

א28

שימוש בטכניקות של אלקטרוסטטיקה

להאבקה של צמחי תרבות

חיבור לשם קבלת התואר "דוקטור לפילוסופיה"

מאת :

יפתח ואקנין

הוגש לסנט של אוניברסיטת תל-אביב

אוקטובר 1999

חשון תש"ס

עבודה זו נעשתה בהדרכתם של:

פרופסור דן איזיקוביץ

ודוקטור שמואל גן-מור

תקציר

האבקה אלקטרוסטטית, היא תהליך המתרחש כאשר חרק הנושא מטען אלקטרוסטטי מתקרב לפרח ומשרה שדה חשמלי בינו ובין הפרח. עוצמתו של שדה חשמלי זה גדלה ככל שהמרחק בינם מצטמצם וכוחות המשיכה הרגעיים שנוצרים במרווח שבין גוף החרק ובין הפרח עשויים להסביר מעבר של גרגרי אבקה מהמאבקים אל גוף החרק ומגוף החרק אל הצלקת, מבלי ליצור בינם מגע פיזי. המחקר הנוכחי עוסק במעורבות של הכוחות האלקטרוסטטיים בתהליכי האבקה בטבע ובחקלאות, ומתחלק לשני חלקים עיקריים: 1. הכרה של המאפיינים המורפולוגיים והביולוגיים של פרחים אשר כוחות אלקטרוסטטיים מעורבים בהאבקתם; 2. פיתוח של שיטות הנדסיות וביולוגיות להאבקה של צמחי תרבות, מואבקי רוח ומואבקי חרקים, באמצעות מכשור אלקטרוסטטי.

לצורך הניסויים השונים בהאבקה אלקטרוסטטית, פותח בשיתוף עם המכון להנדסה חקלאית, שבמרכז וולקני, מכשיר להאבקה אלקטרוסטטית על עיקרון של "טעינה בהשפעת יוניזציה" (קורונה); בשיטה זו מוסעים גרגרי האבקה באמצעות מפוח בזרם אוויר מסביב לאלקטרודה המחוברת למקור מתח גבוה (80 kV) ומייננת את האוויר. היונים נצמדים לגרגרי האבקה באזור היוניזציה וטוענים אותם במטענים. גרגרי האבקה הטעונים מוסעים לעבר המטרה ונצמדים אליה באמצעות שילוב של כוחות אווירודינמיים ואלקטרוסטטיים.

על מנת לבחון את ההשפעות של מבנה הפרח על יעילות ההרבצה של גרגרי אבקה טעונים אלקטרוסטטית על הצלקת ועל הכותרת, נבנה מודל ממתכת (העתק של פרח שקד) שבו אורך העלי וזווית הפתיחה של הכותרת בפרח המתכת היו ניתנים לשינויים. נבדקה יעילות הרבצת אבקה, טעונה ושאינה טעונה, על חלקי הפרח השונים. נמצא שהפרמטר המורפולוגי החשוב ביותר בהתאמת פרח המודל להאבקה אלקטרוסטטית הוא גובה העלי מעל לכותרת הפרח; ככל שהצלקת בולטת יותר, כך גם עולה כמות האבקה המגיעה לצלקת. מאחר והכוחות האלקטרוסטטיים פועלים הן בהרבצת אבקה על הצלקת והן באיסוף אבקה מהמאבקים, הרי שככל שהאבקים בולטים יותר מן הפרח, תעלה גם כמות האבקה שתיאסף באמצעות החרק המאביק. בבחינת המודל נמצא גם שכוחות המשיכה החזקים שמופעלים סביב הצלקת מעלים את כמות האבקה שמגיעה אל כלל הפרח ולא רק אל הצלקת.

מן הניסויים במודל נמצא, שהאבקה אלקטרוסטטית, בהשוואה להאבקה לא אלקטרוסטטית, העלתה משמעותית את כמות האבקה שהגיעה לפרח. מרבית גרגרי האבקה הטעונים הגיעו אל קצוות הכותרת והצלקת, ואילו גרגרי אבקה לא טעונים פוזרו באופן אחיד על פני הפרח כולו מבלי שיהיה יתרון כלשהו לחלק זה או אחר בפרח. נמצא גם שפרחים גדולים מותאמים טוב יותר להאבקה אלקטרוסטטית מפרחים קטנים מהם גם אם הם בעלי אותו גובה של עלי מעל הפרח. הפרח הגדול מהווה "מטרה" גדולה יותר לא רק בשל ממדיו המורפולוגיים אלא גם בשל הכוחות החשמליים החזקים יותר שהוא מפעיל, והם עשויים להעלות משמעותית את כמות האבקה שתגיע לצלקת ולכותרת בהאבקה אלקטרוסטטית.

נעשתה בחינה של הקשר בין התאמתו המורפולוגית של הפרח להאבקה אלקטרוסטטית אשר הוגדרה על ידי המודל ובין מידת הספציאליזציה בהאבקה, מערכת הרבייה (מידת התאם עצמי) של הצמח ובית גידולו. הבחינה נעשתה ב- 41 מינים של צמחים ממשפחת המצליבים, במגוון רחב של אזורים ברחבי הארץ.

אושרה הנחת המחקר שטענה שככל שהפרח יותר ספציאליסט, מידת התאמתו להאבקה אלקטרוסטטית קטנה יותר, ובהתאם לכך ככל שהפרח פחות ספציאליסט, מידת התאמתו להאבקה אלקטרוסטטית גדולה יותר.

מאחר ונמצא מתאם חיובי גבוה בין אורך העלי מעל הפרח ובין אורך האבקנים מעל הפרח, ניתן להסיק שאם כוחות אלקטרוסטטיים מעורבים בתהליכי האבקה במצליבים, הרי שמעורבים בכך תהליכים של הרבצה של אבקה על הצלקת וכן תהליכי איסוף של אבקה מהמאבקים.

ממדי הפרח השונים הראו, כל אחד בנפרד, השפעה מסוימת על התאמת הפרח להאבקה אלקטרוסטטית, אבל לא באותה מידה כמו לשילוב של הפרמטרים המורפולוגיים שקובעים את רמת הספציאליזציה של הפרחים בהאבקה.

לא נמצא קשר ברור בין ההתאמות המורפולוגיות של הפרחים להאבקה אלקטרוסטטית לבין מערכת הרבייה. ערך המתאם הנמוך ($Tau=0.180$) מעיד על כך שישנם גורמים נוספים, חשובים לא פחות, שעשויים להיות מעורבים בקביעת ההתאמה המורפולוגית של הפרח להאבקה אלקטרוסטטית. לבית הגידול לא נמצאה כל השפעה על מידת ההתאמות המורפולוגיות של פרחי המצליבים להאבקה אלקטרוסטטית וגם על מידת הספציאליזציה של הפרחים בהאבקה.

במחקר בהאבקה אלקטרוסטטית של הפיסטוק בקליפורניה נמצא שבמרבית הניסויים של ההאבקה האלקטרוסטטית, בהם ההאבקה הטבעית הייתה גורם מגביל, התקבלה עלייה ביבול (9.5%-41%), בעוד שבמרבית הניסויים בהם ההאבקה הטבעית לא הייתה גורם מגביל, לא התקבלה עלייה ביבול ובמקרים מסוימים אף התקבלה ירידה מסוימת (עד 10%). ההצלחה הגדולה שהתקבלה בניסוי המסחרי בהעלאת היבול ובשיפור איכות הפרי (עלייה באחוז של split nuts), הצביעה על כך שבמקרים מסוימים ההאבקה האלקטרוסטטית יכולה להחליף את ההאבקה הטבעית במטע.

במחקר בהאבקה אלקטרוסטטית של השקד בישראל נערכה הפרדה בין ניסויים על גבי ענפים מבודדים לבין ניסויים בעצים שלמים. נמצא שלהאבקה האלקטרוסטטית הייתה השפעה חזקה יותר על החנטה בניסויים בענפים המבודדים מאשר בעצים השלמים. ההצלחה בחנטה הייתה בהתאם לצפוי מעילות ההאבקה:

האבקה אלקטרוסטטית+האבקה פתוחה < האבקה לא אלקטרוסטטית+האבקה פתוחה < האבקה פתוחה < האבקה אלקטרוסטטית בלבד < האבקה לא אלקטרוסטטית בלבד.

למרות שניתן היה לצפות להעלאת היבול בשקד באמצעות האבקה אלקטרוסטטית דווקא בשנת "Off" (1997), הרי שהעלייה ביבול בעקבות טיפול זה התרחשה דווקא בשנת "On" (1998). המסקנה היא שבשנת "Off" גם אם ההאבקה הטבעית מהווה גורם מגביל הרי שהעצים לא יכולים לחנוט יותר פירות בשל גורמים שאינם קשורים בהכרח בהאבקה, בעוד שבשנת "On" העצים ככל הנראה הרבה יותר חסונים פיזיולוגית ועל כן הם יכולים לשאת את התוספת ביבול. לתוספת זו במשקל הכולל של היבול הייתה השפעה הפוכה על משקל הפרי הבודד (ירידה של כ-5%).

שיעור הנביטה של גרגרי אבקה על הצלקות ירד משמעותית עם ההתרחקות מקצות הענפים לעבר בסיסם בסמוך לגזע. ההאבקה האלקטרוסטטית הצליחה רק במעט לשפר את שיעור הנביטה של גרגרי אבקה על

פרחים הסמוכים למרכז העץ. המשמעות של מספר גרגרי האבקה הנובטים על הצלקת בשקד מבחינת היבול המתקבל, אינה ברורה, והיא מצריכה מחקר נפרד.

על כן, להאבקה אלקטרוסטטית של השקד עשוי להיות תפקיד חשוב בהעלאת היבולים המתקבלים במטע. בשלב זה לא נראה כי ההאבקה האלקטרוסטטית יכולה להחליף את דבורת הדבש אלא רק לשמש כתוספת להאבקה שמתרחשת באופן טבעי, או להתבצע באזורים בהם לא ניתן להשתמש בדבורת הדבש כגון באזורים בהם מוחלפת על ידי הדבורה האפריקאית ומספר הדבורים המיועדות להאבקה קטן.

בניסויים לבחינת יכולת העמידות של גרגרי אבקה בשדות חשמליים חזקים, נמצא שלא הייתה כל פגיעה בכושר הנביטה שלהם ובמקרה של חשיפה ממושכת של גרגרי אבקה לשדה החשמלי חזק (1736.8 kV/m) במשך 20 שניות), חלה אף עלייה מסוימת בכושר הנביטה (6%). בהנחה והאבקה אלקטרוסטטית בחקלאות תהפוך בעתיד לשיטה לגיטימית ושגרתית, ייתכן ולתוצאות אלו תהיה משמעות כגורם שעשוי להשפיע על חיוניות האבקה.

לסיכום, המחקר הנוכחי תרם להבנת הפרמטרים המורפולוגיים החשובים ביותר בהתאמת הפרח לתהליכי האבקה שמעורבים בהם כוחות אלקטרוסטיים (מידת היבלטות המאבקים והצלקת). זהו מחקר ראשון המצביע על האפשרות שלכוחות האלקטרוסטיים עשויה להיות השפעה סלקטיבית בעיצוב הפרח. על כן, במחקרים עתידיים באבולוציה של הפרח, יש להתחשב גם בגורם של הקשר המורפולוגי - אלקטרוסטטי במכלול הגורמים המשפיעים על תהליך האבקה של הצמח. נמצא כי באותם המקרים בהם ההאבקה הטבעית בחקלאות מהווה גורם מגביל, השימוש באבקה אלקטרוסטטית עשוי להעלות את היבול ואת איכותו ובמקרים מסוימים אף להחליף את ההאבקה הטבעית.