

השקיה אוטונומית של תאנה במצע מנותק

יצחק קליין, זאב יבלוביץ, משה פליישמן /
המכון למטעים, מינהל המחקר החקלאי



הניסוי בתאנה עם בקר ההשקיה החדש בחן שלושה ספי מתח השקיה: מינוס 10, מינוס 20 ומינוס 35 סנטימטר, בשלוש חזרות, על עצים בודדים, נטועים במצע טוף: כבול 1:1 בנפח של 15 ליטר. עץ אחד בכל טיפול עמד על מאזני שקילה, למדידת קצב ההתאדות, והנקז שלו נאסף כל יום במהלך ארבעה שבועות רצופים. ניסוי ההשקיה החל ביוני 2002, על עצים אחידים, ונמשך עד סיום הקטיף ב-2003. ב-7 ביולי 2002 בוצעה מדידת פוטוסינתזה, שלוש פעמים במהלך היום. לאחר הפסקת הצימוח, ב-2003, נספרו הענפים ואורכם נמדד, לקביעת עוצמת הצימוח. הפרי ב-2003 נקטף כל יומיים-שלושה, נספר, נשקל וכלל המוצקים המסיסים (כ"מ) שלו

יצור מכון של תאנים במהלך כל השנה דורש הבנה מעמיקה יותר של דרישות ההשקיה והדישון והשפעתן על איכויות הפרי והגבלת הצימוח הווגטטיבי. למרות הידע שפותח בגידול תאנים, החלטות בנושאי השקיה (עיתוי וכמות) כיום הן בעיקרן אמפיריות. בשנים האחרונות בחנו בקר השקיה אוטונומי בגידול תאנים במצע מנותק. גידול תאנים בנפח מצומצם בכלים מחייב תשומת לב והקפדה יתירה על השקיה תכופה לשמירת הרטיבות במצע. מקובל על כן להשקות ולדשן גידולי מצע מנותק בעודף רב תוך שימוש במחשבי השקיה אוטומטיים ודישון רציף. במסגרת עבודה זו בחנו לראשונה בקר השקיה המכיל בתוכו טנסיומטר, פותח ברז השקיה הידראולי כשמתח המים בקרקע מגיע לסף הרצוי (0 עד מינוס 50 סנטימטר) וסוגר את הברז לאחר זמן מובנה, לבקרת עומק ההרטבה. הבקר מודד את מתח המים בקרקע ברציפות, אוגר את הנתונים לצורך הורדה למחשב נייד ומציגם גרפית בעקבות התפתחות שורשים בסביבת הבקר ניתן להבין שהצמח הוא הגורם הבלעדי שקובע את עיתוי ומשך ההשקיה, ללא התערבות החקלאי.

(פחות שלילי), עד ל-13 ליטר/חודש במינוס 10 סנטיבר. נראה, כי בקר ההשקיה מסוגל לווסת את רמות ההשקיה והגידול של העץ והפרי ללא מגע יד אדם ובהתאם לדרישות המים בצמח. תוצאות ראשוניות של בקרת ההשקיה, באמצעות הבקר החדש שפותח, מראות כי ניתן לצמצם את תצרוכת המים בעצי תאנה הנוטעים בקרקע ולהביא לשיפור בגודל הפרי ביבול הסתווי.

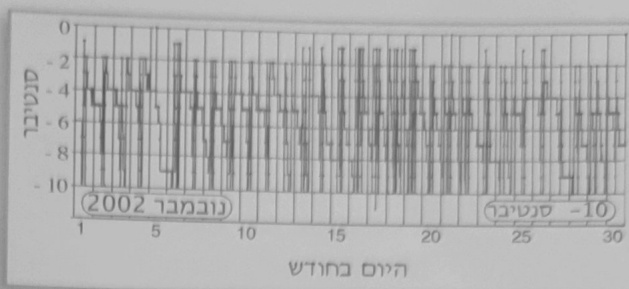
מבוא

תאנה מהזן 'ארגמנית', בתנאי הגידול במישור החוף והגליל, מסוגלת להניב שלושה יבולים בשנה: יבול בכורות במהלך החודשים מאי ויוני, יבול קיצי במהלך החודשים יולי ואוגוסט ויבול סתווי בין החודשים נובמבר עד ינואר. התוצאות הכלכליות של גידול זה מראות פערים בהכנסות למגדל בשיווק הפרי בעונות השנה השונות. ה'ארגמנית' פודה מחירים גבוהים בין החודשים נובמבר עד מאי, כאשר במהלך החודשים יוני עד אוגוסט חלה ירידה ברמת מחירי הפרי. כיוון שמרבית המגדלים בישראל אינם יכולים לייצר פרי במהלך החורף, ניתן להערכתנו, להגדיל את סך ההכנסות של החקלאי באמצעות הכוונת ארייה והשקיה לתקופות המועדפות. בדרך זו ניתן יהיה לפזר את מהלך הייצור של הפרי במטעים השונים ולהגביר את איכויותיו בתקופות הייצור השונות.

ייצור מכוון של תאנים בעונות היצוא הרווחיות דורש הבנה מעמיקה יותר של דרישות ההשקיה והדישון והשפעתם על איכויות הפרי והגבלת הצימוח הווגטיבי. למרות הידע שפותח בגידול תאנים, החלטות השקיה (עיתוי וכמות) כיום הן בעיקרן אמפיריות.

כניסוי מקדים לפני בחינה בתנאי מטע בחנו את עקרונות ההשקיה של תאנים במצע מנותק. מטע בבית רשת מניב במצע מנותק יבולים גבוהים. הגידול במצע מנותק נפח מצומצם מחייב תשומת לב והקפדה יתירה על השקיה תכופה, לשמירת רטיבות המצע. מקובל על כן להשקות ולדשן גידולי מצע מנותק בעודף רב, תוך שימוש במחשבי השקיה אוטומטיים ודישון רציף. הרכבי מצע מנקזים מבטיחים אוויר נאות במצע המנותק. ההשקיה העודפת בזבזנית ומזהמת את הסביבה ולכן המגמה כיום באירופה ובארצות הברית היא לחייב בחוק מיחזור של הנקז.

האוטומציה בהשקיה, במצע המנותק ובשדה, מבטיחה ביצוע מדויק וחסכון בעבודה, אך אינה פותרת את החקלאי מהצורך לקבוע את תכיפות השקיה ואת מנת המים הנדרשת לגידול. למרות הידע הקיים היום, ההחלטות בפועל, מתי וכמה להשקות, הן בעיקרן אמפיריות, היות שלמשקה תמיד חסרים נתונים בסיסיים (מקדם השקיה רצוי, שטח עלווה, איבודי מים בהתאדות מפני הקרקע ובדליפה, וכן הלאה) הנדרשים לקבלת החלטות השקיה נכונות.



איור 1: סף השקיית תאנה במצע מנותק במתח של מינוס 10 סנטיבר בנובמבר 2002. תכיפות ההשקיה האוטונומית נעה בין אפס (5.11) לארבע השקיות ביום (18.11). תמונה דומה של ספי השקיה מתאימים התקבלו גם במינוס 20 ומינוס 35 סנטיבר, בתכיפויות השקיה קטנות יותר (איורים לא מצורפים)



איור 2: סף השקיית תאנה במצע מנותק במתח של מינוס 10 סנטיבר בדצמבר 2002, עד לנשירת העלים. תכיפות ההשקיה פחתה בהדרגה עד לנשירה המוחלטת ב-2002, ועלתה בהדרגה במהלך ההתעוררות ב-2003

נמדד בעשרה פירות בכל קטיפה.

בקר ההשקיה שמר בדיוק רב על סף מתח השקיה שנקבע בניסוי. תכיפות ההשקיה האוטונומית ירד ככל שסף מתח ההשקיה היה גבוה (שלילי) יותר. התכיפות הושפעה גם משטח העלווה, כפי שניתן היה לראות במהלך נשירת העלים בסתיו ובמהלך התכנסות העלווה באביב. תכיפות ומשך ההשקיה היו תלויים גם בתנאים הסביבתיים, שאותם לא ניתן לחזות מראש. התגובה המהירה, הודות לפתיחת ברז השקיה בסף מתח שנבחר מראש, איפשר לבקר להתאים את ההשקיה לצריכה השוטפת בתנאים אקלימיים משתנים, על-ידי הגברת תכיפות ההשקיה.

רמת הטרנספירציה בסף מתח השקיה של מינוס 10 סנטיבר היה גבוה בהשוואה לשני הטיפולים האחרים. נמצא מתאם לינארי ומוחלט בין מתח המים בקרקע ורמת הפוטוסינתזה. מספר הענפים ואורכם (סה"כ צימוח), מספר הפירות והיבול במינוס 10 סנטיבר סף מתח ההשקיה, היה רב משמעותית בהשוואה לשני טיפולי ההשקיה הנותרים. לא נמצאו הבדלים בגודל הפרי והכמ"מ בין טיפולי ההשקיה. רמת הנקז ירדה ככל שסף מתח ההשקיה היה נמוך יותר

● ההצבה הסמוכה לטפטפת והקישור למגוף השקיה מבטיחים הרטבה מתמדת בסביבת החרס ומונעת התייבשות של המים בטנסיומטר.

● שורשים מתפתחים בקרקע הרטובה בסביבת הטנסיומטר, אי לכך השונות בין הצבות שונות קטנה מאשר בהצבה האקראית של טנסיומטרים קונבנציונליים, והווריאביליות הקרקעית נעשית בלתי משמעותית בהשקיה.

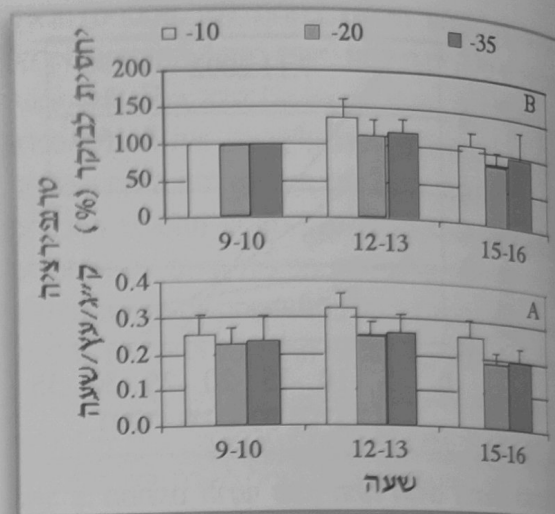
● צריכת המים וייבוש הקרקע על-ידי שורשי הצמח ליד הטנסיומטר מפעילים את ההשקיה ולכן המערכת היא אוטונומית (בשונה ממערכת אוטומטית). דהיינו, הצמח קובע לעצמו מתי וכמה להשקות בהתאם לצריכת המים השוטפת, ללא התערבות החקלאי.

בקר ההשקיה נבחן על-ידינו עד היום בניסויים בהשקיית תאנה במצעים מנותקים ובהשקיית זיתים במטע, בנוסף לשימוש המוצלח שנעשה בו בעבודה שוטפת בהשקיית גפן, דשא (נוי) ומיני צמחים אחרים. במאמר זה מובאים תוצאות ניסויי ההשקיה בתאנה במצע מנותק.

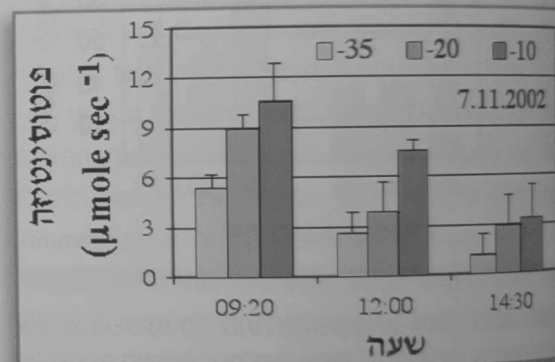
חומרים ושיטות

ניסוי ההשקיה נערך בעצי תאנה מהזן 'ארגמנית' (ברזילאית) מניבים בני חמש, נטועים בתערובת של כבולטוף 1:1 בשרחולי פלסטיק בנפח של כ-15 ליטר. העצים הוחזקו בבית רשת במכון וולקני והושקו עד לניסוי בטפטפת בודדת של 2 ליטר/שעה לשתיל. לניסוי נבחרו תשעה עצים אחידים שהושקו עם בקר ההשקיה החדש מיוני 2002 עד אוקטובר 2003, בספי מתח של מינוס 10, מינוס 20 ומינוס 35 סנטיבר (שלוש חזרות של עצים בודדים). ההשקיה בניסוי נעשתה מלכתחילה בטפטפת מווסתת של 4 ליטר/שעה. לאחר זמן, כשנוכחנו כי ההרטבה הרחבת של המצע בשרחול בשני ספי ההשקיה הנמוכים (מינוס 20 ומינוס 35 סנטיבר) אינה משביעת רצון, החלפנו בטיפולים אלה את הטפטפת הבודדת בשתי טפטפות של 2 ליטר/שעה. עצי התאנה בניסוי קיבלו ב-2003 דשן אוסמוקוט (כ-10 ג' לעץ). עץ אחד מתוך השלושה בכל טיפול הועמד על מאזני שקילה מחובר לאוגר נתונים (Campbel Scientific, 21x). בחודשים יולי ואוגוסט 2003 נאסף הנקז היומי של עץ אחד מכל טיפול השקיה במהלך ארבעה שבועות רצופים. ב-7.6.02 נמדדה הפוטוסינתזה (CID) בשלושת טיפולי ההשקיה, בשעות 9:30, 12:00 ו-14:30, לקביעת המתאם הרגעי שבין מתח המים במצע לבין רמת הפוטוסינתזה.

ביוני 2003, לאחר עצירת הצימח, בוצעה ספירת ענפים ופירות ונמדד אורך הענפים בכל עץ. הפרי שנקטף כל יומיים-שלושה, מ-3.7.03 עד 8.8.03, נספר ונשקל וכלל המוצקים המסיסים נמדד בעשרה פירות בכל קטף.



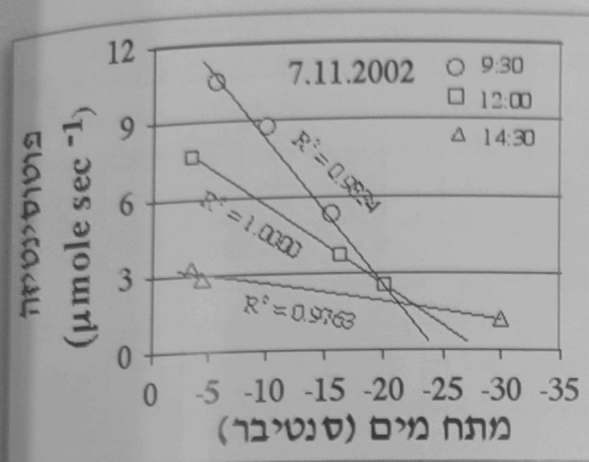
איור 3: השפעת סף ההשקיה של תאנה במצע מנותק על רמת ההתאדות. רמת ההתאדות נמדדה בשקילה על מאזנים: A - ערכים מוחלטים, B - ערכים יחסיים לבוקר



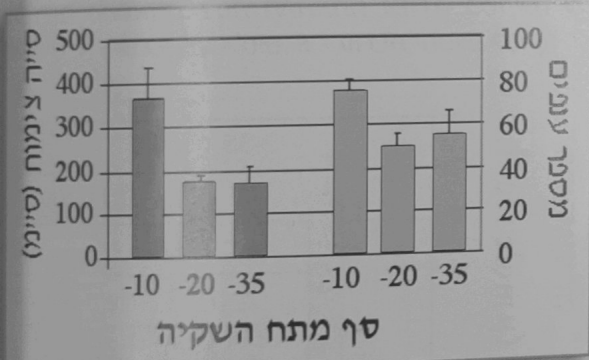
איור 4: השפעת סף מתח ההשקיה של תאנה במצע מנותק על רמת הפוטוסינתזה. טיפולי ההשקיה החלו כחודש לפני המדידה על שתילים אחידים בגודלם ובשטח העלווה

מה ארבע שנים אנו בוחנים בהצלחה בקר חדש להשקיה אוטונומית (CommonSensor), המכיל בתוכו טנסיומטר המכשיר שומר על העיקרון החשוב של מדידת מתח המים בקרקע ומבטל לחלוטין את כל החסרונות הידועים של הטנסיומטר. לבקר עמו עבדנו יש נתונים הבאים (Klein, 2004):

- הבקר פותח מגוף השקיה בסף מתח מים של מינוס 10, מינוס 20, מינוס 35 ומינוס 50 סנטיבר.
- הבקר סוגר את ברז ההשקיה לפי תכנות המאפשר בקרת עומק הרטבה ומונעת דליפה.
- הבקר אוסף נתונים כל 4 דקות (32,000 נתונים). את הנתונים ניתן לפרוק למחשב נייד, לגיליון אלקטרוני, לתכנית Excell ולהציגם בגרף.
- המכשיר מוצב בעומק ובמרחק של כ-15 ס"מ מהטפטפת. ההצבה השטחית ותיכנות הסגירה מבטיחים את בקרת עומק הרטבה, ללא צורך בשימוש המקובל של שני אלקטרו-טנסיומטרים (פתיחה - סגירה).



איור 5: המתאם הרגעי שבין מתח המים במצע המנותק ורמת הפוטוסינתזה במדידות בוקר, צהריים ואחר הצהריים



איור 6: השפעת סף מתח ההשקיה של תאנה במצע מנותק על מספר הענפים וסה"כ הצימוח לעץ. טיפולי השקיה החלו ביוני 2002 בעצים אחידים בגודלם. הנתונים הם ממדידה שנערכה ביוני 2003 בשנת הניסוי השנייה

התערבותנו, את עצי התאנה במצע המנותק. תכיפות ההשקיה הייתה פועל יוצא של סף מתח ההשקיה. בסף מתח השקיה נמוך התכיפות הייתה גבוהה יותר, אך השתנתה בכל ספי ההשקיה ללא אפשרות חיזוי מראש. התכיפות הייתה קשורה לשטח העלווה, כפי שניתן היה לראות במהלך נשירת העלים בסתיו (איור 2) ובמהלך התפתחות העלווה החדשה באביב. נמצאה התאמה בין תכיפות ההשקיה והתנאים הסביבתיים, אותם לא ניתן היה לחזות מראש. התגובה המהירה, הודות לפתיחת הברז בסף מתח שנבחר מראש והגברת תכיפות ההשקיה, איפשרה לבקר להתאים את ההשקיה לצריכה השוטפת בתנאים אקלימיים משתנים.

סף מתח ההשקיה נמצא בקורלציה מלאה ומוחלטת לפוטוסינתזה בתאנה במצע מנותק (איורים 4 ו-5). התאמה בין מתח ההשקיה לפוטוסינתזה ומוליכות פיוניות נמצאה גם בגפן הנטועה בקרקע חקלאית (Klein, 2004). ב-20 השנים

תוצאות

● תכיפות השקיה: תכיפות ההשקיה הייתה גבוהה יותר ומשך כל השקיה בודדת נעשה קצר יותר ככל שסף מתח ההשקיה היה נמוך יותר (פחות שלילי). מספר ההשקיות היומיות היה אפס עד ארבע בסף השקיה של מינוס 10 סנטיבר (איורים 1 ו-2), אפס עד שתיים בסף של מינוס 20 סנטיבר ואפס עד אחת בסף השקיה של מינוס 35 סנטיבר. במהלך נשירת העלים, באמצע דצמבר 2002, פחתו בהדרגה צריכת המים ותכיפות ההשקיה (איור 2) - ועלו בהדרגה במהלך ההתעוררות האביבית ב-2003. לא ניתן היה לקבוע מראש או לנחש את תכיפות ההשקיה וצריכת המים היומית, שהתאימה עצמה לתנאים הסביבתיים ולשטח העלווה.

צריכת המים, כפי שנמדדה בשקילת המאזניים, הייתה גבוהה יותר בסף השקיה של מינוס 10 סנטיבר בהשוואה לספי ההשקיה הגבוהים יותר, בכל שעות היום (איור 3A). הרמה בסף ההשקיה של מינוס 10 סנטיבר עלתה בצהריים ונשארה ברמה היחסית של הבוקר גם אחר הצהריים (איור 3B). בשני המתחים הגבוהים יותר הייתה ככל הנראה סגירת פיוניות חלקית בשעות אחר הצהריים, בהשוואה לרמה של הבוקר.

● פוטוסינתזה: ב-7.11.02 נמדדה הפוטוסינתזה שלוש פעמים במהלך היום (בוקר, צהריים ואחר הצהריים). רמת הפוטוסינתזה, שירדה בהדרגה במהלך היום בכל טיפולי ההשקיה, הייתה בהתאמה לסף מתח ההשקיה (איור 4). המתאם הרגעי במהלך היום, ללא קשר לטיפול ההשקיה, בין מתח המים במצע הגידול ורמת הפוטוסינתזה היה 0.9834 ו- 0.9763 בשעות הבוקר, הצהריים ואחר הצהריים, בהתאמה (איור 5).

● צימוח: טיפולי ההשקיה החלו ביוני 2002, לאחר עצירת הצימוח והתפתחות שטח עלווה מלא ואחיד בכל העצים שנבחרו לניסוי. הבדלים בצימוח בעקבות טיפולי ההשקיה הגיעו לידי ביטוי בעונת הגידול 2003, מיד עם ההתעוררות והלבלוב האביבי. בסוף יוני 2003 נמצא מספר ענפים רב יותר וצימוח כפול בהשקיה של מינוס 10 סנטיבר בהשוואה לשני הטיפולים האחרים (איור 6, תמונה 1). הבדלי הצימוח היו משמעותיים סטטיסטית.

● יבול ואיכות פרי: הקטיפ החל ב-3.7.03 והסתיים ב-8.8.03. היבול בהשקיית סף של מינוס 10 סנטיבר היה 2.99 ± 1.75 ק"ג/עץ, בהשוואה ל- 1.86 ± 0.25 ו- 0.25 ± 1.95 ק"ג/עץ בהשקיות סף של מינוס 20 ומינוס 35 סנטיבר, בהתאמה (איור 7). תוספת היבול המשמעותית נבעה ממספר הפירות הרב יותר, ולא מגודל הפרי, שהיה אחיד בכל טיפולי ההשקיה. לא נמצאו הבדלים עקביים בכלל המוצקים המסויסים בפרי (איור 7).

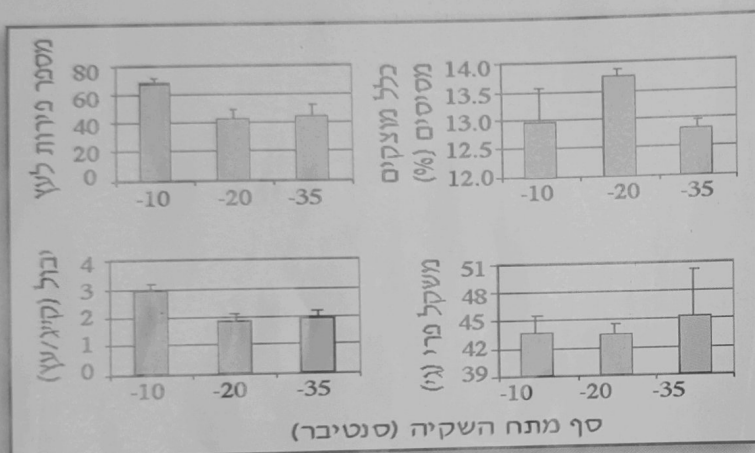
דיון

בקר ההשקיה, ה-CommonSensor, שמר במדויק על סף מתח ההשקיה שבחרנו בו והשקה אוטונומית, ללא

ענף החידוש: תאנה



השפעת סף מתח ההשקיה של תאנה במצע מנותק על הצימוח



איור 7: השפעת סף מתח ההשקיה של תאנה במצע מנותק על היבול ומספר הפירות לעץ, על משקל הפרי ועל כלל המוצקים המסיסים

בטבלה: נקז בתאנים במצע מנותק בהשקיה בספי מתח מים שונים

סף מתח מים בהשקיה (סנטיבר)	נקז*	
	(ליטר/עץ)	%
מינוס 10	13	2.9
מינוס 20	86	18.7
מינוס 35	459	100.0

* איסוף יומי של נקז במשך ארבעה שבועות ביולי ואוגוסט 2003

במצע מנותק בתאנים.

נראה כי בקר ההשקיה מסוגל לווסת את רמות ההשקיה והגידול של העץ והפרי ללא מגע יד אדם ובהתאם לדרישות המים בצמח. שימוש בבקר חדשני זה בעצי זית הראה כי ניתן לצמצם את כמות המים הנדרשת לגידול תוצאות ראשוניות של בקרת השקיה, באמצעות הבקר החדש, מראות כי הוא מסוגל לצמצם את תצרוכת המים בעצי תאנה הנטועים בקרקע ולהביא לשיפור בגודל הפרי ביבול הסתווי.

רשימת ספרות

את רשימת הספרות ניתן לקבל אצל המחברים. *

האחרונות נמצאו הוכחות ברוחות לכך שמסרים הבאים מהשורש מבקרים מוליכות פיוניות במהלך התייבשות הקרקע (Auge and Moore, 2002; Davies and Zhang 1991; Henson et al 1989). העברת המסרים מהירה, ואת תגובת הסגירה של הפיוניות ניתן לזהות לפני הירידה ברמת המים והשינויים בפוטנציאל המים בצמח. קיום מסרים מהשורש המבקרים בקרה ראשונית של פעילות הפיוניות הודגם על-ידי חוקרים מאוסטרליה, שגידלו גפנים במצע מנותק עם מערכת שורשים מפוצלת שחציה עבר לסירוגין תהליך של התייבשות הדרגתית (Dry et al 1996; Dry and Loevys, 1998; Dry and Loevys, 1999; Dry et al., 2000; Loevys et al 1998; Turner et al., 1996). ניסוי הגפן במצע מנותק הוביל לשורת ניסויי שדה בלתי מוצלחים, בהם נוסתה שיטה של ייבוש שורשים חלקי (Partial Root Drying, PRD), על-ידי השקיה אלטרנטיבית בשתי שלוחות טפטוף (Bravdo et al., 2004; Chalmers et al., 2004; Caspari et al., 2004; Einhorn and Caspari, 2004; O'Connell and Goodwin, 2004; Pudney and McCarthy, 2004). בניסויים אלה שיטת העבודה הייתה תמיד אמפירית, ללא יכולת בקרה מדויקת של דרגת התייבשות הקרקע.

יש לציין כי בקר CommonSensor, שמפעיל את ההשקיה בסף מתח מים נתון, חושף למעשה את השורשים לתהליך של ייבוש והרטבה. הייחודיות של בקר ה-CommonSensor הוא ביכולת לשמור על סף מתח עקה מדויק ועקבי, או ליתר דיוק - על תגובה עקבית ומדויקת במתח המים בקרקע (0 עד מינוס 10 סנטיבר, 0 עד מינוס 20 סנטיבר וכן הלאה). החוקרים האוסטרליים הכירו בעובדה שעל תהליך הייבוש להימשך עד גבול מסוים כדי לבקר פיוניות. בייבוש ממושך, מעבר לסף מסוים, לא מקבלים בקרת פיוניות מתמשכת אלא סמירתן בלבד. בניסוי השקייית זיתים במטע מצאנו לאחרונה, כי אכן ניתן לחסוך כ-50% או 75% מים בשנת יבול כבדה בסף השקיה של מינוס 10 או מינוס 20 סנטיבר, בהתאמה (נתונים לא מצורפים). אנו סבורים, כי בקר ה-CommonSenso מבצע בהצלחה ייבוש שורשים חלקי (PRD) נקודתי, ללא צורך בהשקייית שלוחות אלטרנטיביות.

תוצאות הניסוי בתאנים מצביעות על כך שקבלת צימוח ויבול מקסימלי במצע מנותק מחייב שמירה על רטיבות גבוהה ככל האפשר במצע הגידול. בשיטות ההשקיה הקיימות ניתן לשמור על רטיבות גבוהה רק בתנאים של מצע מאוור ונקז רב. להפתעתנו, הבקר החדש עמו עבדנו הקטין את הנקז במצעים מנותקים עד למינימום, לרמה בלתי משמעותית של כ-13 ליטר/עץ בחודש (ראה טבלה).

בדיקות שנעשו עם מפרז נוטרונים בעצי זית במטע, הראו מניעת דליפה מוחלטת מתחת לבית השורשים (נתונים לא מצורפים), ובכך אימתו למעשה את הממצא של בקרת נקז