

נושא: האבקה אלקטרוסטטית של פרחים לשם שיפור איכות הפרי והזרעים

מוסד: מינהל המחקר החקלאי

ד"ר שמואל גן-מור

חוקר ראשי:

4

חוקרים שותפים:

1996-1998

תקופת מחקר:

מאמרים:

תקציר

בחקלאות המודרנית משתדל המגדל לשלוט על מירב שלבי הגידול. האבקה הפרחים מהווה שלב חשוב בתהליך הרבייה ויש לה השפעה רבה על התוצאה הסופית של יצור פירות, ירקות וזרעי איכות. קשיים הנובעים מתנאי אקלים חריגים וחוסר זמינות של אבקה או מאביקים פוגעים ברמת ההאבקה ובאיכותה. בעיה זו בולטת בגידול אבוקדו, תפוחי עץ, שקד, תמר, פיסטוק ועוד וכן ביצור זרעי מכלוא של כלנית, בצל, פלפל וגידולים נוספים.

שקד בגידול זה מקובל להביא למטע כוורות לשם שיפור האבקה אך גם בשיטה זו קיימים מקרים בהם ההאבקה אינה אופטימלית, בגלל תנאי מזג אויר, תחרות עם פרחים אחרים ועוד. פיסטוק - גידול הפיסטוק מתאים לאזורים מדבריים והוא זקוק ל"מנות קור" רבות בחורף. תנאים כאלה קיימים בהרים באזור שדה בוקר ולאחרונה הוגברו ההשקעות בגידול זה בארץ. בקליפורניה ארה"ב קיים ידע רב בנושא ופיתוח שיבוצע בשיתוף עמם יכול תרום רבות לקידום הגידול באזורים אקלימיים דומים בישראל. פרחי הפיסטוק מואבקים ע"י רוח. ניסויים מקדימים הראו כי האבקה תוך כדי טעינה אלקטרוסטטית יכולה לשפר את כמות היבול ואיכותו.

מטרות המחקר - פיתוח מיכשור ושיטות המבוססים על טכנולוגיות אלקטרוסטטיות לישום תהליכי אסיף, שימור והרבצה של אבקה במגוון גידולים רחב ככל האפשר, לניצול בתנאים מסחריים של מלוא פוטנציאל הצמח ולשיפור האיכות ותהליכי הייצור בפירות וזרעים.

מהלך ושיטות עבודה: במהלך המחקר פותחו, נבנו ושופרו שלושה דורות של אב-טיפוס לשיגור אבקה פרחים טעונה במטען אלקטרוסטטי והרבצתה על צלקת העלי.

במהלך המחקר בוצעו ניסויים הקדמיים באבוקדו, בצל, כלניות, עגבניות, פלפל, תמרים, תפוחי עץ, כותנה, שקד ופיסטוק. מתוך כל הגידולים הללו רק בשלושה גידולים, תמר, שקד ופיסטוק, נמצאו דרכים להפיק אבקה בעלות וכמות המתאימים לישום אלקטרוסטטי באופן מיסחרי.

בתמר בוצעו ניסויים בעמק בית שאן אך עדיין לא הוכחה כדאיות השימוש בטכנולוגיה.

בשקד ופיסטוק נערכו ניסויים בישראל וקליפורניה והוכחה הכדאיות הכלכלית.

פותחו שיטות לשימור וטיפול באבקה שקד ובאבקה פיסטוק.

תוצאות עיקריות: פותחו מיכשור ומערכת לפיזור אבקה פרחים והרבצתה על צלקות העלי תוך שימוש בכוחות א"ס למיקוד האבקה וריכוזה על המטרה. בנוסף לכך פותחו שיטות לשימור וטיפול באבקה והושגו תוצאות בישום מסחרי של השיטות.

שקד - שיטת איסוף האבקה המקובלת בשקדים נמצאה מתאימה לשימוש בטכניקות ההאבקה הא"ס. במסגרת המחקר הנוכחי שוכללה שיטה לאיחסון ושימור האבקה לאורך זמן תוך שמירה על חיוניות

גבוהה ושפיכות טובה. לאחר שנלמדו הגורמים המשפיעים על יעילות ההאבקה בוצעו ניסויי האבקה א"ס בתנאי מטע מסחרי שהראו שיפור של כ- 13% בכמות היבול ויכולת התאמה של גודל פרי השקד בהתאם לדרישות השוק.

פיסטוק - במסגרת המחקר הנוכחי פותחה שיטה לאיסוף ושימור של אבקת פיסטוק תוך שמירה על חיוניות גבוהה ושפיכות טובה. ניסויי האבקה א"ס בתנאי מטע מסחרי הראו שיפור בכמות היבול שבין 5 ועד 40 אחוז תלוי בתנאי סביבה וזמינות אבקה טבעית. בנוסף לכך הושג שיפור באיכות הפרי (split). אבוקדו, בצל, כלניות, עגבניות, פלפל, תפוחי עץ, כותנה - לא פותחה עדיין שיטה יעילה וכדאית להפקת אבקה שתאפשר הרבצה א"ס באופן מסחרי. דבר זה מגביל את המשך הפיתוח של שיטות ההאבקה הא"ס בגידולים אלה.

מסקנות והמלצות: בשני גידולים, שקד ופיסטוק, הושגה הצלחה בפיתוח מיכשור וכן נבנו ושופרו שלושה דורות של אב-טיפוס לשיגור אבקת פרחים, לטעינתה במטען אלקטרוסטטי ולריכוזה והרבצתה על צלקת העלי. פותחו ושופרו שיטות להפקת אבקה, לשימור ולטיפול בה והושגו תוצאות בישום מסחרי של השיטות. בשני גידולים, שקד ופיסטוק, הושגה הצלחה בישום במטעים מסחריים והוכחה כדאיות השימוש. יש להמשיך כעת בהפצת הטכנולוגיה ובהתאמתה לחקלאים השונים. בגידולים נוספים נראה שקיים פוטנציאל מסחרי רב ליישום שיטות ההפקה והשימור של אבקת הפרחים וההאבקה הא"ס ורצוי להמשיך במחקר, בפיתוח ובישום המסחרי גם בגידולים אלה.

א. נושא המחקר: האבקה אלקטרוסטטית של פרחים לשם שיפור איכות הפרי והזרעים

תוכנית מס' 458-0146-98 – דו"ח מסכם לשנים 8-1996

החוקרים: שמואל גן-מור¹, אביטל בכר¹, בני רונן¹, דן איזיקוביץ², איתן פרסמן³

¹המכון להנדסה חקלאית, מינהל המחקר החקלאית, בית דגן

²המחלקה לבוטניקה, אוניברסיטת תל אביב, תל אביב

³המכון לגידולי שדה, מינהל המחקר החקלאי, בית דגן

Research Subject: Electrostatic Pollination of Flowers to Improve Fruit and Seed Quality

Researchers: Samuel Gan-mor¹, Avital Bechar¹, Beni Ronen¹, Dan Eisikovitc² and Eitan Presmann³

¹The Institute Of Agr. Engineering, ARO, Bet dagan, e-mail: ganmor@agri.gov.il

²The Department of Botany, Tel Aviv University, Tel Aviv, e-mail: eisik@post.tau.ac.il

³The Institute Of Field and Garden Crops, ARO, Bat Dagan

ב. מבוא

רקע:

האבקה פרחים מהווה שלב מכריע בתהליך הייצור של פירות וזרעים. בחקלאות המודרנית מהווה ההאבקה כלי חשוב בשליטה על תהליך הייצור של זרעי מכלוא. כמו כן יכול כלי זה להביא לניצול טוב יותר של הפוטנציאל הקיים בצמח, ולשליטה על רמת היבול ואיכותו בתנאי אקלים רגילים. לשליטה זו חשיבות יתר בתנאי אקלים חריגים. תוספת מלאכותית של אבקה פרחים מקובלת במספר גידולים חקלאיים גם לשם הבטחת ההפריה והחנטה של פרחים. לדוגמא, את כל פרחי התמר בישראל מקובל להאביק באופן מלאכותי כטיפול קבוע.

ממדיו הזעירים של גרגר האבקה הופכים אותו למועמד קלאסי לשימוש בטעינה אלקטרוסטטית, מאחר וניתן להטעינו במטען גבוה יחסית ליחידת מסה. טכנולוגית הטעינה האלקטרוסטטית התפתחה מאד בשנים האחרונות ביישומים מסחריים של ריסוס צבע, תעשיית הדפוס וריסוס חומרי הדברה.

במחקר מקדים, שבוצע במימון קמ"ח והסתיים עם תחילת המחקר הנוכחי, נמצא כי מבנה צלקת העלי והאבקנים וכן מיקומם הגיאומטרי בפרח, גורמים לריכוז מטען חשמלי

בקצותיהם, כאשר קרב אליהם גוף טעון וגורם לטעינת השראה. ריכוז המטען באברים אלה עוזר לניתוק האבקה בשלב האסיף ולריכוזה על צלקת העלי בשלב ההרבצה. נבדקו הכוחות הדרושים לניתוק גרגרי אבקה ממאבקי פרחי אבוקדו, אקליפטוס וליזיאנתוס ונמצא כי תעופת דבורי הדבש גורמת לטעינת גופן במטען חשמלי המסייע בניתוק האבקה והרבצתה גם בתהליכים טבעיים. במחקר המקדים פותח ונבנה מכשיר מעבדה לאסוף אבקה בתנאי מעבדה. כמו כן פותח מכשיר ראשוני לפיזור והרבצה של גרגרי אבקה לתנאי מעבדה ולניסויי בשדה. בניסויי מעבדה להרבצת אבקה על פרחי שקד ותמר התקבל שיפור ממוצע של פי 12 במספר גרגרי האבקה המורבצים על צלקת כאשר טוענים את האבקה לעומת אבקה לא טעונה.

השקד - ידוע כבעל אי התאם עצמי ותלוי ב- cross pollination על מנת לחנוט פירות. התנועה של דבורת הדבש, המאביק העיקרי של השקד, נחלקת לתנועות בין פרחים באותו הצמח שהמהווה את עיקר התנועה של דבורים ובין הפרחים על צמחים שונים, כמו כן על מנת לקבל הפריה טובה יש צורך בחפיפה טובה בפריחה בין הזנים השונים. גורמים אלו מצביעים על אפשרות ליעילות האבקה נמוכה מהאופטימום ועל צורך בבחינת הגורמים האפשריים לשיפור ההאבקה באמצעים מלאכותיים.

הפיסטוק - הפרח של אלת הבוטנה (פיסטוק) הינו פרח חד מיני מואבק רוח. הפריחה של הנצים הנקביים והזכריים מתחילה בדרך כלל בתחילת אפריל ונמשכת כשבוע ימים. הפיסטוק מניב בדרך כלל בשנה אחת יכול רגיל (מצב המכונה ON) ובשנה השניה יכול נמוך (מצב המכונה OFF). בבדיקות ותצפיות שנערכו לאורך זמן, התברר שלא תמיד עצי הזכר והנקבה פורחים בו זמנית. גם בשנים בהן הפריחה מתקיימת כסדרה לא כל פרחי הנקבה מואבקים בצורה מיטבית לקבלת יבולים מרביים. בנוסף העלות של גידול עצי זכר בחלק מהשטח מהווה נטל על החקלאי ומקטין את פוטנציאל הייצור לדונם. תצפיות וניסויים קודמים הראו פוטנציאל אפשרי להאבקה אלקטרוסטטית של גידולים.

מטרות המחקר - פיתוח מיכשור ושיטות המבוססים על טכנולוגיות אלקטרוסטטיות לישום תהליכי אסיף, שימור והרבצה של אבקה במגוון גידולים רחב ככל האפשר, לניצול בתנאים מסחריים של מלוא פוטנציאל הצמח ולשיפור האיכות ותהליכי הייצור בפירות וזרעים. מטרות המחקר לשנה ג' - ניסויים בתנאי שדה בהתאם לממצאים של שנה ב' - התאמת המיכשור לעבודה בשטחים מסחריים, ניסויים בגידולים שבהם הושגה הצלחה קרי מטעי שקדים ומטעי פיסטוק, להוכחת הכדאיות הכלכלית.

הערה:

בתוכנית העבודה הראשונית הוצעה פעילות רחבה במספר רב של גידולים. עקב אישור התוכנית בהיקף מוגבל צוין בתוכנית שהותאמה להיקף התקציבי:
"הערה חשובה: תוכנית העבודה כוללת פעילות רחבה וברור כי לא תוכל להתבצע בשלמותה במסגרת התקציב והזמן שהוקצבו. אולם התוכנית בנויה כך שבכל גידול שבו תושג פריצת דרך מבחינת הפיתוח הטכני ושיטת הישום בניסוי המקדים, יבוצע הישום

המסחרי בשטח בעדיפות גבוהה. על ידי כך תושג תועלת מירבית לחקלאי". מהאמור לעיל מובן כי בגידול בו לא תושג פריצת דרך יבוצעו הניסויים המסחריים בעדיפות נמוכה או ידחו למועד מאוחר.

ג. פרוט הניסויים שבוצעו והתוצאות שהתקבלו

שיטות וחומרים

1. מבנה המערכת לטעינה אלקטרוסטטית ופיזור של אבקת פרחים

מערכות לטעינה אלקטרוסטטית ופיזור של אבקה פותחו ומופעלות באופן מסחרי בתעשייה ומשמשות להרבצה וצביעה של חלקים שונים. בתהליכים אלה משתמשים באבקה המיוצרת במיוחד לצורך זה. הקושי בהתאמת המערכת לשימוש חקלאי נובע מחוסר ההתאמה והשונות בתכונות הקיימות באבקה הטבעית, הצורך לשמור על האבקה במצב חיוני וכן עקב חוסר התאמה של מבנה העץ ותנאי סביבה אחרים. במערכת שפותחה מוכנסת האבקה למיכל הזנה ומוזרמת באמצעות קוצב מיוחד לזרם אויר אשר נוצר על ידי מפוח 50w ומביא את האבקה לנחיר פיזור. המכשיר טוען בשיטה המכונה טעינת corona. ספק מתח של 80 Kv DC המחובר לאלקטרודה הנמצאת במרכז הנחיר, טוען יונים הטוענים את האבקה היוצאת במטען אלקטרוסטטי שלילי. בשיטה זו מפורזת האבקה הטעונה באופן אחיד בסילון האויר. חיסכון בכמות האבקה הנצרכת והרבצה של מספר רב יחסית של גרגרי אבקה על צלקת העלי בפרח, מושג מאחר ואבקה הטעונה מתמקדת ונצמדת היטב אל חלקים בולטים וחדים של מטרה מוארקת כמו צלקת העלי.

2. שקדים

הניסויים בוצעו במטע השקדים בקיבוץ יזרעאל. שיטחו של המטע כ- 1000 דונם. במטע שלוש זנים עיקריים והם: "אום אל פחם" שנותן על פי רוב את היבול הנמוך ביותר; "NPU" (נאפה) שנותן את היבולים הגבוהים ביותר; וזן מפרה "מ.ד.". המרחק בין השורות כ- 6 מטרים ובין העצים בשורה כ- 5 מטרים. המטע ניטע כמתואר באיור 1 ולא כפי שמקובל כיום במטעים הצעירים בארץ ובארה"ב לפי זנים שונים לסירוגין. לפי החקלאים המקומיים (פיליפ אדלר) מועד הפריחה במטע הוא סוף ינואר ותחילת פברואר. התקלאים משתמשים בכוורות משני ספקים מקומיים ומניחים במטע כוורת אחת לשני דונם וסך הכל כ- 450 כוורות.

בטיפול ההאבקה השונים נעשה שימוש באבקת שקד טהורה מזן "Butte" שנאספה ב-Bakersfield California בפברואר 96 וסוננה ארבע פעמים. האבקה נשמרה בהקפאה עמוקה עד לניסוי ההאבקה. מכשיר ההאבקה האלקטרוסטטית מעניק לאבקה מטען באמצעות אלקטרודה המותקנת בקצהו במתח של 50kV.

ניסוי מרכזי - "עצים שלמים", שלוש אפליקציות: הניסוי נערך בזן "NPU". בארבע שורות עוקבות סומנו 30 עצים בכל שורה בשש קבוצות של חמישה עצים עם רווח של שני עצים בין כל חמישה עצים מסומנים (איור 1). בכל שורה סומנו העצים בשני צבעים עבור שני הטיפולים הקודמים ועבור טיפול נוסף. העצים נחשפו לשלוש אפליקציות של האבקה

במשך תקופת הפריחה בתאריכים 25/2/98, 27/2/98 ו- 2/3/98. בכל אפליקציה הואבק העץ משני צידיו אבקה, בסך הכל ב- 1 גרם לעץ לאפליקציה. להלן הטיפולים:

(a) Control - הענפים נחשפו להאבקה של מאביקים באזור ובעיקר דבורת הדבש (ביקורת).

(b) Charged - הענפים נחשפו להאבקה של מאביקים באזור והאבקו בהאבקה אלקטרוסטטית.

(c) Uncharged - הענפים נחשפו להאבקה של מאביקים באזור והאבקו בהאבקה ללא טעינה אלקטרוסטטית. (זהו הטיפול הנוסף בשורה הכי דרומית).

בדיקת פירות:

בתאריך 13.8.98 בוצעה שקילה של היבול לעץ בעצים המסומנים בניסוי 1. היבול שנועד כשבוע קודם לכן עבר התייבשות על פני הקרקע ונשקל עם הקליפה והשומר. מכל עץ נלקחה דגימה של שקדים לשקית נייר ונערכה ספירה של כ- 100 שקדים ושקילה שלהם על מנת לחשב משקל ממוצע של אגוז לעץ. הערכים הם סך כל היבול לטיפול וממוצעים לעץ, כולל משקל ממוצע של אגוז לעץ ($\pm S.E$), עבור הטיפולים השונים.

אומדן סדר הפריחה במטע בעת הניסויים (חפיפה בין זנים):

בתאריך 13.2.98 הזן "אום אל פאחם" נמצא פורח כבר כשבוע וכמעט בשיא פריחתו (עוד כשלושה ימים). הזנים "NPU" ו"מ.ד." עדיין לא פרחו כלל ויהיו מוכנים לפרוח רק בעוד מספר ימים.

בתאריך 22.2.98 הזן "אום אל פאחם" אחרי שיא פריחתו ואילו הזן "NPU" פורח כ- 10% והזן "מ.ד." רק החל לפרוח.

בתאריך 25.2.98 הזן "אום אל פאחם" בשלהי פריחתו (30% אחרונים). הזן "NPU" בשיא הפריחה ו- "מ.ד." קרוב לשיא הפריחה.

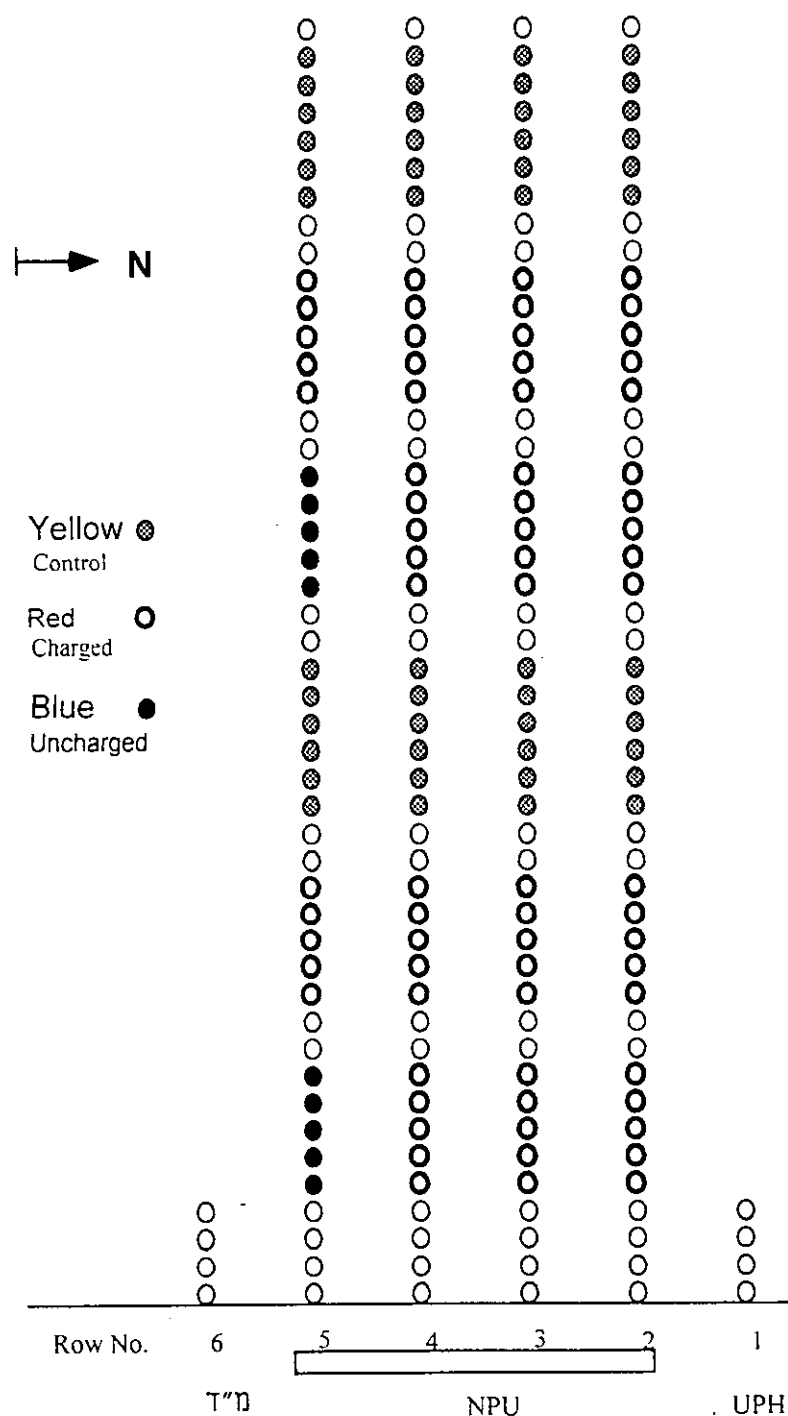
בתאריך 27.2.98 הזן "אום אל פאחם" כבר סיים לפרוח. "NPU" ב- 10% אחרונים של הפריחה. "מ.ד." לאחר שיא הפריחה.

תנאי האקלים בעת ניסויי הישום ביזרעאל:

25.2.98 - מעונן חלקית, רוח דרום מערבית בעצמה חלשה עד בינונית.

27.2.98 - מעונן חלקית, רוח צפון מזרחית ומשתנה בעוצמה חלשה.

2/3.98 - מעונן חלקית, רוח צפון מזרחית בעוצמה חלשה.



איור 1. מפת ניסויים בהאבקה אלקטרוסטטית בשקד. קיבוץ יזרעאל. 1998.

3. פיסטוק

נערכו שלושה ניסויי האבקה במטעי פיסטוק, בקליפורניה, כ- 100 ק"מ מערבית לבייקרספילד. הניסויים התבצעו במטעים במצבי ON ו-OFF. בכל הניסויים הואבקה עצים שלמים משני הצדדים. חלק מהניסויים נעשו בעצים שרוססו בשמן להקדמת הפריחה. הניסוי

בוצע על עצי נקבה מזן "Kerman". כל העצים נחשפו להאבקה טבעית (האבקה רוח) בנוסף לכך הואבק כל עץ ב - 1 גרם אבקה בכל יום.

האבקה שנאספה לצורך ביצוע הניסויים בשנה זו הופקה מעצים מהזנים "Peters" ו-"218". תהליך הפקת האבקה היה מהיר יחסית, נאספו כמויות גדולות של אבקה שאוחסנו בהקפאה עמוקה עד חמישה ימים לפני שנעשה באבקה שימוש. תהליך ההקפאה גרם קשיים נוספים בכך שהגביר את הלחות והדביקות של האבקה והקשה על פיזור באויר. בחודש אוקטובר נערכה שקילה של היבול שנאסף מכל עץ בנפרד, כמו כן נמדדה איכות

היבול בעיקר לפי אחוז היבול שבו היתה פתיחה מספקת של הקליפה (split). במכשיר ששימש לפיזור האבקה הושג שיפור במערכת קציבת האבקה ובמערכת הפיזור ושתייה חוברו יחד ליחידה אחת. כמו כן נעשה שימוש בספק חדש ואמין יותר למתח הגבוה. ניסוי 1 – כמות מופחתת לישום: הניסוי בוצע על 150 עצים במטע שרוסס בשמן להקדמת הפריחה ונמצא במצב ON. העצים נחלקו ל-3 קבוצות טיפול, כל קבוצה של 50 עצים חולקה ל- 5 תת-קבוצות של 10 עצים ונישמר מרחק של לפחות 4 עצים בין תת-קבוצה לתת-קבוצה. פרוט הטיפולים שנעשו:

1. שני ישומים של האבקה אלקטרוסטטית לאורך תקופת הפריחה.
2. שני ישומים של האבקה אלקטרוסטטית לאורך תקופת הפריחה עם חצי כמות אבקה (0.5 גרם לישום).

3. ביקורת - האבקה טבעית בלבד.

ניסוי 2 – הפחתת מספר הישומים: הניסוי בוצע על 250 עצים שלא רוססו בשמן להקדמת הפריחה ונמצאים במצב ON. העצים נחלקו ל- 3 קבוצות טיפול, כל קבוצה של 50 עצים חולקה ל- 5 תת-קבוצות של 10 עצים ונישמר מרחק של לפחות 4 עצים בין תת-קבוצה לתת-קבוצה. פרוט הטיפולים שנעשו:

1. שני ישומים של האבקה אלקטרוסטטית לאורך תקופת הפריחה.
2. האבקה אלקטרוסטטית בתחילת הפריחה.
3. ביקורת, האבקה טבעית בלבד.

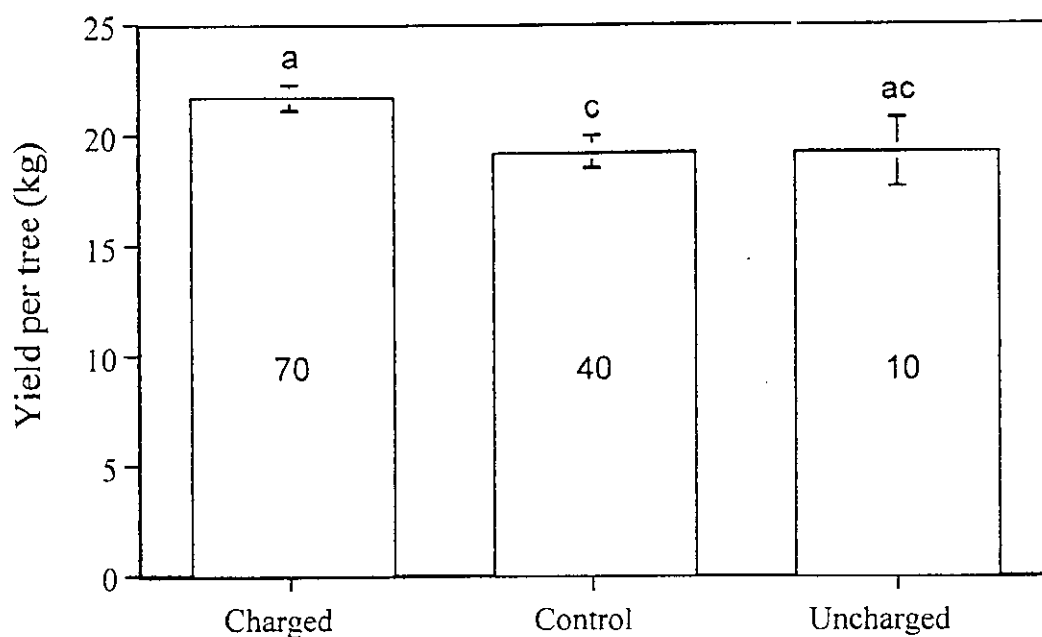
ניסוי 3 - עצים במצב OFF: הניסוי בוצע על 50 עצי נקבה מזן "Kerman" במטע שרוסס בשמן להקדמת הפריחה ונמצא במצב OFF. העצים נחלקו ל-2 קבוצות טיפול, כל קבוצה של 50 עצים נחלקה ל- 5 תת-קבוצות של 10 עצים ונישמר מרחק של לפחות 4 עצים בין תת-קבוצה לתת-קבוצה. פרוט הטיפולים שנעשו:

1. שני ישומים של האבקה אלקטרוסטטית במשך תקופת הפריחה.
2. ביקורת - האבקה טבעית בלבד.

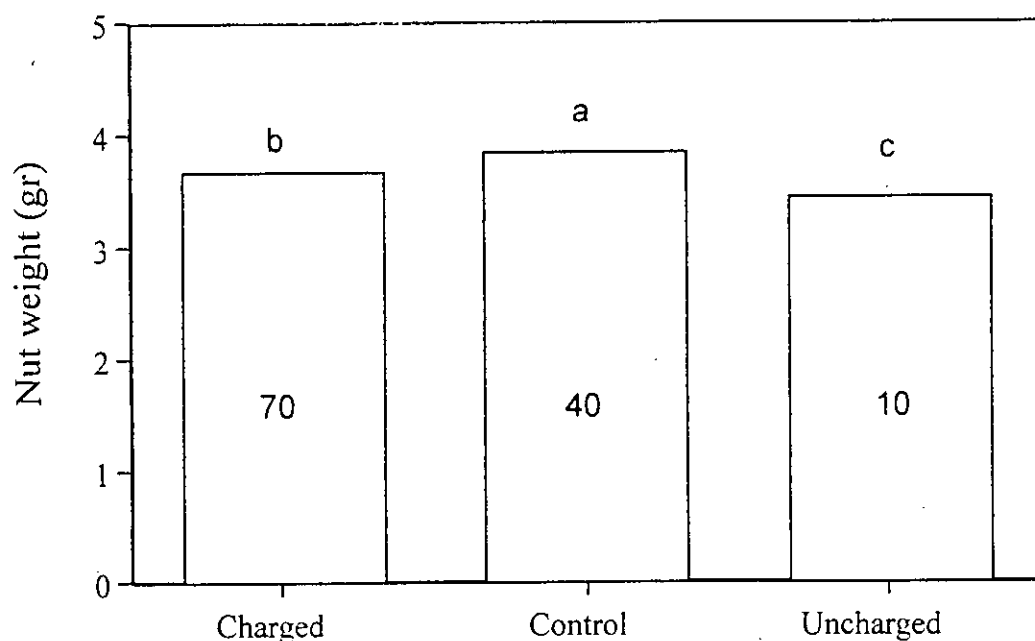
תוצאות ודיון

1. שקד

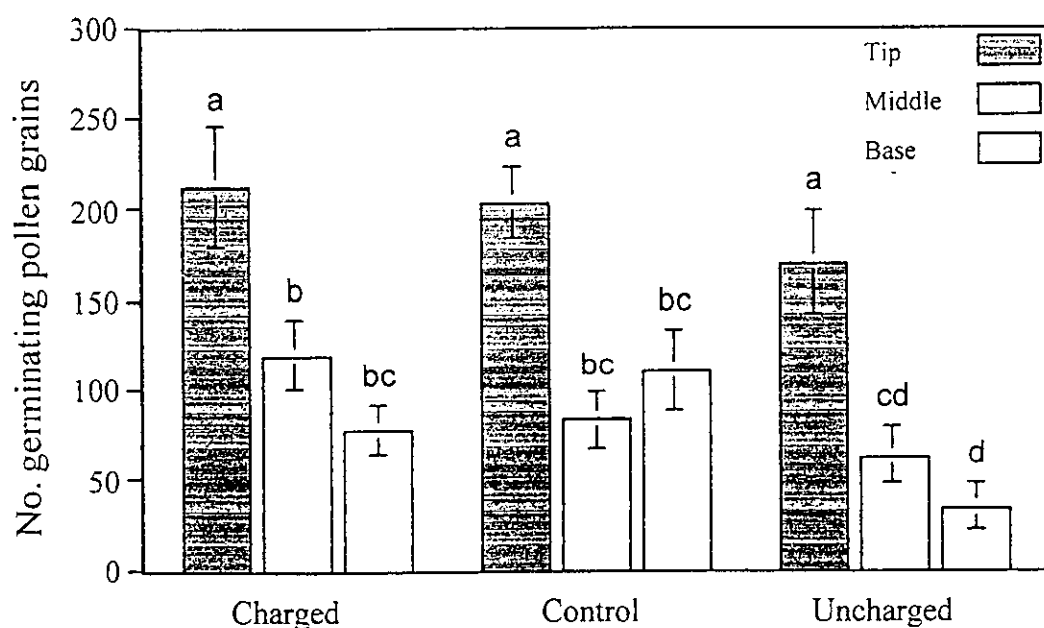
תוצאות ניסוי ההאבקה בשקד, כאשר האבקה נטענה במטען אלקטרוסטטי, הראו כי טעינה אלקטרוסטטית יכולה לשפר את כמות היבול באופן מובהק (איור 2). משקל השקד בעץ שעבר טעינה א"ס נמוך מזה שבעץ ביקורת (איור 3). אם היבול מיועד לתעשית המזון, כמו במטעים הגדולים בעולם, המחיר שיגבה עבורו יהיה גבוה יותר.



איור 2. יבול ממוצע לעץ בניסוי של האבקה אלקטרוסטטית של עצים שלמים בשקד מזן "NPU". קיבוץ יזרעאל. 1998. כל ערך עבר טרנספורמציה של $(x)^{0.333}$. אותיות שונות מעל העמודות מעידות על הבדל סטטיסטי מובהק. ($ANOVA, F_{(2, 116)} = 4.432, p=0.0140$) ו- (Fisher's PLSD, $p<0.05$).

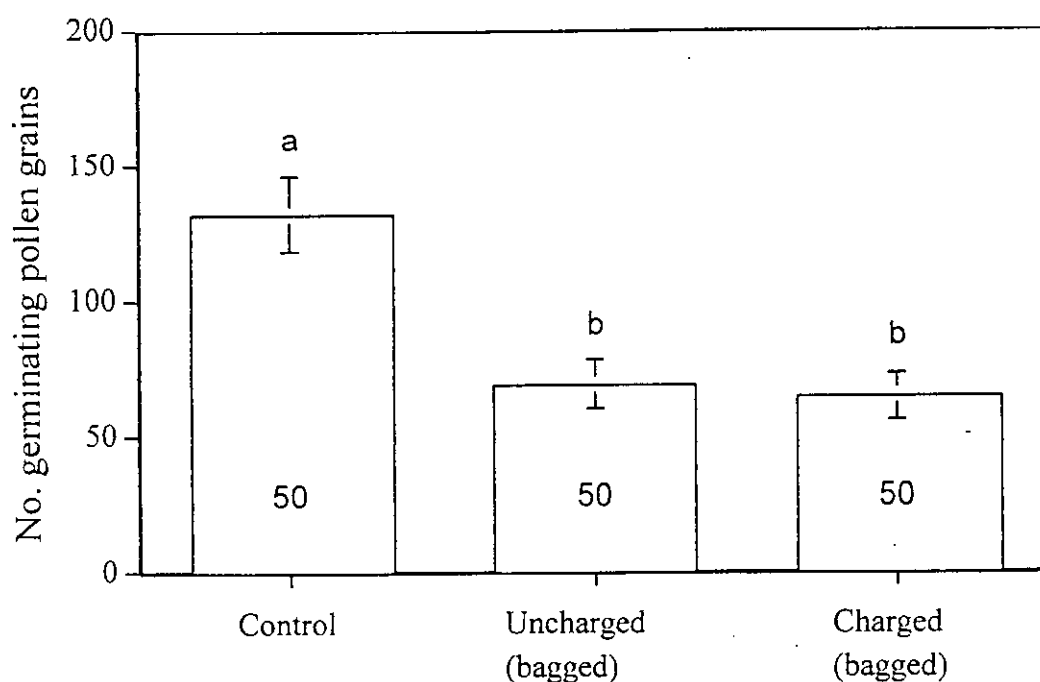


איור 3. משקל אגוז שקד ממוצע לעץ בניסוי של האבקה אלקטרוסטטית של עצים שלמים בשקד מזן "NPU". קיבוץ יזרעאל. 1998. כל ערך עבר טרנספורמציה של $(x)^{0.333}$. אותיות שונות מעל העמודות מעידות על הבדל סטטיסטי מובהק. (ANOVA, $F_{(2, 114)} = 8.097$, $p=0.0005$) -1 (Fisher's PLSD, $p<0.05$).



איור 4. מספר גרגרי אבקה שנבטו בצלקות של פרחי שקד במקומות שונים על הענף. הניסוי בוצע על עצים שלמים, בשקד מזן "NPU". קיבוץ יזרעאל. 1998. כל ערך עבר טרנספורמציה של $(x)^{0.5}$. אותיות שונות מעל העמודות מעידות על הבדל סטטיסטי מובהק. (ANOVA, $F_{(8, 216)} = 10.004$, $p<0.0001$) -1 (Fisher's PLSD, $p<0.05$).

ניסוי מישני 1 - ניסויים לניתוח השפעת ההאבקה המלאכותית בלבד - נביטה בצלקות פרחים מכוייסים (שתי אפליקציות): על מנת לבדוק את השפעת הטיפול על נביטת גרגרי אבקה בצלקות שלא קיבלו האבקה טבעית (על ידי דבורים), כאשר טיפול הביקורת קיבל האבקה טבעית, נבחרו בכל טיפול חמישה עצים ובכל עץ משני צידיו (דרום וצפון) סומן וכוייס ענף בשקית ניילון מחוררת. הכיוס הוסר רק בעת ההאבקה של הענפים והוחזר שוב עד ליומיים לאחר האפליקציה השנייה (שבה נפתחו כבר רוב הפרחים) ואז נאספו מכל ענף מסומן חמישה פרחים בגילאים שונים לתמיסת היסטוצ'יון לבדיקה מאוחרת של הצלקות. (סה"כ 50 צלקות לטיפול). כל צלקת עברה מאוחר יותר צביעה בצבע פלורסצנטי - Aniline blue וספירה במיקרוסקופ של מספר גרגרי האבקה שנבטו בצלקת (בעלי נחשון). התוצאות מראות שמספר הצלקות שבהן הושגה נביטת גרגרי אבקה בהאבקה מלאכותית, הינו כמחצית מזה שהושג בהאבקה טבעית (איור 5). דבר זה מצביע על כך ששתי אפליקציות של האבקה מלאכותית לא מכסות את כל זמן הפריחה ואת כל צלקות הפרחים שנפתחו אלא רק כמחציתם.



איור 5. מספר גרגרי אבקה שנבטו בצלקת של פרח שקד בניסוי של האבקה אלקטרוסטטית של ענפים בשקד מזן "NPU". קיבוץ יזרעאל. 1998. כל ערך עבר טרנספורמציה של $(x)^{0.5}$. אותיות שונות מעל העמודות מעידות על הבדל סטטיסטי מובהק. (ANOVA, $F_{(2, 147)} = 8.547$, $p=0.0003$) ו- (Fisher's PLSD, $p<0.05$).

ניסוי מישני 2 - נביטה בצלקות פרחים לא מכוייסים באזורים שונים בעץ (שתי אפליקציות): נבחרו בכל טיפול חמישה עצים ובכל עץ מצד צפון סומן ענף ובו שלושה אזורים, קצה הענף, מרכז הענף וסמוך לגזע העץ בבסיס הענף. יומיים לאחר שתי האפליקציות

הראשונות נאספו מכל אזור ובכל ענף חמישה פרחים בגילאים שונים לתמיסת היסטוצ'ויס לבדיקה מאוחרת של הצלקות. (סה"כ 25 צלקות לאזור בענף, לטיפול). כל צלקת עברה מאוחר יותר צביעה וספירת נביטה כמתואר לעיל.

2. פיטטוק

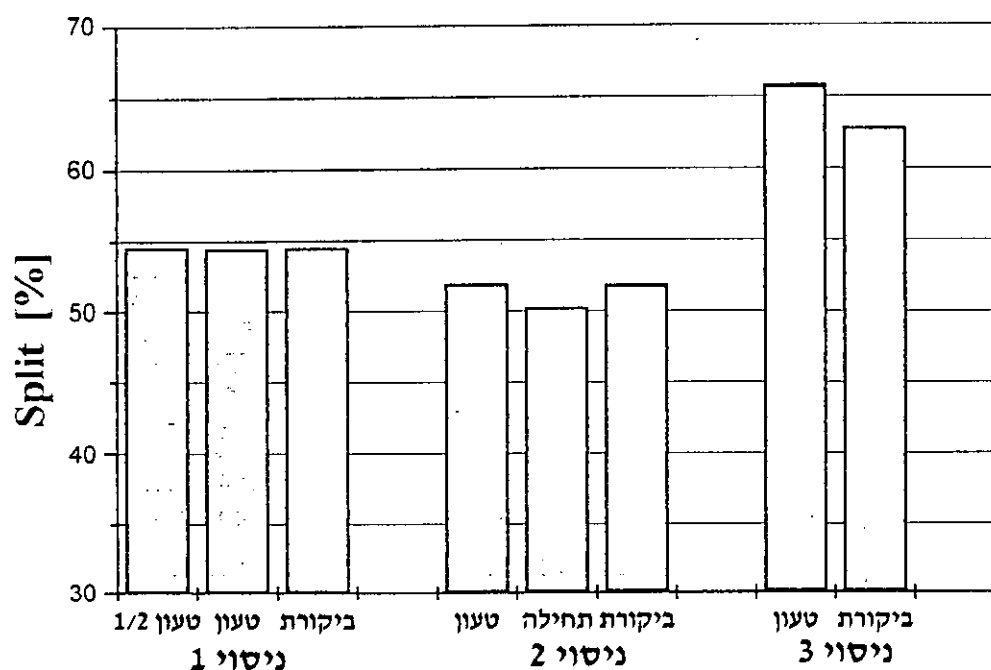
באיור מס' 6 מוצגים הערכים הממוצעים של היבול לעץ. בניסוי מס' 1 (כמות מופחתת לישום) התקבל יבול ממוצע של כ- 55 ק"ג לעץ גם עבור האבקה אלקטרוסטטית של 1 גרם לישום וגם עבור 0.5 גרם לישום. זאת בהשוואה ליבול של 45 ק"ג לעץ בביקורת - שיפור של כ- 23% ביבול לעץ. בניסוי מס' 2 (הפחתה במספר הישומים) האבקה אלקטרוסטטית והאבקה ללא טעינה שיפרו את רמת היבול ב- 7% ואילו טיפול האבקה בתחילת עונת הפריחה לא תרם כלל. בניסוי מס' 3 (עצים במצב OFF) התקבל לאחר האבקה



איור מס' 6 – משקל לעץ שהתקבל בניסויים עבור טיפולים שונים בשנת 1997.

אלקטרוסטטית יבול ממוצע של 34 ק"ג לעץ בהשוואה ל- 28 ק"ג בביקורת המהווים שיפור של 21% ביבול. ההבדל ברמות היבולים בין ניסוי 3 לניסויים 1 ו- 2 נובע מכך שבניסוי 3 העצים היו במצב OFF. ההבדל ברמת היבול בביקורת בין ניסוי 1 לניסוי 2 נובע כנראה מהטיפול של ריסוס בשמן להקדמת הפריחה שבוצע בניסוי 1 אך לא בניסוי 2. באיור מס' 7 מוצגות תוצאות הבדיקות לבחינת איכות הפרי (Split) עבור הטיפולים השונים. בניסוי מס' 1 ומס' 2 לא נמצא הבדל משמעותי בין הביקורת לטיפולים האחרים. בניסוי מס' 3 התקבל

שיפור של 5% באיכות. בניסוי 3 אחוז הפרי האיכותי היתה גבוהה בכ- 24% בממוצע. מאשר בניסויים 1 ו- 2. ניתן ליחס זאת ליבול הנמוך שהתקבל בניסוי 3 כתוצאה מכך שהעצים היו במצב OFF.



איור מס' 7 – איכות היבול מבחינת אחוז הפתיחה של הקליפה (SPLIT) בשנת 1997.

ד. מסקנות, השלכות והצעות לישום המחקר

במהלך המחקר פותחו, נבנו ושופרו שלושה דורות של אבי-טיפוס לשיגור אבקת פרחים, טעינתה במטען אלקטרוסטטי והרבצתה על צלקת העלי. הכוחות הא"ס גרמו למיקוד האבקה וריכוזה על צלקת העלי. בנוסף לכך פותחו שיטות לשימור וטיפול באבקה והושגו תוצאות בישום מסחרי של השיטות. בשני גידולים, שקד ופיסטוק, הושגה הצלחה בישום במטעים מסחריים והוכחה כדאיות השימוש.

שקד - שיטת איסוף האבקה המקובלת בשקדים נמצאה מתאימה לשימוש בטכניקות ההאבקה הא"ס. במסגרת המחקר הנוכחי שוכללה שיטה לאיחסון ושימור האבקה לאורך זמן תוך שמירה על תיוניות גבוהה ושפיכות טובה. לאחר שנלמדו הגורמים המשפיעים על יעילות ההאבקה בוצעו ניסויי האבקה א"ס בתנאי מטע מסחרי שהראו שיפור של כ- 13% בכמות היבול ויכולת התאמה של גודל פרי השקד בהתאם לדרישות השוק.

פיסטוק – במסגרת המחקר הנוכחי פותחה שיטה לאיסוף ושימור של אבקת פיסטוק תוך שמירה על חיוניות גבוהה ושפיכות טובה. ניסויי האבקה א"ס בתנאי מטע מסחרי הראו שיפור בכמות היבול שבין 5 ועד 21 אחוז, תלוי בתנאי סביבה וזמינות אבקה טבעית. בנוסף לכך הושג שיפור באיכות הפרי (split).

אבוקדו, בצל, כלניות, עגבניות, פלפל, תפוחי עץ, כותנה - לא פותחה עדיין שיטה יעילה וכדאית להפקת אבקה שתאפשר הרבצה א"ס באופן מסחרי. דבר זה מגביל את המשך הפיתוח של שיטות ההאבקה הא"ס בגידולים אלה.

יש להמשיך כעת בהפצת הטכנולוגיה ובהתאמתה לחקלאים השונים. בגידולים נוספים נראה שקיים פוטנציאל מסחרי רב ליישום שיטות הפקת אבקת הפרחים וההאבקה הא"ס ורצוי להמשיך במחקר, בפיתוח ובישום המסחרי גם בגידולים אלה.

ה. פרוט פירסומים מדעיים לתקופת הדו"ח (כולל הבעות תודה לגופים ממנים)

1. Gan-Mor, S., A. Bechar, Y. Vaknin, I. Shmulevitch and D. Eisikowitch (1995). The influence of electrostatic forces in natural and artificial pollination. *The Annual Meeting of the Bee-Growers Association of Israel*, Bet Dagan, Israel.
2. Vaknin, Y., S. Gan-Mor, A. Bechar, B. Ronen and D. Eisikowitch (1997). Electrostatic pollination: Effects of pollen dilution on its germinability. *The Annual Meeting on Plant Science - the Israeli Society of Botany*. Tel Aviv, Israel. The abstract was published in the *Israeli Journal of Plant science*.
3. Bechar, A., S. Gan-Mor, Y. Vaknin, I. Shmulevich, B. Ronen and D. Eisikowitch (1997). An image analysis technique for accurate counting of pollen on stigmas. *The new Phytologist - International J. of the Plant Science*, 137(4):639-643.
4. Bechar, A., I. Shmulevich, D. Eisikowitch, Y. Vaknin, B. Ronen and S. Gan-Mor (1998). Simulation and testing of an electrostatic pollination system. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. In press.
5. Vaknin, Y., S. Gan-Mor, A. Bechar, B. Ronen and D. Eisikowitch (1998). Effect of desiccation and dilution on viability of almond pollen. *The Journal of Horticultural science & Biotechnology*, In Press.

הבעות תודה:

החוקרים מבקשים להודות לקרן קמ"ח שמימנה מחקר משותף בנושא הפריה אלקטרוסטטית עם אוניברסיטת ג'ורג'יה בארה"ב, בתקופה שקדמה לתקופת המחקר הנוכחי. כמו כן מבקשים החוקרים להודות לחברת "פרמונט" מקליפורניה, ארה"ב שהשקיעה למעלה מ-\$ 100,000 במחקר משותף ובניסויי הפריה אלקטרוסטטית בשקד ופיסטוק. מימון נוסף נתקבל למחקר זה מקרן המדען של משרד החקלאות ואנו מודים לה על תרומתה לקידום מחקר זה.

סיכום

1. מטרת המחקר

פיתוח מיכשור ושיטות המבוססים על טכנולוגיות אלקטרוסטטיות לישום תהליכי אסיף, שימור והרבצה של אבקה במגוון גידולים רחב ככל האפשר, לניצול בתנאים מסחריים של מלוא פוטנציאל הצמח ולשיפור האיכות ותהליכי הייצור בפירות וזרעים.

2. עיקרי הניסויים והתוצאות

פותחו, נבנו ושופרו שלושה דורות של אבי-טיפוס לשיגור אבקת פרחים טעונה במטען אלקטרוסטטי והרבצתה על צלקת העלי. בוצעו ניסויים הקדמיים באבוקדו, בצל, כלניות, עגבניות, פלפל, תמרים, תפוחי עץ, כותנה, שקד ופיסטוק. מכל הגידולים הללו בשלושה גידולים, תמר, שקד ופיסטוק, נמצאו דרכים להפיק אבקה בעלות וכמות המתאימים לישום אלקטרוסטטי באופן מסחרי. בתמר בוצעו ניסויים בעמק בית שאן אך עדיין אין ישום מסחרי. שקד ופיסטוק נערכו ניסויים בישראל וקליפורניה והוכחה הכדאיות המסחרית. פותחו שיטות לשימור וטיפול באבקת שקד ובאבקת פיסטוק.

3. המסקנות המדעיות וההשלכות לגבי ישום המחקר

בשקד ופיסטוק, הושגה הצלחה בפיתוח מיכשור ונבנו ושופרו שלושה דורות של אבי-טיפוס לשיגור אבקת פרחים, לטעינתה במטען אלקטרוסטטי ולריכוזה והרבצתה על צלקת העלי. פותחו ושופרו שיטות להפקת אבקה, לשימור ולטיפול בה והושגו תוצאות בהרבצה וישום מסחרי של השיטות גם במטעים מסחריים.

4. הבעיות שונתרו לפיתרון

יש להמשיך כעת בהפצת הטכנולוגיה שפותחה לשקד ופיסטוק ובהתאמתה לחקלאים השונים. בתמר ובגידולים נוספים שהוזכרו, נראה שקיים פוטנציאל מסחרי רב ליישום שיטות ההפקה והשימור של אבקת הפרחים וההאבקה הא"ס ורצוי להמשיך במחקר, בפיתוח ובישום המסחרי גם בגידולים אלה.

5. האם הוחל כבר בהפצת הידע שנוצר בתקופת הדו"ח – יש לפרט: פרסומים כמקובל...

אנו שמחים לציין שאיננו יכולים לפרט את כל הפירסומים במקום הקטן שסימנתם בטופס – מאחר וצינתם מחד שיש לפרט כמקובל ומאידך שאין לחרוג מהטופס. לכן אנו מתנצלים ומבקשים מהקורא הנכבד לטרוח ולקרוא את סעיף ה' בדו"ח המפורט.