

## הזנה בסיליקה של תפוח-אדמה לשיפור איכות פקעות בתנאים של אקלים משתנה

תכנית מוגשת למדען הראשי של משרד החקלאות - צוות היגוי: מחקר התכנות לבחינת רעיונות חדשניים

**שותפים למחקר:** עידית גינזברג<sup>1</sup> – פיסיוולוגיה של תפוח"א (iditgin@volcani.agri.gov.il); רבקה אלבאום<sup>2</sup> – סיליקה בצמחים ומיקרוסקופיה אנליטית; דני אשל<sup>1</sup> – פיסיוולוגיה ופתולוגיה של אחסון תפוח"א; אורי ירמיהו<sup>1</sup> – הזנה ואנליזה של מינרלים.

<sup>1</sup> כל אנשי מינהל המחקר הינם עובדים בתקן; <sup>2</sup> הפקולטה לחקלאות. החוקרים המעורבים אינם מתכוונים לצאת לשבתון בתקופת המחקר.

### 1. מבוא ותאור הבעיה

לאיכות קליפה של תפוח-אדמה (תפוח"א) תרומה רבה בהגנת הפקעת בפני איבוד מים ומחלות במהלך הגידול ובאחסון; התפתחות קליפה יציבה (skin-set) הינה קריטית לאיסוף מכני של היבול ולכושר שימור באחסון. ולבסוף, למראה הקליפה חשיבות שיווקית גבוהה: הצרכן דורש קליפה חלקה ומבריקה ללא סדקים וחספוסים, ומזנים אדומים נדרש שימור הגוון האדום של הקליפה. תפוח"א רגיש לתנאי הגידול ומצבים של שינויי אקלים (גלי חום, סופות) או הארכת הגידול מעבר לעונה האופטימלית פוגעים בהתפתחות הפקעת ובאיכות הקליפה. דוגמה אחת מיני רבות לכך היא הנזקים הנרחבים שהתקבלו בפקעות הזן האדום רוזאנה בגידול חורף 2011 בעקבות אקלים קשה במהלך הגידול והארכת משך הגידול – קליפת הפקעות הייתה חומה, מחוספסת ומתפוררת עד כדי חשיפת בשר הפקעת, דבר שהוביל לפסילת יבול.

קליפת הפקעת מורכבת מתאים ייחודיים בעלי דופן משנית העשויה משעם. בהתאם, נזקי קליפה יכולים להיגרם מפגיעה באחד המרכיבים של דופן התא: פולימרים ייחודיים לשעם (סוברין), ליגנין, שעווה וקוטיקולה. מבנה רקמת הקליפה יכול להיפגע באם התאחיזה בין התאים נפגעת – פקטין בשילוב עם יונים דו-ערכיים משמש "דבק" בין התאים והפחתה בכמות הפקטין גורמת להתפוררות הרקמה. בנוסף, פעילות יתר של התאים המריסטמטיים שיוצרים את הקליפה מובילה לבעיות של חיספוס קליפה ושל קליפות.

השותפים למחקר הנוכחי התמחו בשנים האחרונות בלימוד תהליכים הקשורים להתפתחות קליפה ועמידותה בפני עקות אביוטיות (ע. גינזברג, א. ירמיהו) ומחלות באחסון (ד. אשל). אולם עדיין חסר לנו המנגנון/גורם שישרה התפתחות של קליפה איכותית ושניתן יהיה ליישם אותו בשדה.

בשנים האחרונות מתרבים הדיווחים על מעורבות המינרל סיליקה ( $\text{SiO}_2$ ) בהגברת עמידות הצמח לעקות. סיליקה הינו המינרל הנפוץ ביותר בקרקע. בשל עובדה זו ובעקבות ניסויים בהם צמחים התפתחו באופן תקין גם כשסיליקה הוסר ממצע הגידול, המינרל אינו מוגדר כחיוני להתפתחות צמחים עילאיים. אולם, בשני העשורים האחרונים מצטברות עדויות על אפקט חיובי של תוספת סיליקה זמין לגידולים של אורז, חיטה, שעורה, מלפפון, ועוד (Ma et al., 2001).

למרות שהמינרל נפוץ בקרקע, הוא אינו נמצא בצורתו החופשית, אלא כתרכובת בלתי ממיסה עם מינרלים אחרים ועל כן בזמינות נמוכה לצמח. המינרל זמין לצמחים כחומצה סליצית,  $\text{Si(OH)}_4$ , שריכוזה בתמיסת הקרקע נע בין 0.1 ל-0.6 מילימולר (Epstein, 1994). בצמח, החומצה מוסעת אל האמיר בורם הטרנספירציה ו/או באמצעות טרנספורט אקטיבי (Mitani et al., 2011), שם היא עוברת תהליך של שיקוע לקבלת גופי סיליקה או אופל (opal) הנקראים פיטוליתים (phytoliths). גופי סיליקה אלה תורמים לחיזוק מכני של הגבעול והעלים (Epstein, 1999). בנוסף, תוספת סיליקה לצמחים העלתה את עמידותם לעקות ביוטיות ואביוטיות (Epstein, 1994; Ma, 2004) – המנגנון לעמידויות אינו ברור עדיין, והדיווחים בספרות רק מתארים את התופעה. לדוגמה, במהלך עקת מלח יישום סיליקה ביטל את האפקטים השליליים על צימוח העגבנייה (Romero-Aranda et al., 2006), ובשעורה הוא העלה פעילות נוגדת חימצון והוריד פעילות פראוקסידציה של ליפידים לשימור מבנה ממברנות (Liang et al., 2003). כמו כן, הוצע כי סיליקה יוצר קומפלקסים עם מתכות כבדות ובכך מנטרל את רעילותן לצמח (Liang et al., 2007). דיווחים אלה טוענים כי יישום סיליקה בתנאי גידול מיטביים לא משפיע על המטבוליזם של הצמח, אולם בעת עקה הוא מגביר את התגובה האנדוגנית של הצמח ובכך מקנה לצמח סבילות לעקה (Fauteux et al., 2006; Ghareeb et al., 2011).

תפוח"א בדומה לעגבנייה נחשב כצמח שלא צובר סיליקה (Marschner, 1995), כנראה בשל ריכוז נמוך של טרנספורטים לסיליקה (Mitani and Ma, 2005). עם זאת, תחת תנאי עקת יובש, בהם עולה יחסית ריכוז הסיליקה הזמין בקרקע, או בעת תוספת חומצה סליצית לקרקע, עולה היעילות של צבירת הסיליקה בשני סולניים אלה (Mitani and Ma, 2005; Crusciol et al., 2009); מספר פקעות תפוח"א לא השתנה במתן סיליקה תחת עקת יובש, אולם משקל יבש ממוצע של פקעת עלה (Crusciol et al., 2009). גם ללא עקה, דישון תפוח"א בסיליקה, הוביל לעלייה באחוז חומר יבש בפקעות, במשקל הפקעות הממוצע, ובהתאם לעלייה ביבול (Crusciol

et al., 2009). סיליקה מקנה עמידות תפוי"א גם לעקות ביוטיות – טיפול בפקעות זריעה ופקעות לאיחסון בתמיסה של נתרן סיליקט מנעה התפתחות מדבק של *Fusarium sulphureum* ע"י מניעת נביטה של ספרות והתפתחות לא תקינה של הקורים (Li et al., 2009). סיליקה יכול לתרום ישירות להעלאת איכות קליפה של פקעות תפוי"א. כאמור, קליפת הפקעת עשויה מחומר דמוי שעם המורכב, מתרכובות פנוליות, ליגנין וסוברין, והוצע כי סיליקה מחזק את דפנות התאים באמצעות אסוציאציה עם פוליסכרידים וחלבוני דופן תא (Perry et al., 1987), וכן מעודד יצירה של סובריזציה וליגניפיקציה (Inanaga and Okasaka, 1995; Hossain et al., 2007; Fleck et al., 2011). מדיווחי הספרות שהובאו לעיל מתעורר העניין לבדוק האם לדישון תפוי"א בסיליקה תרומה להעלאת איכות קליפת הפקעות. בסריקה של EST מתפוי"א נמצא רצף הומולוגי לנשא (transporter) של סיליקה מדלועים; רצף חומצות האמינו של החלבון מתפוי"א נושא את האתרים שזוהו עבור נשא של סיליקה (Mitani et al., 2011) (סעיף 7.3, תוצאות ראשוניות). רמות סיליקה בקליפת הפקעת יכולות לנבוע מתנועה של סיליקה בצמח דרך השורשים/גבעול אל הפקעת, מספיגה דרך שורשים ייחודיים הממוקמים על הסטולון והמעבירים את המינרלים המומסים בקרקע ישירות לפקעת, או באמצעות אינטראקציה ישירה של קליפת הפקעת עם קרקע הגידול. מעקב אחר ביטוי הגן לנשא סיליקה ברקמות הצמח השונות ובתנאי גידול שונים, בשילוב עם קביעת רמות הסיליקה, ישמש אמצעי ראשוני להבנת מנגנון ההובלה והצבירה של סיליקה בתפוי"א.

## 2. מטרת המחקר

בחינה של הזנה מועשרת בסיליקה כאסטרטגיה חדשה להעלאת איכות פקעות תפוי"א בתנאי גידול משתנים, ובדגש על איכות קליפה; ולימוד ראשוני של מטבוליזם המינרל בתפוי"א. הנחת העבודה היא כי רמות מוגברות של סיליקה בקליפת הפקעת יתרמו לחיזוק דפנות התאים המשוועמים ובכך יעלו את איכות הקליפה ואת עמידותה לעקות אביוטיות בקרקע כמו חום, יובש ומליחות. העלאת איכות הקליפה תוביל לשימור טוב יותר של הפקעות במהלך הגידול, האסיף והאחסון.

### 2.1 מטרת המשנה

- (א) קביעת רמות סיליקה ברקמות צמח תפוי"א
- (ב) קביעת פרופיל ביטוי של נשא לסיליקה ברקמות הצמח
- (ג) תרומת סיליקה לעמידות צמח תפוי"א לעקת יובש
- (ד) תרומת סיליקה לאיכות קליפת הפקעת ולאיכות הכימית של הפקעות בעקת חום
- (ה) תרומת סיליקה לאיכות שימור הפקעות באיחסון

## 3. מידת ההתאמה ליעדים של צוות ההיגוי

### 3.1 חדשנות

התרומה של סיליקה לגידולים חקלאיים שאינם עשבוניים, כמו תפוי"א, לא נלמדה מספיק למרות דיווחים חיוביים על פרמטרים של צימוח והגברת עמידות הצמח לעקות בשדה. אין אנו טוענים שסיליקה הינו "תרופת פלא" להפחתת נזקים בתפוי"א, אולם דיווחים מבטיחים בספרות מחזקים את הצורך לבחון האם לסיליקה תרומה בשיפור איכות הפקעת בתנאי הגידול המקומיים, ואם כן, מהו המנגנון שבו המינרל תורם לשיפור איכות הקליפה, ובזאת החדשנות המחקרית.

### 3.2 תחום ההצעה ורלוונטיות לחקלאות ישראל

תפוי"א הינו הגידול הגדול ביותר בענף הירקות (ממוצע של כ- 160,000 דונם לשנה, בתנובה ממוצעת של כ- 600,000 טון). נזקים פסילוגיים (שאינם נובעים מפתוגנים) של קליפת הפקעת מטרידים את הענף מזה מספר שנים, במיוחד עבור זנים בעלי ערך שיווקי גבוה. לדוגמה, חיספוס קליפה קשים של הזן הלבן וינסטון (כתמי מגן) (Ginzberg et al., 2012), בעיות קליפות של הזן האדום רוזאנה, ונושאים של קליפות (התייצבות קליפה) בסוף הגידול ובמהלך האחסון. מציאת אמצעי שימור את איכות הקליפה בתנאי גידול משתנים, ועם זאת יהיה ישים בגידול המסחרי, יוביל לשיפור מידי של איכות המוצר לשיווק.

### 3.3 תרומת המחקר לחקלאות

המחקר יתרום לחקלאות בשני נושאים עיקריים. (א) קליפת הפקעת של תפוי"א משמשת מודל ללימוד רקמות שעם במערכות צמחיות אחרות: שעם בעצים, התפתחות עדשתיות (lenticels), רקמות החלמה בצמחים (wounding periderm), סובריזציה של האנדודרמיס לבקרה של תנועת מומסים בין השורש והקרקע, ועוד. בפרקטיקה החקלאית רקמות שעם מצויות ברקמת הרשת של קליפת המלון (Gerchikov et al., 2008), ומהוות את תופעת חיספוס קליפה בתפוח ואגס (Fogelman et al., 2009); כמו כן, הן מהוות את רקמת ההחלמה בעקבות גיזום או רעייה (Ginzberg, 2008), וכו'. בהתאם, ללימוד תהליכים המבקרים את התפתחות השעם בשילוב עם פתרון יישומי בשדה ישנה חשיבות לחקלאות בכלל.

(ב) המחקר הנוכחי כולל בחינה של העשרת ההזנה בסיליקה על התפתחות הצמח השלם בתנאי גידול מיטביים ותחת עקות אביוטייות. יש להניח כי ממצאים במחקר זה יהוו ידע בסיסי ליישום בגידולי ירקות אחרים – עד כמה שידוע לנו לא נבחנה עדיין תרומת הסיליקה לגידולים מקומיים – בכך התוכנית עונה על אחת ממטרות מדען משרד החקלאות: "פיתוח ולימוד שיטות גידול ואמצעים לצמצום נזקי אקלים קיצוניים הפוגעים באיכות המוצר בגידולי הירקות".

#### 3.4 סכויי המחקר להוביל לפריצת דרך מדעית-יישומית או טכנולוגית

פקעות תפוז"א הן איבר עם פעילות טרנספירציה נמוכה. מכאן, שלצבירה של סיליקה נדרשת פעילות מוגברת של נשאי סיליקה בפקעת, ו/או שינוי תנועה של סיליקה ישירות מהקרקע לפקעת דרך הקליפה. מחקר זה יאפשר ללמוד על האינטראקציה שבין הפקעת והקרקע ולשרטט מודל על מנגנון צבירה של המינרל באיבר תשמורת-תת-קרקעי.

אנליזה איכותית של קליפת הפקעת תיעשה באמצעות מיקרוסקופ ראמאן. גישה זו מאפשרת לקבוע כמותית מרכיבים של דופן תא ללא מיצוי, ומראה את המיקום התאי והרקמתי של המרכיב הנבחן (סעיף 7.2 בתוצאות ראשוניות). אנליזה כימית של רקמות שעם בשיטות הקלאסיות הינה מורכבת בשל רמת עיכול נמוכה של הסוברין והשימוש במיקרוסקופ ראמאן מאפשר אחידות באנליזה השוואתית של דגימות קליפה.

#### 3.5 רמת השלוב הבין-תחומי של המחקר הצפוי

לתכנית זו חברו מדענים עם התמחויות שונות במדעי הצמח: פיסיוולוגיה של הפקעת במהלך הגידול (ע.ג.) ובאחסון (ד.א.), הזנה (א.י.) ואנליזה מבנית וכימית (ר.א.) של רקמות הצמח. שילוב תחומי המחקר של קבוצות אלו עם הגישה הטכנולוגית הייחודית לכל קבוצה (ביולוגיה מולקולארית, חקר חלבונים, אנליזת מינרלים ומיקרוסקופיה אנליטית, בהתאמה) יאפשר לקבל תמונה מלאה על האינטראקציה של סיליקה עם תפוז"א ברמת הצמח השלם ועד לרמה התאית.

#### 3.6 סכויי הצלחת עבודת ההיתכנות להניב תוצאות בהקדם ובכך לאפשר הגשת הצעת מחקר מקיפה

אנו מעריכים כי בגבולות הזמן של תכנית ההיתכנות נוכל לדווח על רמות הסיליקה בתפוז"א ולהציע מודל על אופן צבירת המינרל ע"י אברי הצמח השונים והסעתו לפקעת. כמו כן, תהיינה בידנו תוצאות ראשוניות על השפעת הסיליקה על צימוח ועמידות הצמח לעקת יובש וחום. אנליזה כימית של הקליפה תצביע על אינטראקציה אפשרית בין המינרל למרכיבים של דופן הקליפה. בהצעת המשך נרחיב לנושאים הבאים: (א) השפעת סיליקה על איכות קליפה בזנים מסחריים נוספים לזן דזירה (נבחן בתכנית ההיתכנות), ניקולה (זן לבן, קליפה דקה, בעיות של התייצבות קליפה) ורוזאנה (קליפה דקה ורגישה לתנאי גידול), (ב) השפעת דיסון בסיליקה על איכות כימית של פקעות למאכל, (ג) חזרה והרחבה של ניסויי העקות שיכללו עמידות הצמחים למחלות ויבחן מנגנון אפשרי לתרומת הסיליקה להגברת העמידות לעקות, (ד) השפעת הסיליקה על שימור פקעות באחסון: איכות קליפה במהלך האחסון, איבוד מים מהפקעת, רגישות למחלות אחסון, משך תרדמה ולבלוב הפקעות.

#### 4. תמצית תכנית מחקר

המחקר ייערך עם תפוז"א מהזן דזירה (זן אדום, מזרע אביבי, קליפה עבה) המייצג את זן הגידול האביבי העיקרי. הניסויים ייערכו בבית רשת במכון וולקני, במתכונת המופעלת על ידנו בהצלחה מזה מספר שנים. כל הניסויים ייעשו בחמש חזרות ביולוגיות.

(א) קביעת רמות סיליקה ברקמות צמח תפוז"א – צמחי תפוז"א יגודלו במיכלים ויקבלו דיסון מועשר בריכוזים עולים של סיליקה עד 50 ppm (כ- 2 מילימולר, יוסף כנתרן סיליקט, סיגמה). בשלושה מועדי התפתחות של הצמח (טרום התפקעות – שבועיים לאחר הצצה, שיא גידול – שמונה שבועות לאחר הצצה, הזדקנות – 11 שבועות מהצצה) יילקחו דגימות עלים, סטולונים, שורשי סטולון, קליפת פקעת ובשר פקעת לקביעת רמות סיליקה ברקמות (Fleck et al., 2011).

(ב) קביעת פרופיל ביטוי של נשא לסיליקה ברקמות הצמח – RNA יופק מאותן הדגימות המוזכרות בסעיף (א) ורמת התעתיקים של הנשא לסיליקה תיקבע בראקציה של quantitative real-time PCR.

(ג) תרומת סיליקה לעמידות צמח תפוז"א לעקת יובש – צמחי תפוז"א יקבלו דיסון מועשר בריכוז של 0 או 50 ppm סיליקה. השראה של תנאי יובש תושג באמצעות השקיה של הצמחים במרווחי השקיה שונים. צמחים יגודלו עד ליישום הטיפול, כל יום, במשטר השקיה אחיד כפי שנעשה בהצלחה בעבר. טיפול יובש מתון יעשה ע"י הפסקת השקיה עד להתחלת קמילת עלים. טיפול יובש חזק יעשה ע"י התחלת השקיה יום נוסף מתחילת קמילת עלים. הטיפולים יחלו משבוע 6 לאחר הצצה ויימשכו שבועיים (פרק זמן של גידול אינטנסיבי של הצמח והפקעות), מועד אסיף הפקעות. יבחנו פרמטרים של צימוח כגון ביומסה של העלווה, ומשקל ממוצע של פקעת. רמת סיליקה תיקבע בדגימות עלים ופקעת (קליפה ובשר הפקעת).

(ד) תרומת סיליקה לאיכות קליפת הפקעת ולאיכות הכימית של הפקעות בעקת חום – צמחים יגודלו במיכלים כמתואר בסעיף (א) עם או בלי הזנה בסיליקה. לשם הפעלת עקת חום, מחצית ממיכלי הגידול ידופנו בצינוור שדרכו יוזרמו מים חמים בטמפרטורה של 33 מ"צ ליצירת עקת חום רק באזור הפקעות/שורשים. מאחר

וטמפרטורות מעל 25 מ"צ מעכבות את התפתחות הפקעות, החימום יופעל למשך שבוע החל מהשבוע השביעי להצצה; פקעות ייאספו בשבוע השמיני להצצה. לפי ניסיונו, הפעלת חום למשך פרק זמן זה משפיעה משמעותית על התפתחות הפקעות ותכונות הקליפה. בתום הניסוי תיקבע איכות הפקעות: משקל פקעת ממוצע, משקל יבש, תכולת עמילן וסוכרים. כמו כן, תיקבע רמת הסיליקה בקליפה ובבשר הפקעת.

מבנה הקליפה ייבחן באמצעות חתכי רקמה מטופלים בצובענים סלקטיביים ומיקרוסקופיית אור ו-UV (לסוברין זהירה עצמית תחת אור UV) (סעיף 7.1, תוצאות ראשוניות). אנליזה כמותית של מרכיבי הקליפה כגון, פקטין, קוטין, צלולוז וליגנין תיעשה באמצעות מיקרוסקופ ראמאן (סעיף 7.2, תוצאות ראשוניות). (ה) תרומת סיליקה לאיכות שימור הפקעות באחסון – פקעות בוגרות מניסוי (א) יועברו לאחסון של 4-6 מ"צ למשך כחמישה חודשים. יערך מעקב ויזואלי של הפקעות אחר הצטמקות בעקבות איבוד מים, התפתחות מחלות אחסון, משך תרדמה (מועד תחילת לבלוב) ושימור של שלטון קודקודי בבטיה.

#### 5. הסבר לסעיפי תקציב ומימון נוסף

אנו מבקשים תקציב של 100,000 ₪ לשנה. 50,000 ₪ מיועדים למימון סטודנט לתואר שני וסטודנט לפי שעות שיסייע לו. 25,000 ₪ מיועדים להוצאות על חומרים מתכלים (גידול צמחים, דשן, אנליזה מינרלים ועבודה מולקולארית), וכן 25,000 ₪ לתקורה. לחוקרים אין מימון אחר בנושא זה.

#### 6. רשימת ספרות

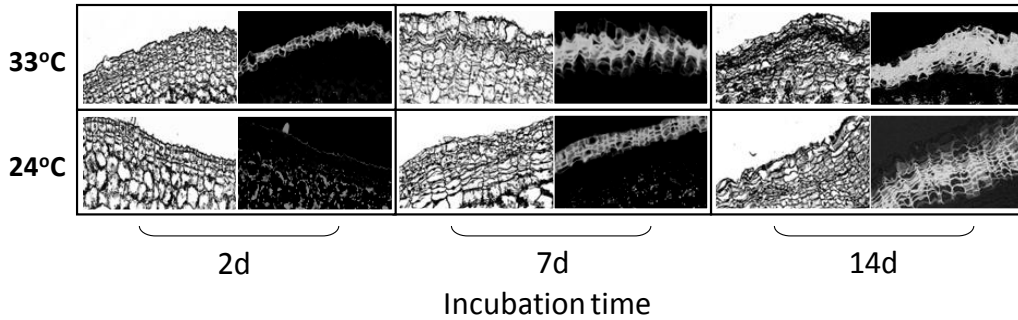
- Crusciol CAC, Pulz AL, Lemos LB, Soratto RP, Lima GPP (2009) Effects of silicon and drought stress on tuber yield and leaf biochemical characteristics in potato. *Crop Sci* 49: 949-954
- Epstein E (1994) The anomaly of silicon in plant biology. *PNAS* 91: 11-17
- Epstein E (1999) Silicon. *Ann Rev Plant Physiol Plant Mol Biol* 50: 641-664
- Fauteux F, Chain F, Belzile F, Menzies JG, Belanger RR (2006) The protective role of silicon in the Arabidopsis-powdery mildew pathosystem. *PNAS* 103: 17554-17559
- Fleck AT, Nye T, Repenning C, Stahl F, Zahn M, Schenk MK (2011) Silicon enhances suberization and lignification in roots of rice (*Oryza sativa*). *J Exp Bot* 62: 2001-2011
- Fogelman E, Redel G, Doron I, Naor A, Ben-Yashar E, Ginzberg I (2009) Control of apple russeting in a warm and dry climate. *J Hort Sci Biotechnol* 84: 279-284
- Gerchikov N, Keren-Keiserman A, Perl-Treves R, Ginzberg I (2008) Wounding of melon fruits as a model system to study rind netting. *Sci Hort* 117: 115-122
- Ghareeb H, Bozso Z, Ott PG, Repenning C, Stahl F, Wydra K (2011) Transcriptome of silicon-induced resistance against *Ralstonia solanacearum* in the silicon non-accumulator tomato implicates priming effect. *Physiol Mol Plant Pathol* 75: 83-89
- Ginzberg I (2008) Wound-periderm formation. In: *Induced Plant Resistance to Herbivory*. A . Schaller (Ed.), Springer .
- Ginzberg I, Yermiyahu U, Mintz D, Faingold I, Sorianoa S, Mints M, Fogelman E (2012) Potato skin russeting: characterization of field disorder. Submitted .
- Hossain MT, Soga K, Wakabayashi K, Kamisaka S, Fujii S, Yamamoto R, Hoson T (2007) Modification of chemical properties of cell walls by silicon and its role in regulation of the cell wall extensibility in oat leaves. *J Plant Physiol* 164: 385-393
- Inanaga S, Okasaka A (1995) Calcium and silicon binding compounds in cell walls of rice shoots. *Soil Sci Plant Nutr* 41: 103-110
- Li YC, Bi Y, Ge YH, Sun XJ, Wang Y (2009) Antifungal Activity of sodium silicate on *Fusarium sulphureum* and its effect on dry rot of potato tubers. *J Food Sci* 74: M213-M218
- Liang Y, Chen Qin, Liu Q, Zhang W, Ding R (2003) Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). *J Plant Physiol* 160: 1157-1164

- Liang YC, Sun WC, Zhu YG, Christie P (2007) Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: A review. *Environ Pollution* 147: 422-428
- Ma JF (2004) Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. *Soil Sci Plant Nutr* 50: 11-18
- Ma JF, Miyake Y, Takahashi E (2001) Chapter 2 Silicon as a beneficial element for crop plants. In GHS L.E. Datnoff, GH Korndörfer, eds, *Studies in Plant Science*, Vol Volume 8. Elsevier, pp 17-39
- Marschner H (1995) *Mineral nutrition of higher plants*. 2nd ed. Academic Press, London .
- Mitani N, Ma JF (2005) Uptake system of silicon in different plant species. *J Exp Botany* 56: 1255-1261
- Mitani N, Yamaji N, Ago Y, Iwasaki K, Ma JF (2011) Isolation and functional characterization of an influx silicon transporter in two pumpkin cultivars contrasting in silicon accumulation. *Plant J* 66: 231-240
- Perry CC, Williams RJP, Fry SC (1987) Cell Wall Biosynthesis during Silicification of Grass Hairs . *J Plant Physiol* 126: 437-448
- Romero-Aranda MR, Jurado O, Cuartero J (2006) Silicon alleviates the deleterious salt effect on tomato plant growth by improving plant water status. *J Plant Physiol* 163: 847-855

7. תוצאות ראשוניות

7.1 שינויים במבנה קליפת תפוז"א תחת עקת חום

מבנה קליפה של פיקעיות זן דזירה שנחשפו לעקת חום (33 מ"צ, פנל עליון) במשך 2, 7 או 14 ימים, בהשוואה לביקורת (24 מ"צ).

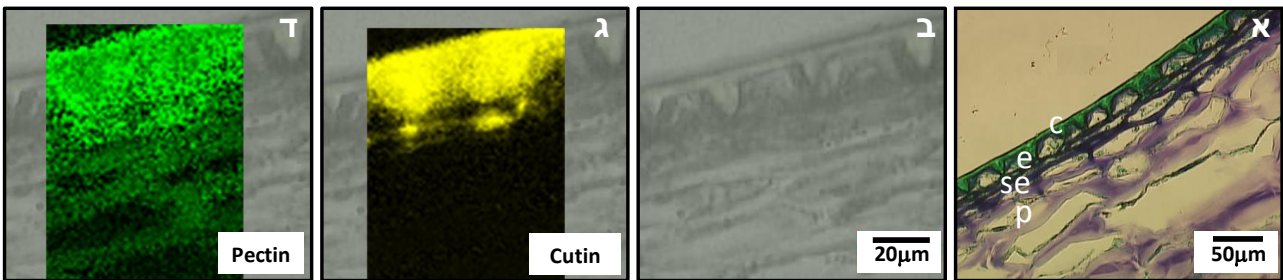


תמונה שמאלית של כל צמד תמונות מראה את המבנה הכללי של הדגימה, תמונה ימנית בצמד מראה זרימה אוטופלורסנטית של הקליפה. עקת חום מזרזת התפתחות של קליפה (2d) מרובת

שכבות ובעלת מבנה דחוס (7d, 14d). כתוצאה, הקליפה הקשיחה של הפקעת נסדקת במהלך הגידול לקבלת קליפה מצולקת שבתמונה משמאל.



7.2 מיקרו-ספקטרוסקופיית ראמאן של פקטין וקוטין בקליפה של עגבנייה



חתך בצירת הפרי של עגבנייה. א. תמונת מיקרוסקופ אור חודר של חתך הצבוע במתיל בלו (methyl blue). ניתן לזהות את השכבות השונות בפרי: הקוטיקולה (c) בירוק, האפידרמיס (e), התת-אפידרמיס (se) בשחור, והפריקרב (p) בסגול. ב. תמונת מיקרוסקופ אור מוחזר של ציפת הפרי, ועל גביה ב-ג. מפת פיזור הסיגנל של קוטין, וב-ד. של פקטין במיקרו-ספקטרוסקופיית ראמאן. ניתן לראות כי הקוטין מרוכז באזורים הקוטיקולריים ואילו הפקטין מופיע בדפנות תאי האפידרמיס ובריכוז נמוך יותר בכל דפנות התאים ברקמה. טכנולוגיה זו מאפשרת גם קביעה כמותית ליחידת שטח של המרכיב הנבחן.

7.3 הומוולוגיה בין נשא סיליקה של דלועים והרצף התואם מתפוז"א

רצף GR93 של תפוז"א (שורה עליונה) מראה הומוולוגיה גבוהה לרצף חומצות האמינו של נשא סיליקה מדלועים. חומצות אמינו מסומנות מציינות אתרים שמורים בחלבון המאפיינים aquaporins.

Si transporter_potatoSTMGR93	MESEGG-----KCSKSIKQNESVLKEDPKSAYLLIFLQKYRSGFLKKV
Cucurbita_moschata_CmLs1l[B_	MSSSQDPQLVQQQSVVDVEEFVSVENPDSKRSQFGSLFKNHYPGFSRKL
	*.*. . . . . :. . . . . ** : *.* : : . . . . . ** : *
Si transporter_potatoSTMGR93	IAEIIATYLLVFTCGASALSGSDEHKVSKLGASVAGSLIVTMVIYAVGH
Cucurbita_moschata_CmLs1l[B_	VAEVIATYLLVFTCGAAALNGSDVQRVSQLGASVAGSLIVTMVIYAVGH
	.*:*****.*.*.* . . . . . :*****:*****
Si transporter_potatoSTMGR93	ISGAHMPAVTFafaavrHFpwtQVPVYAAQITGAISAAFTLRVLLHPV
Cucurbita_moschata_CmLs1l[B_	ISGAHMPAVTFAFAATRHPWKQVPLVYAAQLSGATCAAFTRLLHPV
	***** . . . . . * . . . . . * . . . . . * . . . . . *
Si transporter_potatoSTMGR93	IKHVGTTPSGSDIQALIMEIVVTFSMFFITSAVATDTKAIGELAGIAGV
Cucurbita_moschata_CmLs1l[B_	IKHLGTTTPSGSDLQALVMEIVVTFSMFFVTCVAVATDTKAVGELAGLAVG
	***.*****.*.*.*****.*.*****:*****.*.*
Si transporter_potatoSTMGR93	SAVCITSLAGPVSGSMNPARITIGPAMASNDYRAIIVWYIIGPVCGTLIG
Cucurbita_moschata_CmLs1l[B_	SAVCITSLAGPVSGSMNPARITIGPAMASNDYKGLWVYVFGVPTGTLIG
	*****:*****.*.*:*****:*****
Si transporter_potatoSTMGR93	AMSYNFIKVNDFVQAIAPGHSFSLKRRMKNHDEBQCNKDPDLPND
Cucurbita_moschata_CmLs1l[B_	AMSYKFIKIRASDKPVHLISP-HSFSKLRMRSD-----VGEGER--
	***:*..*.*.*.* : *.* *.*.*.*.* . . . . . *..

באנליזת microarray של תפוז"א נמצא ביטוי נמוך מאוד של נשא זה בעלים, בקליפת הפקעת ובבשר הפקעת, ללא הבדל משמעותי בין הרקמות.