

יישום חיטוי קרקע בקיטור להדברת פגעי קרקע בעגבניות

חוקרים שותפים:

דר' אברהם גמליאל, דר' אבי ארבל - המכון להנדסה חקלאית, מנהל המחקר החקלאי בית דגן.
אלי מתן, מירי טריגרמן - מו"פ דרום.
שלי גנץ יואל מסיקה - שה"מ, הגנת הצומח, משרד החקלאות.

תקציר:

העניין לחטא קרקעות ומצעי גידול בבתי צמיחה באמצעות קיטור כחלופה לשיטות החיטוי הקיימות מעניין בשנים האחרונות. מעט מאד מחקרים בנושא יישום חיטוי בקיטור נעשו בארץ ואין ניסיון רב בחיטוי בקיטור בחלקות גדולות. חדירת הקיטור לעומק מוגבלת בעיקר בגלל תכונות הקיטור החם לנוע כלפי מעלה וכן חסימת המעבר לשכבות עמוקות על ידי מים שהתעבו בשכבת הקרקע העליונה. ניתן לשפר את החדרת הקיטור לעומק על ידי יצירת לחץ שלילי בעומק של 60-70 ס"מ ושאיבת הקיטור משטח פני הקרקע לעומק זה. במערכת זו מוצנעת מערכת צינורות מחוררים בקרקע בעומק 60-70 ס"מ. צינורות אלה מחוברים לאגן ניקוז מרכזי הטמון בקרקע גם הוא, שממנו נשאב האוויר החוצה. מערכת זו מכילה גם אמצעים לסילוק עודפי המים המצטברים במערכת. החיטוי בשיטת ההזרמה העילית ושאיבה מהעומק מאפשר השגת טמפרטורות קטלניות עד לעומק של כ- 50 ס"מ.

בחנו קיטור כשיטת חיטוי בבתי צמיחה לגידול עגבניות. חיטוי בקיטור בוצע בהזרמה עילית משולבת בשאיבה מהעומק. הטיפולים כללו חיטוי בקיטור, חיטוי במתיל ברומיד (להשוואה) וחלקת היקש ללא חיטוי כלל. כל טיפול היה בהיקף של מפתח (שליש דונם). בחיטוי בקיטור בשיטה השאיבה מהעומק הושג חימום הקרקע וחיטוייה לעומק של 60 ס"מ. קטילת גופי ריבוי של פטריות פתוגניות שהוטמו בקרקע היתה מושלמת עד לעומק 60 ס"מ. יבול עגבניות מאכל ועגבניות שרי היה רב יותר בחיטוי בקיטור בהשוואה להיקש ומתיל ברומיד. בתום העונה נצפתה נגיעות בריקבון הכתר ובנמטודות עפצים. השפעת החיטויים על הדברת פגעים אלה תיבחן בשנת גידול שניה.

מבוא ותאור הבעיה:

הדברת פגעי קרקע בגידולים חקלאיים הינה מגבלה קשה בגידולים חקלאיים. בעיה זו מחריפה בגידולים אינטנסיביים ומונוקולטורה שבהם מגודלים גידולים עתירי הון שהתשומות עליהן גבוהות. משום כך מגודלים גידולים עתירי הון ברציפות ללא מחזור גידולים וללא פרק זמן ללא גידולים. על מנת להבטיח את ניקיון הקרקע מגורמי מחלות מבוצע חיטוי קרקע בתום עונת הגידול ולפני שתילת הגידול החדש. מרווח הזמן הקצר שבין הגידולים מאפשר חיטוי לפרק זמן קצר בלבד. החיטוי המקובל הינו חיטוי בחומרים נדיפים רעילים מאד כגון מתיל ברומיד, כלורופיקרין, או ופאם (מתאם סודיום), בנפרד או במשולב. חיטויים אלה יעילים בהדברת גורמי פגעים ומבטיחים במרבית המקרים גידולים בריאים ויבולים נאותים. עם זאת, החיטוי בתכשירים כימיים יוצר בעיות סביבתיות אשר מעמידות בספק את המשך השימוש בהם. לאחרונה סומן מתיל ברומיד כפוגע בשכבת האוזון ועל פי אמנת מונטריאול ונקבע לוח זמנים לצמצום השימוש בו עד לאיסור מוחלט בשימוש. בנוסף, מחרימות מדינות מסוימות יבוא תוצרת חקלאית המכילה שאריות ברומידים שמקורם בחיטוי קרקע. השימוש בתכשירים כימיים לחיטוי קרקע בבתי צמיחה גורם לבעיות סביבתיות נוספות. בתי הצמיחה קרובים בדרך כלל לבתי מגורים והשפעת לוואי של החיטוי מתבטאת במקרים מסויים בפגיעה בסביבה הקרובה. משום כך מוטלות מגבלות חדשות לבקרים על השימוש בתכשירים כימיים בבתי צמיחה בקרבת מגורים. גם חיטוי סולרי שהינו שיטה לחיטוי קרקע ללא שימוש בכימיקלים אינה פתרון. החיטוי הסולרי מחייב פינוי הקרקע מגידול למשך 6-8 שבועות, ובמקרים רבים מצב כזה אינו אפשרי בבתי צמיחה. במצב כזה של דלדול אמצעי החיטוי בבתי צמיחה ישנו הכרח למצוא ולפתח שיטות חלופיות לחיטוי קרקע.

חיטוי קרקע בקיטור ידוע ומקובל כבר עשרות שנים. החיטוי מבוסס על הזרמת קיטור בטמפי' גבוהה לקרקע וחימום שכבת העיבוד לטמפי' גבוהות לפרק זמן של מספר שעות. באופן זה נקטלים גורמי מחלה רבים בדומה לשיטות החיטוי הכימיות. חיטוי בקיטור מיושם בבתי צמיחה בארצות צפוניות בקנה מידה נרחב. בארצות כאלה (הולנד, גרמניה ועוד) משמש הקיטור אמצע לחימום המבנה במהלך עונת הגידול ומכיוון שהמערכת קיימת במבנה היא משמשת גם לחיטוי הקרקע

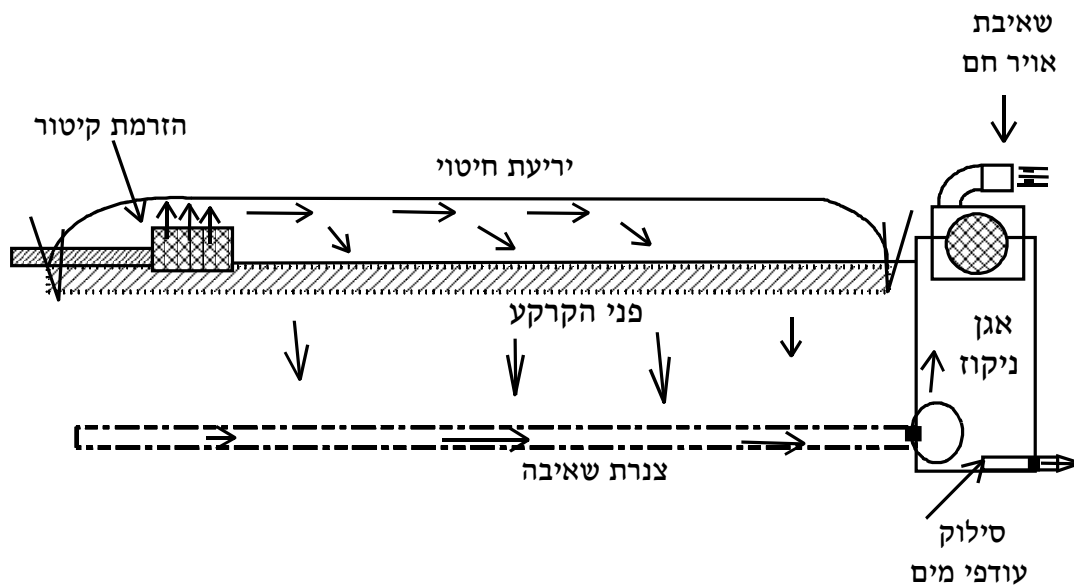
בתום הגידול בעלות נמוכה יחסית. בארץ מיושם כיום החיטוי בקיטור בהיקף מצומצם מאד ובעיקר בשולחנות השרשה במשתלות שבהם מקפידים על ניקיון מוחלט של מצע הגידול. לאחרונה ישנו עניין בחיטוי בקיטור בבתי צמיחה כחלופה לשיטות החיטוי הקיימות וכן כשיטה נוספת שתאפשר שימוש לסירוגין בשיטות שונות. בארץ אין כלל ניסיון בחיטוי בקיטור בחלקות גדולות וישנו הכרח לפתח שיטות וטכנולוגיות שיאפשרו חיטוי יעיל וכן עלות סבירה שתאפשר שימוש מסחרי. במסגרת זו אנו בחונים בשנים האחרונות את החיטוי בקיטור בשיטת השאיבה מהעומק כפי שמפורט להלן.

עקרונות החיטוי בקיטור:

חיטוי בקיטור מבוסס על הזרמת אדי קיטור בטמפרטורה של 120-150 מ"צ לקרקע יבשה, וחימומה לטמפרטורות המשיגות קטילה של פתוגנים שונים, חיידקים פטריות וירוסים נמטודות ועוד. הזרמת הקיטור נמשכת 3-7 שעות ובפרק זמן זה מושגת תנועה של הקיטור ומים חמים לעומק הקרקע על מנת לקטול את הפגעים בעומק שכבת העיבוד לפחות. ייצור הקיטור וחימום הקרקע לטמפרטורות קטלניות לפגעים מחייבים השקעת אנרגיה רבה (640 קק"ל על מנת להפוך ליטר מים לקיטור). עיקר האנרגיה מושקעת בהפיכת מים רותחים לקיטור (540 קק"ל). במהלך ביצוע החיטוי ישנם הפסדי חום דרך התעבות קיטור בצנרת מהדוד לקרקע ועל פני הקרקע מתחת יריעת החיטוי. ניתן לצמצם את התעבות הקיטור על ידי הוספת תנור המחמם את הקיטור ל-150 מ"צ (השקעת האנרגיה היא קטנה). בנוסף ניתן לכסות את יריעות החיטוי בריעה מבודדת ולצמצם עוד את הפסדי החום.

יעילות החיטוי בקיטור מותנית בהכנה נאותה של הקרקע או מצע הגידול. הקרקע חייבת להיות יבשה מעובדת ומתוחחת לעומק שכבת העיבוד.

חדירת הקיטור לעומק מוגבלת בעיקר בגלל תכונות הקיטור החם לנוע כלפי מעלה וכן חסימת המעבר לשכבות עמוקות על ידי מים שהתעבו בשכבת הקרקע העליונה. ניתן לשפר את החדרת הקיטור לעומק על ידי יצירת לחץ שלילי בעומק של 60-70 ס"מ ושאיבת הקיטור משטח פני הקרקע לעומק זה (ציור מס' 2). במערכת זו מוצנעת מערכת צינורות מחוררים בקרקע בעומק 60-70 ס"מ במרווחים של 160 ס"מ. צינורות אלה מחוברים לאגן ניקוז מרכזי הטמון בקרקע גם הוא, שממנו נשאב האוויר החוצה. מערכת זו מכילה גם אמצעים לסילוק עודפי המים המצטברים במערכת. חשוב לזכור כי לצורך ביצוע חיטוי לעומק של 50 ס"מ נדרשת כמות של כ-80 ליטר למ"ר. לכן על מנת להבטיח חדירה של הקיטור לעומק יש צורך לסלק את עודפי המים שהתעבו וחוסמים את מעבר הקיטור לשכבות עמוקות יותר. בהולנד קיימת בנוסף למערכת זו מערכת ניקוז נוספת הנמצאת בעומק רב יותר לצורך ניקוז מי התהום (הנמצאים בעומק 80-50 ס"מ בלבד). החיטוי בשיטת הזרמה העילית ושאיבה מהעומק מאפשר השגת טמפרטורות קטלניות עד לעומק של כ-50 ס"מ. השיטה עשויה להתאים לאדמות חול בהם הזרמת קיטור לבד ללא שאיבה אינה יעילה. בשנתיים האחרונות נבחנה שיטה זו בהדברת פגעים בגידולי פרחים שונים ואנו בוחנים אותה גם בגידול ירקות וצמחי תבלין.



ציור מס' 1. חיטוי קרקע בקיטור בשיטת הזרמה עילית תחת יריעות חיפוי ושאיבתו מהעומק.

פירוט הניסויים ותוצאות:

בית צמיחה בן שלושה מפתחים ששימש בעבר לגידול מטע צעיר יועד למטרות הניסוי. המבנה חולק לשלושה טיפולים עיקריים במתכונת של תצפית מודל גדולה. כל מפתח חוטא בחיטוי שונה שה"כ נבחנו הטיפולים הבאים: היקש ללא חיטוי, מתיל ברומיד במינון 50 ק"ג לדונם וחיטוי בקיטור.

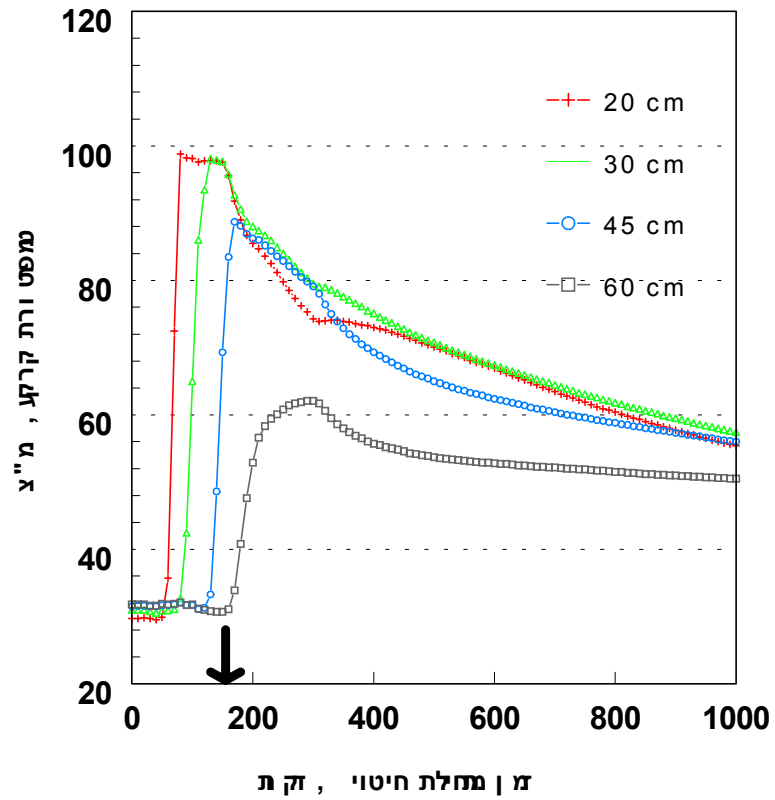
א. הכנת החלקות וביצוע החיטויים

1. **הנחת צינורות הניקוז.** הכנת החלקה לחיטוי כללה סילוק שיירי הצמחים עיבוד הקרקע לעומק וייבוש, מערכת צינורות ניקוז הונחה בחלקות במרווחים של 1.5 מטר בעומק 70-80 ס"מ (4 צינורות ניקוז בכל מפתח), צינורות ניקוז הונחו בכל המבנה (כולל המפתחים ללא חיטוי) על מנת להקנות תנאים שווים בכל החממה. ידוע כי צנרת ניקוז זו משמשת גם כמערכת ניקוז מים ולכן עשויה להשפיע על גידול הצמחים. בקצות החממה הונחו שני צינורות סמוכים על מנת לצמצם את אפקט השוליים בקצה החלקה. לאחר הנחת הצנרת יושרה החלקה ותוחחה לקראת ביצוע החיטוי.
2. **הטמנת ציוד מדידה.** לפני ביצוע החיטוי הוצנעו בקרקע חיישני טמפרטורה בעומקים 20, 30, 45, 60 ס"מ. רישום טמפרטורה בעומקים השונים בוצע באופן רציף במהלך החיטוי במכשיר Data logger מסוג Campbell. גופי ריבוי של פטריות פתוגניות הוטמנו בקרקע בעומקים שונים לפני ביצוע החיטויים. הפתוגנים הוצנעו בתוך שקיות רשת שנשלפו כולם מהקרקע בתום החיטוי הצנעת פתוגנים בקרקע כנ"ל מאפשרת להעריך את יעילות החיטוי בתוך פרק זמן קצר מתום החיטוי, ולגלות תקלות בחיטוי עוד לפני שתילת הגידול בחלקה המחוטאת. הפתוגנים שנבחנו הם פטריית הפוזריום הגורמת לריקבון הכתר בעגבניות. תוגנים אלה עמידים יחסית לחום בהשוואה לפטריות קרקע אחרות. כל שקיות הרשת נשלפו מהחלקות ללא כל שאריות בקרקע בתום החיטוי.
3. **ביצוע החיטוי.** חיטוי הקרקע בוצע על ידי חברת "חקלאות ירוקה בע"מ" - כפר ויתקין על ידי דוד קיטור בהספק 2 מיליון קלוריות. החיטוי נעשה על ידי הזרמה עילית תחת יריעות PVC. במהלך החיטוי נלמדה התפשטות הקיטור בהשפעת מיקום נקודת ההזרמה ומספר נקודות ההזרמה לאורך המפתח. הפעלת המאוורר לצורך שאיבת הקיטור לעומק בוצעה חצי שעה עד שעה לאחר תחילת ההזרמה. בשעה הראשונה בוצעה שאיבה לסירוגין ולאחר מכן שאיבה רצופה. הזרמת הקיטור לחלקה הופסקה כאשר טמפרטורת הקרקע בעומק 40 ס"מ היתה 75 מ"צ. לאחר גמר הזרמת הקיטור הוסרו היריעות באופן חלקי מהחלקה על מנת לאפשר שאיבה יעילה של החום לעומק. הפעלת המאוורר ושאיבת הקיטור לעומק נמשכה 12 שעות נוספות לאחר גמר הזרמת הקיטור.
4. **חיטוי במתיל ברומיד:** בוצע בשיטת הגז החם תחת יריעות פלסטיק שקופות. החיטוי בוצע שבועיים לפני השתילה. גם בחלקה זו הוטמנו שקיות רשת המכילות אינוקולום של פוזריום.
5. **בדיקות בתום החיטוי** בתום החיטוי הוצאו שקיות רשת שהכילו את הפתוגנים (שהוצנעו לפני ביצוע החיטוי) לצורך בדיקות חיוניות ויעילות הקטילה. מכל החלקות נלקחו דוגמאות קרקע לצורך בחינת שינויים כימיים בקרקע.
6. **שתילה וגידול:** שתילי עגבניות (משתלת שורשים) נשתלו בחלקה באמצע חודש ספטמבר. בכל המפתחים נשתלה המחצית הראשונה של השורות בעגבניות מסוג שרי (139) והמחצית השנייה בעגבניות מזן 870. בכל מפתח ובכל זן סומנו 4 קטעי שורה (20 צמחים) שורות לשקילת יבול בכל זן. במהלך הגידול נערך מעקב אחר התפתחות והתפרצות פגעי קרקע.

תוצאות

חיטוי הקרקע והדברת פגעים

התחממות הקרקע במהלך החיטוי בקיטור מוצגת בצירוף 1. התחממות הקרקע בשכבות העליונות היתה בשיעור מקסימלי. הזרמת הקיטור בוצעה עד שטמפרטורות הקרקע בעומק 45 ס"מ היתה 80 מ"צ. גם לאחר הפסקת ההזרמה של הקיטור נמשכה השאיבה בצינורות הניקוז בעומק. פעולה זו דוחקת את הקיטור החם משכבות הקרקע העליונות למטה ומחממת את השכבות העמוקות יותר. בפועל התקבלו טמפרטורות בערך מקסימלי של 60 מ"צ בעומק של 60 ס"מ למשך פרק זמן של 90 דקות (צירוף מס' 1). חימום הקרקע בכל פרופיל הקרקע היה יעיל בקטילת גופי הריבוי של פוזריום שהוטמנו בקרקע (טבלה 1). קטילת גופי הריבוי היתה מושלמת בחיטוי בקיטור. לעומת זאת קטילת גופי הריבוי על ידי מתיל ברומיד היתה חלקית. ביחוד בולטת עובדה זו בעומק 60 ס"מ.



ציור 1. התחממות הקרקע בשכבות השונות במהלך חיטוי בקיטור. חץ על ציר הבסיס מצין את זמן הפסקת הזרמת הקיטור.

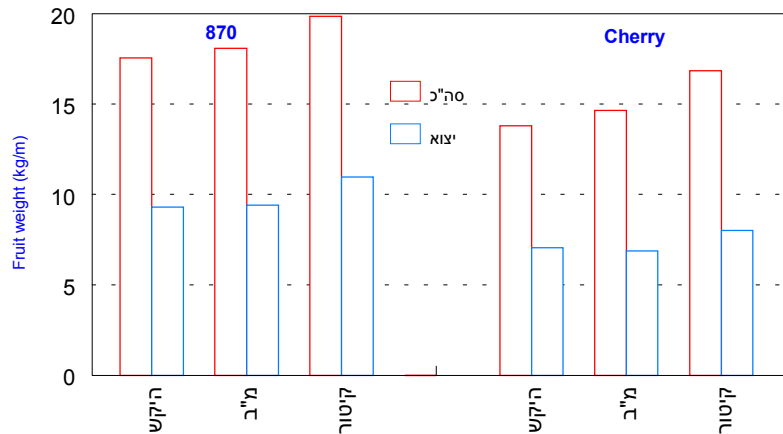
טבלה 1. השפעת חיטוי קרקע על הישרדות פוזריום בקרקע.

הישרדות הפטריה (CFU גר' קרקע)	עומק (ס"מ)	טיפול ¹
1500	20	היקש
6500	40	
8500	60	
0	20	קיטור
0	40	
0	60	
15	20	מתיל ברומיד
150	40	
1750	60	

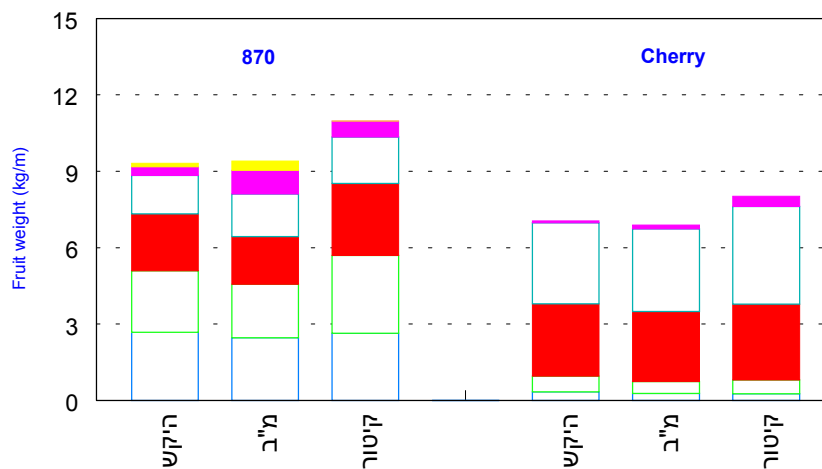
¹שקיות רשת המכילים קרקע מאולחת הוטמנו בעומקים שונים בקרקע לפני ביצוע החיטויים ונשלפו לאחר גמר החיטוי.

גידול ויבול

התפתחות צמחי העגבניות בכל החלקות היתה תקינה ללא סימני פגיעה בשום טיפול. יבול העגבניות היה רב יותר בחלקות המחוטאות בקיטור בהשוואה לחלקות ההיקש ולחלקות במתיל ברומיד. אין לתוצאות אלה ניתוח סטטיסטי משום שהתצפית בוצעה ללא חזרות. בתום הגידול נעקרו כל הצמחים ונבדקה נגיעות הצמחים ברקבון הכתר או נמטודות עפצים. בתום הבדיקה בוצע מיפוי של החלקה לנגיעות בפגעים אלה. הנגיעות בתום העונה מייצגת את פוטנציאל האינקולום לעונת הגידול ואינה משקפת את יעילות החיטויים שכן אילוח על ידי פוזריום הוא גם באמצעות פיזור באויר. מיפוי זה ישמש אותנו בניסויי עונת הגידול 2000-2001



ציור 2. השפעת חיטוי קרקע על כלל יבול עגבניות ויבול ליצוא. התוצאות הן ממוצע של 4 חלקות בסך 20 צמחים כל אחת



ציור 3. השפעת חיטוי קרקע על התפלגות גדלים בפרי העגבניה (חלק היבול המיועד ליצוא). התוצאות הן ממוצע של 4 חלקות בסך 20 צמחים כל אחת

סיכום

1. חיטוי הקרקע בקיטור היה יעיל בהדברת פגעי קרקע שהוטמנו בקרקע לפני ביצוע החיטוי עד לעומק 60 ס"מ. יעילות החיטוי התבטאה גם ביבול עגבניות רב יותר בשני הזנים שנבדקו בהשוואה לחלקות היקש ללא חיטוי וכן בהשוואה למתיל ברומיד.
2. לא נתגלתה תחלואה בשום חלקה אשר פגעה בגידול הצמחים. עם זאת בתום החיטוי נתגלתה נגיעות בנמטודות עפצים לאורך הדופן הדרומי של המבנה. כמו כן נתגלו צמחים נגועים במחלת רקבון הכתר בתום הגידול. נתונים אלה שימשו למיפוי החלקה לקראת עונת הגידול הבאה.
3. פרק הזמן שנדרש בדרך כלל להזרמת הקיטור היה כשלוש שעות. לאחר פרק זמן זה הושגה טמפרטורה קטלנית גם בעומק של 60 ס"מ (מספר שעות לאחר מכן עם הפעלת המאוורר).
4. לקראת העונה הבאה מתוכננות חלקות מפוצלות על מנת להעריך את יעילות החיטויים מעבר לעונת אחת.

הבעת תודה:

ברצוננו להודות לאנשים ולגופים שבעזרתם בוצעו כל הניסויים. למועצת הירקות על שיתוף הפעולה בהשגת כל האמצעים לביצוע הניסויים ומימון ביצועם, לחברת חקלאות ירוקה על הביצוע המסור של החיטוי