

הזנת ברזל באגוזי אדמה בקרקעות לס ולס חוליות של הנגב

Iron nutrition of peanuts in sandy soils of the Northern Negev

מוגשת למדען הראשי של משרד החקלאות

ע"י

משה שנקר, יונה חן – הפקולטה לחקלאות מזון ואיכות הסביבה ע"ש רוברט ה. סמית, האוניברסיטה העברית בירושלים

אורי ירמיהו – מינהל המחקר החקלאי, גילת

אברהם זילברמן – שרות הדרכה ומקצוע, קרקע ומים, משרד החקלאות

אורן בוכשטב – יישובי חבל מעון

Moshe Shenker, Yona Chen – The Robert H. Smith Faculty of Agriculture, Food and Environment, The Hebrew University of Jerusalem

Uri Yermiyahu – Agricultural Profession and Research Organization, Gilat

Avraham Zilberman – Agricultural Extension Service of Israel, Shaham, The Ministry of Agriculture and Rural Development

Oren Buchshtav – Yishuvei Hevel Maon, Nirim

נובמבר 2012

חשוון תשע"ב

.....
הצהרת החוקר הראשי:

הממצאים בדו"ח זה הינם תוצאות ניסויים.

הניסויים מהווים המלצות לחקלאים: כן/לא (מחק את המיותר).

חתימת החוקר לילך שנקר תאריך: 4.11.2012

הזנת ברזל באגוזי אדמה בקרקעות לס ולס חוליות של הנגב

Iron nutrition of peanuts in loam sand and sandy soils of the Northern Negev

משה שנקר, יונה חן, אורי ירמיהו, אברהם זילברשטיין, אורן בוכשטב

תקציר

הצגת הבעיה: הזנת אגוזי אדמה בברזל בכלאציה נהוגה מזה שנים רבות בקרקעות חוליות וקרקעות לס בדרום הארץ. אולם, מגמה מתמשכת של עליה בכמויות המיושמות בפועל על ידי המגדלים, עד לרמות יישום גבוהות מאד, הכרוכות בהוצאות כבדות למגדלים, וכן העובדה שלעיתים אף רמות אלו אינן יעילות לריפוי המחסור, הן המניע למחקר זה.

מטרות המחקר: (1) אפיון היעילות של מספר תכשירי כלאט ברזל לקשירת ברזל בקרקעות בעלות pH גבוה; (2) בדיקת כמויות וממשקי הזנת אגוזי אדמה בברזל בקרקעות לס ולס חוליות של הנגב; (3) ביסוס מדד ה-SPAD כאמצעי אמין, מהיר, פשוט ובלתי הרסני לבחינת רמת הכלורופיל בשדה; ו-(4) ביסוס מדד הברזל הפעיל בעלים כמדד למצב ההזנה בברזל. שילוב שני המדדים יספק אמצעי לבדיקת יעילות טיפולי ברזל שונים. שיטות המחקר: בדיקות מעבדה לאפיון יציבות וניידות תכשירים שונים בקרקע. ניסוי שדה לבדיקה של כמויות יישום ומועדי יישום ברזל. חומר צמחי מניסוי השדה שימש לבדיקה של אמינות והדירות שיטת ה-SPAD והתאמתה למדדי מעבדה שכללו תכולת כלורופיל ואנליזות ברזל כללי וברזל פעיל בעלים. החומר הצמחי שימש לבדיקת שלוש שיטות שונות של ברזל פעיל ולבחינת התאמתן כמדד למצב ההזנה.

תוצאות עיקריות: הבדלים ניכרים נמצאו ביציבות תכשירי כלאט-ברזל וכן במידת ניידותם בקרקע. נמצא כי מדד ה-SPAD הינו בעל הדירות גבוהה בתנאי שדה והוגדרה קורלציה בינו לבין ריכוז הכלורופיל בעלים. מבין מדדי הברזל הפעיל שנבדקו, נמצא המיצוי ב-o-phenanthroline מחומר צמחי יבש כמדד הנוח והאמין לבדיקת מצב ההזנה בברזל. על פי קורלציה עם מדד ה-SPAD מצע כי ערך הסף עבור מדד זה הוא 10 מ"ג/ק"ג, אולם נמצאה שונות קלה בין שדות שונים ונדרשת בדיקה נוספת של ערך זה. יישום ברזל ביסוד נמצא כתורם משמעותי להזנה בברזל, ויישום בריסוס בחמש מנות נמצא עדיף על פני יישום בסיכות במנה אחת או שתיים. העלייה הגדולה ביותר בריכוזי הברזל הפעיל וביכול התקבלה ברמת היישום הגבוהה ביותר שניתנה בריסוס, אולם על פי הניתוח הסטטיסטי לא התקבלה תוספת מובהקת מעל רמת יישום של 150 גרם לדונם.

מבוא

מחסורי ברזל לצמח הינם אחת הבעיות הקשות, ולעיתים היקרה לטיפול, מבין בעיות ההזנה בגידול אגוזי אדמה על גבי קרקעות חוליות וקרקעות לס בדרום הארץ. מחסורי הברזל חמורים בעיקר בקרקעות בעלות pH גבוה מ-7.5 וריכוזים גבוהים של גיר, ובעיקר "גיר פעיל" (Chen and Barak, 1982; Rao et al., 1987; Shenker and Chen, 2005). הסימפטום הבולט למחסור ברזל הינו כלורוזה, אולם הכלורוזה אינה ספציפית למחסור ברזל. לגבי הזנה ביסודות רבים מקובל להשתמש באנליזות עלים כמדד לרמת ההזנה, אולם לגבי ברזל נמצא בעבודות רבות שאין התאמה בין הריכוז בעלים, או בחלקי צמח אחרים לבין מצב ההזנה של הצמח ביסוד זה. הסיבה לכך קשורה ככל הנראה לניידות הנמוכה של הברזל בצמח ולשקיעתו בצורה יציבה בתוך מערכות ההובלה בצמח, ואפילו בתוך העלה עצמו. באופן זה חלק מהברזל, ולעיתים רוב הברזל, הנמצא בעלים אינו פעיל בתהליכים מטבוליים ובסינתזת הכלורופיל. הברזל הפעיל בצמח אינו מצוי בצורה אחת מוגדרת, אלא בתרכובות שונות ובמצבי חמצון-חיזור שונים (II או III) ולא קיימת שיטה סטנדרטית ומקובלת למצות אותו מתוך העלה. הוצעו מספר שיטות מיצוי לא אגרסיביות שממצות פרקציה המכונה "ברזל פעיל" ושהמתאם בינה לבין מצב ההזנה של הצמח בברזל גבוה יותר מאשר המתאם של כלל הברזל בעלה. מיצוי על ידי חומצה מהולה (1-M HCl) הוצע על ידי Oserkowsky (1933) ומיצוי על ידי כלאט ספציפי לברזל דו-ערכי (1,10 o-phenanthroline) הוצע על ידי Katyal and Sharma (1980). אולם לאף אחת מהשיטות לא נקבעו תנאים סטנדרטיים לאופן הטיפול בחומר הצמחי ולאופן המיצוי. בחלק מהמחקרים מוצע לעבוד עם חומר טרי, בעוד שאחרים הראו תוצאות טובות עם חומר יבש. מחקרים אחדים מציעים מיצוי בטלטול ואחרים מיצוי בתנאים סטטיים. כמו כן אין סטנדרטיזציה של זמן המיצוי. במספר מחקרים השוואתיים נמצא יתרון לשיטת המיצוי בחומצה (Sönmez and Kaplan, 2004) ובאחרים דווקא למיצוי בכלאטים שונים (Zohlen and Tyler, 1997). לגבי בוטנים כלורוטיים מצאו Rao et al. (1987) קשר טוב בין הכלורוזה לבין שיטת המיצוי ב-1,10 o-phenanthroline. בעבודה זו הוצע כי הרמה המציינת סף מחסור במיצוי זה היא 6 מיקרוגר' ברזל לגרם חומר טרי של העלה הבוגר הצעיר ביותר, כאשר המיצוי נעשה מחומר טרי. אולם לאור חוסר האחידות בשיטות הבדיקה וחוסר ההסכמה על השיטה המועדפת, לא הוגדרו בדרך כלל רמות סף של ברזל פעיל המציינות מצב תקין, או רמות מחסור ועודף, בעלים של גידולים שונים, וגם רמת הסף שהוצעה על ידי Rao et al. (1987) לא קיבלה תמיכה במחקרים אחרים, ומידת התאמתה לתנאי גידול שונים או לזנים שונים של אגוזי אדמה לא נבדקה. הזנת אגוזי אדמה בברזל, הניתן ככלאט, לריפוי כלורוזה נהוגה באזור זה החל מאמצע שנות ה-70, אולם לאורך שלושת העשורים האחרונים נצפתה מגמת עליה בכמויות הברזל המיושמות בפועל על ידי המגדלים, ומיישום מקובל של כ-600 ג' כלאט (6% ברזל) לדונם בשנות ה-70 וה-80 עלו הכמויות, וכיום מקובל יישום של עד 2.5 ק"ג כלאט לדונם בקרקעות חוליות ועד 4 ק"ג כלאט לדונם בקרקעות לס, והתוצאות לעיתים קרובות אינן משביעות רצון. הזנת הברזל בצמחים בכלל, ובגידולים חקלאיים בפרט, העסיקה רבות את המחקר מזה זמן רב. התקדמות גדולה חלה בהבנת הגורמים המעורבים בהזנת הברזל (Marschner et al., 1986), וכן בפיתוח שיטות הזנה להתמודדות עם מחסור ברזל לצמח (Rengel et al., 1999; Shenker and Chen, 2005). השכיחות הרבה של הופעת מחסורי הברזל בגידולים חקלאיים, למרות מציאותו בבית השורשים בכמויות העולות על פי רוב בשלושה עד ארבעה סדרי גודל מהכמות הנדרשת לגידול תקין, מצביעים על כך שבעיית

ההזנה קשורה לגורמים הקובעים את זמינות הברזל בקרקע ולגורמים פיזיולוגיים המשפיעים על יעילות קליטת הברזל בשורשים וניודו בצמח. הגיר בקרקע מוכר כגורם העיקרי המגביל את מסיסות וזמינות הברזל לצמחים. מציאות הגיר במקטע הדק של הקרקע, המבוטאת בתכולת הגיר הפעיל של הקרקע, מקנה לה כושר בופר גבוה לשמירה על התנאים המשרים מחסור ברזל בצמחים ומקטינה את יעילות ההחמצה והחיזור, שהם שני המנגנונים הפיזיולוגיים החשובים של צמחי אסטרטגיה I, ובכללם אגוזי האדמה, להתמודדות עם המחסור. במקרים אלה מסיסות ההידרוקסידים של הברזל התלת-ערכי נמוכה מאד והמסתם בריזוספירה יכולה לספק רק חלק מזערי מסך דרישת הצמח ליסוד זה, ואז הזנת הצמח תלויה בקומפלקסים אורגניים של ברזל בתמיסת הקרקע – בריכוזם ובמידת זמינותם לצמח. לעיתים, בעיקר בקרקעות עשירות בחומר אורגני ופעילות מאד מבחינה ביולוגית, הקומפלקסים הטבעיים של הברזל עונים לדרישת הצמח, ולמרות ה-pH הגבוה של הקרקע ותכולת הגיר הגבוהה, הזנת הברזל תקינה. במקרים אחרים ריכוז הקומפלקסים הללו נמוך מדי, או שכשרם של הצמחים לנצל את הברזל הקשור מגבילה את ניצולם. מקרים אלה נפוצים בעיקר בצמחים שמהלך האבולוציה הטבעית לא התאים אותם לתנאי הקרקע הנדונה. מצב זה נפוץ מאד בחקלאות, ולכן מחסור ברזל בגידולים חקלאיים על גבי קרקעות גיריות שכיח מאד.

במקרים כאלה, הדישון בכלאטים סינתטיים הינו הפתרון המקובל. הנחת העבודה במחקר זה הייתה כי טיפולי קרקע, השקיה ועיבוד שעשויים לשפר את מצב ההזנה בברזל במצבי מחסור קל, אינם יעילים בתנאי מחסור קשה ואינם צפויים לפתור את בעיית המחסור בגידול אגוזי אדמה בקרקעות הנדונות במחקר זה. בהתאם לכך התמקד המחקר בבדיקה של טיפול בעזרת כלאטים של ברזל. הדרישה הראשונית מכלאט הינה יציבות גבוהה של הקומפלקס עם ברזל, גם ב-pH גבוה ובנוכחות מתכות מתחרות. אולם, מכיוון שקליטת הברזל על ידי שורשי הצמח תלויה בשבירת הקשר בין הברזל לכלאט, יציבות גבוהה מדי של הכלאט עם ברזל תלת-ערכי, ויותר מכך עם ברזל דו-ערכי, או פוטנציאל חיזור נמוך מדי שאינו מאפשר למערכת החיזור תלוית ה-NADPH בשורשי הצמח לחזר את הברזל התלת-ערכי שנמצא בקומפלקס (Bienfait, 1987), עלולה לפגוע ביעילות הכלאט כספק ברזל לצמח (Lucena and Chaney, 2006).

הכלאט הראשון שהוכנס לחקלאות הינו הכלאט FeEDTA. כלאט זה מאופיין בפוטנציאל חמצון-חיזור גבוה של הברזל ($E_0=130 \text{ mV}$, ב-pH 7) יעילותו גבוהה באספקת ברזל לצמח, מחירו זול יחסית והוא מקובל בתמיסות דישון רבות. אולם, ב-pH האופייני לקרקעות גיריות, יציבות הקשר של כלאט זה עם הברזל נמוכה מדי והסידן שמקורו בקרקע דוחק את הברזל מהקומפלקס והופך את הכלאט לבלתי יעיל (Shenker and Chen, 2005). מבין התכשירים המסחריים המקובלים בארץ ומבוססים על כלאט זה ניתן לציין את התכשירים קורטין ומיקרוגת. לעומת כלאט זה וכלאטים מוכרים נוספים התבלט לאורך שנים רבות הכלאט FeEDDHA כעונה על מרבית הדרישות שפורטו לעיל. האפיניות של הליגנד EDDHA לברזל תלת-ערכי גבוהה מאד (Martell et al., 2004) ויציבות הקומפלקס גבוהה גם בקרקעות גיריות (Elgala and Maier, 1971; Lindsay, 1979), ואף בקרקעות בעלות pH גבוה אשר ריכוז הסידן בהן נשלט ע"י גבס (Shenker and Chen, 2005). לעומת זאת מאופיין הכלאט FeEDDHA בפוטנציאל חמצון-חיזור נמוך ($E_0=-426 \text{ mV}$ ב-pH 7) ומערכת החיזור הממברנלית בצמחים שונים מתקשה לחזר את הברזל ולנתקו מהליגנד (Bienfait, 1987). במקרים אלה יעילות הכלאט נפגעת. אולם, למרות קושי זה, במקרים רבים נמצא כי זהו הכלאט המועדף בקרקעות גיריות (Chen

(and Barak, 1982; Lucena, 2003; Sahrawat, 1988), ובהתאם, הוא נמצא במספר רב של תכשירים מסחריים. מבין התכשירים המסחריים המקובלים בארץ ומבוססים על כלאט זה ניתן לציין את הסקווסטרין 138, רדיפר וליבפר (אבידן וחוב' 2004). כלאטים נוספים, שונים מבחינה כימית, דוגמת FeEDDHMA, FeEDDHSA ו-FeEDDCHA, הוכנסו לשימוש בשנים האחרונות (Álvarez-Fernández et al., 2002; Álvarez-Fernández et al., 2005; Lucena, 2003), ולגבי חלק מהם קיימים דיווחים על יעילות גבוהה. אולם, חסר אפיון מלא של קבועי הקשירה ופוטנציאל החמצון-חיזור שלהם וגם צורתם היונית, בתלות ב-pH, הקרקע, ובהתאם לכך - מידת ניידותם בקרקע, אינן ברורות. דוגמא לתכשיר מקובל בארץ - ברטיף (FeEDDHSA). בתכשירים מסחריים, חוסר הבהירות גדול אף יותר. בתכשירים אלה לא תמיד ברור מהו הכלאט הקושר את הברזל, וגם כאשר קיים ציון ברור לגבי סוג הכלאט וריכוז הברזל, לא ברור לעיתים קרובות איזה אחוז מהברזל נמצא בקומפלקס עם הליגנד (Garcia-Marco et al., 2003). בבדיקת כלאטים מסחריים שונים נמצא שסך הברזל המצוי בקומפלקס עם הליגנד המוצהר (EDDHA, EDDHMA או EDDHSA) נע בגבולות רחבים של 20-68% מסך הברזל בתכשיר, בעוד שיתרת הברזל נמצאה בתרכובות אחרות, לא בכלאציה עם ליגנד זה (Álvarez-Fernández et al., 2002). בהתאמה לכך דווחו (Garcia-Mina et al., 2003) על יעילות שונה מאד של תכשירים מסחריים אשר על פי הצהרת היצרן הרכבם זהה. בשנים האחרונות דווח במספר פרסומים על הבדל גדול ביעילות של האיזומרים המבניים המוכרים של הכלאט FeEDDHA, כאשר יציבות האיזומר אורתו-אורתו (o,o-EDDHA) לעומת אורתו-פרה, או פרה-פרה, היא הגדולה יותר (Lucena, 2003; Garcia-Mina et al., 2003). בעבודה אחרת נמצא שלמרות היציבות הגבוהה יותר של האיזומר אורתו-אורתו, יעילות הקליטה של הברזל מהאיזומר אורתו-פרה בתמיסת מזון הייתה גבוהה יותר בצמחי מלפפון וסויה (שניהם צמחי אסטרטגיה I, בדומה לאגוזי אדמה) (García-Marco et al., 2006). סוג נוסף של איזומריה, איזומריה מרחבית, קיימת לגבי האיזומר המבני o,o-EDDHA בזכות שני מרכזים כיראליים המצויים בכלאט. בהתאם, עם יצירת הקומפלקס Fe-o,o-EDDHA נסגרות שתי הקבוצות הפנוליות של הכלאט בשתי קונפיגורציות שונות סביב יון הברזל. באופן זה יכול האיזומר המבני אורתו-אורתו ליצור איזומר מרחבי (גאומטרי) meso, אשר בו כל מולקולת o,o-EDDHA יוצרת קונפיגורציית S אחת וקונפיגורציית R אחת מסביב ליון הברזל, או תערובת רצמית של שני האיזומרים המרחביים - 50% איזומר S ו-50% איזומר R (Barak and Chen, 1987). יציבות שני האיזומרים המרחביים של ה-o,o-EDDHA עם ברזל תלת-ערכי נבדלת בפקטור של 500, כאשר הצורה היציבה יותר היא התערובת הרצמית של הכלאט (Martell et al., 2004). בעבודות אחרות נמצא שצורה זו, היציבה יותר, עלולה להיות יותר קשה לחיזור ופחות יעילה לצמחי אסטרטגיה I (Alcañiz et al., 2005; Lucena, 2003). מורכבות דומה קיימת גם לגבי כלאטים נוספים, וביניהם EDDHMA ו-EDDHSA. ההרכב האיזומרי של תכשירים מסחריים הכוללים את הכלאטים הללו איננו מפורט על פי רוב ע"י היצרן, ולכן אין בידי הצרכן כלי השוואתי לגבי קריטריון זה. יתר על כן, בהעדר הגדרה מחייבת לגבי תכולת הכלאט ואפיונו המלא, אין גם וודאות לגבי אחידות המוצר לאורך השנים. כל הגורמים הללו מכבידים על החקלאי בבחירת המוצר המתאים. הנחת העבודה במחקר הנוכחי הינה שערפל זה עלול לגרום לשונות הרבה בתוצאות הטיפוליים ולזחילה המתמשכת במינון המקובל.

גורם אחר המשפיע על יעילות הטיפול הינו מידת הניידות של הקומפלקס בקרקע. בעוד שצורות קטיוניות נעות בקושי בקרקע ונשארות ברובן באזור היישום, צורות אניוניות ניידות בקרקע ועלולות להישטף אל מחוץ לבית השורשים. לכן ניתן ומקובל ליישם דשן קטיוני כדשן יסוד עם הכנת השטח, או בצמוד לזריעה, אולם אם הדשן הינו אניוני יישום כזה עלול להיות לא יעיל. נושא הספיחה של כלאטים אל החרסיות המצויות בקרקע נחקר לאחרונה במעבדתו של יונה חן ונמצא כי הספיחה תלויה ביון החליף והיא קטנה יותר (כלומר סכנת ההדחה גדולה יותר) כאשר החרסית רוויה בנתרן (Siebner-Freibach et al., 2004).

יישום ברזל לאגוזי אדמה בנגב חיוני לקבלת גידול בריא ויבול מיטבי. ממשק הזנת הברזל המקובל באזור כולל דישון יסוד לפני הזריעה ודישון במהלך הגידול. הכמויות המיושמות שונות ותלויות בסוג הקרקע ובניסיונו של החקלאי. הכמויות המיושמות בפועל גדלו במיוחד עם הכניסה של חומרים חדשים לשוק ובמקרים רבים נצפתה יעילות נמוכה של הטיפולים. בבדיקה הקדמית שערכנו בקיץ 2006 על גבי קרקע לס בקיבוץ נירים, נמצא כי יישום של 1, 2, 3, או 4 ק"ג כלאט ברזל (ליבפר) לדונם במהלך עונת הגידול עם מי ההשקיה, על גבי קרקע שקיבלה ביסוד 0, 0.5, או 1 ק"ג כלאט ברזל (ליבפר) לדונם לא הביאה להבדלים מובהקים ברמת הכלורוזת ולא להבדלים מובהקים ביבול. התכשיר ליבפר מכיל על פי הצהרת היצרן 6% ברזל והליגנד הקושר הינו EDDHA. הישוב בעזרת המודל הגיאוכימי Geochem-PC על פי קבועי היציבות של הכלאט FeEDDHA מצביעים על כך שב-pH ובהרכב האופייניים למי ההשקיה, במידה וריכוז הכלאט בתכשיר איננו נופל מריכוז הברזל, אמור הברזל להיות מסיס כולו ולא צפויה שקיעה. בבדיקה הקדמית שערכנו, נמצא שבפועל, בחלק מתמיסות הכלאט בתכשירי FeEDDHA שונים הקיימים בשוק הישראלי, חלה שקיעה ניכרת במי ההשקיה. מכלול השאלות שהוצג לעיל מציב מספר אתגרים, בעיקרם יישומיים, בהם עסק המחקר.

מטרות המחקר

כדי לשפוך אור נוסף על ההזנה בברזל בדגש על הזנת אגוזי אדמה בקרקעות לס חוליות של הנגב, מטרות המחקר היו:

1. השוואת יציבות תכשירי כלאט-ברזל בקרקע, בניסויי הדגרה לאורך זמן, והשוואת תנועתם בעמודות קרקע בתנאי חלחול בתת-רוויה, בדומה לתנאים בשדה.
2. מאחר ובחינת יעילות תכשירי הזנה בברזל על פי תרומתם להתפתחות צמחים בניסויי שדה, ואף במבחני ביואסי בעציצים, הינה מסורבלת ודורשת זמן רב ואמצעים רבים, הוצבה במחקר מטרה לבדיקת יעילות קריאות מכשיר SPAD כמדד פשוט, מהיר ובלתי הרסני לבדיקת מצב ההזנה בברזל וכמדד ליעילות תכשירי הזנה בברזל. ביתר פירוט, המטרה הייתה להשוות את קריאות ה-SPAD בעלים של אגוזי אדמה שקיבלו טיפולי ברזל שונים ונמצאים בטווח רחב של מצב ההזנה הברזל, לבין שני מדדי צמח שיעילותם לאבחון מצב ההזנה בברזל מוכרת וידועה, אך דורשת עבודת מעבדה ממושכת – ריכוז כלורופיל וריכוז ברזל הפעיל בעלים. בנוסף, מאחר וקיים חשש כי הגודל הקטן של חלון המדידה (2×3 מ"מ) של מכשיר ה-SPAD עלול להניב הדירות (reproducibility) נמוכה בגלל פיזור לא אחיד של הכלורופיל על פני שטח העלה, כללה מטרת המחקר גם בדיקה של הדירות הקריאות בתנאי שדה.
3. בחינה של רמות יישום וממשקי הזנה בשדה חקלאי.

פירוט עיקרי הניסויים

התכשירים שנבדקו

סקווסטרין 138 מגורען (Seq 138). מיוצר ע"י Syngenta crop protection AG, דיסלדורף, שווייץ. מכיל, לפי הגדרות היצרן, 6% ברזל בצורה של Fe-EDDHA.

ברטיף, תכשיר נוזלי של ברזל בכלציה. מיוצר ע"י דשנים וחומרים כימיים בע"מ, חיפה. מכיל לפי הגדרות היצרן 11.5 גרם ברזל (יסוד) כ- Fe-EDDHA וריכוז של לפחות 0.95% ברזל.

ליבפר SP מגורען. מיוצר ע"י UK, SC CIBA. מכיל, לפי הגדרות היצרן, 6% ברזל בצורה של Fe-EDDHA.

קורטין, תרכיז יסודות קורט בכלציה. מיוצר ע"י דשנים וחומרים כימיים בע"מ, חיפה. מכיל, לפי הגדרות היצרן (%): 0.6 ברזל, 0.2 אבץ, 0.1 מנגן, 0.03 מוליבדן ו-0.04 נחושת (כיסודות) בצורה של כלאט עם EDTA.

Jaer, מיוצר ע"י חב' Jaer (ספרד). מכיל, לפי הגדרות היצרן, 6% ברזל בצורה של Fe-EDDHA כאשר 4.5% בצורת האיזומר o,p ו-1.5% בצורת o,o.

בנוסף, נעשתה השוואה גם עם Fe-EDTA אנליטי (Sigma, St. Louis, MO).

קרקעות

בדיקות המעבדה נערכו בקרקעות הבאות: קרקע רנדזינה מאזור כפר רופין (27°51.21', 32° צפון, 35°33'26.5 מזרח) וקרקע לס חולית/חול אאולי מאזור צאלים (29.79°13'31' צפון, 34°31'25.27' מזרח). הקרקעות נלקחו משטחים שלא עובדו לאחרונה מעומקים 5-35 ס"מ. הקרקעות יובשו באוויר נטחנו עורבבו וסוננו בנפת 2 מ"מ קודם לשימוש בניסויים.

בדיקת יציבות הכלאטים בקרקע לאורך זמן

לצורך השוואה בין תכשירי ברזל שונים המכילים ברזל קשור בכלציה נעשתה הדגרה של התכשירים בקרקע רנדזינה עם תכולת גיר גבוהה (55%) בשיטת הדגרה דומה לזו שהוצעה ע"י Orphanos and Hadjiloucas (1984), אולם המיצוי בסוף ההדגרה נערך במים ולא ב-DTPA, כדי לתת חיווי לריכוז הברזל שנשאר בפאזה המסיסה והזמינה באופן מידי לצמח. בשיטה זו מודגרים תכשירי הברזל הנבדקים במינון ברזל אחיד (עפ"י ריכוז היסוד בתכשירים השונים) בקרקע בעלת תכולת גיר גבוהה ברטיבות של קיבול שדה. ההדגרות נעשו לפרקי זמן של עד 25 ימים בכדי לגלות את יציבות הכלאטים לאורך זמן. בסוף כל תקופת הדגרה, בשונה מהשיטה של Orphanos and Hadjiloucas (1984), נעשה מיצוי מימי של הקרקע למציאת ריכוז הברזל המסיס. ברזל כקטיון נמצא בריכוזים זניחים בתמיסת הקרקע ב-pH של קרקעות הניסוי, לכן הונח כי הברזל שנמצא במיצוי הינו הברזל הקשור בכלאט בלבד. סדרת טיפולים עם מים במקום הכלאט שימשה כבקורת לריכוז הברזל שיכול להימצא ללא הוספת תכשיר כלשהו.

מהלך הניסוי: מתכשירי הברזל הבאים – sequestrene 138, ליבפר, ברטיף, קורטין, Jaer ו-Fe-EDTA, הוכנו תמיסות בריכוז של 5 מ"ג ברזל (כיסוד) לליטר. לתוך בקבוקי סנטילציה נשקלו שני גרם קרקע רנדזינה יבש אוויר, לקרקע הוספו שני מ"ל מתמיסות תכשירי הברזל, או מים מזוקקים כטיפול בקורת. הבקבוקים כוסו בצורה רופפת לאפשר יציאת אוויר והודגרו בטמפרטורה קבועה, 25°C, לפרקי זמן של שעה, יום, שבוע, 17 יום ו-25 יום. בסוף כל תקופת הדגרה נעשה מיצוי מימי לקרקע. המיצוי נעשה ע"י הוספה של 14 מ"ל תמיסת

KCl בריכוז 0.114 מולר (ליצירת ריכוז סופי, יחד עם 2 מ"ל ההתחלתיים, של 0.1 מולר) וטלטול במשך 20 דקות. הוספת ה-KCl נועדה בכדי לגרום לפלוקולציה של חלקיקי הקרקע להקלת תהליך הסינון. לאחר הטלטול ניתן לקרקע לשקוע במשך כ-15 דקות עד היווצרות של תמיסה צלולה בחלק בעליון של בקבוק. לאחר מכן סוננה התמיסה במסנן ווטמן 42, הוחמצה ל-pH~1 בכדי למנוע שקיעה של ברזל ואוחסנה בקירור עד לבדיקת ריכוז ברזל ומנגן ב-ICP-AES. בניסוי היו שישה תכשירי ברזל שונים וביקורת וחמישה פרקי זמן, סה"כ 35 טיפולים. לכל טיפול נערכו 5 חזרות (הזגרות נפרדות).

חלחול דרך עמודות קרקע במצב תת-רוויה

שטיפת כלאטים אל מתחת לבית השורשים הינה גורם עיקרי לאובדן הברזל המיושם ככלאט. אחד הגורמים העיקרים הקובעים את מידת השטיפה הינו מטען הקומפלקס – קטיונים נוטים להיספח בקרקע ואילו אניונים נוטים להיות ניידים יותר. כך למשל הכלאט Fe-EDDHA הינו בעל מטען שלילי בתנאים הקיימים בקרקע לס חולית ולכן הוא צפוי להישטף בקלות עם זרימת המים. בכדי לקבוע את קצב החלחול של הכלאט-ברזל יושמו כלאטים שונים בראש עמודות קרקע, ביישום חד-פעמי. לאחר יישום הכלאט הוזרמו מים בעמודות תוך שמירה על מצב תת-רוויה שנועד לדמות את תנאי השטיפה בשדה ולהבטיח מגע הדוק של התמיסה עם שטחי הפנים של הקרקע. המצב של תת-רוויה בקרקע נשמר ע"י יצירת מתח יניקה של $1/3$ אטמוספירה בתחתית העמודות בעזרת משאבת ואקום שחברה אל תחתית העמודות דרך ווסת לחץ וממברנת $0.45 \mu\text{m}$. על גבי עמודות הקרקע (קוטר 4.4 ס"מ, גובה 7.5 ס"מ, 150 גר' קרקע, משקל יבש-תנור), לאחר הרטבה ראשונית וניקוז, יושמו מדי שעתיים מנות מים בעומד של 4.6 מ"מ. הנקז נאסף תוך הפרדה לפרקציות. בסך הכל ייושמו 15 מחזורי ההשקיה, כאשר רק המחזור הראשון הכיל את התכשירים הנבדקים (0.1 מ"ג ברזל בטיפולי הברזל השונים, ו-1 מ"ג ברומיד, למעט בטיפול הביקורת ללא סמן), ובמקביל נאספו כשני נפחי נקבובים ב-15 פרקציות, כל פרקציה בנפח 7 מ"ל. הנקז הנאסף הוחמץ למניעת שקיעה ונבדק בו ריכוז הברזל במכשיר ICP-AES. כביקורת לריכוז הברזל הנשטף ללא תלות בכלאט המוסף שימשו עמודות בהן ההשקיה נעשתה במים ללא תכשיר ברזל כלשהו. אל כל התמיסות הוסף ברומיד (יישום כ-KBr) בריכוז ששימש כסמן (tracer). כל טיפול, כולל הביקורת, נערך על גבי ארבע עמודות (חזרות). כביקורת נוספת נבדקה הדחת הברזל גם במים, ללא ברומיד.

בדיקת קריאות SPAD כמדד להזנת ברזל

מכשיר ה-SPAD (Chlorophyll meter, SPAD-502, Minolta Camera Co.) המשמש לבדיקה יחסית של ריכוז כלורופיל בעלה משמש גם להערכה של מחסורי ברזל. בכדי להתאים ערכים מוחלטים של תכולת כלורופיל וברזל פעיל לערכי SPAD, נדגמו עלים של אגוזי אדמה ברמות מחסור שונות של ברזל, מוינו לפי ערכי SPAD ולאחר מכן נבדקו לתכולת כלורופיל בערכים של צפיפות או ריכוז ונבדק בהם ריכוז הברזל הפעיל. העלים נדגמו בשלושה שדות נפרדים של אגוזי אדמה באזור חבל הבשור. שדה אחד בקרבת קיבוץ רעים ("רעים") ועוד שני שדות בקרבת קיבוץ נירים, האחד מהם מוגדר כ"אורגני" ("נירים" ו"נירים אורגני"). ריכוזי הברזל הזמין (עפ"י מיצוי ב-DTPA) בקרקעות אלו (3.05, 2.23 ו-3.76 מ"ג Fe לק"ג קרקע, בהתאמה) הינם ערכים גבוליים ומחסורי ברזל בקרקעות כלו שכיחים. בכל שדה נאספו עלים שהם העלים הבוגרים הצעירים ביותר (האחרונים שהגיעו למצב מפותח לגמרי). במהלך האיסוף, בשדה, נמדדו העלים במכשיר SPAD לקביעה יחסית של ריכוז הכלורופיל בעלים. עבור כל עלה נערכו שתי קריאות SPAD על גבי כל אחד מארבעה עלעלים, בסה"כ שמונה קריאות מוצעו עבור כל עלה. לפי הריכוז היחסי של כלורופיל בעלה

כפי שנקבע בקריאת ה-SPAD חולקו העלים ל-11 קבוצות בהתאם לקריאת ה-SPAD, החל מהעלים הצהובים ביותר עד לירוקים ביותר: עד 10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-30, 30-35, 35-40, 40-45, 45-50, 50-55, ו-55 ומעלה. העלים נאספו לשקיות נייר ונשמרו בצידנית עם קרח עד להגעה למעבדה. בהמשך נשטפו העלים במי ברז, מים עם דטרגנט tipol, ולאחר מכן במים מזוקקים. האנליזות שנעשו בעלים הטריים (בדרך כלל באותו היום, או ביום שלמחרת, שמירה במקרר) כללו בדיקה של ריכוז כלורופיל במיצוי ב-DMF וריכוז ברזל פעיל בשתי שיטות – במיצוי ב- (1 M) HCl או ב-*o*-phenanthroline (להלן *o*-ph). שאר העלים הועברו לייבוש בתנור ב-65°C. לאחר הייבוש נטחנו העלים ליצירת אבקה הומוגנית. מאבקת העלים המיובשים וטחונים נלקחו דוגמאות לאנליזות של ברזל פעיל בשיטה נוספת (מיצוי *o*-ph מחומר יבש) וברזל כללי ע"י שרפה רטובה בחומצה חנקתית ופרכלורית.

ההדירות (reproducibility) של בדיקת ה-SPAD בשדה נבדקה במהלך איסוף העלים ע"י ביצוע מדודות חוזרות יל גבי אותם צמחים. בכל צמח נקבע ממוצע קריאת ה-SPAD על-פי 32 בדיקות בודדות, עבור כל צמח בוצעו שלוש חזרות כאלה בהפרש זמנים של לפחות רבע שעה. באופן זה נמדדו חמישה צמחים שנבחרו בשדה לפי צבעם כדי לתת משרעת בין צמחים כלורוטיים לבין צמחים ירוקים ובריאים.

הכלורופיל בעלים נבדק עבור כל עלעל בנפרד כאשר מכל עלעל נלקחו 4 בדיקות SPAD לקביעת ערך ממוצע. לאחר מכן נלקחו מאותו עלעל דיסקיות בעזרת מנקה חורים ובהן נקבע ריכוז הכלורופיל ע"י מיצוי ב-DMF (N,N-dimethylformamide) (Moran, 1982). לפי שיטה זו עלים טריים במסה שבין 12 מ"ג בעלים ירוקים עד 120 מ"ג בעלים כלורוטיים מאד נשקלים ומוכנסים למבחנה עם 1.2 מ"ל תמיסת DMF לא מהולה. העלים עם תמיסת ה-DMF מונחים בטמפרטורה קבועה (בחדר טמפרטורה, 25°C) ללא טלטול במשך לפחות 16 שעות. הבליעה בתמיסות נבדקה בשני אורכי גל, 664nm ו-647nm, בעזרת ספקטרופוטומטר.

תכולת ברזל פעיל וכללי נבדקה בעלים אשר קודם לכן נמדדו בעזרת מכשיר SPAD לקביעת ריכוז כלורופיל יחסי (על-פי ממוצע של 16 קריאות). הברזל הפעיל מוצה בשלושה אופנים: מיצוי ב-HCl בעלים טריים ומיצוי ב-*o*-ph בעלים טריים ובאבקת עלים מיובשים טחונים. מיצוי ב-HCl נעשה לפי Mehrotra et al. (1985). לפי שיטה זו עלים טריים, במשקל ידוע, נקצצו במספריים לחתיכות קטנות ככל שניתן, נכתשו במכתש ועלי עם 10 מ"ל תמיסת HCl 1N ולאחר סינון דרך נייר ווטמן 42 נקבע ריכוז הברזל במיצוי. משך הזמן בו העלים נמצאים בתמיסת ה-HCl עד לסינון הוא 20 דקות בדיוק. מיצוי ברזל פעיל ע"י *o*-ph (*o*-ph) orth-openanthroline לפי Katyal and Sharma (1980). בתמיסת 1.5% *o*-ph שהוחמצה ל-pH 3 עם HCl 1M. העלים נקצצו לחתיכות קטנות ככל שניתן במספריים ולאחר מכן הוספה התמיסה (5, 10 או 15 מ"ל תמיסת *o*-ph, בהתאם למסה של כל דוגמה) בבקבוקי סנטיילציה מזכוכית. לאחר 16 שעות סוננו התמיסות דרך נייר סינון ווטמן 42 וריכוז הברזל בהן נמדד. מיצוי ב-*o*-ph בחומר יבש נעשה באופן דומה: 250 מ"ג אבקת עלים מיובשים טחונים נשקלו לתוך בקבוק סנטיילציה מזכוכית. לכל בקבוק הוספו 5 מ"ל תמיסת *o*-ph והדוגמאות הונחו למשך זמן של 16 שעות. לאחר מכן הוספו 5 מ"ל מים מזוקקים להקלת הסינון דרך נייר ווטמן 42, וריכוז הברזל נקבע בתסנין. ברזל כללי נבדק לאחר עיכול של אבקת העלים המיובשים וטחונים. 100 מ"ג אבקת עלים יבשה נשקלו עבור כל דוגמה אל תוך מבחנת עיכול. לכל דוגמה הוספו 5 מ"ל חומצה חנקתית מרוכזת. לאחר שעתיים חוממו הדוגמאות עם החומצה לטמפרטורה של 80°C. לאחר גמר נידוף האדים החומים (שעתיים עד שלוש שעות) הוספו לכל דוגמה 2 מ"ל חומצה פרכלורית מרוכזת והחמימום נמשך עד לקבלת

תמיסה צלולה בנפח של כ-2 מ"ל (כשלוש שעות). לאחר העיכול הושלם נפח התמיסות ל-50 מ"ל בבקבוק מדידה. ריכוזי הברזל "הפעיל" והכללי נמדדו בעזרת ICP-AES.

ניסוי שדה לבדיקת הזנת אגוזי אדמה בברזל בקרקע לס גירנית

ניסוי השדה התקיים בחלקה ט' בגד"ש שחרו"ר (קיבוץ רעים). אגוזי אדמה מזן חנוך נזרעו באמצע אפריל, בערוגות, שלוש שורות בערוגה. הרכב מכני ותכולת גיר כללי בחתך הקרקע מוצגים בטבלה 1. הגורמים שנבדקו כללו כמות (8 רמות שונות, מ-0 עד כמות שקולה ל-4500 גר' FeEDDHA לדונם), מועד יישום הדשן (יסוד, ראש) ואופן היישום (בסיכות או בריסוס). הניסוי הוצב במבנה של בלוקים באקראי בחלקות מפוצלות: גורם ראשי דשן יסוד (0.5 ק"ג/ד' תכשיר ברזל, וללא ברזל) גורם משני דשן ראש שיושם בסיכות או בריסוס. בסה"כ נבחנו 20 טיפולים כמתואר בטבלה 2.

טבלה 1. הרכב מכני ותכולת הגיר בפרופיל הקרקע בחלקת הניסוי

עומק (ס"מ)	חול (%)	סילט (%)	חרסית (%)	גיר (%)
0-30	39	46	15	13
30-60	33	49	18	13
60-90	32	48	20	18

התכשיר ששימש כדשן יסוד בניסוי היה ליבפר (מחברת אפעל), שמכיל 6% ברזל בכלאציה עם EDDHA. דשן היסוד הוצנע בזילוף במועד הזריעה, בעומק של כ-5 ס"מ לתוך פס הזריעה. לאחר היישום והזריעה הושקה השטח בכמות של 30 מ"ק לדונם. דשן הראש היה בר-טיפ (תוצרת דשנים וחומרים כימיים). הכלאט בדשן זה הוא EDDHSA והוא משווק כתכשיר מומס במים שמכיל 0.95% ברזל.

גודל חלקה ראשית היה 9 ערוגות באורך 36 מ'. שיטת היישום לכל חלקה, בריסוס או בסיכות, הייתה אחידה, כמפורט בטבלה 2. המינון המפורט בטבלה ניתן לשלוש הערוגות האמצעיות, בעוד שבשלוש הערוגות מכל צד לערוגות הטיפול ניתן הברזל במינון הנהוג במשק. למחצית כל חלקה ראשית הוסף דשן יסוד עם הזריעה ולמחצית השנייה לא הוסף דשן יסוד. יישום דשן ראש בסיכות נעשה עם 2 סיכות לערוגה (בעומק של כ-12-15 ס"מ). היישום הראשון בסיכות בוצע 30 ימים לאחר הזריעה והיישום השני 61 ימים לאחר הזריעה (לקראת סגירת הנוף). טיפולי הריסוס ניתנו אחה"צ, זמן קצר לפני מועד ההשקיה, כך שמי ההשקיה החזירו את התכשיר אל בית השורשים. ריסוס ראשון יושם 30 ימים לאחר הזריעה ושאר המנות ניתנו בכל השקיה שנייה, בערך אחת לעשרה ימים (ריסוס אחרון ניתן קרוב לסוף יוני).

דיגום צמחים נעשה בשני מועדים. הדיגום הראשון היה חודש לאחר מועד הזריעה ויישום טיפולי היסוד, אך לפני תחילת יישום טיפולי הראש. הדיגום השני היה 71 ימים לאחר הזריעה, לאחר גמר יישום טיפולי הראש, למעט יישום המנה האחרונה של טיפולי הריסוס (טיפולים 13, 14, 15, 16, 17, 18, טבלה 2). הדיגום נעשה מהערוגה האמצעית מתוך השלוש, כדי למנוע השפעות קצה ואי דיוקים ביישום. בכל מועד דיגום נאספו מכל חלקה שישה עלים דיאגנוסטיים (העלה הבוגר הצעיר ביותר) לבדיקת תכולת יסודות ולמדידת הכלורופיל על פי

סה"כ ברזל לטיפול (יסוד+ראש) (גר'דונם)	דשן ראש				דשן יסוד (30) (גר'דונם)	טיפול מס'
	סה"כ ברזל (גר'דונם)	כמות ברזל ביישום (גר'דונם)	מס' יישומים	שיטת יישום		
90	60	60	1	סיכות	+	1
60	60	60	1	סיכות	-	2
90	60	30	2	סיכות	+	3
60	60	30	2	סיכות	-	4
150	120	120	1	סיכות	+	5
120	120	120	1	סיכות	-	6
150	120	60	2	סיכות	+	7
120	120	60	2	סיכות	-	8
270	240	240	1	סיכות	+	9
240	240	240	1	סיכות	-	10
270	240	120	2	סיכות	+	11
240	240	120	2	סיכות	-	12
90	60	12	5	ריסוס	+	13
60	60	12	5	ריסוס	-	14
150	120	24	5	ריסוס	+	15
120	120	24	5	ריסוס	-	16
270	240	48	5	ריסוס	+	17
240	240	48	5	ריסוס	-	18
30	-	-	-	-	+	19
0	-	-	-	-	-	20

* הכמויות מוצגות לפי כמות הברזל הכללית. הכמות בכל יישום הינה בהתאם לריכוז הברזל בתכשיר שניתן: 30 ק"ג ברזל ביסוד ניתנו כ-500 גר' ליבפר (6% ברזל); 9.5 גר' ברזל בטיפול הראש שקולים ל-1000 גר' של תמיסת בר-טיף (0.095% ברזל). הכמות הכללית המרבית (270 גר' ברזל לדונם, טיפולים 9, 11, 17) אקוויוולנטיות, לפי כמות הברזל, ל-4,500 גר' ליבפר.

עוצמת הבליעה האופטית בעזרת מכשיר SPAD. לצורך בדיקת היסודות נשטפו העלים במי ברז, הושרו במשך כחצי דקה בתמיסת HCl N 0.1, נשטפו במים מזוקקים ויובשו בתנור ב-70°C. לאחר טחינה והומוגניזציה נקבעה בהם תכולת הברזל הכללי ותכולת הברזל הפעיל (על ידי מיצוי ב-o-phenanthroline, על פי Katyal and Sharma, 1980). בסיום הגידול, 160 ימים לאחר הזריעה, נאספו התרמילים מקטע באורך 6 מ' בערוגה האמצעית (11.58 מ"ר) בכל חלקת ניסוי. התרמילים נשקלו ותת מדגם נשלח לקביעת איכות התרמילים (גודל, צבע) במכון מיון בבאר-שבע. הניתוח הסטטיסטי של התוצאות נעשה בעזרת תוכנת (SAS) JMP 7.0.

תוצאות

יציבות הכלאטים בקרקע לאורך זמן

לאחר הדגרה של הכלאטים בקרקע למשך שעה כבר נראו הבדלים בכמות הברזל הקשור לכלאט שמוצה מתוך הקרקע (טבלה 3). ריכוז הברזל במיצוי הקרקע עם ליבפר היה 0.63 מ"ג לליטר וריכוז הברזל במיצוי הקרקע עם Jaer היה 0.57 מ"ג לליטר. בשני תכשירים אלה הריכוז שהתמצה מהקרקע לאחר שעה אחת היה גבוה מהריכוז בתמיסת המקור. עליה זו מוסברת כנראה ע"י מעט הברזל המסיס בקרקע, כפי שהוא משתקף מריכוז הברזל בטיפול הביקורת (0.08 מ"ג לליטר). ריכוזי הברזל במיצוי הקרקע שעה לאחר יישום ברטיף, סקווסטרין 138, Fe-EDTA וקורטין היו 0.35, 0.33, 0.27 ו-0.22 מ"ג לליטר בהתאמה. הכלאט EDDHA אמור על-פי קבועי היציבות שלו (Martell et al., 2004) להישאר בקומפלקסציה מלאה עם ברזל תלת-ערכי, גם ב-pH גבוה ובריכוזי מתכות מתחרות האופייניים לקרקע זו. ההבדל שנצפה לאחר שעה בין שלושת תכשירי ה-EDDHA עשוי להעיד שבסקווסטרין 138, אשר בו רק כ-55% מהברזל המיושם נשאר בתמיסה בזמן זה, רק חלק מהברזל בתכשיר נמצא בפועל בכלאציה עם EDDHA. בזמנים ארוכים יותר נצפתה בכל התכשירים ירידה בריכוז הברזל המתמצה. דעיכת הריכוזים הבולטת ביותר בין הריכוז לאחר שעה לבין הריכוז לאחר 25 ימים הייתה בשני תכשירי ה-EDTA, ואילו היציבות הגבוהה ביותר נמצאה בתכשיר ברטיף, אשר הכלאט בו הוא EDDHSA. שלושת תכשירי ה-EDDHA הראו ערכי ביניים מבחינת יציבותם לאורך הניסוי, כאשר, על-פי השוואת הערכים לאחר 25 ימים לעומת לאחר שעה אחת, היציב ביותר היה התכשיר סקווסטרין 138.

טבלה 3. ריכוז הברזל (מ"ג לליטר) במיצויי הקרקע עבור הטיפולים השונים בזמנים של שעה, יום, שבוע, 17 ו-25 יום. בשורה האחרונה מובא אחוז הפיחות לאחר 25 יום ביחס לתמיסת המקור. אותיות שונות פירושו הבדל מובהק ($p \leq 0.05$) בין הטיפולים השונים בכל זמן בדיקה (מבחן Tukey-kramer HSD).

תכשיר כלאט	Jaer EDDHA	ברטיף EDDHSA	Seq 138 EDDHA	ליבפר EDDHA	קורטין EDTA	Fe-EDTA EDTA	בקורת
תמיסת יסוד	0.51	0.58	0.61	0.57	0.56	0.59	0.0
שעה	0.57 a	0.36 b	0.33 b	0.63 a	0.27 b	0.22 bc	0.08 c
יום	0.47 a	0.32 b	0.29 b	0.50 a	0.16 c	0.20 c	0.07 d
7 ימים	0.43 a	0.29 b	0.28 b	0.44 a	0.09 c	0.08 c	0.02 d
17 ימים	0.38 a	0.27 bc	0.23 c	0.31 b	0.04 d	0.05 d	0.02 d
25 ימים	0.23 ab	0.29 a	0.19 b	0.23 ab	0.03 c	0.02 c	0.05 c

חלחול דרך עצמודות קרקע במצב תת-רוויה

הקרקע בניסוי (חול אאולי) היא קרקע סיין חולית (הרכב מכני של 78.75% חול, 7.5% סילט ו-13.75% חרסית) בעלת שטח פנים סגולי של 98.6 מ"ר לגרם. תכולת הגיר הכללית – 11.34%. תכולת החומר האורגני – 1.13%. זמינות הברזל על-פי מיצוי ב-DTPA – 2.03 מ"ג לק"ג. תכולת המים בעמודות עם גמר הניקוז הראשון (על-פי נפח המים שנכנסו לעמודות פחות נפח הנקז המצטבר) הייתה בממוצע $0.32 (\pm)$ סטיית תקן של

0.04). בסוף כל שלב ניקוז הגיעה הקרקע למצב רטיבות זה. רמת ה-pH בנקז הראשון, לפני יישום הטיפול, הייתה בממוצע 8.07 (± 0.29). המוליכות החשמלית של הנקז הראשון הייתה 1.53 ds/m (± 0.25). בנקז האחרון, בסיום הניסוי, רמת ה-pH הייתה 8.63 (± 0.17) והמוליכות החשמלית הייתה 0.46 ds/m (± 0.05).

סך כמות היסודות שהודחו במהלך כל הניסוי (מצטבר ב-15 הפרקציות) מוצג בטבלה 4. כמות הסמן Br, שנוידה אל מחוץ לעמודות הקרקע הייתה קרובה לכמות שיושמה בתחילת הניסויים (1 מ"ג) ולא נבדלה בין הטיפולים השונים (למעט עמודת הבלנק אליה לא הוסף Br בתחילת הניסוי), עדות לאחידות גבוהה במשטר הזרימה בין הניסויים. כמות הברזל שנוידה אל מחוץ לעמודות הייתה שונה בין הטיפולים. בעמודות שטופלו ב-Jaer, סך הברזל שהודח מהעמודה היה הגבוה ביותר – 0.092 מ"ג, והתקרב לסך כמות הברזל שיושמה (0.1 מ"ג). בעמודות שטופלו ב-Libfer, Bartif ו-Fe-EDTA הודחה כמות של 0.076, 0.07 ו-0.064 מ"ג ברזל בהתאמה. בעמודה שטופלה עם סיקווסטרין 138 הודחה כמות נמוכה יותר של ברזל – 0.041 מ"ג בלבד, אולי

טבלה 4. כמות מצטברת של היסודות שהודחה מעמודות הקרקע במהלך 15 מחזורי ההשקיה והניקוז. טיפולי הברזל והברומיד כללו הוספת 0.1 מ"ג ברזל ו-1 מ"ג ברומיד. בביקורת הברומיד הוסף רק ברומיד כסמן (Tracer) ובביקורת נוספת ייושמו רק מים (Blank). אותיות שונות בתוך כל עמודה מציינות הבדל מובהק בין הטיפולים ($p \leq 0.05$, Tukey-kramer HSD).

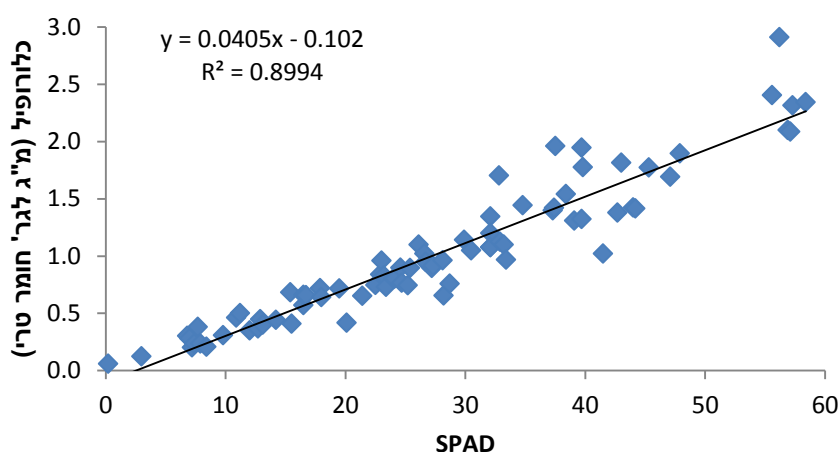
טיפולי	Br (mg)	Fe (mg)	Cu (μ g)	Mn (μ g)	Ca (mg)	Al (mg)	Mg (mg)
Fe-EDTA	0.92	0.064 B	0.24 C	0.19 AB	4.19	0.012	0.608
Seq 138	0.93	0.042 C	0.73 A	0.14 AB	4.57	0.009	0.709
Libfer	0.86	0.077 B	0.45 B	0.11 AB	4.57	0.007	0.693
Bartif	0.92	0.070 B	0.73 A	0.15 AB	4.37	0.032	0.689
Jaer	0.94	0.095 A	0.32 BC	0.20 A	4.02	0.004	0.684
Tracer	0.93	0.003 D	0.19 C	0.07 B	4.50	0.034	0.668
Blank	-	0.003 D	0.19 C	0.10 AB	4.29	0.009	0.478

בגלל תכולה נמוכה של ברזל המצוי בכלאציה, כפי שהוצע לעיל על סמך ניסוי ההזגרה. בעמודות הביקורת, שטופלה רק עם סמן ברומיד, ובעמודת הבלנק (יישום מים בלבד) כמות הברזל שהודחה הייתה 0.0032 ו-0.0035 מ"ג, בהתאמה. בדומה, נמצאו הבדלים גם בריכוזי השיא של הברזל (ממוצע לטיפול). עבור העמודות שטופלו עם Jaer, ברטיף וליבפר התקבלו ריכוזי שיא של 4.37, 3.72 ו-3.22 מ"ג לליטר, בהתאמה. ריכוזים אלה היו גבוהים באופן מובהק ($p < 0.05$) מריכוזי השיא שהתקבלו עבור העמודות שטופלו ב-Fe-EDTA (1.68 מ"ג ברזל לליטר) ובסיקווסטרין 138 (1.59 מ"ג ברזל לליטר). ריכוזי השיא של הברזל עבור העמודות שטופלו עם סיקווסטרין 138, ליבפר, ברטיף ו-Jaer, התקבלו בזמנים שלא נבדלו מזמן יציאת הסמן, לאחר יציאת פח נקבובים אחד בערך – עדות לאינטראקציה חלשה בלבד עם שטחי הפנים בקרקע. לעומת עמודות אלו, זמן יציאת שיא ריכוז הברזל בעמודות שטופלו ב-Fe-EDTA היה בערך כפול, כלומר לאחר מעבר שני נפחי נקבובים בקירוב, והוא מעיד על קיום אינטראקציה חזקה ועיכוב תנועה של כלאט זה בקרקע.

כמות הנחושת שהודחה נבדלה גם היא בין הטיפולים. בעמודות שטופלו בסקווסטרין 138 ובברטיף הודחו 0.73 מיקרוגרם נחושת, ובעמודות שטופלו בליבפר הודחו 0.45 מיקרוגרם נחושת. כמויות הנחושת שהודחו בעמודות שטופלו ב-Jaer (0.32 מיקרוגרם) וב-Fe-EDTA (0.24 מיקרוגרם) לא נבדלו זו מזו (בדרגת מובהקות של 0.05). כמות הנחושת שנוידה מהעמודה שטופלה בסמן בלבד הייתה זהה לזו שנמצאה בעמודת הבלנק (0.19 מיקרוגרם). לגבי כמות המנגן וכן לגבי הסידן והמגנזיום, לא ניכרו הבדלים בין התכשירים השונים.

בדיקת קריאות SPAD כמדד להזנת ברזל והקשר בינו למדדים אחרים

טווח ערכי ריכוז הכלורופיל בעלים במיצוי ב-DMF היה החל מ-0.06 מ"ג לגרם בעלעל הכלורופיל ביותר עד 2.34 מ"ג לגרם בעלעל הירוק ביותר. הקורלציה בין ריכוז הכלורופיל לבין הקריאות שהתקבלו במכשיר SPAD עבור עלי בוטנים הייתה $Y = 0.04X - 0.102$ ($R^2 = 0.899$) כאשר Y מציין את ריכוז הכלורופיל ביחידות של מ"ג כלורופיל לגרם עלים טריים ו-X מציין את ערך קריאת ה-SPAD (ציור 1). ביחידות של מ"ג כלורופיל ליחידת שטח של העלה מתקבלת נוסת הקשר הבאה: $Y = 0.098X - 0.248$ ($R^2 = 0.921$) כאשר Y מציין את ריכוז הכלורופיל ביחידות מ"ג לסמ"ר עלה ו-X מציין את ערך ה-SPAD.

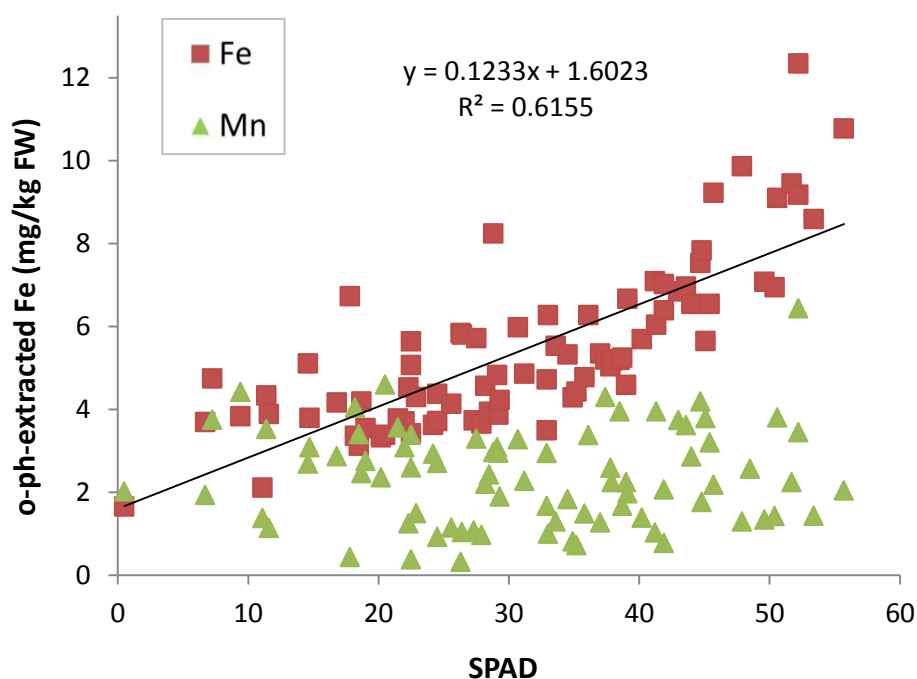


ציור 1. היחס בין ערכי SPAD לתכולת הכלורופיל בעלעל טרי (מ"ג לגרם).

בבחינת ההדירות של קריאות ה-SPAD בשדה נמצא שערכי ה-SPAD הנמדדים הם קבועים עבור צמח ספציפי לפחות בטווח של מספר שעות – הערך הנמדד עבור כל צמח, כפי שנמצא ע"י מיצוע 16 קריאות בשדה, לא נבדל מהערכים שהתקבלו בשתי מדידות חוזרות, כל אחת מורכבת ממיצוע 16 קריאות (ערך שאריתי residual) ממוצע של 2.3% עבור 5 צמחים). הקורלציה הגבוהה בין ריכוז הכלורופיל ביחידות מוחלטות אל מול הריכוז היחסי שנבדק במכשיר ה-SPAD וההדירות הגבוהה של הבדיקות בשדה מאפשרת להשתמש בכלי זה כמדד מהיר, אמין וקל לביצוע לריכוז הכלורופיל.

בדיקת תכולת יסודות בעלים מקובלת כדרך ישירה לבדיקת מצב ההזנה של הצמח ביסודות הזנה שונים. בספרות המקצועית קיימים נתונים רבים המצביעים על תחומי ריכוזים תקינים, או כאלה שמצביעים על מחסור או עודף של יסודות הזנה שונים, בהתאם לסוג הגידול, גיל העלים וכדומה. אולם, לגבי ברזל, נמצא בעבודה זו, כמו גם בעבודות קודמות, רמה גבוהה של היסוד בעלים (עד לערכים של 100 מ"ג ברזל לק"ג חומר יבש, ואף יותר), גם כאשר העלים כלורופיליים. לאחר שנבדק ונמצא העדר קשר בין קריאות ה-SPAD לבין ריכוז הברזל הכללי

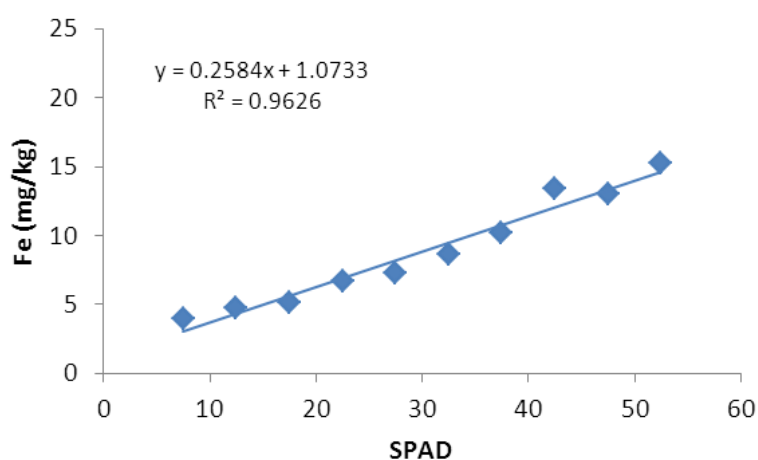
בעלים (נתונים לא מוצגים), נבדק הקשר של מדד ה-SPAD אל שלושה מדדי ברזל פעיל. מדד הברזל הפעיל נועד לבדוק האם מידת הכלורוזה של הצמח נובעת ממחסור בברזל או מבעיה אחרת כלשהי. מיצוי עלים טריים ב-HCl לא הראה קשר בין מדד ה-SPAD לבין ריכוז ברזל פעיל ($R^2 = 0.161$) ולכן נראה כי שיטה זו איננה מתאימה עבור בדיקת הזנת הברזל באגוזי אדמה. בניגוד, מיצוי עלים טריים ב-o-ph הראה קורלציה מובהקת בין קריאות ה-SPAD לבין ריכוז הברזל הפעיל, בעיקר בתחום שמעל ערכי SPAD של 40 (ציור 2). Rao וחוב' (1986) הציעו עבור שיטה זו ערך של 6 מ"ג ברזל לק"ג עלים טריים כערך המציינן סף מחסור בצמחי אגוזי אדמה. לפי הקשר שנמצא ומוצג בציור 2, ריכוז זה מתאים לקריאת SPAD של 36, ערך שמתאים לעלים מעט כלורוטיים. העדר הקשר בין ריכוז המנגן במיצוי לבין קריאות ה-SPAD מוצג גם הוא בגרף.



ציור 2. היחס בין ערכי SPAD לתכולת הברזל הפעיל במיצוי ב-o-ph מעלים טריים.

לכאורה מסתמן המיצוי המוצג בציור 2 כמתאים לבחינת מצב ההזנה בברזל, אולם המיצוי מחומר טרי סובל מחוסר אחידות רבה של החומר הצמחי ודורש ביצוע מהיר שאינו מתאים לבדיקה שגרתית במעבדות שרות לחקלאים. הטיפול בחומר יבש עונה על מגבלות אלו. בבדיקת ההתאמה של קריאות ה-SPAD למיצוי ב-o-ph מחומר צמחי יבש משלוש החלקות (רעים, נירים ונירים אורגני) (ציור 3) נמצאה התאמה טובה אף יותר מזו שהתקבלה מהמיצוי מחומר טרי, ונראה כי מיצוי זה יכול לשמש כבדיקה סטנדרטית לאפיון מצב ההזנה של אגוזי אדמה בברזל. ערך הסף המתקבל בהתאם לקריאת SPAD של 36 הוא 10.4 מ"ג לק"ג חומר יבש. כדי לבדוק האם ערך סף זה יכול לשמש גם בשדות אחרים נערכה בדיקה דומה לכל שדה בנפרד. ערכי הסף שהתקבלו עבור אותה רמת סף של קריאת SPAD היו (בערכי מ"ג לק"ג חומר יבש): 8.4 בנירים, 10.0 ברעים ו-12.7 בנירים אורגני. יש לציין כי בנירים אורגני, אך לא בשני השדות האחרים, נמצא קשר חיובי מובהק גם בין ריכוז המנגן לבין קריאת ה-SPAD. מנגן ידוע כאנטגוניסט לברזל בהזנת צמחים, ולכן ייתכן כי רמת הסף הגבוהה יותר של ברזל פעיל שנמצאה בחלקה האורגנית נובעת מריכוזי מנגן גבוהים יותר בחלקה זו. על סמך תוצאות אלו נראה

שערך הסף של מיצוי ברזל בשיטה זו הינו בערך 10 מ"ג לק"ג חומר יבש, אבל נדרשת עבודת כיוול נוספת בשדות נוספים, על גבי קרקעות שונות ובתנאי גידול שונים כדי לאשש את הערך המוצע.



ציור 3. היחס בין ערכי SPAD לתכולת הברזל הפעיל במיצוי ב-o-ph מעלים לאחר ייבוש וטחינה. הנתונים כוללים צמחים משלוש החלקות, רעים, נירים ונירים אורגני.

ניסוי שדה לבדיקת הזנת אגוזי אדמה בברזל בקרקע לס גירנית

הבדלים בגוון העלים נראו כבר בשלב ההתחלתי של הגידול כאשר צבע העלים בצמחים שלא דושנו ביסוד היה בהיר יותר בהשוואה לאלו שקבלו דשן יסוד בזריעה. הבדל זה בלט במשך כל החודש הראשון, עד לתחילת מתן טיפולי הראש. הצהבה בין-עורקית של העלים, המאפיינת מחסורי ברזל, נצפתה בחלק מהצמחים, אולם במועד זה לא נמצא הבדל מובהק בבדיקות ה-SPAD בין הטיפולים השונים וממוצע הערכים שהתקבלו בכל החלקות היה 40 ± 3 . במועד זה נדגם נוף של מספר צמחים מחלקות שקיבלו ברזל ביסוד ומחלקות שלא קיבלו ברזל ונבדקה בהם תכולת הברזל הכללי. לא היה הבדל מובהק בין הערכים שהתקבלו עם וללא דשן יסוד, 126.8 ו- 129.6 מ"ג לק"ג חומר יבש, בהתאמה. ריכוזים אלה נמצאים בתחום המדווח בספרות כתקין (Reuter and Robinson, 1986).

בטבלה 5 מוצגות תוצאות בדיקות העלים – רמת כלורופיל ותכולות הברזל הכללי והברזל הפעיל (מיצוי ב-o-ph מחומר צמחי יבש) בעלים שנדגמו 71 ימים לאחר הזריעה (12 ימים לאחר היישום השני בטיפולי הסיכות, אך לפני מתן היישום האחרון בטיפולי הריסוס), וכן היבול בתום העונה. ניתוח השונות המוצג הנו דו גורמי (דשן יסוד ודשן ראש). בכל המקרים שלא נמצאה השפעת גומלין מובהקת בין הטיפולים העיקריים מוצג ניתוח סטטיסטי להבדלים בין הטיפולים העיקריים.

ערך ה-SPAD ללא דשן יסוד (ממוצע כל טיפולי הראש, 34.5) היה קטן במידת מה, אך באופן מובהק ($p < 0.05$), מהערך שהתקבל עבור הטיפולים שקיבלו 30 גר' ברזל (500 גר' ליבפר) לדונם ביסוד (36.9). השפעת דשן הראש (ממוצע עבור שני טיפולי היסוד עבור כל טיפול ראש) הייתה בולטת ומובהקת יותר והתבטאה בטווח רחב של ערכים, מ- 27.4 בטיפול ללא תוספת דשן ראש עד ל- 38.9 עבור הטיפול שקיבל שני יישומים, כל אחד של 120 גר' ברזל לדונם, בסיכות. גם שאר טיפולי הראש בברזל הביאו לעלייה מובהקת ברמת הכלורופיל. טיפולי הראש השונים שקיבלו ברזל, למעט שני הטיפולים (13 ו-14) שקיבלו

טבלה 5. רמת הכלורופיל (קריאות SPAD) וריכוזי הברזל הכללי והפעיל בעלים 71 ימים לאחר הזריעה*, ויבול התרמילים בסוף הניסוי בטיפולים השונים. אותיות שונות מציינות הבדל מובהק בין הטיפולים ($p \leq 0.05$).

טיפול מס'	דשן יסוד (30 גר'/דונם)	דשן ראש		סה"כ ברזל לטיפול	תוצאות		יבול
		שיטת יישום	מס' יישומים		ברזל ברזל פעיל	ברזל כללי	
				גר'/דונם	- - מ"ג/ק"ג - -	ק"ג/דונם	
1	+	סיכות	1	90	72.5	11.2	612
2	-	סיכות	1	60	116.0	10.2	588
3	+	סיכות	2	90	74.9	11.9	576
4	-	סיכות	2	60	110.1	10.2	527
5	+	סיכות	1	150	79.5	12.6	590
6	-	סיכות	1	120	116.9	10.6	522
7	+	סיכות	2	150	75.0	11.9	596
8	-	סיכות	2	120	116.6	10.6	489
9	+	סיכות	1	270	79.8	11.5	498
10	-	סיכות	1	240	103.4	12.0	533
11	+	סיכות	2	270	82.8	11.5	570
12	-	סיכות	2	240	122.4	9.8	584
13	+	ריסוס	5**	90	67.9	9.6	664
14	-	ריסוס	5	60	118.8	8.7	605
15	+	ריסוס	5	150	84.8	11.3	691
16	-	ריסוס	5	120	136.7	9.3	631
17	+	ריסוס	5	270	71.5	12.8	745
18	-	ריסוס	5	240	111.4	11.4	580
19	+	-	-	30	73.7	9.1	601
20	-	-	-	0	170.7	6.9	413

השפעת דשן היסוד

614 a	11.3 a	76.2 b	36.91 a				+
547 b	9.96 b	122.3 a	34.49 b				-

השפעת דשן הראש

600	10.65 ab	94.2 b	37.36 ab	60/90***	1	סיכות	- / +	1,2
552	11.07 ab	92.4 b	35.39 ab	60/90	2	סיכות	- / +	3,4
556	11.58 a	98.2 ab	37.58 ab	120/150	1	סיכות	- / +	5,6
542	10.63 ab	95.75 b	37.16 ab	120/150	2	סיכות	- / +	7,8
515	11.73 a	91.60 b	38.74 a	240/270	1	סיכות	- / +	9,10
577	10.63 ab	102.6 ab	38.90 a	240/270	2	סיכות	- / +	11,12
635	9.12 bc	98.2 b	32.27 bc	60/90	5	ריסוס	- / +	13,14
661	10.29 ab	110.8 ab	36.10 ab	120/150	5	ריסוס	- / +	15,16
662	12.08 a	91.45 b	36.08 ab	240/270	5	ריסוס	- / +	17,18
507	8.02 c	122.2 a	27.44 c	0/30	5	ריסוס	- / +	19,20

* פירוט הטיפולים מובא בטבלה 3. ** עבור טיפולי הריסוס, עד למועד דיגום העלים ניתנו ארבעה מתוך חמשת היישומים, ובהתאם, כמות דשן הראש שניתנה עד למועד זה הינה 80% מהכמות הכללית לטיפול. *** הכמויות בהתאם לטיפול היסוד.

את המנה הנמוכה (12 גר' ברזל לדונם) בריסוס (ארבע פעמים עד למועד הבדיקה), לא נבדלו זה מזה וקריאת ה-SPAD עבורם הייתה בתחום צר של 35.4 עד 38.9. בניתוח סטטיסטי (לא מוצג) של השפעת טיפולי הראש בחלקות שלא קיבלו דשן יסוד קיימת מגמה דומה עם הבדלים בולטים יותר.

תחום ריכוזי הברזל הכללי בעלים בכל הטיפולים היה בין 56 ל-207 מ"ג לק"ג חומר יבש. ריכוזים אלה נמצאים כולם בתחום הנחשב כמתקין (Reuter and Robinson, 1986). בכל אחד מטיפולי הראש נמצא כי ריכוז הברזל הכללי בעלים גבוה יותר באופן מובהק ($p < 0.05$) בטיפולים שלא קיבלו ברזל ביסוד. ריכוזי הברזל הכללי בעלים של הטיפולים שקיבלו ברזל ביסוד היו כולם בתחום צר של 67.9 עד 84.8 מ"ג ברזל לק"ג חומר יבש ולא נבדלו זה מזה. עבור כל אחד מטיפולי הראש נמצא כי רמת הברזל הכללי בעלים הייתה גבוהה יותר בטיפול ללא דשן יסוד, וכל הריכוזים בחלקות שלא דושנו ביסוד היו גדולים מ-100 מ"ג ברזל לק"ג חומר יבש. יתר על כן, הריכוז הגבוה ביותר (170.7 מ"ג ברזל לק"ג חומר יבש) התקבל בטיפול הביקורת שלא קיבל ברזל גם בטיפול הראש. ריכוז זה נבדל במובהק ($p < 0.05$) מכל הטיפולים האחרים, מלבד טיפול הריסוס שקיבל 24 גר' לדונם בכל יישום (טיפול 16, 4 יישומים עד מועד הדגימה). התופעה בה רמת הברזל הכללי לא תואמת את הזנת הגידול בברזל מוכרת בספרות המקצועית וחוזרת על עצמה בניסויים השונים שבצענו בשנים הקודמות. העובדה כי קריאות ה-SPAD מצביעות על מופע ירוק ובריא יותר בטיפולים שקיבלו דשן יסוד נמצאת לכאורה בסתירה לריכוז הברזל הכללי הנמוך יותר בהם, מעידה אולי על כך שבצמחים שלא קיבלו ברזל ביסוד חלה שקיעת ברזל בחלקי העלים והקטנת ריכוז הברזל הפעיל בטיפולים ללא דשן יסוד ועקב כך המופע הכלורוטי שלהם.

דיון

ההבדלים הבולטים במידת היציבות של תכשירי הברזל השונים בתמיסת הקרקע, כפי שבאו לידי ביטוי לאחר זמן מגע קצר של שעה אחת מעידים על יציבות נמוכה של קשירת הברזל בחלק מהתכשירים. לגבי הכלאט EDTA ממצא זה מתאים לצפי על-פי קבועי הקשירה שלו לברזל ולמתכות המתחרות ב-pH של הקרקע הנבדקת, אולם לגבי התכשירים האחרים נראה שאיבוד הברזל מעיד על כך שחלק מהברזל בתכשיר נמצא ללא כלאציה, או בכלאציה למרכיבים בעלי אפיניות נמוכה לקשירת הברזל. בהתאם לכך נמצא שלגבי EDTA המשוכה ירידת ריכוז הברזל באופן מהיר, ולאחר שבוע או שבועיים הריכוז היה דומה לריכוז בקרקע הביקורת. לעומת זאת, בסקווסטרין 138, שבו הכלאט הקושר הוא EDDHA, כ-45% מהברזל אבד במהלך השעה הראשונה של המגע עם הקרקע, אבל הברזל שנשאר בתמיסה לאחר שעה אחת גילה יציבות גבוהה בהמשך ימי ההדגרה וכמעט 60% ממנו נשאר בתמיסה גם לאחר 25 ימים. בדומה, בבר-טיף, שהכלאט הקושר בו הוא EDDHSA, אבד כ-40% מהברזל במהלך השעה הראשונה, אולם הברזל שנותר גילה יציבות גבוהה ו-80% ממנו נותר בתמיסה לאחר 25 ימים. מבדיקת הניידות בקרקע עולה שלמעט ה-EDTA, הניידות של שאר התכשירים דומה זו לזו ודומה לניידות של סמן הברומיד המקובל כאינרטי. מכאן נובעת החשיבות של הקפדה על מניעת הדחה לעומק ע"י השקיה עזפת לאחר יישום של תכשירים אלה בשדה.

מבין מדדי הברזל הפעיל שנבדקו בעבודה נמצא כי המיצוי ב-1,10 o-phenanthroline מחומר צמחי יבש וטחון לאבקה דקה עמד בקורלציה טובה לרמת הכלורוזה ולטיפולי ההזנה בברזל. על סמך ההתאמה לרמת

הכלורופיל, הוצע בעבודה זו ערך של 10 מ"ג ברזל פעיל לק"ג חומר יבש כרמת סף, שערכים נמוכים ממנה מעידים על מחסור ברזל, אולם נמצא שבחלקות שונות ובתנאי גידול שונים הסף עלול להיות מעט שונה ונדרשת עבודה נוסת כדי לאשש את הערך המוצע.

המסקנה החשובה מניסוי השדה הינה התרומה המובהקת של מתן דישון בכלאט ברזל ביסוד. כמו כן נמצא שיישום בריסוס בחמש מנות עדיף על פני יישום בסיכות במנה אחת או שתיים. העלייה הגדולה ביותר בריכוזי הברזל הפעיל וביכול התקבלה ברמת היישום הגבוהה ביותר שניתנה בריסוס, אולם על פי הניתוח הסטטיסטי לא התקבלה תוספת מובהקת מעל רמת יישום של 150 גרם ברזל לדונם (שקול ל-2.5 ק"ג ליבפר או סקווסטרין 138 לדונם).

ספרות מצוטטת

אבידן, א., ד. יולס, ומ. סנה. 2004. סוגי דשנים וזבלים ואפיונם. משרד החקלאות ופיתוח הכפר, שרות הדרכה ומקצוע.

Alcañiz, S., M. Cerdán, M. Juárez, J.D. Jordá, D. Bermúdez, and A. Sánchez. 2005. Uptake of Fe(*o,o*-EDDHA) Isomers by Strategy I and II Plants. *Acta Hort.* 697:535-542.

Álvarez-Fernández, A., M.A. Sierra, and J.J. Lucena. 2002. Reactivity of synthetic Fe chelates with soils and soil components. *Plant Soil* 241:129-137.

Álvarez-Fernández, A., S. Garc'ia-Marco, and J.J. Lucena. 2005. Evaluation of synthetic iron(III)-chelates (EDDHA/Fe³⁺, EDDHMA/Fe³⁺ and the novel EDDHSA/Fe³⁺) to correct iron chlorosis. *Eur. J. Agron.* 22:119-130.

Barak, P. and Y. Chen. 1982. The evaluation of iron deficiency using a bioassay-type test. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46:1019-1022.

Barak, P. and Y. Chen. 1987. Determination of FeEDDHA in Soils and Fertilizers by Anion Exchange Chromatography. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51:893-896.

Bienfait, H.F., L.A. Deweger, and D. Kramer. 1987. Control of the development of iron-efficiency reaction in potato as a response to iron-deficiency is located in the roots. *Plant Physiol.* 83:244-247.

Chen, Y. and P. Barak. 1982. Iron nutrition of plants in calcareous soils. *Adv. Agron.* 35:217-240.

Elgala, A.M. and R.H. Maier. 1971. Effect of ethylenediamine di(*o*-hydroxyphenylacetic acid) application to soil columns on the distribution of certain nutrient elements in the water-soluble, acid-soluble and exchangeable forms. *Plant and Soil* 34:607-617.

Garc'ia-Marco, S., N. Mart'inez, F. Yunta, L. Hern'andez-Apaolaza, and J.J. Lucena. 2006. Effectiveness of ethylenediamine-N(*o*-hydroxyphenylacetic)-N'(p-hydroxyphenylacetic) acid (*o,p*-EDDHA) to supply iron to plants. *Plant Soil* 279: 31-40.

Garc'ia-Marco, S., F. Yunta, M.I.M. de la Hinojosa, G. Mart' , and J.J. Lucena. 2003. Evaluation of commercial Fe(III)-chelates using different methods. *J. Plant Nutr.* 26: 2009-2021.

- Garcia-Mina, J., R.G. Cantera, and A. Zamarreno. 2003. Interaction of different iron chelates with an alkaline and calcareous soil: a complementary methodology to evaluate the performance of iron compounds in the correction of iron chlorosis. *J. Plant Nutr.* 26:1943-1954.
- Katyal, J.C. and B.D. Sharma. 1980. A new technique of plant analysis to resolve iron chlorosis. *Plant Soil* 55:105-119.
- Lindsay, W.L. 1979. *Chemical Equilibria in Soils*. John Wiley & Sons, New York.
- Lucena, J.J. 2003. Fe chelates for remediation of Fe chlorosis in strategy I plants. *J. Plant Nutr.* 26:1969-1984.
- Lucena, J.J. and R.L. Chaney. 2006. Synthetic iron chelates as substrates of root ferric chelate reductase in green stressed cucumber plants. *J. Plant Nutr.* 29: 423-439.
- Marschner, H., V. Römheld, and M. Kissel. 1986. Different strategies in higher plants in mobilization and uptake of iron. *J. Plant Nutr.* 9:695-713.
- Martell, A.E., Smith, R.M., and Motekaitis R.J. 2004. Critically selected stability constants of metals complexes, NIST Standard Reference Database 46, Version 8.0. US Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg.
- Mehrotra, S.C., C.P. Sharma, and S.C. Agarwala. 1985. A search for extractants to evaluate the iron status of plants. *Soil Sci. Plant Nutr.* 31:155-162.
- Moran, R. 1982. Formulas for determination of chlorophyllous pigments extracted with n,n-dimethylformamide. *Plant Physiol.* 69:1376-1381.
- Orphanos, P.I. and C. Hadjiloucas. 1984. A laboratory test for screening iron chelates for use in alkaline soils. *Plant Soil* 77:401-404.
- Oserkowsky, J. 1933. Quantitative relation between chlorophyll and iron in green and chlorotic pear leaves. *Plant Physiol.* 8:449-468.
- Rao, J.K., K.L. Sahrawat, and J. R. Burford. (1987) 'Diagnosis of iron-deficiency in groundnut, *Arachis hypogaea* L. *Plant Soil* 97:353-359.
- Rengel, Z., G.D. Batten, and D.E. Crowley. 1999. Agronomic approaches for improving the micronutrient density in edible portions of field crops. *Field Crops Res.* 60:27-40.
- Reuter, D.J. and J.B. Robinson (eds.). 1986. *Plant Analysis*. Intaka Press, Melbourne.
- Sahrawat, K.L. 1988. Extractable iron in two soils of contrasting pH fertilized with ferrous sulfate, FeEDTA and FeEDDHA. *Fert. Res.* 16:31-35.
- Shenker, M. and Y. Chen. 2005. Increasing iron availability to crops: fertilizers, organo-fertilizers, and biological approaches. *Soil Sci. Plant Nutr.* 51:1-17.
- Siebner-Freibach, H., Y. Hadar, and Y. Chen. 2004. Interaction of iron chelating agents with clay minerals. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 470-480.
- Sönmez, S. and M. Kaplan. 2004. Comparison of various analysis methods for determination of iron chlorosis in apple trees. *J. Plant Nutr.* 27:2007-2018
- Zohlen, A. and G. Tyler. 1997. Differences in iron nutrition of two calcifuges, *Carex Pilulifera* L. and *Veronica Officinalis* L. *Annales Botany* 80:553-559.

סיכום עם שאלות מנחות

נא להתייחס לכל השאלות בקצרה ולעניין, ב-3 עד 4 שורות לכל שאלה (לא תובא בחשבון חריגה מגבולות המסגרת המודפסת).

שיתוף הפעולה שלך יסייע לתהליך ההערכה של תוצאות המחקר.

הערה: נא לציין הפנייה לדו"ח אם נכללו בו נקודות נוספות לאלה שבסיכום.

מטרות המחקר תוך התייחסות לתוכנית העבודה.
אפיון יציבות של מספר תכשירי כלאט ברזל בקרקעות בצלעות pH גבוה, בדיקת יציבות בקרקע
ובדיקת תנועה בצמודות בתת רוויה; בדיקת כמויות וממקי הנט אלוני אדמה ברזל
בקרקעות לס ולס חוליות של הנגה - ניסוי שדה; ביסוס מדד ה-SPAD כאמצעי אמין, מהיר,
ופשוט לבחינת רמת הכלורופיל השדה, הקבלת תוצאות SPAD בניסוי השדה למדדים שונים;
ביסוס מדד "הברזל הפציל" בצללים כמדד למצב ההננה ברזל.
עיקרי התוצאות.
המדדים ניכרים נמצאו ביציבות תכשירי כלאט-ברזל ובמידת ניידותם בקרקע. נמצא כי מדד
ה-SPAD הינו בצל הדירות גבוהה והאדירה קורלציה בינו לבין ריכוז הכלורופיל בצללים. נבחנו
שיטות למדידת "הברזל הפציל" מצלי אלוני אדמה, הוצעה שיטה מוצדקת והוצע ערך סף עבור
מדד זה. יישום ברזל ביסוד נמצא כתורם חשוב להננה ברזל. יישום בריסוס בחמש מנות נמצא
עדיף על פני יישום בסיכות במנה אחת או שתיים. הצליחה האדירה ביותר בריכוז הברזל הפציל
וביובל התקבלה ברמת היישום הגבוהה ביותר שניתנה בריסוס, אולם לא התקבלה תוספת
מופקת מצל רמת יישום של 150 גרם ברזל לדונם.
מסקנות מדעיות וההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו. האם הושגו מטרות המחקר לתקופת הדו"ח?
אפיון יציבות וניוד הברזל מהווה כלי חשוב לבחינת היציבות של תכשירי ברזל שונים.
בדיקת קריאות ה-SPAD מפריכה את הספקנות למדי מדד זה כמדד שדה לרמת הכלורופיל.
האדירת השיטה למדידת "ברזל פציל" מצלי אלוני אדמה והצעת רמת סף למדד זה עשויה לתרום
כלי אנליטי חשוב עבור הננת ברזל באדמה. מסקנות ניסוי השדה חשובות למדדים.
בעיות שנתרו לפתרון ו/או שינויים (טכנולוגיים, שיווקיים ואחרים) שחלו במהלך העבודה; התייחסות המשך המחקר
השאלות הזמניות של תכשירים שונים תוכננה להתבצע בצורת ביואסי, אולם הבדיקה נכשלה.
המורכבות הביולוגית והכימית של מדידת זה.
התאמת שיטת ייצוב הרכחן על פי תכונות הקרקע דורשת עבודת כיוף.
הפצת הידע שנוצר בתקופת הדו"ח: פרסומים בכתב - ציטוט ביבליוגרפי מקובל בפרסום מאמר מדעי;
תוצאות ניסוי השדה פורסמו בירחון "ניר ותלם" וההמלצות מוצגות אל החקלאים באזור.
שיטת מדידת "הברזל הפציל" הוכנסה לשימוש במעבדת שרות שדה (במח) וכבר נצעה בה שימוש.
פרסום הדו"ח: אני ממליץ לפרסם את הדו"ח: (סמן אחת מהאופציות)
☐ ללא הגבלה (בספריות ובאינטרנט) ✓
☐ חסוי - לא לפרסום: יש לצרף אישור ומידע ממוסד המחקר
האם בכוונתך להגיש תוכנית המשך בתום תקופת המחקר הנוכחי? כן* - לא -

יש לענות על שאלה זו רק בדו"ח שנה ראשונה במחקר שאושר לשנתיים, או בדו"ח שנה שניה במחקר שאושר לשלוש שנים •