירים כפי שנבדקו בהרכב הגללים

מספר פרטים בוגרים – 35, מספר פרטים צעירים – 25



עוד נמצא שפרטים בוגרים של זיקיות ניזונים גם מזרעים ואילו פרטים צעירים ניזונים רק ממזון מן החי. המידע באיור מצביע על הבדל בהרכב המזון של פרטים צעירים ובוגרים.

2. מהו מיקום פרטים צעירים ובוגרים בעת השיחור לטרף, בתנאים טבעיים (בנוכחות מתחרים) ובתנאי בידוד (ללא מתחרים)?

(א) **מיקום הפרטים בשמש או בצל**

בתצפית נבדקה נוכחות פרטים צעירים ובוגרים בצל ובשמש, בשעות הבוקר המוקדמות, בתנאים טבעיים ובניסויים – בתנאי בידוד (טבלה מס' 2).

טבלה מס' 2:

שיעור (באחוזים) הפרטים הצעירים והבוגרים המשחרים לטרף בצל לעומת המשחרים לטרף בשמש ישירה, בתנאים טבעיים ובתנאי בידוד

מספר פרטים בתנאים טבעיים: בוגרים 64, צעירים 19

מספר פרטים בתנאי בידוד: בוגרים 94, צעירים 59

בתנאי בידוד		בתנאים טבעיים		התנאים הקבוצה
שמש	צל	שמש	צל	
53%	47%	55%	45%	בוגרים
63%	37%	26%	74%	צעירים

(ב) **מיקום הפרטים על ענפים בגבהים שונים**

בתצפיות נבדק הגובה של הענפים שעליהם נוהגים פרטים צעירים ובוגרים לשחר לטרף בתנאים טבעיים, ובניסויים – בתנאי בידוד (טבלה מס' 3)

טבלה מס' 3:

ממוצע גובה הענפים שעליהם נמצאו פרטים צעירים ובוגרים בעת שיחור לטרף בתנאים טבעיים ובתנאי בידוד

מספר פרטים בתנאים טבעיים: בוגרים 20, צעירים 16

מספר פרטים בתנאי בידוד: בוגרים 15, צעירים 15

הגובה הממוצע של הענף (בס"מ) שעליו נצפתה הזיקית בעת שיחור לטרף		התנאים	הקבוצה
תנאי בידוד	תנאים טבעיים		
102	57		צעירים
198	201		בוגרים

בתצפיות נוספות נמצא קשר ישיר בין גובה הצמח ובין גובה השיחור לטרף בתנאים טבעיים, כאשר בוגרים מצויים בעיקר בצמרת ואילו הצעירים ב- $3/4$ הגובה.

3. האם דגם השיחור לטרף אופייני לקבוצות הגיל השונות?

בעת השיחור לטרף מתקדמת הזיקית תוך תנועות קדימה ואחורה כפי שכבר צוין. במהלך התנועה מבצעת הזיקית עצירות לפסקי זמן ארוכים או קצרים, ובזמן זה מתבצעת שליפת הלשון. בתצפית על התנהגות הפרטים בזמן שיחור לטרף נבדקו:

(א) מספר התנועות של כל הגוף בחמש דקות.

(ב) משך הזמן הממוצע, מתוך חמש דקות, שבו נמצאת הזיקית בתנועה. התצפיות בוצעו בטבע ובכל אחת נבדק פרט יחיד. בסך הכול נצפו 16 פרטים צעירים ו-21 פרטים בוגרים.

טבלה מס' 4:

מספר תנועות הגוף בחמש דקות בעת השיחור לטרף, והזמן מתוך חמש דקות שבו נמצאת הזיקית בתנועה (כל הערכים הם ממוצעים)

מספר התנועות הממוצע בחמש דקות	משך הזמן הממוצע מתוך 5 דקות בו נמצאת הזיקית בתנועה	הפרטים
4	2 דקות וחצי	צעירים
2	0.7 דקות	בוגרים

ממצאים נוספים:

במהלך המחקר נתקבלו עדויות שפיזור הצעירים לא היה אקראי ביחס למיקום הבוגרים. הייתה העדפה בולטת להימצאות הצעירים באתר המרוחק ביותר מהבוגרים. באחת התצפיות על שיחור זיקיות לטרף, נראתה שליפת לשון של זיקית בוגרת לכיוונה של זיקית צעירה וזו נלכדה ונאכלה באקט קניבלי.

תצפיות רבות על התנהגות פרטים צעירים בנוכחות בוגר הראו את דפוסי ההתנהגויות האלה:

1. הצעירים נמצאו בשכיחות גבוהה בעמדות על הענף שבהן הם מוסתרים מהבוגרים.
2. הצעירים 'קופאים' במקומם למשך עשרות דקות.
3. חלק מהצעירים 'מפילים' את עצמם מהענף ומתרחקים מהשטח במהירות.
4. כל הצעירים מפסיקים לשחר לטרף.

סיכום

את ממצאי המחקר אפשר להסביר בדרך הבאה: הבדלי ההתנהגות בין הצעירים לבוגרים משמעותה הקטנת התחרות התוך-מינית באוכלוסיית הזיקיות, והיא מתבטאת במיקום שונה של פרטים צעירים ובוגרים בעת השיחור לטרף: בצמחייה הנבחרת, בגובה הענפים ובמרחק המרבי האפשרי בין צעירים לבין בוגרים, כששתי הקבוצות נמצאות באותה הסביבה. סביר שההתנהגויות האלה מקטינות את התחרות על המזון, ומקטינות את הסכנה שצעירים ייטרפו על ידי הבוגרים.

הקטנת התחרות מושגת גם על ידי תפריט שונה לבוגרים ולצעירים. בדיקת אתרי השיחור לטרף מראה כי קיימת הפרדה במרחב, והבוגרים מאכלסים את האזורים המועדפים שבהם יש סיכוי רב יותר למצוא מזון.

מתצפית בהתנהגות פרטים צעירים נמצא כי הם מגיבים לנוכחות פרטים בוגרים באופן דומה לתגובתם כלפי טורף. אפשר שתגובה זו קשורה לאירועים נדירים שבהם נצפתה התופעה של קניבליזם: פרט בוגר טורף פרט צעיר.



1. א. מהו השינוי הצפוי בצבע גופה של הזיקית – בנוכחות טורף – בסביבה בה הטמפרטורה נמוכה?
ב. מהו היתרון בשינוי הצבע בהשפעת כל אחד מהגורמים שהוזכרו בסעיף א?
2. א. השווה בין פיזור פרטים בוגרים בצל ובשמש בתנאים טבעיים לבין פיזורם בצל ובשמש בתנאי בידוד.
ב. השווה בין פיזור פרטים צעירים בצל ובשמש בתנאים טבעיים לבין פיזורם בצל ובשמש בתנאי בידוד.
ג. הצע הסבר אפשרי להבדל בין פיזור פרטים צעירים בצל ובשמש בתנאים טבעיים ובתנאי בידוד.
3. א. השווה בין הגובה הממוצע של הענף עליו נצפו פרטים בוגרים ופרטים צעירים בתנאים טבעיים לבין הגובה הממוצע עליו נצפו בתנאי בידוד.
ב. בחלקו העליון של הצמח נמצאים רוב הפרחים והפירות. ציין שני יתרונות אפשריים לזיקיות, משיחור לטרף בחלק זה של הצמח.
ג. הצע הסבר אפשרי למקום הימצאותם של פרטים צעירים בתנאים טבעיים.
4. יש טוענים כי פרט צעיר מתייחס אל פרט בוגר כאל טורף פוטנציאלי. בסס את הטענה על פי מידע במאמר.
5. בבעלי חיים טורפים מוכרות כמה אסטרטגיות לשיחור לטרף
 - ◆ **אסטרטגיה פעילה** – הפרט המשחרר למזון מתקדם בשטח ומחפש את טרפו.
 - ◆ **אסטרטגיה המארב** – הפרט נמצא במסתור ללא תנועה וצד טרף העובר בסביבתו.
 - ◆ **אסטרטגיה ביניים** – הטורף מחפש את טרפו תוך כדי תנועה כאשר במהלכה הוא מבצע עצירות לפרקי זמן קצרים או ארוכים.

- התבסס על המידע שבטבלה 4 וקבע מהי אסטרטגית השיחור לטרף של פרטים צעירים ושל פרטים בוגרים.
6. "גומחה אקולוגית היא המרחב הרב-ממדי שבו מתקיים אורגניזם. המרחב מוגדר על פי התנאים, המשאבים, זמני הפעילות ויחסי הגומלין שהאורגניזם מקיים עם סביבתו" (מתוך: פרקים באקולוגיה, מאת ר. אמיר)
- א. ציין ממד אחד של הגומחות האקולוגיות של הזיקיות שבו נמצא הבדל בין הזיקיות הבוגרות לבין הצעירות.
- ציין ממד נוסף שבו אין הבדל בין הזיקיות הצעירות לבין הבוגרות?
- ב. הסבר כיצד משפיעה מידת השוני שבין הגומחות האקולוגיות של הצעירים והבוגרים על התחרות התוך מינית?

מקורות נוספים

ארבל א' (עורך) כרך 5 'זוחלים ודו-חיים' בתוך: אלון ע' (עורך) (1984) 'החי והצומח של א"י', אנצ' שימושית מאוירת. משרד הביטחון ההוצאה לאור, החברה להגנת הטבע, עמ' 79-81.

מרגולין י' (1969) זואולוגיה בעלי חוליות, הוצאת הקיבוץ המאוחד, 205-204.

עמידות קוצנים לטמפרטורות נמוכות¹

הקוצן הזהוב הוא יונק קטן השייך לסדרת המכרסמים, וחי באזורים מדבריים. בעבודה שנעשתה על ידי חוקרים מהאוניברסיטה העברית בירושלים, הושוו שתי אוכלוסיות של קוצנים זהובים: אוכלוסייה אחת מעין גדי ואוכלוסייה שנייה ממרומי הר משה שבדרום סיני.

בין הפרטים משתי אוכלוסיות אלה קיים בידוד גיאוגרפי, ובתי הגידול נבדלים זה מזה בתנאי האקלים. האקלים בהר משה קר יותר מהאקלים של אזור עין גדי. מתצפיות שטח נלמד כי בסביבות ים המלח לא נראתה פעילות קוצנים זהובים בטמפרטורות מתחת ל- 20°C . לעומת זאת, במרומי הר משה נראתה פעילות קוצנים גם בימות החורף, כאשר ההר מכוסה בשלג והטמפרטורה מגיעה ל- 0°C .

החוקרים ערכו השוואה בין פרטים משתי אוכלוסיות אלה, בנוגע לעמידות לקור. להלן מתוארים שלושה ניסויים שערכו החוקרים.

1 הופיע כקטע מחקר בבחינת הבגרות תש???. השאלות שונו בדומה למבנה של שאלון 43002 חדש

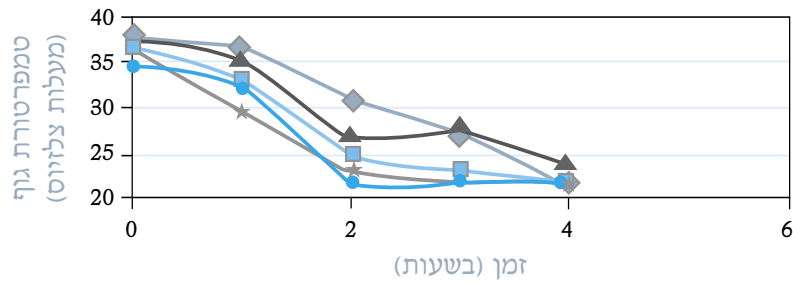
ניסוי א'

בניסוי זה נלקחו בסוף עונת החורף קוצנים זהובים מאוכלוסיית עין גדי ומאוכלוסיית הר משה, ולאחר לכידתם הועברו למעבדת המחקר ונחשפו לטמפרטורת סביבה של 6°C . התוצאות מוצגות בעקומים 1 ו-2.

עקום מספר 1:

טמפרטורת הגוף של חמישה קוצנים זהובים מאוכלוסיית עין גדי, בחשיפה לסביבה של 6°C

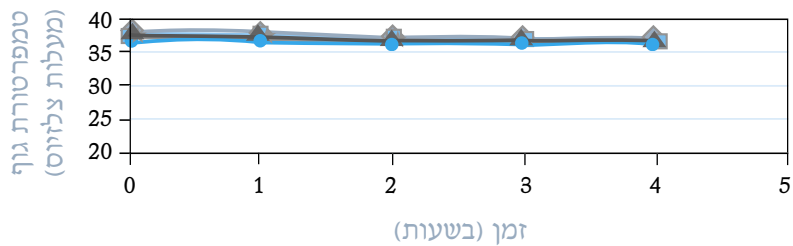
(כל עקום מייצג קוצן אחר)



עקום מספר 2:

טמפרטורת הגוף של חמישה קוצנים זהובים מאוכלוסיית הר משה, בחשיפה לסביבה של 6°C

(כל עקום מייצג קוצן אחר)



ניסוי ב'

בניסוי זה נלקחו קוצנים זהובים מאוכלוסיות עין גדי והר משה, ולאחר לכידתם הם שהו במשך שמונה חודשים במעבדת המחקר בטמפרטורה של 28°C . לאחר תקופה זו נחשפו הקוצנים לטמפרטורה של 6°C למשך שעות מספר. לא נמצאו הבדלים משמעותיים בין תוצאות ניסוי זה לתוצאות ניסוי א' (ראו עקומים 1 ו-2).

ניסוי ג'

קוצנים אחרים מאוכלוסיית עין גדי, ששהו במעבדה במשך שמונה חודשים בטמפרטורת סביבה של 28°C , נחשפו לטמפרטורת סביבה של 6°C . התוצאות בשלב זה היו דומות לתוצאות המוצגות בעקום 1. לאחר מכן החזירו אותם לטמפרטורה של 28°C , ולכל אחד מחמשת הפרטים הנבדקים הוזרק ההורמון תירוקסין לתוך השריר כל יום במשך שמונה ימים. ביום השמיני נבדקה שוב עמידותם לקור על ידי חשיפתם לסביבה של 6°C . תוצאות הניסוי היו דומות לתוצאות המוצגות בעקום 2 (שימו לב: התוצאות בניסוי זה לגבי קוצני עין גדי דומות לתוצאות לגבי קוצני הר משה, כפי שמוצגות בעקום 2).

לאחר סיום סדרת הניסויים הוחזרו הקוצנים לבית גידולם הטבעי.



1. א. מהי שאלת המחקר ששאלו החוקרים בעורכם את ניסוי א'?
- ב. מה ניתן להסיק מתוצאות ניסוי זה?
2. השוו בין תוצאות ניסויים א' וב' וקבעו האם לטמפרטורת הסביבה המוקדמת שבה שהו הקוצנים יש השפעה על עמידותם לקור? בתשובתכם התייחסו לשתי אוכלוסיות הקוצנים.
3. ההורמון תירוקסין משפיע על קצב חילוף החומרים (מטבוליזם) בכל תאי הגוף. הציעו הסבר לתוצאות ניסוי ג', על סמך מידע זה.
4. במחקר המתואר נבדקה השמירה על הומיאוסטזיס בקוצנים.
 - א. יונקים הם בעלי חיים הומיאותרמיים, אולם בתנאי הניסוי רק אחד ממיני הקוצנים הצליח לשמור על טמפרטורת גוף קבועה. באילו תנאי סביבה מצליח כל אחד מהמינים לשמור על טמפרטורת גוף קבועה?
 - ב. ציינו שתי דרכים המסייעות לשמירת טמפרטורה קבועה אצל יונקים.
 - ג. נמרים וקוצנים הם בעלי חיים השייכים למחלקת היונקים. בחשיפת נמרים החיים בעין גדי לטמפרטורות הקרובות ל-0 מעלות נמצא שהם הצליחו לשמור על טמפרטורת גוף קבועה פחות או יותר. הציעו הסבר אפשרי להבדלים בין הנמרים לקוצנים המבוסס על גודל גופם.
 - ד. ציינו גורם נוסף שנשמר קבוע, פחות או יותר, בעזרת מנגנונים הומיאוסטטיים.
5. בניסוי זה בדקו חמישה קוצנים, שנלכדו בטבע, מכל אחת מהאוכלוסיות.
 - א. מהי הבעייתיות שמעורר מחקר זה לגבי הסקת המסקנות?
 - ב. נסו להסביר מדוע, למרות מה שציינתם בסעיף א', בדקו החוקרים רק חמישה פרטים.

6. בגרפים הוצגו תוצאות הניסוי לגבי כל פרט ופרט. זו הצגה של התוצאות הגולמיות, והיא אינה מקובלת. סרטטו גרף של התוצאות המעובדות.
7. הציעו שאלת המשך למחקר על הקוצנים. כיצד שאלה זו תתרום להבנת עמידותם של הקוצנים לטמפרטורות נמוכות?

השקדייה פורחת והשמש לא תמיד זורחת¹



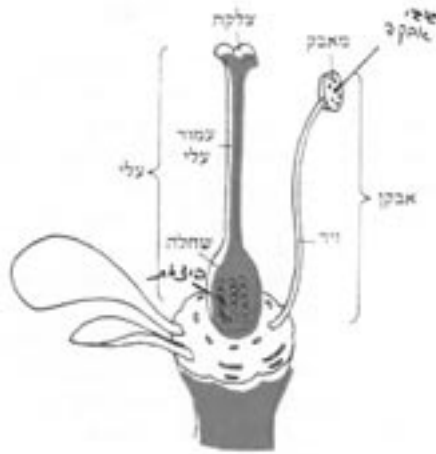
רוב מיני הצמחים הגדלים בישראל פורחים בסוף עונת הגשמים בחודשים מרס עד אפריל, (חודשים 3-4). תקופה זו מצטיינת בטמפרטורות נוחות, במספר קטן של ימי גשם, ובמספר גדול של חרקים מאביקים הפעילים בבית הגידול, אך עץ השקד המצוי המוכר בשם 'שקדייה', פורח בחורף, מסוף ינואר ועד אמצע מרס (חודשים 1-3). חודשי החורף מתאפיינים בחוסר יציבות אקלימית – יש בהם ימים גשומים וקרים, ובהם לא יכול להתקיים תהליך ההאבקה (העברת גרגרי האבקה מאיבר הרבייה הזכרי של הצמח שבו הם נוצרים, אל איבר הרבייה הנקבי של אותו הצמח או של צמח אחר מאותו מין), בשל פגיעה באיברי הפרח ובשל מיעוט פעילות חרקים; אך יש בחורף גם ימים בלי משקעים עם טמפרטורה המאפשרת פעילות מאביקים, ובהם תיתכן האבקה והפריה בפרחים. על אף העונה הקשה עץ השקד 'מצליח' לנצל כמה ימים המתאימים להאבקה ולמשוך חרקים מאביקים. המאביק העיקרי של השקד המצוי הוא דבורת הדבש.

על רקע העובדה שהשקד המצוי פורח בעונה הגשומה (בחורף), נערך מחקר שמטרתו לברר אם אכן קיימות התאמות מיוחדות המאפשרות פריחה, האבקה והפריה בתנאים אלה.

1 מעובד על פי: התאמות שקד מצוי לפריחה, להאבקה ולהפריה בתנאי החורף, מאת אמיר מיכאל ופרופ' דן איזיקוביץ.

מטרת המחקר הייתה לבחון את עמידותם של גרגירי האבקה ושל הצלקת בפרחי השקד להרטבה על ידי הגשם.

מידע קצר על חלקי הפרח ותהליך ההאבקה:



האבקן הוא איבר הרבייה הזכרי. גרגירי אבקה מתפתחים בתוך המאבק שהוא חלקו העליון המורחב של האבקן בפרח (ראה איור מימין). גרגירי האבקה נושאים את הגמטות (תאי הרבייה) הזכריות. העלי הוא איבר הרבייה הנקבי הכולל: צלקת, עמוד עלי ושחלה. בשחלה מצויות הביציות המכילות את הגמטות (תאי רבייה) הנקביות. עם הבשלת גרגירי האבקה, המאבקים נפתחים וגרגירי האבקה משתחררים, מופצים (על ידי חרקים או על ידי הרוח), ורק כאשר הם מגיעים לצלקת בפרח חלים בהם שינויים:

1. גרגירי האבקה נובטים על הצלקת (נביטת גרגיר אבקה פירושה הוצאת שלוחה הקרויה נחשון ומכילה ציטופלזמה וגרעין). תהליך נביטת גרגירי האבקה, לאחר שהתחיל, אינו הפיך.
2. הנחשונים צומחים לתוך עמוד העלי, לכל אורכו עד לתוך השחלה.
3. הגמטות הזכריות מגיעות לביציות בשחלה ומתרחשת הפריה. תוצר ההפריה הוא העובר. לאחר ההפריה מתפתח מהשחלה הפרי ומהעובר מתפתחים הזרעים.

לצורך לימוד תהליך נביטת גרגירי האבקה, המתרחש באופן טבעי על הצלקת, ניתן לחקות אותו במעבדה. לשם כך מכינים בצלחת פטרי מצע מזון מוצק המכיל חומרים אורגניים, בעיקר פחמימות, בהרכב ובריכוז הדומים לאלה המופרשים מהצלקת. על מצע המזון מפזרים את גרגירי האבקה שנלקחו באופן מלאכותי מהמאבקים בפרחים.

להלן שלבי ניסוי שנערך על עצי שקד:

א. בדיקת השפעת הגשם על החיוניות של גרגירי אבקה:

גרגירי האבקה הנמצאים בתוך המאבק אינם מוגנים מפני הרטבה. לאחר גשם ניתן לראות מאבקים רטובים. אם הרטבת גרגירי האבקה של השקד הייתה גורמת לנביטתם עוד לפני שהגיעו לצלקת, משמעות הדבר, שאותם גרגירי אבקה היו מאבדים את כושר ההפריה. מטרת הניסוי הייתה אם כן, לבחון אם גרגירי האבקה של השקד נובטים במי גשם.

לביצוע הניסוי החוקרים קטפו מארבעה עצים ענפים עם פרחים סגורים עדיין, והפרחים נפתחו במעבדה. גרגירי אבקה נאספו מהפרחים באופן מלאכותי והונבטו בצלחות פטרי במי גשם בלבד. גרגירי האבקה בקבוצת הביקורת הונבטו בצלחות בתמיסה שהכילה חומרים להנבטה. תוצאות הניסוי הראו כי שיעור הנביטה הממוצע של גרגירי אבקה במי גשם היה 4% בהשוואה ל-75% בקבוצת הבקרה.

ב. בדיקת השפעת הרטבה של צלקות על נביטת גרגירי אבקה:

הצללקת בפרח מפרישה חומרי מזון המסייעים לנביטת גרגירי האבקה וצמיחת הנחשוניים לאורך עמוד העלי. מטרת הניסוי הייתה לבדוק האם הרטבת צלקות במי גשם, הגורמת אולי לשטיפה של החומרים המופרשים, משפיעה על שיעור הנביטה של גרגירי אבקה. לביצוע הניסוי נקטפו ענפים עם פרחים מכמה עצים. ענפים אלה בודדו, הורטבו ויובשו, ולאחר מכן הצלקות הואבקו באופן מלאכותי על ידי החוקרים. לאחר זמן נבדקה הנביטה של גרגירי האבקה על הצלקות.

הפרחים בקבוצת הביקורת לא טופלו. תוצאות הניסוי הראו כי שיעור הנביטה הממוצע של גרגירי אבקה על צלקות שהורטבו במי גשם היה 78%, בהשוואה ל-75% בטיפול הביקורת של צלקות שלא הורטבו.

ג. **בדיקת השפעת הרטבת המאבקים, המכילים גרגירי אבקה, על כושר הנביטה של גרגירי אבקה:**

מטרת ניסויי זה הייתה לבחון השפעת גשם קצר וגשם ממושך על כושר הנביטה של גרגירי אבקה, שהיו בתוך מאבקים סגורים או פתוחים באותו הפרח, בעת הרטבתם על ידי הגשם. לצורך ביצוע הניסוי נקטפו ענפי פריחה עם ניצנים מארבעה עצים משטח המחקר. הפרחים, עם מאבקים פתוחים או סגורים, הורטבו במשך זמן קצר – חצי שעה, או זמן ממושך – 14 שעות. הפרחים בטיפול הבקרה היו גם הם עם מאבקים פתוחים או סגורים, ולא הורטבו.

תוצאות הניסויים מובאות בגרפים הבאים:

גרף מס' 1

השפעת הרטבה ממושכת של המאבקים על אחוז הנביטה של גרגירי אבקה



גרף מס' 2

השפעת הרטבה קצרה של המאבקים על כושר הנביטה של גרגרי אבקה



בתוצאות המוצגות בגרף מס' 1 רק תוצאות הטיפול 'פתוח-רטוב' שונות באופן מובהק מתוצאות שאר הטיפולים. בתוצאות המוצגות בגרף מס' 2 לא נמצא הבדל מובהק בין תוצאות הטיפולים השונים.

במחקר אחר, שנערך על ידי פרופסור אבי שמידע מהאוניברסיטה העברית בירושלים, נבדק שיעור החנטה (יצירת פירות) של פרחי השקד, ושל פרחים של עצי בר נוספים בארץ. מיני העצים והשיחים שנבדקו פורחים בשפע רב של פרחים. לדוגמה, לעץ שקד מצוי בגובה חמישה מטרים יש כ-20,000 פרחים! כאשר בודקים את מספר הפירות המתפתחים מהפרחים מתברר, כי שיעור החנטה של כל העצים נמוך ביותר: בשקד רק כ-5-10% מכלל הפרחים בעץ חונטים פירות. להשוואה, בצמחים עשבוניים שיעור החנטה הוא בין 30% ל-90%.

מתעוררת השאלה מדוע יש לשקד פרחים רבים כל כך, אבל פירות מעטים כל כך? מקובל להניח כי במהלך האבולוציה נבררו העצים היעילים והמוצלחים. מהו, אפוא, היתרון של שפע פרחים ושיעור חנטה נמוך? הועלתה השערה כי אף על פי שפרח השקד הוא דו-מיני (מכיל איברי רבייה זכריים ונקביים), מפרחים רבים לא מתפתחים פירות, ורוב הפרחים בעץ מתפקדים כפרחים זכריים המפיצים גרגירי אבקה ומתחרים ביניהם על האבקה ועל ההפריה. קיימת תחרות חזקה בין העצים על תהליך ההפריה ועל ליצירת פירות זרעים. ייתכן כי בפרחים המופרים המתפתחים לפירות קיימת ברירה חזקה לגרגירי האבקה הטובים ביותר, ולעוברים המוצלחים ביותר.

בשקד נמצא כי גרגירי האבקה צריכים לעבור שלושה מחסומים המבטיחים כי רק המוצלחים יפרו את הביציות:

1. הצלקת בקצה עמוד העלי מונעת נביטה של גרגירי אבקה פגומים.
2. רק גרגירי אבקה המפעילים אנזימים המנצלים ביעילות רקמות מזון בעמוד העלי בפרח 'מנצחים' בתחרות להגיע אל הביציות בשחלה.
3. לאחר ההפריה רק עוברים בעלי הצירופים הגנטיים הטובים ביותר מתפתחים לזרעים, והשאר מתנוונים. כלומר, השקד ועצים אחרים מייצרים פרחים רבים אך שיעור החנטה שלהם נמוך, וזהו אמצעי שיש לעץ על מנת לברור את הצירופים הגנטיים המוצלחים ביותר.



1. מהם לדעתך יחסי הגומלין בין הצמח לחרקים המאביקים אותו? נמק בקצרה.
2. בחורף טמפרטורות האוויר נמוכות.
(א) הסבר כיצד עובדה זו יכולה להשפיע על פעילות החרקים המאביקים את השקד.
- (ב) שער מה תהיה ההשפעה של ירידת הטמפרטורה על סיכויי ההאבקה של הפרחים.
3. האם תוצאות שהתקבלו בשלבים א' ו-ב', מעידות על התאמת השקד לפריחה בעונה גשומה? הסבר תשובתך בקצרה.
4. מה ניתן להסיק מתוצאות הניסויים שתוארו בשלב ג' על השפעת הרטבת המאביקים על כושר הנביטה של גרגירי האבקה של עץ השקד? בסס את מסקנותיך על הממצאים.
5. שפע עצום של פריחה של עץ השקד מחייב מלאי חומרי מזון. מהו המקור למלאי חומרי המזון הדרושים לפריחה?
6. במחקרים שונים נמצא כי כאשר בעץ השקד ההאבקה היא עצמית (גרגירי אבקה מגיעים לצלקת של פרחים שמקורם באותו הצמח) אין בדרך כלל הפריה. הסבר בקצרה מה היתרון של תכונה זו למין?
בעצי שקד נמצא כי כאשר לא מתרחשת האבקה זרה על ידי מאביקים מתקיימת לבסוף האבקה עצמית ספונטנית. הסבר מהו היתרון האפשרי של תכונה זו לעץ הפורח בחורף.

הזמנה לחקר: התנהגות החנקן בתקופת החיזור והרבייה



נושא ההזמנה:

מחקר התנהגותי של העוף: חנקן.

מתאים לנושאי בסיס:

אבולוציה, אקולוגיה, רבייה, התנהגות בעלי חיים ולתרגול מיומנויות חקר.

מילות מפתח:

דגירה, הטלת ביצים, התנהגות, חיזור, קינון, תחום מחיה.

מקורות מידע:

ר' יוסף, טבע וארץ, ינואר 1992, עמ' 16-17.
המאמר מופיע באסופה 'אבולוציה', עורכות דידה פרנקל, ליאורה פלד, חנה ברנהולץ. (תשנ"ה 1995)
המרכז להוראת המדעים, האוניברסיטה העברית ירושלים.

חלק א'

החנקן הוא ציפור שיר קטנה, שמקורה גדול יחסית לגופה. ניתן לזהות חנקנים על פי המקור המכופף כלפי מטה, שמזכיר מקור של עוף דורס. החנקנים חיים בשטחים פתוחים, שם כל זכר מגדיר לעצמו תחום מחיה.

1 על אופן הפעילות בעזרת הזמנה לחקר בעמ'..

התנהגות המאפיינת את החנקן היא שיפוד מזון: תפיסת מזון חי בעזרת המקור והצבתו על עצמים בולטים בשטח, כמו גדרות וקוצים. לקראת הגעת הנקבות, משפדים הזכרים גם חפצים בלתי אכילים, כמו נוצות וחלזונות. חוקרים שצפו בהתנהגות זו העלו כמה שאלות מחקר.



1. הצע שאלת מחקר שניתן לשאול לאחר התצפית על התנהגות החנקנים.
2. נסח השערה מתאימה לשאלת המחקר שהצעת.

חלק 2'

החוקרים ניסו למצוא הסבר להתנהגות יוצאת דופן זו של הצגת מזון וחפצים בשטח, והעלו את ההשערה הבאה: הצגת הטרף על ידי הזכר גורמת למשיכת נקבות.

כדי לבדוק את ההשערה נעשה ניסוי באוכלוסייה של חנקנים. הניסוי כלל שלושה טיפולים. החוקרים בחרו תשעה זכרים, שלכל אחד תחום מחיה משלו. לתחומי מחיה של שלושה מהזכרים הוסיפו החוקרים בכל שבוע כמות ניכרת של שיפודי מזון, נוסף על אלה שהציג החנקן. מתחומי המחיה של שלושה זכרים אחרים סילקו אחת לשבוע את כל האוכל המשוּפד, ובתחומי המחיה של הזכרים הנותרים לא הייתה כל התערבות, ונערכו תצפיות בלבד.



3. מהו המשתנה הבלתי תלוי בניסוי וכיצד שינו אותו?
4. מה הייתה מטרתו של כל טיפול?
5. הצע דרך לבדיקת המשתנה התלוי בניסוי זה.
6. הכן טבלה שתאפשר סיכום התוצאות.
7. אילו תוצאות יתמכו בהשערתך?
8. ציין שני גורמים שחשוב לשמור כקבועים בכל חלקות הניסוי.

חלק ג'

התצפיות החלו לקראת עונת החיזור בדצמבר. בינואר נצפו הנקבות הראשונות בתחום המחיה של קבוצה א', ובפברואר נצפו לראשונה נקבות בתחום המחיה של קבוצה ג'. לתחום המחיה של קבוצה ב' לא הגיעו כלל נקבות. התצפיות נמשכו עד סוף עונת הקינון באוגוסט (קינון – הטלת ביצים ודגירה עליהן עד לבקיעת הגוזלים).

טבלה מס' 1:

מספר הנקבות, ממוצע קינונים, ביצים וגוזלים בטיפולים למיניהם

ממוצע גוזלים שבגרו לקן	ממוצע ביצים לקן	מספר ממוצע של קינונים	מועד שבו הופיעו לראשונה נקבות	הטיפול	מס' תחומי מחיה	הקבוצה
8	9	3	ינואר	תוספת מזון משופד	3	א'
-	-	אין	לא הגיעו	הסרת כל השיפודים	3	ב'
5	5	1.5	פברואר	בלי התערבות	3	ג'



9. האם התוצאות תומכות בהשערה שהעלו החוקרים? נמק.
10. איך תסביר את ההבדלים בתוצאות ממוצע הביצים לקן, בין קבוצה א' לבין קבוצה ג'?
11. א. יש הטוענים שבניסוי זה אין באפשרות החוקרים להגיע למסקנות חד־משמעיות. ציין סיבה אפשרית לכך.
ב. הסבר כיצד תוכל להגדיל את מהימנות הניסוי.
12. הצע שתי שאלות נוספות להמשך המחקר.

קביעת המין (זוויג) באקרית שטוחה או: חייזקים נגד זכרים¹

בטבע קיימות שני דרכים לרבייה. רבייה אל מינית (אל זוויגית), אשר נפוצה ביצורים חד תאיים ורבייה מינית (זוויגית) הנפוצה במרבית היצורים הרב תאיים.

היתרון העיקרי של רבייה מינית הוא ביצירת מגוון גנטי באוכלוסייה. במצבים שתנאי הסביבה משתנים בצורה קיצונית, המגוון מאפשר לפחות לחלק מהפרטים, אלה שנחננו בצירוף גנים מתאים, לחיות בסביבה החדשה.

לגבי הרבייה המינית, נשאלת השאלה, מה קובע את המין (זוויג) של הפרט. מוכרים שני מנגנונים עיקריים הקובעים האם פרט מסוים יתפתח לזכר או לנקבה. המנגנון האחד הוא גנטי והאחר סביבתי.

במרבית היצורים הרב תאיים המנגנונים הקובעים את המין הם גנטיים. בבני אדם, למשל, הזכריות נקבעת על ידי נוכחות גן מסוים הנמצא בכרומוזום Y. בזבובים נקבע המין על פי היחס הכמותי בין כרומוזום X לכרומוזומים אחרים, ובדבורים ובנמלים קובע מספר העותקים של הכרומוזומים: עותק יחיד של כרומוזומים (מצב הפלואידי, n כרומוזומים) קובע זכריות ושני עותקים (מצב דיפלואידי, $2n$ כרומוזומים) קובע נקביות.

1 מעובד על פי: בר ניר, דרור, חייזקים נגד זכרים, גלילאו 94, יוני 2006, הוצאת SBC, עמודים 60-58

מנגנון סביבתי לקביעת המין הוא, לדוגמא, השפעת טמפרטורת הבקיעה על המין של צאצאי תנינים הבוקעים מהביצה. או מנגנון בדגים מסוימים הקובע שבהעדר זכרים אחת הנקבות הופכת לזכר.

במחקר שבוצע לאחרונה² נמצא גורם סביבתי נוסף המשפיע על קביעת המין.

באקרית שטוחה (*Brevipalpus phoenicis*)³ כמעט כל הפרטים הן נקבות הפלואידיות, והן מתרבות ברביית בתולין (פרתנוגנזה), ז"א הן מטילות ביצים לא מופרות שמהן מתפתחות רק נקבות. אולם במקרים מעטים (כ-5% מהאוכלוסייה) בוקעים מהביצים זכרים, גם הם הפלואידים. כאשר זכרים נמצאים בסביבה מתרחשת רבייה מינית שגורמת לעלית השונות באוכלוסייה.

החוקרים שאלו מה גורם להיווצרות זכרים בחלק מהמקרים? ומה גורם ליצירת יחס זה (5 ל-95) בין המינים?

נמצא כי בכל נקבת אקרית שטוחה חיים כמה עשרות חיידקים שעדיין לא הוגדרו. החוקרים שיערו כי קיים קשר בין החיידקים לבין שיעור הזכרים באוכלוסייה.

כדי לבדוק את השפעת נוכחות החיידקים על האקריות, טיפלו בחומר אנטיביוטיקה מסוג טטרציקלין במחצית מקבוצת אקריות (האנטיביוטיקה אינה משפיעה על האקריות). במהלך עשרה ימים לאחר הטיפול נבדק היחס בין זכרים לנקבות בניסוי ובקבוצת הבקרה. מערך הניסוי ותוצאותיו מסוכמים בטבלה הבאה:

2 אנדרו וויקס וציוותו, אוניברסיטת אמסטרדם.

3 האקריות הן יצורים זעירים מסדרת העכבישניים. המין אקרית שטוחה חיי על מגוון גידולים חקלאיים וגורם נזק כבד לגידולים בעלי חשיבות כלכלית.

השפעת הוספת אנטיביוטיקה מסוג טטרציקלין על היחס בין זכרים ונקבות באקרית שטוחה

מספר זכרים מבין הצאצאים	מספר צאצאים	מספר אקריות	הוספת טטרציקלין
1890	3988	50	+
210	4001	50	-

עד כה לא הצליחו החוקרים לגדל את החיידקים מחוץ לגוף האקריות, והם מעריכים כי חיידקים אלה אינם יכולים לגדול אלא בתוך גופם של האקריות. לחוקרים אין תשובה לגבי הדרך בה משפיעים החיידקים על התפתחות הזכרים.



1. סכמו את תוצאות הניסוי תוך התייחסות לנקודות הבאות:
 - א. כיצד מושפע היחס בין זכרים ונקבות מהטיפול שניתן לאקריות.
 - ב. למה בחרו החוקרים לטפל באקריות בחומר אנטיביוטי.
2. באילו תנאי סביבה יש יתרון לקיום רביית בתולין ובאילו תנאי סביבה יש יתרון לרבייה מינית. הסבירו את היתרון בכל אחת מהדרכים.
3. החוקרים משערים שבין האקריות לבין החיידקים קיימת סימביוזה מסוג הדדיות.

- א. מה לפי דעתך התועלת לחיידקים ומה התועלת לאקריות מיחסי גומלין אלו?
- ב. האם הסימביוזה הכרחית (אובליגטורית) לכל אחד מהשותפים. נמקו את תשובתכם.
4. במחקר המתואר לא נמצא הסבר לכל השאלות שמעוררת תופעת האקריות, החיידקים וקביעת הזוויג. ציינו שאלה אחת שלא נמצא לה פתרון במחקר זה.
5. הנחת החוקרים היא שהאנטיביוטיקה לא משפיעה על האקריות.
- א. אקריות הן יצורים אאקריוטיים, חיידקים הם פרוקריוטיים. הציעו הסבר אפשרי לכך שהאנטיביוטיקה משפיעה על החיידקים ולא על האקריות.
- ב. הציעו שיפור למערך הניסוי שהובא לעיל כך שתבחן הטענה שהאנטיביוטיקה לא משפיעה על האקריות.
6. לרבייה המינית מחיר אנרגטי גבוה מאד. הסבירו את המשפט.

יחסי טפיל פונדקאי – בחורשת איקליפטוס – עבודת ביוטופ לא שגרתית



לירון שלום ואיל אבלריאן, תלמידי ביולוגיה בתיכון אחד העם בפתח תקווה, בחרו לבצע את העבודה האקולוגית בחורשת איקליפטוס הסמוכה לבית הספר בהנחיית המורה אורה הירש. כבר בביקור הראשון עם התלמידים בחורשה הבחנו בקיומם של בליטות זעירות בצבע חום-אדמדם על עלים רבים ברוב עצי האיקליפטוס בחורשה (צילום 1). הבליטות נראו על עלים בוגרים וצעירים כאחד, בדרגות צפיפות שונות. בחלק מהעצים, על עלים נגועים במידה רבה, נראו כתמים לבנים (צילום 2). צילמנו עלים נגועים וחזרנו לספריית בית הספר כדי לחפש מידע שיסייע בזיהוי התופעה. התרשמנו שהבליטות הן עפצים¹ על העלים, ותוך חיפוש ברשת הגענו למאמר בנושא.² פנינו אל החוקר הישראלי, פרופ' מנדל ממכון וולקני, אשר קבע שהעפצים הם של צרעת החטטים (*Ophelimus maskelli*) הטפילה על עצי איקליפטוס. הצרעה היא מין פולש שהגיע לפני כשש שנים לארץ מאוסטרליה.³ התלמידים

- 1 עפץ – צמיחה לא תקינה בעקבות פגיעה כימית או היזק מבעל חיים (בעיקר חרק), המטיל בו את ביציו. בעפץ מתפתחים זחלים ומוצאים בו מחסה ומזון. (מתוך: החי והצומח של ארץ ישראל, אנציקלופדיה שימושית מאוירת, כרך 10, צמחים בעלי פרחים א')
2 <http://www.ios.org.il/site/pubPage.asp?id=60&cat=FO>
- 3 באחרונה פרסמו חוקרים ישראליים שתהליך ההדברה הביולוגית של צרעת החטטים, על ידי צרעה טפילה אחרת שאותה הביאו באחרונה מאוסטרליה, מצליח מאוד (זה מקרה ראשון בעולם שבו הודברה צרעת החטטים בהדברה ביולוגית).

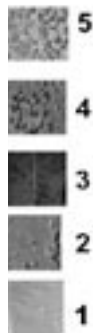
החליטו להשוות את מידת הנגיעות בעפצים של עלי שני עצים אשר צמחו בשני אזורים בחורשה. שני האזורים בחורשה נבדלו בעיקר במידת חשיפת העצים לקרינה ישירה ובטמפרטורת האוויר. את טמפרטורת האוויר בקרבת העצים לא היה כל קושי למדוד, אך ההתלבטות הייתה, איך מודדים או אומדים את מידת הנגיעות של עלי איקליפטוס, כאשר גודל כל עפץ הוא 0.2-0.3 ס"מ, ומספר העפצים על כל עלה היה בין בודדים לעשרות ואפילו למאות.

התלמידים קטפו עלים, שעל פי התרשמותם ייצגו רמות נגיעות שונות. הם סרקו באמצעות סורק את העלים ומהתמונות ששמרו במחשב הם הכינו 'סרגל' נגיעות, שבו היו יחידות עלה בגודל של 1x1 ס"מ, שכל אחת מהן ייצגה דרגת נגיעות שונה. בכל אחת מיחידות השטח נספרו העפצים, ונקבע לכל יחידה ערך שרירותי מ-1 עד 5 (צילום 2). התלמידים דגמו 20 עלים מכל עץ, ובעזרת שקף שעליו צוירו יחידות של 1x1 ס"מ אמדו את מידת הנגיעות בכל עץ.



צילום 1:

**עלי איקליפטוס נגועים
בצרעת החטטים**



צילום 2:

'סרגל' נגיעות

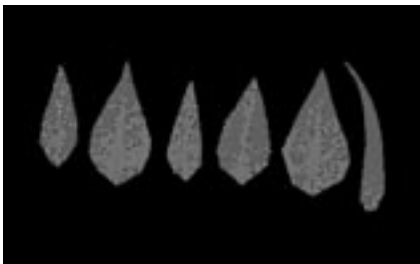
על פי התוצאות, עץ שהיה בשולי החורשה ובקרבתו טמפרטורת האוויר הייתה גבוהה במעט מזו שבתוך החורשה היה נגוע יותר בצרעת החטטים (יש לסייג ולומר, שהמדגם היה קטן והעלים נקטפו מגובה נמוך).
ייתכן שההסבר לכך קשור להיות הצרעה יצור פויקילותרמי.



צילום 3:

**כתמים לבנים על עלים
נגועים במיוחד**

בהמשך החליטו התלמידים להשוות את קצב הפוטוסינתזה בעלי איקליפטוס נגועים ובעלים לא נגועים. שאלה זו נבדקה בניסוי במעבדה, שבו הוכנסו עלים בדרגות נגיעות שונות למערכות סגורות שנחשפו לאור (מהלך הניסוי כמתואר בבעיה 1 בבחינת בגרות 5 יח"ל, תשס"ד). כל מערכת הכילה תמיסת ביקרבונט ובוצע בה מעקב אחר פליטת גז (חמצן). בניסוי נכללו בקרות מתאימות.
לפני ביצוע הניסוי התלמידים צילמו במצלמה דיגיטלית את עלי האיקליפטוס שאותם בחרו לכל מערכת ניסוי, ובאמצעות תוכנת matlab (תכנה מתמטית המאפשרת לבצע עיבוד ממוחשב של תמונה) חושב שיעור הנגיעות של כל עלה.



צילום 4:

**עיבוד תמונות של עלים
נגועים**

על פי נתונים אלה חושב שיעור הנגיעות הממוצע בכל מערכת ניסוי. בשיטה זו התקבלו, אומנם, ערכים מדויקים של מידת הנגיעות, אך גם במקרה זה מדגם העלים היה קטן יחסית.

המסקנה מהניסוי היא, שבכל אחת משתי קבוצות העלים שלהם דרגת נגיעות ממוצעת 28% ו-65%. קצב הפוטוסינתזה היה אפסי בהשוואה לקצב הפוטוסינתזה בעלים לא נגועים. יש לציין בביקורתיות שמוטב היה לדגום עלים נגועים ולא נגועים מאותו העץ ולבצע חזרות על הניסוי.

התערבות האדם בטבע



השפעת מינים פולשים על המערכת האקולוגית¹

מין פולש הוא מין שהועבר על ידי האדם באופן מכוון או במקרה, והתבסס (=התרבה והתפשט) במקום חדש מחוץ לתחום הגיאוגרפי בו התקיים באופן טבעי.

בשנים האחרונות מתרחשת פלישת מינים נרחבת, בשונה מתהליך טבעי של הפצה והגירה של אוכלוסיות, הנובעת מהתערבות האדם. האדם שבר, למעשה, את המחסומים הביו-גיאוגרפיים שהפרידו בין מינים, והוא מעביר (במכוון וגם באופן אקראי) מינים לסביבות חדשות בקצב חסר תקדים. כתוצאה מכך, מינים אשר התפתחו בנפרד, פולשים זה לטריטוריה של זה. בעיית הפולשים הביולוגיים נחשבת כיום, בדומה להתחממות האטמוספירה, לבעיה עולמית בעלת השלכות מרחיקות לכת לכל מקום על פני כדור הארץ. פלישת מינים לבתי גידול הוא נושא המצוי כיום בחזית המחקר האקולוגי בארץ ובעולם, והוא בעל חשיבות לכל בתי הגידול בארץ.

1 עובד בעיקר ע"פ המקורות:

- א. אירית שדה, ד"ר אורנית ספקטור-לוי, וד"ר ציון מיכל. מינים פולשים – אויב? אוהב? ואו אתגר ללמידת חקר ומגוון ביולוגי.
bioteach.snunit.k12.il/upload/.2005/kenes05.doc
- ב. יותם אורחן, אסף שוורץ וסלעית קרק. מיני ציפורים פולשות בישראל והשפעתן על פאונת הציפורים המקומיות: פארק הירקון בתל אביב כמקרה מבחן פלישות ביולוגיות במערכות אקולוגיות בישראל – כנס 31 בינואר, 2005, כא' בשבט, תשס"ה אוניברסיטת בן-גוריון בנגב.

בין המינים הפולשים המוכרים כיום בארץ ובעולם נמצא מגוון רב של אורגניזמים: חיידקים וחד תאיים אחרים, צמחים ובעלי חיים רבים. למין פולש יש פוטנציאל לשנות את המערכת האקולוגית שהוא מגיע אליה, מבחינת הרכב המינים או צורת הנוף. אצל המינים המקומיים, שהתפתחו זה בצד זה במשך שנים רבות של אבולוציה, התפתחו מנגנונים המאפשרים להם לחיות זה בצד זה בשיווי משקל ביולוגי. פלישת המין הזר משנה את המבנה או את התפקוד של המערכת האקולוגית שאליה הגיע. נזקי המינים הפולשים יכולים להתבטא בפגיעה **במגוון המינים** על ידי תחרות ודחיקה עד הכחדה של מינים קיימים. כמו כן, עלול להיגרם נזק כלכלי גדול לאדם (פגיעה בחקלאות, פגיעה במקורות המים וכדומה).

פלישה מוצלחת (מבחינת הפולש) תתרחש אם המין הפולש מסוגל לשרוד בסביבתו החדשה. מצב זה יתקיים כאשר המין הפולש מתחרה עם המינים המקומיים על המשאבים של הסביבה. המין המצליח בפלישה מנצל את המשאבים ביעילות רבה יותר מהמינים המקומיים ו/או מנצל משאבים שלא מנוצלים במלואם על ידי המינים המקומיים. פלישה מוצלחת יכולה להסתייע גם במאפיין אחר של הסביבה החדשה: העדר בלמים טבעיים אשר ויסתו את אוכלוסיית הפולש בסביבתו הישנה. בלי גורמי המחלות, הטפילים, הטורפים או המתחרים הטבעיים, מין פולש יכול להתפשט במהירות. מנגד, מינים מקומיים יכולים להיות נטולי התאמות אבולוציוניות, שתאפשרנה להם להתחרות בהצלחה עם הפולש או להתחמק מטריפה על ידיו.

בישראל מוכרים מינים פולשים רבים של בעלי חיים וצמחים. הופעת ציפורים למיניהן היא דוגמה לפלישת מינים. כיום מוכרים 18 מינים של ציפורים פולשות, ובשנים האחרונות רואים עלייה ניכרת בקצב פלישת מיני ציפורים זרות לארץ. מינים רבים של פולשים הצליחו להתבסס בבתי גידול למיניהם. ייתכן שהקמת פארקים לציפורים בארץ והסחר החוקי והבלתי חוקי בציפורי מחמד תרמו לתופעה זו. לדוגמה, **הדררה** (מין של תוכי) הופיעה בארץ כנראה בתחילת שנות ה-60, ומאז נמצאת בתהליך של התפשטות וגידול האוכלוסייה.

היום הדררה מאכלסת אזורים רבים בארץ, מדן ועד אילת, ומופיעה במספרים גדולים בעיקר סביב מקומות יישוב.

דוגמה אחרת היא **המאינה המצויה**, ציפור שמקורה בהודו. היא זוהתה לראשונה בישראל בשנת 1997 באזור פארק הירקון ומאז הרחיבה את תחום תפוצתה לאזורים רבים בארץ. כפי הנראה ברחו הפרטים הראשונים מה'צפארי' (פארק לציפורים בפארק הירקון בתל אביב). המאינה מקננת בחורים בגזעי עצים, ומזונה כולל ציפורים אחרות, יונקים קטנים, חסרי חוליות, פירות, ועוד. היא מוכרת כציפור תוקפנית ביותר, שיכולה לאיים על המינים המקומיים והנוודים בתחרות על מזון ועל אתרי לינה וקינון, ובתקיפה ישירה של פרטים (לדוגמה: באביב 2004 נצפתה מאינה מצויה חומסת גוזלים של דרוור מקן בפארק הירקון). עם העלייה בתפוצת המאינה בישראל, נרשמה ירידה ניכרת בגודל האוכלוסייה הנוודת של בן משפחתה הלא פולש – הזרזיר המצוי. בשנות ה-80 עדיין הופיעו בארץ בסתיו להקות ענק של הזרזיר המצוי, אך בעשרים השנים האחרונות ירדה אוכלוסייתו באופן משמעותי. האם המאינה הפולשת תורמת למגמת ירידה זו של המין הנווד שנמצא בארץ באופן טבעי? במחקר שנערך זה שנתיים בפארק הירקון, בוחנים לראשונה את ההשפעה של מינים פולשים אלה על המינים המקומיים והנוודים, ואת פוטנציאל התחרות בין המינים. כמה תלמידי ביולוגיה, המכינים עבודות ביוטופ וביודע, השתלבו במחקר זה. שאלות המחקר האקולוגיות שהועלו במסגרת זו עסקו באינטראקציות בין מינים מקומיים למינים פולשים באתרי הלינה בפארק הירקון.

שיטה כחלחלה היא שיח ממוצא אוסטרלי, התופס שטחים נרחבים בחולות מישור החוף. המין הובא לארץ כנראה בתחילת המאה העשרים, לייצוב דיונות חול וכמרעה לבהמות. השיחים התפשטו גם בשטחים הרריים (באזור שער הגיא) והצלחתם באזורים אלה מוסברת בכך שכל פרט של שיטה מייצר כמות רבה של זרעים, ונביטתם של אלה מעודדת כתוצאה משריפות שהתרחשו באזורים אלו מדי פעם. סבך השיטה משנה לחלוטין את בית גידולו, גורם להצללה ומגדיל את כמות החנקן בקרקע.

בארץ ובעולם נערכים מדי שנה מספר גדול של מחקרים בנושא מינים פולשים.

דוגמה למחקר בנושא מינים פולשים

השפעת נחש העצים החום על אוכלוסיות הציפורים באי גואם.

בניסיון להעריך בצורה איכותית וכמותית השפעה של פלישת מינים, נערך באי גואם, המצוי באזור הטרופי של האוקיאנוס השקט, מחקר שבדק השפעת נחש העצים החום על אוכלוסיות הציפורים. באי התקיימו עד לשנות ה-60 של המאה הקודמת 24 מינים של ציפורי שיר. בשנות ה-50 הוכנס לאי, באקראי, נחש עצים חום. פלישתו של המין הזר, הטורף לטאות, יונקים קטנים וציפורים, גרמה להכחדת 18 מתוך 24 מיני הציפורים שאכלסו את האי. בשנים 1976-1998 נערך באי סקר מקיף שמטרתו איסוף נתונים על השפעת נחש העצים החום על הציפורים באי.

שיטת איסוף הנתונים

פקחים של שמורות הטבע ערכו תצפיות לאורך הכבישים באי. צדי הדרכים נסקרו פעמיים בחודש, במשך 22 שנים, בשעות הבוקר החל מהזריחה. הפקחים רשמו את מספר המינים ואת מספר הפרטים שנצפו. כן תועדו לגבי כל מין: מסת הגוף, גודל התטולה (מספר הביצים), מוצא המין (מקומי או מהגר), ומקום הקינון (מערות, צוקים, יערות, כרי דשא וכו'). בטבלה מוצגים חלק מהנתונים שנאספו במחקר.

טבלה מס' 1:

השוואת נתוני מינים שנכחדו עם מינים שלא נכחדו

מינים שלא נכחדו	מינים שנכחדו	
6	18	מספר המינים
196.17	97.11	מסת הגוף הממוצעת (גר')
453-22	294-7	טווח מסת הגוף (גר')
5.42	2.14	גודל תטולה ממוצע
2 (33%)	15 (83%*)	מינים מקומיים (אנדמיים) במקור
0	10 (55%*)	מינים המקננים ביער

* % מכלל המינים שנכחדו



1. א) ציין שני סוגי גורמים ביוטיים ושני סוגי גורמים א-ביוטיים בבית הגידול, היכולים לגרום לתחרות בין מין פולש לבין המינים הקיימים בו.
ב) האם התחרות בין מינים שונים חריפה יותר או פחות בהשוואה לתחרות בין פרטים השייכים לאותו המין? הסבר תשובתך.
2. כדי לבדוק את השפעת המינים הפולשים הציבו החוקרים באזורים שונים בפארק הירקון תיבות קינון שמותאמות למגוון מיני ציפורים שמקננים בחורים בגזעי עצים. נסח שאלת מחקר אחת שאותה ניתן לבדוק בעזרת הצבת תיבות קינון.

3. א) הצע הסבר אפשרי אחד להקטנה במגוון מיני הצמחים במישור החוף בהשפעת פלישת השיטה הכחלחלה.
- ב) קיים חשש כי התפשטות השיטה הכחלחלה בחולות מישור החוף עלולה לפגוע גם באוכלוסיות גרביל החוף, גרביל החולות (מינים של עכברים), לטאות ונחשים. הצע הסבר אפשרי אחד לחשש מפגיעה באוכלוסיות בעלי החיים בחולות בהשפעת הפלישה של השיטה.
4. בחר שלושה הבדלים בין המינים שנכחדו למינים ששרדו, והסבר כיצד כל אחד מהם עשוי לתרום ליכולת ההישרדות של המינים שלא נכחדו.
5. החוקרים שניתחו את ממצאי המחקר שללו גורמים אחרים לירידת מספר הציפורים באי. ציין שלושה גורמים שלא הוצגו במאמר זה, ויתכן שגרמו לירידה ניכרת במספר הציפורים. הסבר תשובתך.
6. מה צפוי שיקרה עם הזמן למערכת האקולוגית ביער? הסבר. בתשובתך התייחס לנושאים הבאים: צמחים בעלי פרחים; נחש העצים החום; בעלי חיים אחרים הטורפים ציפורים ואוכלים ביצים.

מיהו הדג המוצלח להזכרת היתושים?¹



בישראל נפוצים מינים רבים של יתושים, ועקיצתם היא מטרד. העקיצה עלולה לגרום לכאב או לנפיחות קלה בעור, אולם היא גם עלולה לגרום לאדם הנעקץ להידבק במחלה, כי יתושים יכולים להעביר גורמי מחלה, טפילים חד־תאיים ונגיפים, מדמו של יצור נגוע שהם עקצו, לדמו של פרט אחר שאותו הם עוקצים. בדרך זו מפיצים יתושים מחלות, כגון קדחת (מלריה), קדחת צהובה, וקדחת הנילוס המערבי.

במחזור החיים של היתושים, כמו זה של כל החרקים, ההתפתחות משלב הביצה ועד לשלב הבוגר נקראת 'גלגול' (מטמורפזה). במהלך הגלגול מתרחשים שינויי צורה ומבנה של החרק. ביתושים מתקיים גלגול מלא, שבו שלבי ההתפתחות הם: ביצה, זחל, גולם ובוגר. היתושים הבוגרים, המוכרים לנו היטב, הם בעלי יכולת תעופה. מבחינת דרך ההזנה, הזכר הוא צמחוני וניזון אך ורק מנוזלי צמחים, ואילו הנקבה ניזונה מצוף של פרחים ומדם של חולייתנים, ויש לה חדק המותאם לדקירה ולמציצה. הדם שמוצצת הנקבה חיוני להתפתחות הביצים שבגופה. לאחר ההזדווגות מטילה הנקבה את הביצים במקווי מים. מביצים אלה מתפתחים הזחלים. לאחר ימים אחדים הזחלים הופכים לגלמים ומהם בוקעים הבוגרים, והם עוזבים את בית הגידול המימי.

1 מעובד על פי המאמר: גבולות הישרדות בתנאים קשים של דגים המתאימים להזכרת יתושים, מאת צבי סנובסקי. הביוספירה, כרך כג' 8-9, מאי-יוני 1994.

הדברת יתושים, כיצד?

כדי למנוע מחלות המועברות באמצעות יתושים ניתן לרסס בחומרי הדברה כימיים או לייבש מקווי מים העשויים לשמש בתי גידול לזחלי היתושים. השימוש בדגים להדברת זחלי יתושים החל בשנת 1924, כאשר הובאו לארץ דגים ממין גמבוזיה הטורפים זחלי יתושים. הדגים שמשריצה נקבת הגמבוזיה מחפשים את מזונם באזור הסמוך לפני המים, ועל כן זחלי היתושים הם טרף נוח עבורם. השימוש בדגי גמבוזיה להדברת זחלי היתושים יעיל בעיקר במקורות מים נקיים יחסית, אולם זחלי יתושים מתפתחים גם בבריכות חמצון.

בריכות חמצון הם מקווי מים מלאכותיים שאליהם מתנקזים השפכים, ובהם מתבצע סילוק החומר האורגני שבשפכים באמצעות תהליכי חמצון ביולוגי על ידי מיקרואורגניזמים, המבצעים במים אלה כמה תהליכים חשובים, ביניהם פוטוסינתזה וניטריפיקציה.

ניטריפיקציה – שרשרת תהליכים שבהם חיידקים שונים מבצעים חמצון האמוניה (NH_3) בשלבים, לחנקיות (NO_2) ולחנקות (NO_3).



אמוניה הוא חומר רעיל ביותר לדגים במי בריכות, וכבר בריכוזים נמוכים גורם להם למצבי עקה. חנקיות רעילות אף הן לדגים אך יוני החנקות, שהם התוצר הסופי של תהליכי הניטריפיקציה, אינם רעילים לדגים ומשמים דשן מתאים לאצות ולצמחים אחרים. התפתחות האצות גורמת בשעות היום לעלייה ב-pH, ובשעות הלילה לירידה ב-pH ולחוסר חמצן מומס במים. נוסף על כל אלה, מתרחשים בבריכות החמצון שינויים בטמפרטורת המים במהלך היממה.

בדיקת גבולות ההישרדות של דגים המתאימים להדברת יתושים:

דגי הגמבוזיה אינם מצליחים לשרוד במרבית התנאים הקשים השוררים בבריכות החמצון.

החוקר צבי סנובסקי ערך סדרת ניסויים לבדיקת עמידות דגים ממינים שונים בתנאים הקשים של בריכות החמצון, על מנת שניתן יהיה לנצל דגים אלה להדברת יתושים.

הדגים שנבדקו במחקר זה הם: עצנון, קוריאס (שפמנון), גמבוזיה ואמנון מצוי. כל הדגים הם קטנים או בינוניים ואינם נחשבים כדגי מאכל. עובדה זו חשובה: הדגים שיהיו בגופי המים המזוהמים אסור שישמשו דגי מאכל, כדי לא לגרום למחלות אצל בני האדם שעלולים לדוג ולאכול אותם.

החוקר בדק את עמידות הדגים לגורמים רבים, לדוגמה:

חוסר חמצן (ריכוז חמצן נמוך), טמפרטורות גבוהות (38 מעלות צלזיוס), ריכוז חנקיות גבוה, ו-pH גבוה ונמוך.

שיטות העבודה

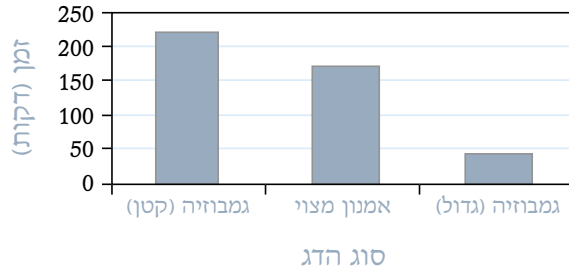
הניסויים נערכו באקווריונים מזכוכית בנפח של 40 ליטר. האקווריונים כוסו במכסי זכוכית כדי למנוע מהדגים לקפוץ החוצה, ובניסויים עם עצנון ואמנון מצוי, הוכנסו רשתות פלסטיק להפריד בין הדגים, כי דגים אלה תוקפניים ובנפח מים קטן כמו בתנאי הניסויים הם עלולים להזיק ואף להרוג זה את זה.

כל ניסוי כלל עשרה דגים מאותו המין, ונערך לפחות שלוש פעמים. בכל בדיקה של השפעת גורם מסוים על הדגים, כל הגורמים האחרים נשמרו קרובים לתנאים המיטביים (אופטימליים). בכל הניסויים נמדד זמן מהתחלת הניסוי ועד לנקודה שבה היה צורך להפסיק את הניסוי, כדי למנוע פגיעה בתפקודים חיוניים של הדגים. כך נקבע זמן עמידות ממוצע לכל מין.

תוצאות הניסויים:

תרשים מס' 1:

עמידות זגים בחוסר חמצן



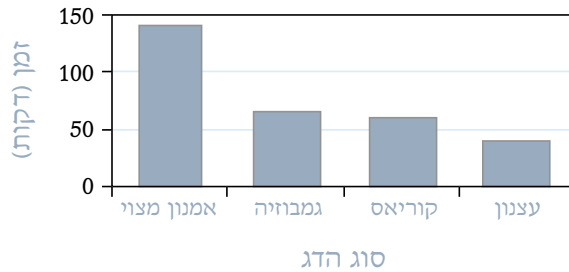
תרשים מס' 2:

עמידות זגים בטמפרטורות גבוהות



תרשים מס' 3:

עמידות זגים ב-pH גבוה



תרשים מס' 4:

עמידות דגים בריכוז חנקיות גבוה



1. א) ציין לאיזו/אלו רמות טרופיות (רמות הזנה) משתייכת נקבת היתוש?
נמק תשובתך.
ב) צוף פרחים מורכב מתמיסת סוכרים מרוכזת. הסבר מהו היתרון להתפתחות הביצים, במזון המורכב מדם חולייתנים בהשוואה לצוף פרחים.
2. ציין והסבר בקצרה נזק העלול להיגרם למערכת האקולוגית
א) על ידי שימוש בחומרי הדברה כימיים.
ב) על ידי יבוש מקווי מים.
3. תהליכי הניטריפיקציה מתקיימים בכל בית גידול, במים וביבשה.
א) ציין שני סוגי חומרים אורגניים, המצויים בכל התאים, שהרכבתם תלויה בתוצרי תהליכי הניטריפיקציה.
ב) ציין תפקיד אחד בתא לכל סוג של חומר שציינת בסעיף א'.
4. נאמר כי כל ניסוי כלל עשרה דגים (ריבוי פריטים) ונערך לפחות שלוש פעמים (חזרות). הסבר חשיבות כל אחד מהנ"ל למהימנות תוצאות הניסוי.

5. בסדרת הניסויים שתוארו, ציין מהי הבקרה ומהו המשתנה/ים הבלתי תלוי והתלוי.
6. (א) בניסוי 2 נבדקה עמידות הדגים בחוסר חמצן. מהו לדעתך הגורם העיקרי לחוסר חמצן בבריכות חימצון? נמק תשובתך.
(ב) החוקרים מצאו כי בחוסר חמצן דגי האמנון המצוי מפסיקים כמעט לחלוטין לנוע. מה היתרון בהתנהגות זו?
- (ג) במרבית מיני הדגים ההפריה חיצונית, כלומר הנקבה מטילה ביצים למים, והזכר מפרה אותן. בדגי הגמבוזיה מתרחשת הזדווגות וההפריה היא פנימית. הנקבות גדולות יותר מהזכרים, התפתחות העוברים מתרחשת בביצים בגוף הנקבה, והדגיגים מושרצים למים. הסבר את הקשר בין עובדות אלה להבדלים בתוצאות הניסוי בין גמבוזיה גדול (נקבות בוגרות) לבין גמבוזיה קטן (זכרים וצעירים).
7. (א) דגים הם בעלי חיים פויקילותרמיים. הסבר כיצד יכולה להשפיע עלייה בטמפרטורה על הדגים.
(ב) במה שונה תגובת בעלי חיים פויקילותרמיים לעליית הטמפרטורה מתגובת בעלי חיים הומיותרמיים.
8. בניסוי אחר, שלא תואר בתרשימים, נבדקה תגובת הדגים ל-pH נמוך. הפגיעה בדגי העצנון והאמנון המצוי על ידי pH נמוך הייתה קלה יותר בהשוואה לפגיעה בגמבוזיה ובקוריאס. אם היו בודקים השפעת שינויים ב-pH על פעילותם של אנזימי הנשימה התאית, המופקים מסוגי הדגים השונים, האם לדעתך יתקבלו הבדלים דומים? הסבר תשובתך.
9. (א) בתום המחקר החוקרים המליצו לנסות לאכלס בריכות חמצון בדגי אמנון מצוי כדי להדביר זחלי יתושים. נמק המלצתם על סמך תוצאות הניסויים.
(ב) אמנון מצוי, בניגוד לעצנון, הוא מין מקומי החי במקווי מים בארץ. הסבר מהי החשיבות בבחירה במין מקומי להדברת זחלי יתושים:
1. למערכת האקולוגית,
 2. לעוסקים בהדברה. בתשובתך התייחס לגורם אחד החשוב למערכת האקולוגית, ולגורם אחד בעל חשיבות לעוסקים בהדברה.

הכרת בית גידול



השפעת גיזום חורש במרומי הכרמל על פריחת השושן הצחור¹



מאמר זה מתאר חלק ממחקר שנעשה בשמורת טבע בחורש במרומי הכרמל, ועוסק בצמח שושן צחור.

שמורת טבע היא אזור שבו נשמרים הנוף, הצמחים ובעלי החיים, והם מוגנים על פי חוק מפני שינויים בלתי רצויים. בשמורת טבע מוגנים בעלי חיים וצמחים מפני פגיעות (לרוב של בני האדם) כגון: ציד, קטיפת פרחי בר, עיבוד חקלאי, בנייה ותעשייה מזהמת.

השושן הצחור הוא צמח בר מוגן השייך למשפחת השושניים (Liliaceae), וידוע בשמו הלטיני: *Lilium candidum*. השושן מאכלס בתי גידול ייחודיים בחורש ובמצוקים, במפנים צפוניים ומערביים בכרמל, בגליל העליון ובמורדות החרמון. לצמח גבעול גבוה עם פרחים לבנים בוהקים וניחוח עדין ונעים. בטבע, הצמח פורח בחודשים מאי-יוני. בעבר סימל פרח זה את ישראל והיה מוטבע על מטבעות מהקדומים ביותר שהוטבעו בארץ (350 לפנה"ס).

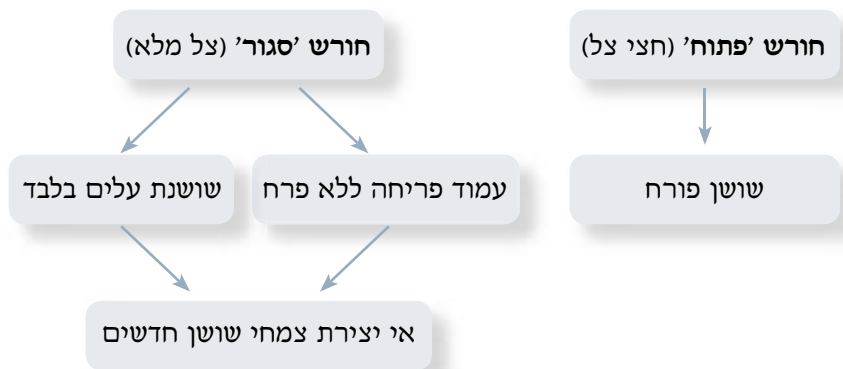
1 מעובד על פי: השפעת גיזום חורש במרומי הכרמל על פריחת השושן הצחור (*Lilium candidum*) מאת רם בוכניק, מרכז אקולוגי כרמל, שמורת הטבע נחל מערות, 2004, מסמך פנימי.

השושן זקוק לעוצמת קרינה הקרויה 'חצי צל'. בחורש סבוך שבו עוצמת הקרינה נמוכה מאוד, ובקרחות חורש שבהן עוצמת הקרינה גבוהה, הצמח אינו מצליח להשלים מחזור חיים ואינו מגיע לפריחה. בארץ השושן הצחור מצוי בסכנת הכחדה.

יש כמה גורמים התורמים להקטנת עוצמת הקרינה בחורש, תופעה הקרויה 'סגירת החורש', ולירידה במספר הפרטים של שושן צחור באזור הכרמל:

1. התפתחות חורש סבוך ויער רב שכבתי בכרמל.
2. פגיעות מתמשכות וארוכות שנים באיזון האקולוגי במרחב הכרמל, כגון: מדיניות ההפסקה המוחלטת של הרעייה באזורים נרחבים בכרמל, מאז הכרזת השמורה והפארק ב-1971, והפסקת דילול החורש על ידי כריתה.
3. הכחדת היונקים הצמחוניים הגדולים: יחמור פרסי - *dama mesopotamuca*, אייל כרמל - *Capreolus capreolus coxi*, בתחילת המאה ה-20. ייתכן שהיעלמותם השפיעה מעט על סגירת החורש.

תהליך דעיכת אוכלוסיות השושן הצחור באתרים שבהם נסגר החורש מתרחש בכמה שלבים המתוארים להלן:



עקב תהליכים אלה הולכים ומתרבים אתרים שבהם נצפית פגיעה קשה באוכלוסיית השושן, עד היעלמותה כליל, כגון במצוקי נחל יגור ובאתרים נוספים בכרמל.

כאמור, החורש בכרמל סבוך וחשוך, ורשות הטבע והגנים עורכת בשנים האחרונות תוכנית ל'פתיחת החורש' כדי לעודד את צמיחת פריחת השושן הצחור בבית הגידול שלו.

להלן תיאור מחקר שנעשה על ידי תלמידים, שביצעו עבודה אקולוגית בכרמל בהנחיית המרכז האקולוגי בנחל מערות.

מטרת המחקר הייתה לבחון את **הקשר בין עוצמת קרינה בחורש לפריחת השושן הצחור**. מתצפיות ראשונות התברר כי לא כל הצמחים הבוגרים באוכלוסייה פורחים, וכי יש צמחים המפתחים שושנות עלים גדולות (המעידות על בצל בוגר) אך אינם מגיעים לפריחה.

במחקר נבדקה השפעת גיזום מבוקר של החורש על עוצמת הקרינה המגיעה לקרקע, ועל מספר פרטי השושן הצחור המשלימים מחזור חיים: הנצה-שושנת עלים-עמוד תפרחת-פריחה-פירות-הפצה.

על מנת לבדוק את שאלת המחקר, השטח חולק לשלוש יחידות:

1. חורש טבעי דליל – ייקרא להלן: '**חורש פתוח**'.
2. חורש סבוך שעבר גיזום בשנת 2001 – ייקרא להלן '**חורש גזום**'.
3. חורש סבוך שעבר גיזום בשנת 2002 – ייקרא להלן '**חורש סבוך**'.

בחלקות שהן יחידות הניסוי 2 ו-3 נערך גיזום חלקי (לא יותר משליש מהנוף של העץ) אחד בלבד. התוצאה הישירה של שיטת הגיזום בחלקות הניסוי היא מניעת סגירת חורש מהירה זמן קצר לאחר הגיזום, אך למרות זאת הגיזום לא שינה את אופיו הבסיסי של השטח. כלומר, שטח סבוך במיוחד נותר סבוך מעט פחות לאחר הגיזום. לאחר הגיזום נותרו הבדלים בעוצמת הקרינה החודרת לקרקעית החורש בין השטחים שעברו גיזום בשנים השונות (יחידות 2, 3). התלמידים השוו בין מדדים ביוטיים וא־ביוטיים ביחידות השונות.

מדדים ביוטיים שנבדקו: חתכי צומח ומגוון מדדים הנוגעים לצמחי שושן צחור: מספר פרטים ליחידת שטח, מספר פרטים פורחים, גובה עמודי תפרחת, מספר פרחים ופירות לצמח.

מדד א-ביוטי שנבדק: עוצמת הקרינה.

להלן הצגה של חלק מתוצאות המחקר העיקריות:

בטבלה הבאה רשומים כלל פרטי השושן הצחור שנצפו בשטחי הדיגום השונים, תוך חלוקתם לבעלי שושנת עלים ועמוד תפרחת, ולבעלי שושנת עלים וחסרי עמוד תפרחת.

טבלה מס' 1:

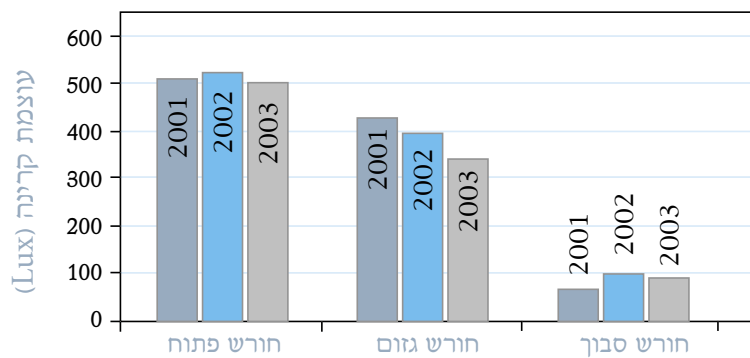
מספר פרטים של שושן צחור ביחס לשטח הדיגום ולשנות המדידה

חורש פתוח מספר פרטים			חורש גזום מספר פרטים			חורש סבוך מספר פרטים			שטח הדיגום שנה
סה"כ	שושנות עלים ועמודי תפרחת	שושנות עלים בלבד	סה"כ	שושנות עלים ועמודי תפרחת	שושנות עלים בלבד	סה"כ	שושנות עלים ועמודי תפרחת	שושנות עלים בלבד	
72	48	24	32	11	21	4	1	3	2001
92	54	38	50	36	14	7	5	2	2002
110	32	78	32	12	20	6	3	3	2003

המדידה נערכה בימי הפריחה (חודש מאי), והיא מאפשרת להבחין בין צמחים שהגיעו לידי פריחה (והם בעלי עמוד תפרחת), לבין אלה שלא הגיעו לפריחה. באיור הבא מוצגות תוצאות מדידת עוצמת הקרינה שנמדדה בשלוש יחידות השטח.

איור מס' 1:

עוצמת קרינה בשטחי הדיגום בין השנים 2001-2003





1. המחקר מבוסס על ניסוי שנערך בשטח, בבית הגידול הטבעי של השושן הצחור. בבחירת חלקות לביצוע המחקר כדאי להקפיד על כמה גורמים רלוונטיים שיהיו קבועים. ציין שני גורמים אשר חשוב שיהיו קבועים, והסבר מדוע חשוב שיהיו קבועים.
2. הגיאופיטים, שאליהם משתייך השושן הצחור, הם צמחים עשבוניים רב־שנתיים בעלי איברי אגירה תת־קרקעיים (בצל, פקעת, קנה שורש או שורשים מעובים). הסבר מהו היתרון של צורת חיים זו לאקלים בארץ. על פי התוצאות המוצגות בטבלה מס' 1: מה ניתן להסיק לגבי השפעת אופי החורש על כמות השושן הצחור בכל אחת מהשנים שבהן נערך המחקר?
4. במחקר זה נבדקה בין השאר השפעת גורם ביוטי על גורם א־ביוטי.
(א) ציין מהו הגורם הביוטי ומהו הגורם הא־ביוטי.
(ב) מה ניתן להסיק מתוצאות הבדיקה על השפעת הגורם הביוטי על הגורם הא־ביוטי?
5. מה ניתן להסיק מתוצאות המחקר, על הקשר בין הקרינה לבין הופעת השושן הצחור ופריחתו? נסח מסקנותיך באופן זהיר.
6. **קיימות כמה גישות לפתרון הבעיה של סגירת החורש:**
(א) מדיניות פסיבית ("לתת לטבע לעשות את שלו"). התוצאה בשטח היא סגירת החורש והשתלטות השיחים הגבוהים על חשבון השיחים הנמוכים ומרבית הצומח העשבוני, כולל גיאופיטים כמו השושן הצחור.
(ב) מדיניות אקטיבית, שפירושה התערבות, לדוגמה: גיזום ודילול, שילוב רעיית עזים, שרפות יזומות במידת הצורך.
הבא טיעון אחד בעד וטיעון אחד נגד הגישה האקטיבית.

מקורות נוספים

פרובולוצקי, א; לחמן, א; פולק, ג. (1992) ממשק החורש היס-תיכוני. יד הנדיב, החברה להגנת הטבע.
<http://lib.cet.ac.il/Pages/item.asp?item=2160>

עוז, א; דפני, א. (1991) השפעת פתיחת החורש על משטר הפריחה של השושן הצחור בכרמל. מתוך: כנס מחקרי כרמל II כנס רב-תחומי על מחקרים באזור הכרמל. הוצאת המכון לחקר חיפה והגליל בשיתוף עם המרכז לחקר ארץ ישראל ויישובה של יד יצחק בן צבי.

המכון לחקר חיפה והגליל בשיתוף עם המרכז לחקר ארץ ישראל ויישובה של יד יצחק בן צבי: כנס מחקרי כרמל, חיפה 4.6.1991.

ים המלח – האומנם ים המוות?¹



מבוא

ים המלח שובר שיאי עולם: הוא נמצא בשקע עמוק במקום הנמוך ביותר בעולם (כ-400 מטר מתחת לפני הים) והוא גם מאגר המים הגדול המלווה ביותר בעולם. מליחות המים בים המלח גבוהה פי 10 מזאת האופיינית לימים גדולים ולאוקיאנוסים (ריכוז המלחים בים המלח 34% ובים התיכון – 3.5%).

ים המלח הוא אתר מיוחד וחשוב; מימיו משמשים לתעשייה (הפקת מינרלים), וכן לתיירות נופש ומרפא (מעיינות חמים, בוץ ומים עם סגולות מרפא); בקרבתו אתרים רבים בעלי חשיבות תרבותית-היסטורית כמו מצדה והמערות שבהן נתגלו המגילות הגנוזות, וסביבתו משמשת בית גידול לצמחים ולבעלי חיים ייחודיים. אף כי יש המכנים את ים המלח 'ים המוות' חיים בו יצורים שהם חלק ממערכת אקולוגית מיוחדת ובה נרחיב במאמר זה.

במשך אלפי שנות קיומו השתנה מפלס המים בים המלח באופן קיצוני (הים התייבש והוצף לסירוגין). בעוד בתחילת המאה ה-20 הגיע מפלס ים המלח לשיא, הרי שבשלושים השנים האחרונות ירד המפלס בכ-25 מטר, ולאחרונה אף הוא קצב הירידה במפלס. המפלס יורד בהתמדה, במידה רבה בעקבות פעילות האדם

1 עובד על פי כמה מקורות, כמפורט בסוף המאמר.

סביבו: ניצול תעשייתי ארוך שנים, בעיקר על ידי מפעלי ים המלח המפיקים מינרלים ממימיו; מיעוט של משקעים באזור וצמצום ניכר בכמות המים המגיעה לים המלח מנהר הירדן: כיום רק 10% ממי הירדן מגיעים לים המלח והשאר מנוצלים להשקיה ולשימושים אחרים של האוכלוסייה לאורך הירדן. ירידת מפלס מי הים גרמה ליצירת בורות מסוכנים ('בולענים') באזור ולפגיעה בתעשייה, בתיירות ובמערכת האקולוגית המורכבת והמיוחדת בים המלח. פגיעה נוספת נגרמת כתוצאה מהזרמה של מי ביוב ביתי ותעשייתי אל ים המלח.

בשנות ה-70 של המאה ה-20 גובשה תוכנית לביצוע 'תעלת הימים', שאמורה הייתה להזרים מים מהים התיכון לים המלח, אך מכל מיני סיבות היא לא יצאה לפועל. באחרונה מתרקם פרויקט 'מוביל השלום', פרויקט משותף לישראל ולירדן, שמטרתו הצלת ים המלח. בפרויקט יוזרמו מי ים סוף לים המלח באמצעות תעלה או צינור. הפרויקט יתבצע רק לאחר שייערך סקר מקיף לבחינת ההשפעות הסביבתיות על האזור שבו תעבור התעלה, ועל ים המלח. יש טוענים שבעקבות כניסת מי ים סוף תיווצר בשכבה העליונה של ים המלח שכבה של מים בעלי הרכב מלחים שונה מזה הקיים במי ים המלח. עקב כך ייפגעו סגולות המרפא של הים: על פני הים עלולה להצטבר שכבה של מלחים קשיי תמס ואפשר שתופיע 'פריחה'² אדומה, שהיא בעיקר תוצאה של התרבות אצות המכילות צבענים אדומים. תהליכים אלה עלולים לפגוע בתיירות הנופש והמרפא בים המלח.

קודם להבנת השפעות אפשריות של פרויקט 'מוביל השלום' על החיים בים המלח, חשוב להכיר את בית הגידול המיוחד הזה – בית גידול שהתנאים בו קיצוניים: מליחות גבוהה מאוד, ריכוז גבוה במיוחד של יונים מסוימים – בעיקר מגנזיום וסידן, טמפרטורה גבוהה (עד 35 מעלות על פני השטח) ועוצמת קרינה חזקה. תנאים אלה מאפשרים רק ליצורים בעלי התאמות מיוחדות להתקיים במי ים המלח.

2 'פריחה' – הכוונה היא רק לשגשוג ולהתרבות האצות, בלי כל קשר לפרחים, כמובן, שכן האצות הן צמחים חסרי פרחים.

חייב זיב המוות

ים המוות' הוא כינוי שניתן לים המלח בעבר, כשסברו שאין מתקיימים בו חיים. כבר בשנת 1936, בפרסומו של החוקר בנימין אלעזרי וולקני, דווח כי בים המלח מתקיימים מיקרואורגניזמים ייחודיים המסוגלים להתקיים בריכוז מלחים הגבוה ביותר בעולם: אצה ירוקית וכמה מיני חיידקים אדומים אירוביים ואנאירוביים הלופיליים³ או הלוטוֹלְרָנְטִיים⁴. תוארו גם חד-תאיים כגון אמבות וריסניות, ובאחרונה הוזכרו גם פטריות הלופיליות והלוטולרנטיות. כיום, בעקבות הרעת תנאי הגידול בים (תהליך הייבוש ועלייה בריכוז המלחים) מספר המינים שניתן למצוא בו קטן מזה שהיה בעבר.

המיקרואורגניזמים המתוארים בהמשך הם חלק מהיצורים המתקיימים בים המלח ולהם התאמות מיוחדות לחיים בתנאים הקשים השוררים בו.

האצה החד-תאית דונליאלה (Dunaliella parva)

אצה פוטו-אוטוטרופית, שמצויה בריכוז גבוה בעיקר בשכבה העליונה של המים ('מי השטח'). הדונליאלה זקוקה לגידולה למלחי חנקן, גופרית וזרחן. תרכובות חנקן וגופרית קיימות במי ים המלח בשפע, ותרכובות זרחן מוזרמות אליו במי שיטפונות. תאיה של הדונליאלה הם בעלי דופן לא קשיחה, ולכן התאים מסוגלים לקלוט מים ולאבד מים ולשנות את נפחם לפי התנאים האוסמוטיים במים. בתאי האצה נוצר ונאגר גליצרול⁵ בריכוז גבוה, אך הוא אינו פוגע בתהליכים המתקיימים בתא. הגליצרול שבמי הים מקורו בתאי

- 3 הלופיליים = 'אוהבים מלח' (הלו-מלח, פילי-אוהב), חיידקים הגדלים רק בנוכחות ריכוזים גבוהים של מלח.
- 4 הלוטוֹלְרָנְטִיים = 'סובלניים למלח' (הלו-מלח, טולרנטי-סובלני), חיידקים שיכולים להתקיים בנוכחות ריכוזי גבוהים של מלח, אף שאלה אינם תנאים אופטימליים לגידולם.
- 5 גליצרול = תרכובת אורגנית הבנויה משרשרת של שלושה אטומי פחמן ומסיסה במים.

האצה דונליאלה, מיעוטו נובע מדליפת החומר מהתאים החיים ורובו מתאים מתים של האצות. האצה מסוגלת להתקיים בתחום רחב של מליחיות, הודות לשינויים בריכוז הגליצרול בתאיה והדופן הלא-קשיחה של התא. כשהמליחות בים המלח הופכת לגבוהה מדי לקיומה של הדונליאלה, נעלמים תאיה במהירות ממימי הים, ובד בבד נוצרים תאים בעלי דופן עבה, המסוגלים לשרוד תקופות ממושכות במצב לא פעיל, עד לזמן שבו שוב מתאימים התנאים להתרבות האצה. תאים אלה השוקעים לתחתית הים נקראים 'תאי-קיימא'. כשהתנאים בבית הגידול מתאימים לכך מתפתחים תאי-קיימא לאצות. הודות לחומרים המצויים בתאיה נחשבת האצה לבעלת סגולות מיוחדות, ולפיכך נעשה בה שימוש בתעשיית התמרוקים.

החיידק הֶלורוברום סודומנְסִי (Halorubrum sodomense)

החיידק שייך לקבוצת **חיידקים אירוביים** הלופיליים. חיידק זה וחיידקים נוספים שבודדו מים המלח הם הטרוטרופיים, וגם הם מאכלסים בעיקר את השכבות העליונות של מי ים המלח. בתנאי גידול מסוימים מייצר ההלורוברום חלבון סגול, שבאמצעותו יכול החיידק לנצל את אור השמש כמקור אנרגיה. החיידקים ההלופיליים **זקוקים** לריכוז גבוה של יוני מגנזיום במים. אף על פי שחיידקים אלה חיים רק בסביבה שבה ריכוזי המלח גבוהים מאוד, יכולתם להסתגל לשינויים במליחות הסביבה מוגבלת. צבירת מלח (בעיקר אשלגן כלוריד – KCl) בתאים, בריכוז דומה ואף גבוה יותר מזה שבמי ים המלח, מאפשרת לחיידקים אלה לשמור על הלחץ האוסמוטי בתאיהם. חלבוניהם של החיידקים הם בעלי מבנה מיוחד, המקנה להם יציבות בריכוזים גבוהים של מלח.

השפעת הגורמים הא-ביוטיים על קיום החיים בים המלח

שינוי בריכוז המלחים במים

בעקבות כניסת מי גשמים ושיטפונות

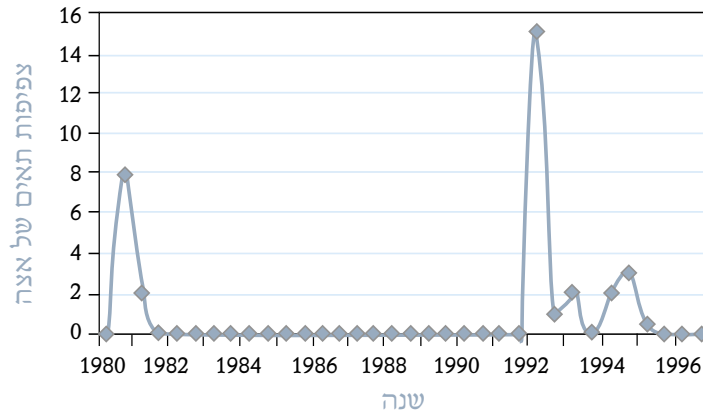
עד לשנת 1979 היה ים המלח גוף מים משוכב – עשוי משלוש שכבות מים נפרדות, שבכל אחת מהן ריכוז שונה של מלח. השכבות נוצרו בעקבות הבדלים בצפיפות המים: צפיפות נמוכה בשכבת 'מי השטח' העליונה (40 מ' עליונים) – המלוחה פחות, צפיפות שעולה באופן הדרגתי בשכבת המעבר (בעומק של 40-80 מ') וצפיפות גבוהה בשכבה העמוקה (עומק גדול מ-80 מ') והמלוחה ביותר. בגלל האידוי הרב והירידה המתמדת במפלס הים, עלתה במשך השנים מליחותה של שכבת המים העליונה, עד שבפברואר 1979 הגיעה מליחות מי השטח לערך כה גבוה שהשתווה לזה של מי העומק, ועקב כך נוצר גוף מים בלי שכבות, שאין בו הבדל משמעותי בין ריכוז המלחים בעומקים שונים.

כמות מי הגשמים והשיטפונות המגיעה לים המלח שונה בכל שנה. בדרך כלל מי הים מלוחים מאוד (כ-340 גרם מלחים לליטר), אולם, בחורף גשום מהרגיל, כאשר מגיעים לים מי שיטפונות רבים (כמו לאחר החורפים הגשומים במיוחד בשנים 1980 ו-1991-1992) נוצר שוב שיכוב. עם חלוף הזמן, בעקבות אידוי רב ועליית ריכוז המלחים בשכבה העליונה של המים, השיכוב המחודש של מי ים המלח נעלם.

בדיגומים שיטתיים, שנערכו במי ים המלח החל מסוף 1979, נבדק גודל אוכלוסיות המיקרואורגניזמים בזמנים שונים ובעומקים שונים במים. התברר שים המלח הוא בית גידול דינאמי ביותר, שחלים בו שינויים גדולים ומהירים בצפיפות אוכלוסיות האצות והחיידיקים, והיא משתנה משנה לשנה, כפי שמוצג בעקומים הבאים (איורים 1, 2):

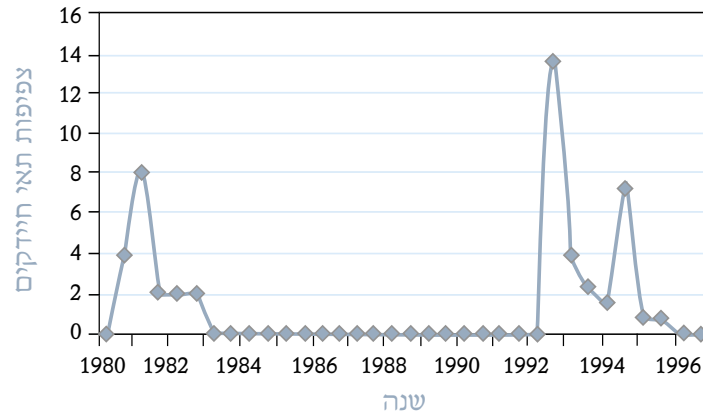
איור מס' 1:

**צפיפות אוכלוסיית האצה החד-תאית דונוליאלה
בשכבות העליונות (מי שטח') של ים המלח
בשנים 1980-1997**



איור מס' 2:

**צפיפות אוכלוסיית כלל החיידקים ההלופיליים
בשכבות העליונות (מי שטח') של ים המלח
בשנים 1980-1997**



- ◆ צפיפות אוכלוסיית האצה מבוטאת במספר תאים למיליליטר $\times 10^8$
- ◆ צפיפות אוכלוסיות החיידקים מבוטאת במספר תאים למיליליטר $\times 10^6$
- ◆ בשנים 1984-1991 מספר האורגניזמים שנמדדו בשכבות העליונות בים המלח היה נמוך ביותר.

השפעת השינוי ביוני מגנזיום וסידן במים

קיומם של חיים בים המלח תלוי לא רק במליחות הכללית, אלא גם בהרכב המלחים וביחסים בין היונים השונים במים. בים המלח הרכב המלחים ייחודי: מי הים עשירים ביוני מגנזיום וסידן בהשוואה למקווי מים מלוחים אחרים. לדוגמה: מלחי הסידן תופסים 14% מכלל המלחים בים המלח ומלחי המגנזיום – 41%, ואילו בים התיכון מלחי הסידן תופסים 3.3% מכלל המלחים ומלחי המגנזיום – 17%.

מיקרואורגניזמים מצליחים להתקיים בים המלח, אף כי זו אינה סביבת החיים המיטבית להתפתחותם. הם מתפתחים טוב יותר ברמות מליחות ובריכוזים של יוני מגנזיום וסידן נמוכים בהרבה מאלה המצויים בים המלח, והעלייה ההדרגתית בריכוזי יונים אלה במי הים מקשה מאוד על קיומם בו. דוגמה לעלייה בריכוזם של יוני המגנזיום בעקבות התייבשות וירידת המפלס של ים המלח, מופיעה בטבלה הבאה.

טבלה מס' 1:

ריכוז יוני מגנזיום (מולריות M) במי ים המלח בעומקים שונים ובשנים שונות

ריכוז יוני מגנזיום (מולריות M)		שנה
ב'מי עומק'	ב'מי שטח'	
1.79	1.49	1959-60
1.81	1.77	1975-60
1.81	1.54	אביב 1980
1.84	1.30	אביב 1992
1.89	1.89	1996

כפי שניתן לראות בתוצאות ניסוי המעבדה המתואר באיור מס' 2, החיידקים המותאמים ביותר לחיים בריכוזים גבוהים של מגנזיום (כמו החיידקים הלורוברום סודומנסי והלופרקס וולקני) גדלים בצורה אופטימלית בריכוזים של מגנזיום הנמוכים בהרבה מהריכוזים המצויים היום בים המלח.

בניסוי זה, שני מיני החיידקים גדלו בתרביות נפרדות (בלי מיקרואורגניזמים אחרים בתרבית הגידול). כל מין של חיידק גדל בכמה תרביות, שבכל אחת מהן ריכוז שונה של יון המגנזיום (שאר תנאי הגידול היו זהים בטיפולים השונים). קצב הגידול של כל מין חיידק נקבע באופן יחסי לקצב הגידול שלו בתנאים אופטימליים (הקצב בתנאים האופטימליים נקבע כ-100%).

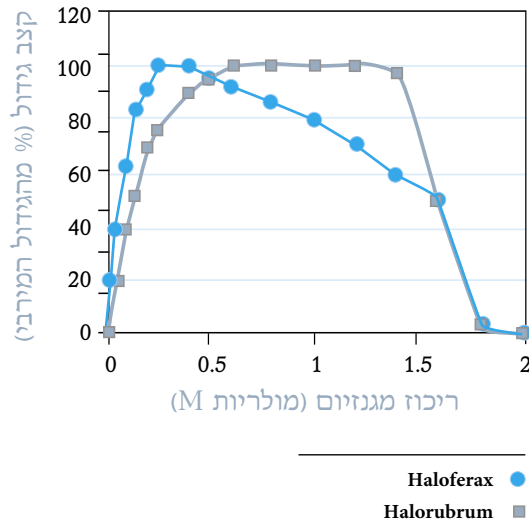
איור מס' 3:

● קצב הגידול של החיידקים *Haloferax volcanii*

■ *Halorubrum sodomense*

בתלות בריכוז יוני המגנזיום במצע הגידול

(קצב הגידול חושב כאחוז מהגידול המרבי)



מחקר מפורט לגבי העמידות של זני דונליאלה שונים לריכוזים של מגנזיום עדיין לא בוצע, אך תצפיות שדה רומזות על כך שהאצה דונליאלה עמידה פחות לריכוזי מלחים גבוהים (ובמיוחד לריכוזים גבוהים של סידן ומגנזיום) בהשוואה לחיידקים הלורוברום והלופְּרָקְס.

המחקרים המוצגים כאן מדגימים את השפעתם של שני גורמים א־ביוטיים: ריכוז כלל המלחים וריכוז יון המגנזיום על מיקרואורגניזמים החיים במערכת אקולוגית מיוחדת מאוד – ים המלח, שנחשב בעבר ל'ים המוות'. האם ימשיכו להתקיים בו חיים מיוחדים?

אם תימשך ירידת המפלס של הים, ייתכן שיגיע יום ש'ים המוות' אכן יהיה שם הולם – התנאים שישררו בו לא יאפשרו עוד את קיומם של היצורים שעדיין קיימים בו.

יש לקוות שכל הגופים המעורבים בקבלת החלטות הנוגעות לעתידו של ים המלח יבדקו בקפידה את ההשלכות הצפויות של הפרויקט שיוציאו אל הפועל, שכן ים המלח הוא אתר טבע וסביבת חיים ייחודית, מקור חשוב למשאבי טבע ואתר תיירות חשוב לישראל ולירדן, ואולי לעולם כולו.



1. (א) מהי הסיבה לכך שמספר המינים החיים היום בים המלח קטן בהשוואה למספר המינים שחיו בו בעבר?
(ב) מדוע התחזית לעתידם של המינים החיים היום בים המלח אינה מעודדת?
2. מנה שתי התאמות של החיידק הלורוברום סודומנסי והסבר את חשיבותה של כל התאמה לקיומו של החיידק בים המלח.
3. (א) האצה דונליאלה מצויה בריכוז גבוה בעיקר בשכבה העליונה של המים בים המלח ("מי שטח"). מהם התנאים האביוטיים (פרט לכמות אור רבה) המאפשרים את התרבות האצה בשכבת מי השטח?
(ב) הסבר כיצד מותאמת האצה דונליאלה לתנאים האביוטיים בשכבת מי השטח.
4. אחת לכמה שנים משגשים מיקרואורגניזמים בים המלח. על פי איור 1 יש הבדל בזמן הופעתם של המיקרואורגניזמים: האצה דונליאלה מופיעה זמן קצר לפני הופעת החיידקים.
כיצד ניתן להסביר את סדר הופעתם של המיקרואורגניזמים בבית הגידול?
5. התייחס לניסוי שתוצאותיו מוצגות באיור 2 והשב על השאלות הבאות:
א. מהי הבקרה בניסוי?
ב. הסבר מדוע בחרו החוקרים לגדל כל מין של חיידק בתרבית נפרדת?
6. התבסס על הניסוי שתוצאותיו באיור 2 ועל הטבלה והשב על השאלות האלה:
(א) ציין 2 מסקנות אותן ניתן להסיק מהניסוי ובסס אותן על תוצאות הניסוי.
(ב) הערך את סיכוייהם של שני מיני החיידקים (הלורוברום והלופארקס) לשרוד במי ים המלח בעתיד. נמק תשובתך
(ג) הצע שני הסברים לכך שלא ניתן לקבוע בוודאות על פי ממצאי הניסוי, מה היה בשנים קודמות קצב הגידול של כל אחד ממיני החיידקים (הלופארקס והלורוברום) בתנאים הטבעיים בים המלח.

נוכד על פי:

אורן, א' (1981) צורות חיים בים המלח. מדע כ"ה: 84-91.

אורן, א' (1996) חיים בים המוות. גלילאו 18: 43-37.

ניב, ד', ק' א' אמרי, (בלי ציון שנה) ים המלח. מתוך 'מדבר יהודה וים המלח: קובץ מאמרים לכנס הי"ט של החברה להגנת הטבע'. אילן צ' (עורך). הוצאת החברה להגנת הטבע, בית ספר שדה על שם עמי אסף, עין גדי. עמ' 37-27.

פורת, ש', ד' טל (2002) 'להציל את ים המלח'. מסע אחר, 132: 76-70.

נהרי, ת' (23/10/02) מתגבש שיתוף פעולה ישראלי-ירדני להצלת ים המלח. וואלה חדשות

<http://news.walla.co.il/ts.cgi?tsscript=item&id=298018&path=22>

Armstrong, W. (1998) California's Pink Salt Lakes: A strange phenomenon caused by red halobacteria. <http://waynesword.palomar.edu/plsept98.htm>

Kipnis, V. (1995) Natural Therapy at The Dead Sea. <http://www.dsmor.co.il/therapy.html>.

Oren, A. (1999) Microbiological studies in the Dead Sea: future challenges toward the understanding of life at the limit of salt concentration. *Hydrobiologia* 405: 1-9.

Oren, A. (2000) Biological processes in the Dead Sea as influenced by short-term and long-term salinity changes. *Arch. Hydrobiol. Spec. Issues Advanc. Limnol.* 55: 531-542.

מהי הזמנה לחקר?¹



אחת המטרות בהוראת הביולוגיה פיתוח כישורים ורכישת מיומנויות על ידי התלמיד: "פיתוח חשיבה וגישה רציונלית: שיקול דעת, חשיבה יצירתית, חשיבה ביקורתית, נכונות לקבל נתונים כמות שהם ולהתייחס אליהם בצורה ביקורתית. יכולת הבחנה בין השערות לבין תיאוריות, בין הנחות להשערות, בין עובדות לבין השערות, בין סיבות לתוצאות, בין נתונים למסקנות. יכולת לנקוט עמדה מבוססת על נתונים, ראיות וטיעונים מנומקים; לשנות דעות על רקע נתונים חדשים; להסיק מסקנות ולנקוט עמדה עצמאית על רקע הנתונים בלי להיכנע לסמכות כלשהי.

פיתוח יכולת להבין מערך ניסוי מבוקר, על כל מרכיביו; הבנת מגבלותיו ויכולת לתכנן מערך כזה." להוראה ולמידה בדרך החקר ולהוראת המדע כחקר יש תרומה חשובה להשגת מטרות אלה.

הוראה ולמידה בדרך החקר, לפי Schwab (1963), היא **אסטרטגיה כללית**, שעל פיה הלומד מכיר בבעיה הנחקרת, מגדיר אותה ומחפש פתרון. אסטרטגיה זו ניתנת ללמידה ובשלב מאוחר יותר אף להעברה לבעיות מכל מיני סוגים. שיטת ההוראה והלמידה בדרך החקר משלבת פעילויות עם דיונים בכיתה בין התלמידים לבין המורה, ו/או עבודה עצמית של התלמידים תוך התנסות במיומנויות חקר ופיתוחן ההדרגתי באמצעות הפעילויות בכיתה, במעבדה

1 מתוך לקט הזמנה לחקר (למורה). נעה עפרת ורותי מנדלוביץ. המרכז להוראת המדעים, האוניברסיטה העברית בירושלים. 2000.

ובשדה. התלמיד הלומד בדרך החקר מפתח את מיומנויות החקר: זיהוי בעיות, ניסוח השערות, תכנון עבודה לפתרון הבעיות, ניתוח נתונים והסקת מסקנות.

הוראת המדע כחקר מאפשרת לתלמיד להיחשף לבעיות שהועלו במסגרת מחקרים, לניסויים שבוצעו, לנתונים שנמצאו, ולפירוש שניתן להם עד שהפכו לידע מדעי, כולל ספקות והפרכות של ידע מדעי קודם. בצורה זו התלמיד מקבל תמונה נאמנה יותר של המדע כחקר.

שילוב שתי הגישות מאפשר לסתור את התפיסה שהכול ידוע ושהמדע כולל אמיתות בלתי ניתנות לשינוי. אין מקבלים במדע שום הסבר כמובן מאליו, אלא שואלים ובודקים כל שאלה בדרכים מבוקרות.

להוראה וללמידה בדרך החקר יתרונות רבים:

- ◆ הגברת המוטיבציה של התלמיד;
- ◆ הגדלת העניין בלימודים;
- ◆ פיתוח מיומנויות אינטלקטואליות ועצמאות בעבודה;
- ◆ פיתוח חשיבה ביקורתית;
- ◆ פיתוח חשיבה יוצרת;
- ◆ לימוד גישה וטקטיקה של פתרון בעיות.

אחת הדרכים לפתח את מיומנויות החקר ולימוד המדע כחקר היא השימוש בהזמנה לחקר – Invitation to Inquire, שהוצעה על ידי שוואב. בהזמנות לחקר יש שילוב של אלמנט היסטורי וניסויים עדכניים, תוך הדגשת עקרונות החקר ותוך הפעלתו של התלמיד כחוקר. בהזמנה לחקר מוצגת בפני התלמיד בעיה ביולוגית והתלמידים, בהנחיית המורה ובהדרכתו, משתתפים באופן פעיל בהגדרת הבעיה, בחיפוש רעיונות לפתרון הבעיה, בניסוח היפותזות, בתכנון ניסוי, בניתוח נתונים שהתקבלו בניסויים, ובהסקת מסקנות. אפשר להשתמש בהזמנה לחקר כבסיס לדיון כיתתי או כתרגיל לקבוצת תלמידים.

הזמנה לחקר היא תמצית של חקר או שחזור חלקי של מחקר היכולים לשמש כתרגיל 'יבש' של חקר. הזמנות לחקר, המבוססות על מחקרים שנערכו בפועל, יכולות לתרום ללימוד ולהבנה של התפתחות הידע המדעי, ולעתים להכרת דרכי החשיבה של אנשי מדע.

מהם החומרים המתאימים לשימוש כהזמנה לחקר?

ניתן לעבד הזמנות לחקר ממבחר חומרים קיימים המופיעים במאמרים בכתבי עת, בספרי לימוד, בכתבה מהעיתון, ובסרט וידיאו, אך **תנאי מוקדם** לבחירת קטע שישמש לכתובת הזמנה לחקר הוא שיהיה בו **תיאור ניסוי ותוצאות של הניסוי**.

בנוסף, יש לבדוק:

1. האם יש בקטע שאלת מחקר ברורה?
2. האם הקטע מתאים לרמת הלימודים של אוכלוסיית היעד?
3. האם נדרש רקע מקדים של התלמידים לביצוע הפעילות מבחינת מיומנויות החקר ומבחינת ידע התכנים המדעיים?
4. האם ניתן להשיב על השאלות המופיעות בהזמנה במסגרת החומר הכתוב בקטע?
5. האם נושא הקטע ומילות המפתח מופיעים וקשורים לתוכנית הלימודים?

המלצה לדרך עבודה בכיתה

כל הזמנה מתחלקת לכמה חלקים והתלמיד מקבל כל חלק בנפרד. בכל חלק התלמיד/ים מתמודד עם כמה שאלות הקשורות למידע שסופק. חלק מן השאלות מתייחסות ישירות לתוכן הקטע, וחלקן מעודדות חשיבה. תלמיד או קבוצת תלמידים יענו על השאלות המוצגות בקטע בכתב או בעל פה, בהתאם להחלטת המורה. מומלץ שרק לאחר דיון בתשובות וסיום קטע אחד ייחשפו התלמידים לקטע הבא, וכך הלאה עד לסיום ההזמנה.

מאמרים נבחרים באקולוגיה בשפה הערבית

مقالات مختارة
في علم البيئة

