



המעורבות של חיפושיות קליפה בתמותת עצי אורן ביער הנטוע בישראל

עומר גולן¹ | רתם אטיאס^{2,3} | מאור אלרון¹ | אלכס פרוטסוב⁴ | צבי מנדל⁴

רקפת דוד-שורץ^{2*}

1 אגף הייעור, קק"ל

2 המכון למדעי הצמח, מנהל המחקר החקלאי-מרכז וולקני

3 הפקולטה לחקלאות, מזון וסביבה, האוניברסיטה העברית בירושלים, רחובות

4 המכון להגנת הצומח, מנהל המחקר החקלאי-מרכז וולקני

* rakefetd@agri.gov.il

תקציר

הטיפול המוגדרים. מערכת הניסוי השנייה הצביעה על תמותה של עצי אורן ברוטיה בעקבות אכלוס, בעיקר על ידי *P. calcaratus* ו-*T. destruens*. מערכת המחקר הראשונה מראה כי חיפושיות קליפה, ובעיקר *O. erosus*, הן גורם משמעותי בתמותת עצי אורן, ובמערכת השנייה לא היה ניתן להצביע בבירור על ההשפעה המובהקת של החיפושיות כגורם תמותה ראשי. עם זאת, המחקר מצביע על כך שתנאי יובש מחלישים את העמידות הפיזיולוגית של העצים ובכך מגבירים את מעורבותם של המינים *P. calcaratus* ו-*T. destruens*, הנחשבים אלימים פחות, בתמותת עצים. עוד עלה כי טיפול באמצעות עצי מלכודת, שהצלחתו מוכיחה את מעורבות החיפושיות בתמותה, מקטין ככל הנראה את אוכלוסיית חיפושיות הקליפה, ומסייע במידת מה בהפחתת שיעור תמותת העצים, כתלות באופן פיזור עצי המלכודת ושמירה על יעילות הפיתיון המוצמד להם.

תמותת עצי יער, בעיקר מיני אורניים, בעקבות התקפת חיפושיות קליפה (Scolytinae) היא תופעה מוכרת בחצי הכדור הצפוני ושכיחה ביערות האורן הנטועים בישראל. מיני חיפושיות הקליפה הנפוצים בישראל הם *Orthotomicus erosus*, *Pityogenes calcaratus* ו-*Tomicus destruens*. לרוב מינים אלה תוקפים וקוטלים עצים במצב פיזיולוגי ירוד, אולם אוכלוסייה גדולה מאפשרת התקפה המונית גם על עצים במצב פיזיולוגי סביר ואכלוס שלהם. עם זאת, לא ברור מתי ובאיזו תדירות חיפושיות הקליפה הן הגורם הישיר לתמותת העצים, ומתי הן תסמין בלבד למצב הפיזיולוגי הירוד של העצים. סוגיה זו נבחנה באמצעות שתי מערכות ניסוי. המערכת הראשונה התבססה על ההנחה שצמצום אוכלוסיית חיפושיות הקליפה באמצעות עצי מלכודת יפחית את התמותה, מתוך הנחה כי לחיפושיות יש תפקיד מובהק בקטילת עצי האורן. במערכת הניסוי השנייה נבחנה שכיחות מיני חיפושיות הקליפה בשני עומדי אורן ברוטיה שנרשמה בהם תמותת עצים בשנים האחרונות. בנסיבות אלה נבחנה מעורבות החיפושיות באמצעות אפיון אופן האכלוס וההיסטוריה של התפתחות העצים שנקטלו. במערכת הניסוי הראשונה נמצא ש-*O. erosus* היה המין השכיח ביותר מבין חיפושיות הקליפה, והפעלת עצי המלכודת צמצמה את שיעור תמותת העצים במתחמי

מילות מפתח

אורן ברוטיה, אורן ירושלים, עצי מלכודת

רקע

מופע של שלוש מחילות המסתעפות מלשכת ההזדווגות (Carle, 1975; Seybold et al., 2016). אף על פי שלרוב *O. erosus* נצפה תוקף עצים מוחלשים, כאשר אוכלוסיית החיפושיות גדולה דיה, תתרחש התקפה גם על עצים בריאים, והם ימותו תוך פרק זמן קצר (Mendel et al., 1985; Mendel et al., 2016).

P. calcaratus נפוץ אף הוא סביב אגן הים התיכון, אך מופיע גם בבתי גידול קרירים מאלה ש-*O. erosus* נפוץ בהם, ונמצא במרכז אירופה לאורך החופים הצפוניים של הים השחור (Mazur et al., 2020). גם מין זה מתפתח על מיני אורן רבים, ובישראל הוא שכיח על החלקים העליונים של הכותרת של אורן ברוסיה, אורן ירושלים, אורן הצנובר (*P. pinea*) ואורן קנרי (*P. canariensis*). אורכם של הבוגרים 2.0–2.6 מ"מ. פעילותו נמשכת בישראל מפרבר עד נובמבר, ושכיחותו נמוכה יחסית בחודשים החמים של הקיץ. *P. calcaratus* הוא מין פוליגמי, שיוצר 4–6 מחילות ביצים לגלריה (אורך מחילת ביצים הוא 1.0–3.5 ס"מ), המפוזרות באופן מעגלי סביב לשכת ההזדווגות (איור 1ב). בישראל מעמידה חיפושית זו כארבעה עד חמישה דורות בשנה, אך דווחו גם חמישה עד שבעה דורות בשנה, כאשר הדור האחרון בעונה חורף מתחת לקליפת העץ עד לאביב הבא (Mendel et al., 2016).

המין *T. destruens* שנפוץ באגן הים התיכון, במרכז אירופה ובמערב אסיה, תוקף מיני אורן רבים (Faccoli, 2007). בישראל מין זה תוקף בעיקר את חלקי הגזע התחתונים של אורן ברוסיה ואורן ירושלים, אך גם את אורן הצנובר ואורן קנרי. המין דווח כגורם העיקרי לתמות עשרות אלפי עצים באגן הים התיכון בלבד (Lieutier et al., 2016). בבתי גידול ים תיכוניים ממוזגים האוכלוסייה פעילה כל השנה, ואילו בבתי גידול קרים יחסית ההתפתחות מואטת או פוסקת במהלך החורף (Branco et al., 2010; Lieutier et al., 2016). בבתי גידול חמים, כמו בישראל, תקיפת העצים והרבייה מתרחשות במהלך החורף (אוקטובר–מרץ) (Halperin, 1978). האוכלוסייה בישראל מצויה בתרדמת קיץ, ולקראת הסתיו, עם ירידת הטמפרטורות, היא מתחילה את פעילותה וניזונה מענפונים. מבין שלושת מיני חיפושיות הקליפה הנדונים, רק בוגרים של *T. destruens* מבססים את תזונתם באופן משמעותי על ענפונים בעצים חיוניים מאוד ומפותחים. בניגוד לכך, העצים הנבחרים לתקיפה לצורך רבייה חלשים יותר. הפרטים הבוגרים מגיעים לאורך 4.0–4.8 מ"מ.

T. destruens הוא מין מונוגמי מהשבט Hylesinini, ואצלו הנקבה חודרת ראשונה לעץ, והזכר מצטרף אליה לאחר מכן. בניגוד לכך, במינים הפוליגמיים הזכרים הם הזוויג התוקף והנקבות מצטרפות אליהם מאוחר יותר (ביולוגיה

מינים מתת-משפחת חיפושיות קליפה (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) המאכלסים עצי מחט באגן הים התיכון הם מרכיב חשוב בתפקוד המערכת האקולוגית של היער. התפרצות בלתי מבוקרת של אוכלוסיות מיני חיפושיות הנחשבים אלימים, משקפת לעיתים קרובות את מצבם הפיזיולוגי של העצים (Lieutier et al., 2016) ועלולה להיות קטלנית גם לכלל היער. באזורים נמוכים (עד 1,000 מטר מעל פני הים) עצי אורן הם הפונדקאים השכיחים ביערות, והמושפעים העיקריים מאוכלוסיות חיפושיות הקליפה. שלושה מינים הנחשבים לאלימים במידת מה כלפי עצי אורן הם *Orthotomicus erosus*, *Pityogenes calcaratus* ו-*Tomicus destruens*, אך ישנם עוד מיני חיפושיות קליפה רבים אחרים. בישראל מוכרים כ-15 מינים נוספים של חיפושיות קליפה מסוגים שונים מתת-משפחת חיפושיות הקליפה, המאכלסים את עצי האורן (Halperin and Holzschuh, 1984). אומנם מיני *Dendroctonus* בצפון אמריקה אלימים יותר משלושת המינים המקומיים (Lieutier et al., 2016; Seybold et al., 2016), אולם ביערות הנטועים בישראל, ועל רקע תקופות יובש או ממשק דילולים שאינו מותאם בעוצמתו ובתזמונו (Mendel et al., 1992), נוצרים תנאים המאפשרים להם אכלוס נוח של עצי אורן מוחלשים ובניית אוכלוסיות גדולות המחוללות תמות נרחבת ביער.

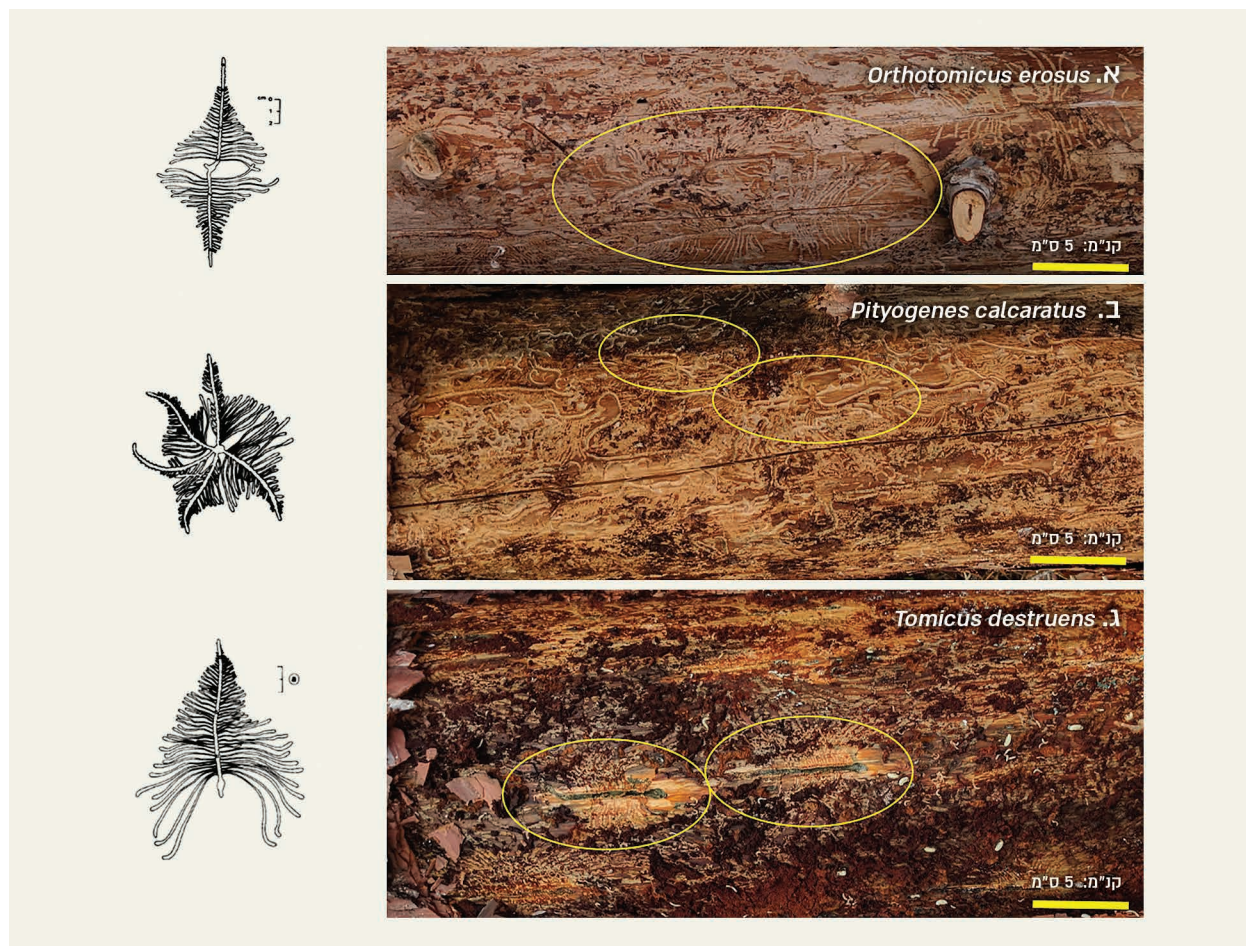
אזור התפוצה הטבעי של *O. erosus* משתרע ממרכז אירופה ודרומה עד צפון אפריקה והאיים האטלנטיים (Balachowsky, 1949). כמין פולש הוא התגלה בדרום אפריקה ב-1968 (Geertsema, 1979) וב-2004 בקליפורניה (Seybold et al., 2016). מין זה מסוגל להתפתח על מיני אורן רבים. באזור אגן הים התיכון הוא שכיח מאוד על שלושה מיני אורן: אורן ירושלים (*Pinus halepensis*), אורן ברוסיה (*P. brutia* ssp. *brutia*) ואורן החוף (*P. pinaster*). אורך הבוגרים מגיע לכ-2.5–3.5 מ"מ. הפעילות העונתית של *O. erosus* נמשכת כל העונה החמה, בדרך כלל מראשית האביב עד תחילת הסתיו, ובמהלכה הוא משלים שלושה עד שבעה דורות, כתלות במיקום הגאוגרפי (Carle, 1975; Mendel et al., 1985; Özkazanç et al., 1985; Ghaïoule et al., 1998). חיפושית זו עמידה לטמפרטורות גבוהות כך שההטלה והתפתחות הביצים והזחלים מתרחשות גם בטמפרטורה של 36°C (Mendel and Halperin, 1982). אוכלוסיית *O. erosus* בישראל היא ביגמית, כך שלרוב ניתן לראות שתי מחילות להטלת ביצים, שיוצאות מלשכת ההזדווגות (אחת לכל נקבה) ולאורך סיבי העץ (איור 1א). האוכלוסייה ממערב הים התיכון וזו שהתבססה בקליפורניה הן ברובן פוליגמיות, ובעלות

בהלימה לקוטרי הגזע המיטביים להתפתחותם. לפיכך, עצים בשנותיהם הראשונות מותקפים בעיקר על ידי *O. erosus*, *P. calcaratus*, פועל בעיקר בגילי הביניים, ואילו בעומדים מבוגרים חלק ניכר מהגזע מאוכלס על ידי *T. destruens*. החלקים גבוהים מאוכלסים על ידי *O. erosus* וחלקי הגזע הקרובים לצמרת על ידי *P. calcaratus* ולעיתים מינים נוספים קטני ממדים.

רוב מחזור החיים של חיפושיות הקליפה מתקיים בתוך הסות בגזע העץ. שלבי התקיפה ויצירת המחילות על ידי הבוגרים והזחלים מלווים באכלוס הסות על ידי פטריות, בעיקר מהסוגים *Ophiostoma* ו-*Leptographium*, הנישאות על ידי הבוגרים (Kirisits, 2004; Dori-Bachash et al., 2015). פתוגנים אלה מחוללים נזק וגורמים לתמותת העצים בעקבות הרס מערכת הובלת המים של העץ. על פי מצב הסות ומשתנים נוספים ניתן להעריך את הזמן שעבר

אופיינית למיני השבט *Ipini* שמשתייכים אליו *O. erosus* ו-*P. calcaratus*). בניגוד לשני המינים האחרים, נמצא שההתקפות של *T. destruens* ברמת החלקה לא היו תלויות במצב הפיזיולוגי של העצים, אלא באופיו של מנגנון ההתקהלות על העצים המותקפים (Davi et al., 2020). בעוד שזכרים של *O. erosus* ו-*P. calcaratus* יוצרים את ההתקהלות באמצעות הפרשת פרומון ההתקהלות, ההתקהלות של *T. destruens* מכוונת באמצעות מונוטרפנים וכהלים שהעץ מייצר בעקבות ניסיונות תקיפה של הבוגרים (Lieutier et al., 2016).

בתקיפה של עצי אורן בוגרים בישראל שלושת המינים מחלקים למעשה את הגזע ביניהם; *T. destruens* תוקף את קטעי הגזע התחתונים העבים, ולפיכך מחילות הזחלים מופיעות בעיקר בעובי הקליפה וכחות בעצה (איור 1). *O. erosus* תוקף את חלקי הגזע המרכזיים, ואילו *P. calcaratus* מאכלס את חלקי הגזע העליונים,



איור 1

גלריות של חיפושיות קליפה על גבי גזע חשוף של אורן ברוטיה

ניתן לזהות את המין שאכלס את העץ לפי דפוס הגלריה האופייני לו (Mendel et al., 1985; Mendel, 2000). א. *Orthotomicus erosus*; ב. *Pityogenes calcaratus*; ג. *Tomicus destruens*. משמאל איורים המתארים את הגלריות של כל מין, לפי Mendel (1985).

ושרפות. נסיבות אלה מחלישות את מנגנוני ההגנה של העץ, וכך מתאפשר אכלוס נוח של חיפושיות קליפה, שמסתיים על פי רוב במות העץ. עלייה בשכיחות העצים המוחלשים מובילה להתעצמות אוכלוסיית חיפושיות הקליפה ולהיווצרות צפיפות המאפשרת הכרעה של עצים בריאים (Lieutier et al., 2016). בישראל, אורן ירושלים ואורן ברוטיה בני 10–30 שנים חווים התפרצויות קשות של *O. erosus* ו-*P. calcaratus* בסוף הקיץ, ושל *T. destruens* בתחילת החורף ובסופו, בעיקר בעקבות פעולות דילול נמרצות ונרחבות (Mendel et al., 1985) (איור 2). כמו כן, נגיעות משמעותיות בכנימת מצוקוקוס (*Matsucoccus josephi*) בעצי אורן ירושלים צעירים הופכת אותם ל"טרף קל" במיוחד עבור *P. calcaratus* (Mendel, 2000).

התמודדות עם אוכלוסיות של חיפושיות קליפה בראשית התעצמותן אפשרית באמצעות קטילה המונית של חיפושיות מתוך כוונה לדכא את התעצמות המזיק. השיטה הקלאסית של הפלת עצי מלכודת שימשכו אליהם את החיפושיות התגבשה באירופה במהלך המאה ה-17, עת התחוללו

מאז ההגנה. כמו כן, מצב העלווה של העץ עשוי להעיד על מועד ההתקפה ועל מין החיפושית. עץ שהותקף על ידי חיפושיות קליפה לא יראה סימנים לכך בתחילה. מחטי אורנים שהותקפו באביב או בקיץ על ידי *P. calcaratus* ו-*O. erosus*, משנות את צבען מירוק כהה לירוק בהיר ולאחר מכן לצהוב תוך מספר שבועות, ואז לאדמדם במהלך כחודשיים. לעומת זאת, עלוות העצים שנתקפו בחודשים אוקטובר ונובמבר, תחילה על ידי *O. erosus* ו-*P. calcaratus* ולאחר מכן על ידי *T. destruens*, שומרת על צבעה הירוק לאורך הסתיו והחורף עד לאביב הבא. עובדה זו מקשה על זיהוי עצים פגועים בזמן אמת (Lieutier et al., 2016).

שלושת מיני החיפושיות המתוארים לעיל נחשבים "טורפים מזדמנים" (Raffa et al., 1993), מכיוון שהם מתרבים בדרך כלל בעצים שנפלו או בעצים מוחלשים, אך מדי פעם הם מסוגלים לאכלס ולקטול גם עצים בריאים. הם תוקפים עצים בריאים רק כאשר קיימת באזור אוכלוסייה גדולה של עצים מוחלשים (Gaylord et al., 2010). הסיבות להיחלשות עצי אורן באגן הים התיכון מגוונות, וכוללות מיעוט משקעים



איור 2

תמותת עצים בשל התקפת חיפושיות קליפה ביער אשתאול בשנת 2017
צילום: עומר גולן

דפוס האכלוס ומיני חיפושיות הקליפה שאכלסו את העצים המתים שנותרו בחלקה.

שיטות וחומרים

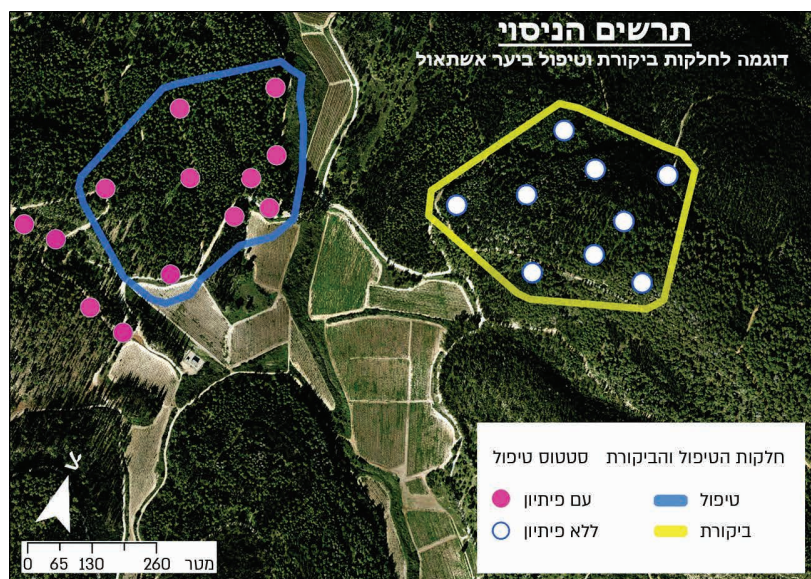
מערכת עצי מלכודת

ניסוי רחב היקף נערך ביערות אשתאול וצרעה. תכנון הניסוי כלל שבעה בלוקים כפולים (המחולקים למתחמי טיפול וביקורת) נטועים באורן ברוטיה, ושלושה עומדים דומים נוספים נטועים באורן ירושלים בשטח של 100–200 דונם לבלוק. גיל העצים נע בין 50 ל-70 שנה. כל בלוק חולק לשתי יחידות, האחת טיפול והשנייה ביקורת. מתחם הטיפול כלל לפחות 4–10 עצי מלכודת פעילים, ובמתחם הביקורת המקביל סומנו עצים שהיוו עצי מלכודת דמה (ללא הטיפול, ראו איור 3) בפיזור מרחבי דומה לזה של עצי המלכודת הפעילים ביחידת הטיפול. עצי המלכודת הפעילים או עצי הדמה היו במרחק של 90–140 מטר זה מזה, כתלות בצפיפות העצים ביער.

עצי המלכודת הפעילים הוכשרו לכך כדלקמן: הקליפה החיצונית גורדה והוברשה להסרה מרבית של קשקשי קליפה רפויים. לאחר מכן רוסס הגזע לאורכו עד 8 מטר מעל פני הקרקע בקוטל חרקים Talstar® בריכוז של 2% Bifenthrin 7.9%, Luxembourg (Industries, Tel) 2% Aviv. על עצים אלה נתלה פיתיון מסחרי Ipsovit® (Standard, Witasek Co, Austria), שיוצר במקור כדי למשוך את חיפושית הקליפה של האשוחית, ונמצא מושך היטב גם את שני מיני חיפושיות הקליפה *O. erosus* ו-*P. calcaratus* (Mendel, 1988). הפיתיון נתלה על הגזע

התפרצויות ענק של חיפושית הקליפה של האשוחית (*Ips typographus*), שקטלו מיליוני עצי אשוחית במרכז היבשת (Gmelin, 1787). נמצא בעבר כי עצי מלכודת מרכזים את החיפושיות סביבם ומגבילים את פיזורן (Klutsch et al., 2017). לקראת סוף המאה ה-20 התגבשה תשתית מדעית להתמודדות עם חיפושיות קליפה בזכות זיהוי פרומוני ההתקהלות של המינים החשובים ושילובם במלכודות המתואמות ללכידה המונית. כמו כן, השתפרה קטלניות עצי המלכודת באמצעות ריסוס הגזעים בתכשירי הדברה (Smith et al., 1986, El-Sayed et al., 2006; Borden et al., 2008; Seybold et al., 2018).

התפתחות אוכלוסיות גדולות של חיפושיות קליפה על עצי אורן מוחלשים צפויה להחמיר בשל היובש והטמפרטורות הגבוהות באגן הים התיכון, ומדובר בתרחיש מציאותי החוזה קטילה המונית של עצים בריאים. זוהי גם הנחת המוצא של מחקר זה. עד כה טרם פורסם מחקר מקיף בניסיון לברר את חלקן של חיפושיות הקליפה בתמות עצי אורן בישראל. במחקר זה נבחנה מעורבותם של מיני חיפושיות הקליפה המקומיים בתמות עצי אורן ברוטיה ואורן ירושלים ביער הישראלי על רקע תנאי אקלים צחיח למחצה. הבחינה נערכה במסגרת שתי מערכות ניסוי: במערכת הראשונה נבחנה מידת מעורבותן של חיפושיות הקליפה באמצעות צמצום אוכלוסייתן על ידי עצי מלכודת. שאלת המחקר הייתה אם ניתן לצמצם את תמותת עצי האורן במהלך הקיץ באמצעות לכידה המונית של *O. erosus* ו-*P. calcaratus*, מינים הפעילים בעונה החמה. במערכת הניסוי השנייה נבחנה מעורבות חיפושיות הקליפה באמצעות אפיין האכלוס של עצי אורן ברוטיה בוגרים בשני עומדים. שאלת המחקר במערכת זו הייתה אם ניתן לקבוע את תקופת האכלוס ואת מצב העצים שקדם לאכלוס על פי



איור 3

דוגמה לאחד הזוגות הכוללים מתחם טיפול וסמוך לו מתחם ביקורת ביער אשתאול

במאמר קודם בגיליון זה (אטיאס ושות', 2022). בהרטוב נדגמו 22 עצים מתים, ובצורה נדגמו 27 עצים שמתו במהלך ארבע השנים שקדמו לדגימה. לשם קביעת מיני חיפושיות הקליפה המעורבים בתמותה וצפיפות האכלוס, נכרתו העצים המתים, וקטעי קליפה בשטח של 800–1,000 סמ"ר נותקו מהגזע בשלושה גבהים מפני הקרקע; נמוך (1.3 מטר), אמצע (4.5 מטר) וגבוה (7.5 מטר). העצה החשופה של מקטע הגזע וצידה הפנימי של הקליפה שהוסרה נבדקו. הם צולמו עם סרט מידה ונמדדו להערכת צפיפות הגלריות עבור כל אחד משלושת מיני חיפושיות הקליפה. גם שנת התמותה נקבעה לפי ניתוח הטבעות השנתיות (אטיאס ושות', 2022).

ניתוח סטטיסטי

תוצאות מחקר זה נותחו באמצעות תוכנת JMP 14 (SAS Institute, Inc., Cary, North Carolina). השפעת עצי המלכות על התמותה של עצי האורן נבדקה באמצעות ניתוח דו-גורמי של כל בלוק ויחידות המשנה של מתחמי הטיפול והביקורת הנכללים בו (מערכת ניסוי ראשונה). ההשוואה בין קבוצות העצים שנקטלו במהלך מספר שנים בשני עומדי אורן ברוסיה נערכה במבחן one-tailed Student's t-test (מערכת ניסוי שנייה).

תוצאות

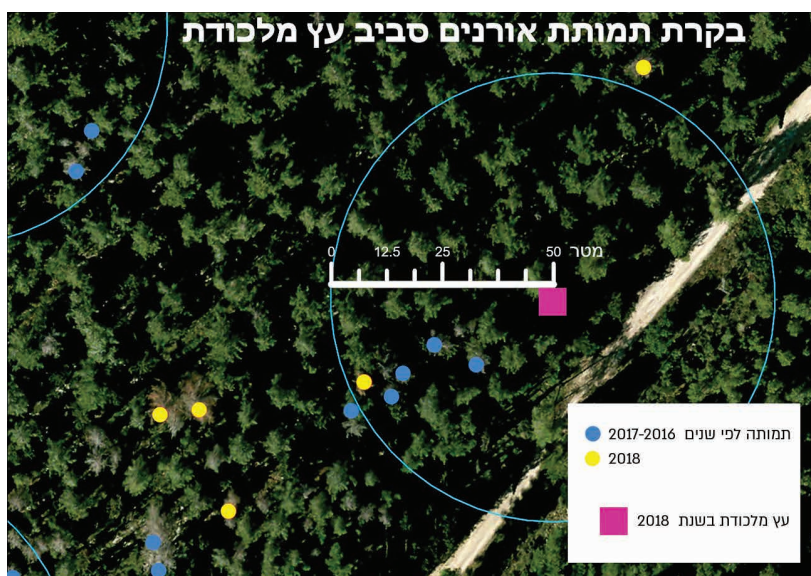
הפחתת תמותת עצי אורן באמצעות עצי מלכות
באופן כללי, תמותת העצים הייתה מועטה בכל עשרת הבלוקים (עד 2.9%). השפעתם של עצי המלכות על תמותת העצים ביער נמדדה באמצעות שני משתנים: (א)

גובה 2.5 מטר לפחות מעל פני הקרקע. ההצבה החלה ביולי 2018, והפיתיון הוחלף כל 5 שבועות עד סוף אוקטובר 2018. בתחילת דצמבר התבצעו צילומי אוויר של שטח הניסוי ברזולוציה של פיקסל אחד לכל 6 סנטימטרים בגובה 120 מטר מעל פני הקרקע (אופק צילום אוויר, רחובות, ישראל). עצים שמתו במהלך תקופת הניסוי (נתקפו בין יולי לאוקטובר 2018) זוהו על פי צבע הכותרת החום-אדמדם האופייני להם בעת הצילום. הם הופרדו בסקר מעצים חיים ומעצים שנקטלו בעונות החמות הקודמות. מהימנות הזיהוי באמצעות צילומי האוויר אומתה באמצעות בדיקה קרקעית מדגמית של כ-15% מסך כל העצים המתים בשטח המחקר. כל העצים שמתו נספרו בכל מתחם טיפול או ביקורת. נוסף על כך, נספרו באופן נפרד עצים מתים ברדיוס של 50 מטר סביב כל עץ מלכות פעיל או דמה (איור 4).

ניטור החיפושיות הפעילות בתקופת הניסוי שתואר לעיל נעשה באמצעות מלכודות משפך מטיפוס לינדגרן (Synergy Semiochemicals LTD, British Columbia, Canada). 12 מלכודות הוצבו באשתאול ו-12 ביער צרעה ביוני 2018. למלכודות הוכנסו פיתיונות מסחריים (Ipsowit® Standard, Witasak Co, Austria) שהוחלפו בחדשים אחת לשלושה שבועות, בעת איסוף החיפושיות שנתפסו ונספרו. ממוצע מספר הפרטים של *O. erosus* ו-*P. calcaratus* שנלכדו חושב עבור כל אחד מהבלוקים שבניסוי.

אפיון דפוס האכלוס

התצפית התבצעה בעומדים נטועים של אורן ברוסיה ביער צרעה שבשפלת יהודה, 'הרטוב' ו'צרעה'. במחקר המתואר כאן נכללו נתוני גדילת הרוחב (המתבטאת בעובי הטבעות השנתיות) שהושאו בין עצים מתים לבין עצים חיים ודווחו



איור 4

הצגת עצי אורן שאוכלסו בחיפושיות קליפה, בשנים 2016–2017 טרם ביצוע הניסוי, ובקיץ 2018 במהלך הניסוי

המעגל המסומן מייצג את טווח ההשפעה ברדיוס של 50 מטר סביב עץ המלכות. כמו כן, נותחה התמותה שהתקבלה בכל המתחם.

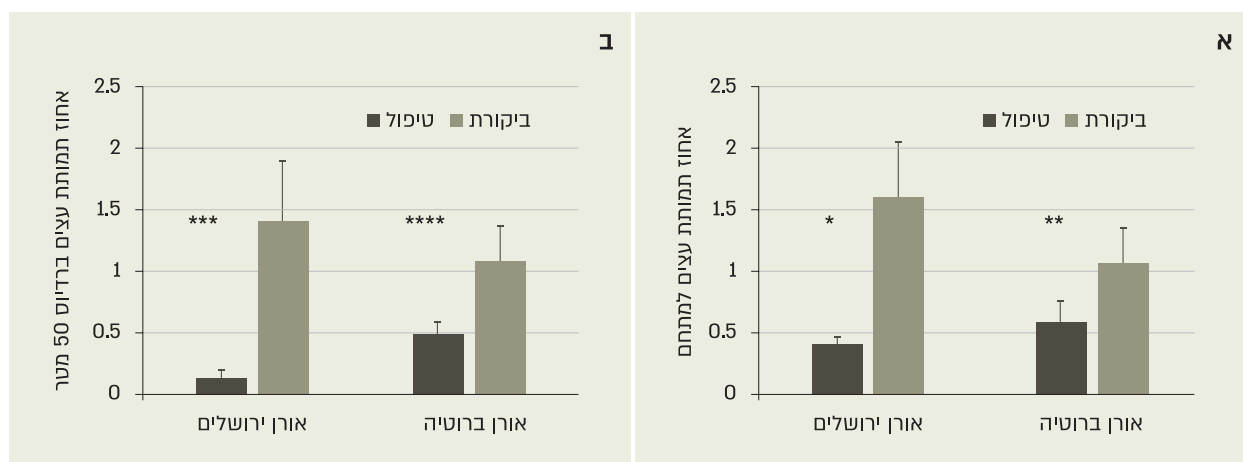
לעומת אלה סביב עצי הדמה (איור 5). השפעת הטיפול על התמותה של אורן ירושלים הייתה משמעותית יותר ($P < 0.0001$) מהשפעתו על אורן ברוטיה ($P = 0.0155$).

נתוני מלכודות הניטור הראו כי *O. erosus* היה שכיח יותר לאין שיעור במהלך הקיץ מאשר *P. calcaratus*, ששיעורו בלכידה עלה עם בוא הסתיו (איור 6).

אפיון דפוס אכלוס העצים בחלקות הרטוב וצרעה

תמותת העצים בחלקות הרטוב וצרעה הייתה קשורה בעיקר לאכלוס על ידי *P. calcaratus* ו-*T. destruens*, ובאופן מפתיע נמצאו רק מספר גלריות בודדות של *O. erosus* בשניים מהעצים המתים (טבלה 1). נראה כי מרבית העצים

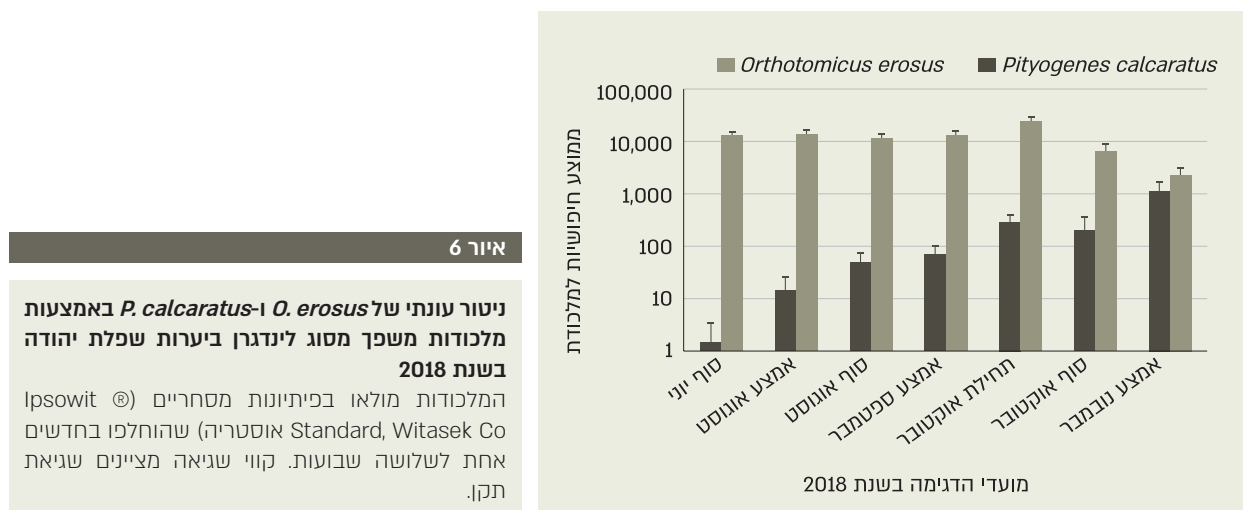
היחס בין מספר כלל העצים המתים לשאר העצים במתחם עצי המלכודת הפעילים / מתחם ביקורת של הבלוק; (ב) היחס בין העצים המתים ברדיוס של 50 מטר סביב עץ מלכודת (פעיל או דמה, בהתאמה לסוג המתחם) לשאר העצים. לא נמצא מתאם בין שיעור התמותה במתחם לגיל העץ או לצפיפות העצים בבלוק (התוצאות לא מוצגות). יחס העצים המתים לסך כל העצים הנטועים הראה כי תמותת העצים הכללית הייתה קטנה באופן משמעותי במתחמים שטופלו בעצי מלכודת בהשוואה למתחמי הביקורת ($P = 0.026$) ללא תלות במין העץ (איור 5א). ניתוח תמותת העצים בהתאמה למין האורן ברדיוס של 50 מטר סביב עץ מלכודת הצביע על פחיתה משמעותית בתמותת העצים בשני מיני האורן סביב עצי המלכודת הפעילים המטופלים



איור 5

השפעת עצי מלכודת על שיעור תמותת עצי אורן בשפלת יהודה במהלך קיץ-סתיו 2018

א. הבדלים מובהקים בשיעור תמותת אורן ירושלים ואורן ברוטיה בין מתחמי הטיפול (עצי מלכודת פעילים) למתחמים ללא טיפול (עצי מלכודת דמה) מצוינים ב- $P = 0.0319$ * וב- $P = 0.3389$ **. ב. שיעור תמותת אורן ירושלים ואורן ברוטיה ברדיוס של 50 מטר מעץ הטיפול או הביקורת. הבדלים מובהקים בין מתחמי הטיפול למתחמי הביקורת מצוינים ב- $P < 0.0001$ *** וב- $P = 0.0155$ ****. קווי השגיאה מייצגים את שגיאת התקן.



איור 6

ניטור עונתי של *O. erosus* ו-*P. calcaratus* באמצעות מלכודות משפך מסוג לינדגרן ביערות שפלת יהודה בשנת 2018

המלכודות מולאו בפיתיונות מסחריים (Ipsowit ©) (Standard, Witasek Co אוסטרית) שהוחלפו בחדשים אחת לשלושה שבועות. קווי שגיאה מייצגים שגיאת תקן.

מידת האלימות של מיני חיפושיות של האורן האופייניים לאגן הים התיכון, ועד כמה הם מהווים גורם ישיר לתמותת העצים. שאלה זו לא התבררה בעבר בעיקר בשל הקושי האובייקטיבי להפריד בין הגורמים המשפיעים על מצבו הפיזיולוגי של האורן לבין המשמעות של רמת האוכלוסייה של החיפושיות ביער. כלומר, נותר ספק אם עץ האורן היה מת גם ללא מעורבות חיפושיות הקליפה. מעקב אחר התפרצויות של אוכלוסיות החיפושיות בישראל ובמקומות אחרים באגן הים התיכון הצביע על קשר נסיבתי ברור בין עליית האוכלוסיות ובין היקף התמותה, בדרך כלל בסמיכות לאירועי יובש. עם זאת, הדיווחים לא הובילו למסקנות ברורות לגבי השפעת החיפושיות, ובאיזו מידה אוכלוסיות גדולות של חיפושיות קליפה שהתפתחו על עצים מוחלשים יגרמו להתקפות שעלולות לגרום לקטילה המונית של עצים בריאים שהיו מתאוששים ללא קושי רב עם סוף תקופת היובש. במחקר זה יצאנו מנקודת הנחה ששני המצבים אפשריים, כלומר, חיפושיות הקליפה אכלסו עצים שלא היו מתאוששים, אך גם כאלה שאלמלא ההתקפה היו שורדים.

אוכלסו על ידי *P. calcaratus* בחלקו העליון של הגזע, ומין זה היה הנפוץ בשני העומדים עד שנת 2017. כל העצים שמתו בשנת 2014 בשני העומדים, ועצים שמתו בשנת 2015 בעומד צרעה, הציגו פעילות של *P. calcaratus* בחלק העליון של הגזע, באמצעו, ובחלק מאזורי הגזע התחתונים. בשנת 2016 *P. calcaratus* שלט בשתי חלקות המחקר, כשהוא מאכלס את כל חלקי הגזע, בעוד שגלריות מעטות של *T. destruens* תועדו בחלק התחתון והאמצעי של הגזע. בעצים שמתו בשנת 2018 בשני העומדים לא נמצאו גלריות של *P. calcaratus* בחלקים האמצעי והתחתון, אלא רק בחלקו העליון של הגזע בחלק מהעצים (טבלה 1).

דיון

אין ספק שאכלוס עצים פונדקאים באוכלוסיות לטנטיות של חיפושיות קליפה ביער הוא פועל יוצא של מצבו הפיזיולוגי הירוד של העץ. השאלה היערנית נסובה סביב

צרעה		הרטוב		מקטע	שנת תמותה
<i>T. destruens</i>	<i>P. calcaratus</i>	<i>T. destruens</i>	<i>P. calcaratus</i>		
0	15	0	7.5 ± 1.3 (4)	עליון	2018
15 (1)	0	5.3 ± 1.3 (4)	0	אמצעי	
14 (1)	0	7.3 ± 0.7 (4)	0	תחתון	
0	18 ± 3.1 (4)	4 (1)	10.7 ± 1.9 (3)	עליון	2017
0	17.3 ± 2.9 (4)	5 ± 0.7 (2)	21 (1)	אמצעי	
6 (1)	10 ± 0 (10)	7.5 ± 0.4 (2)	0	תחתון	
0	18.9 ± 2.6 (8)	0	10 ± 1.2 (8)	עליון	2016
10 (1)	13.0 ± 1.3 (8)	0	14.3 ± 3.1 (6)	אמצעי	
4.5 ± 0.6 (3)	19.0 ± 5.0 (2)	6.2 ± 0.4 (4)	20 ± 2.8 (2)	תחתון	
0	18.3 ± 3.3 (4)	0	0	עליון	2015
0	13.3 ± 1.8 (6)	0	0	אמצעי	
0	13.0 ± 2.4 (4)	0	0	תחתון	
0	20.8 ± 1.9 (4)	0	11.3 ± 1.1 (4)	עליון	2014
0	10.3 ± 0.1 (3)	0	9.5 ± 0.3 (3)	אמצעי	
0	7.0 ± 5.6	0	0	תחתון	

טבלה 1

צפיפות הגלריות של *P. calcaratus* ו-*T. destruens* בעצי אורן ברוטיה לפי שנת תמותה בחלקות צרעה והרטוב

הצפיפות חושבה לפי גלריות ל-100 סמ"ר. צפיפות הגלריות בחלקו העליון, האמצעי, והתחתון של הגזע (7.5, 4.5, ו-1.3 מטר מגובה פני הקרקע, בהתאמה) חושבה כממוצע של מספר העצים (המצוין בסוגריים) שתועד בהם אכלוס בחיפושיות קליפה בגובה הנבדק. ± מצוין את שגיאת התקן.

של חיפושיות ממינים שנחשבים לאגרסיביים פחות – *P. calcaratus* ו-*T. destruens* – בתמותת עצים.

לפי התחזית הרווחת כיום, הקיץ צפוי להתארך בכ-50% באזור מזרח הים התיכון, ואילו החורף צפוי להתקצר ב-56% עד סוף המאה הנוכחית (Hochman et al., 2018). לשינויים הצפויים הללו עשויה להיות השפעה דרמטית על הדינמיקה של אוכלוסיית חיפושיות הקליפה באזור, וזאת נוסף על השפעה על מדדי צימוח העצים.

אוכלוסיית חיפושית קליפה לטנטית ויציבה חיונית לשימור בריאות יערות האורן (Lieutier et al., 2016). המעבר לשלב ההתפרצות בעומדי יער בוגרים מתרחש לעיתים קרובות עקב שינוי אביוטי; לדוגמה, עליית טמפרטורות המאפשרת עלייה בהישרדות ובהתפשטות של חיפושית קליפה, בעיקר של מיני *Dendroctonus* (Zhou et al., 2019). אחת הדוגמאות הבולטות להפרת מאזן כזו היא העלייה החדה בהיקף התמותה של אורן פונדרוסה *P. ponderosa* בסירה נבדה (ארה"ב) בעקבות הבצורת הקשה של 2012–2015. רוב העצים נקטלו על ידי *D. brevicornis* בשנת 2015, השנה החמה והיבשה ביותר שתועדה באזור זה (Fettig et al., 2019). חיפושית קליפה נוספת שגרמה לתמותת עצים נרחבת היא *D. ponderosae* שהתפשטה והרסה שטחי ענק של *P. contorta* (lodgepole pine) בקולומביה הבריטית (קנדה) (Meddens et al., 2012). נראה כי שינוי אקלים בכלל ועליית הטמפרטורות בפרט, משפיעים באופן חד על התעצמות האוכלוסיות של מיני חיפושית קליפה אלה (Bentz et al., 2010).

ההשפעה הישירה של שינוי האקלים על חיפושיות הקליפה של האורן בישראל טרם התבררה כראוי. קיים חשש כי היחלשות עצי האורן בשל תנאי היובש המחמירים תוביל להתעצמות אוכלוסיותיהן. בהמשך שינוי זה עלול לגרום לאכלוס עצים בריאים ולהפרת שיווי המשקל הקיים בין חיפושיות הקליפה לבין עצי האורן.

מסקנות המחקר

ממצאי המחקר הנוכחי מצביעים על כך שצמצום אוכלוסיית חיפושיות קליפה, בעיקר *O. erosus* ו-*P. calcaratus* אכן מעשי בהיקפים של אלפי דונמים בודדים ביערות המחט בישראל, ופרקטיקה זו עשויה לסייע בצמצום היקף התמותה של עצי אורן. על הצמצום להתבצע כך שאופן פיזור עצי המלכודת יותאם להבטחת יעילותם ולמניעת נזק היקפי לעצים סמוכים. תוצאות המחקר מדגימות את עובדת היותן של חיפושיות קליפה גורם חשוב בתמותת עצי אורן בשפלת יהודה. עם זאת, ניתן לראות בחיפושיות קליפה גורם ברירה, המותיר בעומד את העצים שמתמודדים טוב

התרחשות כל אחד משני המצבים תלויה בתנאי בית הגידול, כלומר במצבם הפיזיולוגי של העצים או בצפיפות אוכלוסיית החיפושיות.

במחקר זה הראינו שצמצום אוכלוסיית חיפושיות הקליפה באמצעות עצי מלכודת הפחית את היקף תמותת העצים במתחמים המטופלים (איור 3). נראה שההשפעה העיקרית של עצי המלכודת הייתה על אוכלוסיית *O. erosus* (איור 4), מין חיפושית הקליפה העיקרי ביערות אורן באזורים הנמוכים באגן הים התיכון (Mendel et al., 1985; Mendel et al., 1992; Lieutier et al., 2016). מכאן, ש-*O. erosus* גרם במישורן לתמותה והיה הגורם העיקרי המחולל אותה. כלומר, הפחתת התמותה בעומדים המטופלים מוכיחה כי חיפושיות הקליפה הן גורם משמעותי במותם של עצים רבים, ולא רק תסמין למצבם הפיזיולוגי הירוד.

עם זאת, מיני חיפושיות הקליפה שאכלסו את עצי האורן בחלקות הרטוב וצרעה היו *P. calcaratus* ו-*T. destruens*, ואילו *O. erosus*, שמוכר כמין הנפוץ ביותר, כמעט נעדר מהן לחלוטין. שני המינים הראשונים מעופפים בטמפרטורות נמוכות יותר מאשר *O. erosus* (Mendel et al., 1985; Mendel et al., 1998; Faccoli et al., 2005), והעלייה בשכיחות של *P. calcaratus* בסתיו ובתחילת החורף ניכרת מתוצאות הלכידה במלכודות משפך (איור 4). היות ש-*T. destruens* תוקף את עצי האורן לצורך רבייה בראשית החורף ובסופו, המסקנה היא כי עצי אורן ברוטיה בחלקות צרעה והרטוב אוכלסו על ידי שני מינים אלה בעונות המעבר ובחורף (אוקטובר–מאי). לפיכך חוזרת ועולה השאלה באיזו מידה *P. calcaratus* ו-*T. destruens* היו גורם ישיר לתמותת העצים. כל עצי אורן ברוטיה שמתו בשנת 2014 ו-2015 אוכלסו על ידי *P. calcaratus* (טבלה 1). עצים אלה הציגו דפוס צימוח ירוד לאורך כל חייהם כפי שדווח במאמר קודם (אטיאס ושות', 2022). *P. calcaratus* מאכלס תחילה את חלקו העליון של הגזע, שהוא גם המקטע הראשון שנפגע מן היובש, ולעיתים העץ חוזר ומתאושש גם לאחר שאיבד את קצה הצמרת. תצפית זו מרמזת כי האוכלוסייה המקומית של *P. calcaratus* הייתה תסמין לעקת המים הקשה שחוו העצים. העובדה כי עצים אלה לא אוכלסו על ידי *O. erosus* מעידה על כך שהעצים היו עדיין חיוניים במחצית השנייה של הקיץ. נראה כי על רקע התמותה של העצים בשנים הקודמות והחל משנת 2016, התפתחה בחלקות אורן הברוטיה במערך הניסוי השני אוכלוסייה של *T. destruens* שאכלסה כצפוי את חלקיו התחתונים של העץ. תופעה זו ניתנת להסבר בכך שהחולשה הפיזיולוגית שאפשרה את התמותה, התפתחה רק לקראת הסתיו, וכך נמנעה למעשה פעילות של *O. erosus* בחלקות. לפיכך, מעורבות חיפושיות הקליפה כגורם ישיר בתמותה בחלקות אלה לא הוכח. מצד שני, נראה כי שינוי האקלים בעשור אחרון מאפשר מעורבות

הבעת תודה

מחקר זה בוצע במימון קרן קימת לישראל, תוכנית מספר 10-03-4387-18, ובתמיכת מלגת רנה קרשון לרותם אטיאס. אבקש להודות לאנשי צוות אזור חוף-שפלה על שיתוף הפעולה והקצאת הזמן והמשאבים לביצוע המהלך בשטח: למנהל האזור גלעד מסטאי, ליערנים איתמר דרור, נורית היבשר ויוסי שרואני, לאנשי תא ההנדסה בשנות המחקר ניתאי זכריה ואלברט סקריפניקוב, לשמי אלביליה ולמגן מנצור על תמיכתם בביצוע המיזם. תודתנו שלוחה לד"ר מיכאל ספרינצין אשר קידם את היבטי הממ"ג שאפשרו תכנון ושליטה מיטביים.

יותר עם עקת יובש, כל עוד נשמר האיזון בין גודל אוכלוסיות חיפושיות הקליפה לבין בריאות עצי היער. החשש הוא כי היחלשות העצים בעקבות תקופות יובש ארוכות, שצפויות להחמיר עקב שינוי האקלים, עלולה להוביל לגידול אוכלוסיות חיפושיות הקליפה, ולכך יהיו השלכות הרות אסון על היקף תמותת עצי אורן. לנוכח חשש זה גוברת חשיבות הבנת הגורמים המובילים לירידה בבריאות העץ ולמותו, והבנה זו הכרחית להליך קבלת ההחלטות בניהול היער, בהתאם למסקנות קודמות (אטיאס ושות', 2022). מחקר זה מדגים את הצורך בהתערבות פעילה כאשר מסתמנת סכנה של התפרצות המונית של חיפושיות קליפה.

מקורות

- Fettig CJ, Mortenson LA, Bulaon BM, and Foulk PB. 2019. Tree mortality following drought in the central and southern Sierra Nevada, California, U.S. *Forest Ecology and Management*, 432, 164–178.
- Gaylord ML, Hofstetter RW, and Wagner MR. 2010. Impacts of silvicultural thinning treatments on beetle trap captures and tree attacks during low bark beetle populations in ponderosa pine forests of northern Arizona. *Journal of Economic Entomology*, 103(5), 1693–1703.
- Geertsema H. 1979. Insect problems in South African forest plantations. *Wood Southern Africa*, August, 33–36.
- Gmelin JF. 1787. *Abhandlung über die Wurmtrocknis*. Leipzig: Cruisiuschen.
- Ghaïoule D, Abourouh M, Bakry M, and Haddan M. 1998. Insectes ravageurs des forêts au Maroc. *Annales de la Recherche Forestière Au Maroc*, 31, 129–156.
- Halperin J and Holzschuh C. 1984. Contribution to the knowledge of bark beetles (Coleoptera :Scolytoidea) and associated organisms in Israel. *Israel Journal of Entomology* 18, 21–37.
- Hochman A, Harpaz T, Saaroni H, and Alpert P. 2018. The seasons' length in 21st century CMIP5 projections over the eastern Mediterranean. *International Journal of Climatology*, 38(6), 2627–2637.
- Kirisits T. 2004. Fungal associates of European bark beetles with special emphasis on the Ophiostomatoid fungi. In: Lieutier F, Day KR, Battisti A, Grégoire J-C, and Evans HF (Eds). *Bark and Wood Boring Insects in Living Trees in Europe, a Synthesis*. Dordrecht: Springer Netherlands. pp 181–236.
- Klutsch JG, Cale JA, Whitehouse C, Kanekar SS, and Erbilgin N. 2017. Trap trees: An effective method for monitoring mountain pine beetle activities in novel habitats. *Canadian Journal of Forest Research*, 47(10), 1432–1437.
- Lieutier F, Mendel Z, and Faccoli M. 2016. Bark beetles of Mediterranean conifers. In: Paine TD and Lieutier F (Eds). *Insects and Diseases of Mediterranean Forest Systems*. Cham: Springer International Publishing. pp 105–197.
- Mazur A, Witkowski R, Lomidze N, and Mendzikowski J. 2020. Notes on distribution of *Pityogenes calcaratus* (Eichhoff, 1878) (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) in Georgia. *Acta Scientiarum Polonorum Silvarum Colendarum Ratio et Industria Lignaria*, 19(4), 183–185.
- אטיאס ר, גולן ע, אלון א, אלרן מ, רגב ל, בוארטו א ושות'. 2022. הזיקה בין הישרדות של עצי אורן ברוסיה לבין תבנית גדילת רוחב רב-שנתית. *יער*, 22–70.
- הלפרין י. 1978. הקמבית בלסטופגוס ומניעת נזקיה באורנים. *ליערן*, 28(1–4), 20–28.
- Balachowsky AS. 1949. *Coleopteres, Scolytides*. Paris: P. Lechevalier.
- Bentz BJ, Régnière J, Fettig CJ, Hansen EM, Hayes JL, Hicke JA, et al. 2010. Climate change and bark beetles of the Western United States and Canada: Direct and indirect effects. *BioScience*, 60(8), 602–613.
- Borden JH, Pureswaran DS, and Lafontaine J-P. 2008. Synergistic blends of monoterpenes for aggregation pheromones of the Mountain Pine Beetle (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Economic Entomology*, 101(4), 1266–1275.
- Branco M, Pereira JS, Mateus E, Tavares C, and Paiva MR. 2010. Water stress affects *Tomicus destruens* host pine preference and performance during the shoot feeding phase. *Annals of Forest Science*, 67, 608.
- Carle P. 1975. Problèmes posés par les ravageurs xylophages des conifères en forêt méditerranéenne. *Revue Forestière Française*, 27(4), 283–296.
- Davi H, Durand-Gillmann M, Damesin C, Delzon S, Petit C, Rozenberg P, et al. 2020. Distribution of endemic bark beetle attacks and their physiological consequences on *Pinus halepensis*. *Forest Ecology and Management*, 469, 118187.
- Dori-Bachash M, Avrahami-Moyal L, Protasov A, Mendel Z, and Freeman S. 2015. The occurrence and pathogenicity of *Geosmithia* spp. and common blue-stain fungi associated with pine bark beetles in planted forests in Israel. *European Journal of Plant Pathology*, 143(4), 627–639.
- El-Sayed AM, Suckling DM, Wearing CH, and Byers JA. 2006. Potential of mass trapping for long-term pest management and eradication of invasive species. *Journal of Economic Entomology*, 99(5), 1550–1564.
- Faccoli M. 2007. Breeding performance and longevity of *Tomicus destruens* on Mediterranean and continental pine species. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 123(3), 263–269.
- Faccoli M, Battisti A, and Masutti L. 2005. Phenology of *Tomicus destruens* (Wollaston) in northern Italian pine stands. In: Lieutier F and Ghaïoule D (Eds). *Entomological Research in Mediterranean Forest Ecosystems*. Paris: INRA Editions. pp 185–193.

- Özkazanç O, İktüeren S, and Yücel M. 1985. Studies on the biology and control of *Orthotomicus erosus* (Woll.) in Mediterranean and Aegean regions. *Ormancilik Arastirma Enstitüsü Yayinlari*, 152, 1–56.
- Raffa KF, Phillips TW, and Salom SM. 1993. Strategies and mechanisms of host colonization by bark beetles. In: Schowalter TD and Filip GM (Eds). *Beetle-Pathogen Interactions in Conifer Forests*. San Diego: Academic Press. pp 103–128.
- Seybold SJ, Bentz BJ, Fettig CJ, Lundquist JE, Progar RA, and Gillette NE. 2018. Management of Western North American bark beetles with semiochemicals. *Annual Review of Entomology*, 63(1), 407–432.
- Seybold SJ, Penrose RL, and Graves AD. 2016. Invasive bark and ambrosia beetles in California Mediterranean forest ecosystems. In: Paine TD and Lieutier F (Eds). *Insects and Diseases of Mediterranean Forest Systems*. Cham: Springer International Publishing. pp 583–662.
- Smith RH. 1986. Trapping western pine beetles with baited toxic trees. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station, Research Note PSW-382.
- Zhou YT, Ge XZ, Zou Y, Guo SW, Wang T, and Zong SX. 2019. Climate change impacts on the potential distribution and range shift of *Dendroctonus ponderosae* (Coleoptera: Scolytidae). *Forests*, 10(10), 860.
- Meddens AJH, Hicke JA, and Ferguson CA. 2012. Spatiotemporal patterns of observed bark beetle-caused tree mortality in British Columbia and the western United States. *Ecological Applications*, 22(7), 1876–1891.
- Mendel Z. 1988. Attraction of pine bark beetles to the synthetic aggregation pheromone formulation of *Orthotomicus erosus* and *Ips typographus*. *Phytoparasitica*, 16, 109–117.
- Mendel Z. 2000. The phytophagous insect fauna of Pinus halepensis and P. brutia forests in the Mediterranean. In: Ne'eman G and Trabaud L (Eds). *Ecology, Biogeography and Management of Mediterranean Pine Forest Ecosystems* (1 ed.). Leiden: Wil R. Peters-Backhuys. pp 217–237.
- Mendel Z, Boneh O, and Riov J. 1992. Some foundations for the application of aggregation pheromone to control pine bark beetles in Israel. *Journal of Applied Entomology*, 114, 217–227.
- Mendel Z, Branco M, and Battisti A. 2016. Invasive sap-sucker insects in the Mediterranean Basin. In: Paine TD and Lieutier F (Eds). *Insects and Diseases of Mediterranean Forest Systems*. Cham: Springer International Publishing. pp 261–291.
- Mendel Z and Halperin J. 1982. The biology and behavior of *Orthotomicus erosus* in Israel. *Phytoparasitica*, 10(3), 169–181.
- Mendel Z, Madar Z, and Golan Y. 1985. Comparison of the seasonal occurrence and behavior of seven pine bark beetles (Coleoptera: scolytidae) in Israel. *Phytoparasitica*, 13(1), 21–32.