

טיפול ברזל ורמת חמיצות פרי ההדר

משתתפים: דר' אבי צדקה, אסתר דהן, דוד חסדאי, נפתלי צור, שבתאי שפיצקי, זמיר עשור

תקציר

מחקר שערכנו על מנגנון הצטברות החומצה הציטרית בפרי ההדר העלה את האפשרות כי ריכוז הברזל בציפת הפרי עשוי לשחק תפקיד בתהליך. הצענו כי מחסור בברזל עשוי למנוע פירוק של החומצה לקראת הבשלת הפרי, וע"י כך להוריד את איכות הפרי. המנגנון האפשרי הנו עיכוב של הזרז אקוניטאז, אשר מפרק את החומצה, ודורש ברזל לפעילותו. בדיווח המוצג כאן, אנו מציגים ניסיונות בהם בדקנו האם ריכוזים בגופרת ברזל לקראת הבשלת הפרי עשויים לשפר את איכות הפרי, אולי ע"י שיפור פעילותו של הזרז. הממצאים העלו כי הריכוז אכן מעלה את רמת הברזל במיץ, אולם הדבר הנו זמני, והרמה יורדת תוך יום-יומיים. בפרק הזמן בו רמת הברזל הייתה גבוהה, אובחנה ירידה בחמיצות, אולם גם אפקט זה חלף תוך כיום. הניסיונות מורים כי הכוון המחקרי הנו חיובי, אולם דרושה עבודה נוספת על מנת ליעל את הטיפול ולהפכו לישומי.

הקדמה

רמת חמיצות גבוהה הנה גורם חשוב אשר מוריד במקרים רבים את איכות טעם פרי ההדר [5]. רמת חמיצות הפרי עולה בשלבים הראשונים של התפתחות הפרי, מגיעה לשיא כאשר הפרי מגיע למחצית מגודלו הסופי, ויורדת לקראת הבשלת הפרי [3]. מקובל כי ירידה לרמה סופית של כ- 1% המלווה ברמה מתאימה של סוכר, מביאה לאיכות פרי רצויה. עליה בחמיצות, או ירידה בערך ההגבה של המיץ (pH), מלווה בהצטברות חומצה ציטרית. במאמר נלווה למאמר זה, אנו מסבירים בפרוטרוט את הקשר בין שני הדברים, ומסכמים את הידע לגבי הצטברות של החומצה ציטרית (צדקה וחוב', 2001). ממצאינו העלו את חשיבות הזרז אקוניטאז לגבי הצטברות החומצה הציטרית. בשלבים הראשונים של התפתחות הפרי יש חסימת פעילותו של האקוניטאז המצוי במיטוכונדיה, וזה תורם לעליה ברמת החומצה. במחצית השנייה של התפתחות הפרי אובחנה עליה בפעילות אקוניטאז המצוי בציטוזול התא, והוא כנראה אחראי על השלב הראשון של פרוק החומצה הציטרית. זרז זה תלוי לפעילותו בברזל, ובתאי בעלי חיים התגלה כי הוא משחק תפקיד מכריע בקביעת רמת הברזל בתא. ההיפותזה אותה הצענו טענה כי מחסור בברזל גורם לפגיעה בפעילותו של האקוניטאז הציטוזולי. מאחר וזרז זה פעיל בפירוק החומצה, הרי הרעבה לברזל עשויה למנוע פירוקה, ובכך לפגום באיכות הפרי. אכן, עבודות מוקדמות בספרות מראות כי אכן שורשים ועלים מגיבים למחסור ברזל ע"י העלאה ברמת החומצות האורגניות, במיוחד ציטראט ומאלאט, אם כי המנגנון של תגובה זו לא נחקר דיו [1, 2, 6]. ממצאים אלו הביאו אותנו לחקור מעורבות של ברזל בהצטברות החומצה בפרי ההדר. המחקר בוצע במעבדה וכלל שימוש בתרבויות רקמה שמקורן משקיות מיץ. עבודה זאת הראתה כי לרעיון כי מחסור בברזל גורם לעליה ברמת החומצה הציטרית יש רגליים במציאות. כן היא מראה כי שחקן המפתח העיקרי בתגובה הנו האקוניטאז הציטוזולי. במקביל לעבודה זו שאלו את עצמנו האם תוספת ברזל לפרי בצמוד למועד הבשלתו מסוגלת ליעל את פירוק החומצה, וע"י כך לשפר את איכותו. בדיווח זה אנו מציגים תוצאות ממחקר זה.

שיטות וחומרים

הניסיונות נערכו בצפון הארץ בשני זני הדורים, "מינאולה" ו"הדס". בניסיון הראשון, בזן "מינאולה" בחוות המטעים בחולה, רוססו עצים, אשר נשאו פרות בגודל של 50 מ"מ לערך, בשני ריכוזים של גופרת ברזל, 0.2% ו-0.5% (בתוספת 0.05% משטח L77) בתאריך 15.10.99. הטיפולים בוצעו בארבעה בלקים באקראי עם שורת גבול, כשבכל בלוק שלשה עצים. בניסיון השני, בזן "הדס" בפרדס חולתה, רוססו באותם ריכוזים עצים אשר נשאו פרות בגודל 60 מ"מ בתאריך 5.4.00 (כשבוע לפני הקטיף). הטיפולים בניסיון זה בוצעו בחמישה בלוקים באקראי עם שורת גבול, כשבכל בלוק שלשה עצים. מכל בלוק בשני הניסיונות

נקטפו עשרים פרות מצד אחד של השורה, ובגובה של כמטר וחצי מעל פני הקרקע בזמנים שונים לאחר הריסוס. הפרות נסחטו ונבחנה רמת החמיצות במיץ בשיטת הטטרציה. ברזל במיץ ובעלים צמודי-פרי נמדד בשיטת השריפה היבשה ושימוש במכשיר ICP או Atomic absorption במעבדת השירות במיג"ל, קריית-שמונה.

תוצאות

השפעת ריסוס גופרת ברזל על ריכוז הברזל בעלים ובמיץ

התוצאות המראות קשר בין מחסור בברזל לעליה רמת חומצה ציטרית עוררו את השאלה האם ניתן להוריד את רמת חמיצות הפרי לקראת הבשלתו ע"י טיפול בברזל. הניסיונות בוצעו בשני זנים, "מינאולה" ו"הדס", אשר מתאפיינים ברמת חומצה יחסית גבוהה בעת ההבשלה. העצים רוססו בשני ריכוזי גופרת ברזל ונמדד בהם ריכוז הברזל בעלים, ריכוזו במיץ וכן רמת חמיצות של המיץ. בשני הזנים אובחנה עליה משמעותית בריכוז הברזל בעלים כבר אחרי 24 שעות (תמונה 2א- "מינאולה", תמונה 2ב- "הדס"). הריכוז הגבוה יותר של גופרת ברזל גרם להכפלת ריכוז הברזל בעלים. בזן "הדס" נבדקה רמת הברזל גם לאחר 48 שעות, ואובחנה ירידה קלה בריכוז הנמוך של גופרת ברזל (תמונה 1ב). ריכוז הברזל במיץ היה, בקירוב, פי מאה נמוך מאשר ריכוזו בעלים, ותאם את המתואר בספרות [6, 7]. גם במיץ ה"מינאולה" (תמונה 2 א) אובחנה עליה משמעותית בריכוז הברזל כבר אחרי 24 שעות, כאשר הריסוס ברמה הגבוהה של גופרת ברזל הביא לעליה רבה יותר בריכוז הברזל. אולם, עליית רמת הברזל הייתה זמנית, שכן לאחר כשבוע היא חזרה לרמת פרי הביקורת. ב"הדס" (תמונה 2ב), רמת הברזל במיץ הייתה דומה לזו שב"מינאולה", אולם השפעת הטיפולים הייתה פחות דרמטית, ואובחנה עלייה של בערך פי אחד וחצי בריכוז הברזל במיץ, ללא הבדל משמעותי בין הטיפולים. בזן זה אובחנה ירידה בריכוז הברזל כבר לאחר 48 שעות. כאן אובחן הבדל מסוים בין הטיפולים, שכן בריכוז הגבוה של גופרת ברזל, הירידה הייתה פחות משמעותית מאשר הטיפול בריכוז הנמוך. התוצאות עד כה מראות כי טיפול בגופרת עופרת אכן גורם לעלייה ברמת ברזל בעלים ובמיץ. אולם, לפחות לגבי המיץ, העלייה הנה חולפת ונעלמת לאחר 2-7 ימים.

השפעת ריסוס בגופרת ברזל על רמת חמיצות הפרי

השפעת הטיפולים בגופרת ברזל נבחנה גם על רמת חמיצות הפרי. ב"מינאולה" (תמונה 3א), אובחנה ירידה ברורה של כ-0.5% ברמת חמיצות המיץ ע"י טיפול בריכוז הגבוה של גופרת הברזל 24 שעות לאחר הטיפול. אולם, האפקט חלף, ולאחר 24 שעות נוספות חזרה רמת החמיצות לרמת זו של פרי הביקורת. תמונה דומה התקבלה גם בזן "הדס" (תמונה 3ב), אלא ששם, משום מה, דווקא הריכוז הנמוך של גופרת ברזל היה היעיל בהורדת רמת החמיצות. בכל אופן, כאמור, האפקט גם כאן חלף תוך 48 שעות מזמן הטיפול.

סיכום ומסקנות

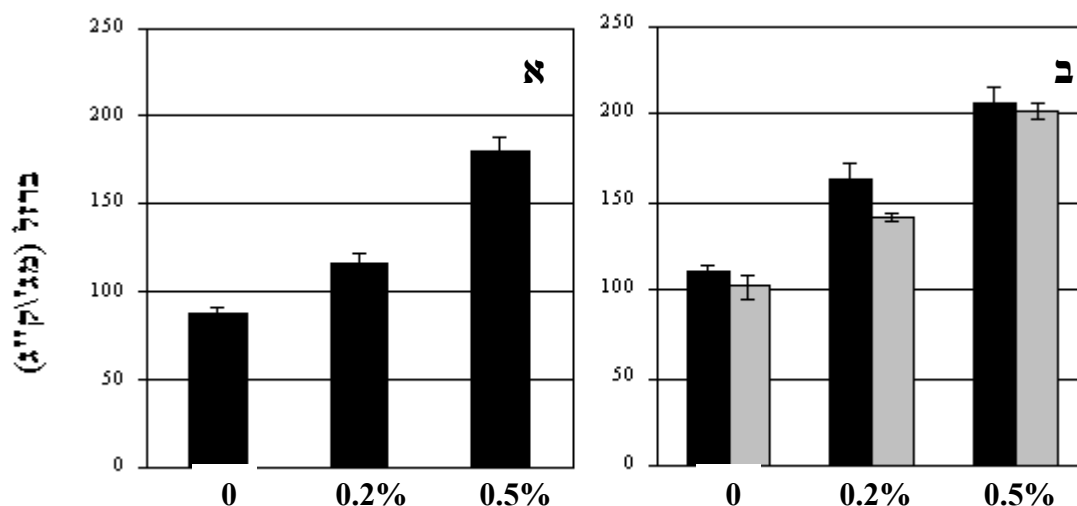
תוצאות מעבודת מעבדה הראו קשר ברור בין מחסור בברזל לעליה ברמת החומצות האורגניות. תוצאות מעבודה נוספת, מראות כי הזרז אקוניטאז המצוי בציטוזול יורד בפעילותו בהשפעת מחסור בברזל. זה יכול להסביר את העלייה ברמת החומצה הציטרית, תומך בהיפותזה שהעלנו. בעבודה הנוכחית ניסינו לבחון האם לידע זה עשויה להיות השלכה מעשית על הורדת חמיצות הפרי. התוצאות המוצגות תומכות בכך שהעלאה, ולו זמנית, של רמת הברזל בתא שקיק המיץ, עשויה להוריד את רמת החומצה בו. הנחתנו הנה שכאשר הברזל עולה יעילות פעולתו של האקוניטאז הציטוזולי עולה, והוא יכול לפרק חומצה ציטרית באופן יותר יעיל. הנחה זו יש עדיין להוכיח ע"י מחקר נוסף. המחקר יצטרך לתת תשובות גם לשאלות בסיסיות אחרות. למשל, מדוע העלייה ברמת הברזל הנה זמנית, ולהיכן הוא מסולק. שאלה בסיסית אחרת נוגעת לאפקט הזמני של הטיפול על רמת החומצה, והאם היא מיוצרת מחדש, לאחר הירידה ברמתה. מובן כי יש להמשיך גם בכוונים מעשיים ולנסות למצוא פורמולציה, או טיפול נלווה אשר ישמור על רמה קבועה גבוהה של ברזל. למרות שאין הדבר מובטח, יש להניח כי מצב כזה יעזור לשמור על מת חמיצות נמוכה בפרי, ולאפשר קטיף מוקדם של פרי איכותי.

ספרות

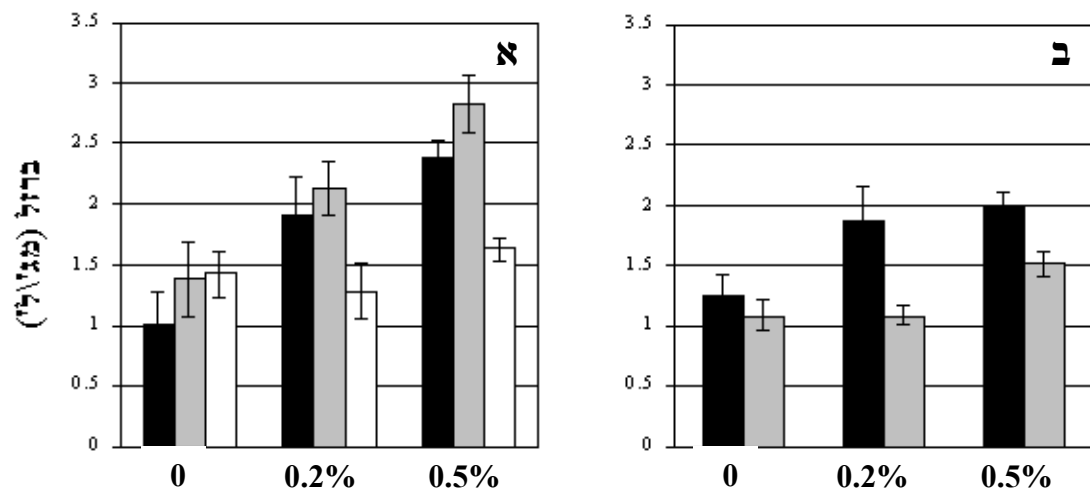
1. צדקה א. (2001). על חומצה וחמיצות פרי ההדר. הוגש לפרסום.
2. Clark R, B (1968): Organic acids of maize (*Zea mays* L.) as influenced by mineral deficiencies. Crop Sci 8:165-167.
3. DeKock PC, Morrison RI (1958): The metabolism of chlorotic leaves. 2. Organic acids. Biochem J 70:272-277.
4. Erickson, L.C. (1968): The general physiology of *Citrus*, p. 86-126. In: W. Reuter, L.D. Batchelor, and H.J. Webber (eds.). The Citrus Industry. Vol. 2. University of California, Berkeley.
5. Sadka A, Artzi B, Cohen L, Dahan E, Hasdai D, Tagari E, Erner Y (2000): Arsenite reduces acid content in *Citrus* fruit, inhibits activity of citrate synthase but induces its gene expression. J Amer Soc Hort Sci 125:288-293.
6. Sinclair WB (1984): The biochemistry and physiology of the lemon and other citrus fruits. University of California, Oakland.
7. Wallace A (1971): Regulation of the micronutrient status of plants by chelating agents and other factors. Edwards Bros., Inc., Los Angeles.
8. Walliban FE, Garber MJ, Hammon R, Printy WL, Rayner DS, Shapless RG (1977): Iron requirement studies of Naval Orange trees in solution cultures. Hilgardia 38:247-263.

נספח

תמונה מס' 1: ריכוז ברזל בעלים של "מינאולה" (א) ו"הדס" (ב) 24 שעות (שחור) ו-48 שעות (אפור) לאחר ריסוס בגופרת ברזל בריכוז המצוין בתמונה. ממוצע של 4 ("מינאולה") ו-5 ("הדס") חזרות עם סטיות תקן.



תמונה מס' 2: ריכוז ברזל במיץ של "מינאולה" (א) ו"הדס" (ב) 24 שעות (שחור), 48 שעות (אפור) ושבוע (לבן) לאחר ריסוס בגופרת ברזל בריכוז המצוין בתמונה. ממוצע של 4 ("מינאולה") ו-5 ("הדס") חזרות עם סטיות תקן.



תמונה מס' 3: חמיצות כללית במיץ של "מינאולה" (א) ו"הדס" (ב) 24 שעות (שחור), 48 שעות (אפור) ושבוע (לבן) לאחר ריסוס בגופרת ברזל בריכוז המצוין בתמונה. ממוצע של 4 ("מינאולה") ו-5 ("הדס") חזרות עם סטיות תקן.

