



יום עיון בנושא:

מנגנוני פעולה של קוטלי עשבים

בחסות ועדות מגדלים:

גרנות, עמק יזרעאל, בית שאן, גליל עליון

בית התרבות, קיבוץ מזרע

16.02.07

סדר יום:

- 8:45 – 9:00 התכנסות וכיבוד קל
- 9:00 – 9:30 דר' שיקה קליפלד - "בררנות קוטלי עשבים בתגובה לאופן יישום, תנאי סביבה והפעלה בשדה"
- 9:30-10:15 פרופ' ברוך רובין - "מנגנון הפעולה וההיסטוריה של השימוש בגליפוסאט"
- 10:15-10:45 ארז אבישר - "קוטלי עשבים מעכבי פרוטופורינוגן (PPO)"
- 10:45-11:15 הפסקת אוכל
- 11:15-11:45 דר' טוביה יעקובי - "מנגנון הפעולה של קוטלי עשבים מעכבי קרטנואידיים, חלוקות תאים ו-ACCCase"
- 11:45-12:15 דר' משה סיבוני - "מנגנון הפעולה של קוטלי עשבים מעכבי ALS ובסטה"
- 12:15-12:45 ארז זהבי - "מנגנון הפעולה של קוטלי עשבים מעכבי תהליך פוטוסינטזה"

**בררנות קוטלי עשבים בתגובה לאופן יישום, תנאי סביבה והפעלה בשדה
דר' שיקה קליפלד**

ביישום קוטלי עשבים על עלוות הצמחים, ניתן להשפיע על הבררנות ועל יעילות ההדברה באמצעות שינוי בנפח התרסיס, טיב הריסוס, כמות ואיכות המשטח וכן בעיתוי הריסוס בהתאם לגיל הצמח ותנאי הסביבה. ביישום קוטלי עשבים שאריתיים בקרקע, ניתן להשפיע על הבררנות ועל יעילות ההדברה באמצעות התאמת המינון לסוג הקרקע, החדרת התכשיר לקרקע במנות מים שונות ושימוש באמצעים מכאניים למיקום התכשיר בשכבות בעלות עומק שונה בקרקע. עיתוי שונה של יישום קוטלי עשבים שאריתיים, יכול לגרום לפעילות הדברתית שונה ומשך השארות שונה של התכשיר בקרקע. האפשרויות המפורטות לעיל תשולבנה בדוגמאות מעשיות.

מנגנון הפעולה וההיסטוריה של השימוש בגלייפוסט

פרופ' ברוך רובין

*המכון למדעי הצמח והגנטיקה בחקלאות, הפקולטה למדעי החקלאות,
האוניברסיטה העברית בירושלים, רחובות*

גלייפוסט (N-(phosphonmethyl) glycine), הוצג לראשונה כקוטל עשבים ב-1971 והוכנס לשימוש מסחרי בארה"ב ובעולם ב-1974 ומאז הפך לתכשיר המילניום. גלייפוסט הוא קוטל עשבים לא בררני, הניתן לאחר הצצה ומדביר ביעילות גבוהה את מרבית הצמחים העשבוניים, דגניים ורחבי העלים. קוטל עשבים זה נחשב לידידותי לסביבה בגלל רעילותו הנמוכה לאורגניזמים לא צמחיים. בקרקע הוא חסר תנועה משמעותית, נקשר כאניון למתכות כמו סידן, מגנזיום וברזל ומסיסותו במים פוחתת מאוד. הגלייפוסט אינו רגיש במיוחד לפרוק פוטוכימי על פני הקרקע אך עובר פירוק מיקרוביאלי מהיר ולכן ניתן להשתמש בו סמוך לזריעה. החיסרון הגדול של גלייפוסט הוא אי בררנותו לגידולים חקלאיים.

לכן הוא משמש בארץ להדברת עשבים במטעים ושטחי בור ובגד"ש להכנת שטחים לפני זריעה או שתילה. גלייפוסט הוא קוטל עשבים הנע במהירות בתוך הצמח מאזור היישום לעבר מבלעים שונים כמו שורשים, קני שורש ומריסטמות קודקודיות. תכונה זו מאפשרת לגלייפוסט להדביר גם עשבים רב שנתיים קשי הדברה. גלייפוסט הוא קוטל העשבים היחיד המעכב במעגל החומצה השיקמית את האנזים:

5-enol-pyruvylshikimate-3-phosphate synthase (EPSPS) אנזים זה מעורב ביצור חומצות האמינו הארומטיות: פנילאלנין, טירוזין וטריפטופאן הדרושות לצמח לביוסינטזה של חלבונים וכפרוקורסורים לתרכובות חשובות אחרות כמו וויטמינים, הורמונים צמחיים, פיטואלקסינים, אלקלואידים, פלבנואידים וליגנין. עם פגיעת הפטנט (שהביאה להופעת מוצרים תחליפיים ולהוזלה ניכרת במחירו) ואימוץ הצמחים הטראנסגניים העמידים לגלייפוסט (Roundup Ready), השימוש בו בעולם עלה בצורה משמעותית. לעלייה זו בשימוש מתלוות שתי תופעות שליליות – שינוי בהרכב אוכלוסיית העשבים תוך התגברות השיבוש בעשבים רעים כמו חלמית ואבוטילון והופעת אוכלוסיות של עשבים עמידים לגלייפוסט. כדי לשמור על התכשיר, שבינתיים אין לו תחליף רציני, אנו חייבים לשנות את ממשק השימוש בו בחקלאות ובשטחים לא חקלאיים. נושאים אלה ידונו בהרחבה בהרצאה.

**מנגנון הפעולה של קוטלי עשבים מעכבי פרוטופורפירינוגן
ארז אבישר
לידור כימיקלים בע"מ**

קוטלי העשבים מעכבי פרוטופורפירינוגן (PPO) שייכים לכמה קבוצות כימיות כמו די פניל אתר, אוקסדיאזול, טריאזולון, ועוד. הם כוללים את התכשירים בוראל, אורורה, לוטוס, אקופרט, ראפט, רונסטאר, פלקס וגול

והם מעכבים את Protoporphyrinogen IX oxidase (פרוטוקס), אנזים ההופך Protoporphyrinogen IX ל-Protoporphyrin IX (פרוטו). עיכוב האנזים פרוטוקס גורם לחמצון לא מווסת של Protoporphyrinogen IX הגורם להצטברות הפרוטו. עיכוב פעילות הפרוטוקס גורמת להפסקת ייצור הכלורופיל ו-Hem. ה-Hem מווסת ייצור הפרוטו. הפסקת ייצור ה-Hem משבשת את ויסות יצירת הפרוטו. הפרוטו בעל רגישות לאור, בנוכחות אור וחמצן (המצוי בשפע בכלורופסטר) יש ייצור מוגבר של חמצן סינגלט (רדיקל חופשי עם אלקטרון עודף). הרדיקל החופשי מגיב עם החומצות השומניות והחלבונים המצויים בממברנות התא וגורם לדליפת תוכן התא.

בניסוי דיסקיות פסיגי מלפפון אשר הוטבלו בתמיסת Acifluorfen נמצא כי בשלב ראשון יש ייצור של שלפוחיות בציטופסמה. בשלב השני יש פירוק של הטונופלסט (דופן החללית) ושל ממברנת התא ולבסוף עיכול הכלורופלסט. בסיום התהליך דופן התא נהרס ותוכנו דולף. התגובה החיצונית הבולטת של הצמח לקוטלי עשבים אלה היא הלבנה (Bleaching) בגלל פירוק הכלורופלסט. בשונה מתכשירים הפוגעים בתהליך הפוטוסינטזה, הרי שמעכבי ה-PPO זקוקים לאור בלבד, אך לא לתהליך הפוטוסינטזה, לצורך פעולתם.

ישום תכשירים בעלי מנגנון פעולה זה לפנות ערב ישפר את ההדברה. ריסוס בסוף היום יגרום לייצור מוגבר של פרוטו במהלך כל הלילה ובבוקר עם זריחת השמש, תגרום תגובת הפרוטו שבתוך הצמח עם אור השמש ליצירת כמות גדולה מאוד של רדיקלים חופשיים.

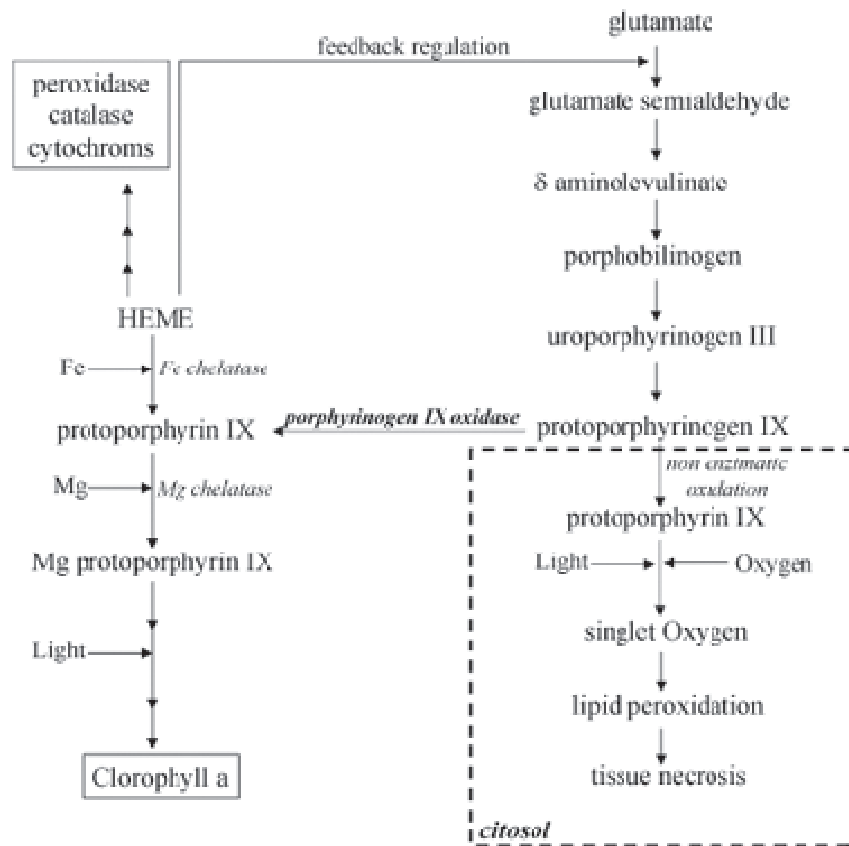


Figure 1 - Synthesis route of porphyrins in plants (adapted from Dodge, 1991; Hess, 1993; Nelson and Leningher, 2000; Weller, 2002).

**מנגנוני פעולה של קוטלי עשבים מעכבי Accase, סינטזת
קרטונואידים ומעכבי חלוקות תאים
דר' טוביה יעקובי
משרד החקלאות**

מעכבי Accase - האנזים אצטיל קואנזים A קרבוקסילאז (Accase) הוא אנזים מפתח בתהליך הייצור של חומצות שומן. חומצות שומן הן

מולקולות הכרחיות המרכיבות את הממברנות ודופן התאים, השעוות בקוטיקולה וכו'. זהו אנזים מפתח בכל היצורים החיים, הצומח והחי כאחד. לאנזים "מופעים" שונים במינים שונים, המהווים את המפתח לבררנות/סלקטיביות של קוטלי העשבים לצמחי התרבות והעשבים המודברים. בצמחים הדו-פסיגיים יש שני אנזימים כאלה, האחד עמיד למעכבי Accase ומצוי בתוך הפלסטידה (מקום היצור של ח' שומן) והמופע השני מצוי מחוץ לפלסטידה והוא רגיש למעכבים שונים של האנזים. הצמחים ממשפחת הדגניים מכילים רק את המופע הרגיש ולכן אינם יכולים ליצר חומצות שומן בנוכחות המעכבים שאנו מיישמים בשדה. בין היוצאים מן הכלל ניתן למצוא את צמח התירס שלו מס' עותקים של האנזים, הגורמים לצמח להיות יותר עמיד למעכבי האנזים, או המין Festuca, בעל שני מופעי האנזים, בדומה לרחבי העלים.

שתי קבוצות כימיות מספקות לנו את התכשירים בהם אנו משתמשים מזה 20-25 שנה לערך :

א. aryloxyphenoxypropanoates (Fop's) ובהם : אילוכסן, פומה, דגנול, גלנט, טופיק, טיפטופ, טרגה, ליאופרד, פיילוט, פנטרה, שוגון (בצורות שמיות של "סופר", "אקסטרא" וכו').

ב. Dim's cyclohexanedione) ובהם : אל דגן (לוותיקים...) פוקוס וסלקט. קוטלי העשבים המצוינים לעיל מדבירים גם בצורה סלקטיבית מיני עשבים דגניים בתוך גידולי דגן כמו אילוכסן או כאשר מוסיפים להם מגביר ברירנות (safener). וכאלה הם פומה, טופיק וטיפטופ.

מעכבי חלוקת תאים - חלוקת תאים רגילה, מיטוזה, הוא תהליך הכרחי לגדילה בו כל תא, בהגיעו ל"בגרות", מתחלק לשניים בתהליך רציף ובכך מתאפשרת התארכות רקמות ואיברים בכל היצורים החיים. בצמחים רב שנתיים בעיקר, אך גם בין צמחי הבר העשבונים התהליך מיוחד בכך שאין לכאורה מגבלה לגודל הסופי של הצמח כל עוד הוא מסוגל לקלוט אור

ומים, לבצע הטמעה ואינו נתקף על ידי גורמי מחלה ו/או מזיקים הגורמים למותו. עצירת התהליך מונע מהצמח את יכולת המשך התארכות השורשים ו/או קודקודי הצמיחה העל קרקעיים. נבט או צמח צעיר שאינו יכול לייצר יונקות שורש חדשות, לא מסוגל לקלוט מים ומינרלים מתמיסת הקרקע, וכך דינו נחרץ. גם אי היכולת לפתח ניצני עלווה וקודקודי צמיחה "תוקע" את הצמח במצב של אי-גדילה שסופו מות.

קבוצות התכשירים המונעות חלוקת התאים כוללות:

א. דינאטוראנילינים - ובהם: תכשירי הטרפן למיניהם, סטומפ, סונאלן, סורפלאן, פרלאן, קובקס.

ב. קרבמטים ותיאוקרבמטים ובהם: דקטאל, פרונטייר.

ג. כלורו ואוקסיאצטאמידים ובהם: אלכלור, דואל, אצטוכלור, טיאה, אקסיום (הכולל בתוכו את התכשיר טיאה).

ד. בנואמידים: קרב.

מעכבי סינתזת קרטנואידים - קרטנואידים הן מולקולות חשובות (ומיוחדות בעיקר לגיינגים). עיקר תפקידן למנוע חימצון והרס הכלורופיל שהוא פיגמנט האחראי על קליטת אנרגיית האור ותיעולה לייצור סוכרים בצמח השלם. זהו תהליך יחיד ומיוחד של ייצור סוכרים המאפשר את גדילת הצמחים הירוקים. מולקולת הכלורופיל מצויה בכלורופלסט וחשופה כל העת לקרינה מייננת ובעיקר קרני UV הגורמות ליצור רדיקלים חופשיים. רדיקלים אלה גורמים לחמצון ולהרס היכולת לבצע פוטוסינתזה (הטמעה). כלורופיל מחומצן הוא בחזקת פיגמנט "גמור" שאינו מסוגל להשתתף בתהליך ההטמעה,

קוטלי העשבים המעכבים ייצור קרטנואידים גורמים להלבנת עלים שלאחריה הרקמות הופכות חומות, נקרוטיות ולבסוף מתות ומתייבשות.

מבין הקרטנואידים המפורסמים והמיוצרים גם בצמחים אצין את:

1. ליקופן - להיט נוגד חימצון (אנטי-אוקסידנט) שבהנדסה גנטית מגבירים את כמותו בפרי העגבניות.
 2. b- קרוטן - מצוי בכמויות גדולות מאד בגזר למשל, ואכילה מופרזת שלו יכולה לגרום לצהבת!
- קוטלי עשבים המשתתפים בעיכוב סינתזת הקרטנואידים כוללים בין השאר: אזולן, קוורץ, רייסר ובלאנס ולוותיקים: זוריאל-זוליאר ופרייד.

מנגנון הפעולה של קוטלי עשבים מעכבי ALS

ד"ר משה סיבוני

*המכון למדעי הצמח והגנטיקה בחקלאות, הפקולטה למדעי החקלאות,
האוניברסיטה העברית בירושלים, רחובות*

מעכבי ALS נמנים על חמש קבוצות כימיות שונות של קוטלי עשבים: סולפונילאוראה, אימידאזולינונים, טריאזולופירימידינים, פירימידיניל-תיאובנוזאטים, סולפונילאמינוקרבונילטרואזולינונים. הם משמשים בטיפול קדם ו/או אחר הצצה להדברת עשבים רחבי עלים ודגניים, חד ורב-שנתיים. פעילותם הבררנית לגידולים שונים נובעת מיכולתם של צמחים אלה לפרקם במהירות למוצרים לא רעילים בצמח – ברירות מגוונות מאוד. קוטלי עשבים אלה מעכבים את פעילות האנזים אצטולקטט סינז (ALS) Aceto Lactate Synthase ובכך נמנעת יצירת חומצות האמינו המסועפות: איזולאוצין (Isoleucine), וואלין (Valine), ולאוצין (Leucine), החיוניות להתפתחותו וקיומו של הצמח. בהעדרם נעצר צימוח קודקודי הצמח (בשורשים תחילה ומאוחר יותר בגבעולים) והצמח אינו מסוגל לגדול. הסימפטומים הנראים לעין הם החמה של החלק העליון של הצמח ובהמשך נקרוזה והתמוטטות הצמח השלם. כל קוטלי העשבים מהקבוצות הנ"ל פועלים באותו מנגנון – מעכבים את פעילותו התקינה של האנזים ALS בכך שהם נקשרים לאתר המטרה שבאנזים. תהליך

היווצרות חומצות האמינו מתבצע בכלורופלסט שבתא, שם פועל ה- ALS ושם קוטל העשבים מעכב את פעולתו של האנזים.
מנגנון הפעולה של קוטל העשבים גלופוסינאט "בסטה" - קוטל העשבים
 גלופוסינאט "בסטה" משמש להדברת עשבים כללית והוא חסר בררנות. הוא יעיל גם נגד עשבים רב שנתיים. גלופוסינאט מעכב את פעילות האנזים הפלסטידי Glutamine Synthetase (GS), המקטלו יצור גלוטמין מחומצה גלוטמית. ה- GS הוא האנזים האחראי למיחזור אמוניה בתא. כתוצאה מעיכוב פעילותו מצטברת אמוניה חופשית הפוגעת בממברנות ובפעילות הפוטוסינתטית במישרין ובעקיפין.

מנגנון הפעולה של קוטלי עשבים המעכבים את תהליך הפוטוסינתזה
ארז זהבי
אגן יצרני כימיקלים בע"מ

קוטלי עשבים המעכבים את תהליך הפוטוסינתזה מתחלקים לשתי קבוצות עיקריות, האחת כוללת תכשירים המעכבים את תהליך הפוטוסינתזה בשרשרת מעבר האלקטרונים בחלבון D1 (PSII), כמו טריאזינים, מותמרי שתן, אוראצילים ועוד. הקבוצה השניה כוללת תכשירים המעכבים את תהליך הפוטוסינתזה בשלבו הסופי (PSI) וגורמים להתחמצנות וקריסת התאים כמו דו-קטלון לדוגמא.

מעכבי PSII: בקבוצה זו כ- 50 קוטלי עשבים שונים!!! הנחלקים לעשר תת-קבוצות כגון: מותמרי שתן דיורון (דיורקס), פלואומטורון (כותוגן), לינורון (לינורקס, אפאלון) ועוד, טריאזינים (אטרזין, סימאזין ועוד), מטוקסי-טריאזינים, מתילו-טריאזינים כמו אמטרין (אמיטרקס), טרבوترין (טרבוטרקס, איגראן), פרומטרין (פרומטרקס, גרד) ועוד, טריאזינונים כמו מטריבוזין (סנקור), מתמיטרון (גולטיקס) ועוד, מותמרי

אוראציל כמו ברומאציל (הייבר X) ועוד. קוטלי העשבים ממשפחה זו מיושמים הן בטיפולי קדם הצצה והן בטיפולים "על הראש" לאחר הצצת העשבים והם נבדלים זה מזה באוכלוסיות העשבים אותן הן מדבירים ובגידולים בהם הם מיושמים. לדוגמא: דיורון מקבוצת מותמרי השתן משמש בעיקר במניעת הצצת עשבים בפרדס, מטעים ובכותנה. לעומתו לינורון (לינורקס, אפאלון) מאותה תת-קבוצה מיושם למניעת הצצת עשבים בתפוא ובטיפול קדם ואחר הצצה בגזר. כל התכשירים הללו מעכבים את תהליך הפוטוסינתזה בכלורופיל ע"י תחרות עם פלסטוקווינון על הקשירה לחלבון D1. במידה והקדים קוטל העשבים את הקווינון בקשירה לחלבון, נעצרת שרשרת מעבר האלקטרונים בתהליך הפוטוסינתזה וגם קיבוע פחמן דו חמצני (CO_2), אנרגית האור אינה מנוצלת יותר בצמח, דבר המתבטא בפליטת אור וחמצן. תהליך זה גורם לקריסה ולתמותת התאים. סימני הפגיעה ביישום אחר הצצה נראים בשלב הראשון ככלורוזה (הצהבת העלים, העורקים נשארים ירוקים), אחר כך מופיעים כתמים נקרוטיים (תמותת תאים) ולבסוף מת הצמח. ביישום קדם הצצה נקלט קוטל העשבים בנבט הצעיר עם הצצתו. וכשהוא נחשף לאור השמש ומתחיל לבצע פוטוסינתזה מתחילה שרשרת האירועים המתוארת לעיל והוא מת. כל 10 תת-הקבוצות נקשרות לאותו אתר מטרה (חלבון D1), אבל לא לאותו אתר קשירה (נקשרים באופן שונה לחלבון). מוטציות באתר קשירה מסויים בחלבון D1 יוצר עמידות לתת-קבוצה אחת אבל לא לשניה. לדוגמא: ירבוז עמיד לאטרזין לא יהיה בהכרח עמיד לדיורון. כל קוטלי העשבים בעלי מנגנון פעולה זה מוגדרים כבעלי סיכון בינוני להופעת עמידות. העמידות השכיחה ביותר היא היווצרות מוטציה באתר הקשירה של החלבון אל קוטל העשבים (שינוי חומצת אמינו מגליצין לסרין בעמדה 264), שינוי זה גורם למניעת היכולת של קוטל העשבים להקשר אל החלבון ולהיקשרות חלקית של קווינון לחלבון. פעולה זו מאפשרת את המשך תהליך הפוטוסינתזה בצמחים עמידים אך באופן

פחות יעיל. השינוי באתר הקשירה גורם לזרימת אלקטרונים איטית יותר בתהליך הפוטוסינתזה בצמחים העמידים מאשר בצמחים הרגישים. לכן, בתחרות בין צמח עמיד וצמח רגיש על מים ואור בשדה ללא קוטל עשבים, יהיה הצמח הרגיש בעל תהליך פוטוסינתזה יעיל יותר והוא יגבר על הצמח העמיד בעל המוטציה.

מעכבי PSI: קבוצת חומרים זו מכילה שני קוטלי עשבים בלבד: פרקוואט (קטלון, ברן) ודיקוואט (רגלון). דו-קטלון הינו שילוב של שני התכשירים יחד. קבוצה זו מעכבת את תהליך הפוטוסינתזה לקראת סופו על ידי תחרות על קבלת אלקטרונים. לאחר קליטת האלקטרונים הופכת המולקולה לרדיקל חופשי הגורם לשרשרת תהליכי חמצון חריף בתא שבסופן דולפים אלקטרוליטים דרך הממברנות הנפגעות מראקציות אלה, דפנות התא מתחמצנות והצמח מת.

קבוצת תכשירים זו נעה בצמח בתנועה אפופלסטית (בחללים הבין תאיים ולא בתוך התאים) ולכן, כאשר קוטלי עשבים אלה מיושמים בלילה, ינוע התכשיר בעלה ו"יתמקם" בכל הכלורופלסטים. עם אור ראשון, יחל תהליך הפוטוסינתזה והצמח יפגע מהר וביעילות.

תכשירים אלה טעונים מטען חיובי ולכן, ביישום לקרקע ייספחו במהירות לחרסית הטעונה שלילית מבלי יכולת להשתחרר ממנה. וכך, במרבית הקרקעות בארץ לא יהיו תכשירים אלה פעילים דרך הקרקע.