

בחינת התגובה של שתילי תמרים מזן מג'הול לריכוזים שונים של מלח ובורון

טריפלר אפי¹, אלכס דוידוב¹, זהבה יהודה^{1,2}, ואורי שני²

(1- מו"פ ערבה דרומית; 2- האוניברסיטה העברית, הפקולטה לחקלאות, מזון וסביבה ע"ש רוברט ה. סמית)

1. מבוא

כמהלך השנים האחרונות עוברים מטעי התמרים באזור הערבה להשקיה במים מליחים או במי קולחין שמקורם בעיר אילת. הקולחים מאופיינים ברמת בורון (B) גבוהה, מעבר לריכוזים המוכרים כסבירים, עבור מרבית הגידולים. תנאי האקלים באזור צחיח זה מגבילים את שטיפת המליחים וה- B , ולכן הקרקעות מליחות ותכולת ה- B בהן גבוהה. בעבודה זו נבחנה ההשפעה של רמת המליחות וריכוז ה- B במי ההשקיה על יבול תמרים מזן מג'הול. מחקר רב שנתי זה בוחן את שיעורי היבול והאופוטורנספירציה (ET) של עצי תמר (*Medjool Phoenix dactylifera L., cv.*), המושקים במים בטווח רחב של רמות מליחות וריכוזי B .

2. שיטות וחומרים

2.1 מערך הליזימטרים

עשרים שתילי תמר (מג'הול), מתרביות רקמה, נשתלו בקרקע מקומית (Arava sandy loam) בשדה ליזימטרים (20 ליזימטרים בנפח 1 m^3) בסתיו 1999 בתחנת הניסיונות ביטבתה. טיפולי המליחות וה- B החלו כעבור שנה ממועד השתילה, לאחר ששתילי התמר פיתחו מערכת שורשים ועלווה. הטיפולים כללו ארבע רמות שונות של מלח וחמש רמות של B . רמות המליחות במי ההשקיה היו: 1.8, 4, 8, ו- $12 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$. תמיסות המלח הוכנו מ- NaCl ו- CaCl_2 (ביחסים אקוילנטים שווים בין יוני הסידן והנתרן). ריכוזי ה- B במי ההשקיה: 0.3, 2, 5, 20 ו-40 ppm.

בחורף 2002-2003 הוגדל נפחם של הליזימטרים ל-2.5 מ"ק. במקביל, הם הועתקו לאתר חדש במרווחי הצבה סטנדרטיים הנהוגים במטעי תמרים מסחריים (8X8 מ'). מערכת הליזימטרים אפשרה שליטה בעומד המטריצי בתחתית הליזימטרים בתחום שבין רוויה לקיבול שדה. בינואר 2005 ובינואר 2007 הועתקו, בהתאמה, העצים בטיפולים שכללו את רמות המליחות הנמוכות ($1.8, 4 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$) והעצים המושקים במים במליחות חשמלית של $8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, ממיכלים בנפח של 2.5 מ"ק לנפח 10 מ"ק. לצורך כך, נבנו ליזימטרים עמוקים (1.8 m) ובעלי שטח פני קרקע גדול (קוטר של 2.8 m), כדי למתן את השפעת השפות, ללא הגבלת נפח בית השורשים ועל-מנת ליצור פרופיל רטיבות

ומליחות דומה לזה המצוי בשדה. מיכל איסוף הנקז בתחתית נשקל יחד עם מכלול הליזימטר (במת שקילה עליה מונחים מיכל מלא בקרקע וצמח), הערכת כמות הנקז התקבלה מהפרש משקל הליזימטר לפני ריקון מיכל הנקז ולאחריו.

מערכת בקרת ההשקיה אפשרה אספקת תמיסת השקייה ייחודית לכל ליזימטר תוך שליטה על ריכוז המלח וה-B. מערכות הניקוז והשקילה אפשרו עריכת מאזן מים רציף ומאזן מלחים יומי עבור כל אחד מן הליזימטרים.

2.2 ניהול ההשקיה

כמות ההשקיה חושבה בתדירות יומית, כך שמי הנקז היוו שלישי מכמות מי ההשקיה של יום המחר. ההשקיה התבצעה 3-5 פעמים ביממה בשעות האור, ואיסוף מי הנקז התבצע אחת ליום. המדידות היומיות כללו אווטרנספירציה (ET) מכל אחד מהליזימטרים ומדידת המוליכות החשמלית של מי הנקז.

מאזן מסת המים היומית חושב עבור כל טיפול לפי משוואה 1:

$$ET = I - D - dW \quad (1)$$

כאשר I הינה כמות מי ההשקייה (kg), D - כמות מי הנקז (kg) ו- dW הוא השינוי היומי במשקל הליזימטר (kg), השווה לשינוי באוגר המים בליזימטר.

2.3 דיגום המים, הקרקע, העלים, השורשים והפרי

הקרקע נדגמה באמצעות מקדח כוס. הדיגום בוצע לעומק של כ-60 ס"מ, במקטעים של 15 ס"מ עומק לכל דוגמא. הקרקע נשקלה מיד לאחר הדיגום ולאחר יבוש בתנור ב- $105^{\circ}C$ לקביעת תכולת הרטיבות של המדגם. דיגום הקרקע נעשה מידי אפריל ונובמבר. דיגום העלעלים נעשה בתדירות זהה, מעלעלים בעלי מפנה דרומי המצויים בזווית 45° .

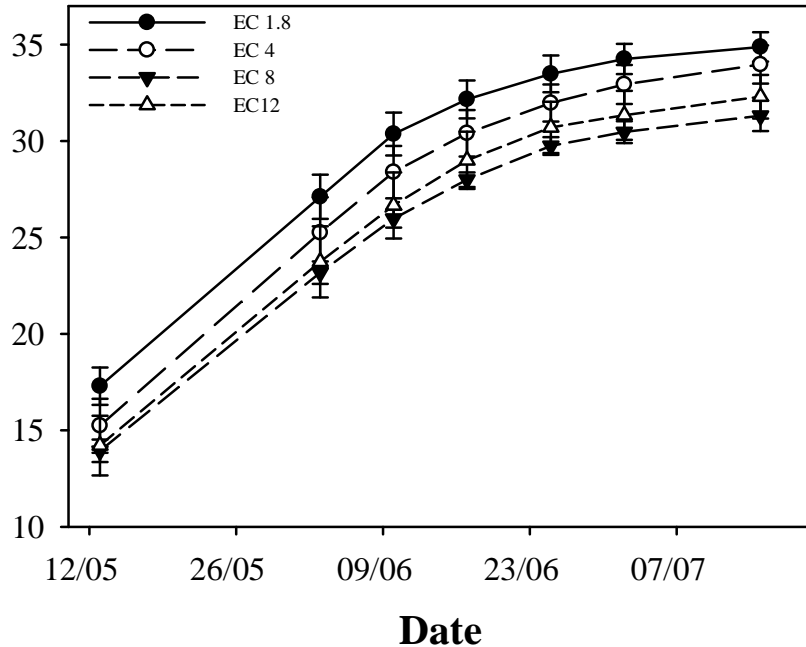
משטר הדילול (כמות אשכולות הפרי לעץ) היה יחסי לתוספת העלים השנתית של כל עץ. לכל שני עלים חדשים שנוספו ב-2006 הושאר אשכול אחד. מספר הפירות בכל אשכול היה קבוע, ועמד על 200. קצב יציאת עלים חדשים נמדד פעמיים בשנה. קצב התארכות הלולב, מספר תפרחות וקצב הגידול של הפרי נמדדו מידי שבוע. הפרי נגדד באוגוסט- ספטמבר 2007. היבול של כל ליזימטר נשקל ונספר, בכדי לחשב את משקל הפרי הממוצע. באוקטובר 2007 בוצע גיזום עלים עד לזווית של 45° לגזע. מספר העלים ומשקלם נמדדו.

3. תוצאות

3.1 התפתחות הפרי

קצבי הגידול של רוחב הפרי עם הזמן, ב-2008 מוצגים באיור 1. כאמור לעיל, משטר הדילול בכל טיפול היה מספר אשכולות יחסי לתוספת העלים בתום על עונת גידול. קוטר פירות התמר היה דומה ובשלב בו נסתיימה גדילתו של הפרי

הקוטר נע בין 34.8 מ"מ ל- 31.5 מ"מ. ירידה בקוטר הפירות נמדדה עם העלייה במליחות במשך כל תקופת התפתחותו של הפרי. משטר הדילול הניב מימדי פרי דומים בטיפולי המליחות השונים. בנוסף, איכות הפירות הייתה דומה בכל הטיפולים.



איור 1: קצב גידול קוטר הפרי ב-2008, ברמות השונות של מליחות מי ההשקיה (EC), רווחי הסמך מייצגים סטיית תקן.

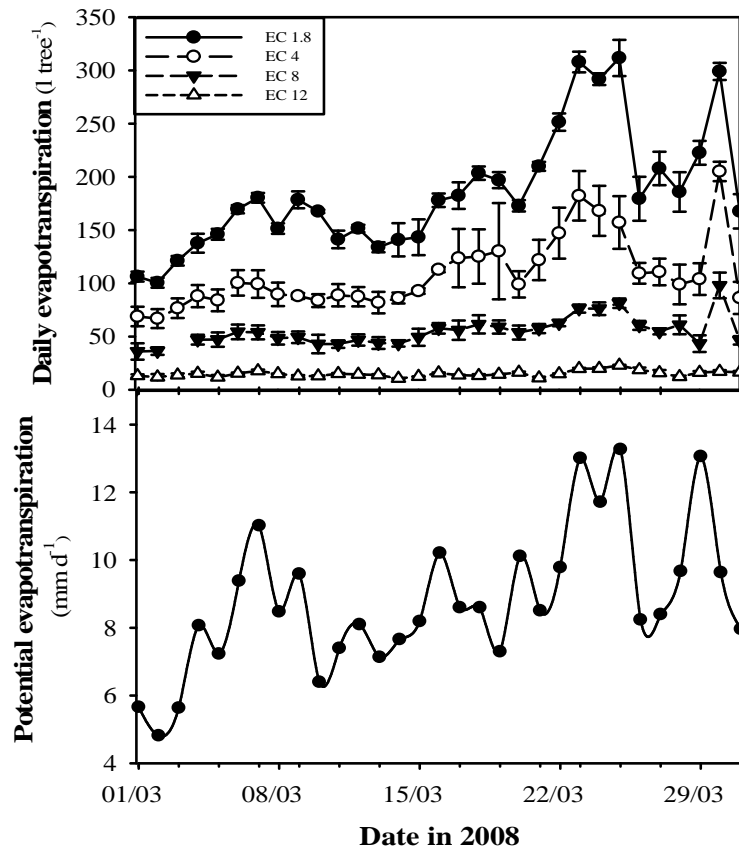
3.2 אוופוטנספירציה ויבול

שיעורי ה-ET היומיים וההתאדות הפוטנציאלית במרץ 2008 מוצגים באיור 2. ה-ET החודשית המצטברת בעצים המושקים ברמת מליחות חשמלית של 4, 8 ו-12 dS m⁻¹ הייתה 0.033, 0.21 ו-0.55 מה-ET בעצים שהושקו במים בעלי המוליכות החשמלית של 1.8 dS m⁻¹. ה-ET היומית בתחילת החודש בעצים שטופלו ברמת מליחות של 1.8 dS m⁻¹ הייתה כ-100 ליטר לעץ. ה-ET עלתה במרוצת החודש ובימים ה-23-25 הגיעה לערכי שיא של כ-300 ליטר לעץ.

דגם ה-ET היומית בכל רמות המליחות של מי ההשקיה דומה לדגם ההתאדות הפוטנציאלית (ETp). הניתוח הסטטיסטי של המתאם הליניארי בין הדיות של עצי התמר לבין ה-ETp מוצג בטבלה 1.

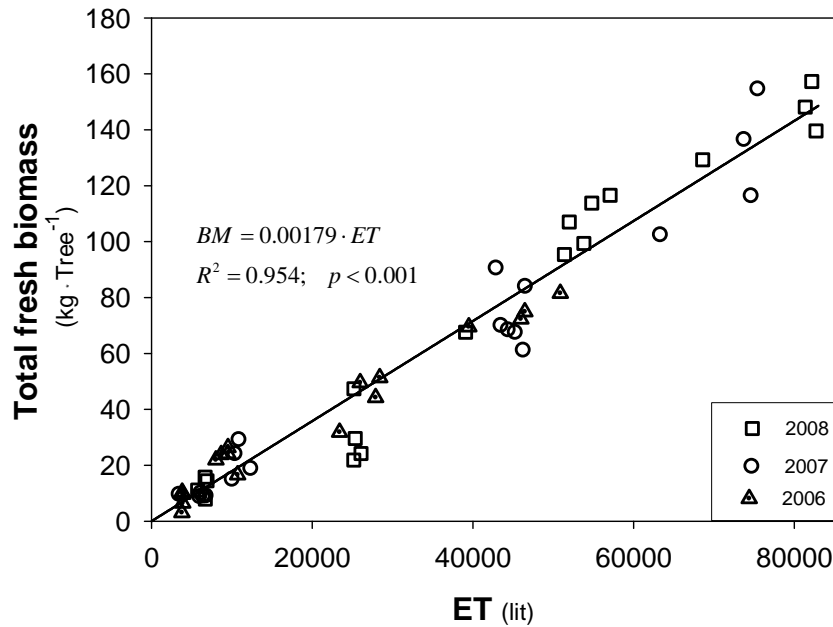
טבלה 1: ניתוח סטטיסטי של המתאם הלינארי בין קליטת המים בעצי התמר לבין ההתאדות הפוטנציאלית

Irrigation water EC (dS m ⁻¹)	Slope (l mm ⁻¹)	Intercept (l)	R ²	P
1.8	21.487	-4.031	0.634	>0.001
4	10.271	18.092	0.418	>0.001
8	3.948	19.957	0.376	>0.001
12	0.927	6.761	0.485	>0.001



איור 2: שיעורי האוּפּוֹטְרַנְסְפִירַצִיָה היומיים ברמות מליחות שונות, במרץ 2008 (למעלה), ושיעור ההתאדות היומית הפוטנציאלית באותו חודש. רווחי הסמך מייצגים סטיית תקן.

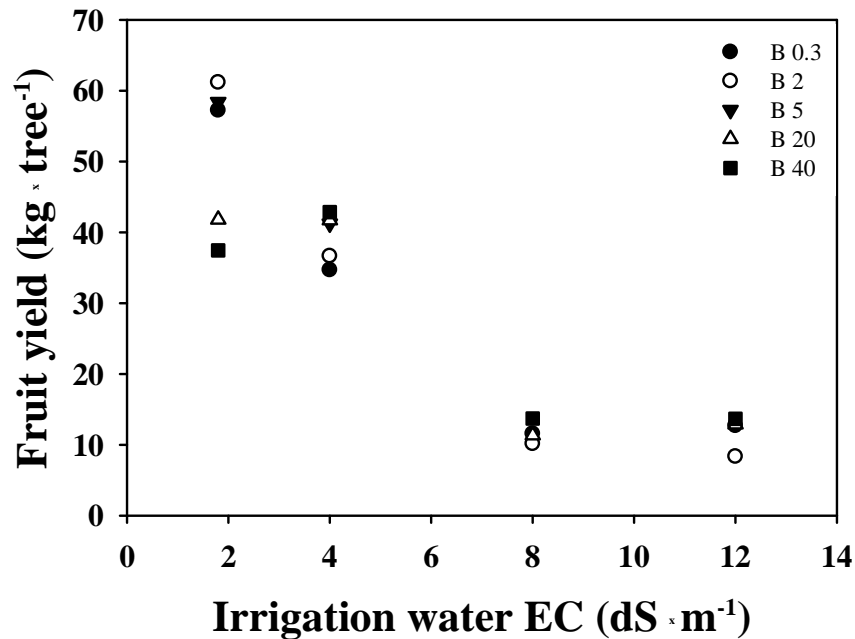
היחס בין ה-ET ובין הביומסה הכוללת (משקל הפירות והעלים שנקטפו) של התמר, בשנים 2006-2008, לינארי (איור 3). משוואת הרגרסיה הלינארית שחושבה בין שני משתנים אלה מורה כי על מנת לייצר 1 ק"ג של ביומסה טריה, רמת ה-ET של העץ צריכה לעמוד על 588 ליטר בשנה. פונקציית ייצור זו נמצאה עבור שלוש שנות המדידה של היבול. מכאן ניתן להסיק שפונקציית ייצור הפרי של עצי התמר המושקים במגוון רחב של מליחיות מים ורמות B, מצויה בשווי משקל. בכדי לאשש ממצאים אלה נדרשות מספר שנים נוספות של מעקב.



איור 3. משקל הביומסה הטרייה (יבול ועלווה) כתלות באופוטורנספירציה בכל שנה.

יבול הפרי של העץ ב-2008 כפונקציה של רמת מליחות מי ההשקיה בהתאם לטיפול ה-B השונים מוצג באיור 4. היבול יורד באופן תלול במעבר מ- $1.8 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ EC ל- $8 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$. מאיור זה עולה כי השקיה במים שמליחותם דומה למליחות המים המסופקים למטעי הערבה הדרומית ($4 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$), גורמת לירידה של 33% ביבול. היבול במליחות $8 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ לא היה שונה מהיבול שהתקבל ברמת המליחות הגבוהה בניסוי ($12 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$). השפעת ה-B מתבטאת בטיפול בו מליחות מי ההשקיה $1.8 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$. בטיפול זה, כאשר ריכוז ה-B במי ההשקיה הוא 40 ppm היבול הינו 33% מהביקורת. ברמות מליחות גבוהות יותר השפעת ה-B על היבול קטנה וממוסכת על ידי השפעת המליחות.

באיור 1 הוצגו מימדי פרי דומים בטיפול מליחות מי השקיה שונים. מכאן ולפי איור 4, קבלת יבול ברמת מליחות $EC_i = 4 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ השווה באיכותו לטיפול המליחות הנמוך ($EC_i = 1.8 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$), תתאפשר בתנאי שרמת היבול תקטן ב-33%.



איור 4. יבול פירות תמרים מזן מג'הול ב-2008, כתלות ברמת המליחות של תמיסת ההשקיה (EC_i) ברמות בורון (B) שונות.

3.3 ריכוזי בורון בעלים

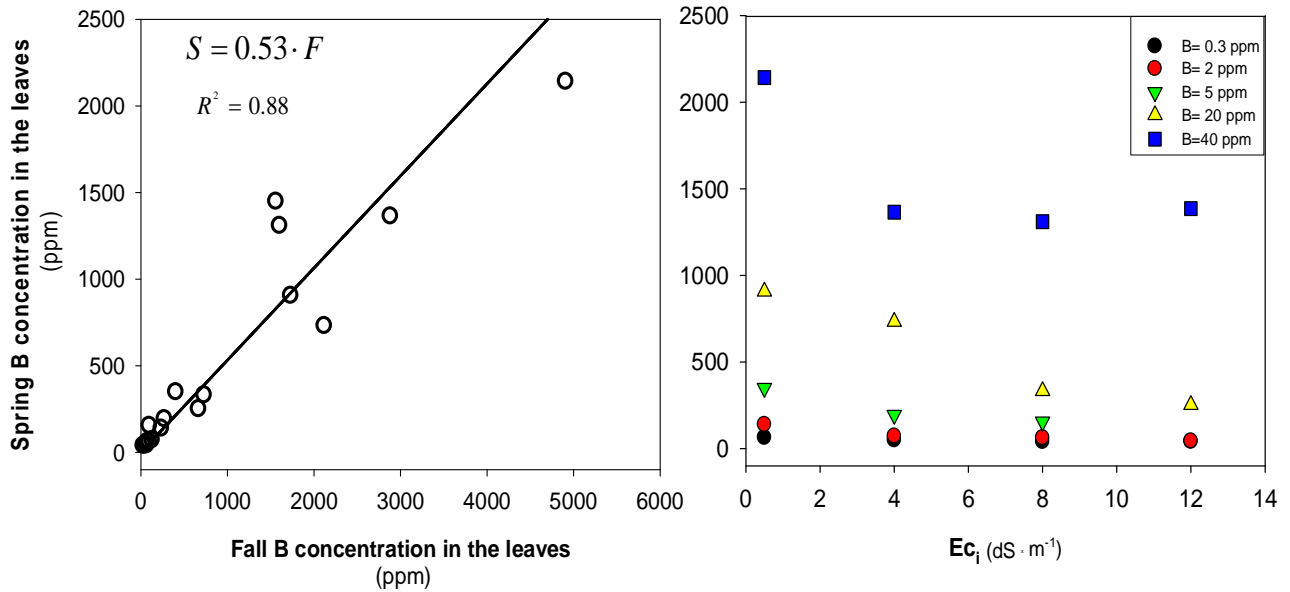
ריכוז ה-B בעלים כפונקציה של מליחות מי ההשקיה, ברמות B שונות מוצג באיור 5 מימין. מאיור זה ניתן ללמוד על כך שתכולת ה-B בעלים עלתה ככל שריכוז ה-B במי ההשקיה גדל. תופעה זו קיימת עבור כל טיפולי המליחות. עבור שלושת טיפולי ה-B הגבוהים (5, 20 ו-40 ppm) תבנית התגובה למליחות הינה דעיכה אספוננציאלית עם העלייה במליחות. כלומר, אפקט המליחות על הצטברות ה-B בעלים קטן עם העלייה במליחות. ירידה חדה בריכוז ה-B בעלים בעת עליית מליחות מי ההשקיה מ-1.8 EC ל-8 EC נראית בטיפולים בהם ריכוז ה-B במי ההשקיה הוא 40 ppm. לא נמדד הבדל בתכולת ה-B בעלים בקרב שני טיפולי המליחות הגבוהים (8 ו-12 $dS \cdot m^{-1}$).

היות שעלייה במליחות מי ההשקיה גרמה לירידה באופטרנספירציה וביבול (איורים 3, ו-4), ניתן להסיק מאיור 5 שהירידה בתכולת ה-B בעלים עם עליית המליחות נובעת מירידה בכמות ה-B הנקלטת על ידי התמר. כלומר כמות ה-B הנקלטת יורדת עקב שיעור אופטרנספירציה נמוך.

באיור 5 (משמאל) מוצגת השוואה בין ריכוז ה-B באביב ובסתיו 2007. בהתאם לשיטות ולחומרים בהן השתמשנו לדיגום העלים ומדידת ריכוז ה-B בהם, העלים מהם נדגמו העלעלים באביב ממרכז הנוף התבגרו וירדו אל תחתית הנוף. בסתיו נדגמו עלעלים מעלים שהיו בצמרת באביב. על-כן, רמות ה-B באביב משקפות את הצטברותו בחודשי

החורף והרמות בסתיו משקפות את הרמות בקיץ. מאיור זה ניתן ללמוד על כך שריכוז ה- B המצטבר בחדשי הקיץ גבוה פי 1.88 מריכוזו בחורף. הסיבה לכך נובעת מרמות ET גבוהות בקיץ ונמוכות בחורף.

לא נמצא מתאם בין ריכוזי היונים העיקריים בקרקע (נתרן, סידן, מגנזיום וכלוריד) ובין שילובי המליחות ורמות ה- B במי ההשקיה.



איור 5. ימין: ריכוז הבורון בעלים כפונקציה של מליחות מי ההשקיה, ברמות בורון שונות. התווים מסמלים ריכוזי בורון שונים במי ההשקיה. שמאל: ריכוז הבורון בעלים באביב ובסתיו 2007. העקום מייצג את המתאם הליניארי שחושב.

מסקנות

התמר (מזן מג'הול) נמצא רגיש למליחות. דגם תגובת היבול והאופוטורנספירציה- ET למליחות מי ההשקיה ולמליחות מי הנקו דומה. ירידה חדה הן ב- ET והן ביבול מתחילה כבר ברמת המליחות הנמוכה. קצב הירידה מתמתן במליחויות גבוהות. משקל הפירות וקוטרן היה דומה בכל הטיפולים הודות למשטר הדילול של הפירות שהיה יחסי לקצב הצימוח. לפיכך, על מנת להגיע ליבול איכותי ברמת מליחות דומה לזו של "מי קו" בערבה הדרומית, נדרש "לשלם" בפחת יבול של 33%.

פונקציית ייצור הביומסה נמצאה דומה עבור 2006-2008. מכאן ניתן להסיק שפונקציית ייצור הפרי של עצי התמר המושקים במגוון רחב של מליחויות מים ושל רמות B , מצויה בשווי משקל. על-מנת לאשש ממצאים אלה נדרשות שנים נוספות של מחקר. לא נמצא שהתמר רגיש ל- B מבחינת קצבי גידול ו- ET . ברמת המליחות הנמוכה של

מי ההשקיה נמדדה השפעה שלילית של ה- B , המתבטאת בריכוזי B גבוהים ולא שכיחים בממשק גידול חקלאי. ה- B מתרכז בעלים בהתאם לרמת ה- ET של העלה הבוודד של התמר.

ברמות מליחות מי השקיה גבוהות ($EC_i = 8, 12 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$) לא נמדדו בעלי התמר רמות B שונות בין טיפוליו השונים. הריכוזים הנמוכים של נתרן, סידן וכלוריד בעלים, לא היו במתאם כלשהו עם הטיפולים השונים של המליחות וה- B . נראה שהתמר אינו קולט יונים אלה ביחס לריכוזיהם בקרקע, אלא שומר על ריכוז קבוע של כל אחד מהם בעלים. סביר להניח שסלקטיביות זו מהווה חלק ממנגנון העמידות של התמר לרעילות ספציפית של יונים אלה בעקת מלח. מחקר זה מתנהל משנת 2000 ועד היום. העצים הגדלים בליזימטרים טרם הגיעו לניבה מלאה וצריכת המים שלהם עולה בהתמדה.