

עודד כהן

הפקולטה לחקלאות, מזון וסביבה,
האוניברסיטה העברית בירושלים

יוסי ריוב

הפקולטה לחקלאות, מזון וסביבה,
האוניברסיטה העברית בירושלים

אברהם גמליאל

המכון להנדסה חקלאית, מרכז
וולקני בית דגן

יעקב קטן

הפקולטה לחקלאות, מזון וסביבה,
האוניברסיטה העברית בירושלים

פועה בר (קוטיאל)

המחלקה לגיאוגרפיה ופיתוח
סביבתי, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב

מאמר זה עבר שיפוט עמיתים

ציטוט מומלץ

כהן ע, ריוב י, גמליאל א ואחרים.
2010. השפעת הטמפרטורה
בתנאים יבשים ולחים על פוטנציאל
ההשתמרות של בנק הזרעים של
שיטה כחלחלה בקרקע. *אקולוגיה
וסביבה* 1(2): 28–37.



שיטה כחלחלה בפריחה בחולות ראשון לציון | צילום: פועה בר (קוטיאל)

השפעת הטמפרטורה בתנאים יבשים ולחים על פוטנציאל ההשתמרות של בנק הזרעים של שיטה כחלחלה בקרקע

2 במאי, 2010

גיליון קיץ 2010 / כרך 1(2)

[חזית המחקר](#)

תקציר

השיטה הכחלחלה נחשבת לצמח המעוצה הפלשני ביותר בישראל. ממשק הדברה יעיל כנגד השיטה הכחלחלה מחייב פיתוח אסטרטגיית ממשק להפחתת בנק הזרעים הבר-קיימא בקרקע. מנגנון ההשתמרות של בנק הזרעים קשור בתכונת התרדמה הפיזיקלית של הזרע, המתאפיינת בקליפה קשה ואטימה למים. מקובל להפחית את השתמרות בנק הזרעים על-ידי שילוב של שרפה יזומה, הגורמת לשבירת התרדמה ולהדברת הנבטים שמציצים מהקרקע. שרפה מתרחשת לרוב בתנאי קרקע יבשים ומתאפיינת בטמפרטורות גבוהות במשכי זמן קצרים. מעט מאוד ידוע על השפעת טמפרטורות בינוניות (40–50 מעלות צלזיוס) במשכי זמן ארוכים בתנאים לחים על ההשתמרות של בנק הזרעים. במהלך חמש השנים שבין 2002 ל-2007 התבצע מחקר ללימוד התגובה של בנק הזרעים לחשיפה לטמפרטורות בינוניות וגבוהות בתנאים יבשים ולחים במעבדה ובשדה. הטיפולים שנבחנו כללו שימוש בחיטוי סולרי, בשרפה, בהשקיה חד-פעמית בקיץ ושילובים שונים ביניהם.

תוצאות המעבדה הראו, שחשיפת הזרעים בתנאים יבשים לטמפרטורות בינוניות במשכי זמן ארוכים גרמה לשבירת

התרדמה של הזרעים והגבירה את שיעור הנביטה שלהם. לעומת זאת, חשיפת הזרעים לטמפרטורות זהות ולאותם משכי זמן בתנאים לחים, אמנם גרמה גם היא לשבירת התרדמה, אך הפחיתה את שיעור החיוניות. הפגיעה בחיוניות הזרעים נבעה מתחילת תהליכי נביטה בתנאים שאינם נוחים לנביטה, דבר שהביא להחלשתם (weakening effect). הטיפולים שנמצאו כיעילים גם בתנאי שדה הם אלה שבהם באו לידי ביטוי שני השלבים בפגיעה בזרעים כפי שנלמדו בתנאי מעבדה, קרי שבירת התרדמה והתחלת תהליכי נביטה בתנאים לא נוחים. כל הטיפולים שבהם שולבו טמפרטורות גבוהות והרטבה הביאו לפגיעה כמעט מוחלטת בבנק הזרעים בקרקע בהשוואה לטיפולים שלא כללו הרטבה.

מבוא

השיטה הכחלחלה (*Acacia saligna*) נמנית על מיני השיטים האוסטרליות המוכרות בארץ [1] ובעולם [13] כפלשניות. הצלחת הפלישה של השיטה הכחלחלה קשורה בתכונותיה הפיזיולוגיות המקנות לה משרעת אקולוגית רחבה ויתרון תחרותי באמצעות קצבי צימוח גבוהים של הנוף ושל מערכת השורשים [19, 20]. כמו כן, יכולת ההתפשטות של המין קשורה בכושר ייצור זרעים גבוה ובפוטנציאל ההתחדשות דרך בנק זרעים גדול מאוד, שמשמטר בקרקע לאורך זמן (persistent seed bank). מנגנון ההשתמרות של בנק הזרעים נובע מתרדמה פיזיקלית (שתיקרא להלן PY), הקשורה בקליפת זרעים קשה ואטימה למים. הצלחת ממשק הדברה כנגד השיטה, כמו גם כנגד צמחים אחרים בעלי בנק זרעים בר-קיימא, תלויה במידה רבה ביכולת הפחתת פוטנציאל ההשתמרות של בנק הזרעים [5]. שרפה יזומה מהווה כלי ממשקי נפוץ להפחתת בנק הזרעים בקרקע [17]. שרפה מתבצעת לרוב בתנאי קרקע יבשה והיא מעלה את טמפרטורת פני השטח ללמעלה מ-300 מעלות צלזיוס. בחלק מהטיפולים המשולבים כנגד צמחים פלשניים משתמשים בשרפה כטיפול מקדים לפני הדברה [16]. שרפה יכולה לפגוע בחיוניותם של זרעים אשר אינם עמידים לטמפרטורת השרפה או להגביר את שיעור נביטת הזרעים, ובכך להקטין את בנק הזרעים [2, 8]. אולם הוכח [12, 4], ששרפות מעודדות לרוב נביטה והתבססות מחודשת של מינים פלשניים בעלי מנגנון PY. יתרה מכך, לאור הסכנה הכרוכה בשרפות, האפשרות להשתמש בגישה זו מוגבלת, בעיקר סמוך לאזורים מיושבים. לרוע המזל, פלישת צמחים פלשניים, כמו גם במקרה של השיטה הכחלחלה, גבוהה יחסית בשולי האזורים המיושבים בהשוואה לאזורים הטבעיים [6]. המחקר הנוכחי בחן את האפשרות להדביר את בנק הזרעים של השיטה הכחלחלה על-ידי שימוש בטמפרטורות בינוניות (40–60 מעלות) בתנאים לחים, תנאים המתקבלים על-ידי חיטוי סולרי. החיטוי הסולרי (solar heating, soil solarization) פותח כחלופה לחיטוי קרקע כנגד גורמי מחלה [11], אך מהר מאוד התגלתה יעילותו גם כנגד טווח רחב של מזיקים שוכני קרקע ושל עשבים שוטים בשטחים חקלאיים [3]. החיטוי מבוסס על שימוש באנרגיית השמש לחימום הקרקע בעזרת יריעות פוליאתילן שקופות, שנפרסות על גבי קרקע לחה בעונת הקיץ. מנגנון הקטילה של הזרעים על-ידי החיטוי הסולרי הוא פיזיקלי, אך ככל הנראה משולבים בו גם גורמים כימיים וביולוגיים [3]. מטרת המחקר הייתה להבין את התהליכים המשפיעים על הפגיעה בבנק הזרעים כתגובה לחשיפה לטמפרטורות בינוניות וגבוהות בתנאים לחים ויבשים בהתאמה, שהתקבלו באמצעות חימום, שרפה וחיטוי סולרי. המחקר נערך במעבדה ובשדה בין השנים 2002 ל-2007, ובמאמר זה מוצגים כמה מהניסויים, שיש בהם כדי לתרום להבנת העקרונות הנדרשים לממשק המיועד להפחתת בנק זרעים בר-קיימא.

שיטות

ניסוי מעבדה

השפעת חום יבש/לח בטמפרטורות בינוניות למשכי זמן ארוכים על חיוניות זרעים

בניסוי זה נעשה שימוש בזרעים טריים, שנאספו מעצים בעונת ההפצה האחרונה שלפני הניסוי, וחיוניותם הוערכה בלמעלה מ-94% באמצעות מבחן חיוניות. הזרעים הוכנסו לצננות זכוכית בנפח של 20 סמ"ק, כשהם מעורבבים בחול קוורץ יבש או לח (חימום יבש וחימום לח). הצננות הוכנסו לתוך קערות שהכילו מים, שחוממו לטמפרטורה של 50 מעלות למשך 72 שעות ברמת דיוק של 1–1.5 מעלות. קבוצות הזרעים בטיפול החימום הושו לקבוצת ביקורת בתנאים דומים, אך ללא חימום. כל הטיפולים נעשו בשלוש חזרות, כשבכל חזרה 30 זרעים. בניסוי נוסף נבדקה השפעתן של טמפרטורות שונות למשכי זמן שונים בתנאים לחים על חיוניות הזרעים. זרעים, שהתרדמה שלהם נשברה על-ידי השריה בחומצה גופריתנית למשך 90 דקות, נחשפו לשתי רמות טמפרטורה: 40 ו-50 מעלות במשכי זמן של 8, 24, 48 ו-72 שעות. הניסוי התבצע בשלוש חזרות, כשבכל חזרה 30 זרעים.

מבחני חיוניות ונביטה

חיוניות הזרעים נבדקה במבחנים חד-שלביים ודו-שלביים. במבחן החד-שלבי נעשה שימוש במבחן חיוניות ביוכימי עוקף תרדמה באמצעות טטרזוליום כלוריד [15,9]. המבחן הדו-שלבי כלל שלב נוסף של הנבטת הזרעים במשך חודש לפני בדיקת החיוניות. ההנבטה נעשתה בין ארבעה ניירות סינון (38.2X25.5 ס"מ). הניירות הושרו בתמיסה מימית שהכילה Elisan (חומר פעיל – דיקלורן) בריכוז של 0.04%. הזרעים פוזרו על גבי שלושה ניירות וכוסו בנייר נוסף. הניירות קופלו בקצותיהם, גולגלו יחד והוכנסו לשקיות ניילון כדי לשמור על רמת הלחות. השימוש במבחן דו-שלבי נעשה כדי להבדיל בין זרעים חיוניים בתרדמה וזרעים חיוניים שאינם בתרדמה. זרעים שנבטו במבחן ההנבטה נחשבו לזרעים חיוניים ללא תרדמה. זרעים שלא נבטו אך נמצאו לחיוניים במבחן החיוניות נקבעו כזרעים בתרדמה. סך כל שיעור החיוניות נקבע כסיכום הזרעים בתרדמה וללא תרדמה.

ניסוי שדה בתנאים מבוקרים

השפעת חיטוי סולרי על חיוניות זרעים

ניסוי לבחינת השפעת חיטוי סולרי בתנאי שדה התבצע בתנאים מבוקרים בחוות הניסויים ברחובות בתקופה שבין אמצע יולי לאמצע אוגוסט 2004. גודל חלקות הניסוי היה 3X4 מטר במרחק של 1-1.5 מטר זו מזו. הניסוי התבצע בקרקע חול-חמרה שמקורה מעומק פרופיל הקרקע שהורטבה בבוקר הניסוי עד למצב של קיבול שדה. חימום הקרקע נעשה בעזרת כיסוי החלקות ביריעות פוליאיתילן שקוף בעובי 35 מיקרון. טיפול הביקורת היה דומה, אולם בתוספת רשת אלומיניום בגובה 50 ס"מ מעל לפני הקרקע שנתנה 90% צל, ובכך מנעה את השפעת החימום הסולרי. בניסוי זה נעשה שימוש בזרעים טריים. הזרעים הוכנסו לתוך השקיות שנקשרו לאורכו של חבל, שהוטמן בקרקע בארבעה עומקים: 3, 6, 9 ו-12 ס"מ. הטמנת הזרעים נעשתה באמצעות מקדח קרקע במטרה למנוע עד כמה שניתן הפרה של הקרקע בחלקה. כל החפירות נעשו במרכזי החלקות במטרה למנוע השפעות שוליים. מזידת הטמפרטורה בחלקות התבצעה באמצעות מערכת חיישנים (T-thermocouples), שנקברו בעומקי הקרקע השונים וחוברו לאוגר נתונים מרכזי (21X, Campbell Scientific Inc. Logan, UT). קריאת הטמפרטורות התבצעה כל 15-30 דקות.

ניסוי שדה בשמורת טבע

השפעת הטיפולים על הפחתת בנק הזרעים בקרקע

הניסוי נערך בשיטת הבלוקים. ארבעה כתמים של שיטה כחלחלה נבחרו בשקעים רחבים בין הדיונות לרכסי הכורכר בפלמחים, וכל כתם שימש כבלוק שבו נוסו ארבעה טיפולים. המרחק בין הכתמים היה 50-500 מטר. הכתמים נבחרו על בסיס תכונות דומות במידת האפשר של קרקע (חול מעורב עם אבני כורכר), טופוגרפיה (מישור) וגיל עומדי השיטה (<20 שנים). כל אחד מארבעת הבלוקים חולק לשני תתי-בלוקים (30X30 מטר), שביניהם שביל הפרדה ברוחב של שבעה מטר. תתי-בלוק אחד נועד לטיפולים ששולבה בהם כריתה, והשני נועד לטיפולים ששולבה בהם שרפה. העצים בשולי תתי-בלוקים נעקרו באמצעות שופל (טרקטור כף) עד למרחק של 10 מטר למניעת השפעת שוליים על חלקות הניסוי. כל אחד משני תתי-בלוקים כלל שלושה טיפולים שהתבצעו בחלקות שגודלן 3X4 מטר: (1). כריתה (שכללה הדברת גזמים) או שרפה (ביקורת); (2). שרפה או כריתה והרטבה חד-פעמית בקיץ, מיד לאחר השרפה או הכריתה; (3). שרפה או כריתה, הרטבה וחיטוי סולרי. טיפולי הכריתה וההדברה של העצים נעשו בחודש יוני 2004. העצים שבתת-בלוק הכריתה נכרתו בגובה של 5-10 ס"מ מעל לפני הקרקע, הגזם פונה מהשטח והגזמים נמרחו ב-10% טומהוק (קוטל עשבים) בשמן ביטול למניעת התחדשות מהגזמים. העצים שבתת-בלוק השרפה נכרתו והושארו בשטח. כחודש לאחר הכריתה והתייבשות הגזם בחלקות, בוצעו השרפות בשני מועדים (17 ו-20 באוגוסט 2004), שתי חזרות של שרפה בכל מועד. חלקות החיטוי הסולרי היו מכוסות במשך כ-60 יום, החל מאמצע חודש אוגוסט ועד אמצע חודש אוקטובר. יריעת הפוליאיתילן הוסרה לקראת הגשם הראשון. במטרה להגן על החלקות מפגיעה של בעלי חיים (בעיקר שועלים, צבאים ודורבנים) נבנתה גדר מרשת פלסטיק (גודל החורים 10 ס"מ) סביב חלקות הניסוי. טמפרטורת הקרקע בפני השטח ובעומק של שלושה ס"מ נמדדה במהלך השרפה באמצעות חיישנים מסוג K. נתוני הטמפרטורה הועברו לאוגר נתונים מרכזי (Center 304/306 Datalogger Thermometer) ברמת דיוק של 0.1 מעלות. טמפרטורת הקרקע במהלך החיטוי הסולרי נמדדה בכל החלקות, באופן דומה לשיטת המדידה בחוות הניסויים. במאמר זה מוצגים נתוני הטמפרטורה בעומק של שלושה ס"מ, מאחר שעד לעומק זה מצויים למעלה מ-80% מהזרעים בקרקע. השפעת הטיפולים על בנק הזרעים בעומקים השונים נבדקה באותן השיטות ששימשו בחוות הניסויים, כמתואר לעיל. כל שילוב של טיפול ועומק קרקע נבדק בארבע חזרות בכל אחד מארבעת הבלוקים, כ-30 זרעים בכל חזרה. ספירת הצצות נבטים בחלקות התבצעה בתחילת חודש מרס 2005. הצצת הנבטים נספרה לאורך שני אלכסונים של כל חלקת טיפולים.

סטטיסטיקה

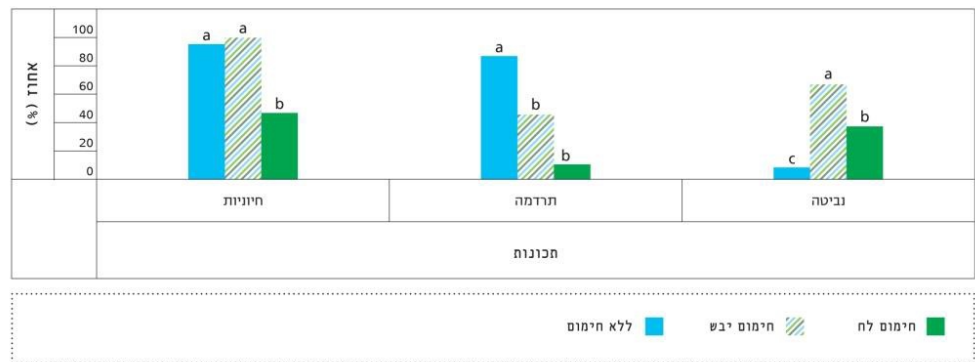
ניתוחים סטטיסטיים בוצעו בתוכנת (SAS Institute Inc. USA) JMP. לערכים המבוטאים באחוזים בוצעו ניתוחי שונות לאחר טרנספורמציה ל- \arcsin . כל ניתוחי השונות נערכו במתכונת מבוססת על ניסויי בבלוקים באקראי במתכונת חד-גורמית או דו-גורמית. הגורמים שהוכנסו למודל בניסויי המעבדה היו הטמפרטורה ומשך זמן החשיפה, ואילו בניסויי השדה הוכנסו הגורמים של עומק הקרקע וסוג הטיפול. השפעת הגומלין בין הגורמים נבדקה בכל הניסויים. השוואת ממוצעים נעשתה באמצעות המבחנים: Tukey HSD, או מבחן ניגודיות t במקרה של השוואת ממוצעים בין שני טיפולים. כל המבחנים בוצעו ברמת מובהקות של 5%.

תוצאות

ניסוי מעבדה

שיעור החיוניות של זרעים טריים בעלי שיעור תרדמה גבוה, שנחשפו ל-50 מעלות במשך 72 שעות בתנאים יבשים, היה גבוה מ-96%, וגבוה באופן מובהק מזה (46%) של זרעים שנחשפו לטמפרטורה זהה בתנאים לחים (איור 1). אף-על-פי ששיעור התרדמה הממוצע (מתוך 30 זרעים לחזרה) לזרעים שחוממו בטיפול יבש היה גבוה (אך לא במובהק) מאשר בתנאי הטיפול הלח, שיעור הנביטה הממוצע היה גבוה במובהק אף הוא בהשוואה לזרעים שחוממו בטיפול לח. שיעור החיוניות בקרב זרעים לאחר שבירת התרדמה היה 88%, לאחר שהושרו בצננות חול לח למשך 72 שעות, ולא היה שונה במובהק (מבחן 5% Tukey), בהשוואה לזרעים שחוממו בטמפרטורה של 40 מעלות למשך שמונה שעות (89%) ו-24 שעות (67%). חשיפת הזרעים למשך זמן של 48 ו-72 שעות באותה רמת טמפרטורה, הפחיתה את חיוניות הזרעים לכדי 27% ו-36% בהתאמה, שיעורים נמוכים במובהק מאלה שצוינו לעיל. חשיפת הזרעים לטמפרטורה של 50 מעלות לשמונה שעות הפחיתה את חיוניות הזרעים לכדי 12%. שיעור החיוניות פחת כמעט באופן מוחלט (>1%) בטיפולים המשלבים חשיפה לטמפרטורה של 50 מעלות למשך זמן של 24 שעות ומעלה.

איור 1. השוואה של השפעת חימום לח ויבש על חיוניות, על תרדמה ועל נביטה של זרעים בחשיפה לטמפרטורה של 50 מעלות למשך 72 שעות. טיפולי החימום הושוו לקבוצת ביקורת, ללא חימום. n = 3 חזרות, 30 זרעים בכל חזרה. ערכים בעמודות ללא אות משותפת מציינים הבדל מובהק לפי מבחן Tukey (95%), בתוך תכונת זרעים (חיוניות, תרדמה ונביטה)



איור 1

השוואה של השפעת חימום לח ויבש על חיוניות, על תרדמה ועל נביטה של זרעים בחשיפה לטמפרטורה של 50 מעלות למשך 72 שעות

טיפולי החימום הושוו לקבוצת ביקורת, ללא חימום. n = 3 חזרות, 30 זרעים בכל חזרה. ערכים בעמודות ללא אות משותפת מציינים הבדל מובהק לפי מבחן (Tukey) 95%, בתוך תכונת זרעים (חיוניות, תרדמה ונביטה)

ניסויי שדה בתנאים מבוקרים

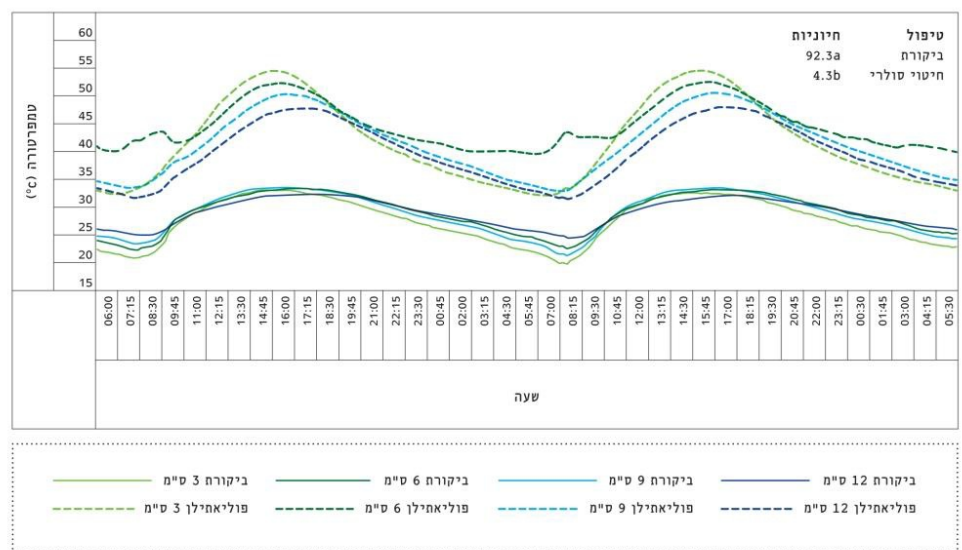
השפעת חיטוי סולרי על טמפרטורת הקרקע וחיוניות

זרעים קבורים

טמפרטורות הקרקע בעומקים השונים (3, 6, 9 ו-12 ס"מ) היו גבוהות בכל עומקי הקרקע בחלקת החיטוי הסולרי בהשוואה לחלקות הביקורת (איור 2). טמפרטורת הקרקע הגבוהה ביותר בשתי החלקות נמדדה בשכבת הקרקע העליונה (שלושה ס"מ), ועוצמתה פחתה עם עומק הקרקע. הטמפרטורות הגבוהות ביותר שנמדדו היו 52, 50, 48 ו-46 מעלות בחלקת החיטוי הסולרי, ו-33, 33 ו-31 מעלות בחלקת הביקורת, בעומקים של 3, 6, 9 ו-12 ס"מ, בהתאמה. החיטוי הסולרי גרם לקטילת הזרעים הקבורים בקרקע כמעט באופן מוחלט (איור 2), ללא הבדל מובהק בין עומקי הקרקע. חיוניות הזרעים בחלקת הביקורת הייתה גבוהה מ-90%, שיעור גבוה במובהק בהשוואה לחלקת החיטוי הסולרי.

איור 2. השפעת חיטוי סולרי על טמפרטורת הקרקע ועל חיוניות זרעים קבורים

השתנות הטמפרטורה בעומקים 3, 6, 9 ו-12 ס"מ, בחלקת ביקורת ובחלקת חיטוי סולרי, במהלך שתי יממות בחודש יולי 2004. השפעת החיטוי הסולרי על זרעים קבורים (בתוך מסגרת) נקבעה על-ידי מבחן ניגודיות t (95%), בין חלקת החיטוי הסולרי לחלקת הביקורת ללא השפעה סולרית. העומק לא נמצא כגורם שהשפיע במובהק על חיוניות הזרעים, גם לא בהתחשב בהשפעות הגומלין בין הטיפול, n = 4 שקיות זרעים, בכל שקית 30 זרעים בארבעה עומקי קרקע



איור 2

השפעת חיטוי סולרי על טמפרטורת הקרקע ועל חיוניות זרעים קבורים

השתנות הטמפרטורה בעומקים 3, 6, 9 ו-12 ס"מ, בחלקת ביקורת ובחלקת חיטוי סולרי, במהלך שתי יממות בחודש יולי 2004. השפעת החיטוי הסולרי על זרעים קבורים (בתוך מסגרת) נקבעה על-ידי מבחן ניגודיות t (95%), בין חלקת החיטוי הסולרי לחלקת הביקורת ללא השפעה סולרית. העומק לא נמצא כגורם שהשפיע במובהק על חיוניות הזרעים, גם לא בהתחשב בהשפעות הגומלין בין הטיפול, n = 4 שקיות זרעים, בכל שקית 30 זרעים בארבעה עומקי קרקע

ניסוי שדה בשמורת פלמים

השפעת שרפה על טמפרטורת הקרקע בפני השטח ובעומק של שלושה ס"מ

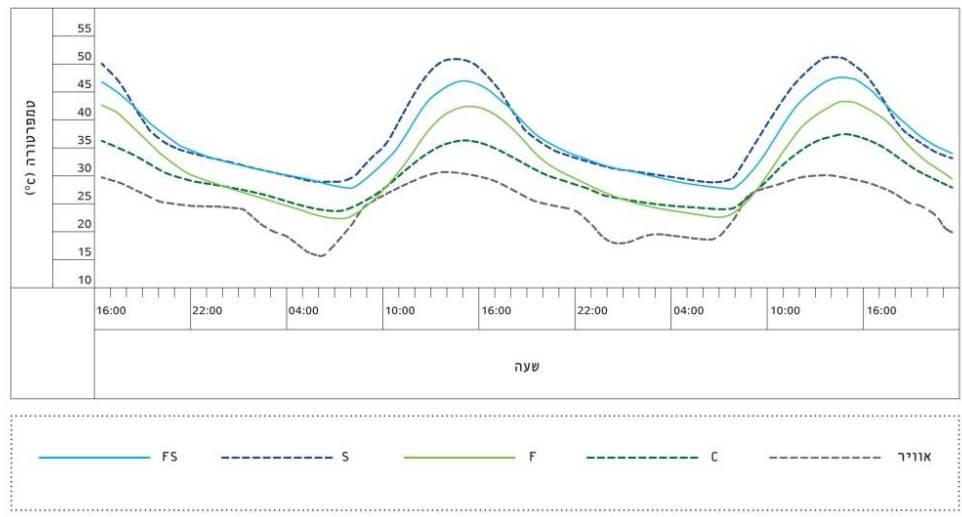
טמפרטורת הקרקע ההתחלתית בזמן שרפה (שעת ההצתה – 9:30) הייתה 27 מעלות בפני השטח ובעומק של שלושה ס"מ. טמפרטורת פני השטח עלתה במהלך השרפה לשיא של 543 מעלות לאחר כ-45 דקות ממועד ההצתה. הטמפרטורה נשארה גבוהה מ-500 מעלות במשך כשעה ופחתה לאחר כ-15 דקות לכ-200 מעלות. ירידת הטמפרטורה בפני הקרקע מ-200 מעלות (11:30) ועד ל-100 מעלות (16:00) ארכה כ-4.5 שעות. תוך כדי מגמת ההתקררות הכללית, נרשמה עלייה נוספת ומתונה בטמפרטורה כתוצאה מנפילת חלקי עץ שרופים על פני השטח. הירידה בטמפרטורה מ-100 מעלות (16:00) ועד ל-44 מעלות (6:00) חלה בהדרגה ובאופן ליניארי. טמפרטורת הקרקע בעומק של שלושה ס"מ עלתה לטמפרטורת שיא של 100 מעלות כ-

6.5 שעות לאחר הצתה. לאחר מכן, הטמפרטורה ירדה בהדרגה ובאופן ליניארי, בדומה להשתנות הטמפרטורה בפני השטח.

השפעת הטיפולים על טמפרטורת הקרקע

טמפרטורות האוויר המרביות במהלך היממה התקבלו לרוב בשעה 14:00 וטמפרטורות הקרקע המרביות בטיפולים ובעומקים השונים התקבלו לרוב בין 15:00 ל-16:00 (איור 3). טמפרטורות האוויר הנמוכות ביותר במהלך היממה התקבלו בדרך כלל בין 1:00 ל-6:00 לפנות בוקר וטמפרטורות הקרקע הנמוכות ביותר התקבלו בין 7:00 ל-9:00 בבוקר. מפל הטמפרטורות בעומקי הקרקע השונים בשעות החמות היה לפי הסדר: $3 < 6 < 9 < 12$ ס"מ. מפל הטמפרטורה בטיפולים השונים בעומקים של שלושה עד שישה ס"מ היה לפי הסדר הבא: חיטוי סולרי (S) < שרפה וחיטוי סולרי (FS) < שרפה (M) < כריתה (C). הטמפרטורות שהתקבלו בחיטוי הסולרי בין העומקים שלושה עד תשעה ס"מ היו טמפרטורות דומות לאלה שהתקבלו בחיטוי סולרי סטנדרטי שבוצע בחוות הניסויים (איורים 2, 3). לעומת זאת, בעומק של 12 ס"מ הטמפרטורות היו נמוכות יותר.

איור 3. השתנות טמפרטורת האוויר וטמפרטורת הקרקע בעומק של שלושה ס"מ בחלקות הטיפולים השונות (C – כריתה; F – שרפה; S – חיטוי; FS – שרפה וחיטוי), במהלך יומיים בתחילת ספטמבר 2004



איור 3

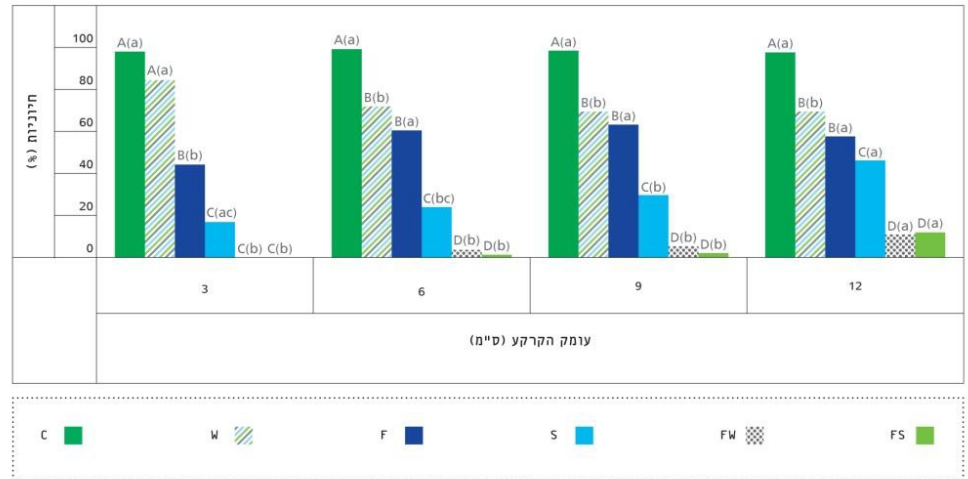
השתנות טמפרטורת האוויר וטמפרטורת הקרקע בעומק של שלושה ס"מ בחלקות הטיפולים השונות (C – כריתה; F – שרפה; S – חיטוי; FS – שרפה וחיטוי), במהלך יומיים בתחילת ספטמבר 2004

השפעת הטיפולים על זרעים קבורים בקרקע

הטיפולים השונים (כריתה, כריתה והשקיה חד-פעמית בקיץ, כריתה וחיטוי סולרי, שרפה, שרפה והשקיה חד-פעמית בקיץ, שרפה וחיטוי סולרי), עומק הקרקע (3, 6, 9 ו-12 ס"מ) והשפעות הגומלין בין שניהם (טיפול אומק) נמצאו כגורמים המשפיעים במובהק ($P < 0.0001$) על שיעור החיוניות של זרעים שנקברו בקרקע. הבדלי הממוצעים מתוארים באיור 4. השפעת הטיפולים על איבוד החיוניות של הזרעים הייתה לפי הסדר הבא: שרפה וחיטוי סולרי (FS) = שרפה והשקיה חד-פעמית בקיץ (FW) < כריתה וחיטוי סולרי (S) < שרפה (F) < כריתה והשקיה חד-פעמית בקיץ (W) < כריתה (C). שיעור החיוניות של הזרעים בטיפול הכריתה היה גבוה מ-97% בכל העומקים. שיעור החיוניות של הזרעים בטיפול של כריתה והשקיה חד-פעמית בקיץ היה גבוה מ-70% בכל העומקים, וכן היה גבוה באופן מובהק בעומק של 6-12 ס"מ. שיעור החיוניות בטיפול של כריתה וחיטוי סולרי היה נמוך מ-30% בעומקים שבין שלושה לתשעה ס"מ, וכן נמוך באופן מובהק מזה שהתקבל בעומק של 12 ס"מ (46%). שיעורי חיוניות נמוכים במיוחד נמדדו בטיפולים של שרפה והשקיה ושרפה וחיטוי סולרי בכל העומקים, אם כי שיעור החיוניות בעומק של 12 ס"מ היה גבוה מאשר בשאר העומקים.

איור 4. השפעת הטיפול ועומק הקרקע על חיוניות זרעים

השוואת ממוצעים (Tukey, 0.05) לבחינת השפעת הגומלין של הטיפולים ועומקי הקרקע השונים על חיוניות הזרעים. ערכים ללא אות גדולה משותפת באותו עומק קרקע מציינים הבדל מובהק בין הטיפולים הממשקים. ערכים ללא אות קטנה משותפת באותו טיפול ממשקי מציינים הבדל מובהק בין העומקים. C – כריחה, W – כריחה והרטבה חד-פעמית בקיץ, F – שרפה, S – כריחה וחיטוי סולרי, FW – שרפה והרטבה חד-פעמית בקיץ, FS – שרפה וחיטוי סולרי. n = 4 שקיות זרעים, בכל שקית 30 זרעים, לכל שילוב של עומק וטיפול ממשקי בבלוק טיפולים ארבעה בלוקים



איור 4

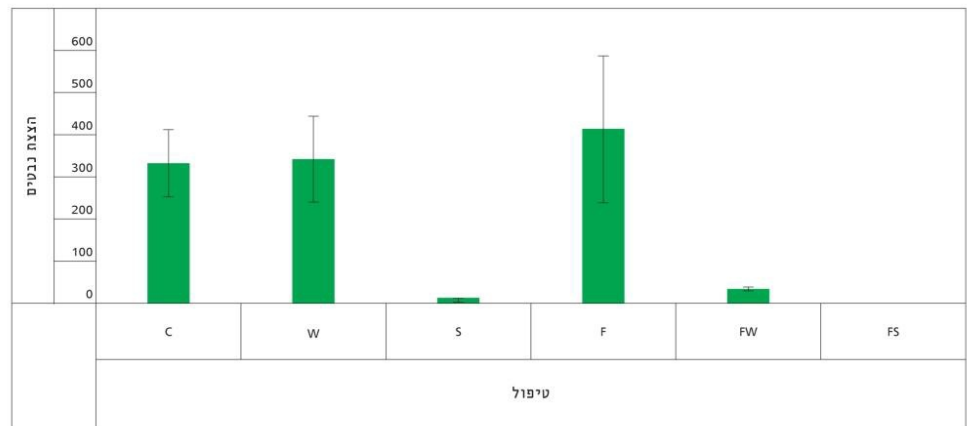
השפעת הטיפול ועומק הקרקע על חיוניות זרעים

השוואת ממוצעים (Tukey, 0.05) לבחינת השפעת הגומלין של הטיפולים ועומקי הקרקע השונים על חיוניות הזרעים. ערכים ללא אות גדולה משותפת באותו עומק קרקע מציינים הבדל מובהק בין הטיפולים הממשקים. ערכים ללא אות קטנה משותפת באותו טיפול ממשקי מציינים הבדל מובהק בין העומקים. C – כריחה, W – כריחה והרטבה חד-פעמית בקיץ, F – שרפה, S – כריחה וחיטוי סולרי, FW – שרפה והרטבה חד-פעמית בקיץ, FS – שרפה וחיטוי סולרי. n = 4 שקיות זרעים, בכל שקית 30 זרעים, לכל שילוב של עומק וטיפול ממשקי בבלוק טיפולים ארבעה בלוקים

השפעת הטיפולים על הצאת נבטים

השונות הטבעית הגבוהה, שאפיינה את צפיפות הזרעים בתוך החלקות וביניהן, באה לידי ביטוי בשגיאות התקן הגבוהות בכל הטיפולים, כולל בחלקת הביקורת (איור 5). שונות גבוהה במיוחד אפיינה את טיפול השרפה בחלקות השונות. לאור מספר החזרות המוגבל (ארבע חלקות לכל טיפול) שניתן היה לבצע במגבלות המחקר, ולנוכח השונות הניסויית הגבוהה, חושבו הממוצעים ושגיאות התקן בלבד (איור 5). שרפה והרטבה חד-פעמית בקיץ, שרפה וחיטוי סולרי, וכריחה וחיטוי סולרי הפחיתו את פוטנציאל התחדשות הצצות הנבטים לערכים נמוכים במיוחד (ממוצע > 40 הצצות לשני אלכסוני החלקה יחד) בהשוואה לטיפולים של שרפה, כריחה, כריחה והרטבה חד-פעמית (300-400 הצצות בקירוב).

איור 5. השפעת הטיפול על הצצת נבטים (ממוצע ושגיאת תקן) בטיפולים השונים
ספירת הנבטים התבצעה בחודש מרס 2005. n = 4 חלקות לכל טיפול



איור 5

השפעת הטיפול על הצצת נבטים (ממוצע ושגיאת תקן) בטיפולים השונים

ספירת הנבטים התבצעה בחודש מרס 2005. n = 4 חלקות לכל טיפול

דיון

המחקר הנוכחי הראה שניתן להפחית את בנק הזרעים של השיטה הכחלחלה על-ידי שימוש בטמפרטורות בינוניות בתנאים לחים (חום לח) זאת, בניגוד לשיטת ההדברה המקובלת באמצעות שרפה הנעשית בתנאים יבשים (חום יבש) וגורמת לטמפרטורות קרקע גבוהות מאוד. תהליך חדירת המים לזרעים, כתוצאה משבירת התרדמה, מאיץ תהליכים מטבוליים אשר מגדילים את רגישות הזרעים לתנאי הסביבה [14]. במחקר זה אכן נמצא, שחשיפת הזרעים לחום לח פגעה בחיזיונותם באופן מובהק יותר מאשר חשיפתם לחום יבש (איור 1). שיעור הנביטה של הזרעים היה גבוה בשני הטיפולים (יבש ולח) בהשוואה לקבוצת הביקורת, אלא שבעוד שהזרעים שטופלו בחום יבש נבטו לאחר הטיפול, הזרעים שטופלו בחום לח איבדו מחיזיונותם. הטיפול היבש העלה את שיעור הנביטה של הזרעים, בעוד שהטיפול הלח הגדיל את שיעור התמותה של הזרעים. כמו כן, זרעים שתרדמתם נשברה באופן מבוקר לפני הניסוי, גילו רגישות גבוהה לתנאי חום: הזרעים איבדו את חיזיונותם כבר לאחר חשיפה לטמפרטורה של 50 מעלות בפרק זמן של 24 שעות (ממוצע > 1%). חיטוי סולרי הוא שיטה שבה ניתן ליישם באופן יעיל שימוש בטמפרטורות בינוניות בתנאים לחים. מחקרים שנעשו על השפעת החיטוי הסולרי על מגוון רחב של זרעים המשתייכים לקבוצת "העשבים הרעים" הראו, שהשיטה אינה יעילה לקטילת זרעים בעלי PY. עובדה זו הוכחה במספר מחקרים לגבי כמה מינים [3], כמו דבשה חרוצה (*Mellilotus sulcatus*), קדד ספרדי (*Astraglaus boeticus*) וזנב-העקרב השכני (*Scorpiurus muricatus*), כולם שייכים לקטניות. לעומת זאת, במחקר הנוכחי נמצא שהחיטוי הסולרי פגע באופן מובהק בחיזיונותם של זרעי השיטה הכחלחלה שהוטמנו בשכבות הקרקע שבין 0 ל-12 ס"מ (איור 2). ממצא זה חזר על עצמו בשלושה ניסויים שנערכו בשנים שונות, וכן בחוות הניסויים שברחובות, בשני סוגי קרקעות ובעוצמות טיפול שונות, ובנוסף גם בשמורת הטבע בפלמחים (איור 4). טמפרטורות הקרקע בטיפולים של חיטוי סולרי בתנאי חוות הניסויים נעה בין 46 ל-52 מעלות בכל עומקי הקרקע (איור 2), ולמשך זמן של לפחות שעתיים. לפי תוצאות המעבדה, בתנאים הללו, די בחשיפה של 12 יום כדי להשיג קטילה מוחלטת של בנק הזרעים. טמפרטורת הקרקע שהתקבלה בחיטוי הסולרי בשמורת הטבע הייתה דומה לזו שהתקבלה בחוות הניסויים (איור 3). טמפרטורה זו פגעה בחיזיונותם של הזרעים הקבורים בשכבת הקרקע העליונה בלמעלה מ-80%. ראוי לציין, שמרבית הזרעים של השיטה הכחלחלה (80%) מצויים בשכבת קרקע זו (ד"ר עודד כהן - ידע אישי). טמפרטורות הקרקע בחיטוי סולרי בחלקות השרפה היו נמוכות בהשוואה לאלו שהתקבלו בחיטוי סולרי בחלקות הכריתה (איור 3). הסיבה לכך הייתה כיסוי של אפר שנדבק ליריעות הפוליאיתילן בצידן התחתון. למרות זאת, שילוב של חיטוי סולרי ושרפה השיג קטילה כמעט מוחלטת של בנק הזרעים (איורים 4, 5), כתוצאה משבירת התרדמה לפני החשיפה לחיטוי סולרי. טמפרטורת הקרקע לאחר השרפה עלתה ליותר מ-47 מעלות (איור 4) ודי בה כדי להסביר את תופעת שגשוג הצצת הנבטים לאחר השרפה (איור 1). תופעה זו מקורה בהסרת כיסוי הנוף וחשיפת הקרקע לקרינה ישירה לאחר השרפה, ולא דווקא כתוצאה מהחשיפה לחום הקרקע במהלך השרפה. יש לציין, שגם ללא שרפה, חשיפת הקרקע לקרינה ישירה על-ידי סילוק רפידת העלים יכולה להביא לטמפרטורות קרקע שבהן תישבר תרדמת הזרעים. השרפה כשלעצמה הפחיתה באופן משמעותי את גודל בנק הזרעים (איור 4) אך לא הפחיתה את פוטנציאל הצצתם של הנבטים מהקרקע בעונת הנביטה הראשונה (איור 5). הואיל ופני השטח בחלקת הכריתה היו מכוסים ברפידת עלים, טמפרטורת הקרקע הייתה נמוכה מ-35 מעלות, רמה שאינה מספקת כדי לגרום לפגיעה

בבנק הזרעים באמצעות השקיה חד-פעמית בקיץ. לעומת זאת, שילוב של שרפה והשקיה חד-פעמית בקיץ השיג קטילה מוחלטת של בנק הזרעים (איור 4) והפחית את פוטנציאל הצצת הנבטים דרך בנק הזרעים (איור 5). בנק הזרעים הבר-קיימא של השיטה כחלחלה ניחן בשיעור תרדמה גבוה הקשור במנגנון PY של הזרע. כל עוד קליפת הזרע שלמה, היא מונעת חדירה של מים אליו, ונד בבד משמשת מכשול פיזיקלי נגד תקיפת גורמי מחלה בקרקע (פתוגנים). פגיעה בשלמות קליפת הזרע גורמת לשבירת התרדמה, וכתוצאה מכך מאפשרת נביטה מחד גיסא, אך חושפת את הזרע לסכנה של תקיפה על-ידי מיקרואורגניזמים, מאידך גיסא. הפסקת התרדמה אם כן, מקצרת את משך השהייה של הזרע בבנק הזרעים על-ידי שלושה תרחישים אפשריים [3]: (1). הזרע ינבוט בהצלחה ויצוץ מעל לפני השטח; (2). הזרע ינבוט "נביטת התאבדות" (suicidal germination), כלומר ינבוט בעומק שאינו מאפשר את הצצתו מעל לפני השטח; (3). הזרע יאבד את חיוניותו כתוצאה מחשיפה לתנאים שאינם מתאימים לנביטה, ו/או כתוצאה מתקיפה על-ידי מיקרואורגניזמים. חום יבש מקצר את זמן השהייה של הזרע בבנק הזרעים על-ידי הגברת שיעור הנביטה (איור 6), ואילו חום לח מקצר את זמן חייו של הזרע (איורים 1, 2, 4, 5). שרפה מתאפיינת לרוב בטמפרטורות גבוהות במשך זמן קצרים בתנאים יבשים. לכן, עד כה הושם דגש בספרות המדעית על לימוד התנאים הללו כבסיס לפיתוח עקרונות ממשק [7, 10, 17]. לעומת זאת, תוצאות הניסויים במעבדה, בשדה ובשמורת הטבע מלמדות, שניתן להשיג תוצאות הדברה טובות בטמפרטורות בינוניות במשך זמן ארוכים בתנאים לחים. מחקר זה אפשר לנו להבין את תהליך ההפחתה של בנק הזרעים הבר-קיימא כתגובה לטיפול המשלב חימום והרטבה: בשלב הראשון הזרעים 'מוחלשים' בעקבות שבירת התרדמה, תהליך המגדיל את רגישותם לתנאי עקה סביבתיים. השלב השני מתאפיין ביצירת תנאי עקה אשר פוגעים בזרעים המוחלשים. אסטרטגיית ממשק הפחתת בנק זרעים ניתנת ליישום לא רק בחיטוי סולרי, אלא גם בכלים אחרים כמו קיטור, חיטוי קרקע באש ושילוב עם הרטבה, או כפי שהוכח במחקר זה, על-ידי שרפה והרטבה חד-פעמית בקיץ. השימוש בשיטות הללו מוגבל לשטחים בעלי טופוגרפיה נוחה שאינה סלעית. עם זאת, פיתוח מתקדם של חומרים סינתטיים חלופיים ליריעות פוליאיתילן עשוי להרחיב את השימוש בחיטוי סולרי להדברת שיטה כחלחלה. תוצאות המחקר הוכיחו, שחום לח בטמפרטורות בינוניות, המיושם באמצעות חיטוי סולרי, יעיל יותר מאשר חום יבש בטמפרטורות גבוהות המתקבל באמצעות שרפה. מן הראוי לציין, שכל שיטות ההדברה הללו אינן סלקטיביות, ויישומן עלול לפגוע גם בבנק הזרעים הטבעי. שיקום הצומח הטבעי יהווה לכן את השלב השני לאחר סילוק הצמח הפלשני.

מקורות

1. כהן ע, קותיאל פ, שושני מ ומרב שו"ב. 2002. התפשטות השיטה הכחלחלה (*Acacia saligna*) בחולות ניצנים: דוגמה לחדירה ביולוגית במערכת חופית. *אופקים בגיאוגרפיה* **55**: 79-96.
2. Bossard C. 1993. Seed germination in the exotic shrub *Cytisus scoparius* in California. *Madrono* **40**: 46-61
3. Cohen O and Rubin B. 2007. Soil solarization and weed management – a review. In: Upadhyaya M and Blackshaw RE (Eds). *Non-chemical Weed Management*. CABI Publishing, A division of CAB International, UK
4. D'Antonio CM. 2000. Fire, plant invasions and global changes. In: Mooney H. and Hobbs R. (Eds). *Invasive Species in a Changing World*, Island Press, Covela, CA
5. Davis AS. 2006. When does it make sense to target the weed seed bank? *Weed Sci* **54**: 556-558
6. Domenech R, Vila M, Pino J, and Gesti J. 2005. Historical land-use legacy and *Cortaderia selloana* invasion in the Mediterranean region. *Glob Chan Biol* **11**: 1054-1064
7. Herranz JM, Ferrandis P and Martinez-Sanchez JJ. 1998. Influence of heat on seed germination of seven Mediterranean Leguminosae species. *Plant Ecol* **136**: 95-103
8. Holmes PM, Macdonald IAW, and Juritz J. 1987. Effects of clearing treatment on seed banks of the alien invasive shrubs *Acacia saligna* and *Acacia cyclops* in the southern and south Africa. *J Appl Ecol* **24**: 1045-1051

- ISTA Working Sheets on Tetrazolium Testing, 2003: Volume II Tree and Shrub .9
 .Species, The International Seed Testing Association (ISTA), Bassersdorf, Switzerland
- Jeffery DJ, Holmes PM, and Rebelo AG. 1988. Effects of dry heat on seed germination .10
 in selected indigenous and alive legume species in South Africa. *South African J Bot*
54: 28-34
- Katan J, Greenberger A, Alon H, and Grinstein A. 1976. Solar heating by polyethylene .11
 mulching for the control of diseases caused by soil-borne pathogens. *Phytopathology*
66: 683-688
- Kruger FJ and Bigalke RC. 1984. Fire in fynbos. In: Hooysen P de V and Tainton NM .12
 .(Eds). Ecological Effects of Fire in South African Ecosystems. Springer-Verlag, Berlin
- Macdonald IAW and Jarman ML (Eds). 1984. Invasive Alien Organisms in the .13
 Terrestrial Ecosystems of the Fynbos Biome, South Africa. South African Scientific
 .National Progress Report. Number 85, CSIR, Pretoria
- Mickelson JA and Grey WE. 2006. Effect of soil water content on wild oat (*Avena* .14
fatua) seed mortality and seedling emergence. *Weed Sci* **54**: 255-262
- Neelu G, Mohit G, and Mamta P. 1998. Tetrazolium test for the seeds of *Acacia* .15
nilotica Willd. ex. Del. *Indian Forester* **124**: 1039-1042
- Rice PM. 2004. [Fire as a tool for controlling nonnative invasive plants](#). Bozeman, MT: .16
 .Center for Invasive Plant Management
- Richardson DM and Kluge RL. 2008. Seed banks of invasive Australian *Acacia* species .17
 in South Africa: role in invasiveness and options for management. *Plant Ecol* **10**: 161-
 .177
- Tozer MG. 1998. Distribution of the soil seedbank and influence of fire on seedling .18
 emergence in *Acacia saligna* growing on the central coast of New South Wales. *Austr*
J Bot **46**: 743-755
- Witkowski ETF. 1991. Growth and competition between seedlings of *Protea repens* .19
 (L.) L. and the alien invasive, *Acacia saligna* (Labill.) Wendl. in relation to nutrient
 .availability. *Func Ecol* **5**: 101-110
- Witkowski ETF. 1994. Growth of seedlings of the invasives, *Acacia saligna* and *Acacia* .20
cyclops, in relation to soil phosphorus. *Austr J Ecol* **19**: 290-296