



# עקה חמצונית בגידולי ירקות

לאה קרני ובני אלוני - המחלקה לחקר הירקות, מינהל הפקולטה החקלאית, בית דגן

ה-ROS). כמו גלוטונין, קרטונואידים. חומצה אסקורובית (ויטמין C), טוקופROL (ויטמין E) ועוד. בתנאי גידול נורמליים, מתקיים תהליך מבוקר של שיוי משקל בין היוצרות ה-ROS לבין פעילות המנגנון נוגדי החמצון (אנטי-אוקסידנטים). במצב עקה בירקות (כמו מחלה פתוגנית או א-ביויתים) כמו קרניה, טמפרטורות קיצניות ומליחות), נוצר עודף של ROS (= עקה חמצונית), ואז עלולים להיגרם בתוך התאים נזקים לממברנות. דגרדציה של חלבוניים ופגיעה בחומצות גרעין (Mittler, 2002). ברמת הצמח השלם מתרחשים אובדן יכולת לקיום ויסות אוסומוטי בצמלה, כמישהו נמק של רדקמות, שבמנוחים של גידולים קלאיים שעשים להתבטא בהגבלה בצדchos ובפגיעה ביבול ובאיכותו.

קבוצת המחקר שלנו מציעה גישה חדשה. לפיה בעזרת מתן חומרים אנטי-אוקסידנטים לצמח. בשלבי גידול שונים, ניתן יהיה לעצב פעילות ROS בגידולי ירקות, ועל-ידי כך ניתן יהיה להפחית משמעותית נזקים ליבול ולאיכותו. כמו-כן, אנו מציעים כי בחינת שונות בין זנים בעלי תכלה שונה של חומרים ואנזימים אנטי-אוקסידנטים תביא ליצירת אסטרטגיות חדשות לסלקציה של קווים. על-מנתקדם טיפוח של זנים עמידים לעקות סביבה.

**פרופסומי מינגל מהיקו החקלאי מס' 113/2009;** המאמר עבר **ביקורת מדעית.**

**עקה חמצונית ואייבות הפרי**  
תנאי גידול בלתי אופטימליים (עקוות א-ביויתות) מביאים להתחזחות פגמים פיזיולוגיים בפרירות עצי פרי ובפרירות מוקצת הירקות. כגון פלפל, עגבניה, מלון ועוד (Savas et al., 1998). פגמים אלה גורמים לפחתה משמעותית באחוז היבול הרואי לשוק בשוק המקומי וביצוא. הפגמים הפיזיולוגיים, שנחקרו במעבדתנו, הינם: שחזור-פיטם וכטמי צבע, האופייניים לטמפרטורות גבהות, למליחות וליעובש. וכטמי כסף וחוטמים. בסキירה זו בחרנו להתמקד בשני פגמים, שחזור-פיטם וחתומים, ולהציג כאן את הקשר ביניהם לבין עקה חמצונית.

## שחור-פיטם

שחור-פיטם הוא אחד הפגמים הפיזיולוגיים החמורים ביותר המגבילים את האפשרות לגדר עגבניות ופלפלים בעונות החמות ובఈוטה במים מליחים. שחזור-פיטם מופיע בעיקר בפרירות של

רידיקלים של חמצן עצמאיים. הנוצרים כתוצאה מתנאי עקה בתנאים לא אופטימליים. גורמים הנזק ליבול ולאיכותו. קבוצת המחקר של הכותבים מציעה גישה חדשה, לפיה בעזרת מתן חומרים אנטי-אוקסידנטים לצמח. בשלבי גידול שונים. ניתן יהיה לעצב פעילות ROS (ROS) בגידולי ירקות. וכן במטרה לבחון שונות בין זנים. כדי שבעתיד ניתן יהיה לקדם טיפול זנים עמידים לעקות סביבה.

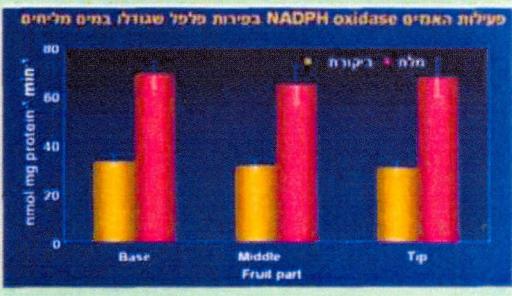
## מבוא

צמחים הגדלים בתנאים לא אופטימליים חשופים לתנאי עקה. כגון טמפרטורות קיצניות, קדרינה גבוהה, יובש באויר ובבית השורשים, מליחות גבוהה וLEVELS רמות גבוהות של יונים וועלם. בתגובה לחסיפה לתנאים אלה, מפותחים לצמח תהליכי ביוכימיים, שבוצעותם הצמח מתמודד עם תנאי העקה. אולם, תוצרי הריאקציות הביוכימיות, כגון תוצרי נשימה מגברת או פוטוסינזה מגברת, הינם רדייקלים חופשיים של חמצן, אשר ביריכוזים גבוהים עלולים לתקוף את הרקמה הצמחית ולהרווים אותה (Mittler, 2002). לכן, תהליכי היוצרות של רדייקלים של חמצן לצמח הינם בעלי חשיבות גדולה מוקדמת מבלט חקלית מעשית, ומקרים רבים מוקדשים ללימוד תהליכי אלה ולאפשרות מניעתם. בסקירה זו נביא בקצרה את אשר ידוע על היוצרות רדייקלים של חמצן בצמח. וכמו-כן נציג מספר דוגמאות לשימוש שאנו עושים בידע זה, על-מנת לשפר את גידול הירקות.

נגזרות חמצן פעילות נקראות ROS (Reactive Oxygen Species). הרדייקלים השכיחים ביותר הם סופראוקסיד (-O<sub>2</sub>). מי חמצן (O<sub>2</sub>) ורדייקל הידרוקסידי (OH<sup>-</sup>). נגזרות חמצן אלה נוצרות בצמח ותפקידן בריאקציות חמצון מגוון של מקרו-מולקולות, כגון חלבוניים. חומצות גרעין, ליפידים ומברגות התאים. בצמח קיימים מגוון נזקים שונים להגנה מפני רדייקלים אלה, אלה מערכות אנטי-אוקסידנטיות, המופעלות בתגובה להיווצרות ריכוזים גבוהים של רדייקלים. המערכת האנטי-אוקסידנטית בצמחים כוללת רדייקלים המטפל בפיירוק ה-ROS. כמו קטלאז, סופראוקסיד דיסמוטאז, פראוקסידאז ועוד, וכן מולקולות המסוגלות לנטרל את

שדה וירטואלי	08/02/2010
עמ 8 32 16.57x22.68	21453612-4

**איור מס' 1: פעילות האנזים NADPH oxidase בפירות פלפל**  
מצמחים שהושקו במסים שפירום לעומת אלה שהושקו במסים מלאחים. פירות פלפל בשלב יוק נקבעו מצמחים שהושקו במסים שפירום או במסים מלאחים בחממה בעומק תמר, לפי המתוואר ב- Aktas et al., 2005. כל פרי חולק לשולשה חלקים (בסיס, אמצע ופסם), והפעילות האנזימטית מוצעת ונבדקה לפי המתוואר כמפורט הכל. כל עמודה היא ממוצעת של 5 פירות ± שגיאת תקן.



מחוממות, בצמחים המודלים בהדריליה ספרדיית (צמחים נתמכים בין שני חוטים המתוירים במזון לאורוך העורוגה, לאו יצוב נוף הצמח). הסיבות להופעת חטיטים דזוקא בערבה אין ברורות בתוצאות שנערכו בערבה נמצאה. שמספיקה חשיפת הפרי למספר שעות של טמפרטורה נמוכה (מתחת ל-4 מעלות צלזיוס החטיטים בימי למחарат (אלוני וחוברי, 2005). ישנו זנים הרוגשים במיוחד לתופעה זו, לדוגמה, הון הצחוב "ניבלה". בגדיל בשיטת ההדריליה הספרדיית נוצרות על חלק מהפרי, בשלב היוק, לחים בעלות גוון יוק בהיר. הדבר נובע, ככל הנראה, מחשיפה לא שווה של כל חלקו הפירות לאו. הלחמים הביריות הנוצרות בצד הפרי שאינו חשוף לאו) רגישות יותר לנזקי צינה מאשר הלחמים הכהות, וגישה זו מटבאת בהופעת חטיטים. במחקר שערךנו מעצמנו, שהanine מעוררת עקה חמוץנית בפרי, בעיקר באזורי הקלקפה (אלוני וחוברי, 2005). הראיינו שניתן להפחית את העקה החמצונית באמצעות טיפול הדריליה בקלאים של מגנן, סיידן, אבץ ואבץ. וכן להפחית את רגישות הפירות לנזקי צינה (איור 2).

אנו ממליצים למגדלים להקטין נזקי צינה על-ידי שיטות גידול מתאימות (לדוגמת, הגברת חזריות האו צמח, באמצעות שיטות הדילה הדיליאנטיות כמו הדילה הולנדית, בה גוזמים את העצה ומעובדים אותו לשני הענפים הראשיים, והעצה נתמך על-ידי חוטי הדילה שתלוים מתקרת החממה) וויסוסם במינרלים נוגדי חמוץן (מגנן, אבץ, סיידן).

## השפעות על הצמח

### שתילי וירקות מורכבים

השימוש בשתיילי ירקות מורכבים על כנות עמידות הולך ומתרחב בשנים האחרונות, בעיקר כאות החלופה לחיטויי קורע במתיל

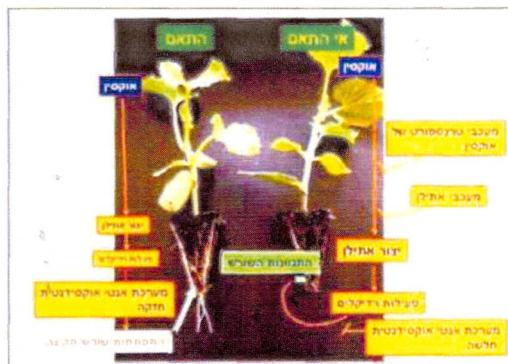
פלפל ועגבניה, בפיטם הפרי נוצרת רכמה נקרוטית. המתפשטת במהלך הגידול לפורי כלו. הפרי הנגוע פסול לשיווק. במקרים רבים נמצא שפגם זה הקשור לכל הנראה במחסרו בסידן בפיירות (H and white, 2005). יחד עם זאת, במקרים רבים בהם נצפו נזקי שחור-פיטם, לא נמצא מחשורי סיידן בפרי (Saure, 2001). במחקר שערכנו בפלפל חממה הסתבה, שפגמי שחור-פיטם הניכרים בפרי הבשל נובעים מנזקים לרכמה המתרחשים כבר בפרי העזיר (בגיל 10-20 ימים מהפריה) (אלוני וחוברי, 2000). נמצא שבפיריות הצערים יש ריכוז גבוה של מי-חמצן וכונראה רדיילים חופשיים אחרים וכן שפעילות האנזימים האנטי-אוקסידנטים ורמת החומצה האסקורבית נמוכים מאד יחסית לרמתם בפיריות בשלים (Aktas et al., 2005). בשלב העזיר, הפרי אף עשיר בפיריות אנזימטיות של NADPH oxidase. שיוצרת רדיילים של חמוץן, בתנאי עקה, פיריות חמוץניות זו עלולה לפגוע בمبرונות התאים ולגרום להתרחשות הכתמים הנקרוטיים האופייניים על פני הפרי, הנראים בשלב מאוחר של התפתחות הפרי. נמצא שפעילות אנזים זה גובוה בפיריות שנגדלו בעקבתמלח (איור 1), תנאים בהם הפירות היו פגומים בשחורי-פיטם. כמו כן נמצא, כי בתנאי עקה מלח וטמפרטורות גבוהות נפגעת קליטת יסודות קורט. עיקר מגנן, על-ידי הצמח (Aktas et al., 2005). ליסודות אלה תפקיד מרכזי במערכות אנזימטיות המגנים על הרכמה הצמחית מפני עקות חמוץן. הצמחים טופלו במחסורי אבץ, מגנן, סיידן ומגנזיום. על-מנת לבחון מעורבות יסודות אלה במגנן יצירת שחור-פיטם, ובונוס נבחנה השפעת ריסוסי עלולה בקלאים של חומרם אלה על פיריות פלפל בשלב עזיר (Aktas et al., 2005). הממצאים הרואן, שייזודה בריכוזו המגנן בפרי מגבירת את דגימות רכמה הפרי לעקבות חמוץן ולהופעת שחור-פיטם. למגנן תפקיד חשוב בפיריות תקינה של אנזימים כמו SOD ופרואוקסידאז וכן בתהליכי הליגניפיקציה. הדורש ליצירת דפנות התאים וליצירת צינורות הקסלים. החוניים להוביל מים ומינרלים לתוך הפרי. נראה שהמוספה של אבץ, מגנן, אך לא מגנזיום. מפחיתה יצירות רדיילים של חמוץן בפרי העזיר (Aktas et al., 2005) וכן שיתון להפחית נזקי שחור-פיטם על-ידי הגדלת תדריות ההשקייה בחממה. המביאה לעליית ריכוז המגנן בפרי (Silber et al., 2005).

בקבוקת הממצאים, עלתה האפשרות של שימוש במיקרואלמנטים סVINHO להפחית נזקי מליחות בפרי הפלפל. אנו משערים ששונות בין זנים יכולות להיות תלויות ביעילות קליטת מגנן בתנאי עקה, ו/או בפיריות אוקסידנטית ואנטי-אוקסידנטית בתנאי עקה.

### חטיטים

פגם נוסף בפיריות פלפל, המפחית את ערכם השיווקי, הוא שקעים על פני הפרי (חטיטים), הנוצרים כתוצאה מחשיפת הפירות לטמפרטורות נמוכות (מתחת ל-4 מעלות צלזיוס) בשלביהם המוקדמים של התפתחות פרי. פגמים אלה מופיעים בעיקר בערבה, בגידול חוטפי בחממות בלתי

**מלון מוכבבים על דלעת** (Aloni et al., 2008)



בtemperature גבוהה מכך עליה ברמת ה- $\Delta G$  באוזן הרכבה בהרכבה עם כנה לא-מתאימה. קיימת פגעה במאזן ההורמוני, בעיקר של אוקסין ותאיון, וכותואה מכך נוצרים רדיקלים של חמצן (Alpogi et al., 2008).

על בסיס התוצאות, הוצע על-ידינו מודול המאפשר את הבנת היחס  
ווכוב-כנה: בכנסות בעלות אי-התאמ. האוקסין המוביל מההורכבר  
לכונה מביא ליצירת רמות גבוהות של אטילן ו-אטואן, ואלה גורמים  
יעיכוב התפתחותו של השורש. בכנסות בעלות התאמ גבואה, האוקסין  
הוביל מההורכבר מפעיל את ייצור האטילן בשורש. המפעיל יצרת  
אטואן. אולם אלה מנוטרים על-ידי המערכת האנטי-אוקסידנטית

הפעילה יותר בנסיבות אלה (Aloni et al., 2008) (איור 3).

על בסיס מודל זה. התחלנו בפיתוח שיטות לסקצייה של כנות דלאט בעלות התאם גבוח עם רוכבי מלון, על-פי וגישהו של המכון לאוקספורד או אונילן בריצוצים גבוחים. וכמו כן אנו בוחנים את יעילותם של חומראים אנטיג'ו-אוקסידנטים בהגברת ההתפתחות מההירše של השורש בשתילים המורכבים.

לסיבום

מחקר שנערך עד עתה מצביע על החשיבות הרבה שיש לਮורבות של עקה חמazonית במערכות צמחיות שונות ולהשלכות שיש לה על איכויות הפורי לפלפל ועל עמידות צמחי יוקוט מורכבים. בתנאי עקה, הידע זהה מונוצל לבניית אסטרטגיות להגברת העמידות של רകות הממה לעקבות סביבה חשובות. כמו מליחות. עת מים עיקות טומפרטורה

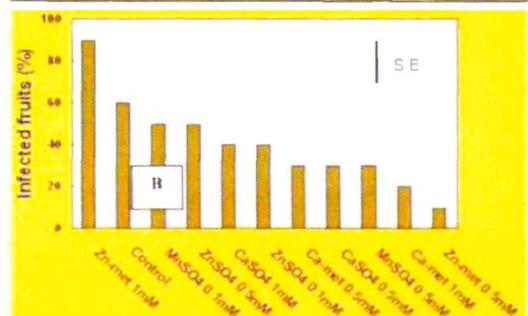
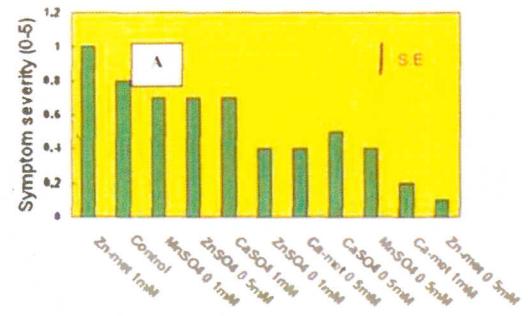
дата

תודה לכל אלה ששיתפו עמו פעהלה; נשוי מופ' דרום. מופ' ערבה ועמיינו בנווה יער ופיכך למדעי המים, קרע וסבבה **במיןנהל המקון החקלאי** (קצרה הירעה מלמןנות את כולם), וכן תודה לקרונות המימון השונות: קרן המדען הראשי, קרן קמ"ח וקרן הבונד/**מיןיל המקון החקלאי**

בזדהא ל' vckarni@volcani.agri.gov.il

איור מס' 2: השפעת טבילה של פירות בקלאטים של מגנן, אכז וסידן בפלפל על דרגת נזק פרי פלפל (A) ואחוז פירות גנוועים בחטאים (B). פירות פלפל בלתי גנוועים מהזון "ינבלה" הובאו מחממת ניסוי בתנחת יאיר אשר בערבה. הפירות נכללו בתמייסות מינרלים וקלאטים שונים בתוספת 0.01% טריטון כמשטה למשך כ-30 דקות בטמפרטורת החדר. הփירות הועברו לאחר מכון לאינקובציה ב- $-2^{\circ}\text{C}$  במשך 24 שעות בחדר קירור. לאחר מכון נספרו החטאים על כל פרי, ולפי מספרם ניתן הערכה לדרגת הנזק. כל 10 חטאים על פרו מהווים דרגת נזק. נתוני דרגת הנזק הינם רק של הפירות שנ גילו סימפטומים של חטאים. כל עמודה מייצגת מדידות של 10 פירות (אלוני וחוברינו, 2005).

של 10 פירוט (אלוני וחובריו, 2005).



ברומייד (Edelstein et al., 1999) בנוסח לעמידות למחולות קרקע. צמיחה המורכב יכולה להזכיר גם עמידות לעוקות א-ביוטיות. כמו אליחיות ובורון (Edelstein et al., 2005). ביצועי הצמחים המורכבים צלולים בהתאם גנטיות ופייזיולוגיות בין חננה לבין הרוכב יומשפעים מותאי הסביבה השורדים בשדה. שימוש מושכל בתאמת חננה לרוכב הינו כורח המציאות. אחת הביעות החשובות ביחסו כננה-רוכב היא חוסר התאמתה (incompatibility). המתבטאת השימוש ויבר של המ████חות האתמ בשילוב האציג או בהתמונהו.

חמצנויות. הגורמות למיתת תאים בשורש הצניהם (Aloni et al., 2008) במחקר שאנו ערכimos נמצדו רמות ההורמוניים. פעילותות אנזימטיות אנטיב-אוקסידנטיות והשפעת מתן מעכבי החמצון בשתילים שהורכו במשתלה ושוגרו לחממה במיטרי טמפרטורה שווים נמצא שగידול