

פיתוח מודל אופרטיבי לתכנון מנת השקיה עונתית והערכת יעילות

השימוש במים במטעי תפוח מסחריים

Development of an operative model for planning annual irrigation level and water-use-efficiency evaluation in commercial apple orchards.

מוגש לקרן המדען הראשי במשרד החקלאות ולמו"פ צפון

ע"י

עמוס נאור – המכון לחקר הגולן

שאול נשיץ – המכון לחקר הגולן

אליעזר גולדשמידט – הפקולטה לחקלאות, רחובות

פברואר 2008

אדר תשנ"ח

תקציר

בעית המחקר – יש צורך להתאים את מנת ההשקיה העונתית לרמת היבול על מנת לייעל את השימוש במים. מטרת המחקר לבחון אפשרות ישום המודל האופרטיבי להערכת מנת ההשקיה העונתית במטעים מסחריים של תפוח; לשנות את המודל כך שהמשתנה הבלתי תלוי יהיה מנת המים לתחזוקת העץ.

חומרים ושיטות – נערכו חמישה ניסויים זהים בגליל (חוות מתיתיהו) ובגולן (אורטל, אלרום, קשת). בניסויים אלו היו מספר מנות השקיה ומספר עומסי יבול בטווח רחב ויצרנו (בדיעבד) טווח רחב של מנות מים לתחזוקת העץ. נמדד פוטנציאל המים בגזע בצהרים והיבול מכל עץ נשקל ומוין לגודל בנפרד. כמו כן נמדדה תכולת העמילן בענפים רב שנתיים.

תוצאות – התקבלה השפעה ברורה של ההשקיה ועומס היבול על התפלגות גודל הפרי – קטן עם ירידת מנת ההשקיה ועם עליית עומס היבול. נמצא מתאם טוב בין מצב המים בעץ לגודל הפרי. במהלך המחקר לא הצלחנו להתאים את הפרמטרים של המודל עקב וריאביליות גדולה של הנתונים ובשל כך שהתקבלו ערכים שליליים של מנת מים וגטיבית. ערכים כאלה אפשריים אך לא נמצא מודל סטטיסטי אמפירי בעל דגם של היפרבולה שתחום ערכי ה-X שלו כולל גם ערכים שליליים. מצאנו את העמילן בענפים בקיץ כמדד טוב לזמינות מוטמעים.

הבעיות שנתרו לפתרון – יש מקום להעמיק את המחקר ולבחון: 1. האם העמילן בענפים חוזה בנוסף לגודל הפרי גם את עוצמת הפריחה החוזרת ואחוז החנטה בעונה העוקבת; 2. לבחון השפעת עקת מים ועומס יבול על אדפטציה אוסמוטית.

מבוא – משק המים השפירים בארץ נמצא במצב קשה שכן כמות המים נתונה ומוגבלת והצריכה הביתית עולה בשל גידול האוכלוסייה, ישראלית ופלשתינית כאחד, וכן בשל עליה מתמדת ברמת החיים. במקביל, יש עליה בכמות מי הקולחים המהווים תחליף חלקי למים שפירים ובשל כך נמצאת חקלאות ישראל בתהליך מואץ של מעבר להשקיה בקולחים. בחלק מהאזורים לא תהיה מגבלת הספקת קולחים שכן הכמות גדולה והשימוש החוזר בחקלאות מצמצם בעיה אקולוגית קשה. הרוב המכריע של המטעים הנשירים מרוכז בצפון הארץ. כמות מי הקולחים בצפון הארץ מוגבלת בשל צפיפות האוכלוסייה וברור שלא יובאו מי קולחים לאגן ההיקוות של הכנרת. אם כן, גם בעתיד תתבסס השקית המטעים בצפון הארץ בעיקר על מים שפירים ולפיכך צפוי ענף הנשירים בצפון להיות במגבלת מים תמידית, דבר המדגיש את הצורך בהעלאת יעילות השימוש במים (הכנסה לנחלה ליחידת מים).

הקצאות המים למטעים ירדו ב-35% ובניגוד לעבר, לא תתאפשר חריגה מהקצאת המים. במצב זה גמישות היצע המים שואפת לאפס ועל כן גודל השטח המעובד לנחלה יושפע מיעילות השימוש במים. הגברת יעילות השימוש במים תקטין את מימדי העקירה הנובעים מהקיצוץ החריף בהקצאת המים. בנוסף, מחיר המים לחקלאות עולה ויעמוד בעתיד הקרוב על 1.6 ש"ח/מ³. אם כן, אנו נכנסים לתקופה בה גמישות היצע המים תהיה נמוכה ועלותם גבוהה. כך הופכים המים למשאב בחסר בעלות גבוהה, דבר שיגביר את המוטיבציה של החקלאים להגדיל את יעילות השימוש במים.

צריכת המים של עצים נשירים מושפעת ממספר רב של גורמים: גודל הנוף המשתנה לאורך העונה ומשפיע על מידת קליטת הקרינה – מושפע מהזן, הכנה ושיטת העיצוב; רמת היבול המשפיעה ישירות על מוליכות הפיוניות ועל כן גם על הטרנספירציה; עומס היבול המגדיר את יכולת הנוף לתמוך בדרישת הפרי למוטמעים; פוטנציאל גודל הפרי המשתנה בין עונות בהשפעת משטר הטמפרטורות בשלב חלוקת התאים – יגרום לשינויים בסף פוטנציאל המים לבקרת השקיה; יעילות ההשקיה המושפעת באופן משולב ממנת ההשקיה ותדירותה, ספיקת המפזרים ופריסתם, התכונות ההידרוליות של הקרקע; שינויים בדרישות האטמוספירה למים יגרמו להשתנות צריכת המים מיום ליום. המלצות ההשקיה מתבססות על ניסויים שבוצעו בדרך כלל על צרוף של זן יחיד, כנה יחידה, שיטת עיצוב אחידה ורמת יבול ממוצעת. העדר יכולת להעריך בצורה כמותית את השפעת הגורמים השונים על צריכת המים ומנת ההשקיה משאיר את החקלאי באי ודאות לגבי מנת ההשקיה; לפיכך, התאמת מנת ההשקיה לכל חלקה נעשית בצורה אמפירית ואינטואיטיבית דבר הגורם לבזבז מים, שכן בשל אי הודאות החקלאי משקה במקדם ביטחון היכול להגיע לעשרות אחוזים.

יש צורך בפיתוח כלים שיאפשרו לחקלאי להתמודד עם אי הודאות כך שניתן יהיה להקטין את מקדמי הביטחון הנהוגים בהשקיית מטעים מסחריים. במחקר המוצע אנו מבקשים לפתח מודל אופרטיבי שבאמצעותו ניתן יהיה להעריך את השפעת רמת היבול על צריכת המים ולהעריך את יעילות השימוש במים במטעים מסחריים. המדובר בכלי עזר משלימים לבקרת ההשקיה היומיומית במהלך העונה שבאמצעותם ניתן יהיה להגדיר את מנת ההשקיה העונתית המשתנה מעונה לעונה. כמו כן ניתן יהיה לאתר חלקות בהן יעילות השימוש במים נמוכה, לנתח את הגורמים ולהתאים את המימשק האגרנטני לתיקון המצב.

במחקר הנוכחי נבחן ונשפר מודל אופרטיבי לקביעת מנת ההשקיה העונתית בהשפעת רמת היבול (Naschitz and Naor, 2005). על פי המודל המים הנצרכים ע"י העץ משמשים ליצירת מוטמעים המתחלקים בין שני מרכיבים, היבול ושאר חלקי העץ – שימור שלד עץ ונוף המאפשרים נשיאת יבול מקסימלית באופן יציב לאורך שנים. בניגוד למודל הקודם תיבחן השפעת מנת המים לתחזוקת העץ על גודל הפרי. מנת המים לתחזוקת העץ שווה למנת המים עד הקטיף פחות יבול החומר היבש בפרי מוכפל במנת המים ליצירת טון חומר יבש.

חומרים ושיטות – במהלך שלוש שנות המחקר נערכו חמישה ניסויי השקיה למשך עונה בגליל (חוות מתיתיהו) ובגולן (אלרום, אורטל, קשת) בתפוח בוגר מהזן זהוב. ע"י צרוף של מנות מים ועומסי יכול נוצר בניסויים טווח רחב של מנות מים לתחזוקת העץ. טווח רחב זה אמור לספק נתונים שמהם נחלץ את הפרמטרים של המודל האופרטיבי – מנת מים ליצירת טון יכול ופרמטרים של הפונקציה המתארת את השפעת מנת המים לתחזוקת העץ על משקל הפרי.

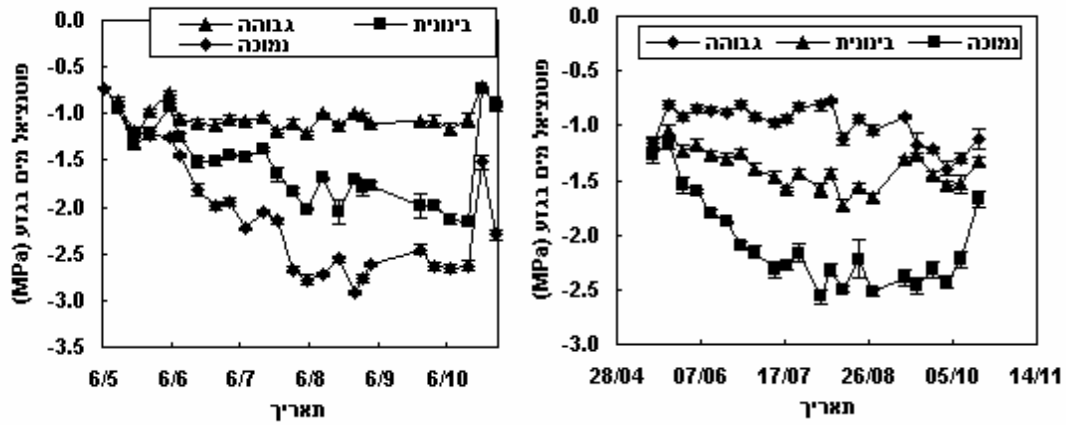
ההשקיה התחילה לאחר שלב חלוקת התאים על מנת למנוע מצב של השפעת השקיה/עומס יכול על חלוקת התאים ופוטנציאל גודל הפרי. בכל ניסוי ניתנו שלוש או 4 מנות השקיה. בכל טיפול נעשה דילול סלקטיבי שיצר מספר רמות יכול – הדילול בוצע בסוף שלב חלוקת התאים (40 יום משיא פריחה). לכל צרוף של השקיה X עומס היו ארבעה עד שישה עצים. נערכו בדיקות רטיבות קרקע בתחילת הניסוי ובקטוף. נערכו בדיקות פוטנציאל מים בגזע בצהריים לאורך העונה. היבול מכל עץ נקטף ומיון לגודל בנפרד. כך עמדו לרשותנו נתוני מנת המים המצטברת, הבדלים בתכולת המים בפרופיל הקרקע מהאביב לקטוף, יכול כללי, התפלגות גודל פרי ומשקל פרי ממוצע.

תוצאות - מנות המים היומיות בפועל נעו מ-1 מ"מ עד 7.4 מ"מ (טבלה 1) ומנות המים המצטברות לעונה נעו מ-125 מ"מ עד 981 מ"מ.

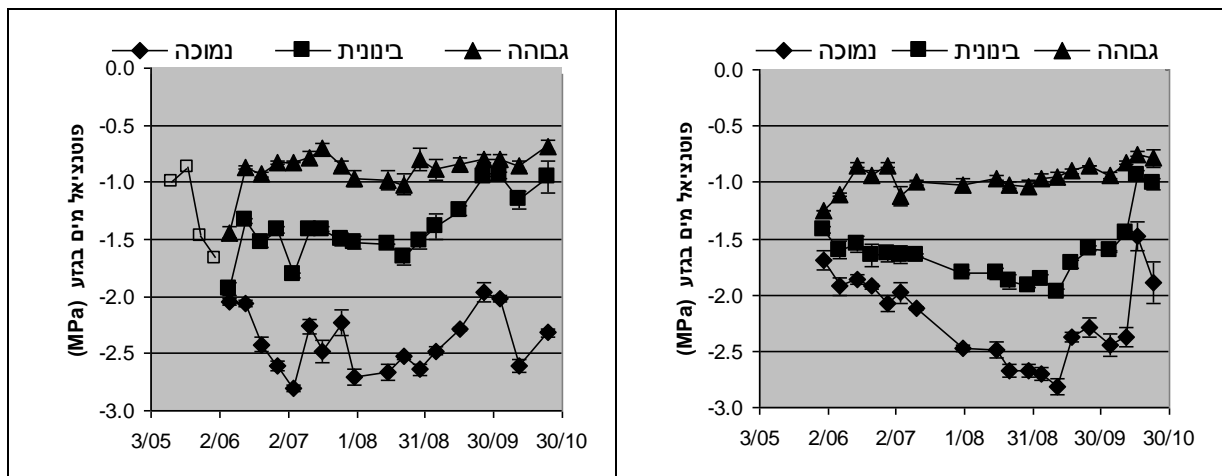
טבלה 1: מנת המים היומית הממוצעת והעונתית המצטברת בניסויי ההשקיה השונים לאורך שלוש שנות המחקר.

2007 קשת		מתיתיהו 2006		אורטל 2006		מתיתיהו 2005		אלרום 2005	
מנה יומית (מ"מ)	מנה עונתית (מ"מ)	מנה יומית (מ"מ)	מנה עונתית (מ"מ)	מנה יומית (מ"מ)	מנה עונתית (מ"מ)	מנה יומית (מ"מ)	מנה עונתית (מ"מ)	מנה יומית (מ"מ)	מנה עונתית (מ"מ)
146	1	125	1	135	1.0	147	1.0	139	1.1
283	2	417	3	392	3.0	378	2.9	365	2.7
495	3.5	915	6.3	919	7.1	863	7.4	906	6.7
981	7								

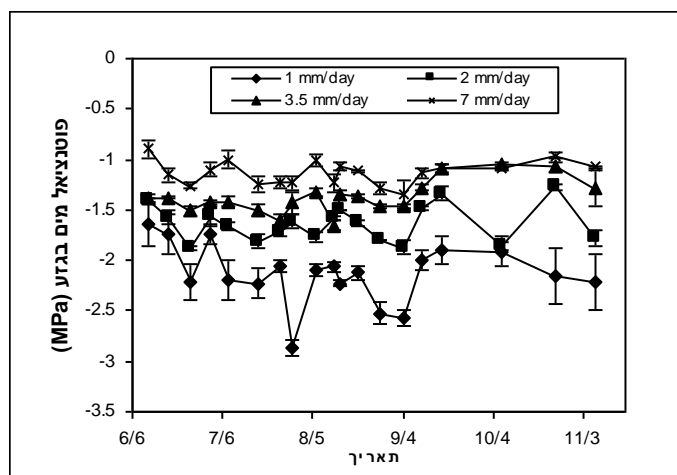
פוטנציאל המים בגזע בצהריים נע מערכים גבוהים במקצאת מ-1.0MPa - המעידים על עקת מים מינימלית ועד לערכים של 2.8MPa - המעידים על עקת מים חריפה בה מוליכות הפיוניות קרובה לאפס (איורים 1-3). עקת המים הגבוהה בקשת בשנת 2007 הייתה נמוכה במקצאת בהשוואה לשנים הקודמות.



איור 1: פוטנציאל המים בגזע בצהריים לאורך העונה בשלושת טיפולי ההשקיה בחוות מתיתיהו (איור ימני) ואלרום (איור שמאלי) בשנת 2005.



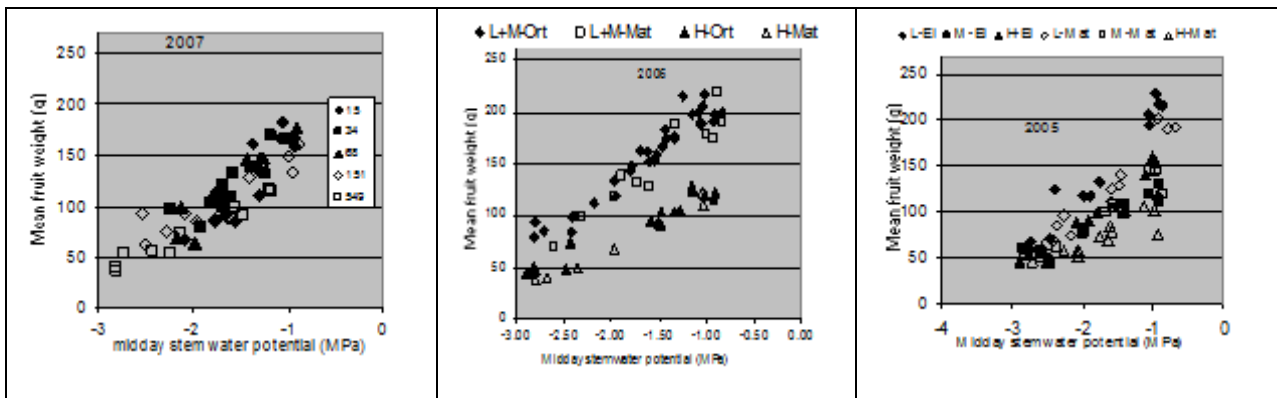
איור 2: פוטנציאל המים בגזע בצהריים בעומס היבול הבינוני בטיפולי ההשקיה השונים באורטל (שמאלי) ובחוות מתיתיהו (ימני) בשנת 2006.



איור 3: פוטנציאל המים בגזע בצהריים בעומס היבול הבינוני בטיפולי ההשקיה השונים בקשת בשנת 2007.

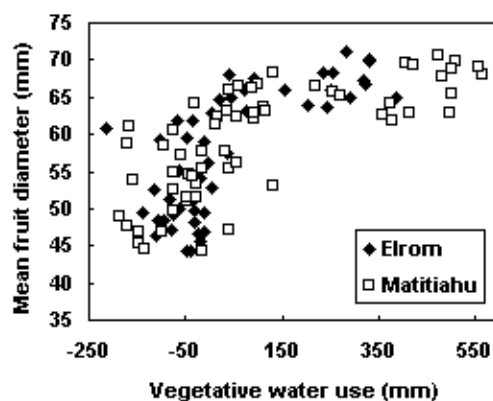
גודל הפרי הושפע הן ממנת ההשקיה והן מעומס היבול בשלושת שנות המחקר (איור 4). כך ירד משקל הפרי הממוצע עם ירידה בפוטנציאל המים בגזע ועם העליה במספר הפירות לעץ. התגובה של גודל הפרי לפוטנציאל

המים בגזע היתה דומה בעומסים הנמוכים ובעומס היבול הגבוה התקבלה תגובה שונה (קוטר פרי קטן יותר לכל ערך של פוטנציאל המים בגזע).

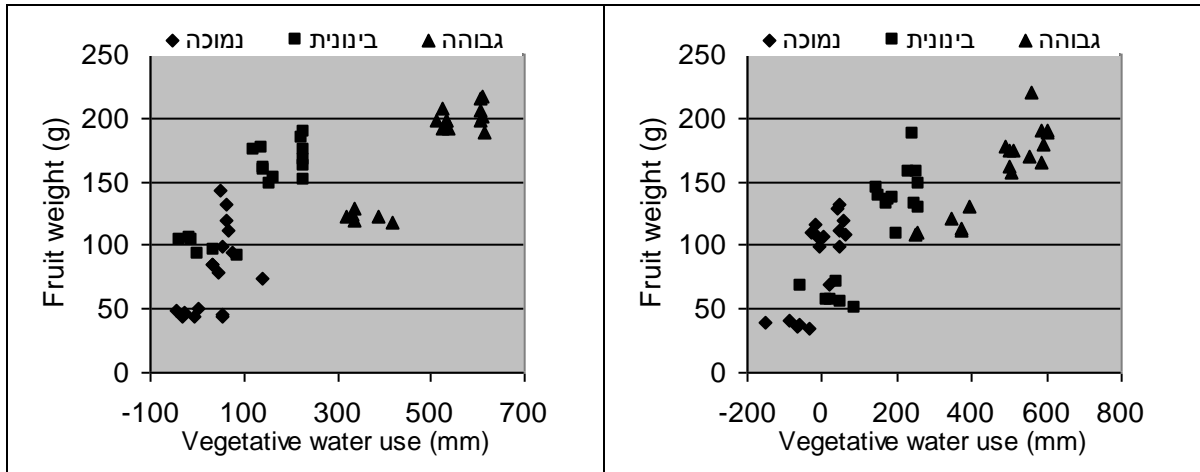


איור 4: השפעת פוטנציאל המים בגזע בצהריים על משקל פרי ממוצע בעומסי יבול שונים (נמוך – L, בינוני – M – וגבוה – H) בניסויים באלרום (El) ובחיות מתיתיהו (Mat) ב-2005, באורטל (Or) ובחיות מתיתיהו (Mat) ב-2006 ובקשת ב-2007. המספרים ב-2007 הם מספר הפירות לעץ.

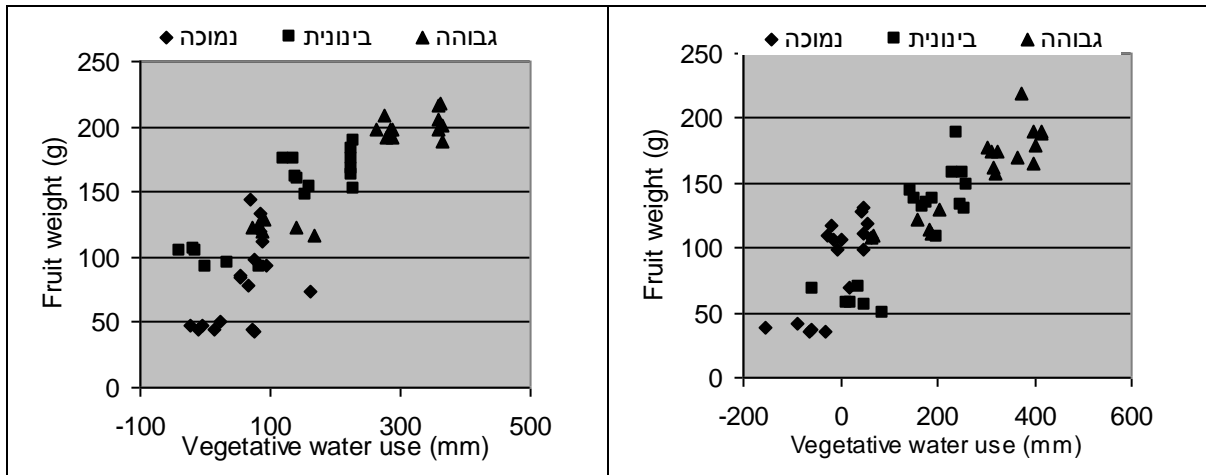
התגובה של קוטר הפרי למנת המים הוגטיבית (זו שלא הושקעה בייצור הפירות) הייתה דומה בשנת 2005 בשני הניסויים (איור 5). התקבלו גם ערכים שליליים שמשמעותם שבמהלך 2005 ייצור החומר היבש בפירות היה גבוה מסך ייצור המוטמעים וחלק מהמוטמעים לייצור הפרי מקורם בחומרי תשמורת משלד העץ. מבחינה טכנית לא ניתן היה להתאים מודך בעל דגם של היפרבולה בערכים שליליים וההתאמה נעשתה בניסוי וטעיה. בשנת 2006 תגובת משקל הפרי למנת המים הוגטיבית הייתה שונה בשני האתרים (איור 6) כאשר החישוב נעשה בשתי דרכים התיחסות למנת ההשקיה כאל צריכת מים והתחשבות בטרנספירציה המקסימלית שנמדדה בון זה באורטל בניסוי קודם.



איור 5: השפעת מנת המים לתח

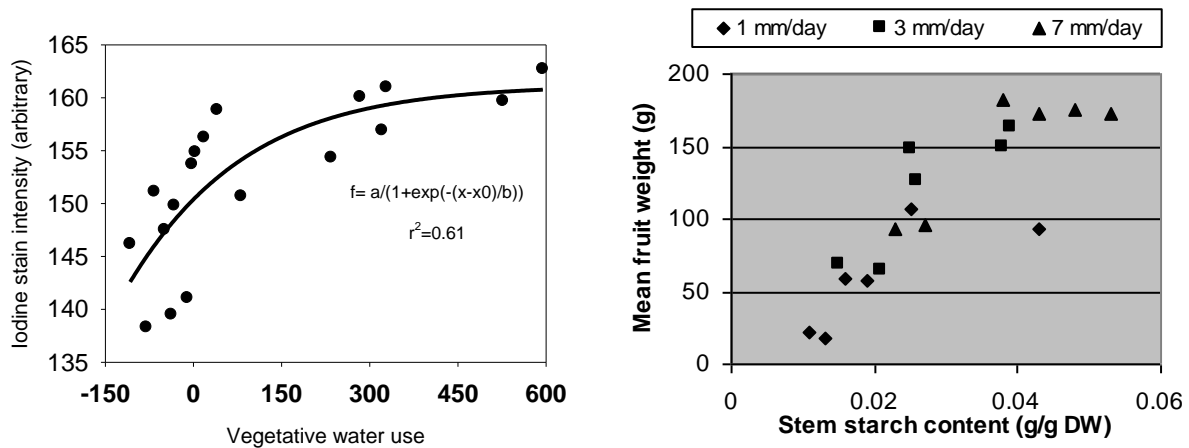


איור 6: השפעת מנת המים לתחזוקת העץ על משקל הפרי הממוצע באורטל (שמאלי) ובחוות מתיתיהו (ימני) בשנת 2006. בחישוב הינחנו שמנת ההשקיה שווה לצריכת המים.

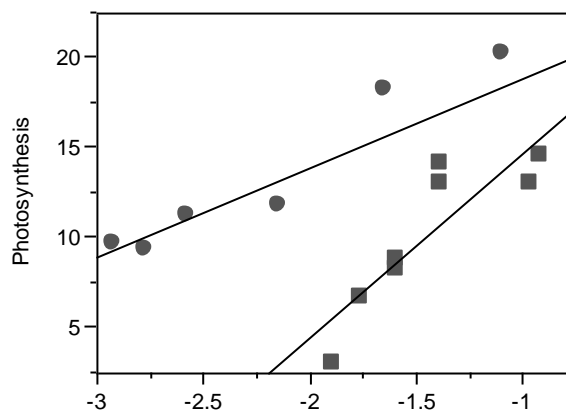


איור 7: השפעת מנת המים לתחזוקת העץ על משקל הפרי הממוצע באורטל (שמאלי) ובחוות מתיתיהו (ימני) בשנת 2006. השתמשנו בצריכת המים של תפוח זהוב בוגר מנתוני פולס חום כצריכת המים בטיפול ההשקיה הגבוהה.

בשנת 2005 נעשה ניסיון להעריך את רמת העמילן בענפים ע"י צביעת חתך של ענף בIOD. נמצא שרמת העמילן עלתה עם עליית מנת המים הוגטיבית עד לרוויה סביב 300 מ"מ. בשנת 2006 בוצעו מדידות של ריכוז עמילן בענפים ונמצא כי ריכוז העמילן בענפים בחודש יולי (שיא צריכת המוטמעים) מסביר בצורה טובה את גודל הפרי ללא קשר מה גרם לרמת העמילן המסוימת (עקת מים או עומס יבול).



איור 8: השפעת מנת המים לתחזוקת העץ על עוצמת הצביעה ביוז (מדד לריכוז עמילן) של חתך ענפים בשנת 2005 באלרום והשפעת תכולת עמילן בענפים ביולי על משקל הפרי הממוצע באורטל בשנת 2006. נידגמו ענפים בשלושת טיפולי ההשקיה ובשלושת העומסים.



איור 9: השפעת פוטנציאל המים בגזע בצהרים על קצב הפוטוסינתזה בעלי תפוח חשופים לקרינת השמש. הניסוי בוצע בעצים מהזן 'דלישס זהוב' בני 11 שנים, 116 ימים לאחר שיא הפריחה. העיגולים מציינים עומס יבול גבוה (~550 פירות לעץ) והריבועים מציינים עומס נמוך (~10 פירות לעץ).

דין

במהלך המחקר לא הצלחנו להתאים את הפרמטרים של המודל עקב וריאביליות גדולה של הנתונים ובשל כך שהתקבלו ערכים שליליים של מנת מים וגטטיבית. ערכים כאלה אפשריים אך לא נמצא מודל סטטיסטי אמפירי בעל דגם של היפרבולה שתחום ערכי ה-X שלו כולל גם ערכים שליליים.

פוטנציאל גודל הפרי נקבע ע"י מספר התאים בצפיפה בסוף שלב חלוקת התאים (~40 ימים משיא פריחה) ומיצוי הפוטנציאל מושפע משני גורמים (קצב ייצור המוטמעים מחד ומספר הפירות לעץ (קיבול המבלעים). עקת מים המשפיעה על קצב הפוטוסינתזה משפיעה על קצב ייצור המוטמעים ומספר הפירות לעץ משפיע על קצב צריכת המוטמעים והמאזן ביניהם מיצג את זמינות המוטמעים. במחקר הנוכחי נמצא שעמילן בענפים בקיץ מהווה מדד טוב לזמינות מוטמעים שכן הוא חוזה

בצורה טובה את גודל הפרי (איור 8) ללא תלות בדרך בה נקבעה רמת מוטמעים כל שהיא (השפעה על ייצור המוטמעים דרך מצב המים או השפעה על קיבול צריכת המוטמעים ע"י עמוס היבול). קשר זה מצביע גם על כך שמצבי המים השונים לא השפיעו על הטורגור בפרי במידה כזו שיתקבל עקום תגובה שונה של גודל פרי לרמת עמילן בטיפולי ההשקיה השונים.

בפוטנציאל מים גבוה התקבלה השפעה גדולה של עומס היבול על גודל הפרי בעוד שההשפעה קטנה עם הירידה בפוטנציאל המים (איור 4) בשנת 2005 ו-2007 לא התקבל הבדל משמעותי בין העומסים בפוטנציאלי מים שליליים. קצב פוטוסינטזה גבוה בעומסים גבוהים ובפוטנציאלי מים שליליים (איור 9) מסביר את העדר ההשפעה השלילית של העומס בטיפולי ההשקיה הנמוכה והדבר נובע מאדפטציה אוסמוטית שאפשרה שמירה על מוליכות פיוניות גבוהה יחסית בפוטנציאלי מים שליליים בהשפעת העומס. המוליכות הגבוהה של הפיוניות בעומסים הגבוהים לוותה בירידה בפוטנציאל המים בגזע (לא מוצג). ערכים של כ-50% מקצב הפוטוסינטזה המקסימלי בהשפעת העומס בפוטנציאל מים נמוך מ-2.5MPa הם ממצא מרשים שמחייב העמקת המחקר להבנת המנגנון.

מסקנות – מטרת המחקר המרכזית, בניית מודל אופרטיבי לקביעת מנת המים בהשפעת עומס היבול לא הושגה. יחד עם זאת מצאנו את העמילן בענפים בקיץ כמדד טוב לזמינות מוטמעים ויש מקום להעמיק את המחקר ולבחון האם מדד זה חוזה בנוסף לגודל הפרי גם את עוצמת הפריחה החוזרת ואחוז החנטה בעונה העוקבת.

פרסומים – מאמר אחד נשלח לפרסום.