



# הדברה משולבת - להפחתת שאריות חומרי הדברה בסביבה ובמזון

מאת נ. אהרונסון, המחלקה לכימיה אקולוגית, המכון להגנת הצומח, מינהל המחקר החקלאי\*

**ה**חקלאות המודרנית מבוססת על שימוש נרחב בחומרי הדברה להגנה מפני חרקים מזיקים, מחלות צמחים ועשבי-בר. המודעות ההולכת וגוברת לסכנות הנגרמות לאדם ולסביבה מזיהום בכימיקלים רעילים מציבה גם את השימוש בחומרי הדברה תחת ביקורת מחמירה מאוד. ברוב ארצות העולם דורשים כיום להפחית עד כמה שאפשר את השימוש בחומרי הדברה, במטרה למזער את השתיירותם במזון ובסביבה. לכן גם חלה החמרה רבה בתקנות לגבי רמת השאריות המותרות, עובדה המאלצת את היצרנים לערוך מבחנים טוכסיקולוגיים מפורטים מאוד וללמוד את התנהגות החומרים האלה בסביבה, לרבות תהליכי הפירוק שלהם ואפשרות של הצטברותם בקרקע, במים, במזון, בבעלי-חיים ובאטמוספירה. מעקב אחר גורל חומרי ההדברה בסביבה מאפשר לאתר את החומרים הנוחים יותר, שמשך השתיירותם קצר ושרעילותם לאתר-המטרה סלקטיבית ככל האפשר, ושאינם מהווים סכנה לחי ולסביבה. המגמה כיום היא להפחית עד כמה שאפשר את השימוש בחומרי הדברה רעילים ולפתח שיטות וטכנולוגיות חלופיות, לא רעילות, ובמסגרת זו הולכת ומתפשטת בעולם שיטת ההדברה המשולבת (IPM - Integrated Pest Management).

## מבוא

החקלאות המודרנית מבוססת במידה רבה על שימוש נרחב בדשנים ובחומרי הדברה. משנות השלושים מתרחשת תמורה בחקלאות העולמית, עקב הרחבת הדישון המינרלי, טיפוח זנים חדשים והחדרת המיכון לתהליכי הייצור, ותמורה זו גררה עלייה חדה ברמת היבולים. הפיתוח המואץ בחקלאות בחמישים השנים האחרונות לא היה ניתן להשגה - אלמלא הוכנסו לשימוש חומרי ההדברה האורגאנו-סינתטיים, שנתנו תשובה לעלייה הרבה בנוקי מחלות, במזיקים ובעשבי בר. לפיתוח חומרי ההדברה האורגאנו-סינתטיים היתה השפעה מרחיקת-לכת גם בתחום בריאות הציבור. קוטלי החרקים החדשים איפשרו את עקירתן של כמה מחלות הגורמות מגפות קשות, כגון טיפוס הבהרות, דבר, מלריה ועוד. עד לשנות ה-80 גדל שוק חומרי ההדברה בקצב של כ-12% בשנה, והגיע בשנת 1990 להיקף מכירות של כ-19 מיליארד דולרים.

משנות ה-80 חלה התמתנות בהיקף הפיתוח של חומרי הדברה חדשים, במידה רבה כתוצאה מעלייה במודעות הציבור לגבי שמירת איכות הסביבה. החברה המערבית הציבה את הטיפול במכלול הנושאים הקשורים לשמירה על בריאות הציבור ועל הסביבה בעדיפות גבוהה מאוד, ועקב כך - גם הנושא של שימוש בחומרי הדברה רעילים המשמשים להדברת חרקים ומזיקים, מחוללי מחלות ועשבים רעים בחקלאות, זוכה בשנים האחרונות לביקורת מחמירה והולכת. ביקורת זו מחייבת עריכת מבחנים טוכסיקולוגיים קפדניים ויקרים מאוד למניעת נזקים נלווים לאדם ולסביבה. הדרישות הן לעתים מחמירות עד כדי כך, שלא תמיד ברור אם ההתייחסות מבוססת על מדדים טוכסיקולוגיים מקצועיים או שהתביעות המחמירות נובעות מהאווירה שיצרו גורמים כאלה או אחרים.

\* נוסח מקוצר של מאמר שנדפס ב"מחקר חקלאי בישראל" ח (2-1), 1996 המעוניין באיורים וברשימת הספרות יפנה אל המקור.

## היבטים טוכסיקולוגיים

חומרי הדברה המרוססים בשדה חשופים לכמה תהליכים בסיסיים, כגון תנועה ופיזור בסביבה (בעלי-חיים, בצמחים, בקרקע ובאטמוספירה), תהליכי ספיחה ותהליכי פירוק כימיים וביו-לוגיים היוצרים תוצרי ביניים חדשים, שחלקם בלתי רעילים אך חלקם חומרים רעילים שהם שונים מחומר-המוצא. חומרי ההדברה השונים משתייכים בסביבה פרקי-זמן שונים, בהתאם לתכונותיהם הכימו-פיזיקליות ותנאי הסביבה. לפיכך, מידת

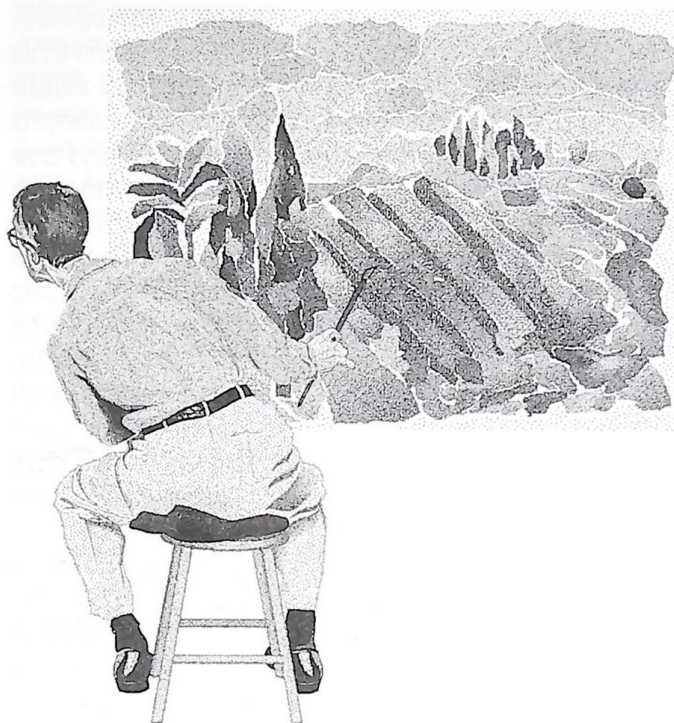
הסכנה מהשאריות של חומרים אלה לאחר הריסוס תלויה בתכונות הטוכסיקולוגיות של חומר ההדברה ובמידת חשיפתו לאורגאניזם הנפגע. המשוואה היא כמותית, ולכן הימצאות שאריות חומרי הדברה במזון או בסביבה - לא בהכרח הופכת את המזון למסוכן או לפסול. החומר הרעיל ביותר אינו מהווה סכנה - כל עוד חשיפתו לבעל-החיים היא למטה מסף מסוים. בזאת אין כל הבדל בין כימיקלים רעילים המיוצרים בתעשייה ובין כימיקלים טבעיים שיוצרים צמחים או מיקרואורגאניזמים.

חישוב רמת השאריות המותרת במזון מבוסס על מידת רעילות החומר, מידת חשיפתו לבני-אדם ולסביבה, ומידת התועלת הצפויה משימוש בחומר ההדברה.

הערכת הסכנות הנובעות משימוש בחומרי הדברה לאדם ולסביבה מחייבת: (1) - זיהוי סכנה; (2) - הערכת התגובה למינון; (3) - הערכת מידת החשיפה ואיפיון הסכנה. הנתונים

הדרושים להערכה טוכסיקולוגית של הסכנה מחומר כימי מחייבים הכרת הכימיה של החומר, החומרים הנלווים לחומר הנבדק ותוצרי הפירוק. המבחנים הטוכסיקולוגיים חייבים לכלול, כמובן, נתונים על: רעילות חריפה (acute toxicity) כשחומר ההדברה מוחדר דרך מערכת העיכול, העור ומערכת הנשימה; רעילות כרונית; מוטאגניות, קרצינוגניות, טוכסיקולוגיה של הפוריות, ובחינת התיפקודים הפיזיולוגיים בגוף בעלי-החיים. על בסיס הנתונים הטוכסיקולוגיים הנאספים ממבחנים במספר חיות במעבדה (חולדות, קופים, כלבים, ארנבות ועוד) אפשר לקבוע את רמת השאריות של חומרי ההדברה, המותרת במזון.

גורם נוסף, המובא בחשבון בקביעת רמת השאריות המותרת במזון, הוא - מנהגים חקלאיים נאותים (Good Agricultural Practices). המגמה היא - להפחית את השימוש בחומרי הדברה למינימום ההכרחי, ולהקדים עד כמה שאפשר את מועד הריסוס האחרון למועד האיסוף. ה-GAP מאפשר התייחסות מקצועית לשם תיווך בין צורכי החקלאות ובין הדרישה לשימוש מזערי בחומרי הדברה. בכל מקרה, אסור לחרוג מהרמה המרבית המותרת.







## תהליכי פירוק והצטברות

בילוי תכונותיו האניסקטיצידיות של די-די-טי, בשנת 1939, על-ידי ד"ר פול מילר בחברת "גיגיי" השווייצרית, היה נקודת מפנה בתחומים של הגנת הצומח ושמירה על בריאות הציבור. די-די-טי זכה בהצלחה מסחרית מדהימה, בין-השאר בזכות מחירו הנמוך, יעילותו הרבה נגד מגוון רחב של מזיקים, יציבותו בשדה ורעילותו המועטה יחסית ליונקים. באותן שנים סונתזו קוטלי-חרקים רבים אחרים מקבוצת הפחמימנים הכלוריים, כגון לינדן, אנדרין, דיאלדרין ואחרים. המשותף לכל הקבוצה היה - היעילות הרבה נגד מזיקים והיציבות הרבה בסביבה. אולם התברר, ששאריות של חומרים אלה הצטברו בקרקע כתוצאה מעמידותם לתהליכי פירוק כימיים ואניזמאטיים. נמצא, שמחצית-החיים בקרקע של חומרים כגון די-די-טי, דיאלדרין ואנדרין שנמצאו בגידולים כגון גזר, תפוחי-אדמה ואגוזי-אדמה - עשר שנים ויותר לאחר שחדלו מלרסס אותם בחקלאות. בדומה לכך הצטבר די-די-טי, במשך השנים, ברקמות שומן של בעלי-חיים ובני-אדם. אפילו כיום, שנים רבות לאחר שחדלו להשתמש בחומר, עדיין אפשר לזהות שאריות שלו בבעלי-חיים ובבני-אדם!

בגלל ממצאים אלה חולקו חומרי ההדברה לשתי קבוצות: חומרים המתפרקים לאט ונוטים להצטבר בסביבה ובעלי-חיים, וכאלה המתפרקים מהר ואינם מותירים שאריות לאורך זמן. דוגמה לכך אפשר לראות בעבודה שנעשתה בארץ על הצטברות חומרי הדברה פחמימנים-כלוריים בחלב. נמצא כי הכסלון ולינדן אינם מצטברים בחלב לאורך זמן. משחדלו לרסס את הבקר בהכסלון, בשנת 1978 - חלה פחיתה מהירה בשאריותיו בחלב. בשנת 1980 חדלו מלרסס גם בלינדן, ועקב כך נמצאה פחיתה בריכוז שאריות חומר זה בחלב. לעומת זאת, שאריות של DDE (תוצר הפירוק של די-די-טי שהיעלמותו איטית מאוד) נמצאו בחלב במשך שנים רבות לאחר שהשימוש בחומרים אלה הופסק בארץ, וזמן רב לפני ביצוע מחקר זה.

חומרי ההדברה שנמצאו מצטברים בסביבה הוצאו משימוש חקלאי והוחלפו בחומרים שפירוקם בקרקע, בצמח ובעלי-חיים הוא מהיר, ולפיכך מותירים שאריות לתקופה קצרה באופן יחסי. קוטלי-החרקים מקבוצות הזרחן-אורגאניים והקארבאמאטים, שחשיבותם רבה עד היום בהדברת מזיקים, מייצגים את קבוצת חומרי ההדברה המתפרקים בקלות ולכן אינם מצטברים בסביבה ובעלי-חיים. שאריות של חומרים אלה אפשר למצוא בתוצרת החקלאית או בקרקע - רק זמן קצר לאחר הריסוס. לכן, בתכנון נכון של לוח הריסוסים אפשר לווסת את כמותם בתוצרת. גם בין הזרחנים האורגאניים אפשר למצוא הבדלים בקצב ההתפרקות. חומר כגון דורסבן מתפרק בעגבניה מהר יחסית, ואילו קוטל-החרקים פוסוול (שלא אושר לשימוש מסחרי בחקלאות) מתנהג בשונה מרוב הזרחנים האורגאניים בכך, שקצב התפרקותו על-פני שטח העגבניה איטי מאוד. חומרי ההדברה שהוכנסו לשימוש בשנות השבעים והשמונים, כגון פירתרואידים סינתטיים, קוטלי-חרקים מווסתי גלית חרקים, או כאלה הפועלים לעיכוב סינתזת הכיטין - כל אלה נמנים עם קבוצת החומרים שהתפרקותם מהירה באופן יחסי, והם בעלי מחצית-חיים של ימים או שבועות, ולא של חודשים או שנים.

## השפעת גורמי סביבה על תהליכי הפירוק

קצב התפרקות חומרי הדברה אינו תלוי רק בתכונותיו הכימיות של החומר. לגורמי סביבה יש השפעה רבה על תהליכי הפירוק, שהם כימיים או אניזמאטיים. היעלמות חומר ההדברה מעל פני הצמח יכולה להיגרם מהתנדפות, מפירוק פוטוכימי, מהידרוליזה, מחימצון כימי, וכן בתהליכים אניזמאטיים על-ידי מיקרואורגאניזמים או אניזמים הפועלים על-פני שטח העלה או הפרי. לרוב הריאקציות הכימיות והביולוגיות דרושה רטיבות, ולכן בתנאי יובש יכול חומר ההדברה להישדך זמן רב יותר מאשר בתנאי לחות (גשם, טל). גורמי סביבה אלה עשויים להאריך או לקצר במידה משמעותית את משך ההשתיירות של חומר ההדברה על הצמח. חומר עשוי להיספח על-פני הצמח, וכאשר הספיחה חזקה, ולעתים בלתי-הפיכה - אפשר לראות בכך תהליך היעלמות נוסף, אף שיתכן שהחומר עדיין נשמר בצורתו המקורית. כאשר חומר ההדברה חודר לתוך הרקמה הצמחית, לקרקע או לגוף בעלי-החיים - תהליכי הפירוק שונים

מאוד ממקרה למקרה. בתנאים אלה, הפירוק האנזימטי הוא מסלול הפירוק העיקרי, וכך יכול לקרות שחומר המשתתף זמן רב על-פני הצמח - מתפרק במהירות לאחר שחדר לתוך הרקמה הצמחית. לעומת זה, על פי השטח החיצוני של הצמח הפירוק הוא בעיקר כימי או פוטוכימי. הזרחן האורגני פוסול, למשל, מתפרק לאט מאוד על פני הצמח, ואילו בקרקע או בתוך גוף בעלי-החיים התפרקותו מהירה בדומה לזו של כל קוטלי-החרקים הזרחן-אורגניים.

הבנת התהליכים הכימיים או האנזימטיים והכרת תכונותיו הכימיות של חומר ההדברה מאפשרות לצפות את קצב הפירוק שלו בתוצרת החקלאית ובסביבה. קיימים חומרי הדברה, שהם עמידים מאוד לתהליכי פירוק אנזימטיים, ולכן הצטברותם בסביבה רבה יותר, דבר המתבטא בדרך-כלל ברמת שאריות גבוהה יותר במזון או בקרקע. אפשר להדגים זאת באמצעות שני קוטלי-עשבים מקבוצת הטריאזינים: תהליך הפירוק של החומר אטראזין בקרקע מתרחש בכמה שלבים. השלב הראשון אינו אנזימטי, אלא פירוק כימי של אטראזין להידרוכסי-אטראזין. השלב השני הוא מיקרוביאלי, שבו הידרוכסי-אטראזין מתפרק לתוצרים נוספים ולבסוף עובר מינראליזציה ל-CO<sub>2</sub> ומים. שלב הפירוק הכימי הוא אטי, ומתבטא בהיעלמות אטית של אטראזין בקרקע. לעומת אטראזין, קוטל העשבים טרבוטרין מתפרק בקרקע במהירות על-ידי מיקרואורגניזמים, וכתוצאה מכך מחצית-החיים שלו בקרקע היא שבועות, ולא חודשים כפי שנמצא באטראזין.

תכונה אחרת של חומר ההדברה, המשפיעה על כושר הצטברותו, קשורה עם מידת מסיסותו בשומן. חומרים בעלי מסיסות מרובה בשומן מורחקים באיזור הפעילות של האנזימים, המתרכזות בסביבה מימית. קוטל-החרקים די-די-טי, למשל, משלב שתי תכונות שצוינו כאן: מסיסות מרובה מאוד בשומן ופירוק אטי על-ידי אנזימים. גם DDA, שהוא תוצר הפירוק של די-די-טי, מצטבר ברקמות השומן של בעלי-חיים, ולכן זמינותו לאנזימי החימצון ביונקים מוגבלת. DDA גם הצטבר במשך שנים בדגים ואלה אינם יכולים לפרוק, מכיון שהם חסרים את היכולת האנזימטית הקיימת ביונקים לחימצון רעל זה בעזרת אנזימי החימצון. אי-היכולת לחמצנו ולסלקו מגוף הדג היה גורם חשוב להצטברותו בשרשרת המזון, ובדרך זו - להפצתו לכל בעלי-החיים שעל-פני כדור הארץ. המסקנה מכל זה היתה, שחומרי הדברה העמידים לתהליכי פירוק אנזימטיים, או חומרים המתחמקים מפירוק כתוצאה ממסילות מרובה בשומן, אינם רצויים - ולכן הוצאו רובם משימוש חקלאי. חומרים המאפשרים כיום לשימוש הם רק כאלה שאינם נוטים להצטבר בשרשרת המזון, ושמשך השתתפותם בבעלי-חיים, בצמח או בקרקע הוא קצר.

דוגמה אופיינית לחומר בעל תכונות "חיוביות" מבחינת תהליכי הפירוק הוא קוטל-החרקים מאלאתיון. לחומר זה רעילות סלקטיבית, כתוצאה מתהליכי פירוק שונים בחרקים וביונקים. רעילותו ליונקים פחותה מרעילותו לחרקים כתוצאה מפעילותו של האנזים קארבוקסי-אסטראז, המצוי ביונקים וחסר בחרקים. אנזים זה גורם פירוק מהיר של שרשרת צדדית במולקולת המאלאתיון לפני הגעתו לאתר-הפעולה במערכת העצבים, וכתוצאה מכך הוא גורם פחיתת משמעותית ברעילותו ליונקים. ככלל, מאלאתיון עובר דה-טוכסיפיקציה מהירה בבעלי-חיים, בצמחים ובקרקע, בשל פעילות של מגוון אנזימים הידרוליטיים ואנזימי חימצון. דוגמה אחרת להשפעת תהליכי הפירוק על השתתפותו ורעילותו של חומר ההדברה היא קוטל החרקים הסיסטמי טמיק (Aldicarb). טמיק ניתן לקרקע, נקלט על-ידי שורשי הצמח, ומשם הוא נע במערכת ההובלה של הצמח לעלים ולפרי. טמיק עצמו מתפרק בקלות לתוצרי ביניים שרובם אינם רעילים. אך אחד מתוצרי הפירוק הוא טמיק-סולפוכסיד (צורה מחומצנת של טמיק), שהוא רעיל יותר מטמיק, ויציבותו בצמח ובקרקע רבה. טמיק-סולפוכסיד אחראי לכך, שלאחר טיפול-קרקע מצטבר החומר בעלים ובפרי, ומחמת רעילותו המרובה הוא עלול אף לגרום את הרעלת הצרכן. בתנאים שונים משתנה קצב ההתפרקות של תוצר הפירוק טמיק-סולפוכסיד.

באנגליה, בקרקעות שלא טופלו בעבר בטמיק, מתפרק טמיק-סולפוכסיד לאט יותר, ולכן הוא מצטבר בקרקע זמן ארוך יותר מאשר בקרקעות המטופלות. לעומת זאת, בקרקעות שטופלו מספר פעמים בטמיק, ואשר להן





היסטוריית טיפולים בו, למדו המיקרואורגניזמים שבקרקע לפרק טמיק-סולפוכסיד מהר יותר. תופעה זו מודגמת גם בזרחן האורגני טרבופוס. חשוב לציין, שיציבותם הרבה של טמיק-סולפוכסיד או טרבופוס-סולפוכסיד בקרקע ומסיסותם המרובה במים גרמו, שהם נשטפים למעמקי הקרקע ואף חודרים למי-תהום. הצטברות חומרים בקרקע וזיהום מי-תהום נעשו בשנים האחרונות לנושא מרכזי בהתייחסות החברה לגורל חומרי ההדברה בסביבה.

רמת השאריות בתוצרת החקלאית נקבעת על-פי הכמות המרוססת וקצב הפירוק, וגם כפונקציה של שטח-הפנים של הצמח והפרי. ירק עלים הוא בעל שטח פנים גדול ליחידת-משקל, לעומת פרי; ולפיכך, כתוצאה מריסוס - השאריות בעלווה מרובות מאשר על הפרי. גם בין פירות קיים הבדל משמעותי בין פרי קטן כגון ענבים או תות-שדה לבין פרי גדול כגון תפוח או מילון, ולכן רמת השאריות בהתאם. גם לתכונות השטח שעל פני הפרי יש השפעה על מידת הפירוק של חומרי ההדברה. קליפת פרי הדר מכילה לוזי שמן, וחומרי ההדברה שונים מתמוססים בתאי שמן, ואינם זמינים לפירוק. ואכן, במציאות, חומרי ההדברה שבדרך-כלל מתפרקים במהירות רבה יחסית - משתיירים זמן רב יותר על פרי ההדר.

## תוצרי פירוק או חומרים נלווים רעילים

לחומרי ההדברה שמידת רעילותם ידועה נלוות לעתים כמויות זעירות של תוצרי סינתזה משניים, שרעילותם עלולה להיות רבה לבעלי-חיים או לסביבה. דוגמה לכך הוא קוטל-העשבים 245T, שרעילותו ליונקים אינה מרובה. בתהליך הסינתזה שלו נוצרת כמות זעירה של חומר נוסף, בשם דיאוכסין. רעילותו של דיאוכסין ליונקים היתה ברמה כה גבוהה, עד שהוחלט להפסיק את השימוש בקוטל-עשבים זה. גם כאשר חומר כימי אינו רעיל ביותר, נמצא לעתים שלתוצר-הפירוק שלו תכונות לא-רצויות. דוגמה קיצונית לכך היא הכספית, המשמשת עדיין בתעשיות שונות, וגם בחקלאות - לחיטוי זרעים. פסולת מתעשייה המכילה כספית מתכתית הושקעה במעמקי האוקיינוס. מכיון שכספית אינה מסיסה במים - סברו שזו דרך נאותה לסילוק פסולת כספית. להפתעת המומחים התברר, באיחור רב, שכספית מתכתית נתונה במעמקי האוקיינוס להתקפת חיידק (*Clostridium cochlearium*), וזה הופך אותה באטיות למתיל-כספית - חומר רעיל המצטבר בשרשרת המזון ומוצא את דרכו לדגים. תהליך זה נתגלה רק לאחר שדייגים ביפאן הורעלו מאכילת דגים שמקורם באזורים הסמוכים למקום השקעת הכספית המתכתית.

## תפוצת שאריות חומרים באטמוספירה

חומרי ההדברה נישאים כשאריות למרחקים ניכרים באטמוספירה. לאחר ריסוס בהם, הם משתחררים ישירות לאטמוספירה, ומרחפים כטיפות זעירות שאינן שוקעות מיד לאחר הריסוס. ההתנדפות של חומרי ההדברה מפני הצמח או מהקרקע היא מקור נוסף לפיזור שאריות חומרי ההדברה באטמוספירה. במחקרים של השנים האחרונות נמצאו שאריות של חומרים כמו אטראזין או אלאכלור, כשהם נישאים באוויר כטיפות קטנות, בצורת ערפיח, או ספוחים לחלקיקים מוצקים. עקב כך אפשר למצוא שקיעה של שאריות חומר בריכוזים קטנים מאוד באזורים המרוחקים ממוקד הריסוס. אפשר אפוא לצפות, שגם תוצרת חקלאית שלא רוססה בחומרים מסוימים תכיל שאריות בכמויות זעירות - מריסוס באזורים מרוחקים. כמויות זעירות של שאריות ניתנות כיום לזיהוי בשיטות האנליטיות החדשות, שרגישותן מרובה מאוד. התופעה של רחף חומרי ההדברה גררה התקנת תקנות הקובעות מהו המרחק המזערי מגופי מים או מבתי-מגורים כאשר מרססים מהאוויר.

## פעילות-גומלין בין חומרי ההדברה ובין מיקרואורגניזמים

למיקרואורגניזמים יש, כידוע, תפקיד מרכזי בסילוק חומרי ההדברה רעילים מהסביבה, עקב פירוקם לחומרים לא-רעילים: ולכן, כל תהליך הפוגע בפעילות המיקרואורגניזמים מגביר את הסיכון של הצטברות רעלים

בקרע ובסביבה. בעבודות מהשנים האחרונות נמצא, שחומרים כימיים ממקורות תעשייתיים או אחרים (לרבות חומרי הדברה מסוימים) האטו או האיצו את תהליכי הפירוק המיקרוביאליים. שימוש חוזר בחומרי הדברה כגון בנלאט, דיפנאמיד, קארבופורן ורבים אחרים גרם האצה רבה של תהליכי הפירוק, עד כדי אבדן יעילות פעולתו של חומר ההדברה. לעומת זאת, חומרים אחרים כגון בדילן ותיראם (TMTD), וחיטויי קרקע, גרמו האטה משמעותית בקצב הפירוק של חומרי הדברה בקרקע, ועקב כך - הגדלת כמות השאריות שנקלטה בצמח.

## אנאליזה נימית של שאריות חומרי הדברה

בדיקת שאריות של חומרי הדברה מבוססת כיום בעיקר על אנאליזה בנז-כרומאטוגרף הקשור למס-ספקטרומטר. השיפור שחל בשנים האחרונות ביכולת ההפרדה והזיהוי של כמויות זעומות של חומרי הדברה הוא מדהים. כיום אפשר לבודד ולזהות שאריות חומרי הדברה בריכוז של ביליונית אחת ואף פחות בצמח, בקרקע או במים. כמויות זעירות אלו נמוכות בהרבה מהרמה המותרת על-פי התקנות. רגישות כה מרובה מאפשרת לזהות זיהום מזערי שמקורו עשוי להיות בשדה אחר, מריסוסים בסביבה או משאריות חומר מעונה קודמת בקרקע. במצב חדש זה, כאשר לרשות הכימאי אמצעים כה רגישים, יש להתייחס בזהירות למשמעות של כל ממצא בדבר נוכחות שאריות בתוצרת חקלאית או בקרקע. שיטה אחרת הנכנסת לשימוש בזנים האחרונות מבוססת על אנאליזה ביולוגית של חומר ההדברה ובדיקתו בעזרת נוגדנים יחודיים, המאפשרים זיהוי מהיר של כמויות זעירות.

בשיטה זו, המכונה (ELISA) Enzyme Linked Immuno-Sorbent Assay, נעשית הבדיקה באמצעים פשוטים יחסית, היא מהירה וזולה, ותעמוד בשנים הקרובות לרשות גורמים שונים המעוניינים לבדוק שאריות בתוצרת או בסביבה.

## סיכום

נוכחותן של שאריות חומרי הדברה בתוצרת ובסביבה פוגמת באיכות התוצרת החקלאית. קיימת דרישה הולכת ומחמירה מצד הגורמים הפועלים לשמירה על איכות הסביבה להפחית עד כמה שאפשר את השאריות בתוצרת חקלאית, ואת ההפצה של כימיקלים רעילים. מההיבט החקלאי ראוי לציין את פגיעתן של שאריות חומרי הדברה באויבים הטבעיים של חרקים מזיקים, ואת הפיתוח המואץ של עמידות לחומרים אלה בחרקים, בפטריות ובעשבים רעים. מכלול הנושאים הקשורים עם איכות הסביבה מהווה גורם מדרבן בעולם כולו להפחתת השימוש בחומרי הדברה רעילים, תוך פיתוח אמצעים חלופיים. למרות הדרישות המחמירות ומגוון התקנות החדשות, תוצרת חקלאית עדיין מכילה שאריות של חומרי הדברה. אפשר להפחית את כמותן ולהשפיע על סוג החומרים שיהיו בשימוש חקלאי בשנים הבאות, אך אי אפשר להימנע כליל מנוכחות שאריות אלה במזון. יש לזכור, שמלבד שאריות החומרים המשמשים בחקלאות - חשופה הסביבה לזיהומים כימיים נוספים, שמקורם בתעשייה, ושלעוללם לתרום את חלקם לשאריות לא-רצויות בקרקע, במים ובמזון - תהליך שילך ויחמיר בעתיד.

הפחתת שאריות חומרי הדברה בתוצרת החקלאית מחייבת פעילות בתחומים האלה:

(א) קידום ההדברה המשולבת, אגב פיתוח טכנולוגיות ואמצעים לא-רעילים חלופיים לחומרי ההדברה;

(ב) בחירה קפדנית של חומרי הדברה שפירוקם מהיר ושאינם מותירים תוצרי-פירוק לא-רצויים;

(ג) שמירה על רווחי-זמן נאותים בין מועד הריסוס האחרון ובין מועד הקטיף;

(ד) לימוד והכרה של התהליכים המשפיעים להאטת תהליכי הפירוק והגברת ההצטברות של שאריות חומרי ההדברה;

(ה) שיפור דרכי היישום להפחתת רחף ופיזור החומר בסביבה.