

יישום פרמונים, כאמצעי ידידותי לסביבה, בהדברת מזיקים

ארנון שני*

תקשורת כימית ופרמונים

מה המשותף לתופעות הבאות: נמלים הולכות בטור לפירורי עוגה וחוזרות לקן; מלכת הדבורים בכורת מנהלת את חייהן של עשרות אלפי פועלות; כלב המשוטט בגינה, מרים את רגלו ומטיל את מימיו; נקבה של עש מרימה את קצה בטנה ועשרות עשים זכרים מגיעים אליה ממרחקים; כלבה מיוחמת כלואה בבית וכלבים זכרים מתגודדים מסביב לבית ונובחים; זכרים ונקבות של חיפושיות מתכנסים על עצים חלשים ונגועים.

המשותף לתופעות אלה ואחרות הוא התקשורת הכימית הפועלת באמצעות חומרים כימיים המופצים על-ידי פרטים של מין ביולוגי. הללו נקלטים על-ידי פרטים אחרים של אותו מין ביולוגי וגורמים להתפתחות או להתנהגות מסוימת. חומרים אלה נקראים פרמונים, והם משמשים לתקשורת כימית בין פרטים של אותו מין ביולוגי, להבדיל מחומרים המשמשים לתקשורת בין פרטים ממינים שונים.

כפי שאנו רואים מהדוגמאות לעיל, יש כאן פעילויות שונות, המבטאות פעילות של פרמונים שונים, בהתאם לצרכים. כך, למשל, הנמלים עוקבות אחרי **פרומון שביל**, המופק מבלוטות מתאימות של הנמלים, והן מחזקות אותו ברגליהן כל עוד יש מצעד של נמלים בשביל. אם התהלוכה נפסקת, גם ריח השביל נמוג והולך ונעלם כעבור זמן מה. מכאן אנו מבינים, כי החומרים המשמשים את פרומון השביל חייבים להיות נדיפים במידה מספקת, אך לא נדיפים מדי. ואכן, החומרים הפעילים במינים שונים של נמלים הם פרודות של פיראזינים (חומרים הטרוציקליים עם טבעת משושה

ושני אטומי חנקן), קטונים אליפטיים עד 10 אטומי פחמן, פחמימנים בני 10-15 אטומי פחמן וכד'. ניסוי קצר יכול להעיד על נוכחות הפרומון בשביל, על הרצפה או בחול. אם נשפשף את מקום תהלוכת הנמלים, נראה כי בהגיען אל מקום השפשוף, הן תיעצרנה ותתחלנה לחפש את המסלול. לאחר מספר ניסיונות של חיפוש לכאן ולכאן, הן תגענה אל המסלול המקורי ותחדשנה את ההליכה בטור.

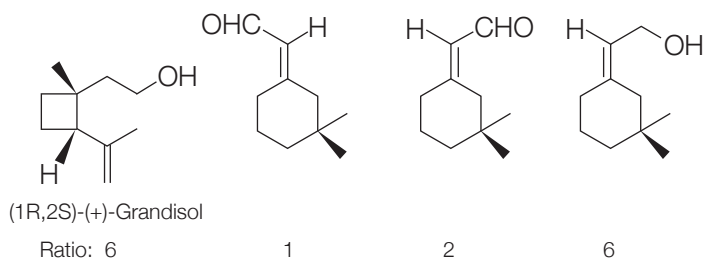
מלכת הדבורים מפרישה את **פרומון המלכה**, שאחד מתפקידיו הוא להורות לפועלות לטפל בצאצאים ולמנוע את התפתחות השחלות. הכלב המטיל מימיו מסמן תחום מחיה (טריטוריה) באמצעות **פרומון הטריטוריה** הייחודי לו. תופעה דומה מצויה אצל כל הטורפים (אריות, נמרים ועוד) המסמנים את התחום או בשתן או בגללי צואה. נקבות (או זכרים) של עשים וחרקים אחרים מפיצות **פרומון מין** כדי למשוך את בני הזוווג השני לצורכי הפריה והתרבות. כך גם עם הכלבה המיוחמת. חיפושיות מוצאות עץ חולה וחלש, המפיץ חומרים שונים, והחיפושיות החלוצות מפרישות **פרומון התכנסות** כדי למשוך פרטים נוספים לאכילה והזדווגות.

מהדוגמאות לעיל אנו רואים כי לכל מין ביולוגי יש מספר פרמונים, בהתאם לתפקיד שאותו הוא ממלא. כל פרומון הוא ייחודי למין מסוים ולתפקיד מוגדר, ומרביתם הם תערובת של מספר מרכיבים. המרכיבים השונים הם רכיבי הפרומון, ורק התערובת כולה נקראת פרומון. לאור העובדה שיש לפחות מיליון מינים של חרקים, עשרות ומאות אלפי מינים של בעלי חיים אחרים (מהירודים ביותר עד לעילאיים, כולל יונקים גבוהים), הרי שלפינוי אוסף עצום של חומרים כימיים המשמשים לתקשורת כימית. תכונותיהם הכימיות והפיזיקליות עברו את תהליכי האבולוציה והותאמו לתפקידם המיועד.

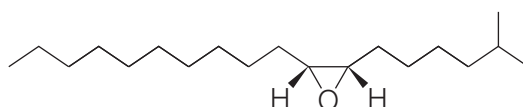
* פרופ' ארנון שני, פרופסור אמריטוס, המחלקה לכימיה, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב.



ואכן, מגוון החומרים מתפרש על פני כל תרכובות הפחמן, החל מפחמימנים פשוטים, חומרים אליציקליים, אולפינים, כהלים, אתרים, אצטטים של כהלים ארוכי שרשרת, אלדהידים, קטונים, חומצות שומניות, אסטרים, פנולים, חומצות אמיניות, פפטידים קצרים, סטרואידים, חומרים ארומטיים, הטרוציקליים ועוד ועוד. פירוט של חומרים ניתן למצוא בספרות המקצועית ובספרי עזר. מספר דוגמאות מוצגות באיור הבא.

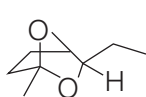


פרומון התכנסות ומין שמופרש על ידי הזכר של Boll weevil (חדקונית הכותנה)

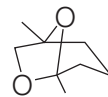


(7R,8S)-(+)-cis-epoxy-2-methyloctadecane

פרומון מין המופרש על ידי הנקבה של Gypsy Moth (עש הצועני)

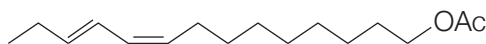


(1R,5S,7R)-(+)-exo-brevicomin



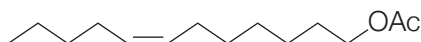
(1S,5R)-(-)-frontalin

פרומון התכנסות המופרש על ידי Western Pine Beetle, נקבות Brevicomin וזכרים Frontalin



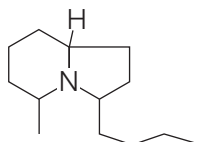
(Z,E)-9,11-tetradecadienyl acetate

המרכיב העיקרי בפרומון המין המופרש על ידי הנקבה של Egyptian Cotton Leafworm



(Z)-7-Dodecenyl acetate

פרומון מין המופרש על ידי הנקבה של Asian Elephant (הפיל האסיאתי)



all-cis-S-methyl-3-butyloctahydroindolizine

אחד המרכיבים של פרומון המופרש על ידי Pharaoh's Ant (נמלת פרעה)

להלן מאפיינים נוספים של הפרומונים:

- ★ הם מיוצרים בגופו של בעל-החיים ומופצים בדרך כלל בכמויות זעירות של מיקרוגרמים וננוגרמים.
- ★ היחודיות כה גבוהה כך, שאפילו אותם רכיבים המרכיבים שנים או שלושה פרמונים, הרי היחס השונה בין הרכיבים נותן פרומון יחודי לתפקיד מסוים ולכל מין ביולוגי.
- ★ הנדיפות של הפרומונים משתנה בהתאם לתפקיד שאותו הם ממלאים.
- ★ הרגישות למבנה הפרומון היא גבוהה ביותר, ושינוי קל במבנה החומר גורם להקטנה משמעותית בפעילות, עד כדי היעלמות או אף עד כדי הפיכת החומר לתוצר דוחה. הדבר בולט ביותר בפרומוני מין בחרקים, שמרביתם הם אצטטים של כהלים באורך של 10-18 אטומי פחמן עם קשר כפול אחד או שניים (יש מקרים שבהם יש 3 קשרים כפולים) לאורך השרשרת. כך למשל, שינוי מבנה של קשר כפול מאיזומר ציס לטרנס גורם לאיבוד פעילות ביולוגית או להפיכתו לחומר מעכב; הוספה או גריעה של אטום פחמן בשרשרת מצמצמת את הפעילות באופן משמעותי; הזזת הקשר הכפול בעמדה אחת מקטינה גם היא את הפעילות.
- אבר החישה של הפרומונים בחרקים הוא המחוש. ניתן לומר שהמחוש הוא המקביל לאף בבעלי החיים הגבוהים. במחוש מצויים תאי חישה הקולטים את האותות הכימיים, והם מתורגמים לזרמים חשמליים המועברים במערכת העצבית אל ה"מוח" של החרק, וזה האחרון מורה כיצד לנהוג.

יישום פרמונים בהדברת מזיקים

הפרומון החיוני ביותר הוא פרומון המין, משום שבלעדיו אין המשכיות למין הביולוגי המסוים. חשיבותו של פרומון המין באה לידי ביטוי בעיקר אצל חרקים, שהם גם המזיקים העיקריים בתחומי החקלאות, הבריאות והגידולים התעשייתיים. החרקים המהווים קבוצה חשובה בממלכת החי, כוללים את העשים (פרפרי לילה), את החיפושיות וכן את הזבובים, שהם מזיקים

קשים ועלות ההדברה שלהם מגיעה לכדי מיליארדים רבים של דולרים בשנה.

ההדברה נעשית באמצעות חומרים רעילים לחי ולסביבה. חומרים אלה מערערים את שיווי המשקל הביולוגי בטבע ואחראים להופעת התנגודת, לפגיעה בחרקים מועילים (דבורים, למשל) ובאויבים טבעיים של המזיקים כמו גם לזיהום קרקע, מים ואוויר. למרות היתרון הברור של חומרי הדברה במאבקם האין-סופי נגד המזיקים, הרי מגבלותיהם וחסרונותיהם הביאו בעשרות השנים

האחרונות להתפתחות הגישה של הדברה משולבת. הדברה משולבת מבוססת על הצורך להגן על היבולים ועל התוצרת החקלאית-תעשייתית אגב שמירה על היבטיה השונים של הסביבה מחד ועל הרווחיות הכלכלית מאידך, כדי שהחקלאים ימשיכו בייצור החקלאי. לפיכך הגישה כוללת אמצעי הדברה ביולוגיים (למשל, וירוסים הפוגעים בחרקים או שימוש באויבים טבעיים), שיטות אגרוטכניות לעיבוד הקרקע ולטיפול הגידולים החקלאיים, פרמונים ובשלב אחרון – שימוש בחומרי הדברה. בדרך זו ניתן לשמר את הסביבה ולצמצם את הכמויות של חומרי ההדברה בלי לפגוע ברמת היבול ובהכנסה לחקלאים. זו דרך נבונה ומתוחכמת יותר, אך היא דורשת חינוך והדרכה של החקלאים בכל הנוגע למקרים שבהם יש להפעיל גישה זו או אחרת ולדרכי השילוב בין גישות השונות. לכן את ההדברה המשולבת מוצאים יותר בארצות המפותחות ופחות במדינות המתפתחות. אולם בשנים האחרונות חל מפנה לטובה גם בכיוון זה.

ראינו כי לכל מין ביולוגי יש פרומון מין ייחודי לו. לכן כל טיפול במזיק זה או אחר הוא "אישי". לשיטה זו יש חיסרון: על מנת לטפל במספר מזיקים, יש להפעיל מערכות שונות בו זמנית. זאת בהבדל משיטת ההדברה המקובלת שפוגעת בכול, ובכך חוסכת זמן ואמצעים. למרות זאת, ועל אף חסרונותיו, יתרונן של הטיפולים ה"אישי" הוא בכך שאינו פוגע באורגניזמים נוספים.

נתמקד בפרומונים ובדרכי היישום שלהם בהדברה. ניתן למנות מספר דרכים שבהן משתמשים בפרומונים, בעיקר בפרומוני המין של החרקים, לצורך הדברה.

ניטור

המוקדים מכילים גם חומר הדברה, וכאשר החרק מגיע אל המוקד ובא במגע עם חומר ההדברה – הוא נקטל. בדרך זו אין זיהום סביבתי ואין פגיעה בבעלי-חיים אחרים. השיטה תופשת תאוצה, וגם היא מיושמת בעיקר בשטחים חקלאיים מבודדים ולא גדולים, משום שהיא מצריכה כוח עבודה רב, זול וזמין.

הפרעה בתקשורת ("בלבול")

על מנת להבין את עקרון השיטה יש להכיר את מנגנון המשיכה של הזוויגים זה לזה באמצעות פרומון המין. הזוויג המפיץ את הפרומון נמצא בדרך כלל במקום קבוע ומשחרר את הפרומון לאוויר. הדבר נחקר יותר בעשים, ולכן נשתמש בהם כמודל. הנקבה המפיצה את הפרומון מרימה את בטנה אשר בקצה נמצאת בלוטת הפרומון. כשהבלוטה נחשפת לאוויר, הרוח נושאת את פרודות הפרומון, וזכרים הנמצאים בכיוון הרוח חשים בפרומון ומתחילים לעוף נגד הרוח בתנועת "זיגזג" בתוך חרוט ארוך ההולך ומתכנס עד למקור הפרומון (הנקבה הקוראת). כלומר, העש הזכר עף ומזהה את פרודות הפרומון בריכוז הולך ועולה. זו דרך הניווט של מסלול התעופה. החרק חייב לחוש בהבדלי ריכוזים באוויר על מנת למצוא את דרכו אל המקור. מרחקי התעופה יכולים להגיע עד מאות מטרים, והכמות הנדרשת כדי לעורר את הזכר היא זעירה ביותר (ננוגרמים לסמ"ק אוויר ואף פחות מכך). הרגישות של החישה היא גבוהה ביותר, ובניסוי מעבדה נמצא כי כמות של אטוגרמים (10^{-18} גרם) בסמ"ק אוויר מספיקה כדי לעורר את התגובה העצבית במחוש, שהוא אבר ההרחה והחישה של החרקים. פירושו של דבר שנדרשים רק כמה אלפי פרודות של הפרומון (או כלל המרכיבים של הפרומון) כדי להתחיל את התהליך של החישה. כלומר, כל פרודה יכולה להיחשב כ"קוונטום של ריח". אפשר לומר כי זו המערכת הרגישה ביותר של חוש הריח בממלכת החי. לאור האמור לעיל, ניתן להבין את עקרון השיטה של הפרעה בתקשורת (או "בלבול"). הרעיון הוא פשוט ונשמע בלתי סביר, לכאורה, אך הוא עובד ומפיק תוצאות טובות. על מנת להסוות את מקור הפרומון (הנקבה

בשיטה זו משתמשים במלכודות עם נדיפיות הספוגות במעט פרומון של המזיק המיועד להדברה. הנדיפיות משחררות את הפרומון באופן איטי למשך תקופה הנעה בין מספר שבועות לבין מספר חודשים. פרומון המין מושך את בני הזוויג השני, והללו נלכדים במלכודת. בעשים, למשל, הנקבות הן המפרישות את פרומון המין, ולכן הזכרים הם הנמשכים. החקלאים בודקים מדי יום או מדי מספר ימים כמה עשים נלכדו במלכודת הניטור. בזכות ניסיונם המצטבר הם יודעים אם יש אוכלוסיה משמעותית בשדה, ואם כן, הם מטפלים בעזרת חומרי ההדברה באזור הנגוע בלבד. בדרך זו נחסך יישום מסיבי של חומרי הדברה, לעתים שלא לצורך, ומכאן יתרונותיה של ההדברה המתוחכמת יותר. בדרך כלל מלכודת אחת ל-10 עד 50 דונם מספקת תמונה אמינה על מצב המזיק המסוים בשדה. שיטה זו תופשת מקום נכבד בהדברה משולבת, והיא הוכיחה עצמה בטיפול בעשרות גידולים חקלאיים, ואף ביערות, במדינות רבות בעולם.

לכידה המונית

עקרונית, שיטה זו היא הרחבה משמעותית של הניטור, ובמקום לפזר מלכודת אחת על שטח גדול, מציבים מלכודות רבות בשדה (מלכודת לכל 1-2 דונמים), והכמות הגבוהה של הלכידות מקטינה באופן משמעותי את אוכלוסיית המזיק, מצמצמת את אירועי ההפריה וכתוצאה מכך האוכלוסייה של הדור הבא קטנה. באופן כזה ניתן להגיע לרמת טיפולים נמוכה יותר, ושוב נחסך השימוש בחומרי הדברה, על כל ההשלכות החיוביות המשתמעות מכך. עם זאת חסרונה הבולט של השיטה הוא בצורך בהשמה ידנית של מספר רב של מלכודות ובצורך לטפל בהן במהלך העונה. התהליך ממושך ויקר, לכן שיטה זו כמעט ואינה מיושמת, אלא בשטחים חקלאיים לא גדולים ומבודדים.

משיכה וקטילה

שיטה זו משלבת את חומרי ההדברה עם הפרומונים. מקימים מוקדי משיכה של המזיק באמצעות פרומון.

הופעת המזיק בתחילת העונה). איחור בהשמה עלול לגרום לכך שהגחה מקדימה תאפשר מפגש מיני בין הזוויגים, וכך אוכלוסיית הדור הראשון תהיה גבוהה וה"בלבול" לא יהיה יעיל עוד.

הדרך המוצעת על-ידינו היא לרסס או לפזר מן הקרקע או מהאוויר חלקיקים עשויים מחומרים המתפרקים בטבע. באמצעות ציוד מתאים, ולגרום להדבקת החלקיקים על העלוה על-ידי מריחת דבק על החלקיקים עם צאתם ממתקן הפיזור. הנושא נבדק עתה, ויש לקוות שנוכל להציע שיטה חדשה ונוחה יותר ליישום פרומונים למטרת הפרעה בתקשורת.

האם הופעת תנגודת לפרומונים היא אפשרית?

אנו יודעים כי כל לחץ שמופעל על מערכת מעורר תגובה. הדבר נכון בכל מערכות החיים, לא רק בפיזיקה, בכימיה או בביוֹלוגיה. במקרה שלנו מעניינת אותנו השאלה, אם יישום נמרץ של פרומונים בהדברה (בעיקר בשיטת ה"בלבול") ישרה הופעה של תנגודת, כפי שבאה לידי ביטוי נגד חומרי ההדברה או נגד תרופות אנטיביוטיות. המשמעות של התנגודת היא שגוף של בעל החיים מסוגל לנטרל את הפעילות הרעלית של חומר ההדברה או של התרופה ובכך למנוע פגיעה או קטילה.

התנגודת היא התגובה ליישום חומרי ההדברה ע"י תהליך ביוכימי או אחר. תהליך זה מאפשר לבעל החיים לפרק את החומר, להפוך אותו לבלתי רעיל, למנוע התקשרות לקולטן או לכל מנגנון המונע את הפעילות הרעלית שלו על האורגניזם. כלומר, הגוף פועל לנטרול חומר רעיל הפוגע בו. לולא התפתחה תנגודת, היו חומרי ההדברה והתרופות האנטיביוטיות הופכים לסיפור הצלחה חסר תקדים. אך הטבע יודע איך להתגבר על מכשולים ומוצא דרכים לאפשר לבעל החיים לשרוד ולהמשיך להתקיים. אין זו מטרה מוצהרת של האורגניזם, אלא תהליך הבררה הטבעית, שהוא תוצאה של המוטציות, של השונות הקיימת בטבע ושל היכולת הלא-מודעת של בעלי החיים לנצל זאת למען המשך קיומם.

כתוצאה מכך נאלצים המדענים לחפש כל העת תרופות

הקוראת), עלינו ליצור ריכוז **אחיד וגבוה** מהריכוז הטבעי של הפרומון באוויר, וכתוצאה מכך הזכר אינו מוצא את דרכו, משום שאין מפל ריכוזים באוויר. בכל כיוון שהזכר עף אליו, הוא מזהה ריכוז אחיד, ואין הוא יודע היכן מקור הפרומון. התוצאה היא שנמנע מפגש מיני בין זכרים ונקבות, והמשמעות ברורה: אין הפריה, אין ביצים מופרות ואין צאצאים. אם אין צאצאים, אין זחלים מזיקים של הדור הבא, ואין צורך לרסס בחומרי הדברה. אין כאן הרעלה, אין תמותה, אין הרעבה – כל מה שנעשה הוא מניעת הזדווגות.

על כך ניתן לומר כי לחיי המין של חרקים יש השפעה על כלכלת העולם. ואכן, בתחילת העונה, כאשר אוכלוסיית המזיק היא מצומצמת, ורק בוגרים מעטים מגיחים מהגלמים שנתרו בשדה בחורף, ההפרעה בתקשורת כמעט מלאה, ואין צורך בטיפול הדברה. אך בהמשך העונה, עם הופעתם של דורות חדשים, יש יותר ויותר בוגרים המצליחים להזדווג למרות ה"בלבול". לקראת סוף העונה יש צורך בטיפול הדברה מצומצם. לסיכומו של תהליך, באמצעות ה"בלבול" ניתן לחסוך את מרבית הטיפולים בחומרי הדברה ובכך למנוע פגיעה בסביבה. מבחינה כספית העלויות הכרוכות ביישום חומרי הדברה וביישום הפרומונים להפרעה בתקשורת הן דומות. כלומר, הרווח הוא בשמירה על הסביבה, ולכן זו שיטה ידידותית מאוד. בנוסף, באותם גידולים חקלאיים בהם המזיקים מודברים בשיטה הביוֹלוגית (בעיקר עם אויבים טבעיים) היישום של פרומונים ב"בלבול" משפר את ההדברה משום שלא זו בלבד שאין הוא פוגע באויבים הטבעיים, הוא אף מאפשר את התפתחותם.

הדרך להשיג ריכוז אחיד של פרומון בשדה היא על-ידי פיזור ידני של אביזרים המשחררים את הפרומון בקצב קבוע ולתקופה ארוכה, וכך נשמר הריכוז האחיד והגבוה יחסית בשדה. הבעיה בשיטה הקיימת היא שאת האביזרים הסינטיטיים (שאינם מתפרקים בטבע), הללו יש לתלות על העצים או על השיחים באופן ידני, ולשם כך נדרש כוח עבודה רב בתקופה קצרה מאוד (טרם

הזכרים, למרות הריכוז האחיד והגבוה של פרומון המין "בלבול". למעשה, יש כאן תהליך של הבררה הטבעית: לנקבות המייצרות מעט פרומון אין סיכוי להוות גורם משיכה תחת המסווה של "ענן" הפרומון המלאכותי באוויר. ואילו לאותן נקבות מעטות המייצרות כמות גדולה של פרומון, יש סיכוי כזה, והן מושכות זכרים למרות ה"בלבול". התוצאה היא שהנקבות ה"עשירות" מעמידות צאצאים, והבנות שביניהם ממשיכות באותה התנהגות (יש מרכיב תורשתי בכמות הפרומון) ומייצרות יותר פרומון. תוצאה נוספת היא שלאחר מספר דורות עשויה כמות הפרומון הממוצעת באוכלוסייה הנותרת לגדול בתום מספר שנים של הפרעה בתקשורת.

ואכן בסדרת ניסויים במעבדה, למרות ההבדל הבולט בין מעבדה לתנאי שדה, מצאתי כי לאחר 7-8 דורות (המקבילים ל-2-3 שנים בשדה) של "בלבול" עש הדבלים, שהוא מזיק קשה באסמים, גדלה פי שניים כמות הפרומון הממוצעת באוכלוסייה שעברה לחץ של "בלבול", לעומת אוכלוסייה רגילה שלא נחשפה ל"בלבול". תהליך זה הוא פשוט יחסית מבחינה גנטית, משום שאין בו מנגנון מורכב, אלא בררה של אותן נקבות המייצרות כמות גדולה של פרומון והיעלמותן של הנקבות המייצרות כמות קטנה של פרומון. תופעה דומה נמצאה בשדות כותנה בארה"ב לאחר 4 עונות של "בלבול", המקבילות ל-8 דורות של עש הזחל הוורוד הפוגע בהלקטים של הכותנה. בשל התנאים השונים ונדידת אוכלוסיות נמצאה עלייה בכמות הפרומון לאחר "בלבול", אך רק ב-25% לעומת בשדות בלי "בלבול".

תהליך מורכב ביותר הוא השינוי האפשרי בהרכב הפרומון. הזכרנו כי אין הרכב אחיד ומוחלט בכל האוכלוסייה. אותן נקבות שהן בעלות הרכב שונה מהממוצע, משחררות פרומון היכול להשפיע למרות ה"בלבול", ומעט זכרים יוכלו לזהות הרכב זה. זכרים "ברי מזל" אלה יתרבו, בעוד שמרבית האוכלוסייה תיעלם עם המשך ה"בלבול". כלומר, תתפתח אוכלוסייה חדשה, שאינה מושפעת מהפרומון המיושם בשדה. על מנת שתהליך זה יהיה רצוף, נדרשת בקרה גנטית של שני ההורים על שני הזוויגים הצאצאים. כל שינוי בהרכב

וחומרי הדברה חדשים, רעילים יותר או ייחודיים למערכות ספציפיות בגוף החי, על מנת למצוא את דרך הקטילה היעילה ביותר. בעל החיים נלחם בחומרי הרעל ויכול להם. התנגדות נגד קבוצות שונות של חומרי הדברה מתפתחת תוך מספר שנים (3 עד 6 שנים), ויעילותם של החומרים יורדת עד כדי ביטול השפעתה של פעילות ההדברה.

בניגוד מובהק לכך, הפרומונים, בייחוד פרומוני המין, הם חיוניים ביותר לחרקים, כי בלעדיהם לא יוכלו החרקים להתרבות. בלי תקשורת כימית, אין מפגש מיני, אין הפריה ואין צאצאים. האם נוכל להתגבר על תופעת התנגדות? האם הפרומונים הם הפתרון המיוחל להדברת מזיקים?

כפי שאמרנו לעיל, לכל לחץ יש תגובה. אין ספק כי גם במקרה זה תהיה תגובה. השאלה היא איזו תגובה יפתחו החרקים כנגד הפרומונים, שהם כאמור חיוניים לקיומם? מסתבר שהטבע יודע לעשות זאת. עדיין אין לנו הוכחות מלאות, אך סמנים ראשוניים כבר יש. אין זו התופעה הקלסית של תנגדות, אלא תהליך של **התחמקות** או **עקיפה (Evasion)**. החרקים לא יפתחו חומר או מנגנון הפועל נגד הפרומונים, כי נטרול פעילות הפרומונים פירושו איבוד לדעת.

מה יכול להיות מנגנון העקיפה במקרה של הפרומונים? נתמקד בפרומוני מין של החרקים, שנחקרו במשך למעלה משלושים השנים האחרונות. אנו יודעים כי אין אחידות מלאה בין כל הנקבות של מין ביולוגי אחד, הן מבחינת הכמות והן מבחינת ההרכב של הפרומון באותו מין ביולוגי עצמו. יש נקבות המייצרות יותר פרומון, ולכן הכמות המשוחררת לאוויר גבוהה יותר מאלו המייצרות מעט פרומון. כמו כן ההרכב של הפרומון אינו קבוע באופן מוחלט, ויש נקבות שיש להן הרכב שונה מעט מההרכב הממוצע באוכלוסייה. השונות הזו היא הבסיס לאפשרות של התחמקות וליכולת לשרוד למרות יישום נמרץ של פרומון המין "בלבול".

אני עוסק בנושא זה שנים רבות, ולפי הערכתי התהליך הראשון יהיה הגדלת כמות הפרומון המיוצר על-ידי נקבות החרקים על מנת להגדיל את הסיכוי למשוך את

פרומון המין המסוים, ועוד בטרם יגלו ירידה בפעילות, יוכלו לעשות את הפעולות הבאות:

1. למדוד את כמות הפרומון המיוצרת ומופצת על-ידי הנקבות ולהכין תכשיר עם קצב שחרור מתאים לרמת הפרומון בשדה.

2. לקבוע את ההרכב החדש של הפרומון ולהתאים את התכשיר החדש ל"בלבול" בהתאם להרכב החדש בשדה. תהליך זה הוא קצר, זול ופשוט בהשוואה לתהליך של מציאת חומר הדברה חדש והחדרתו לשוק, תהליך הנמשך למעלה מעשר שנים, לאחר סריקה של אלפי חומרים ובעלות של 500 מיליון דולר ויותר.

משמעות הדבר שלמדענים לא תחסר עבודה, ולכימאים מקום ראשון במערכה, כי הפרומונים הם חומרים כימיים, וכל עבודה עם חומרים היא מלאכתם של הכימאים.

לקריאה נוספת:

פירוט מלא יותר על נושא הפרומונים ניתן לקרוא ב"כימיה בישראל", ביטאון החברה הישראלית לכימיה, גיליון מספר 13, אב תשס"ג, אוגוסט 2003. במאמר זה רשומים מספר מקורות ספרותיים בנושא הפרומונים.

הפרומון המופץ על-ידי הנקבות חייב להיות מועבר גם לזכרים. משום שאם הזכרים לא יהיו מוכנים לשינוי, הם לא יוכלו לקלוט את ה"תדר" החדש. כלומר, תאי החישה והקולטנים במחוש חייבים לעבור שינוי מסוים על מנת שיוכלו לזהות את ההרכב החדש של הפרומון ולהגיב בהתאם. כל אלה הם תהליכים גנטיים הנובעים מבררה טבעית, אך דורשים זמן. ואכן, במטעי תה ביפן, לאחר 14-13 שנים של "בלבול" (המקבילות לכ-40 דורות), ירדה פלאים פעילות הפרומון ב"בלבול" ולא צלחה כבעבר. בדיקת הרכב פרומון המין באותו מזיק העלתה כי חל שינוי משמעותי בהרכב הפרומון במטעים שבהם פעלה ההפרעה בתקשורת לעומת ההרכב ההתחלתי לפני 15 שנים או לעומת ההרכב במטעים שבהם לא נעשתה פעולת ה"בלבול".

הנה כי כן רואים אנו כי אפילו במקרה של פרומונים, שלא רק שהם אינם רעילים או מזיקים, אלא חיוניים לחרקים, מתפתחת תופעה של התחמקות ועקיפת המכשול שבני האדם שמים לפתחם של החרקים המזיקים.

האם בזה עתידים הפרומונים להיכשל? כלל וכלל לא, משום שהמדענים יוכלו לעקוב אחרי הכמות וההרכב של

קוטלי חרקים	פרומונים
חיסול לא סלקטיבי של חרקים.	דיכוי סלקטיבי של חרקים (מזיקים).
מערערים שיווי משקל ביולוגי (חיסול של מרבית החרקים).	אינם מערערים שיווי משקל ביולוגי (דיכוי חלקי)
גורמים לזיהום סביבתי רב.	אינם גורמים זיהום סביבתי.
רעילים לבני אדם ולבעלי חיים אחרים.	אינם רעילים.
חלקם יציבים למדי.	בלתי יציבים, מתפרקים בשדה.
גורמים להתפתחות תנגודת.	לא ידועה תופעת תנגודת (לא סביר שתיווצר, כי זו פעולת "התאבדות"), אפשר שתתכן עקיפה.
דרושות כמויות עצומות: המנה לחיסול חרק בודד היא כ- 10^{-6} גרם.	דרושות כמויות זעירות: המנה למשיכת חרק בודד היא 10^{-15} - 10^{-18} גרם.
השקעה כספית גבוהה.	מהפיתוח ועד השיווק - השקעה כספית נמוכה יחסית לזו הנדרשת עבור קוטלים כימיים.

טבלה: השוואה בין תכונות של פרומוני מין של חרקים לבין תכונות של קוטלי חרקים בהדברה

