השפעת משטר ההזנה על התפתחות צמח פרח האורז
(*Ozothamnus diosmifolius*)

חוקרים שותפים:

אבנר זילבר, אירית לבקוביץ ושושנה סוריאנו - המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה. מנהל המחקר החקלאי.

עירית דורי, ליאנה בן יונס , דויד שמואל ואלי מתן – מו"פ דרום.

משה ברונר ואיתן שלמה – שה"מ, משרד החקלאות.

תקציר:

המטרה הכללית של מחקר זה הייתה לגבש ממשק דישון והשקיה שיביא ליבול ואיכות מיטביים של צמח פרח האורז. הנחת המחקר הבסיסית הייתה כי pH גבוה בבית השורשים גורם לזמינות נמוכה של יסודות הזנה חיוניים ומביא בעקבות זאת לעקות גידול. בשנה הראשונה התמקד המחקר בבחינת ההשפעה של ריכוז החנקן במים והיחס בין אמון לחנקה על: (i) היבול הגולמי ואיכות הענפים הפורחים; (ii) ייצור חומר יבש והתפלגותו בין איברי הצמח השונים; (iii) קליטת יסודות מזון ומים על ידי הצמח; ו – (iv) ה - pH והרכב יסודות המזון בבית השורשים. ממצאי המחקר בשנה הראשונה הצביעו כי עיקר ההשפעה של הטיפולים הייתה עקיפה: על ה - pH בבית השורשים ובעקבות זאת על זמינות יסודות מזון בתמיסת המצע. נמצאה תלות מובהקת בין כמות האמון המוספת למי ההשקיה לבין ה- pH בתמיסה, בין ה - pH לבין ריכוז האבץ בתמיסה, בין ה - pH לבין ריכוז האבץ בעלים, ובין ריכוז האבץ בחלק העליון של הענפים לבין היבול. ה - pH בתשטיפים מכלים עם צמחים שהושקו בריכוז חנקן נמוך או ביחס אמון:חנקה גבוה היה במהלך כל הניסוי מעל ל - 7.8. עלייה בכמות האמון במים כתוצאה מעלייה בריכוז החנקן או כתוצאה מעלייה ביחס אמון:חנקה הביאה לירידה משמעותית ב - pH (4.1-5). נמצא כי pH גבוה הביא לעיכוב גדול בהתפתחות הצמחים לקמילה והתייבשות של קצוות הענפים שהחריפו עם הזמן. בשנה השנייה למחקר נבחנה האפשרות לשפר את היבול של צמחים הגדלים ב - pH לא אופטימלי באמצעות ריסוסי עלווה באבץ. נמצא כי קצב הגידול והיבול של צמחים שגדלו ב - pH גבוה (מעל ל - 7.8) וללא ריסוס באבץ היה נמוך באופן משמעותי בהשוואה לצמחים שגדלו ב - pH נמוך מ - 7.5 (בדומה לתוצאות שהתקבלו בשנה הראשונה), וכי ריסוסי עלווה באבץ הביאו לשיפור משמעותי בגידול. היבול של צמחים שגדלו ב - pH גבוה ורוססו באבץ לא נבדל מהיבול של צמחים שגדלו ב - pH נמוך. ניתוח אורתוגונאלי בשיטת רגרסיה בשלבים הראה כי ריכוז האבץ בצמח היה הגורם העיקרי שהשפיע על היבול.

בשנה השלישית והאחרונה נבחנה ההשפעה של שלושה גורמים: (א) ה - pH בבית השורשים (השקיה בתמיסות הנבדלות ביחס אמון:חנקה); (ב) ריכוז האבץ במי ההשקיה; ו - (ג) עצמת האור (הצללה ברשת צל 30% במהלך הקיץ). הוספה של גורם נוסף (עצמת אור באמצעות הצללה) נבעה ממסקנות של מחקרים שהצביעו על קשר בין עצמת האור וריכוז האבץ בעלים לבין ריכוז הכלורופיל בעלים והופעה של כלורוזה. בניסוי נמצא כי עלייה של ריכוז האבץ במי ההשקיה לא הביאה תועלת בגלל שריכוז האבץ בבית השורשים נשלט על ידי תהליכי שקיעה של תרכובות קשות תמס. הצללה הביאה לעלייה מובהקת בריכוז הכלורופיל בעלים ושיפרה את היבול.

מבוא:

פרח האורז (*Ozothamnus diosmifolius*) הוא שיח מעוצה ממשפחת המורכבים (ASTERACEAE), אנדמי לאזור New South Wales and Queesland באוסטרליה. עד סוף שנות השמונים נקטפו פרחים רק משיחים שגדלו בבר ושווקו בהיקף מצומצם בשווקים המקומיים באוסטרליה. בעשור האחרון, בעקבות התקדמות תהליך של טיפוח ותרבות זני בר החל גידול מסחרי של צמח פרח האורז באוסטרליה, וכתוצאה מכך הייצוא האוסטרלי לשוקי העולם ובעיקר ליפן עלה והגיע באמצע שנות התשעים לחצי מיליון ענפים פורחים (Turnbull and Beal, 1998; Turnbull et al., 1996). כחלק ממאמץ מתמיד של מועצת הפרחים להגדיל את סל הייצוא הישראלי הובא צמח פרח האורז לישראל בשנת 1997 לבחינת התאמתו לגידול באזורים שונים. הצמח הוא רב שנתי, גדל בשטח פתוח, הפרח בעל חיי מדף ארוכים ומשמש בסידורי פרחים, בעיקר כפרח מילוי (filler). תנאי האקלים בישראל מתאימים לגידול פרח האורז ולכן קברניטי ענף הפרחים קיוו כי ניתן יהיה לשחזר את ההצלחה של פרח השעווה שגם הוא גדל בר באוסטרליה, אוקלם בישראל והפך להיות אחד מגידולי הפרחים החשובים מבחינת הפדיון ושטח הגידול.

על מנת להגיע ליבול ואיכות אופטימליים של פרח האורז יש להגדיר את תצרוכת המים ויסודות המזון של הצמח ואת התנאים המיטביים בבית השורשים שיאפשרו קליטת מים ויסודות מזון בקצב הנדרש בשלבי הגידול השונים. אולם עד כה, מידע זה אינו בנמצא, אפילו באוסטרליה, בה החל התרבות של צמח זה (Turnbull et al., 1996). הקרקעות באזורי הגידול הטבעיים של פרח האורז הן חוליות ובעלות pH חומצי ואילו בישראל רוב הקרקעות הן בסיסיות ולכן, ניתן לצפות כי צמחים אלו יסבלו מעקות גידול הנובעות מ - pH גבוה ומזמינות נמוכה של יסודות הזנה חיוניים לצמח.

המטרה הכללית של מחקר זה הייתה לגבש ממשק דישון והשקיה שיביא ליבול ואיכות מיטביים של צמח פרח האורז. הנחת המחקר הבסיסית הייתה כי pH גבוה בבית השורשים גורם לזמינות נמוכה של יסודות הזנה חיוניים וכתוצאה מכך מביא לעקות גידול. בשנה הראשונה התמקד המחקר בבחינת ההשפעה של ריכוז החנקן במים והיחס בין אמון לחנקה על: (i) היבול הגולמי ואיכות הענפים הפורחים; (ii) ייצור חומר יבש והתפלגותו בין איברי הצמח השונים; (iii) קליטת יסודות מזון ומים על ידי הצמח; ו - (iv) ה - pH והרכב יסודות המזון בבית השורשים. ריכוז החנקן הכללי והיחס בין אמון לחנקה במי ההשקיה עשויים אמנם להשפיע בצורה ישירה על גידול הצמחים אבל ממצאי המחקר בשנה הראשונה הצביעו כי עיקר ההשפעה של הטיפולים הייתה עקיפה: על ה - pH בבית השורשים ובעקבות זאת על זמינות יסודות מזון בתמיסת המצע. נמצאה תלות מובהקת בין כמות האמון המוספת למי ההשקיה לבין ה- pH בתמיסה, בין ה - pH לבין ריכוז האבץ בתמיסה, בין ה - pH לבין ריכוז האבץ בעלים, ובין ריכוז האבץ בחלק העליון של הענפים לבין היבול. ה - pH בתשטיפים מכלים עם צמחים שהושקו בריכוז חנקן נמוך או ביחס

אמון :חנקה גבוה היה במהלך כל הניסוי מעל ל - 7.8. עלייה בכמות האמון במים כתוצאה מעלייה בריכוז החנקן או כתוצאה מעלייה ביחס אמון :חנקה הביאה לירידה משמעותית ב - pH (4.1-5). נמצא כי pH גבוה הביא לעיכוב גדול בהתפתחות הצמחים לקמילה והתייבשות של קצוות הענפים שהחריפו עם הזמן.לעומת זאת, העלים התחתונים של צמחים שגדלו ב - pH נמוך השחירו ולאחר זמן נשרו.

ברוב קרקעות ישראל ה - pH הוא גבוה ולא ניתן לשנותו בקלות ולכן בשנה השנייה למחקר נבחנה האפשרות לשפר את היבול של צמחים הגדלים ב - pH לא אופטימלי באמצעות ריסוסי עלווה באבץ. נבחנה ההשפעה של שני גורמים עיקריים : (a) ה - pH בבית השורשים (השקיה בתמיסות הנבדלות ביחס אמון :חנקה); ו - (b) ריסוס עלווה באבץ. בשנת הניסוי השנייה נמצא כי קצב הגידול והיבול של צמחים שגדלו ב - pH גבוה (מעל ל - 7.8) וללא ריסוס באבץ היה נמוך באופן משמעותי בהשוואה לצמחים שגדלו ב - pH נמוך מ - 7.5 (בדומה לתוצאות שהתקבלו בשנה הראשונה), וכי ריסוסי עלווה באבץ הביאו לשיפור משמעותי בגידול. היבול של צמחים שגדלו ב - pH גבוה ורוססו בקביעות באבץ לא נבדל מהיבול של צמחים שגדלו ב - pH נמוך. הטיפולים השפיעו בצורה מובהקת על : המשקל הטרי הכללי, המשקל של הענפים הראויים לשיווק, המשקל היבש והמשקל הממוצע של ענף משווק.

ממצאי המחקר מהשנה הראשונה והשנייה הראו כי pH גבוה בבית השורשים הביא לכלורוזה של עלים והתייבשות קודקודי הצימוח. הנחנו כי השפעת ה - pH על הגידול אינה ישירה אלא עקיפה : על זמינות יסודות מזון בבית השורשים. ניתוח אורתוגונאלי בשיטת רגרסיה בשלבים (Stepwise regression) הראה כי ריכוז האבץ בצמח היה הגורם העיקרי שהשפיע על היבול ונמצאה תלות מובהקת בין ריכוז האבץ בצמח לבין היבול (זילבר וחובריו, 2001, 2002). מחקרים שונים מצביעים על הקשר בין ריכוז האבץ בעלים ועצמת האור לבין כלורוזה וריכוז הכלורופיל בעלים (סקירה רחבה ניתן למצוא אצל : Cakmak, 2000). אבץ מעורב באנזימים המנטרלים רדיקלים חופשיים בתאי הצמח (SOD: Super Oxide Dismutase) ולכן מחסור באבץ מביא לעלייה בכמות הרדיקלים החופשיים וכתוצאה מכך לפגיעה באברוני הצמח (כלורופלסט בעיקר). עצמות אור גבוהות גורמות לעלייה בכמות הרדיקלים החופשיים בעלים ולכן צפוי כי בתנאים של קרינה גבוהה (קיץ), מחסור של אבץ יביא לכלורוזה ויפגע בהתפתחות הצמח. הנחנו כי עצמת האור תחת רשת צל של 30% מספיקה לתהליכי פוטוסינטזה וכי הצללה בתקופת הקיץ עשויה להפחית את הנזק שנגרם לצמחים הגדלים בתנאים של מחסור באבץ ללא פגיעה בתהליכים חיוניים אחרים. על מנת לבחון הנחה זו נבדקה בשנה השלישית והאחרונה השפעה של שלושה גורמים : (א) ה - pH בבית השורשים (השקיה בתמיסות הנבדלות ביחס אמון :חנקה); (ב) ריכוז האבץ במי ההשקיה; ו – (ג) עצמת האור (הצללה ברשת צל 30% במהלך הקיץ).

שיטות וחומרים:

ניסוי I: המחקר התבצע במתכונת של בלוקים באקראי בתחנת הניסויים בבשור. בניסוי נבחנו שני גורמים עיקריים: ריכוז החנקן (יחס אמון :חנקה קבוע) והיחס אמון :חנקה (ריכוז חנקן קבוע) במי ההשקיה. ריכוז יסודות המזון (פרט לחנקן) היה אחיד לכל הטיפולים: P - 13 מ״ג\ל׳; K - 50 מ״ג\ל׳; יסודות קורט: ברזל - 1.0, אבץ - 0.3, מנגן - 0.5 מ״ג\ל׳ ככילט EDTA (״קורטין״) + 0.6 מ״ג\ל׳ ברזל ככילט EDDHA (סקווסטרן). ה - pH של תמיסת ההשקיה היה אחיד לכל הטיפולים (7.2-7.5). הטיפולים בניסוי היו: 25N - 25 מ״ג\ל׳ חנקן - יחס אמון חנקה 1:1; 50N - 50 מ״ג\ל׳ חנקן - יחס אמון חנקה 1:1; 100N - 100 מ״ג\ל׳ חנקן - יחס אמון חנקה 1:1; 150N - 150 מ״ג\ל׳ חנקן - יחס אמון חנקה 1:1; NH_4-N – 50 מ״ג\ל׳ חנקן - יחס אמון חנקה 1:3; NO_3-N – 50 מ״ג\ל׳ חנקן - יחס אמון חנקה 1:3.

השתילה התבצעה בתאריך 9.5.01 בתוך מארזי פוליפרופילן (רוחב של 30 וגובה של 17 ס״מ) שהונחו על יריעות פוליאתילן ומולאו בפרליט דק מסוג ח-2. חמישה שתילי פרח האורז מזן White Cooks (משתלת ״בן בן״) נשתלו במרחק של מטר אחד מהשני והושקו בשתי שלוחות טפטוף ״רעם״ של חברת ״נטפים״ עם טפטפות של 1.6 ל׳\ש׳ שהוצבו במרחק של 20 ס״מ. כל טיפול נבחן בחמש חזרות, כל אחת בשני מארזים (סה״כ 10 צמחים לחזרה) במרחק של שני מטר אחד מהשני. הטיפולים החלו ב – 13.6.00, מיד לאחר קליטת הצמחים בכלים כוסו הצמחים ברשת צל (30%) נמוכה שהוסרה רק בסתיו.

התשטיף מהכלים נאסף כל יום ונמדדו בו נפח, pH, ומוליכות חשמלית (EC). הרכב כימי של התשטיפים נבדק כל שבועיים. הטיפול השוטף נעשה כמקובל בגידול פרח האורז בישראל. בתאריך 8.8.00 נדגמו העלים העליונים והתחתונים בכל ענף. החומר הצמחי יובש בתנור מאוורר במשך שבוע בטמפרטורה של 60^0C, החומר היבש נטחן דק ועבר שריפה רטובה ב - H_2SO_4-H_2O_2 לקביעת ריכוז זרחן, נתרן ואשלגן ברקמות הצמח וב - $HCLO_4$-HNO_3 לקביעת סידן, מגניון ויסודות הקורט. חנקן כללי וזרחן נקבעו באוטואנלייזר, אשלגן ונתרן בפוטומטר להבה, סידן, מגניון, ברזל, אבץ ומנגן במכשיר ICP. האסיף בוצע ב – 3.4.01. הצמחים נחתכו בגובה קבוע מהתחתית והענפים נספרו ונשקלו. כלל הענפים מוינו לפי אורכם ואיכותם (התאמתם לשיווק מסחרי). לפני האסיף בנוסף בוצעה הערכה של דרגת הפריחה (מבחן איכותי) על ידי שני אנשים. דרגות הפריחה היו: 0 – ללא פרחים כלל; 1 – כפתורי פריחה מקובצים והופעת צבע לבן; 2 – תחילת הסתעפות התפרחת, כפתורי פריחה קטנים; 3 – תפרחת מסועפת, כפתורי פריחה קטנים; 4 – תפרחת בצורת סוכך, כפתורי פריחה בינוניים; 5 – תפרחת בצורת סוכך, כפתורי פריחה גדולים.

כל התוצאות נותחו במבחן שונות בשיטת GLM של SAS. הבדל מובהק בין הטיפולים נקבע לפי ערך ה - LSD שהתקבל במבחן זה.

ניסוי II, שנה א': בניסוי נבחנו שני גורמים עיקריים: ה - pH בבית השורשים (השקיה בתמיסות הנבדלות ביחס אמון:חנקה) וריסוס עלוותי באבץ. הטיפולים בניסוי היו:

1: **pH1-Zn1** – pH גבוה: יחס אמון:חנקה של 1:3, ללא ריסוס באבץ.

2: **pH1-Zn2** - pH גבוה: יחס אמון:חנקה של 1:3, עם ריסוס באבץ*.

3: **pH2-Zn1** - pH בינוני: יחס אמון:חנקה של 1:1, ללא ריסוס באבץ.

4: **pH2-Zn2** - pH בינוני: יחס אמון:חנקה של 1:1, עם ריסוס באבץ.

5: **pH3-Zn1** - pH נמוך: יחס אמון:חנקה של 3:1, ללא ריסוס באבץ.

6: **pH3-Zn2** - pH נמוך: יחס אמון:חנקה של 3:1, עם ריסוס באבץ.

* ריסוס באבץ בוצע כל שבועיים במהלך הגידול עם תמיסת 0.2% *"אבצאון"* של "דשנים וחומרים כימיים". ריכוז יסודות המזון במי ההשקיה היה אחיד לכל הטיפולים: N - 60 מ"ג\ל'; P - 15 מ"ג\ל'; K - 50 מ"ג\ל'; יסודות קורט: ברזל - 1.0, אבץ - 0.3, מנגן - 0.2 מ"ג\ל' ככילט EDTA (*"יקורטין"*) + 0.6 מ"ג\ל' ברזל ככילט EDDHA (*סקווסטרן*). ה - pH של תמיסת ההשקיה היה אחיד לכל הטיפולים (7.4-7.8).

שיטות העבודה ותבנית הניסוי היו דומות לאלו של ניסוי I. השתילה התבצעה בתאריך 13.5.01 הטיפולים הראשיים (שינויים ביחס בין אמון לחנקה במי ההשקיה) החלו בתאריך 17.7.01, ואילו ריסוסי העלווה ב*"אבצאון"* החלו בתאריך 24.7.01 ונמשכו ברציפות עד לסיום הניסוי. בתאריך 22.8.01 נגזמו כל הצמחים עד לגובה של 20 ס"מ. האסיף בוצע בתאריך 1.4.02. הצמחים נחתכו בגובה קבוע מהתחתית והענפים נספרו ונשקלו.

ניסוי II, שנה ב': שיטות העבודה ותבנית הניסוי היו דומות לאלו של ניסוי II, שנה א' עם שינויים קלים. השינויים בטיפולים היו: (1) בטיפולים 1,2 שונה היחס אמון:חנקה ל - 1:0 (חנקה בלבד) על מנת לבחון pH גבוה יותר מאשר בשנת 2001; (2) במקום תוספת של אבץ באמצעות ריסוס עלווה ניתנה תוספת של אבץ בתמיסת ההשקיה; ו - (3) כל טיפול פוצל לשניים: ללא ועם רשת צל (30%) בתקופת הקיץ.

רשתות הצל (רשת שחורה, 30% צל) הונחו בתאריך 8.5.02 על קונסטרוקציות מתאימות והוסרו בתאריך 15.8.02. טיפולי הדישון החדשים החלו בתאריך 13.5.02 עם תחילת הצימוח החדש שבא לאחר אסיף היבול של שנה א' (בתאריך 1.4.02), והם ונמשכו עד הקטיף (8.4.02). בתאריך 2.6.02 נגזמו כל הצמחים בחלקה.

הטיפולים בניסוי היו:

1a: pH1-Zn1S1 - pH גבוה: יחס אמון:חנקה של 1:0, ריכוז אבץ נמוך (0.4 מ"ג\ל'), ללא הצללה.

1b: pH1-Zn1S2 - pH גבוה: יחס אמון:חנקה של 1:0, ריכוז אבץ נמוך (0.4 מ"ג\ל'), הצללה במהלך הקיץ.

2a: pH1-Zn2S1 - pH גבוה: יחס אמון:חנקה של 1:0, ריכוז אבץ גבוה (0.8 מ"ג\ל'), ללא הצללה.

2b: pH1-Zn2S2 - pH גבוה: יחס אמון:חנקה של 1:0, ריכוז אבץ גבוה (0.8 מ"ג\ל'), הצללה במהלך הקיץ.

3a: pH2-Zn1S1 - pH בינוני: יחס אמון:חנקה של 1:1, ריכוז אבץ נמוך (0.4 מ"ג\ל'), ללא הצללה.

3b: pH2-Zn1S2 - pH בינוני: יחס אמון:חנקה של 1:1, ריכוז אבץ נמוך (0.4 מ"ג\ל'), הצללה במהלך הקיץ.

4a: pH2-Zn2S1 - pH בינוני: יחס אמון:חנקה של 1:1, ריכוז אבץ גבוה (0.8 מ"ג\ל'), ללא הצללה.

4b: pH2-Zn2S2 - pH בינוני: יחס אמון:חנקה של 1:1, ריכוז אבץ גבוה (0.8 מ"ג\ל'), הצללה במהלך הקיץ.

5a: pH3-Zn1S1 - pH נמוך: יחס אמון:חנקה של 1:3, ריכוז אבץ נמוך (0.4 מ"ג\ל'), ללא הצללה.

5b: pH3-Zn1S2 - pH נמוך: יחס אמון:חנקה של 1:3, ריכוז אבץ נמוך (0.4 מ"ג\ל'), הצללה במהלך הקיץ.

6a: pH3-Zn2S2 - pH נמוך: יחס אמון:חנקה של 1:3, ריכוז אבץ גבוה (0.8 מ"ג\ל'), ללא הצללה.

6b: pH3-Zn2S2 - pH נמוך: יחס אמון:חנקה של 1:3, ריכוז אבץ גבוה (0.8 מ"ג\ל'), הצללה במהלך הקיץ.

ריכוז יסודות המזון במי ההשקיה היה אחיד לכל הטיפולים: N - 60 מ"ג\ל'; P - 15 מ"ג\ל'; K - 50 מ"ג\ל'; יסודות קורט: ברזל - 1.0, מנגן - 0.1 מ"ג\ל' ככילט EDTA (*"יקודטין"*). ה - pH של תמיסת ההשקיה היה אחיד לכל הטיפולים (7.4-7.8).

בתאריך 22.7.02 נדגמו החלקים העליונים של הענפים לקביעת ריכוז כלורופיל ויסודות מזון. ריכוז הכלורופיל נקבע בשיטה שפורטה אצל Inskeep and Bloom (1985).

תוצאות:

תוצאות ניסוי I ו - II פורטו בדו"ח שהוגשו בשנתיים האחרונות (זילבר וחובריו, 2001 ; 2002), ולכן דו"ח זה יפרט את התוצאות שהושגו בניסוי III בלבד.

יבול והתפתחות הצמח

הטיפולים בניסוי השפיעו על ה - pH בבית השורשים ועל התפתחות הצמחים. ה - pH בתשטיפים מכלים עם צמחים שהוזנו בחנקה בלבד היה 8.3±0.2 במהלך כל הניסוי. תוספת אמון ועלייה ביחס אמון:חנקה ל: 1:1 ול - 1:3 הביאה לירידה ב - pH ל - 7.2±0.3 ול - 5.0±0.4, בהתאמה. צמחים שגדלו ב - pH גבוה היו קטנים במהלך כל העונה מצמחים שגדלו ב - pH בינוני או נמוך וסבלו מכלורוזה קשה (תמונה 1). השפעת ה - pH בבית השורשים על היבול הטרי של הצמחים באסיף הייתה מובהקת (איור 1), ובהתאמה לממצאי השנים הקודמות (זילבר וחובריו, 2001, 2002). החל מראשית חודש אוגוסט נראו סימני כמישה והתייבשות של חלק מהצמחים שהחריפה עם הזמן והביאה למות הצמחים, במיוחד אלו שגדלו ב - pH נמוך. ההתייבשות החלה ממספר ענפים בצמח והתפשטה עם הזמן עד לקמילה מוחלטת. תסמיני המחלה היו דומים לאלו של *פיטופטרה* אך גורם המחלה לא זוהה בוודאות. מספירה שנעשתה בראשית חודש ספטמבר נמצא כי 25-30% מהצמחים שגדלו ב - pH נמוך היו נגועים לעומת כ - 5% מהצמחים שגדלו ב - pH בינוני וגבוה. התמותה מהמחלה של צמחים תחת רשת צל הייתה נמוכה בהשוואה לצמחים שגדלו בתנאים זהים ללא הצללה, כנראה בגלל הפחתה בדיות. סביר להניח כי עיקר הנזק לצמחים שנפגעו נגרם כתוצאה מעקת מים בעקבות סתימה של צינורות ההובלה ע"י תפטיר הפטרייה. עלייה בריכוז האבץ בתמיסת הדשן לא הביאה לשיפור בגידול הצמחים, בעוד שהצללה גרמה לשיפור משמעותי ביבול צמחים שגדלו ב - pH נמוך (איור 1). אולם, אנו מניחים כי השפעה זו לא הייתה ישירה אלא עקיפה, על הפחתת הדיות הפוטנציאלי והקטנת הנזק שנגרם מעקת מים.

ריכוז כלורופיל ויסודות מזון בצמח

ה - pH בבית השורשים היה הגורם העיקרי שהשפיע על ריכוז הכלורופיל בעלים ועל ריכוז יסודות המזון בעלים (איור 2, טבלה 1). ריכוז הכלורופיל בעלי צמחים שגדלו ב - pH גבוה היה נמוך באופן מובהק בהשוואה לריכוזו בעלי צמחים שגדלו ב - pH בינוני ונמוך ועלה בכל המקרים בעקבות הצללה (איור 2). לריכוז האבץ בתמיסה לא הייתה השפעה על ריכוז הכלורופיל בעלים.

ריכוז החנקן בעלים העליונים של הענפים (ממוצע של 21.2 ג'\ק"ג חומר יבש, טבלה 1) היה בתחום המקובל כתקין לצמחים רבים אחרים על פי Marschner (1995), או de Krey (1992). עלייה

ביחס אמון\חנקה הביאה לעלייה מובהקת בריכוז החנקן בעלים (טבלה 1), בדומה לממצאי השנים הקודמות (זילבר וחובריו, 2001; 2002) אך לא ברור אם עלייה זו נבעה מהיחס אמון\חנקה לכשעצמו או מהירידה ב - pH שבאה בעקבות זאת. מכל מקום, לא סביר להניח כי מחסור בחנקן היווה גורם מגביל כלשהו בניסוי זה. הצללה הביאה לעלייה בריכוז החנקן בעלים בכל הטיפולים ואילו עלייה בריכוז אבץ במים לא השפיעה על ריכוז החנקן בעלים. עלייה ביחס אמון\חנקה הביאה לעלייה מובהקת בריכוז זרחן ויסודות קורט (ברזל, אבץ ומנגן) בעלים (טבלה 1), כנראה בגלל ההשפעה על ה - pH בבית השורשים.

השפעת ההצללה על ריכוז יסודות המזון בעלים לא הייתה מובנת. סביר להניח כי הצללה הביאה לירידה בדיות ולכן צפוי היה כי הקליטה של יסודות מזון הנעים בעיקר בזרם העצה כגון סידן, ברזל, אבץ ומנגן תרד (Marschner, 1995). ריכוזי הסידן, האבץ והברזל בעלים אכן ירדו בעקביות וכצפוי כתוצאה מכיסוי ברשת צל, אולם ריכוז המנגן בכל הטיפולים עלה (טבלה 1, איור 3). הסיבה לאי התאמה זו אינה ברורה. הצללה לא השפיעה על הריכוז בעלים של יסודות מזון הנעים בזרם השיפה כגון זרחן, אשלגן ומגניון (טבלה 1). הריכוז של זרחן, ברזל ואבץ בצמחים היה בתחום המקובל כתקין לצמחים רבים אחרים על פי Marschner (1995), או de Krey (1992) ולכן לא סביר להניח כי מחסור ביסודות אלו השפיע על היבול (טבלה 1). ריכוז המנגן בעלים העליונים של צמחים שגדלו ב - pH גבוה ללא הצללה היה נמוך והוא עלה בעקבות הצללה (21-23 בהשוואה ל - 35-45 מיקרו ג'\ג', בהתאמה). סביר להניח כי ריכוזים נמוכים של מנגן בצמחים שגדלו ב - pH גבוה הגבילו את ייצור הכלורופיל בעלים ולכן יתכן כי העלייה בריכוז הכלורופיל בעקבות ההצללה היא תוצאה של עלייה בריכוז המנגן (איורים 2 ו - 3, בהתאמה), אולם הנחה זו דורשת אימות נוסף.

ריכוז האבץ בעלי צמחים מכל הטיפולים היה בתחום המקובל כתקין לצמחים רבים אחרים. ריכוז האבץ בצמחים ללא הצללה שגדלו ב - pH גבוה ודושנו בריכוז נמוך של אבץ (0.4 מ"ג\ל') היה 119 מיקרו ג'\ג' חומר יבש (טבלה 1), בעוד שבשנים קודמות ריכוזו היה 58 ו - 20 מיקרו ג'\ג' חומר יבש בלבד (ניסויים I ו - IIא', בהתאמה). אמנם, ריכוז האבץ במים בניסוי IIב' היה גבוה במקצת בהשוואה לניסויים הקודמים (0.4 ו - 0.3 מ"ג\ל, בהתאמה), אך בניסוי IIב' ה - pH בבית השורשים היה 8.3 בעוד שבניסוי IIא' ו - I ה - pH היה 7.8. אנו מניחים כי הגורם העיקרי שהשפיע על הקליטה של אבץ היה תחרות בין מנגן לבין אבץ על אתרי הקליטה בשורש. ריכוזי המנגן במים בניסויים I, IIא' ו - IIב' ירדו מ - 0.5 ל - 0.2 ול - 0.1 מ"ג\ל', בהתאמה, ובעקבות זאת ריכוז המנגן בעלים הצעירים ירד מ - 692, ל - 170 ו ל - 21 מיקרו ג'\ג' חומר יבש, בהתאמה. מכאן, הפחתת ריכוז המנגן במים הביאה לעלייה משמעותית בקליטה של אבץ על ידי הצמח.

דיון:

ממצאי המחקר מהשנה הראשונה והשנייה הראו כי pH גבוה בבית השורשים הביא לכלורוזה של עלים והתייבשות קודקודי הצימוח. הנחנו כי השפעת ה - pH על הגידול לא הייתה ישירה אלא

עקיפה: על זמינות יסודות מזון בבית השורשים. ניתוח אורתוגונאלי בשיטת רגרסיה בשלבים (Stepwise regression) הראה כי ריכוז האבץ בצמח היה הגורם העיקרי שהשפיע על היבול ונמצאה תלות מובהקת בין ריכוז האבץ בצמח לבין היבול (זילבר וחובריו, 2001, 2002). אבץ מעורב באנזימים המנטרלים רדיקלים חופשיים בתאי הצמח (SOD: Super Oxide Dismutase) ולכן מחסור באבץ מביא לפגיעה באברוני הצמח (כלורופלסט בעיקר) כתוצאה מעלייה בכמות הרדיקלים החופשיים. עצמות אור גבוהות גורמות לעלייה ניכרת בכמות הרדיקלים החופשיים בעלים ולכן צפוי כי מחסור באבץ בתנאים של קרינה גבוהה (קיץ), יגרום לכלורוזה ויפגע בהתפתחות הצמח. ממצאי ניסוי IIב' מצביעים על עלייה עקבית בריכוז הכלורופיל בעלים כתוצאה מהצללה (איור 2) ועל ריכוז נמוך של כלורופיל בעלי צמחים שגדלו ב - pH גבוה. העלייה בריכוז הכלורופיל בעלים בעקבות הצללה יכולה להיות תוצאה של שני תהליכים בלתי תלויים: (א) הקטנת הנזק שנגרם לכלורופלסט בעקבות הפחתה של כמות הרדיקלים החופשיים, בהתאמה להנחות שפורטו לעיל; ו - (ב) "פיצוי" על הפחתה ביעילות הפוטוסינטזה בעקבות הפחתה של עצמת האור. הריכוז הנמוך של כלורופיל בעלי צמחים שגדלו ב - pH גבוה הוא כנראה תוצאה של מחסור ביסוד מזון חיוני. בחינת התלות בין ריכוזי הכלורופיל בעלים לבין הריכוז של יסודות מזון הצביעה על תלות אפשרית בין ריכוז הכלורופיל לבין ריכוז המנגן בעלים (איור 4). בתחום ריכוזים נמוך של מנגן בעלים (21-73 מיקרו ג' \ג') ריכוז הכלורופיל בעלים עלה באופן לינארי ללא תלות בהצללה, ואילו מעל לתחום זה ריכוז הכלורופיל הושפע מהצללה בלבד (איור 4). מנגן המהווה מרכיב חיוני במנגנון ביקוע מולקולת המים בתהליך הפוטוסינטזה (PS II) והוא מרכיב הכרחי באנזימים המנטרלים רדיקלים חופשיים (Mn-SOD). לכן, מחסור במנגן עלול להביא לכלורוזה ולירידה בריכוז הכלורופיל כפי שמוצג באיור 4. בניסויים הקודמים (ניסוי I ו - IIא') ריכוזי המנגן בעלים היו גבוהים (690 ו - 170 מיקרו ג'\ג', בהתאמה) כתוצאה מריכוזים גבוהים של מנגן במים ולכן ריכוזים נמוכים של אבץ בעלים הגבילו את התפתחות הצמחים שגדלו ב - pH גבוה (זילבר וחובריו, 2001, 2002). הפחתה בריכוז המנגן במים הביאה מחד לעלייה בריכוז האבץ אך גרמה מאידך למחסור במנגן. עלייה בריכוז האבץ במי ההשקיה לא הביאה תועלת בגלל העובדה שריכוז האבץ בבית השורשים נשלט על ידי תהליכי שקיעה של תרכובות קשות תמס. לכן, ריכוז האבץ במים בתנאים של pH גבוה כפי שהיה בטיפולים שדושנו בחנקה בלבד היה נמוך וגרם למחסורים חריפים בצמח. מכאן, שמירה על תחום ריכוזים מיטבי של מנגן ואבץ במי ההשקיה ויישום רציף של ריסוסי עלווה באבץ הם כלים הכרחיים למניעת מחסור ביסודות קורט בצמח זה (זילבר וחובריו, 2001, 2002).

הקשר בין תמותת הצמחים כתוצאה מהנגיעות במחלה לבין ה - pH בבית השורשים ולבין ההצללה אינו מקרי. אמנם, גורם המחלה לא זוהה בוודאות אך תסמיני המחלה היו דומים לאלו של *פיטופטרה*. אנו מניחים כי הפתוגן בבית השורשים נמצא בשיווי משקל ביולוגי עם כלל האוכלוסייה המיקרו-ביולוגית וכי ירידת ה - pH ל - 5.0 הביאה לפגיעה בפעילות המיקרוביאלית, ולהמעטת האוכלוסייה של האויבים הטבעיים של הפתוגן. מכאן, הירידה ב - pH הביאה מחד ליתרון משמעותי בהזנת הצמח אך מאידך, הגדילה את הרגישות לפגיעה מפתוגנים. המסקנה היא

כי יש לשאוף לתנאים מיטביים בבית השורשים שיביאו לזמינות גבוהה של יסודות מזון בבית השורשים אך לא יפגעו בשיווי משקל הביולוגי הקיים בריזוספירה.

רשימת ספרות:

זילבר א., דורי ע., בן-יונס ל., שמואל ד., לבקוביץ א., סוריאנו ש. ומתן א. 2001. השפעת משטר ההזנה על התפתחות צמח פרח האורז (*Ozothamnus diosmifolius*). דו"ח שנה א' מוגש למדען הראשי של משרד החקלאות.

זילבר א., דורי ע., בן-יונס ל., שמואל ד., לבקוביץ א., סוריאנו ש. ומתן א. 2002. השפעת משטר ההזנה על התפתחות צמח פרח האורז (*Ozothamnus diosmifolius*). דו"ח שנה ב' מוגש למדען הראשי של משרד החקלאות.

Cakmak, I. 2000. Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species. New Phytol., 146, 185-205.

de Krey, C., C, Sonneveld, M. G. Warmenhoven, and N. A. Straver. 1992. Guide values for

nutrient element contents of vegetables and flowers under glass. PBG brochure no. 15.

Inskeep, W. P., and Bloom, P. R. 1985. Extinction coefficients of chlorophyll a and b in N,N-dimethylformamide and 80% acetone. Plant Physiol. 77: 483-485.

Marschner, H. (1995). Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd ed., San Diego: Academic Press Limited.

Turnbull, L. V, P. R. Beal, and L. Forsberg. 1996. Aspects of rice flower production. In "IV National Workshop for Australian Native Flowers, Sept. 1996, Perth, Western Australia.

Turnbull, L. V, and P. R. Beal. 1998. *Ozotamnus* and *Cassinia* species with potential for commercialization. Acta Hortic., 454, 147-156.

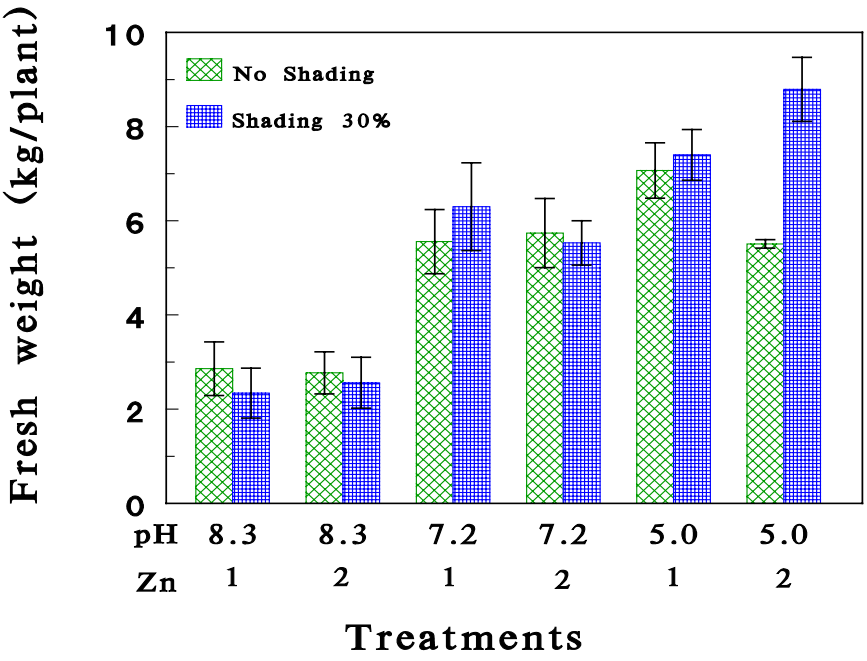
טבלה 1. השפעת הטיפולים בניסוי על ריכוז הכלורופיל ויסודות המזון בחלק העליון של ענפי פרח האורז. הדיגום נעשה בתאריך 22.7.02.

Treatments	Chlorophyll	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Mn
	$\mu g\ g^{-1}$ FW	mg g^{-1} DW					$\mu g\ g^{-1}$ DW		
No Shading									
pH1–Zn1S1	0.55	20.7	2.68	40.7	7.0	2.4	133	119	21
pH1-Zn2S1	0.40	20.0	2.72	45.9	7.3	3.0	115	146	23
pH2–Zn1S1	1.57	20.9	2.66	31.7	7.2	2.6	114	99	73
pH2-Zn2S1	1.47	21.6	2.76	30.2	6.9	2.5	138	117	56
pH3–Zn1S1	1.83	21.2	3.56	32.0	7.2	2.9	184	158	194
pH3-Zn2S1	1.90	22.6	3.68	33.1	6.6	2.8	236	166	283
Mean	1.29	21.2	3.01	35.6	7.0	2.7	153	134	108
F (df=20)	***	NS	***	***	NS	NS	*	*	***
$LSD_{0.05}$	0.332	2.96	0.395	4.77	2.55	1.36	111.4	66.4	89.5
Shading									
pH1–Zn1S2	0.68	21.7	2.64	40.6	5.6	2.4	67	75	45
pH1-Zn2S2	0.61	21.0	2.68	42.5	7.0	3.2	77	124	35
pH2–Zn1S2	2.28	21.4	2.70	34.0	6.5	2.5	89	80	101
pH2-Zn2S2	2.14	22.1	2.66	32.9	6.0	2.6	101	113	90
pH3–Zn1S2	2.46	22.8	3.80	33.2	6.4	2.8	182	114	293
pH3-Zn2S2	2.45	22.7	3.50	33.2	7.1	2.8	232	160	380
Mean	1.77	22.0	3.01	36.1	6.4	2.7	126	112	159
F (df=20)	***	NS	***	***	NS	NS	***	NS	***
$LSD_{0.05}$	0.302	2.31	0.280	6.63	2.50	1.23	89.6	81.8	84.9
Zn1	1.56	21.4	3.02	35.4	6.6	2.6	138	108	122
Zn2	1.50	21.7	3.00	36.3	6.8	2.8	142	138	145
F (df=55)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
No shading	1.29	21.2	3.01	35.6	7.0	2.7	153	134	108
Shading	1.77	22.0	3.00	36.1	6.4	2.7	126	111	159
F (df=55)	*	*	NS	NS	*	NS	NS	*	NS
pH1	0.56	20.8	2.68	42.4	6.7	2.7	98	116	31
pH2	1.87	21.5	2.69	32.1	6.6	2.6	112	102	79
pH3	2.16	22.3	3.63	32.9	6.8	2.8	209	149	288
F (df=56)	***	**	***	***	NS	NS	***	**	***

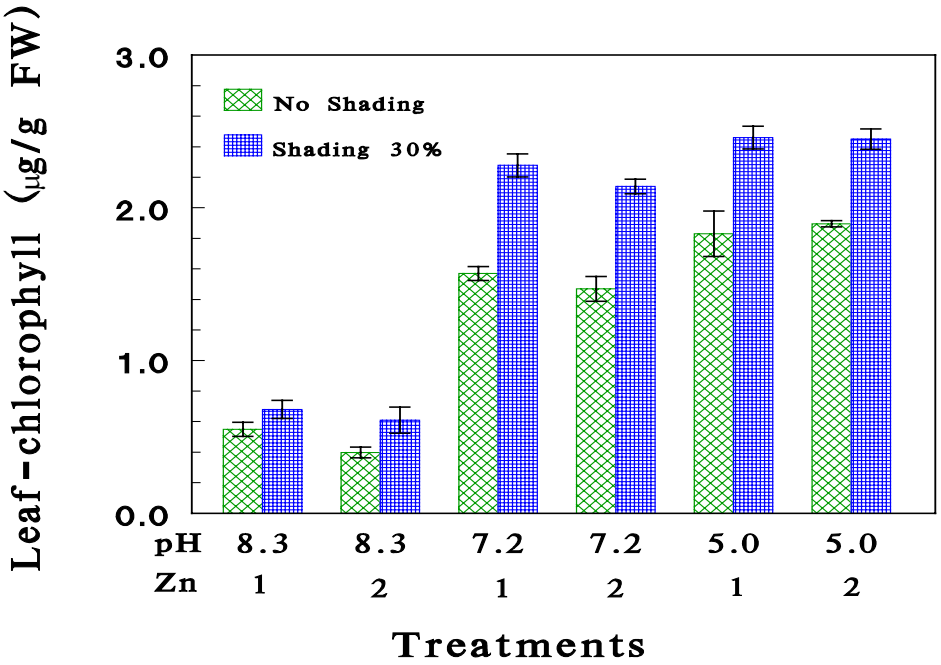
*, ** ו - *** : מובהק ברמת הסתברות של $P \leq 0.05$, 0.01 ו - 0.001, בהתאמה ; NS – לא מובהק.

pH 8.3 **pH 7.2** **pH 5.0**

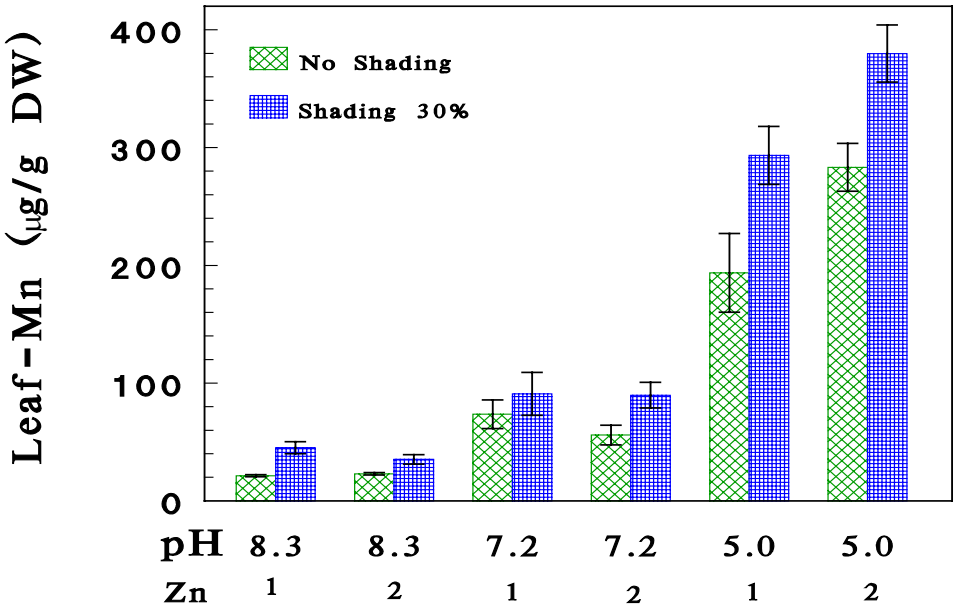
תמונה 1. השפעת ה - pH בבית השורשים על התפתחות צמחי פרח אורז לפני האסיף (8.4.03).



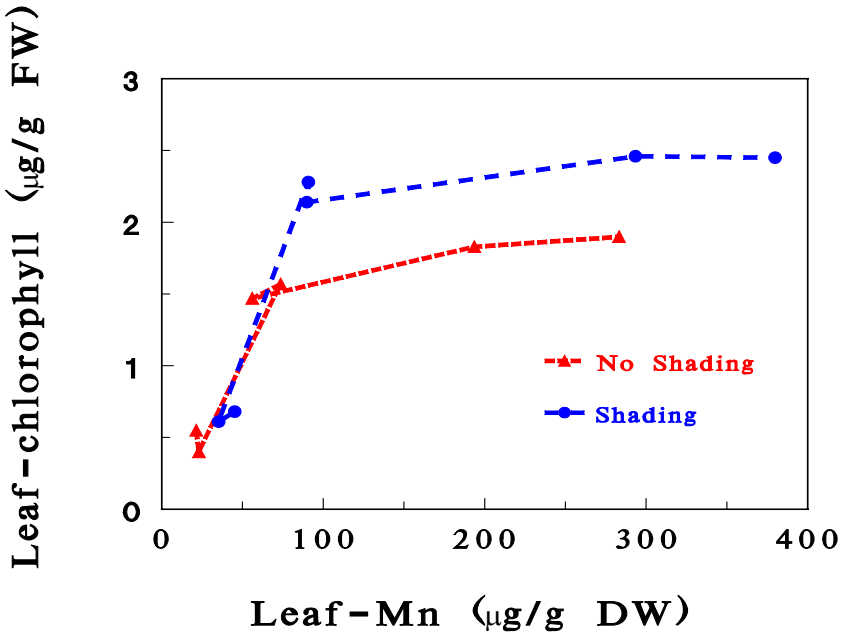
איור 1. השפעת הטיפולים על יבול החומר הטרי של צמחים באסיף (8.4.03 ערכי ה - pH מוצגים בתחתית העמודות, Zn 1 ו - 2 מציינים את ריכוז אבץ במים (0.4 ו - 0.8 מ״ג\ל׳, בהתאמה), שגיאת הניסוי של כל טיפול מוצגת בראש כל עמודה.



איור 2. השפעת הטיפולים על ריכוז הכלורופיל בעלים בתקופת הקיץ (22.7.02). ערכי ה - pH מוצגים בתחתית העמודות, Zn 1 ו - 2 מציינים את ריכוז אבץ במים (0.4 ו - 0.8 מ״ג\ל׳, בהתאמה), שגיאת הניסוי של כל טיפול מוצגת בראש כל עמודה.



איור 3. השפעת הטיפולים על ריכוז מנגן בעלים בתקופת הקיץ (22.7.02). ערכי ה - pH מוצגים בתחתית העמודות, Zn 1 ו - 2 מציינים את ריכוז אבץ במים (0.4 ו - 0.8 מ״ג\ל׳, בהתאמה), שגיאת הניסוי של כל טיפול מוצגת בראש כל עמודה.



איור 4. הקשר בין ריכוז הכלורופיל לבין ריכוז מנגן בעלים בתקופת הקיץ (22.7.02).