

הגנת הצומח: אפלטוקסינים, רעלנים הנוצרים על ידי אספרגילוס בתאנים ובתמרים

נחמן פסטר, רבקה ברקאי-גולן (גימלאית) / מינהל
המחקר החקלאי



תמונת ארכיון

תקציר

נזק בריאותי חמור עלול להיגרם לבני אדם ולבעלי חיים מצריכת מזון המכיל מיקוטוקסינים - רעלני פטריות, מטבוליטים משניים הנוצרים על ידי מינים רבים של פטריות המתפתחות על תוצרת חקלאית בשדה או במהלך האחסון. אפלטוקסינים נמנים על הרעלנים בעלי ההשפעה החזקה ביותר על בני אדם ובעלי חיים. אלה הם רעלנים מסרטנים, טרטוגניים ומוטגניים חזקים, הנוצרים בטבע על ידי מיני אספרגילוס שונים הנמנים רק על קבוצת האספרגילוס פלאווס (*A. flavus*). האפלטוקסינים העיקריים בתוצרת חקלאית הם אפלטוקסין B_1 , B_2 , G_1 , G_2 . הם נמצאים בעיקר בגרעינים מסוגים שונים, אך נמצאו גם בפירות ובעיקר בתאנים ובתמרים. אפלטוקסינים נוצרים בתאנים בעיקר בעת הייבוש, כך שהטוקסינים נמצאים בעיקר בפירות יבשים. תמרים יכולים להזדהם באפלטוקסינים כאשר הפירות נתקפים בשלבי ההתבגרות הראשונים ומאוחסנים בלחות יחסית גבוהה. בכל מקרה לדרגת ההבשלה של הפירות ולתכולת המרכיבים (סוכרים, מקורות חנקן וכו') יש חשיבות בכל הנוגע לרמת הנגיעות באפלטוקסינים. אין כיום אמצעים למניעת היווצרות של אפלטוקסינים בפירות במטע

אפלטוקסינים (*Aflatoxins*) הם רעלנים הנוצרים רק על ידי מיני אספרגילוס (*Aspergillus*) הנמנים על קבוצת האספרגילוס פלאווס (*A. flavus*). פגיעתם בבני אדם ובעלי חיים קשה והם ידועים כמסרטנים. אפלטוקסינים עלולים להימצא בפירות ובעיקר בתאנים ובתמרים. התנאים במטע, כמו גם הרכב הפרי ודרגת הבשלתו, הם בין הגורמים העיקריים הקובעים את רמת הנגיעות בפטריות בשדה, ובעקיפין את כמות הטוקסינים. תנאי אחסון נאותים מונעים התפתחות פטריות ויצירת מיקוטוקסינים בפרי הקטוף. אין כיום אמצעים מסחריים לפירוק אפלטוקסינים המצויים בפירות ולפיכך, הרחקת פירות רקובים או פגומים עשויה להפחית את שיעור הפירות המשווקים בהם תכולה גבוהה של אפלטוקסינים.

בתמונה למעלה: תאנים ותמרים רגישים לפגיעת אפלטוקסינים

המוצרים החקלאיים העיקריים הרגישים ליצירת אפלטוקסינים הם תירס, גרעיני תבואה, אגוזי אדמה, אגוזי עץ, זרעי כותנה, אורז, פולי קפה ופירות. תפוצתם הטבעית של האפלטוקסינים בכמה מן המוצרים החקלאיים מהווה בעיה כלל עולמית מאחר שהם קשורים בסחר בינלאומי. הפירות הנתקפים הכלולים ברשימת המוצרים הרגישים להיווצרות אפלטוקסינים גדלים באקלים סובטרופי וטרופי, המאפשר את צמיחת הפטריות ויצירת הרעלנים. פטריות מקבוצת האספרגילוס פלאוס מסוגלות ליצור בנוסף לאפלטוקסינים גם רעלנים אחרים כגון חומצה ציקלופיזאזונית, חומצה אספרגילית, ורסיקולורין וסטריגמוציסטיין.

רמת האפלטוקסינים בפירות

פירות רבים, כגון תאנים, תמרים, פירות הדר, אננס, משמש, דובדבנים, ענבים ואחרים, יכולים להוות פונדקאים לצמיחתו של אספרגילוס פלאוס וליצירת אפלטוקסינים על ידו. אולם בטבע נמצא אפלטוקסין בעיקר בתאנים, תמרים, פירות הדר ואגוזים, הגדלים בתנאי טמפרטורה ולחות יחסית המאפשרים את צמיחת הפטריה.

סקירה שנעשתה בתאנים טריות בקליפורניה הראתה שמחצית הפירות הגוועים באספרגילוס פלאוס ואספרגילוס פרזיטיקוס הכילו רמות נמוכות של אפלטוקסין, בעוד שרמות גבוהות, עד מעל 1,000 מיקרוגרם/ק"ג, נמצאו בפירות בודדים. בדיקת התפוצה של אפלטוקסין במדגמי תאנים הצביעה על שיעור נמוך של פירות מזהמים, אך רמות גבוהות, המגיעות עד ל-300 מיקרוגרם/ק"ג, נמצאו בפירות בודדים. רמות גבוהות כאלו בתאנים קשורות בדרך כלל בפירות שהזדהמו בשלב הייבוש.

תמרים הגדלים בלחות יחסית גבוהה וטמפרטורות ממוצעות סובלים גם הם מזהום באפלטוקסינים. בחינת הימצאותם של אפלטוקסינים בתמרים טריים הראתה שאספרגילוס פלאוס מצוי ביותר מ-50% מדגמי התמרים, אולם היווצרות האפלטוקסינים מתרחשת רק עם העברת התמרים לאחסון בלחות יחסית מוגברת ב-30 מ"צ. בתנאים אלה נרשמו בפירות רמות גבוהות מאד של אפלטוקסין, שהגיעו עד ל-11,610 מיקרוגרם/ק"ג. בניגוד לתאנים, האפלטוקסינים בתמרים אינם מופיעים באופן טבעי בפירות המתייבשים במטע.

רמת האפלטוקסינים במזון האדם ובעלי חיים מבוקרת ברוב המדינות. כך למשל, הרמה הגבולית המותרת בארצות הברית הינה 20 מיקרוגרם/ק"ג לכלל האפלטוקסינים (B_1 , B_2 , G_1 , G_2) במזון, כפי שנקבע על ידי ה-FDA (Food and Drug Administration). המנה הגבולית המותרת של אפלטוקסין לגבי מספר תבלינים, כולל פפריקה, נקבעה על ידי האיחוד האירופי (European Union) ל-5 מיקרוגרם/ק"ג לגבי אפלטוקסין B_1 ו-10 מיקרוגרם/ק"ג לגבי כלל האפלטוקסינים. באגוזי אדמה, אגוזי עץ, פירות יבשים שונים, דגנים ומזון מעובד המיועד למאכל ישיר, המנה המירבית המותרת היא 2 מיקרוגרם/ק"ג לאפלטוקסין B_1 ו-4 מיקרוגרם/ק"ג לגבי כלל האפלטוקסינים.

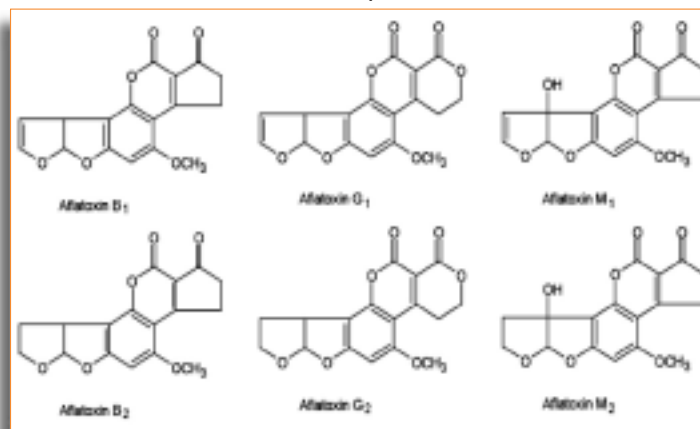
ואין אמצעים לפירוק הטוקסינים בפירות. לפיכך, שמירה על תנאי גידול נאותים (השקיה, הזנה, סניטציה, טיפולים בקוטלי פטריות וחרקים ועוד) כמו גם הרחקת פירות גוועים, הם האמצעים אותם יש לנקוט לשם הפחתת הצריכה של פירות מזהמים. בתאנים נמצא קשר כמותי בין נוכחות רמות גבוהות של אפלטוקסין לבין הופעת כתם, הזוהר בגוון ירקרק צהוב לאחר הארת התאנים באור אולטרה-סגול. מקור הכתם הוא חומצה קוז'ית (kojic acid), מטבוליט נוסף הנוצר על ידי פטריות יוצרות אפלטוקסינים. בעזרת תופעה זו ניתן להרחיק את התאנים המזהמות באפלטוקסין, ובכך להפחית את רמתו בקנה מידה תעשייתי. לגבי תמרים - נמצא כי הרחקת פירות רקובים או פגומים לפני הייבוש והאריזה יכולה להפחית את שיעור ההדבקה, ובעקיפין להפחית את כמות הפירות הנגועים.

מבוא

■ **אפלטוקסינים והמינים האחראים ליצירתם:** ידועים כיום כ-20 אפלטוקסינים שונים, לכולם שלד מולקולרי זהה והם מקוטלגים לשלוש קבוצות: B_1 , B_2 , G_1 , G_2 , כאשר ההבדל ביניהם נובע מקבוצות מותמרים שונים על שלד זה. האפלטוקסינים העיקריים בתוצרת חקלאית הם אפלטוקסין B_1 , B_2 , G_1 , G_2 , כאשר מבין ארבעת העיקריים אפלטוקסין B_1 הוא הרעיל ביותר והוכר על ידי IARC (International Agency for Research on Cancer) כחומר מסרטן המשותף לקבוצה 1, בגורמו באדם לקרצינומה ראשונית בכבד.

מבין מיני האספרגילוס המשתייכים לקבוצת האספרגילוס פלאוס, הקווים העיקריים היוצרים את הטוקסינים במוצרים החקלאיים שייכים לאספרגילוס פלאוס ואספרגילוס פרזיטיקוס (*A. parasiticus*). אולם לא כל קווי הפטריות של מינים אלה מייצרים אפלטוקסינים. לאחר התמקמותם במוצר הנתקף מסוגלות הפטריות האפלטוקסיניות ליצור בו אפלטוקסינים אם יימצאו התנאים הנאותים לכך.

באיור: מבנה כימי של מספר אפלטוקסינים הנפוצים בטבע



נגדד ולאחר מכן מיובש לדרגה הסופית, 'תאמר', שבו הוא נאכל באופן מיידי או מאוחסן עד שנה. רמות גבוהות של מיקרואורגניזמים שונים נמצאים על פני התמרים כבר בשלב ה'קימר' ורמתם עולה מאד בשלב ה'קלל' ופוחתת לאחר מכן, בשלב ה'רוטב'.

בדומה לתאנים, גם בתמרים קיימת השפעה מזרזת של תמציות הפרי על גדילת הפטריות ויצירת האפלטוקסינים. תמרים יכולים להזדהם על ידי אפלטוקסינים כאשר הפירות נתקפים בשלבי ההתבגרות הראשונים ומאוחסנים בלחות יחסית גבוהה. נזקי חרקים, ציפורים או נזקים מכניים הנגרמים בעת הקטיפה מאפשרים את חדירת הפטריות, חושפים את רקמות הפרי הפנימיות למיני אספרגילוס ותורמים ליצירת אפלטוקסינים. באופן כללי נמצאה רמה נמוכה יותר של אפלטוקסינים בזני תמר המאחרים בהבשלה מאשר בזנים המקדימים להבשיל.

זיהוי אפלטוקסינים בתאנים ובתמרים נעשה תוך שימוש בשיטות המקובלות - כרומטוגרפיה נוזלית. כמו כן נמצא קשר הדוק בין רמות גבוהות של אפלטוקסין (אך לא מיקוטוקסינים אחרים) בתאנים לבין הופעת זוהר פלואורסצנטי בהיר, בגוון ירקרק צהוב, לאחר הארת התאנים באולטרה-סגול (bright-greenish-yellow-fluorescence - BGYF). מקורו של הכתם הזוהר הוא חומצה קוז'ית (kojic acid), מטבוליט הנוצר על ידי פטריות אפלטוקסיניות. בעזרת תופעה זו ניתן להרחיק את התאנים המזוהמות באפלטוקסין (אם כי לא כל התאנים ה"זוהרות" מכילות אפלטוקסינים) ובכך להפחית את רמתו בקנה מידה תעשייתי. אולם, שיטה זו, למרות השימוש המסחרי בה, יעילה בעיקר לזיהוי אפלטוקסינים המצויים על פני הפרי, ולא לזיהוי הרעלים בפרי עצמו. זיהוי הרעלים בתוך הפרי מחייב חיתוך תאנים ובחינת תוכן, דבר שאינו אפשרי בקנה מידה מסחרי. בנוסף ראוי לציין, כי השיטה היא אינדוקטיבית בלבד ואינה מאפשרת קביעה של רמת האפלטוקסינים בפרי.

הפחתת רמות האפלטוקסינים בתאנים ובתמרים

ארייה ידנית של תאנים וייבושן מהר ככל האפשר מפחיתים את שיעור הריקבון ואת רמת האפלטוקסין בפרי. ייבוש הפירות לרמה הנמוכה מ- $a_w=0.80$ ואחסונם בתנאים המונעים את התרבותם מחדש הוצעו כתנאים להימנעות יצירת האפלטוקסין בפרי. לגבי תמרים נמצא, כי הרחקת פירות רקובים או פגומים לפני הייבוש והאריזה יכולה להפחית את שיעור ההדבקה, ובעקיפין להפחית את כמות הפירות המשווקים שבהם יש רמות גבוהות של אפלטוקסינים.

מספר עבודות נעשו להפחתת רמת האפלטוקסינים בתאנים הן במטע והן לאחר האסיף:

■ **במטע:** הגורמים המשפיעים על חדירת הפטריות לפרי והעצמת רמת האפלטוקסינים הם בעיקר תנאים אקלימיים וגורמים אגרוטכניים התורמים לעקת העצים והחלשתם. בין אלה ניתן למנות צימאון למים (הוכח כי בשנות בצורת רמת האפלטוקסין בתאנים גבוהה בהשוואה לשנים גשומות), נזקים מכניים, רמות גבוהות של מזיקים הפוגעים בפירות ומהווים וקטורים לפטריות, חסר באלמנטים

בארץ, על פי תקנות משרד הבריאות, רמת כלל האפלטוקסינים המותרת במזון, כולל תאנים, היא 15 מיקרוגרם/ק"ג, ובלבד שרמת אפלטוקסין B_1 לא תעלה על 5 מיקרוגרם/ק"ג.

גורמים המשפיעים על יצירת האפלטוקסינים וזיהוי הטוקסינים

מיני האספרגילוס היוצרים אפלטוקסינים נפוצים בטבע על חצעים רבים ובתנאים שונים, והם מתאפיינים ביכולתם לגדול היטב בתנאי חום ולחות המצויים באזורים סוב-טרופיים וטרופיים. האופטימום לצמיחתם הוא 35 מ"צ ו- $a_w=0.95$ - מקביל ל-95% לחות יחסית - והאופטימום ליצירת האפלטוקסינים על ידן הוא 33 מ"צ ו- $a_w=0.99$. רוב המידע על הגורמים המשפיעים על יצירת האפלטוקסינים בפירות מתייחס להצטברות הרעלן בתאנים ותמרים. תאנים הן מהפירות הרגישים ביותר להתקפת אספרגילוס פלאווס, וזאת הודות להרכבם הכימי (למשל תכולת הפחמימות הגבוהה בפרי) ולכושרה של הפטריה לחדור לתעלה הפנימית בפרי ולהתמקם בה. אולם רגישות התאנים להדבקה קשורה לגיל הפרי: פירות ירוקים צעירים עמידים להתקפת הפטריה, אך עם ההבשלה הם מתרככים ומאבדים את עמידותם. גם נוכחות מיץ על פני הפרי מזרזת את נביטת הנבגים ומקדימה את חדירתם לתוכו ואת יצירת התפטיר. נבגי פטריות הנמצאים על פרי בשל ושלם מסוגלים לתקוף אותו ולהתפתח בו. הפטריה יכולה לחדור לפרי גם דרך פצעים זעירים בקליפה, הנגרמים על ידי חרקים או אקריות.

חשיבות מיוחדת נודעת לטמפרטורה באזורים בהם גדלות תאנים (27-30 מ"צ), שהיא בתחום האופטימלי לצמיחת הפטריות וליצירת הרעלים על ידן. תאנים לא בוגרות עמידות בפני התקפה של פטריות אפלטוקסיניות, אולם כאשר הפירות מבשילים ומתרככים הם מאבדים את עמידותם.

יצירת אפלטוקסינים בתאנים יכולה להתחיל על העץ ולהמשיך במהלך הקטיפה או בעת האחסון. התאנים נשארות על העץ עד להבשלתן המלאה ובשלב זה הן מצטמקות ונופלות על הקרקע. הפירות הנאספים מן הקרקע עוברים ייבוש הנמשך עד חמישה ימים, כדי להפחית את רמת הרטיבות בפרי. כאשר התאנים נארות בתנאים של לחות יחסית גבוהה וגשמים פתאומיים, עלולים להצטבר בהן אפלטוקסינים.

ראוי לציין כי מיקוטוקסינים נוספים, הרעילים מאוד לבני אדם, כגון אוכרטוקסין (*ochratoxin*), פיומוניזינים (*fumonisin*), פטולין (*patulin*) וזארלנון (*zearalenone*) נמצאו גם הם בתאנים.

תמרים הגדלים באופן טבעי בתנאים של אקלים לח וחמים עוברים אף הם שינויים כימיים בעקבות הבשלתם והופכים רגישים להתקפת פטריות. בשלב ראשון של התבגרות הפרי, 'קימר', התמר ירוק ולא ניתן לאכילה, ובשלב שני, הנקרא 'קלל', הפרי בוגר, צבעו מלא והוא אהוב למאכל על ידי רבים. יש לציין כי בשלב זה רק זנים בהם רמת הטנינים נמוכה, כגון 'ברהי', התמר הצהוב, מתאימים לאכילה.

עם ההתקדמות לשלב הבא, 'רוטב', בו הפרי הופך רך וחום, הוא

בסודיום ביסולפיט (Sodium bisulfite) בתוספת מי חמצן והקרנה באור אולטרה סגול. הטיפול ייתנו גם בטמפרטורות של 45 ו-65 מ"צ ונמצא, כי בחלקם אכן פחתה רמת האפלטוקסינים בשעור של כ-70%. טיפול באוזון כגז הפחית את רמת האפלטוקסינים בתאנים, בעוד שטיפול באוזון כנוזל (Ozonated water) היה פחות יעיל בהרחקת הטוקסינים, אם כי הפחית משמעותית את רמת המיקרופלורה. באף אחד מהניסויים לא נבדקו תוצרי הפירוק של האפלטוקסינים ורמת רעילותם.

ספרות

1. Barkai Golan R., Paster N. (2008): Mycotoxins in Fruits and Vegetables. Elsevier, San Diego, CA., 395pp.
2. Drusch S., Ragab W. (2003): Mycotoxins in fruits, fruit juices, and dried fruits. J. Food Prot. 66, 1514-1527.
3. Karaca H., Nas S. (2008): Mycotoxins in dried figs. Proceedings of the Third International Symposium on Figs. Acta Hortic. 798, 307-312. ☒

תזונתיים והיעדר סניטציה במטע. שמירה על תנאי גידול נאותים וטיפולים בקוטלי פטריות וחרקים יעילים בהפחתת הנגיעות בפטריות וברמת האפלטוקסינים בתאנים. עבודות העוסקות בהפחתה של רמת האפלטוקסינים בתאנים, תוך שימוש בקו של אספרגילוס פלאווס, שאינו יוצר אפלטוקסינים (קו שאינו טוקסיגני), מבוצעות בארה"ב. בקרקעות מטעי תאנים שאולחו בקו זה, במטרה לקיים תחרות עם קווי יוצרי אפלטוקסינים הנמצאים בקרקעות אלו, נמצא שבמרבית המקרים אכן שלטה אוכלוסיית הקו שאינו טוקסיגני, אך טרם דווח אם רמת האפלטוקסינים בפירות פחתה משמעותית כתוצאה מטיפולים אלה. עוד דווח על זן תאנים שפירותיו מאולחים, אך ברמה פחותה יחסית, במינים שונים של אספרגילוס. לממצאים אלה חשיבות מאחר ששילוב של שימוש בזנים עמידים, במקביל לטיפול קרקע בקו שאינו טוקסיגני, עשויים להפחית את תכולת האפלטוקסינים בתאנים.

■ **לאחר האסיף:** נעשו עבודות לפירוק אפלטוקסינים בתאנים יבשות. בניסויים מבוקרים אולחו תאנים באפלטוקסינים וטופלו