

התחממות הקרקע והשפעתה על גיוס נבטים של מעוצים פולשים: שיטה כחלחלה כצמח מודל

ע' כהן*, א' גיא, ג' ובר

המעבדה לצמחים פולשים, מכון שמיר למחקר, אוניברסיטת חיפה, קצרין

* פרטי התקשורת: odedic@gri.org.il

ת ק צ י ר

העלייה בתדירות ובעוצמה של גלי החום בעשרות השנים האחרונות נותנת את אותותיה גם בעלייה של טמפרטורת הקרקע. טמפרטורות גבוהות במיוחד נמדדות באקלים הים-תיכוני בבתי גידול מופרים, שבהם הקרקע חשופה לקרינה ישירה של השמש. מחקר זה ביקש לבחון את השפעת האינטראקציה שבין התחממות הקרקע לבין הפרעה בבית הגידול על פוטנציאל גיוס הנבטים של צמחים מעוצים פולשים, המתאפיינים בתרדמת זרעים פיזיקלית. צמח המודל במחקר זה הוא שיטה כחלחלה (*Acacia saligna*), הידוע כצמח מותאם לשרפות. במחקר נבחנו שתי השערות: (1) ערכי הטמפרטורה המתקבלים בקרקעות חשופות מעוררים את זרעי השיטה הכחלחלה מתרדמתם, ובכך מגדילים את פוטנציאל גיוס הנבטים בשטח; (2) התחממות הקרקע צפויה להעצים תופעה זו. הגישה המחקרית התבססה על חשיפת הזרעים לטיפול חום המייצגים את שכבת הקרקע העליונה (0.5 ס"מ) בתנאי קיץ רגילים ובתנאי חום קיצוניים. טיפולי החום נעשו בתנאים מבוקרים במעבדה. תוצאות מבחני ההנבטה לאחר טיפולי החום תומכים בשתי השערות המחקר: חשיפת זרעים לטמפרטורות המתקבלות בקרקעות חשופות מעודדת נביטה של הצמח הפולש בבתי גידול מופרים; והתחממות הקרקע צפויה להעצים את התופעה. תזמון שגשוג הנביטה של הצמח הפולש לזמן שבית הגידול חשוף ממתחרים, צפוי להגביר את הצלחת הפלישה של הצמח הפולש בסביבתו החדשה, כאמרה הידועה "תזמון הוא המפתח להצלחה".

מילות מפתח:

הפרעה

נביטה

צמחים פולשים

שינויי אקלים

תרדמת זרעים

Soil warming and its effect on seedling recruitment of woody invasive plants: *A. saligna* as a model plant

O. Cohen*, A. Guy, G. Veber

The Laboratory of Invasive Plants, Shamir Research Institute, Haifa University, Katzrin

* Corresponding author: odedic@gri.org.il

ABSTRACT

Keywords:
Disturbance
Climate change
Germination
Invasive plants
Seed dormancy

The increase in frequency and intensity of heat waves in the last decades is expressed also in soil warming. High extreme temperatures were recorded especially at disturbed bare soils, where the soil is exposed directly to sun radiation. The aim of the current research is to examine the interaction between soil warming and anthropogenic disturbance on the potential of seedling recruitment of those woody invasive plants characterized by physical dormant seeds. The model plant of the current research is *Acacia saligna*, which is known as fire adaptive plant. Two hypotheses were examined: (1) temperature values that occurred in bare soils break the dormancy of seeds, and thus increase the potential of seedling recruitment during colonization; (2) soil warming is projected to increase that trend. The research approach was based on exposing seeds to those fluctuating heat treatments achieved at bare soil during both normal summer conditions and extreme heat conditions. The fluctuating heat treatments were conducted at controlled conditions in laboratory. The results of germination tests following treatments support the two research hypotheses: *A. saligna* seeds that were exposed to summer fluctuating heat, which normally occurred at bare soil, were released from their dormancy; and that trend was significantly higher when exposing the seeds to extreme fluctuating treatments which represent soil heat waves. It could be assumed that the synchronization between seedling proliferation and the absence of competitors at the same time is expected to increase the colonization success of invasive plants in bare soils, like the old saying "timing is everything".

1. מבוא

מחקרים רבים דנו בהשפעתם של שינויי אקלים והפרעות על התבססות צמחים פולשים בסביבתם החדשה, אולם רק מחקרים מעטים יחסית התמקדו באינטראקציה שבין שני אותם גורמים. מכלל אלה רובם הוקדשו להשפעת האינטראקציה על גידול הצמחים ועל הישרדותם (לדוגמה, Orban et al., 2021), ומיעוטם בלבד חקרו את הדינמיקה של בנק הזרעים.

מטרת המחקר הנוכחי הייתה להעריך את השפעת האינטראקציה שבין שינויי אקלים ובין הפרעות על התחדשות של מעוצים פולשים ממשפחת הקטניות, בהתמקדות בדינמיקה של בנק הזרעים בקרקע ובתוצאה, שהיא יכולת גיוס הנבטים של הצמחים הפולשים בסביבתם החדשה. שתי ההשערות שהועלו הן אלה: (1) טמפרטורות קיץ המתקבלות בשטחים מופרים, שבהם הקרקע חשופה לקרינה ישירה של השמש, מעוררות תרדמת זרעים של צמחים פולשים המאופיינים בתרדמת זרעים פיזיקלית; התהליך מעצים את יכולת גיוס הנבטים של הצמחים הפולשים; (2) ריבוי גלי החום בקרקע צפוי להגביר תופעה זו. במחקר נעשה שימוש במין שיטה כחלחלה כצמח מודל. המין נמנה עם קבוצת עצי השיטה האוסטרליים הידועים בעולם כפולשניים (Wilson et al., 2011), והוא מותאם לתנאי שרפה (Cohen et al., 2018). התאמה זו באה לידי ביטוי ביכולת מרשימה של הצמח לגייס צאצאים חדשים בשטחים מוכי שרפות בעזרת ריבוי חוטרי גזע ושורש וריבוי עצום של נבטים, שמקורם בבנק הזרעים שבקרקע. הגישה המחקרית של המחקר הנוכחי מבוססת על מבחני הנבטה בתנאים של טיפולים תרמיים שונים, המייצגים טמפרטורות קרקע חשופה בתנאי קיץ רגילים, בהשוואה לאירועי חום קיצוניים במהלך הקיץ.

2. שיטות

מאות תרמילים בשלים של שיטה כחלחלה נאספו מעשרות עצי שיטה כחלחלה לאורך חופה המזרחי של הכינרת מחוף דגניה ועד חוף צאלון במהלך יוני 2018. בניסוי נעשה שימוש בזרעים שלמים, שצבעם חום כהה עד שחור, מלאים ועגלגלים.

נתוני הטמפרטורה של קרקע בזלתית חשופה לקרינה ישירה של השמש נמדדו ברציפות במהלך שלושת החודשים שמאמצע יוני ועד אמצע ספטמבר 2018. הנתונים נאספו מעומק 0.5 ס"מ בעזרת מערכת חיישנים CR800, המחוברת לחיישני טמפרטורה מסוג T. הנתונים נמדדו במרווחי זמן של 10 דקות ובשני אתרים המרוחקים 20 מ' זה מזה. הטמפרטורה הימתית הממוצעת נקבעה בהסתמך על הנתונים משני החיישנים, ושימשה בסיס לקביעת הטמפרטורות בניסויי המעבדה. זרעים של שיטה כחלחלה הוכנסו לתוך מבחנות אטומות למים המכילות חול יבש, כ-30 זרעים במבחנה. הזרעים נחשפו לשלושה סוגי טיפולים: טמפרטורת החדר (25 מ"צ), משרעת ימתית ממוצעת (להלן טיפול חום סטנדרטי) ומשרעת ימתית ממוצעת + שתי סטיות תקן, והיא מייצגת מצב של גל חום בקרקע (להלן טיפול חום קיצוני). כל טיפול טמפרטורה בוצע על שלוש מבחנות זרעים. טיפולי החום נעשו בעזרת אמבטי מים המחוברים למערכת ארדואינו (Arduino Mega 2560), רכיב אלקטרוני המבוסס על תוכנת רשת פתוחה, ומאפשר לווסת בו-זמנית כמה טיפולים של טמפרטורה ימתית (Greenspan et al., 2016). המבחנות הושרו באמבטי החום למשך שמונה ימים רצופים. עם

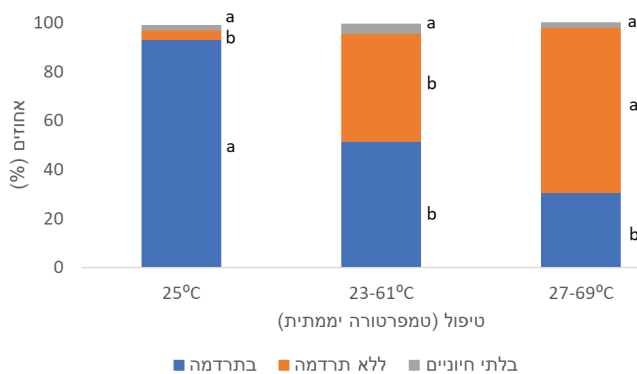
התחממות פני השטח בים וביבשה היא מרכיב מרכזי בשינויי האקלים. בעוד הטמפרטורה הגלובלית של הים עלתה בשנת 2018 ב-0.8 מ"צ (מעלות צלזיוס) ביחס לממוצע הטמפרטורות לתקופה שבין 1880 ל-1920, עלתה הטמפרטורה הגלובלית של היבשה כפליים מכך – ב-1.6 מ"צ (Hansen et al., 2019). טמפרטורת פני השטח הממוצעת לים וליבשה בכל אחת מהשנים שבין 2001 ל-2018 הייתה גבוהה בהשוואה לארבעים השנים מאז (Blunden and Arndt, 2019). שינויי הטמפרטורה בפני השטח אינם אחידים, ויש שונות הן בין אזורים גאוגרפיים נבדלים והן בתוך כל אזור, כתלות בכסות הקרקע (Edmondson et al., 2016). בתי גידול המתאפיינים בקרקעות חשופות הם הרגישים ביותר לאירועי קיצון של גלי חום בקרקע (Mildrexler et al., 2011). קרקעות נחשפות לקרינה ישירה של השמש בשל פגיעה בכסות הצומח באקלים החצי יובשני ובאקלים הים-תיכוני של הארץ, וסיבת הפגיעה היא הפרעות אנתרופוגניות, הכוללות שרפה, רעייה, הדברה ופעולות הנדסיות.

הפרעות אנתרופוגניות ידועות כגורם המעודד פלישה של צמחים זרים (Burke and Grime, 1996). ההנחה המקובלת היא שהפרעה מפחיתה את צריכת המשאבים בקרקע. בכך היא מעלה את זמינות המשאבים הבלתי מנוצלים בבית הגידול וכתוצאה מכך את רגישותו לפלישת צמחים זרים. הצלחתם של הצמחים הפולשים להתנחל בבתי גידול חדשים תלויה לא רק במידת הרגישות של בתי הגידול לפלישה, אלא גם ביכולתם של המינים הפולשים לגייס צאצאים, לרוב נבטים, בבתי הגידול המופרים וביכולתם של הצאצאים לשרוד ולהתפתח.

גיוס נבטים מתחיל בהפצת זרעים. מסיבה זו לחץ ההפצה של הצמחים הפולשים הוא גורם חשוב הקובע את הצלחת הפלישה שלהם בסביבתם החדשה (D'Antonio et al., 2001). אולם ההפצה אינה הגורם החשוב היחיד; יש חשיבות גם למצב תרדמת הזרעים. תרדמה היא מנגנון המעכב נביטה בזרעים אפילו בחשיפה לתנאי נביטה מיטביים. כאמור לחץ ההפצה אינו הגורם היחיד המשפיע על גיוס נבטים בבתי גידול מופרים, על מנת שתתרחש נביטה נדרשים תנאים סביבתיים ספציפיים, המשחררים את הזרעים מתרדמתם (van Klinken et al., 2013).

מבין הצמחים המעוצים הפולשים בישראל בולטת קבוצת הקטניות. צמחים ממשפחה זו הם כמחצית (עשרה מינים) מכלל המעוצים הפולשים בישראל (דופור-דרור, 2019). בקבוצה נכללים צמח כחלחל (*Leucaena leucocephala*), פרקינסוניה שיכנית (*Parkinsonia aculeata*), רוביניה בת-שיטה (*Robinia pseudoacacia*) ומיני שיטה אוסטרליים. צמחים ממשפחת הקטניות מאופיינים בתרדמת זרעים פיזיקלית הנובעת מהעובדה שקליפת הזרע קשה ואטימה למים. פגיעה באטימות קליפת הזרע בעקבות חשיפה לטמפרטורות גבוהות או שינויי טמפרטורה קיצוניים מאפשרת חזירה של מים לזרעים, ובכך מעוררת אותם מתרדמתם (Baskin, 2003). כל עוד קליפת הזרע שלמה, נשמרים הזרעים בקרקע חיוניים ורדומים, ומצטברים ל"בנק הזרעים". בנק הזרעים הוא מנגנון חשוב בהפצת הזרעים בזמן התחדשות הצמחים באתרם לאחר התרחשות אירוע אסוני (Christoffeleti et al., 1998). ההבנה של יחסי הגומלין השרורים בין שינויי אקלים להפרעות אנתרופוגניות ושל השפעתם על החברות הביולוגיות היא אתגר מדעי.

שיעור תרדמת הזרעים בקבוצת הביקורת (25 מ"צ) היה 92% (איור 2, טבלה 1). חשיפת הזרעים לטיפול חום סטנדרטי הפחיתה את שיעור התרדמה ב-41%, וחשיפתם לטיפול חום קיצוני הפחיתה את שיעור התרדמה ב-16% נוספים. שיעור התרדמה בטיפול הביקורת היה גבוה במובהק בהשוואה לשני הטיפולים האחרים, שלא נמצא ביניהם הבדל מובהק. שיעור הזרעים שאינם בתרדמה בקבוצת הביקורת היה 4%. שיעור זה גדל ב-42% בטיפול החום הסטנדרטי וב-22% נוספים בטיפול החום הקיצוני. שיעור הזרעים שאינם בתרדמה היה גבוה במובהק בטיפול חום קיצוני בהשוואה לשני הטיפולים האחרים, שההבדל ביניהם לא היה מובהק. שיעור הזרעים שאינם חיוניים היה נמוך מ-5% בכל הטיפולים, וללא הבדל מובהק ביניהם.



איור 2: השפעת טיפולי חום על המצב המורפופיזיולוגי של זרעים: זרעים ללא תרדמה, זרעים בתרדמה וזרעים בלתי חיוניים. הטיפול 25 מ"צ מייצג את טמפרטורת החדר, כלומר את מצבם של הזרעים ללא טיפולי חום. טיפולי החום מבוססים על נתוני הטמפרטורה באיור 1 לעומק של 0.5 ס"מ בעומק הקרקע. הטיפול 23-61 מ"צ מייצג משרעת טמפרטורה יממתית ממוצעת במהלך הקיץ, ואילו הטיפול 27-69 מ"צ מייצג מצב קיצון של גלי חום (+2 ס"מ). ממוצעים ללא אות לועזית משותפת שונים במובהק לפי מבחן Tukey, 0.05, כמתואר בטבלה 1

טבלה 1: ממצאי ANOVA בפלטפורמת Tukey's test 0.05, להשוואת טיפולי חום על המצב המורפופיזיולוגי של הזרעים: זרעים ללא תרדמה, זרעים בתרדמה וזרעים בלתי חיוניים. הטיפול 25 מ"צ מייצג את טמפרטורת החדר, כלומר את מצבם של הזרעים ללא טיפולי חום. טיפולי החום מבוססים על נתוני הטמפרטורה באיור 1 לעומק של 0.5 ס"מ בעומק הקרקע. הטיפול 23-61 מ"צ מייצג משרעת טמפרטורה יממתית ממוצעת במהלך הקיץ, ואילו הטיפול 27-69 מ"צ מייצג מצב קיצון של גלי חום (+2 ס"מ)

מובהקות	מגמה בין טיפולים	קטגוריה
0.0001<	27-69°C > 25°C	בתרדמה
0.0001	23-61°C > 25°C	
0.1284	27-69°C ≥ 23-61°C	
0.0034	27-69°C < 25°C	ללא תרדמה
0.0371	27-69°C < 23-61°C	
0.137	25°C ≤ 23-61°C	
0.5662	27-69°C ≥ 25°C	בלתי חיוניים
0.7661	23-61°C ≤ 25°C	
0.9333	27-69°C ≥ 23-61°C	

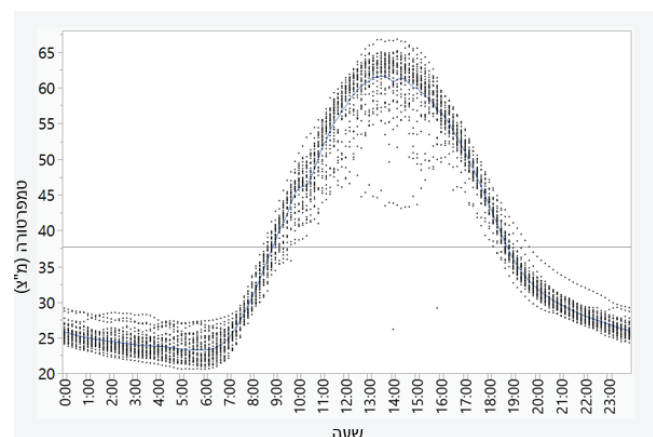
הוצאת המבחנות נופו הזרעים מהחול, ומצבם המורפופיזיולוגי נבדק בעזרת מבחני הנבטה.

השפעת טיפולי החום על המצב המורפופיזיולוגי של הזרעים נלמדה באמצעות מבחן הנבטה מקובל, הכולל שני שלבים עוקבים (Cohen et al., 2019). בשלב הראשון הונבטו הזרעים בניירות הנבטה ללא טיפול מקדים, בקליפת הזרע ולמשך 20 יום בתנאים של חדר צימוח (23 מ"צ). קליפת הזרע של הזרעים שנתרו שלמים בסוף פרק ההנבטה הראשון צולקה בסכין, והזרעים הוחזרו לניירות הנבטה לפרק זמן נוסף, הוא השלב השני. מדי כמה ימים נספרו הנבטים בשני מבחני הנבטה והוצאו מניירות הנבטה. כמו כן זרעים מאולחים בפטריות (שאינם חיוניים), נספרו והוצאו אף הם מהניירות. בסיום מבחני הנבטה סווגו הזרעים לשלוש קבוצות: זרעים שנבטו במבחן ההנבטה הראשון נחשבו לזרעים חיוניים שאינם בתרדמה; זרעים שנבטו במבחן ההנבטה השני נחשבו לזרעים חיוניים בתרדמה; וזרעים שלא נבטו באף לא אחד משני מבחני ההנבטה נחשבו לבלתי חיוניים.

ניתוח סטטיסטי נעשה בתוכנת JMP 15. השוואת ממוצעים נעשתה במבחן ANOVA חד-גורמי בפלטפורמת מבחן Tukey ובנפרד לכל אחד משלושת המצבים המורפופיזיולוגיים של הזרעים: זרעים ללא תרדמה, זרעים בתרדמה וזרעים בלתי חיוניים. הערכים באחוזים עברו טרנספורמציה Arcsin.

3. תוצאות

הטמפרטורה היממתית הממוצעת בעומק 0.5 ס"מ בקרקע בזלתית באזור קצרין (איור 1) נעה בטווח שבין 23 מ"צ (שעה 06:30) ל-62 מ"צ (שעה 13:00). טמפרטורת המינימום שנמדדה במהלך שלושת חודשי המדידה הייתה 21 מ"צ, ואילו הטמפרטורה הגבוהה ביותר הייתה 68 מ"צ. בהתבסס על נתונים אלה כוילו טיפולי החום לטיפול חום סטנדרטי ולטיפול חום קיצוני (+2 ס"מ).



איור 1: השתנות הטמפרטורה היממתית במהלך היממה. נקודות מציינות תצפיות; קו אפור מצוין את ממוצע הטמפרטורה לכל פרק זמן המדידות; קו כחול מצוין את ממוצע הטמפרטורה לכל זמן במהלך היממה. הטמפרטורות נמדדו בתקופה שבין אמצע יוני לאמצע ספטמבר 2018, ברווחי זמן של 10 דקות בין תצפית לתצפית

צפויים להיות רלוונטיים לגביהם, אפשר למנות את שיטת עלי-ערבה (*Acacia arevensis*), שיטת ויקטוריה (*Acacia victoria*), צחר כחלהל (*Leucaena leucocephala*) ופרקינסוניה שיכנית (*Parkinsonia aculeata*).

החידוש במחקר הנוכחי הוא שתוצאותיו תומכות גם בהשערת המחקר השנייה, שלפיה ריבוי גלי החום בקרקע צפוי להגביר את יכולת גיוס הצאצאים של הצמחים הפולשים אף יותר. נציין שלפי תצפיותינו (טרם פורסם), משרעת הטמפרטורה המייצגת במחקר זה את טיפול החום הקיצוני, נמדדה בעבר באזורים שונים המתאפיינים בקרקעות כהות בצפונה של הארץ, בקצרין ובאלמגור. עוד נציין שערכי הטמפרטורות של טיפול החום הסטנדרטי שנמדדו במחקר זה, אף הם גבוהים יחסית לרוב אזורי הארץ, ומייצגים ערכים של גלי חום בקרקעות בהירות יותר. לאור זאת אפשר להניח שריבוי גלי החום בקרקע צפוי לעודד את פוטנציאל גיוס הנבטים במגוון רחב של קרקעות מופרות.

לסיכום, התחממות הקרקע כתוצאה משינויי אקלים צפויה להגביר את פוטנציאל גיוס הנבטים של צמחים פולשים, המאופיינים בתרדמה פיזיקלית בבתי גידול מופרים, שבהם הקרקע חשופה לקרינת שמש ישירה. הגברת הנביטה במקום הנכון ובזמן הנכון, כלומר בבית גידול חשוף ממתחרים, צפויה לשפר את הצלחת ההתנחלות וההתבססות של הצמחים הפולשים בסביבתם החדשה, וכבר נאמר ש"תזמון הוא המפתח להצלחה". עוד נציין שצמחיות החורש ובתת הספר הים-תיכוניות כוללות אף הן רשימת מעוצים מקומיים המאופיינים בתרדמת זרעים פיזיקלית, וביניהם לוטם מרווני (*Cistus salvifolius*), לוטם שער (*Cistus criticus*), קידה שעירה (*Calicotome villosa*), אחירותם החורש (*Spartium junceum*), רותם המדבר (*Retama raetam*) וצחנן מבאי (*Anagyris foetida*). טמפרטורות הסף לשבירת התרדמה ולחיוניות הזרעים משתנות בין מינים שונים. המשך מחקר יתמקד בהשוואת ערכי הסף לנביטה ולחיוניות בין המינים המקומיים למינים הפולשים. במחקר זה מצאנו שרכיב הארדואינו הוא כלי יעיל ליישום בו-זמני של כמה טיפולי טמפרטורה יממתית לבחינת התגובה התרמית של זרעים לתנאים של שינויי אקלים.

מקורות

דופר-דרור, ז"מ, 2019. הצמחים הפולשים בישראל. מהדורה שנייה. אחווה. ירושלים.

Baskin, C. C., 2003. Breaking physical dormancy in seeds—focusing on the lens. *New Phytologist* 158, 229–232.

Blunden, J., Arndt, D. S., 2019. State of the Climate in 2018. *Bulletin of the American Meteorological Society* 100 (9), Si–S306.

Christoffoleti, P. J., Caetano, R. S. X., 1998. Soil seed banks. *Scientia agricola* 55, 74–78.

4. דיון

הבנת התכונות המעודדות פלישה של צמחים פולשים בהתייחס לדינמיקה בין תכונות המינים הפולשים ומאפייני בתי הגידול היא אתגר מדעי, ובעיקר בתנאים של שינויי אקלים. ממצאי המחקר הנוכחי תומכים בהשערת המחקר הראשונה, ומראים שחשיפת זרעים של הצמח הפולש שיטה כחלהל למשרעת תרמית המאפיינת את חום הקיץ בתנאי קרקע חשופה לקרינה ישירה של השמש, מעוררת אותם מתרדמתם, ובכך מחזקת את פוטנציאל גיוס הצאצאים של הצמח הפולש. יצוין שבסיס הנתונים של טיפולי החום שנבדקו במחקר זה נאסף מקרקע בזלתית בגולן, שהיא קרקע כהה, יבשה ודקת-גרגר, וערכי הטמפרטורה בתנאי חשיפה לקרינה ישירה של השמש צפויים להיות בה גבוהים במיוחד (Lehnert, 2014). לכן גם טיפול החום הסטנדרטי שנבדק במחקר זה מייצג טמפרטורות גבוהות באופן יחסי לכלל הקרקעות בארץ.

הנתונים שלנו (טרם פורסם) הראו שטמפרטורות קרקע המתקבלות במצע חולי, נמוכות ב-10 מ"צ (53 מ"צ) מאשר במצע בזלתי באותו אתר גאוגרפי, מרכז קצרין. כמו כן נמצא שטמפרטורות קרקע בתנאי הצללה מתחת לחופת שיטה כחלהל או עשביית קיץ צפופה, לא עלו על 40 מ"צ, אף לא בתנאי שרב קיצוניים. זו טמפרטורת הסף המינימלית הנחוצה לשבירת תרדמה במספר רב של מיני צמחים המתאפיינים בתרדמה פיזיקלית, לרבות המין הנידון (Cohen et al., 2008). ניתן אפוא להסיק שטמפרטורת הקיץ הסטנדרטית שנבדקה במחקר הנוכחי מייצגת ערכי טמפרטורה, הצפויים להתקבל בקרקעות שונות באקלימים הים-תיכוני והחצי יבשני. כלומר מגמת הגידול בפוטנציאל גיוס הנבטים של צמחים פולשים המאופיינים במנגנון תרדמה פיזיקלי, צפויה להתקבל בכלל התנאים של בתי הגידול בארץ, שבהם הקרקע חשופה לקרינה ישירה של השמש.

ממצאי המחקר מתאימים למחקרים קודמים שהראו תוצאות דומות בצמחים המצוידים במנגנוני תרדמה פיזיקלית (Passos et al., 2017) ופיזיולוגית (Gorgone-Barbosa et al., 2016). במחקר על שיטה דלבאטה (*Acacia dealbata*) נמצא שכ-70% מהזרעים שוחררו מתרדמתם לאחר חשיפה לטמפרטורה של 60 מ"צ למשך 10 שעות, טמפרטורה שעשויה להתקבל בשכבת הקרקע העליונה באקלימים הים-תיכוני והחצי יבשני. גורגונה-ברבוסה (Gorgone-Babosa) ועמיתיה (2016) בדקו את השפעת הטמפרטורה בקרקע חשופה על שני מיני עשבוניים פולשים שמקורם באפריקה (*Urochloa decubens* ו-*Urochloa brizantha*) באקלים הטרופי של ברזיל. החוקרים הראו שחשיפת הזרעים המתאפיינים במנגנון תרדמה פיזיולוגי למשרעת טמפרטורה של 10–40 מ"צ, המייצגת את טמפרטורת הקרקע העליונה בשטחים מוכי שרפות, הביאה לשבירת תרדמה בשיעור של 70%, שהוא כ-45% יותר מאשר טמפרטורת החדר. מהממצא עולה שהשפעת האינטראקציה של התחממות הקרקע וחשיפתה לקרינה ישירה של השמש על גיוס צאצאים של צמחים פולשים חורגת ממנגנון התרדמה הפיזיקלי. היא יכולה להתבטא גם במינים שונים המתאפיינים במנגנוני תרדמה שונים, שחום הוא הגורם המרכזי המשחרר אותם מתרדמתם. מבין המינים המעוצים הפולשים הבעייתיים בישראל, שממצאי המחקר

- Hansen, J., Sato, M., Ruedy, R., Schmidt, G. A., Lo, K., Persin, A., 2019. Global temperature in 2018 and beyond. Earth Institute, Columbia University. New York.
- Lehnert, M., 2014. Factors affecting soil temperature as limits of spatial interpretation and simulation of soil temperature. *Acta Universitatis Palackianae Olomucensis–Geographica* 45, 5–21.
- Mildrexler, D. J., Zhao, M., Running, S. W., 2011. Satellite finds highest land skin temperatures on Earth. *Bulletin of the American Meteorological Society* 92, 855–860.
- Orbán, I., Sztár, K., Kalapos, T., Körel-Dulay, G., 2021. The role of disturbance in invasive plant establishment in a changing climate: Insights from a drought experiment. *Biological Invasions* 2021, 1–14. <https://doi.org/10.1007/s10530-021-02478-8>
- Passos, I., Marchante, H., Pinho, R., Marchante, E., 2017. What we don't seed: The role of long-lived seed banks as hidden legacies of invasive plants. *Plant Ecology* 218 (11–12), 1313–1324.
- van Klinken R. D., Goulier, J. B., 2013. Habitat-specific seed dormancy-release mechanisms in four legume species. *Seed Science Research* 3, 181–188.
- Wilson, J. R., Gairifo, C., Gibson, M. R., Arianoutsou, M., Bakar, B. B., Baret, S., Celesti-Grapow, L., DiTomaso, J. M., Dufour-Dror, J. M., Kueffer, C., Kull, C. A., 2011. Risk assessment, eradication, and biological control: Global efforts to limit Australian acacia invasions. *Diversity and Distributions* 17, 1030–1046.
- Cohen, O., Bar, P., Gamliel, A., Katan, J., Kurzbaum, E., Weber, G., Schubert, I., Riov, J., 2019. Rain-based soil solarization for reducing the persistent seed banks of invasive plants in natural ecosystems—*Acacia saligna* as a model. *Pest Management Science* 75, 1933–1941.
- Cohen, O., Gamliel, A., Katan, J., Kurzbaum, E., Riov, J., Bar, P., 2018. Controlling the seed bank of the invasive plant *Acacia saligna*: Comparison of the efficacy of prescribed burning, soil solarization, and their combination. *Biological Invasions* 20, 2875–2887.
- Cohen, O., Riov, J., Katan, J., Gamliel, A., Bar, P., 2008. Reducing persistent seed banks of invasive plants by soil solarization—the case of *Acacia saligna*. *Weed Science* 56, 860–865.
- D'Antonio, C., Levine, J., Thomsen, M., 2001. Ecosystem resistance to invasion and the role of propagule supply: a California perspective. *Journal of Mediterranean Ecology* 2, 233–246.
- Edmondson, J. L., Stott, I., Davies, Z. G., Gaston, K. J., Leake, J. R., 2016. Soil surface temperatures reveal moderation of the urban heat island effect by trees and shrubs. *Scientific reports* 6, 1–8.
- Gorgone-Barbosa, E., Pivello, V. R., Baeza, M. J., Fidelis, A., 2016. Disturbance as a factor in breaking dormancy and enhancing invasiveness of African grasses in a Neotropical Savanna. *Acta Botanica Brasilica* 30, 131–137.
- Greenspan, S. E., Morris, W., Warburton, R., Edwards, L., Duffy, R., Pike, D. A., Schwazkophf, L., Alford, R. S., 2016. Low-cost fluctuating-temperature chamber for experimental ecology. *Methods in Ecology and Evolution* 7, 1567–1574.