

הקשר בין תכולת הסיידן ובין נזקי קרינת השמש בפירות תפוז טבורי מזן "סקגס בוננזה" (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck)

א' גולומב, א' בר-עקיבא ז"ל*

תקציר

בחלקת ניסוי של עצי תפוז טבוריים מהזנים "סקגס בוננזה", "אטווד" ו"פרוסט נוצלר", הנטועים על חמש כנות שונות, נתגלה פגם-קליפה בלתי-מוכר אשר התפתח בין אמצע אוגוסט ובין אמצע אוקטובר בפלבדו של פירות שהיו חשופים לקרינת-שמש ישירה. הנזק הופיע רק בזן "סקגס בוננזה" ואילו פירות של הזנים "אטווד" ו"פרוסט" לא נפגעו כלל. בתחילה נראה הפגם ככתם שטחי, אפור-צהוב, בפלבדו, ובהדרגה התפתח שקע נקרוטי חום בקוטר של עד 30-40 מ"מ. פירות שכוסו במגיני קרטון להצללה לא נפגעו כלל.

בבדיקת הסיבות לפגם אובחנה השפעה מובהקת של הכנה הן על עוצמת התגובה של הפירות ל"מכת-שמש" והן על תכולת הסיידן בפלבדו. תכולת הסיידן נמצאה נמוכה יותר בצירופי זן-כנה שנפגעו יותר מן האחרים.

שני ריסוסים עוקבים של סידן-חנקתי 1% (משקל/נפח) שניתנו, בתחילת אוגוסט ובאמצע ספטמבר, לעצי בוננזה על כנת וולקמריאנה הפחיתו במידה מובהקת את מספר הפירות הפגועים (מ- $7.0 \pm 0.7\%$ בעצי הביקורת עד $2.1 \pm 0.3\%$ בעצי הניסוי. תכולת האשלגן נטתה להיות ביחס הפוך לתכולת הסיידן, אך לא נמצאה בכך עקיבות מוחלטת. בבדיקת תכולות המגניזיום והנתרן בפלבדו לא נמצאו הבדלים מובהקים או עקיבות בין עצי הניסוי והביקורת. תכולת החומר היבש בפלבדו הושפעה במידה מובהקת מכמה מהכנות: היא עלתה כאשר הכנה היתה טרוייר וירדה כשהכנה היתה וולקמריאנה. לא נמצא קשר כמותי בין תכולת החומר היבש בפלבדו ובין שכיחות הופעת הנזק. לסיכום, ההפרעה שנחקרה נראית כרגישות גנטית של הפלבדו של תפוזים טבוריים מזן "סקגס בוננזה" לקרינת-שמש ישירה. נראה כי עוצמת התבטאותה קשורה בנוכחות הסיידן ברקמה, כלומר, הרגישות גוברת בפירות כשתכולת הסיידן בהם נמוכה באופן יחסי ופוחתת לאחר אספקת סידן בריסוס. דפוס התנהגות זה אופייני להפרעות הקשורות בסיידן (Calcium-Related Disorders (CRD, כפי שהדגמנו בעבר לגבי פירות הדר אחרים.

מפרסומי מינהל המחקר החקלאי, סדרה ע', 1988, מס' 16.
* המחלקה להדרים, המכון למטעים, מינהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני, בית-דגן.

בשנות השבעים הראשונות יובאה מארצות הברית לישראל סלקציה של תפוז טבורי – *Citrus sinensis* (L.) Osbeck הידועה בשם "Skagg's Bonanza" Navel Orange (להלן: "בוננזה"). לפי הדיווחים מארצות הברית, לבוננזה יתרונות אחדים על הטיפוס המקורי "וושנינגטון טבורי" – "Washington" Navel Orange. ל"בוננזה" עץ קטן עד בינוני המתחיל להניב בגיל צעיר ונותן יבולים גבוהים ויציבים. הפירות מבכירים 7-10 ימים לפני הטבוריים האחרים, אך הם נוטים להיות קטנים, קליפתם דקה ועדינה מדי, ואין הם מצטיינים בעמידות ממושכת בתנאי משלוח לשוק. בחלקת ניסוי שנטעה בעכו מימשו עצי בוננזה את הציפיות לגבי גודל העץ, הפוריות וההבכרה, אך כבר מן היבולים הראשונים נתגלה בכמה מן הפירות פגם אופייני, אשר לא נמצאה התייחסות אליו בספרות. הפגם התפתח כצריבה שקועה בפלבדו, והוא הופיע תמיד בלחי הפרי החשופה לשמש ונראה כמה שנהוג לכוונת בשם "מכת שמש" (תאור מפורט ראה להלן בפרק "תוצאות").

בעבודה אחרת (1) נמצא בעלים של שתילי חושש, שגודלו בתמיסות מזון, קשר מובהק בין נזק-צריבה מוגבר מקרינת שמש ובין מחסור בסיידן שנגרם בשל העדר יסוד זה בתמיסת המזון. הנזק החריף כאשר התרחש תהליך המטאבוליזם של חיזור ניטראט, שתוצאתו היתה קשירת סיידן למלח בלתי-מיסים של אוקסלט (11). לעומת זאת נמנע הנזק כאשר החנקן סופק כאוריאה, דבר שהגביל את היווצרות האוקסלט וקשירת הסיידן המועט. רמז עקיף לקשר כזה בין קרינת-שמש ובין סיידן והפרעה פיסילוגית בעצי הדר נראה כבר בפגם הפחתת ("נוקס") האופייני לפירות תפוז מזן שמוטי (Shamouti Orange) שרקמת הפלבדו שלהם דלה בסיידן, באופן יחסי לפירות הדר מזנים אחרים. הפחתת מתפתחת במידה מובהקת בפירות חיצוניים ובלחי-פרי הפונות לכיוון היקף העץ. התברר שאפשר לצמצם את נזקה בעזרת תוספת סיידן ממקור חיצוני, בתנאי שתינתן על פני הפרי (11). עוד נמצא כי תגובה חיובית זו היא ייחודית לסיידן, בלא תלות באניונים המלווים אותו – ניטראט, כלוריד, או הידרוקסיד.

פגמים בפירות ובירקות כתוצאה של מאזן סיידן לא-תקין ברקמות מוכרים בגידולים רבים ושונים. בשנת 1936 דווח בפעם הראשונה שקיים קשר בין רמת סיידן נמוכה בפירות תפוז-עץ ובין שכיחות הופעתה של "מחלה פיסילוגית" הידועה כיום בשם "גומה מרה" (8). התברר כי המחלה חריפה בזני תפוז אחדים וכמעט בלתי-מוכרת בזנים אחרים (15, 27). לאחר מכן הוכח קשר נסיבתי בין תופעות שונות של ניוון והתמוטטות רקמות בגידולים חקלאיים ובין מחסור כולל או אי-ספיקה מקומית של סיידן. בסקירתו של שיר (20) מתוארות 35 תופעות אשר 10 מהן מתייחסות לתופעות ניווניות שונות בפירות של תפוז-עץ והשאר בפירות של: אגס, אבוקדו, מנגו, דובדבן, שיזף, פלפל, עגבניה, אגוז-אדמה ואבטיחים, או באברים וגטאטיביים של: שעועית, כרוב, חסה, סלרי, גזר, תפוז-אדמה, תות-שדה ועוד. בסקירתו של סימון (23) מתוארת גם תופעה של התמוטטות הגבעול בפרחי צבעוני ובצמחי חמניה. התופעות הניווניות מתגלות במהלך גידולם של הצמחים (10, 17, 20), אך בכמה מקרים הן מתפתחות או מחמירות בתקופת האיסוס שלאחר הקטיף (21). אפשר לחלקן לחמש קבוצות: הסתדקות פירות, הצטברות נוזלים בחללים הבינ-תאיים, היווצרות שקעים וגומות בפירות, נקרוזה של רקמה צעירה (קדוקוי צמיחה, היפוקוטייל) ונקרוזה של רקמת עלה (23). בגלל ריבוי וחשיבותן הכלכלית של התופעות הללו מושקעים מאמצים ניכרים בחקירתן ובלימודן, ואף יחד להן שם כולל: "הפרעות הקשורות בסיידן" [הפק"ס – Calcium Related Disorders (CRD)].

- נראה שלסידן יש שלושה תפקודים שהם בעלי חשיבות פיסיולוגית בהקשר זה:
1. הסידן מצוי בדופן התא כשהוא קשור לפקטין בקשר אשר מהותו אינה ברורה. נוכחותו שם מקנה לדופן קשיחות וחוזק (29, 5);
 2. הסידן משתתף בבנייה ובקיום תקינים של מערכות הממברנות בציטופלסמה (16). נוכחותו הסידן מקטינה את החדירות הסבילה של הממברנות ליונים ולמים, ומגבירה את כושרן לקליטה שלקטיבית (9).
 3. הסידן חיוני לתהליך חיזור הניטראט לאמון בצמחים (7, 25). עדיין לא ברורים פרטיו של תהליך זה, אך ידוע שבעקבותיו יש הצטברות ברורה של אוקסלט-הסידן ברקמות הפעילות במטאבוליזם הזה (12, 14).
- מלבד התפקודים שפורטו לעיל, מייחסים לסידן עוד כמה תפקודים פיסיולוגיים (5, 22, 29).

המקרים של תכולת סידן נמוכה ברקמות עצי-הדר נחשבים לנדירים מאוד וזוהי כנראה הסיבה למיעוט המחקרים העוסקים בחקר בעיות הקשורות במשק הסידן בהדרים. בעבודה קודמת (1) נמצא כי בפירות הדר עלולים להיווצר מצבים של "מחסור יחסי" בסידן לצרכים פיסיולוגיים מסויימים. התברר כי תוספת קטנה של סידן הניתנת ישירות על פניהפרי עשויה לשפר את עמידתו.

בעבודה המתוארת במאמר זה נחקרה תופעת "מכות השמש" בתפוזי בוננזה. מטרות העבודה היו: 1. ללמוד ולתאר את נסיבות התפתחות התופעה ואת צורתה; 2. לברר אם קיים קשר בין ריכוז כלל הסידן בפלבדו של פירות תפוזי בוננזה, או בין קיבוע הסידן למלח אוקסלט לא-מסיס, ובין שכיחות ההופעה של הנזק; 3. לברר אם תוספת סידן ממקור חיצוני עשויה לצמצם את הנזק.

שיטות וחומרים

ביולי 1975 ניטעה בחוות הניסויים האזורית בעכו חלקת-מבחן השוואתית ובה נבחנו שלושה טיפוסים תפוזים טבוריים מיובאים: 'Skagg's Bonanza' Navel Orange (להלן: "בוננזה"); 'Frost Nucellar' Navel Orange (להלן: פרוסט); ו-'Atwood' Navel Orange (להלן: "אטווד").

כל אחד מן הטיפוסים האלה ניטע על חמש כנות, ארבע מהן ידועות כעמידות למחלת הטריסטזה: וולקמריאנה (*Volkameriana*), לימה רנגפור (*Citrus aurantifolium*), Rangpur Lime, תלת-עלה (*Poncirus trifoliata*), המכלוא טרוייר (*Troyer Citrange*), וחושש (*C. aurantium*), הכנה שהייתה מקובלת בעבר. כל צירוף טיפוס-כנה ניטע ברצף של שלושה עצים, בחמש חזרות, ובשיטת אקראיות מוחלטת.

כל המבחנים המפורטים להלן נעשו בחלקה הנ"ל.

תיאור ופנולוגיה של תופעת "מכות השמש": החל מאמצע יולי ועד למועד הקטיפה באמצע נובמבר נערכו הסתכלויות שבועיות בחלקה כדי לעקוב אחר הופעת סימני הנזק של צריבות בקליפת הפרי. תיאור שלבי התפתחותם של הסימנים הללו נרשם וצולם.

בדיקת הקשר בין הופעת הנזק לבין קרינת שמש ישירה: 100 פירות נבחרו מעצים לא-מטופלים בסידן מחלקי עץ חשופים לשמש. באמצע יולי כוסו באקראי 50 פירות

ב"מצחיות" קרטון להצללה, והפירות האחרים נשארו חשופים לשמש. בעת הקטיפ מוינו ונספרו הפירות הפגועים מקרינת השמש לעומת פירות הטיפול המוצל.

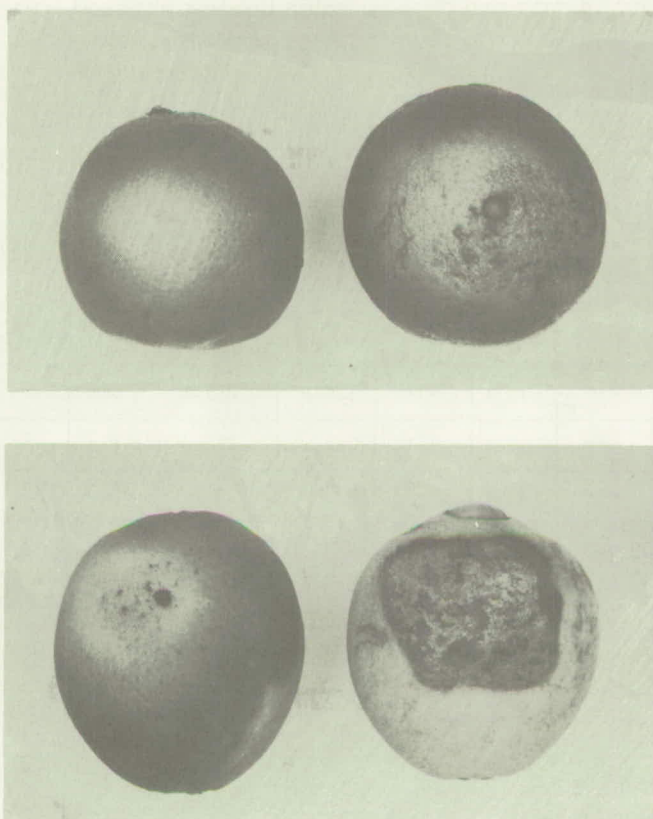
השפעת טיפולי ריסוס בסידן על נזקי הצריבות בפרי: בתחילת אוגוסט ובאמצע ספטמבר רוססו שמונה (מתוך 15) עצים של תפוזי בוננזה על כנת וולקמריאנה בתמיסת סידן-חנקתי בריכוז של 1% (משקל/נפח) בתוספת המשטח "טריטון B 1956", בריכוז של 0.025%. שאר שבעת העצים שימשו כביקורת ורוססו במים מזוקקים. לא השתמשנו במי-ברז מאחר שבניסויים קודמים נמצא שגם ריכוז הסידן המועט שבמים יכול להשפיע בחיוב על נזקי הפחתת בשמוטי (1). בעת הקטיפ (באמצע נובמבר) מוינו ונספרו הפירות הפגועים בעצי הביקורת ובעצים שטופלו בסידן.

אנאליזות מינרליות: באמצע אוקטובר נדגמו באקראי, מעצים לא-מטופלים בסידן, חמישה פירות לא-פגועים מכל עץ, ובפלדו שלהם נעשו אנאליזות מינרליות. מן הפירות הטריים הוסרה רקמת הפלבדו (בעזרת סכין לקילוף ירקות), והיא נשקלה והוכנסה לייבוש בתנור בחום של 75°C. לאחר קביעת המשקל היבש נטחן החומר לאבקה ומכל מדגם נשקלו 0.5 גרם לשריפה בכבשן בטמפרטורה של 500°C. האפר הומס בחומצת מלח, נמהל במים מזוקקים ושימש לקביעת תכולות הסידן, המגניזיום, האשלגן והנתרן (6). האנאליזות הכמותיות נעשו בשיטות שתוארו בעבר (19). האשלגן והנתרן נקבעו בפורטומטר-להבה, הסידן והמגניזיום – לפי הבליעה האטומית.

הפרדת הסידן לפי מקטעי מסיסות: מכל מדגם מיובש נשקל גרם אחד למיצויי הפרדה עוקבים של תרכובות הסידן, לפי מקטעי המסיסות שלהן בממסים שונים (3), לשם קביעת הכמות של: סידן מסיס במים, סידן חליף כנגד נתרן, סידן קשור (מסיס בחומצת-חומץ) וסידן כמלח-אוקסלט (מסיס בחומצת-מלח).

תוצאות

תופעת הנזק נמצאה אופיינית לזן בוננזה ולא הופיעה כלל בתפוזים הטבוריים אטווד ופרוסט. הסימנים הראשונים נראו לעין בסוף אוגוסט וסימני נגיעות חדשים לא נוספו לאחר אמצע אוקטובר. בתחילה נראה שינוי גוון בפלבדו מירוק לאפור או לצהוב בהיר. בבחינת הפגם בהגדלה נראו תאי השמן האתרי מצומקים ומרוקנים מתכנסים. במשך 15-25 הימים הבאים הלך וגדל היקפו של השטח הפגום והתבלט הצבע הצהוב. בשלב הבא התחיל שטח הפגם להתייבש וצבעו הפך חום, ואילו רקמת הפלבדו באותו המקום החלה לשקוע. בשלב הבא הלכה ההתייבשות והתפשטה בהדרגה על פני מרבית השטח הפגום. עומק שטח הפגם לא עבר את קליפת הפרי וקוטרו הגיע עד 30-40 מ"מ או קצת יותר. פרט לפגימת הקליפה לא נגרם עיוות בצורתו הכללית של הפרי. בכך שונה הפגם הזה מן הפגמים הידועים כ"מכת שמש" בפירות הדר אחרים (תפוזי שמוטי, אשכוליות, לימונים ואחרים), שבהם נגרם עיוות בולט בצורת הפרי – עקב הפסקת גידולו של האזור הפגוע כבר משלב מוקדם של התפתחות הפרי – באופן יחסי לחלקי הפרי הבריאים שגידולם לא הופרע. תמיד ובלי יוצא-מין הכלל נמצא הפגם האופייני לתפוזי בוננזה על לחי-פרי שהיו חשופות לקרינת-שמש ישירה. ואולם, תופעת הנזק לא התפתחה כלל בפירות רבים אחרים שהיו מצויים על אותם העצים ובאותם התנאים. עובדה זו מצביעה על רגישות שונה של פירות לקרינת השמש.



תמונה 1: צורות התפתחות שונות של מכת-שמש בתפוזי "בוננזה". למעלה משמאל – שלב הנזק הראשון: שינוי צבע בפלבדו, לפני התפתחות כתמי נמק יבשים; למטה משמאל – כתמי נמק ראשוניים; למעלה מימין – התפשטות כתמי נמק נוספים; למטה מימין – התפשטות הנמק היבש על פני כל האזור הפגוע.

Plate 1: Different forms of Sun Scald disorder on 'Skagg's Bonanza' Navel Oranges. Top left, early stage of discoloration, prior to the development of necrotic areas; bottom left, first stages of necrosis; top right, increased necrosis; bottom right, fully developed, dry necrosis.

ב-50% הפירות שהוכנסו לתנאי צל על-ידי כיסויים מקרטון לא התפתח הפגם כלל. לעומת זאת נמצאו פגומים 24% מפירות הביקורת שנשארו חשופים לשמש. מכאן שקרינת השמש הישירה היא הגורמת לפגיעה ברקמות הפלבדו של פירות רגישים, ואפשר להגדיר את הפגם כצורה מיוחדת של "מכת שמש" המתפתחת באופן ייחודי בתפוזי בוננזה.

מבדיקות הנגיעות (טבלה 1) עולה בבירור כי אפילו בקרב עצי בוננזה, הנגיעות רבה באופן מובהק בפירות העצים שעל גבי הכנות תלת-עלה, וולקמריאנה וטרוייר לעומת פירות שעל גבי הכנות חושש ורנגפור. מהאנאליזות הכימיות (טבלה 1) מתברר כי ריכוז סידן נמוך מאוד בפלבדו, מאפיין את הפירות הגדלים על גבי הכנות הרגישות.

טבלה 1: ריכוז הקאטיונים העיקריים בפלבדו של פירות תפוז טבורי מזן "סקגס בוננזה" על גבי חמש כנות ונגיעות הפירות ב"מכת-שמש"¹

Table 1: CONCENTRATION OF MAJOR CATIONS IN THE FLAVEDO OF SKAGG'S BONANZA NAVEL ORANGES ON FIVE ROOTSTOCKS, AND INCIDENCE OF FRUIT AFFECTED BY THE SUN SCALD DISORDER¹

| פירות נגועים Affected fruit (%) | נתרן Na | אשלגן K | מגניז Mg | סידן Ca | חומר יבש Dry Matter (%) | הכנה Rootstock |
|---------------------------------------|------------|------------|-------------|------------|-------------------------------|-------------------------|
| 0.9 ב | 0.10 | 1.12 ב | 0.14 | 1.19 א | 26.9 אב | חושש Sour orange |
| 1.5 ב | 0.08 | 1.13 ב | 0.11 | 0.87 אב | 28.2 א | רנגפור Rangpur lime |
| 7.0 א | 0.08 | 1.05 ב | 0.11 | 0.75 ב | 24.7 ב | וולקמריאנה Volkameriana |
| 11.2 א | 0.08 | 1.49 א | 0.11 | 0.68 ב | 26.8 אב | תלת-עלה Trifoliolate |
| 6.5 א | 0.08 | 1.67 א | 0.13 | 0.56 ב | 28.9 א | טרוייר Troyer citrange |
| 5.4 | 0.08 | 1.29 | 0.12 | 0.81 | 27.1 | ממוצע לזן Average |
| * | N.S. ל"מ | * | N.S. ל"מ | * | * | המובהקות Significance |

¹ הריכוז של הקאטיונים ניתן באחוזים מן החומר היבש (ח"י). הנתונים האנאליטיים הם ממוצעים של חמש חזרות. מספר הפירות שמינו לקביעת נגיעות ב"מכת-שמש" – כ-500 לכל כנה. ניתוח השונות, לפי דונקן, נערך בתוך כל טור. כל המספרים שמסומנים באות שונה נבדלים מהאחרים ברמת מובהקות של 95% (*). ל"מ = לא מובהק.

¹ Cation concentrations are given as percent of dry matter. Analytical data are averages of five replicates. Sun Scald incidence was determined in 500 fruits per rootstock combination. Statistical analysis within columns, by Duncan's Multiple Range Test, $P = 0.05(*)$. N.S. = not significant.

מבדיקות המיקטעים של תרכובות הסידן בזן בוננזה נראה, לפי מסיסותן (טבלה 2), כי אף באחד מן הצירופים אי אפשר לומר בוודאות שקיבוע סידן כמלח-אוקסלט לא-מיסים הוא ההסבר לאיזמניות הסידן לצורכי חיזוק המיבנה של ריךמות הצמחיות. ההיפך הוא הנכון: על כל ארבע הכנות שאינן חושש נמצאו ריכוזי סידן-אוקסלט נמוכים במיוחד, הן באופן המוחלט והן באופן יחסי לריכוזי הסידן הכללי שבכל אחת מהן. מן הראוי עוד לציין כי בדרך כלל הסתכמו כל מיצויי הסידן, שהופקו כסידרת מיקטעים הנמסים בממיסים השונים, בכ-95% מכמותו הכללית של יסוד זה, כמות שנקבעה במידגם מקביל בשיטת השריפה ומוצגת בטבלה 1.

טבלה 2: התפלגות תרכובות הסידן בפלבדו של הזן בוננזה לפי מקטעי מסיסות¹

Table 2: SEPARATION OF CALCIUM COMPOUNDS IN THE FLAVEDO OF SKAGG'S BONANZA NAVEL ORANGES BY SOLUBILITY FRACTIONATION¹

| % מכלל הסידן בפלבדו % of total calcium in the flavedo | | | | הכנה Rootstock | |
|---|---|---------------------------------------|--------------------------------|-------------------|-----------------|
| מסיס בחומצת-מלח HCl-soluble | מסיס בחומץ Soluble in acetic acid | חליף כנגד נתון Na- exchangeable | מסיס במים Water- soluble | | |
| א 40 | 8 | 40 | 12 | חושש | Sour orange |
| אב 21 | 13 | 54 | 12 | רנגפור | Rangpur lime |
| אב 26 | 12 | 55 | 12 | וולקמריאנה | Volkameriana |
| אב 23 | 13 | 51 | 13 | תלת-עלה | Trifoliate |
| ב 10 | 14 | 61 | 14 | טרוייר | Troyer citrange |
| 24 | 12 | 52 | 13 | ממוצע לזן | Average |
| * | ל"מ N.S. | ל"מ N.S. | ל"מ N.S. | המובהקות | Significance |

¹ כל נתון הוא ממוצע של חמש חזרות, מעוגל למספרים שלמים. תכולת הסידן המוחלטת של סה"כ המיקטעים היא כ-95% מריכוזי הסידן המקבילים המפורטים בטבלה 1. ניתוח השונות ברמת מובהקות של 95% (*), לפי דונקן, לאחר תיקון מתאים. ל"מ = לא מובהק.

¹ Each figure is the average of five replicates. The cumulative totals of Ca recovered by fractionation were ~95% of the respective totals, determined by direct analyses, appearing in Table 1. Statistical analysis within columns, by Duncan's Multiple Ranges Test, $P = 0.05(*)$. N.S. = not significant.

לשני ריסוסים עוקבים של סידן-חנקתי היתה השפעה חיובית מובהקת מאוד על עצי בוננזה שהיו מורכבים על כנת וולקמריאנה: $2.1 \pm 0.3\%$ פירות גוועים נמצאו בעצים המרוססים, לעומת $7.0 \pm 0.7\%$ בעצי הביקורת הלא-מטופלים.

נקודות אחרות הראויות לציון מבין תוצאות הבדיקות האנאליטיות של הפלבדו (ראה טבלה 1) הן:

1. תכולת החומר היבש ירדה כשהעצים היו מורכבים על כנת וולקמריאנה, ולעומת זאת היא עלתה על כנת טרוייר;
2. תכולת האשלגן היתה גבוהה במידה מובהקת בעצים שעל גבי הכנות תלת-עלה וטרוייר, לעומת הכנות האחרות. מצב זה צפוי בדרך כלל בתנאים הגורמים להפחתת תכולת הסידן (24, 18), אבל תופעה כזאת לא נמצאה בפירות בוננזה על גבי הכנה וולקמריאנה, וגם אלה היו דלים למדי בסידן;
3. לא נמצאו כל הבדלים מובהקים, או עקיבים, בריכוזי המגניזיום או הנתרן על הכנות השונות.

דיון ומסקנות

לפי ואלאס וסופי (28), ריכוז הסידן המיזערי הנחוץ בוודאות לשמירת חקינותן של רקמות פירות, פקעות ושורשים הוא כ-0.2% ממשקל החומר היבש, אך הם משערים כי גם 0.08% ואף פחות עשויים להספיק. בניסויים שנערכו בתפוחי-עץ סבלו 44% מפירות הביקורת מ"גומה מרה" וריכוז הסידן בהם היה רק 30 ח"מ למשקל טרי. ריסוסים בסידן העלו את ריכוזו בפירות ל-48 ח"מ והפחיתו את שיעור הפירות הפגועים לכ-8% מכלל הפירות (26). לעומת זאת, בפלבדו של התפוזים הטבוריים שבדקנו (בוננזה×טרוייר) נמצא ריכוז מיזערי של כ-1950 ח"מ סידן ממשקל טרי, דהיינו – כמעט פי 40 מאשר בתפוחי העץ המטופלים! הפער נשאר גדול מאוד גם לאחר ניכוי מיקטע הסידן האוקסלטי הלא-מסיס. יש אפוא מקום לשאלה: האם בכלל יתכן שבשני המקרים מדובר בהפרעות פיסילוגיות דומות? המצב בפועל הוא שאין די מידע על תקנים חד-משמעיים של תכולת הסידן הקריטית הנחוצה ברקמות, והשיפוט צריך להתבסס על הנתונים האמפיריים הרלוואנטיים לכל מקרה. ואלאס וסופי (28) מסכמים זאת במילים האלה: "שאלת צורכי הסידן של הצמחים היא מאוד לא-ברורה וייתכן שזהו היסוד החיוני לצמחים המובן לנו פחות מכל האחרים". גם שאלת הצרכים הייחודיים של עצי הדר לגבי סידן אינה ברורה כלל (25).

לפי הממצאים של העבודה המתוארת כאן, בפלבדו של תפוזי בוננזה הקרובים להבשלתם יש רגישות גנטית לקרינת שמש ישירה. שימוש בכנות הגורמות להפחתת הסידן בפלבדו מביא להגדלת השכיחות של התפתחות הנזק, ואילו ריסוסים בסידן משפרים את עמידותם של הפירות. מפתיע שתוספת הסידן המרבית האפשרית בריסוס יחיד בסידן-חנקתי, בריכוז של 1%, היא פחות מ-0.5 מיליגרם לדצימטר רבוע של פני-קליפה, בעוד שתכולתו הטבעית המיזערית של הסידן בפלבדו באותו השטח היא כ-20 מיליגרם ויותר (1). ההערכה כי בפלבדו של הצירופים הרגילים אכן קיימת זמינות מוגבלת של סידן מקבלת אישור מאינדיקציה פיסילוגית: בפלבדו של עצים אלה נמצא מיקטע של סידן אוקסלטי בתכולה נמוכה, הן באופן מוחלט והן באופן יחסי למיקטעי הסידן האחרים. מצב זה דומה למה שמצאנו בעלים צעירים של שתילי הדרים שגודלו בתמיסת-מזון חסרת סידן (1). לעומת זאת, אין ספק כי מהות הקשר בין תכולת הסידן ובין רגישות הפירות היא מורכבת יותר משניתן לבטאה ביחסים כמותיים. עובדה היא שלא נגרמו כל פגיעות בפירות מהזנים אטווד ופרוסט גם בצירופים שתכולת הסידן בהם היתה דומה לזו של בוננזה על כנות חושש ואפילו רנגפור (תוצאת בדיקות שאינן מובאות כאן). אייבהירות אם המחסור בסידן הוא המקור הראשוני להפרעות או רק גורם מסייע קיימת גם לגבי תפוחי-עץ שהם האובייקט הקלאסי, זה עשרות שנים, למחקר ההפרעות הקשורות בסידן. בבדיקות שנערכו בתשעה זני תפוח (15) לא נמצאו הבדלים עקביים בין הזנים בשיעורי הקליטה, ההובלה, או הריכוז הסופי של הקאטיונים בפירות, הבדלים שהיו עשויים להסביר מדוע שונים הזנים ברגישותם ל"גומה מרה". החוקרים מסכמים: "ייתכן שרגישות זו נובעת מאי-יציבות פיסילוגית, שמקורה גנטי, ואשר היא באה לידי ביטוי בתנאים של מחסור בסידן".

כבר דווח בעבר כי ריסוס סידן שיפרו את עמידותם של תפוזי ואלנסיה לנזקי פלואור באטמוספירה (4) בקליפורניה, ואת עמידותם של פירות סאטסומה לפגעי קליפה (13) ביפן. בישראל נמצאה השפעה חיובית של ריסוס סידן על תופעת "סרטן הלימון" ("Rumple") בפרדס של קיבוץ אפק (מרנוביץ ואורן, טרם פורסם) ועל התפקעות פירות בזן הקליף מורקוט (Murcott) (2).

בעבודה קודמת (1) נחקרו שתי הפרעות פיסילוגיות הגורמות פגמים בפירות הדר: פחתת

(נוקסן) בפירות תפוזי שמוטי, והתמוטטות צד-הפיטם בפירות לימה-טהיטי (Tahiti Lime). לשתי התופעות אופיינית התמוטטות לא-מוסברת של תאים בפירות של זני הדר, ובעבודה הנ"ל נמצא כי תכולת הסידן בהם היתה נמוכה באופן יחסי לפירות הדר מזנים דומים שאינם ידועים כרגישים לנזק. עוד נמצא שאת שתי התופעות אפשר לצמצם באספקת סידן אל פני-הפרי. באופן עקרוני, דפוס התנהגות זה אופייני להפרעות הקשורות במחסור בסידן, לפי הידוע עד כה בצמחים אחרים. יוצאי דופן הם זני ההדרים הרגישים לפגמי קליפה פיסילוגיים, שריכוז הסידן בהם נמוך רק באופן יחסי לפירות הדר אחרים, ולא באופן מוחלט. שלא כמו בתפוחי-עץ, לא מצאנו בעבודותינו בהדרים קשר ישיר בין תכולת החנקן ברקמות הפרי ובין ההפרעות הפיסילוגיות הנ"ל. לאור תוצאות העבודה המתוארות במאמר זה אפשר לצרף לקבוצת ההפרעות גם את תופעת "מכות השמש" שממנה נפגעים פירות התפוז הטבורי מזן בוננזה. אמנם, מכל המימצאים הללו בהדרים אין זה ברור מהם הגורמים הישירים ל"רגישותם" של הפירות, האם יש להם מכה-משותפת פיסילוגי אחד, וכיצד מתקן הסידן את הפגמים? התשובות לשאלות הללו דורשות מאמץ מחקרי רב.

למרות אי-הבהירות הנ"ל אפשר להמליץ, כבר בשלב הזה, על שימוש בריסוסי סידן להפחתת נזקי ההפרעות הפיסילוגיות שתוארו לעיל. כמו כן, יש מקום לבחון שימוש כזה בסידן לתיקון הפרעות פיסילוגיות אחרות הפוגעות בפירות הדר, ואשר הגורמים להן אינם ידועים.

בקיץ 1986 רוססו עצי זן ההדרים "מורקוט", שפירותיו נוטים לסבול מ"מכת-שמש", בחומר פלסטי להגנה מקרינת השמש ("ילבין"), ובמקביל הם רוססו במימת-הסידן (2% - "סיד") לאותה המטרה. התברר שהתכשיר "ילבין" היה יעיל יותר מ"סיד" בהלבנת הפרי, אבל דווקא הריסוס ב"סיד" היה זה ששיפר במידה ניכרת את עמידות הפירות בפני הנזק (גולומב, טרם פורסם). בהקשר למימצאים האחרים, נראה שגם מימצא זה עשוי להתיישב עם ההנחה שלסידן יש השפעה מגינה ייחודית, וכי חשיבותה רבה יותר מן ההשפעה הפיסיקלית של הפחתת הקרינה הישירה על קליפת הפרי עלידי הלבנתה.

תופעות נוספות שראוי לבדוק את השפעות הטיפול בסידן עליהן הן למשל קמטת ("פארוש"), התבלות בטרם-עת של הקליפה בפירות הדר שונים, וכן הנקרזה בקליפת הפרי, שאובחנה בפעם הראשונה באביב 1986 בפירות האשכולית האדומה מן הזן סן-רייז ("Sun-Rise" = "Star Ruby") והוצע לכנות אותה "כתמי מים".

הבעת תודה

תודת המחברים לדן ריינהרץ מחוות הנסיונות האזורית בעכו, לזהבה שרון ולמעבדת שירות-השדה בגליל המערבי, על סיועם הטכני הנאמן.

רשימת הספרות

1. גולומב א' (1983) מטבוליזם של סידן בעצי הדר בהקשר לפגמי קליפה בפרי. עבודה לקבלת התואר "דוקטור לפילוסופיה", מוגשת לאוניברסיטה העברית בירושלים (המנחה - א' ברעקיבא; 130 עמודים).
2. מונסליזה ש', קוסטו י' (1985) צמצום התבזבזות פירות מורקוט בעזרת 2,4-די חנקת-סידן. "עלון הנוטע", 39: 731-733.
3. Abutalibov, M.G. (1958) Distribution of calcium in plants. *Soviet Pl. Physiol.* 3:306-316.
4. Brewer, R.F., Sutherland, F.H. and Guillemet, F.B. (1969) Application of Ca sprays for the protection of citrus from atmospheric fluorides *J. Am. Soc. hort. Sci.* 3:302-303.
5. Burstrom, H.G. (1968) Calcium and plant growth. *Biol. Rev.* 43:287-316.

6. Chapman, H.D. and Prah, P.F. (1961) Methods of Analysis for Soils, Plants and Waters. Univ. of California, Riverside, CA. 320 pp.
7. De Kock, P.C., Hall, A., Naylor, A. and Inkson, R.H.D. (1979) Nitrate reduction in plant leaves in relation to calcium. pp. 143-152. in: Hewitt, E.J. and Cutting, C.V. [Eds.] 6th Long Ashton Symposium on Nitrogen Assimilation of Plants (Univ. of Bristol, England). Academic Press, London.
8. Delong, W.A. (1936) Variations in the chief ash constituents of apples affected with blotchy cork. *Pl. Physiol.* 11:453-456.
9. Epstein, E. (1961) The essential role of calcium in selective cation transport by plant cells. *Pl. Physiol.* 36:437-444.
10. Faust, M. and Shear, C.B. (1973) Calcium translocation pattern in apples. *Proc. Res. Inst. Pomology, Scienniewice series E* 3:423-431.
11. Gallahar, R.N., Perkins, H.F. and Jones, J.B. (1975) Ca concentration and distribution in healthy and declining peach trees. *HortScience* 10:134-137.
12. Gilbert, S.G., Shear, C.B. and Gropp, C.M. (1951) The effects of the form of nitrogen and the amount of base supply on the organic acids of Tung leaves. *Pl. Physiol.* 26:750-756.
13. Kawase, K., Suzuki, K. and Hirose, K. (1981) Use of growth regulators to control rind puffing of Satsuma mandarin fruit. *Proc. Int. Soc. Citriculture* (Tokyo), vol. 1, pp. 237-239.
14. Kpodar, M.P., Piquemal, M. and Latche, J.C. (1979) Répartition de l'oxalate et réduction des nitrates dans les différents organes de *Fagopyrum esculentum*. *C. r. Acad. Sci. Paris* 288D:327-330.
15. Lewis, T.L. (1980) The rate of uptake and longitudinal distribution of potassium, calcium and magnesium in the flesh of developing apple fruits of nine cultivars. *J. hort. Sci.* 55:57-63.
16. Marinos, N.G. (1962) Studies on submicroscopic aspects of mineral deficiencies I. Calcium deficiency in the shoot apex of barley. *Am. J. Bot.* 49:834-841.
17. Marschner, H. (1974) Calcium nutrition of higher plants. *Neth. J. agric. Sci.* 22:275-282.
18. Martin, J.P. and Page, A.L. (1969) Influence of exchangeable Ca and Mg and of percentage base saturation on growth of citrus plants. *Soil Sci.* 107:39-46.
19. Monselise, S.P., Goldschmidt, E.E., Golomb, A. and Rolf, R. (1983) Alternate bearing in citrus: long-term effects of a single girdling treatment on individual 'Michal' tangerine branches. *J. Am. Soc. hort. Sci.* 108:373-376.
20. Shear, C.B. (1975) Calcium-related disorders of fruits and vegetables. *HortScience* 10:361-365.
21. Shear, C.B. (1975) Calcium nutrition and quality in fruit crops. *Communs Soil Sci. Pl. Anal.* 6:233-244.
22. Shear, C.B. and Faust, M. (1970) Calcium transport in apple trees. *Pl. Physiol.* 45:670-674.
23. Simon, E.W. (1978) The symptoms of calcium deficiency in plants. *New Phytol.* 80:1-15.
24. Smith, P.F. (1975) Studies on the growth of citrus seedlings with different forms of nitrogen in solution cultures. *Pl. Physiol.* 32:11-15.
25. Smith, P.F. (1975) Calcium requirements of citrus. *Communs Soil Sci. Pl. Anal.* 6:245-260.
26. Turner, N.A., Ferguson, I.B. and Sharples, R.O. (1977) Sampling and analysis for determining relationship of calcium concentration to bitter pit in apple fruit. *N.Z. J. agric. Res.* 20:525-532.
27. Van der Boon, J., Van Goor, B.J. and Wiersum, L.K. (1970) Discussion-meeting on bitter pit in apples. *Acta Hort.* 16:1-30.
28. Wallace, A. and Soufi, S.M. (1975) Low and variable critical concentrations of calcium in plant tissues. *Communs Soil Sci. Pl. Anal.* 6:331-337.
29. Wyn Jones, R.G. and Lunt, O.R. (1967) The function of calcium in plants. *Bot. Rev.* 33:407-421.