

# טרור חקלאי

## האם קיים איום ממשי על ביטחון גידולי חקלאות כתוצאה מהחדרת מחוללי מחלות בצמחים?

← פרופ' אברהם גמליאל

מנהל המעבדה לחקר שיטות הדברה, המכון להנדסה חקלאית, מינהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני בית דגן

טרור חקלאי כנגד צמחים או גידולי חקלאיים אינו מושג שקל לעכל אותו ולעמוד על חומרת המשמעות שעלולה להיגזר ממנו. למילה טרור הגדרה ומשמעות ברורים ביותר. מאידך, קשה לדמיין מצב בו אני שים חשים מאוימים בראותם צמח חולה בגינה או בשדה. תפוחי אדמה נרקבים ומצחינים, קלחי תירס מעופשים, או בצל נרקב בצבעים משונים, אינם מבריחים בבהלה את קהל הקונים מחנות הירקות.

מחלות בגידולים חקלאיים מאוזכרות בחדשות, בעיקר כאשר נלוות לכך השפעה כלכלית, כגון מחסור זמני בתוצרת או התייקרות חדה. גם במקרה כזה הסיבה למחסור אינה נקשרת לאפשרות שהמניע הוא טרור. במקרה של טרור חקלאי כמו גם במקרים אחרים של טרור, השימוש במינוח זה בא להדגיש את המניע ולא את השפעתו והתוצאות הנלוות לכך. אכן, העיסוק בהתמודדות עם טרור חקלאי מתמקד בעיקר במניעים לביצועו, בדרכים למניעתו ופחות בתגובה הרגשית של אלה שנפגעים ממנו. ההיבטים החשובים ביותר להתייחסות בבואנו להתמודד עם טרור חקלאי הם ההשלכות האפשריות כתוצאה מהחדרה מכוונת של מחוללי מחלות בצמחים, ופיתוח אסטרטגיה ומערך למוכנות ותגובה כדי להגן על מערכות הגידול החקלאיות מפני האפשרות להתרחשות כזו. השאלה התמימה והבלתי נמנעת - "מדוע ירצה מישהו לתקוף במזיד

חקלאי, דהיינו, החדרה מכוונת של מחוללי מחלות בצמחים כדי לפגוע בגידולים חקלאיים ובדרך זו גם בכלכלת האזור הנפגע. מן הסתם, טרור חקלאי מכוון גם לפגיעה בדרך ישירה או עקיפה באוכלוסיה החיה באזור הנפגע, וזו הניזונה מהתוצרת הפגועה. במאמר זה אנו מתמקדים בטרור חקלאי באמצעות הפצת מחוללי מחלות בצמחים. בהגדרת טרור חקלאי נכללים גם מחוללי נגעים אחרים כגון חרקים וצמחים מזיקים. באלה לא נתרכז במאמר זה, אף שהם מוזכרים כדי לתאר את רוחב היריעה האפשרית של טרור חקלאי.

### ביטחון גידולים חקלאיים, ביטחון מזון וביטחנות

גידולי חקלאות - אורז, חיטה, תירס, סויה, תפוחי אדמה - הם המקור הישיר והעקיף לכלל המזון שאותה צורכת האנושות. אנחנו צורכים צמחים ופירותיהם באופן ישיר כמזון, או באופן עקיף באמצעות הזנת בעלי חיים ועופות שמהווים גם הם חלק מתפריט המזון שלנו. צמחים נמצאים, אמנם, בתחתית הסולם של ערך החיים (צמחים < בעלי חיים < בני אדם), אך הם גם הבסיס הרחב של הפירמיידה שנקראת "שרשרת המזון". זאת ועוד, צמחים מהווים מקור עיקרי לתעשייה, סיבים, ואפילו כמקור לאנרגיה ודלק. על כן, בטחון גידולי

גידולים חקלאיים? דומה במהותה לשאלה "מדוע יפיץ אדם במזיד וירוסים דרך רשתות המחשבים כדי לפגוע במחשבים של בני אדם שהוא אינו מכיר כלל, בקצה אחר של העולם?". התשובה לשאלה זו נמצאת בתחום מדעי ההתנהגות ואינה בהכרח בהגדרת ההתמחות של כותב שורות אלה. העובדות הן, כי טרור בתחום המחשבים והתקשורת מתבצע בתכיפות גבוהה מאד כיום. האם מתרחש טרור חקלאי בעולם? ממצאים שחלקם מובאים להלן נותנים מענה חיובי לשאלה זו. האם טרור ביולוגי כנגד צמחים מהווה איום מוחשי וקיומי על כלל הגידולים בעולם? בהחלט לא! האם יכול להיגרם נזק בהיקף מקומי או יותר כתוצאה מטרור חקלאי? לא ניתן לשלול אפשרות כזו! לכן, לאור האפשרויות המעשיות לביצוע טרור מסוג זה וההיסטוריה של מקרים בהם בוצעו, מצביעים בבירור כי זהו איום שצריך להתחשב בו ולהתמודד איתו כדי למנוע סיכונים מיותרים בעתיד.

המושגים של טרור חקלאי וטרור ביולוגי משמשים לעיתים קרובות בערבוביה. טרור ביולוגי מגדיר בעיקר הפצת מחוללי מחלות בבני חיים ובבני אדם. בהגדרת טרור ביולוגי קיים אומנם תחום אפור, בעיקר כאשר הפצת מחוללי מחלות אלה נעשית באמצעות תוצרת חקלאית או מזון. טרור ביולוגי לצור רותיו אינו נדון במאמר זה. מאמר זה עוסק בתחום מוגדר של טרור

<<<

מיטביים להתפתחות ולהפצה של מחוללי מחלות ולהתבססותן באזורים חדשים שבהם הם לא גרמו לנוק לפני כן.

## החדרה בזדון של מחוללי מחלות (טרור)

המודעות להפצת מחוללי מחלות כתוצאה מפעולות אנושיות גברה מאד בעשור האחרון, בעיקר בעקבות הסחר העולמי המסיבי בתוצרת חקלאית לסוגיה השונים. בנוסף שינוע סחורות, תחבורה ותיירות מגבירים גם הם את הסיכון בהפצה גלובלית של מחוללי מחלות בצמיחים. הקושי העיקרי בשינוי הפצת מחלות למניע של פעולת טרור, הוא חוסר היכולת לקבוע בוודאות כי התפרצות מחולל מחלה אקזוטי נובעת ממניע מכוון זדון. קיימים פערי ידע ניכרים שמקשים על ההבחנה בין התפרצות מחולל מחלה שמקורה בחדירה מקרית או טבעית לבין זו שמקורה בהחדרה זדונית. הקושי בקביעה כזו מתעצם בעקבות התגברות עדויות להתפרצות של מזיקים פולשניים שמקורם רם בעצם הסחר העולמי העצום בתוצרת חקלאית. הסחר העולמי מקשה על ההתמודדות עם מניעת מעבר מזיקים פולשניים עם התוצרת המשווקת בין מדינות ובין יבשות. מחוללי מחלות יכולים לעבור בצורה סמויה או גלויה באמצעות צמחים, חומר ריבוי, פירות, ירקות וגרעינים. בארצות הברית, לדוגמה (שבה מופעלים אמצעי כיסוף מוגברים למניעת החדרת מזיקים פולשניים) גדל מספר מחוללי המחלות החדשים שהתגלו פי שלוש (Stack et al 2010). כותבי המאמר משייכים את הגידול הרב במספר מחוללי המחלות האקזוטיים שחדרו לארה"ב, בעיקר לשיפור באמצעי הגילוי של שרתי ההסגר. לישראל מיובאים מדי שנה זרעי תפוחי אדמה (פקעות) בהיקף 30,000 טון. פקעות אלה נושאות מחוללי מחלות שונים אשר מתבססים בארץ (Tsror et al 1999). כך לדוגמה מקורם של מחוללי מחלת היבללת בתרמילי אגוזי אדמה הם אותם חיידקים אשר נורמים לגרב בתפוחי אדמה ואשר מיובאים יחד

מי שמחייב מאמץ רחב היקף למניעת מעבר מחוללי נגעים אקזוטיים ממדינה אחת לשנייה ומיבשת אחת לשכנתה. ביטחון גידולים צריך להיות מערך מובנה של מוכנות ותוכנית פעולה להבטחת אספקה סדירה ובטוחה של מזון, מספוא ומוצרים נלווים (תעשיית העץ והסיבים). ביטחון גידולים מוגדר גם כהגנה על מדינה בפני חדירת פגעים פולשניים.

## איומים על ביטחון גידולים וביטחון מזון

הקשר בין ביטחון גידולים חקלאיים לביטחון מזון הוא חזק ביותר. מאידך, בריאות גידולי החקלאות והביטחון באספקה אינם מובנים מאלהם. יציבות אספקת המזון כפי שתואר אינה מובטחת בכל מקום על הגלובוס. על כן דרושה תוכנית מובנית להגנה על הגידולים החקלאיים ועל הסביבה הטבעית, כדי להבטיח יציבות של משטרים ואומות. קיימים מספר איומים עיקריים על בריאות גידולים חקלאיים ויציבות אספקת מזון. איומים אלה נובעים מגורמים טבעיים ואיתני טבע אחד, שאין לנו אלא להתמודד עם המערכות החקלאיות כדי להתמודד עימם ולמזער את הנזקים. מאידך קיימים איומים נוספים כגון הפצה בזדון של מחוללי מחלות, שכנגדם יש לפתח מערך מוכנות והתגוננות. ניתן לסווג את האיומים על ביטחון הגידולים ואספקת המזון לחמש קבוצות עיקריות:

## ריבוי טבעי של האוכלוסייה והפצת הגדל בין צרכי המזון וכושר הייצור במדינה או באזור

סחר בינלאומי והפצת מחוללי מחלות בין יבשות ומדינות באמצעות עות חומר ריבוי, מוצרי מזון לא מעובדים, סחורות ומוצרים צמחיים. תפוצה טבעית של פגעים ומחורלי מחלות בצמחים והתפשטות לאזורים חדשים באמצעים טבעיים ובאמצעות איתני הטבע (סופות חול, סופות טרופיות, הוריקן). שינויי אקלים והתפתחות תנאים

החקלאות היא תנאי חשוב לביטחון המזון ולבריאותם של הניזונים. קיימות הגדרות רבות למושג "ביטחון גידולים" (Crop Biosecurity), שנגזרות בעיקר לפי המערכת הביולוגית או החקלאית. ההגדרה לצורכי יצירת מכנה משותף לקו ראי שורות אלה מתייחסת להגנה על בריאותם של גידולים חקלאיים ולהבטחת המזון אשר מופק ומיוצר מגידולים אלה. ביטחון מזון (Food Security), הוא המצב בו הגידולים החקלאיים מוגנים לצורך אספקה סדירה של מזון ומספוא. ביטחון מזון אינו מובן מאליו, אומות רבות כיום אינן מסוגלות לספק את הצורך הנוכחי והעתיד במזון לאוכלוסייתן אזרחיהן, ונשענות על יבוא מארצות שכנות כדי להשלים את החסר במזון הדרוש. מכאן, שביטחון במזון נשען במידה רבה על יכולת לאומית ובמקביל על היכולת הגלובלית בייצור מזון. העדות המרשית לאי היציבות באספקת מזון היא מהומות על רקע מחסור במזון שפרצו במשך 5 השנים האחרונות ביותר משלושים מדינות ברחבי העולם. נקל להבין גם שהיציבות השלטונית במדינות כאלה תלויה במידת השובע של האוכלוסייה. גם במדינות מפותחות שבהן לכאורה המצב תקין ישנו חשש מפני חוסר ביטחון בהספקת מזון. בסקר שנערך בשנה האחרונה בקרב מדינות האיחוד האירופי נמצא כי חלק ניכר מאזרחי המדינות החברות באיחוד אינם בטוחים ביציבות אספקת המזון וחוששים מעתיד, שבו אספקת המזון אינה מובטחת (Anon 2012).

ביטחון גידולים מתמקד בין היתר בהגנה מפני הלא ידוע, כלומר חדירת מחוללי נגעים אקזוטיים - כאלה שאינם קיימים במדינה ועל כן המערך האקולוגי בה אינו ערוך להתמודד עם חדירה כזו. מחוללי נגעים אקזוטיים יכולים לפגוע במערכות הגידול החקלאי, בקיימות הגידולים, וביציבות המגוון הביולוגי הקיים במערכות הגידול החקלאי ובסביבת הכר. התחום הגיאוגרפי של ביטחון גידולי חקלאות משתרע מאזור גידול מוגבל במדינה (אזור שבו גידול ייחודי בעל ערך מוסף גבוה), ועד לביטחון גידולים בינלאומי

עם פקעות הזריעה. קיימות כמובן דוגמאות רבות נוספות להחדרת מחוללי מחלות אקזוטיים באופן לא מכוון. השטף בחדירתם של מחולי מחלות אקזוטיים מוגדר כ"זיהום ביולוגי" (Briston, 2004), שכן הוא גורם שלילי שמשפיע לרעה על האי-קולוגיה החקלאית. שטף כזה בחדי-רת מחוללי מחלות מהווה אתגר לא פשוט בהגדרת החדירה של מחולל מחלה חדש כאקט של טרור מכוון. ללא לקיחת אחריות לביצוע המעשה על ידי מבצע פעולת הטרור, קשה לקבוע האם חדירה של מחורלל חדש היא כתוצאה מתפוצה טבעית, התפתחות גזע חדש של מחורלל מחלה, כניסה באמצעות סחר בינלאומי או החדרה בזדון. הסחר העולמי כשלעצמו מהווה אמצעי יעיל להחדרת מחוללי מחלות אקזוטיים. קיימות תחנות רבות ונקודות תורפה לא מעטות ברשת התעבורה העולמית של סחורות חקלאיות שדרכן ניתן לנסות להחדיר פתוגנים אקזוטיים באופן מכוון. אומנם, מרבית הפתוגנים האקזוטיים נכללים ברשימות ההסגר ואמצעי הזיהוי והמניעה אמונים על גילויים. אך, עצם הגילוי והשמדת כלל הסחורה גורר בעצמו נזק ניכר גם ללא הכניסה למדינה. יתר על כן, הגילוי כשלעצמו אינו מצביע על אפשרות של פעולת טרור.

שיוך חדירת פתוגן כאקט של טרור נעשה מורכב יותר אם מצריפים למשוואה את השתנות האקלים כגורם משפיע. שינויי אקלים כשלעצמם משפיעים על מרכיבים רבים במערכות הצמחיות. התעצמות פגעים קיימים והופעת פגעים חדשים אופיינית במקרים רבים לשינויים בתנאי האקלים. קשה על כן לקבוע האם התפרצות "חדשה" של מחולל מחלות היא אכן כזו ולא התעצמות של גורם שהיה קיים גם קודם. יתר על כן, אם היא אכן מדור בר במחלה חדשה, קשה לקבוע האם התפרצותה נובעת מתפוצה "טבעית" כתוצאה משינויי האקלים, או אכן, כתוצאה מהחדרה בזדון.

## איומים ספציפיים על בריאות גידולים חקלאיים

מחוללי מחלות רבים מהווים סיכון

לגידולים חקלאיים במידה ויוחדרו לאזור גידול חקלאי חדש שבו הם לא היו קיימים קודם. האיומים ואורפי הנזק מהחדרת מחוללי מחלות משתנים בכל מדינה על פי הגידולים שבה, אופי החקלאות ואופי הסביבה הטבעית (Gamliel et al, 2008). ניתן לסווג את פוטנציאל האיום והנזק מהחדרת פתוגן חדש לארבעה קטגוריות עיקריות:

נזק לבריאות האדם והחי - יכול להיגרם ממחוללי מחלות הומניים וממחוללי מחלות צמחים. כיום מתרחב המידע על מחוללי מחלות בבני אדם כגון E-coli, סלמונלה וליסטריה אשר יכולים לשכון גם בתוך רקמות צמחיות כגון ירקות עלים. בשנים האחרונות דווחו מספר אירועים שבו קופחו חיי אדם בעקבות אכילת תוצרת חקלאית מזוהמת בפתוגנים כאלה. די אם נזכיר את האירוע שגבה בשנת 2011 את חייהם של עשרות אזרחים בגרמניה כתוצאה מאכילת נבטיים מזוהמים בחיידק הפתוגני E-coli. שנה לפני כן בשנת 2010 מתו בקליפורניה עשרות אנשים שאכלו מילונים מזוהמים בחיידק ליסטריה. ברור כי שני אסונות אלה לא נגרמו במזיד, אך פוטנציאל הפגיעה באדם בעקבות הימצאות של פתוגן בתוצרת חקלאית הוא ברור.

פטריות מחוללות מחלות בצמחים ידועות בכושרן לפגוע בבריאות החי והאדם. על כן תוצרת חקלאית נגועה במחוללי מחלות כאלה עלולה להוות סיכון לבריאות הניזונים ממנה. בשנת 2004 אושפזו מאות אנשים בקניה בגלל אכילת גרעיני תירס מעופשים (יותר ממאה נפטרו). בבדיקות בגרעיני התירס נמצאו כמויות גבוהות במיוחד של הרעלן עלן אפלאטוקסין אשר מיוצר על ידי פטריית העובש Aspergillus flavus. דוגמא נוספת היא מותם של מליון בני אדם כתוצאה ממחלת הדם Aleukia (ATA) שהתפרצה ברורסיה לאחר מלחמת העולם השנייה כתוצאה מצריכת קמח שנשחן מגרעינים מעופשים וגרמה למותם של כ-מיליון בני אדם. הגורם לתחלואה ולתמותה הוא הרעלן T-2 אשר מיוצר בעיקר על ידי פטריות מהסוג פוזריום שתקפו את שיבולי

החיטה בעת גידולם בשדות. פגיעה ליצוא תוצרת חקלאית מהמדינה - במיוחד כאשר מחולל המחלה שמוחדר מוגדר כמזיק הסגר גם במדינות שאליהן מיוצאת התוצרת החקלאית. נוכחות מזיק הסגר עלולה לעצור את כל היצוא מהמדינה, וגם חידושו מותנה לעיתים בהוכחות על הכחדתו של המזיק, או לחילופין העדרו ממקום הגידול ממנו מסופקת התוצרת החקלאית לייצוא.

נזק ישיר לגידול החקלאי ולחקלאי - נזק זה עלול להתבטא בפגיעה בכמות היבול או באיכותו עד כדי אובדן מוחלט של היבול. נזק מסוג זה עשוי להיראות שולי בחשיבותו ובמיוחד כאשר מדובר בנזק בהיקף מצומצם מבחינת גודל השטחים שנפגעו. אולם הנזקים העקיפים שעלולים להתלוות לפגיעה הישירה ביבול, כגון אי עמידה בחוזי הספקה ואובדן אימון אצל לקוחות מגדילים מאד את פוטנציאל הנזק לשיעור לא מבוטל.

השפעה שלילית על המיגון הביולוגי - החדרת מחוללי מחלה עלולה לשנות את המגוון הביולוגי בשני אופנים. ידועים המקרים של העלמות צמחים מאזורי גידול בגלל מחלות צמחים. לדוגמא עצי ערמונים נעלמו מהנוף בצפון אמריקה בעקבות מחלת Chestnut blight, או גידול קפה בציילון (סרילנקה היום), שהיה ענף חקלאי חשוב, נכחד בסוף המאה ה-19 בעקבות מחלות החיידק. הסבירות לתוצאה כזו בגידולי חקלאות עתירי הון היא נמוכה בגלל התשומות הרבות ואמצעי ההדבר. רה המגוונים שזמינים כיום. אולם השפעה על המגוון הביולוגי יכולה להתרחש בהדרגה בעיקר בסביבות טבעיות שבהן המעקב אחר מחלות ומזיקים הוא מוגבל. מוכרים מקרים רבים של חדירתם של מיני צמחים פולשניים אשר השתלטו על אזורי גידול שונים ודחקו צמחים שהיו במקום לפני כן.

## ההיבט ההיסטורי של טרור חקלאי - או, האם ייתכן טרור חקלאי?

השאלה - האם ייתכן טרור חק?

<<<

לאי? - נשמעת לכאורה כשאלה תיאורטית לחלוטין. אולם, התבוננות בעדויות רבות בהיסטוריה של העת העתיקה והזמן החדש מציגות תמונה אחרת של קיום סרור חקל-אי הלכה למעשה. כבר בשנת 600 לפני הספירה השתמשו האכדים בקישיונות של פטריה המכונה "אר-גוט" כדי להרעיל את מקורות המים של האויבים. הפטריה המייצרת קישיונות אלה מהווה מחולל מחלות בחיטה, סורגום וגידולי דגן אחרים ומסווגת כמזיק הסגר במדינות רבות בכללן ישראל. כברזיל תועד לפני 25 שנים סרור חקלאי בהחידרה מכוונת של פטריה מחוללת ריקבון בפולי קקאו, למטעי קקאו בחבל באהיה. המסקנה כי הפתורן הוחדר בזדון נתמכה בממצאים כגון מציאת ענפים מנותקים של קקאו נגועים בפטריה אשר הובאו ממקום אחר ונקשרו לעצים בריאים כדי להוות מקור הדבקה במטעים. אפידמיולוגים קבעו כי תפוצה טבעית של הפתורן באזור הנגוע היא לא סבירה בעליל. ההאשמה הוטלה על קבוצה מקומית שביצעה את פעולת הסרור במסגרת מאבקים פוליטיים בחבל ארץ זה. החידרה המחלה גרמה לפגיעה קשה באלפי עצים, פגיעה בגידול קקאו והפחתת היבול של פולי הקקאו ממטעים אלה בשיעור 75 אחוזים. קיימות עדויות נוספות של חידרה של מחוללי מחלות לסביבה חקלאית שלא ניתן לייחס אותה להתיפרצות טבעית. מאידך, לא ניתן היה להוכיח מעל לספק סביר שמדובר בהחדרה במזיד.

גידולי החקלאות הן "בטן רכה" של כל חברה אנושית ועל כן עלול ליום להוות מקור לפגיעה בגלל החשיבות הכלכלית והחברתית כפי שהוזכר לעיל. מערכות צמחים הן פגיעות מטבען, מעצם הגידול בשטחים נרחבים ולא מוגנים. בחלק משטחי הגידול כגון יערות, חורש טבעי, ושטחים פתוחים אחרים ניסור פגעים הוא נדיר ביותר, והסיכון שבהתפרצות מחלות הוא ממשי ורב. במהלך ההיסטוריה מתועדת פעילות רבה שאופייה סרור חקלאי, בעיקר כחלק מאסטרטגיה כוללת בעימות בין מדינות. שריפת יערות ושדות חקלאיים

היו במהלך ההיסטוריה חלק בלתי נפרד מאמצעי הלחימה כדי למנוע מזון ומחסה מהכוחות המתעמרים. במהלך ולאחר מלחמת העיר לם השנייה פיתחו מדינות תוכניות לוחמה ביולוגית כדי לפגוע בגידולי מפתח של מדינות אויבות כגון כי משון בתפוחי אדמה, מחוללי מחלות באורז, ומחוללי מחלות בחיטה ודגניים אחרים (Whitby 2001). בשנת 1972 עם החתימה על האמנה למניעת הפצת נשק ביולוגי ותוצריו, הופסקה הפעילות באופן רשמי במדינות החתומות על אמנה זו. בניגוד לכך, ובמקביל התרבו עדויות בשנות השמונים של המאה העשרים על תוכניות לפיתוח נשק לסרור חקלאי על ידי מדינות שאינן חתומות על אמנה זו. מדינות כמו עירק עסקו בפיתוח אמצעים להפצת מחלות כגון פחמונות בחיטה. מקרים שבהם בעיקר מדינות פיתחו אמצעים להפצת מחוללי מחלות כדי לפגוע במדינה אויבת מתועדים בספרות (Whitby 2001). בשנות התשעים במאה הקודמת מימן אירגון האומות המאוחדות תוכנית מחקר לפיתוח אמצעים ביולוגיים להשמדת שדות שמשמשים לייצור קוקאין במזרח אסיה ואמריקה הדרומית. באופן רשמי לא נעשה שימוש מעשי בתוכנית זו, אולם, עצם הפיתוח שנוי במחלוקת אף שמטרותיו אולי מוצדקות. האמצעים להתמודדות עם גידול הסמים באמצעות לוחמה ביולוגית זהים במקרה זה לפיתוח אמצעים המשמשים לסרור חקלאי, דהיינו ייצור כמות מסיבית של

מחולל מחלות, ופיתוח מערך לפי זורו היעיל, כדי שיפגע קשות עד להרס הגידול. מקרה זה מעיד גם על הדילמה בפיתוח אמצעי כזה, בעיקר משום הסיכוי שהוא עלול לשמש גורמים עוינים במידה שיהיה זמין להם.

## ההיבט הטכנולוגי והערכת הסיכונים

פיתוח נשק ביולוגי במסגרת לאומית מאופיין במימון לא מוגבל ובאמצעים טכנולוגיים למימון. במסגרת כזו ייצור מסיבי של הפטריה או החיידק הרלוונטיים הוא תהליך בר ביצוע. לכן, בעבר, פיתוח נשק ביולוגי לצרכים של סרור חקלאי, היה באפשרותן של מדינות ובמסגרת היעדים האסטרטגיים המלחמתיים שלהן (תמונות 1, 2, 3):

**חיפושית קולורדו בתפוחי אדמה - *Leptinotarsa decemlineata***  
**מזיק הסגר שפוגע קשות בגידול תפוחי אדמה. נתקפים כל חלקי הנוף וגם הפקעות. החיפושית עלולה לגרום לנזק רב עד כדי השמדת הגידול והיבול. בתקופת מלחמת העולם קיימו הנאצים באירופה תוכניות לריבוי מסיבי של חיפושית קולורדו לצורך שימוש בחיפושית כנשק ביולוגי להשמדת שדות תפוחי אדמה בצרפת (Whitby 2001). חיפושית זו אינה קיימת בארץ והשירותים להגנת הצומח במשרד החקלאות עושים מאמץ צי (עד היום בהצלחה) במניעת כניסתה.**

<<<

תמונה 3





השכנוולוגיה, המדע, התקשורת, התעבורה והשינוע שמספרים את איכות חיינו, מאפשרים בהחלט פיתוח מקומי של אורגניזם מחבל בעל תכונות משופרות לגרימת נזק רב. זאת ועוד, השכנוולוגיה הנוכחית מאפשרת את אריזתו בתואריות (פורמולציה) יציבה והובלתו לאור דרך מחצית העולם, מבלי שיתגלה, ופיזורו באתר המטרה. טרור הקל-אינו נכלל כיום בהגדרה הרחבה של פעילות שכנוולוגית מתוחכמת - הייטק. נהפוך הוא, קיימת תמיכה מות דעים כי האיום על בטחון וביטחון שיחות גדולים ומזון גדלה מאד עם התרחבות הסחר העולמי ותנועת סחורות (ומחוללי מחלות באמצעותם). ההתקדמות המדעית והשכנוולוגית וזמינות הידע, מהווים בהחלט חרב פיפיות פוטנציאלית לשימוש במזיד, ומוגדרת כ"דילמת השימוש הכפול" (Dual use dilemma). סוגיה זו מעסיקה מדינות רבות, בעיקר בשאלה האם לבקר ולהגביל יל באופן חוקי את הפיתוחים המדעיים והשכנוולוגיים וכן את פרסומם

הביושכנוולוגיים) עלולים ליצור בסיס שכנוולוגי זמין לפעילות מחבלת. ההתפתחות המואצת בכל תחומי

אולם, התפתחות מהירה של השכנוולוגיות שמספרות את רמת החיים שלנו (ובעיקר תהליכי הייצור



תמונה 5



בסיס התרחישים האפשריים, וכל על בסיס מאפייני מחולל המחלה, מאפייני הגידול ואזור הגידול ונתוני נים נוספים. לאחר הערכת הסיכור נים מבוצע גיבוש של דרכי פעולה להתמודדות עם הסיכון (Gamliel and Fletcher 2008).

נה לעיל). התרחישים מתחלקים לשלוש קטגוריות על פי אופיו של מבצע פעולת השרור, והיקף הנזק) התרחישים כוללים לוחמה ביולוגית, שרור ביולוגי, ופשע ביולוגי ומסווגים ככאלה על פי גורם השרור, דהיינו, מדינה, ארגון שרור, ופשע מקומי (בין חקלאים יריבים לדוגמא).  
3. ביצוע הערכת סיכונים על

הפומבי. זאת, מתוך חשש שינוצלו למטרות שליליות. אין כמובן תשור בה חד משמעית להתלבטות זו. אך, הדילמה הזו בהחלט מגדירה את המגבלות ומסבירה את הרצון לחסימת הנגישות לתוצרי הפיתוח המדעי והטכנולוגי. עם זאת חסי מה כזו לדעת רבים היא אפשרות גרועה יותר, שכן ניצולה לצרכים חיוביים שקול הרבה יותר מאשר ניצולה (אולי) למטרות שליליות. בעולם פותחו מודלים רבים להערכת הסיכון ופוטנציאל הנזק כתור צאה מפעילות שרור חקלאי. אין כמובן תמימות דעים לגבי המערך הנכון להערכת הסיכון. כיום מקור בל מערך מדורג להערכת סיכונים כתוצאה מחדירתם האפשרית של מחוללי מחלות אקזוטיים, אשר מורכב משלושה תהליכים עוקבים (Stack et al 2010):

1. קביעת רשימה של מחוללי המחיר לות החשובים ביותר שעלולים לגרום נזק לחקלאות ולסביבה במדינה הנתונה ואשר אינם קיימים במדינה (פגעי הסגר). רשימה זו, כמובן, שונה בין מדינות (תמונות 4, 5, 6):

**תמותת פגעים כתוצאה ממחלת Pierce's disease שנגרמת על ידי החיידק Xylella fastidiosa - זהו פגע הסגר שפוגע גם בגידול עצי פרי נשירים כגון משמש. החיידק מועבר על ידי חרקים שונים שמהוים וקטורים להפצתו בין שדות. החיידק שמוגדר כמזיק הסגר ואינו קיים בארץ. בארצות הברית מתבצעת תוכנית מחקר נרחבת להתמורדות עם המזיק במדינות בהם הוא נמצא, ולמניעת התבססותו במדינות שאליהם טרם הצליח לחדור.**

אירופה לדוגמא, מחלות עצי יער חשובים ביותר בעוד שבארץ משי מעותן פחותה באופן ניכר. כמעט לכל מדינה רשימה של מזיקים המכונים מזיקי הסגר, שחדירתם לארץ מסוכנת. אופי מזיקי ההסגר משתנה (Gamliel 2008). כך לדוגמא באירופה פגעי עצי יער חשובים ביותר, בארצות הברית ודרום אמריקה מזיקים של גידולי תבואה, ובארץ מחוללי מחלות של גידולי ירקות שמיועדים ליצוא.

2. בניית תרחישים אפשריים לחדירתם של מחוללי הפגעים (מתוך אלה שמופיעים ברשימה שהוכי



במדינות השותפות למחקר ובמדינות נוספות.

במסגרת תוכנית המחקר הוכנה, בשלב הראשון, רשימה של מחוללי המחלות החשובים ביותר שעלולים לגרום נזק לחקלאות ולסביבה, במדינות השותפות לתוכנית המחקר. בשלב הנוכחי של ביצוע המחקר, אנו מתארים תרחישים אפשריים ריים של החדרת מחוללי הפגעים (מתוך אלה שמופיעים ברשימה, כדי לבסס את מכלול הערכת הסיכונים האפשריים וכדי לגבש דרכי פעולה יעילות ותכליתיות להתמודד דות עם הסיכון. התוכנית כוללת גם מערך ניסויים רחב שחלקו הגדול מבוצע בישראל. במסגרת תוכנית המחקר אנו מתמקדים בגידול בצל הגינה ובמחלת הפוזוריום אשר תוקפת אותו וקיימת בארץ מזו מספר שנים (ראה תמונות 7, 8):

**מחלת הפוזוריום בבצל, היא מחלה חדשה שנתגלתה בארץ לפני חמש שנים (לא ברור מתי ואיך הגיעה). תסמיני המחלה על בצל לבן מתבטאים בריקבון יבש על הגלגל בולטת בצבע ורוד-סלמון. מחולל המחלה, הפטריה *Fusarium proliferatum*, הוא פתוגן חדש בבצל שדווח עד היום רק במספר מועט של מדינות. תסמיני המחלה אינם נראים על גבי בצל זהוב ואדום, למרות שהפטריה עשויה לאכלס את רקמות הבצל מזנים אלה.**

הפטריה תוקפת בארץ גם שום ותירס ונמצאה מאכלסת מגוון רחב של צמחי תרבות ובר נוספים. הפטריה מפרישה מגוון מיקוטוקסינים כגון Fumonisin, Moniliformin, Fusaproliferin. על כן, לנגיעות ירקות בפטריה עלולות להיות השלכות של בטיחות מזון ובריאות הצרכן, מעבר להתמודדות עם עצם נזק המחלה בבצל. פוזוריום בבצל נבחר לשמש מערכת המודל לתוכנית המחקר בתחום התמודדות עם טרור חקלאי בגלל שיקולים רבים, מקומיים ובינלאומיים. אמנם המחלה זוהתה לראשונה באזור הערבה הדרומית, אך מקור חומר הרבייה הוא בחלקו מבצלצולים אשר מגודלים בצפון הארץ. על כן התמודדות עם מחולל המחלה מחייבת מערך

לה, שאינם נמצאים בהכרח במדינה בה התפרצה המחלה. במערך NPDPN זה מובנים רשימת פגעים ותרחישים אפשריים להתפרצותם, כפי שתואר לעיל. כפועל יוצא קיימות במערך זה תוכניות מגירה מוכנות להפעלה במידה ותידרש תגובה כזו. מערך NPDPN עובד בשיתוף פעולה עם רשויות החוק כמו המשרד לביטחון פנים (Department of homeland security) והסוכנות הפדרלית האמריקאית לחקירות (FBI). מעת לעת מקיימים כל הגופים תרגילים לבחינת המוכנות ושיפורה.

ההכרה באפשרות של איום כתר צאה מסרור חקלאי החלה לחלחל גם באירופה זמן קצר לאחר אסון מגדלי התאומים בארה"ב, ובעקבותיה החלו לפני מספר שנים תוכניות להתמודדות עם איומים של טרור חקלאי. האיחוד האירופי מממן החל משנת 2005 תוכניות מחקר בינלאומיות שבהן שותפה גם ישראל שנועדו לגבש אמצעים להערכות ולהתמודדות עם איום אפשרי של טרור חקלאי.

כיום מתבצע בארץ מחקר חמש-שנתי במימון של האיחוד האירופי ובשיתוף חוקרים מישראל, גרמניה, אנגליה, צרפת, וארצות הברית, שמטרתו לבנות מרכז וירטואלי להתמודדות עם האיומים על גידולים חקלאיים וייצור המזון שנגזר מהם (Plant and Food security) (2011). התוכנית נועדה בעיקרה להגביר את איכות האבטחה של בטיחות המזון. בשלב הראשון של תוכנית המחקר אנו משלבים את הכישורים וההתמחויות של השותפים לבניית מערכת פעולה משותפת, אשר תיושם בשלב השני

## התמודדות עם טרור חקלאי - מה ניתן לעשות?

העולם כיום הוא מרחב פונקציונאלי קטן, שבו מעבר סחורות מקצה אחד לשני הוא מהיר ביותר. תעבורת הסחורות שחובקת עולם וגם הנדידה של אוכלוסיות ממקום למקום בתדירות גבוהה בחיפוש אחרי מרחב מחייה משופר יותר, יוצרים כר נוח לפגיעות גידולי חקלאות על ידי מחוללי מחלות חדשים. מאידך הקרבה והקשר בין מדינות יוצרים הזדמנויות לשיתוף פעולה בהתמודדות עם הסיכונים של החדרת פגעים לסביבה חקלאית חדשה. החלפת מידע, מחקרים משותפים ושיתוף פעולה בתחומים נוספים הם אמצעי חשוב בהתמודדות עם חדירת פגעים חדשים בכלל וטרור חקלאי בפרט. חשיבויותו של האיום שנקרא טרור חקלאי התגברה מאד באופן טבעי בעקבות אסון מגדלי התאומים בשנת 2001. בארצות הברית הוקם בעקבות אסון התאומים מערך לאומי לזיהוי והתמודדות עם מחוללי מחלות צמחים - National Plant Diagnostic Network (NPDPN). מערך זה כולל את כלל המדינות בארצות הברית, בנוי באופן היררכי של אזורים, ומרוכז בצומת עיקרי שממוקם באוניברסיטת Purdue במדינת אינדיאנה. העיקרון המובנה במערך זה הוא העברת אינפורמציה במהירות רבה וריכוזה במקום אחד. באופן כזה מועברות במהירות ידיעות על התפרצות מחלה חדשה במדינה לכל הרשת. יתר על כן, כדי לתת מענה מהיר, NPDPN מאפשר לאתר במהירות את המומחים הרלוונטיים לגידול ולמחולל המחלה

במהירות המרבית. חלק מדרכי הפעולה כוללים גם פעולות של ביולוגיה משפטית והתחקות אחר מקור המחולל ואיתור מחולל הטרור בדומה לפשיעה בתחומים אחרים, זאת כדי להביא את האשמים לדין ולהרתיע אחרים מפני ביצוע מעשי טרור בעתיד.

### ספרות מצוטטת

Anon, 2012. Europeans' attitudes towards food security, food quality and the countryside Special Eurobarometer 389. [http://ec.europa.eu/public\\_opinion/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/public_opinion/index_en.htm) [http://ec.europa.eu/agriculture/survey/2012/389\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/agriculture/survey/2012/389_en.pdf)

Brasier C. M. 2008. The biosecurity threat to the UK and global environment from international trade in plants. *Plant Pathology* 57:792-808

Briton, K. O. 2004. Controlling biological pollution pages 1-7. In: *Biological pollution, an emerging global menace* (ed. K. O. Briton). APS press St Paul MN 113 pages

Gamliel A. 2008. High Consequence Plant Pathogens. Pages 25-36 In: *Crop Biosecurity: Assuring Our Global Food Supply* (eds. Maria Gullino, M. L. Fletcher, J. Gamliel, A., and Stack J. P.). Springer, Netherlands, pages 25-36

Gamliel A, and Fletcher J. 2008. Crop Biosecurity: Containment and Eradication of Invasive Pathogens. Pages 73-92. In: *Crop Biosecurity: Assuring Our Global Food Supply* (eds. Maria Gullino, M. L. Fletcher, J. Gamliel, A., and Stack J. P.). Springer, Netherlands, pages 73-92

Gamliel A Gullino, M. L. and Stack J. P. 2008. Crop biosecurity: Local, national, regional and global perspective. Pages 37-61. In: *Crop Biosecurity: Assuring Our Global Food Supply* (eds. Maria Gullino, M. L. Fletcher, J. Gamliel, A., and Stack J. P.). Springer, Netherlands, Pages 37-61

Junior P. 2006. *Terrorismo biologico*. Vega 1961:60-63

National Plant Diagnostic Network website <http://www.npdn.org>

Plant and Food security 2011. A 5 year project to implement a virtual research network in order to improve the quality and impact of plant and food biosecurity training and research in Europe. <http://www.plantfoodsec.eu>

Stack j. P., Suffert, F., and Gullino, M. L. 2010. Bioterrorism: A threat to plant biosecurity? Pages 115-132 In: *The role of plant pathology in food safety and food security* (Strange, R.N., and Gullino, M. L. eds). Springer, Dordrecht, NL 154 pp

Suffert F., Latxague, E., and Sache, I. 2009. Plant pathogens as agroterrorist weapons: Assessment of the threat for European agriculture and forestry. *Food Security*. 1:221-232

Tsrer (Lahkim), L., Aharon, M. and Erlich, O. (1999). A survey of bacterial and fungal seedborne diseases in imported and domestic potato seed tubers. *Phytoparasitica*, 27: 215-226

Whitby, S. 2001. The potential use of plant pathogens against crops. *Microbes and infection* 73-80



תמונה 8



פוליטית או כלכלית בהיבט הלאומי. ההשפעה כתוצאה ממחלות בצמחי חיים נמדדת לאורך זמן ובהתייחס להיקף הגידול הנרחב. קשה לראות כי במדינות מפותחות יתממש איום של החדרת מחולל מחלות בצמחי חיים שיגרום לפגיעה מסיבית בייצור החקלאי, אך האפקט הכלכלי והחברתי עלול להיות לא מבוטל במקרים מסוימים. מחוללי מחלות בצמחים אשר מייצרים רעלנים בתוצרת המשווקת, ועלולים לפגוע ישירות באדם ובחי יכולים בהחלט להיחשב כאיום שאינו מבוטל. אכן, קיים ספק רב ביכולת של מבצע טרור חקלאי להפיץ רעלנים כאלה בכמות מסיבית. אך עצם ההפצה של רעלן כזה, גם בכמות קטנה, דיה כדי לגרום בהלה, ואי אמון של הציבור בשרשרת אספקת המזון שהוא צורך. יתר על כן, די בהפצת ידיעה על קיום האיום (ללא ביצוע ממש) כדי לגרום בהלה ואי שקט. על כן, נדרשת תשתית מוכנה ומורכבת להתמודדות עם איומים מסוג כזה כדי לנטרל את השפעתם.

רחב הן בזמן והן במרחב. יתר על כן, המערכת פוזריום-בצל משמשת בתוכנית המחקר גם בהיבט של הביולוגיה המשפטית (Forensic plant pathology), שמטרתו להתחקות אחרי המקור להפצת גורם המחלה, כדי להביאו לדין. במסגרת תוכנית המחקר מבוצע מחקר מקביל שבו מהלכו בצענו בשיתוף עם חוקרים מגרמניה וארצות הברית, איסוף של תבדידים רבים של מחולל המחלה באזורים שונים בארץ (ובגרמניה וארה"ב) כדי לאפיין חתימות גנטיות מיוחדות ואופייניות לתבדידים שיוכלו להעיד על מקורם ומאיפה הגיעו. מערך נוסף במחקר מתמקד בהתמודדות להדברת המחלה וצמצום ההשפעה השלילית האפשרית שיכולה לנבוע מנוכחות הפתוגן בתוצרת החקלאי.

### לסיכום

תמותת צמחים בודדים ואפילו רבים בשדה כלשהו לא תביא להשפעה משמעותית סוציו-סוציו-