



השפעת מליחות על צימוח עצי אבוקדו

נרית ברנשטיין, אברהם מאירי / המכון למדעי הקרקע,
המים והסביבה, מרכז וולקני
מרים זילברשטיין / שה"מ, משרד החקלאות (מיל.),
היום 'ביו בי' שדה אליהו

- מפרסומי מינהל המחקר החקלאי מס' 605/08
- המאמר עבר ביקורת מדעית



תמונת ארכיון

ובאוסטרליה (Downton, 1978). הנזק מתבטא בצריבות עלים ובירידה
ביבול (שטיינהרדט וחוב', 1995), גם בעצים המורכבים על כנות
עמידות (בן יעקב, 1988).

עץ האבוקדו רגיש מאוד למליחות כוללת ולהשפעה ספציפית של
נתרן וכלור (בן יעקב, 1988, שטיינהרדט וחוב', 1995), כאשר סימני
הנזק לצמח של שני היסודות שונים: ריכוזי כלוריד עודפים מתבטאים
בעלים כצריבות המתחילות בקצה העלה וגורמות לנשירת עלים
מוקדמת (Ayers et al., 1951; Kadman, 1963), בעוד שריכוזי נתרן
עודפים גורמים לכתמים נקרוטיים בין העורקים (Hass, 1950).
ריכוזי ניטרט גבוהים בתמיסת הקרקע מעכבים קליטת כלוריד
והופעת נזקי עלווה בעץ האבוקדו (Xu et al., 2000; Bar et al., 1997),
ויתכן שזקי עלים גורמים להפחתת פוטנציאל ההנבה של העץ
עקב צמצום שטח העלים המטמיע (Ayers et al., 1951; Bingham et
al., 1968). בארץ נמצא, כי מליחות גורמת לפחיתה של 10-30%
ביבולים (שטיינהרדט וחוב', 1995; בן יעקב, 1988). הנזק לצמח
מתבטא גם בירידה בקוטר הגזע, גובה העץ וצימוח עלווה
(Bernstein et al., 2001; Haas, 1950; Bingham and Fenn, 1966)

כ גישותו הגבוהה של עץ האבוקדו למליחות, כמו
גם המבנה המיוחד של מערכת שורשיו, שעלול
לגרום לקשיים בקליטת מים וחומרי הזנה, דורשים
בירור הקשר בין מליחות, צימוח ופעילות השורש וכן הקשר
בין צימוח ופעילות הנוף. עבודה זו באה לבחון את תגובת
הצימוח של עץ האבוקדו למליחות בטווח המאפיין קולחים,
וכן לבחון את ההנחה לפיה צימוח השורש רגיש יותר
למליחות מצימוח הנוף.

מבוא

עץ האבוקדו ידוע כבעל רגישות גבוהה למליחות (Ayers et al.,
1951; Bernstein, 1965; Bingham and Fenn, 1966; Branson and
Gustafson, 1972; Haas, 1929). נזקי מליחות באבוקדו דווחו בישראל
(Steinhardt et al., 1988; Ben-Yaacov, 1972; Bar et al., 1997), בטקסס
(Haas, 1929), בקליפורניה (Branson and Gustafson, 1972)

המזון הוחלפה פעמיים בשבוע במהלך כל תקופת הניסוי. ■ **טיפול ההמלחה:** 30 יום לאחר העתקת השתילים לתמיסת המזון, כשבועיים לאחר שהחלה צמיחת שורשונים חדשים, החלו טיפולי ההמלחה. נערכו שני ניסויים:

1. בניסוי ראשון חולקו הצמחים לשני טיפולים - ביקורת ומלח. רמת המלח בטיפול הביקורת הייתה 1 מילימולר NaCl. רמת המלח בטיפול המליחות הועלתה בשלוש מדרגות - ל-5, 15 ו-25 מילימולר NaCl, במרווחים של שישה שבועות. שבוע לאחר כל העלאה במליחות התבצע מעקב אחר צימוח נוף ושורש בשני הטיפולים, כך שניתן היה להשוות בין טיפולי הביקורת והמלח בשלושת מועדי הבדיקה. מבנה הניסוי איפשר לבדוק את השפעת שלוש רמות המלח על אותה אוכלוסיית שתילים, ושימש לצורך זיהוי רמת המליחות המתאימה למחקרי המשך בכנה הנבחנת. ההשוואה לביקורת בכל רמת המלחה שימשה לבידוד השפעת גיל השתיל. 2. בניסוי השני חולקו הצמחים לשלושה טיפולים, שמונה צמחים לטיפול, בהם נחשפו לרמות מליחות שונות: 1 (ביקורת), 15 ו-25 מילימולר NaCl. בכל טיפול הועלתה רמת המלח לריכוז הסופי במדרגות של 5 מילימולר, במרווחי זמן של 24 שעות. בהתאמה, רמת המלח הסופית בטיפולים 15 ו-25 מילימולר הושגה לאחר שלושה וחמישה ימים. שבוע לאחר שהושגה רמת המלח בטיפול המלוח ביותר הוחל במעקב אחר צימוח שורש נוף.

■ **אנליזת צימוח שורש:** בניסוי הראשון, מדידות אורך שורשים תקופתיות שימשו לחישובי קצב התארכות השורש. בכל שתיל סומנו 20 שורשונים לצורך מעקב אחר קצב התארכותם. כל שורשון על הצמח סומן בחוט בעל צבע שונה, שנקשר באופן רופף לאזור המבוגר ביותר שלו, קרוב למקום פריצתו. נבחרו שורשים שבזמן הסימון (שבוע לאחר תחילת טיפול ההמלחה המסוים) היו באורך 30-45 מ"מ. אורך השורשון נמדד מקצהו אל מקום פריצתו מהשורש מסדר נמוך יותר (מבוגר יותר). אורך השורש נמדד חמש פעמים בהפרשי זמן של 24, 36 או 48 שעות. בשלושת הטיפולים קצב התארכות השורשונים היה יציב ובקירוב למשך זמן המעקב. לכן, גרסיה ליניארית של אורך השורש כפונקציית זמן המדידה שימשה לחישוב קצב התארכות השורש.

בניסוי השני נבחנה השפעת הטיפולים על צימוח כלל מערכת השורש. נפח מערכת השורשים נמדד בבדיקה לא הרסנית בשני מועדים שונים, שבוע וחמישה שבועות לאחר שהמלח הועלה לרמה הסופית. השורש הוטבל במיכל תמיסת מזון, אליו הוצמד מיקרומטר המשמש לבדיקת שינוי גובה הנוזל במיכלים. נפח השורש חושב ממדידת שינוי גובה הנוזל במיכל. התוצאות מוצגות כקצב גדילה נפחית, בסמ"ק לחודש (איור 4).

■ **אנליזת צימוח עלווה:** בניסוי הראשון נבחנה השפעת החשיפה למליחות על צבירת ביומסת עלווה בצמחים. שבוע לאחר תחילת טיפולי המליחות סומן על כל צמח העלה הצעיר ביותר שהגיע לאורך 1.5 ס"מ. עם סיום הניסוי, 17 שבועות מאוחר יותר, נמדד בבדיקות הרסניות משקל כל העלים על הצמח שצמחו במהלך הניסוי. בבדיקה נשקלו העלה המסומן וכל העלים הצעירים ממנו. בניסוי השני נבחנה השפעת המליחות על קצב הופעת עלים חדשים

כלורידים ונתרן, כך נראה, אינם מהווים גורם עיקרי בעיכוב צימוח עלוות האבוקדו במליחות, שכן ריכוזם בעלים צעירים צומחים הוא נמוך (Bernstein et al., 1995). במאמצי בירור נרחבים, שנמשכו על פני 40 השנים האחרונות, סומנו עצים נבחרים המצטיינים במיעוט נזקי מלח בעלים ובנוף (Ben-Yaacov and Michelson, 1995; Ben-Yaacov et al., 1979) יבולם נפגע בכל זאת כתוצאה מחשיפה למלח, ותופעה זו מצביעה על כך, כי נזקי ההנבה מקורם בהשפעת העקה על השורש. מעט מאוד ידוע על השפעת המליחות על שורשי האבוקדו. סיכומים של מחקרי שדה רומזים לכך, כי יתכן שהנזק לעצים המורכבים על כנות עמידות למליחות קשור בפגיעה בשורשים. רק עבודות ספורות בחנו את השפעת העקה ישירות על השורש, ואלו מצביעות על השפעתה על עיכוב צמיחת שורשים (Hass, 1950; Bingham and Fenn, 1997; Bar et al., 1996).

שורשי האבוקדו מאופיינים במבנה מורפולוגי ייחודי: הם מחוסרי יונקות, בעלי דרגת הסתעפות נמוכה במיוחד והמסה העיקרית שלהם מצויה בשכבת הקרקע העליונה (Borys et al., 1985). לתכונות אלו משמעות פוטנציאלית שלילית לגבי קליטת מים וחומרי הזנה, שכן שטח השורש הפעיל בקליטה מצומצם ומערכת השורשים חשופה לתנודות של תנאי סביבה. מכיוון שחוסר יונקות משמעו קליטה רק בקצות השורש הצעיר, הגדל, הרי שפגיעה בגדילת השורשים ובהתחדשותם עלולה לגרום לפגיעה ניכרת ביכולת הקליטה של כל המערכת. מכיוון שרקמת קצה השורש הפעילה בגדילה ובקליטה אחראית לביסוסיתתה של הורמוני גדול והסעתם לנוף, עיכוב גדול של השורש עלול להפחית, בנוסף לאספקת מים ומינרלים, גם אספקת חומרים מווסתי צמיחה לנוף, גורם שעלול להשפיע על צימוח והנבה.

מרבית שטחי האבוקדו בארץ חשופים לרמות מלח גבוהות. רמות הכלורידים במים השפירים בחלק ניכר מאזורי הגידול גבוהות מהאופטימלי לאבוקדו. דרישתם היציבה של מטעי האבוקדו להשקיה במהלך עונה ארוכה מייעדת אותם להיות צרכני מים מושבים, שריכוזי המלחים בהם גבוהים עוד יותר. לדוגמה, חלק מהקולחים המטופלים הזמינים להשקיה באזור עמק חפר מכילים כ-200 מ"ג כלור ומליחותם עולה מדי שנה. המים השפירים באזור זה מכילים 200-250 מ"ג כלור וגם מליחותם נמצאת במגמת עלייה, כך שמטעי האבוקדו באזור המושקים במים שפירים, כמו גם מליחים, מתמודדים עם רמות מלחים גבוהות מהאופטימלי. המים השפירים בגליל המערבי מכילים כ-100 מ"ג כלור, בעוד שהקולחים המטופלים באזור זה מכילים 180-200 מ"ג כלור - רמות מלח הגבוהות אף הן מהאופטימלי לאבוקדו.

רגישותו הגבוהה של האבוקדו למליחות, וכן המבנה המיוחד של שורשיו, שעלול לגרום לקשיים בקליטת מים וחומרי הזנה, דורשים בירור הקשר בין מליחות, צימוח ופעילות השורש, וכן הקשר בין צימוח ופעילות הנוף. מטרת עבודה זו הייתה לבחון את תגובת הצימוח של האבוקדו למליחות בטווח המאפיין קולחים, ולבחון את ההנחה לפיה צימוח השורש רגיש יותר למליחות מצימוח הנוף.

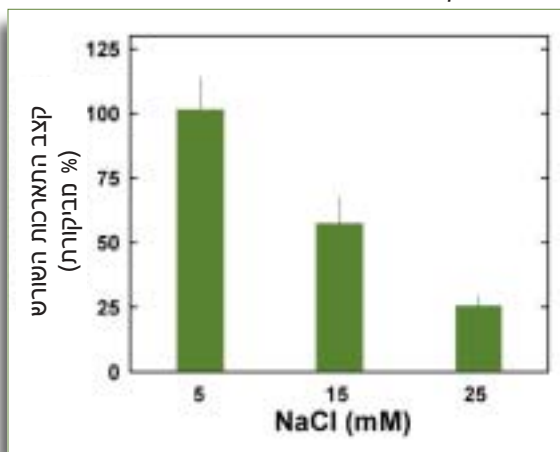
חומרים ושיטות

■ **חומר צמחי ותנאי גידול:** הכנה המערב-הודית 'דגניה 117', הידועה בעמידותה היחסית למלח (בן יעקוב וחוב, 1995; בן יעקב, מידע אישי), נבחרה לשמש בפרויקט. זריעים שהונבטו במשתלה מסחרית גודלו בעציצים בבית רשת במשך ארבעה חודשים. בתחילת האביב הועברו הצמחים לתא צמיחה, לטמפרטורות של 25 מ"צ ביום ו-21 מ"צ בלילה, ולרמת תאורה של 400 μE בפוטופריודה של 13 שעות. לאחר תקופת הסתגלות של עשרה ימים הועתקו שתילים יחידים למיכלים בנפח של 10 ליטר עם תמיסת מזון מאווררת (תמיסת הגולנד בריכוז 25% עם שינויים (על פי Bernstein et al., 1995). pH תמיסת המזון אוזן ל-5.7 על ידי תוספת K₂O. תמיסת

הנוף. תגובת התארכות השורשים לחשיפה ל-15 ו-25 מילימולר NaCl בניסוי זה (לא מוצג) הייתה דומה לתגובתם בניסוי הראשון (איור 1).

על מנת לבחון אם ההשפעה החריפה של עקת מלח על צימוח השורש באה לביטוי במערכת השורשים כולה, נבחנה השפעת מליחות על גדילה נפחית של כלל מערכת השורש (נפח מערכת השורשים). נמצא, כי רמות מליחות שעיכו צבירה של ביומסת נוף רק ב-10% (15 מילימולר NaCl) ו-19% (25 מילימולר NaCl) (איור 3) עיכבו צימוח של ביומסת מערכת השורשים (נפח מערכת השורשים) בעוצמה רבה הרבה יותר. בדומה לעיכוב התארכות השורש הבודד, קצב צימוח מערכת השורשים כולה עוכב ב-33% בהשפעת 15 מילימולר NaCl, ו-65% בהשפעת 25 מילימולר NaCl (איור 4).

איור 1: השפעת מליחות על קצב התארכות שורש באבוקדו. צימוח שורשים החשופים ל-5, 15 ו-25 מילימולר NaCl, בהשוואה לצמחי הביקורת



- התוצאות מוצגות כאחוז מביקורת, ממוצע ושיגת תקן לשמונה צמחים לטיפול, 20 שורשים לצמח. המלח הועלה מ-5 ל-15 ול-25 מילימולר NaCl במרווחי זמן של שישה שבועות. בכל מדרגת זמן (רמת המלחה) נבחן הצימוח יחסית לצימוח צמחי הביקורת החשופים ל-1 מילימולר NaCl.

דין

תוצאות הניסויים, המדגימות כי שורש האבוקדו רגיש למליחות הרבה יותר מאשר צימוח נוף, מציגות את האבוקדו כצמח ייחודי. תוצאות אלו נוגדות את הידע הקיים כיום בספרות לגבי מגוון רב של צמחים, המדגים רגישות רבה יותר של צימוח הנוף לעקה בהשוואה לצימוח השורש. ייחודיותו של שורש האבוקדו - היותו חסר יונקות לחלוטין, בעל מערכת שורשים רזודה ובעלת דרגת סיעוף נמוכה, יתכן וגורמת לרגישותו הרבה לתנאי סביבה ולמליחות. כנות ידועות כבעלות חשיבות בעמידות עצי פרי לעקת מלח. מחקרים קודמים בעצי אבוקדו מורכבים הדגימו את השפעת הכנה על עמידותו של העץ המורכב למליחות (Haas, 1950; Kadman, 1970) על עמידותו של העץ המורכב למליחות (Embeltion et al., 1962; Ben-Ya'akov, 1970). צבירת ביומסה בנוף

ועל אורכם. שבוע לאחר שהמלח הועלה לרמה הסופית סומן בחוט צבעוני העלה הצעיר ביותר על הצמח שהגיע לאורך 1.5 ס"מ. מדי שבוע נבדקה העלווה ונקבע מספר העלים הנוספים שהגיעו אף הם לאורך 1.5 ס"מ. חושב קצב הופעת עלים שהגיעו לאורך הייחוס של 1.5 ס"מ, ונסכם כמספר העלים המצטבר שנוצרו במהלך הבדיקה. במקביל, בבדיקות לא הרסניות נערך מעקב אחר התארכות העלים. שבוע לאחר שהמלח הועלה לרמה הסופית סומנו על כל שתיל שני העלים הצעירים ביותר שהגיעו לאורך הרפרנס של 1.5 ס"מ. אורך העלים המסומנים נמדד מדי מספר ימים עד לסיום התפתחותם. באיור 2 מוצג אורך העלה הסופי בכל טיפול. עם סיום הניסוי נמדד בבדיקה הרסנית סך כל משקל העלים שהופיעו על כל צמח בעת החשיפה למליחות. בבדיקה נשקלו העלה המסומן וכל העלים הצעירים ממנו. התוצאות מוצגות כקצב צבירת ביומסה טרייה של עלים ביחידות של ג' ל-60 יום (איור 3).

תוצאות

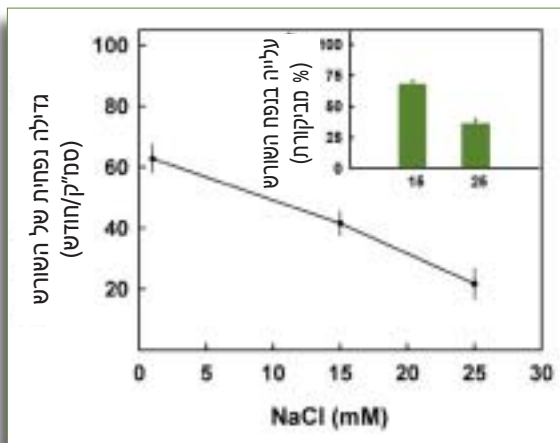
צימוח השורש בכנה 'דגניה 117' (שבוררה לעמידות למלח) רגיש מאוד למליחות. קצב התארכות השורש בטיפול ההמלחה הנמוך (5 מילימולר NaCl) לא היה שונה מהביקורת, ועמד על 1 מ"מ/יום. בטיפול המלח הבינוני (15 מילימולר NaCl) הוא עוכב ב-42% - מ-41.8 ל-1.06 מ"מ/יום. בטיפול המלח הגבוה (25 מילימולר NaCl) קצב התארכות השורש עוכב במידה ניכרת, 73% בהשוואה לביקורת, ופחת מ-2.6 ל-0.7 מ"מ ליום (איור 1).

רמות המליחות שנבחנו בניסוי גרמו לעיכוב קל בלבד בצימוח הנוף. סך הכל ביומסת העלווה שנוצרה במשך 17 שבועות פחתה רק ב-15% ± 0.7 באמצעות חשיפה למליחות. בהשוואה להשפעת עקת המלח על יצירת ביומסת העלווה, השפעת העקה על צימוח השורש דרמטית בעוצמתה.

בטיפול הביקורת ניכרה עלייה כמעט ליניארית בקצב התארכות השורשים בין שלוש המדידות שבוצעו במרווחי זמן של שישה שבועות - מ-1 ל-1.84 ול-2.6 מ"מ/יום. קצב התארכות השורשים במלח, לעומת זאת, לא עלה עם הזמן ואף ירד ב-34% - מ-1.06 ל-0.7 מ"מ/יום בין המדידה השנייה והשלישית (בין טיפולי המלח של 15 ו-25 מילימולר NaCl). כתוצאה מכך, נורמליזציה של תוצאות קצב התארכות השורש במלח לאחוז מביקורת מראה ירידה כמעט ליניארית עם העלייה בגיל הצמח וברמת המלח (איור 1).

על מנת לבחון אם יחסי גומלין בין רמת המליחות ובין משך החשיפה למליחות השפיעו על תגובת הצמח לעקה, נבחנה בניסוי השני השפעת שלוש רמות מליחות על צימוח נוף ושורש בפרקי זמן אחידים של חשיפה לעקה. גם בניסוי זה נמצא כי המליחות גרמה אך לעיכוב קל בצימוח נוף בכנה 'דגניה 117'. קצב הופעת העלים בצמחים החשופים ל-15 מילימולר NaCl לא היה שונה מקצב הופעת עלים בצמחי הביקורת, ומספר העלים החדש שנוצר בתקופת הבדיקה היה דומה בשני הטיפולים (איור 2A בעמוד הבא). חשיפה ל-25 מילימולר NaCl עיכבה מעט את קצב הופעת העלים. במשך 54 ימי המלחה מספר העלים שצמחו על הצמחים החשופים ל-25 מילימולר NaCl היה נמוך ב-12% ממספר העלים שהופיעו בצמחי הביקורת (איור 2A). גם אורך העלה הושפע מהחשיפה למליחות. בטיפול המליחות הגבוה אורך העלה הבוגר היה קצר ב-16.5% בהשוואה לעלים בוגרים בצמחי הביקורת (173 מ"מ במליחות לעומת 207 מ"מ בביקורת) (איור 2B). התקצרות אורך העלה הבוגר, שמשמעותה הקטנת שטחו ועיכוב קצב הופעת העלים על הצמח, גורמת לפחיתה בשטח העלים המטמיע בנוף, ומכאן גם להקטנת פוטנציאל ההנבה. סך הכל ביומסת העלווה שנוצרה במשך 60 יום פחתה ב-10% באמצעות חשיפה ל-15 מילימולר NaCl, וב-19.5% באמצעות חשיפה ל-25 מילימולר NaCl (איור 3 בעמוד הבא). גם בניסוי השני נמצא כי צימוח השורש רגיש הרבה יותר למליחות מאשר צימוח

איור 4: השפעת המליחות על צימוח נפחי של מערכת השורשים באבוקדו. מוצג ביחידות של סמ"ק לחודש (איור ראשי), או אחוזים מהביקורת (גרף קטן, חושב מנתוני הגרף הראשי). תוצאות בדיקות לא הרסניות של נפח מערכת השורשים בתחילת השבוע השני והשישי להמלחה



- התוצאות הן ממוצע וסטיית תקן של שמונה צמחים לטיפול

צימוח השורש החריג על תפקוד מערכת השורשים הקיימת ועל תפקוד הצמח כולו. אם יתברר כי ליעיב הרב של צימוח השורש השפעה ישירה על מנגנוני הנזק הפעילים בחשיפה למלח, הרי שבוודאי יהיה צורך לשנות כיווני חשיבה קיימים בהקשר לבחינת עמידות של כנות אבוקדו, המדגישים כיום בעיקר פרמטרים הקשורים בנצ. בנוסף יהיה צורך להתאים ממשק השקיה אופטימלי לעידוד צימוח שורשים בתנאי מליחות. מתבקשים שלושה סוגי ניסויים:

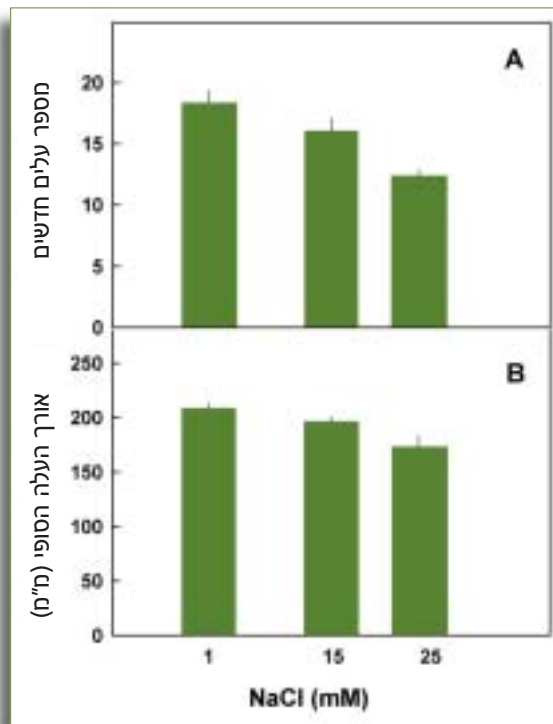
1. בחינת רגישות צימוח שורשים לתנאי מליחות קרקע בעצים מורכבים בשדה;
2. בחינת הקשר בין עיבוב צימוח שורש בצמח המורכב לבין הנבה;
3. בחינת קורלציות בין רגישות צימוח שורש למליחות, ומידת עמידות הצימוח של הנוף.

תודה

תודה למשתלת 'דבורי אור' מכפר חיים על תרומת השתילים ששימשו בניסויים.

רשימת ספרות

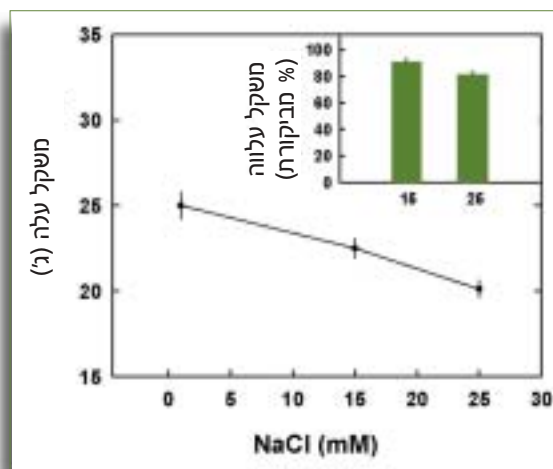
1. בן יעקב א. (1988): פיתוח כנות אבוקדו עמידות למליחות. דו"ח תקופתי לשנים 1986-1988, המכון למטעים, מינהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני.
 2. בן יעקב א., מיכלזון א., סלע י. (1995): 'עלון הנוטע' מ"ט (10), עמ' 422-431.
 3. שטיינהרדט ר., קלמר ד., להב ע., שלהבת י. (1995): 'עלון הנוטע' מ"ט, עמ' 326-338.
- (את רשימת הספרות באנגלית ניתן לקבל אצל המחברים).



איור 2: השפעת מליחות על צימוח עלווה. התוצאות מציגות את מספר העלים החדשים שהתפתחו לצמח (A) ואת אורך העלה הסופי (B) בניסוי השני

- התוצאות הן ממוצע וסטיית תקן של שמונה צמחים לטיפול

איור 3: השפעת מליחות על צבירת ביומסה עלווה. הגרף הקטן מציג צבירת ביומסה בטיפולי המלח כאחוזים מהביקורת. קצב צבירת ביומסה מוצג כגרם משקל טרי של עלווה שצמחה בזמן החשיפה לטיפול המתאים (60 יום) והוא מתאר על כן קצב צימוח ביחידות של ג'/60 יום



- התוצאות הן ממוצע וסטיית תקן של שמונה צמחים לטיפול

(ברוכב) פוחתת עם העלייה במליחות (Oster and Arpaia, 1992) והבדלים בין כנות משפיעים על מידת עיבוב הצימוח במליחות. הרגישות הרבה של צימוח השורש לעקת מלח רומזת על כך כי מידת העמידות המושרית על ידי הכנות הספציפיות בעץ המורכב עשויה להיות קשורה במידת רגישות צימוח הכנה עצמה למליחות (דהיינו, ברגישות צימוח השורש לעקה). אנו מציעים לבחון את משמעות עיבוב