

תכשירים לשחרור מבוקר של אגרו- כימיקלים

← **אחמד נאסר, אלה מאיר, אורי מינגלגרין, זאב גרסטל**

המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה. מרכז וולקני,

מינהל המחקר החקלאי nasser@agri.gov.il

וב הכמות המוספת של חומרי הדברה אינה ממלאת את יעודה. הגורמים לכך כוללים פיזור החומר עם הרוח, נידוף, שטיפה אופקית ושטיפה לעומק הקרקע

עם מי הגשם, או השקיה ופרוק כימי או ביולוגי, שהוא לעיתים קרובות הגורם החשוב ביותר להעלמות חומרי הדברה מהקרקע.

מצב כזה מחייב יישום חומר ההדברה במינון גבוה בהרבה מהנדרש לפעולה כנגד אורגניזם המטרה, וזאת כדי לשמור על ריכוז מספיק להדברה לאורך כל תקופת הזמן, שבו פיזור לפיזור. סכנת שטיפת חומר ההדברה אל מי התהום, או מקורות מים עיליים גוברת עם העלייה בכמות חומר ההדברה המוספת לקרקע.

תכשירים לשחרור מבוקר הם מערכות אגירה המשחררות לסביבה את תכולתן הפעילה בקצב הרצוי במהלך תקופת הזמן הרצויה. תכשירים אשר מורכבים מנשא אליו קשור כימית, או בו כלוא החומר הפעיל (למשל חומר הדברה). שחרור החומר הפעיל מהנשא נגרם כתוצאה מתגובה כימית (כמו שבירת קשרים כימיים) או כתוצאה מתהליכים פיזיקליים כמו דיפוזיה.

תכשירי השחרור המבוקר מספקים הגנה לחומר הפעיל מפני תהליכים, לרבות פרוק, שהחומר חשוף אליהם בטבע כשאינו כלוא בנשא. תכשיר לשחרור מבוקר מווסת את ריכוז חומר ההדברה באזור המטרה לאורך זמן, מעלה את יעילות ההדברה ומביא לחסכון כספי ולניקיון סביבתי. יתרונות תכשירי השחרור מבוקר של חומרי הדברה הם:

- הארכת זמן הפעולה של חומרי הדברה, שזמן מחצית חייהם קצר והגנה מפני תהליכי פירוק כימיים וביולוגיים.

- הפחתת כמות חומר ההדברה המיושמת, גורם התורם לחסכון כספי והפחתת זיהום

מקורות מים וקרקע.

- הורדת מספר היישומים בעונה בהשוואה לתכשירי ההדברה הקונבנציונליים, מה שחוסך כוח אדם ואנרגיה.

- הגנת החקלאי מחשיפה לחומר ההדברה בזמן היישום והפחתת הרעילות הלא מכוונת לצומח ולחי.

- בחירה מושכלת של הנשאים (למשל פולימרים מסוימים) מאפשרת שליטה בקצב שחרור החומר הפעיל ובמשך הזמן בו יהיה החומר יעיל. נשאים משתייכים בדרך כלל לאחד משלושת הסוגים הבאים:

- נשאים מתכלים, בהם קצב התכלות הנשא מכתוב את קצב השחרור של החומר הפעיל.

- נשאים היוצרים קרום העוטף את החומר הפעיל, כשקצב השחרור מוכתב על ידי דיפוזיה דרך הקרום.

- נשאי מטריצה ששחרור החומר הפעיל מהם מבוקר ע"י דיפוזיה בתוך המטריצה וממנה החוצה, או ע"י שבירה של קשרים כימיים או פיזיקליים בין המטריצה לבין החומר הפעיל.

בתכנון תכשיר לשחרור מבוקר יש להתחשב בתכונות החומר הפעיל והנשא כאחד, למשל: עלות, קצב השחרור, משך הפעילות, נוחות היישום, וקלות הייצור. הנשא צריך שיהיה זמין, זול ורצוי שיהיה פריק ביולוגית בכדי למנוע זיהום הסביבה. צריך שגודל וצורת התוארית יתאימו לפיזור בטכניקה מקובלת המאפשרת פיזור אחיד ופשוט. תכולת החומר הפעיל בתוארית לא צריכה להיות גבוהה מדי, כך שכמות התכשיר המיושמת ליחידת שטח תאפשר פיזור רציף ואחיד של החומר הפעיל, ואופי התכשיר צריך להיות כזה שאינו דרוש

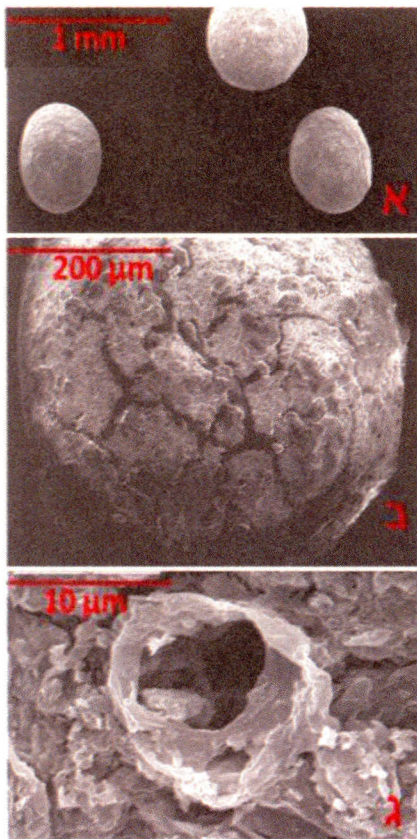
תנאים בלתי סבירים לאחסון.

תכשירי השחרור המבוקר המתוארים לכאן מתבססים על כדורוני מטריצה המורכבים מחומרים טבעיים, תהליך ייצורם קל, מחירם זול ותוצרי פירוקם אינם מזיקים לסביבה. המרכיבים העיקריים של הנשא הם פוליסכרידים המאורגנים במטריצה נקבובית, שניתן לכלוא בה מגוון רחב של חומרים פעילים. חרסיות מוספות לפוליסכרידים כאמצעי לוויסות קצב השחרור. בתמונה 1 מובאים מיקרוגרפים ממיקרוסקופ אלקטרוני סורק (SEM) של כדורוני השחרור המבוקר. בתמונות נראה בכירור המבנה הנקבובי של הכדורונים. מידת הנקבוביות וצורת הנקבובים (הפתלתלות) הם הגורמים העיקריים בוויסות קצב השחרור.

שחרור מבוקר של קוטל העשבים אלכלור

הערכת קצב השחרור מתכשירי השחרור המבוקר אל הסביבה בתנאי שדה היא תהליך מורכב, שכן בשדה חשוף התכשיר לתהליכים רבים ומשתנים. ניסוי השדה מחייב מספר חזרות רב על פני שטח נרחב והשקעה מרובה של זמן ועבודה. ביצוע ניסוי מעבדה להערכה כמותית של קצב השחרור היא חלופה מקובלת בה נבדק קצב שחרור החומר הפעיל מהתואריות לתוך תמיסה מימית או לתוך קרקע. ניסויים מסוג זה מאפשרים השוואה בין קצבי שחרור של תכשירים רבים בפרוצדורה פשוטה ומהירה יחסית.

שחרור אלכלור (החומר הפעיל באלנאקס, למשל) מכדורוני שחרור מבוקר ומתכשיר מסחרי לקרקע חמרה נבדק בניסוי עציצים



תמונה 1: מיקרוגרפי SEM של: א. כדורוני שחרור מבוקר, ב. שטח פנים היצוני של כדורוני השחרור מבוקר, ג. חתך כדורוני השחרור מבוקר

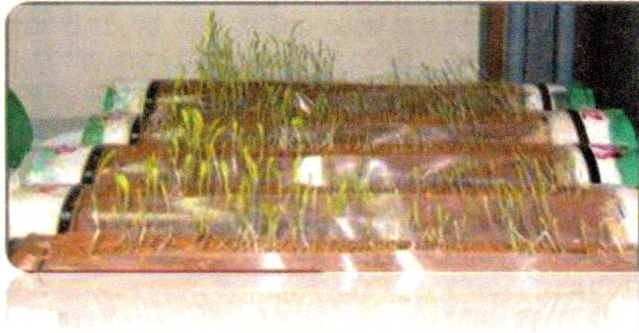
מכן הושכבו העמודות, נבקעו לאורכן ונזרעו בזרעי זיפן לאורך העמודה. העמודות הושקו במשך 14 יום ולאחר מכן נמדדה צמיחת הזיפן לאורך העמודות. התוצאות מעידות על עומק חלחול המטולכלור שכן בנפח הקרקע המזוהם במטולכלור מעוכבת צמיחת הזיפן (תמונה 2). בעמודות הביקורת היה, כצפוי, צימוח אחיד לכל אורך העמודה. בעמודה המטופלת בחומר המסחרי עוכב הצימוח בכ-55%-35% עד לעומק של כ-9 ס"מ ולאחר מכן לא נראה עיכוב כלל. לא נראה עיכוב של 100% בצימוח בשום נקודה לאורך העמודה. יש להניח שהחומר התפשט לאורך עמודת הקרקע עד לעומק 9 ס"מ ולכן קטן ריכוזו בכל נקודה ועם היירדה בריכוז חלה ירידה בעיכוב הצמיחה. בעמודות שטופלו בתכשיר השחרור המבוקר (CR III) נצפה עיכוב גדול יותר מאשר באלה שטופלו בחומר המסחרי (מעל 80% עיכוב בסנטימטר הראשון). העיכוב ירד בהדרגה עד ל-20% בעומק של 12 ס"מ. גם בעמודות שטופלו בתכשיר נע המטולכלור, אם גם במידה מופחתת, לאורך עמודת הקרקע. התכשיר CR IV נמצא כטיפול היעיל והידידותי ביותר לסביבה. נצפה עיכוב של 100% בצימוח עד עומק של 3 ס"מ, עיכוב של 45%-35% בעומק של 3-6 ס"מ ועיכוב זניח

(איור 1). האלכלור השתחרר לקרקע מהתכשיר המסחרי במהירות רבה ונעלם לגמרי בפחות מ-25 יום לאחר היישום. ממצא זה מתאים לזמן מחצית החיים של אלכלור בקרקע המדווח בספרות (בסביבות שבוע) כתוצאה מפירוק ביולוגי. לעומת זאת, ריכוז האלכלור עולה בקרקע אליה הוספו תכשירי השחרור המבוקר ומתייצב לתקופה של חודשים. העלייה החדה בריכוז האלכלור מהתכשיר CR II לאחר 40 יום מתחילת הניסוי נובעת מהתפרקות נשא מסוים זה ומשחרור מלא של החומר הפעיל.

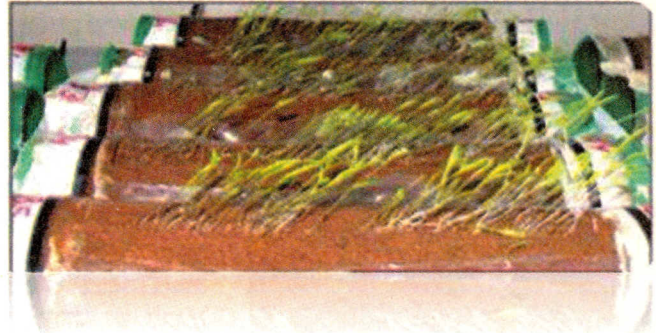
שחרור מבוקר של קוטל העשבים מטולכלור בעמודות קרקע

בלימת התנועה של חמרי הדברה (למשל מטולכלור) לאורך פרופיל הקרקע ומניעת הגעתם למי תהום היא אחת המטרות החשובות בפיתוח תכשירי שחרור מבוקר. תנועת המטולכלור נבחנה בעמודות פוליאיתילן שמולאו בקרקע חול חום אדום מרחובות. חומר ההדברה המסחרי (Dual) ותכשירי שחרור מבוקר פורו מעל החול במינון שווה של חומר פעיל ובנוסף הורצו עמודות ביקורת ללא חומר הדברה. העמודות הושקו כמי ברוז (נפח נקבובים אחד) והושארו ליממה על מנת לאפשר את תנועת המים וחומר ההדברה לאורך העמודה עד הגעה לשיווי משקל. לאחר

Dual



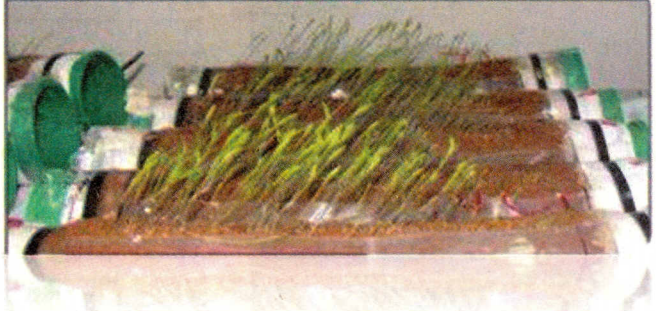
Control



CR I



CR II



תמונה 2 : צמיחת זיפן בעמודות קרקע שטופלו ב: חומר מסחרי (dual), תכשיר שחרור מבוקר (CR I), או תכשיר שחרור מבוקר שני (CR II) ובעמודה ללא חמר הדברה (control). חלקה העליון של העמודה מוטה לימין התמונה

שתכולת הכלורופיל שמקורו בכדורוני השחרור המבוקר גדולה פי 1.6 מאשר בטיפול בריסוס עלוותי. מכאן שקליטת הברזל מכדורוני השחרור המבוקר יעילה הרבה יותר מאשר בריסוס העלוותי המקובל.

שחרור מבוקר של קוטלי פטריות

קוטלי פטריות מיושמים על חימצה כנגד המחלה *Ascochyta blight* בכמה ריסוסים עלוותים במהלך העונה. הריסוס הוא תהליך יקר, שתזמונו תלוי בתנאי השדה ובמזג האוויר ועלותו עולה במקרים חריגים על ערך היבול. בוצע ניסוי שדה בשיתוף עם ד"ר דני שטיינברג מהמכון להגנת הצומח במרכז וולקני ונבחנו הטיפולים הבאים:

ביקורת ללא קוטל פטריות

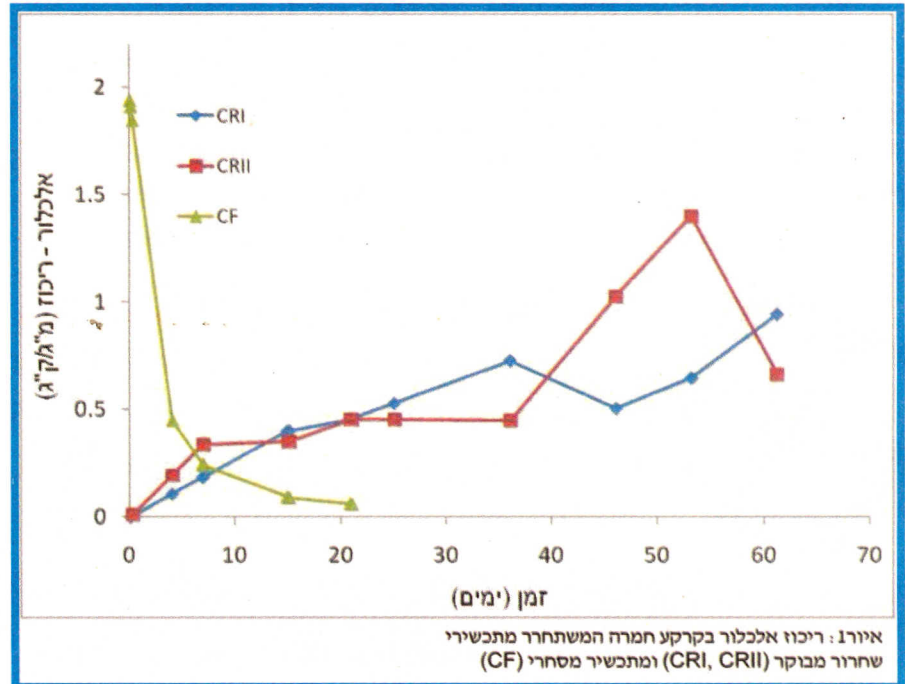
- ריסוס עלוותי עם *Maneb* (80% Maneb), עשרה ריסוסים, ס"ה 0.5 ק"ג חומר פעיל/דונם.
- ריסוס עלוותי עם *Tebuconazole* (25% Folicur), ארבעה ריסוסים, ס"ה 0.08 ק"ג חומר פעיל/דונם.
- כדורוני שחרור מבוקר המכילים *Tebuconazole* (VCR), פיזור אחד עם הזריעה, 0.1 ק"ג חומר פעיל/דונם.
- חומרת המחלה הוערכה לפי היחס בין מספר העלים הנגועים למספר העלים הכולל בצמח. איור 2 מראה שחומרת המחלה (המופצת ע"י מי ההשקיה), הייתה נמוכה בכל הטיפולים עד

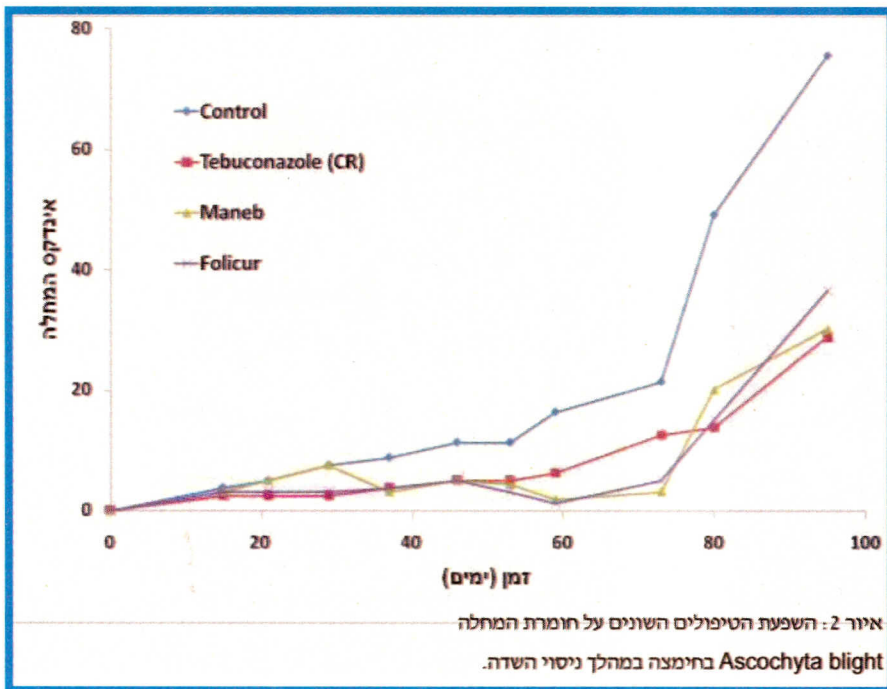
לשחרור מבוקר של סקווסטרין. הטיפולים בניסוי היו: ביקורת ללא ברזל, טיפול קונבנציונלי בסקווסטרין (שלושה ריסוסים בעונה) ופזור כדורוני שחרור מבוקר עמוסים בסקווסטרין, כאשר כמות הסקווסטרין שיושמה בשני הטיפולים האחרונים הייתה 1 ק"ג/דונם. זמינות הסקווסטרין לצמחי תפוח אדמה נקבעה על פי תכולת הכלורופיל בעלים 80 יום לאחר הזריעה. טבלה 1 מראה

בצימוח בעומק רב יותר.

שחרור מבוקר של ברזל (סקווסטרין)

בקרקות עשירות בגיד נפוץ מחסור בברזל זמין. ניתן להתגבר על המחסור באמצעות הוספת ברזל כקומפלקס (למשל סקווסטרין) המיושם בדרך כלל בריסוסים עלוותיים חוזרים במשך העונה. כבר בשנת 1993 בוצע ניסוי שדה בחוות עדן בעמק בית שאן לשם הערכת התאמת כדורוני השחרור המבוקר, כתכשירים





ליום החמישים מתחילת התצפיות. לאחר מכן עלתה חומרת המחלה ובחלקות הביקורת הגיעה לכ-80% בסוף העונה. בחלקות של שאר הטיפולים דיכאו קוטלי הפטריות את המחלה כשישמו בריסוסים עלוטיים חוזרים ואף כשישמו בכדורוני שחרור מבוקר פעם אחת עם הזריעה.

שחרור מבוקר של קוטל העשבים מטולכלור

יעילות תכשיר לשחרור מבוקר של קוטל העשבים מטולכלור (למשל, דואל גולד) נבחנה בניסוי שדה בגידול תירס שבוצע בקבוצת יבנה על ידי שי כיתאין. הטיפולים כללו: ביקורת ללא קוטל עשבים, כדורוני שחרור מבוקר שהכילו מטולכלור (120 גרם ח"פ/רונם), וריסוס אטרנקס (80 סמ"ק/רונם), שהוא קוטל עשבים מקובל. הוערך אחוז כיסוי השדה בעשבים רעים פעמיים במהלך הניסוי: שלושה שבועות וששה שבועות לאחר יישום חומרי ההדברה. נבדקו העשבים: ירבוז פלמרי הגורם לנזקים בגלל התחרות לגובה עם התירס, ריגלת הגינה, חימצה ורטורה. התוצאות (טבלה 2) מעידות שתכשיר השחרור המבוקר יעיל בהדברת מגוון עשבים

(פוליסכרידים וחרסיות) שתהליך ייצורם קל וזול. יעילות התכשירים הוכחה בתנאי מעבדה ובניסויי שדה. יתרון התכשירים הוכח בפעילות ארוכת הטווח כנגד אורגניזם המטרה, בהפחתה בכמות החומר הפעיל הנדרש, בהפחתה במספר היישומים בשדה, ובהגבלת תנועת חומרי ההדברה אל מקורת מים עיליים ותת קרקעיים.

לתכשירים שפותחו פוטנציאל רב להפחתת עלויות ההדברה והדישון במיוחד בהתחשב בעלייה הצפויה בטווח הרחוק והבינוני במחירי האגרו-כימיקלים. ■

רעים ושמר על כיסוי נמוך של העשבים לאורך זמן. יעילות ההדברה הוכחה גם כעבור ששה שבועות מאז הריסוס בעוד שיעילות האטרנקס פחתה משמעותית לאחר 3 שבועות.

סיכום

במאמר שלפניכם הודגם השימוש בתכשירים לשחרור מבוקר של מגוון רחב של אגרו-כימיקלים (קוטלי עשבים, קוטלי פטריות, וחומרי הזנה). תכשירי השחרור המבוקר שפותחו מבוססים על חומרים טבעיים

טבלה 1: תכולת כלורופיל (מבוטא ביחידות בליעה אופטית) בעלים.

טיפול	כלורופיל	סטיית תקן
ביקורת	0.34	0.08
ריסוס עלוטי	0.89	0.09
שחרור מבוקר	1.41	0.22

טבלה 2: אחוזי כיסוי בסוגי העשבים השונים שלושה שבועות (3 ש') וששה שבועות (6 ש') לאחר יישום חומרי ההדברה

טיפול	ירבוז פלמרי		ריגלת הגינה		חימצה		דטורה	
	3 ש'	6 ש'	3 ש'	6 ש'	3 ש'	6 ש'	3 ש'	6 ש'
ביקורת (ללא חמר הדברה)	20	30	15	10	5	0	10	1
מטולכלור - שחרור איטי	5	5	3	0.75	4	0	2	0.5
אטרנקס	8	40	0	6	4	0	7	1