

דוגמה לדף הפותח את הדו"ח

דוח לתכנית מחקר מספר 11-0560-838

פיתוח שיטה ספקטרוסקופית מתקדמת (FTIR) לזיהוי ואבחון פיטו-פאתוגנים **Advanced Fourier-transform infrared (FTIR) spectroscopy for identification of** **phytopathogens**

מוגש לקרן המדען הראשי במשרד החקלאות ולהנהלת ענף פרחים

ע"י

רפאל לינקר הפקולטה להנדסה אזרחית וסביבתית, טכניון

לאה צרור המחלקה לפתולוגיה של צמחים, גילת

Raphael Linker, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Technion, Haifa. E-mail: linkerr@tx.technion.ac.il

Leah Tsrur, Department of Plant Pathology, ARO, Gilat Research Center. E-mail: tsror@volcani.agri.gov.il

תקציר

המחקר הנוכחי התמקד בפיתוח שיטה מבוססת על ספקטרוסקופיה בתחום ה mid-infrared לזיהוי של פיטו-פאתוגנים. הפוטנציאל של הגישה נבדק בארבעה שלבים. בשלב הראשון בוצע זיהוי של פאתוגן בודד בתרבית נקייה (*Fusarium*, *Streptomyces*, *Verticillium dahliae*) או (*Colletotrichum coccodes*). בתנאים אידיאליים אלה יותר מ-90% מהדגימות זוהו בהצלחה. בשלב שני נבדקו תרביות נקיות מכילות גם שילובים של שני פאתוגנים. בתנאים אלו התקבל זיהוי מוצלח של יותר מ-90% מהתרביות עם פאתוגן אחד ובין 70% ל-90% מהתרביות עם שני פאתוגנים. בשלב השלישי נבדקו מיצויי קרקע המכילים *Colletotrichum coccodes* או *Verticillium dahliae*. התקבלו תוצאות מאכזבות למדי עם זיהוי מוצלח של רק 6 דגימות מתוך 15, וזאת כנראה מכיוון שהריכוזים של הפאתוגן במיצוים היו מאוד נמוכים. בשלב האחרון של המחקר נבחן הפוטנציאל של השיטה לצורך זיהוי ברמת המין, בתרביות נקיות. התקבלו תוצאות מעודדות מאוד עם זיהוי מוצלח עבור יותר מ-85% מהדגימות. ממצאי המחקר מצביעים על הפוטנציאל הגבוה הטמון בגישה המוצעת לזיהוי מדויק של פאתוגנים צמחיים.

.....
....

הצהרת החוקר הראשי:

הממצאים בדו"ח זה הינם תוצאות ניסויים.

הניסויים מהווים המלצות להקלאים: לא



תכנית 11-0560-838

פיתוח שיטה ספקטרוסקופית מתקדמת (FTIR) לזיהוי ואבחון פיטו-פאתוגנים

דו"ח מדעי סופי

מוגש לקרן המדען הראשי ע"י

ד"ר רפאל לינקר וד"ר לאה צרור

תקציר

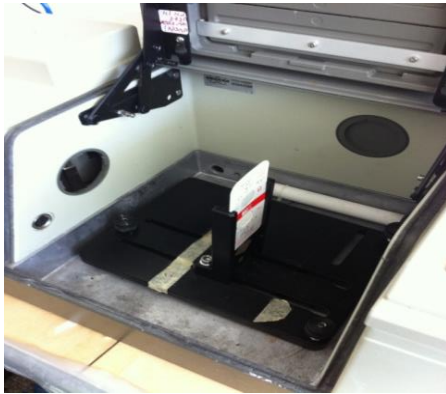
המחקר הנוכחי התמקד בפיתוח שיטה מבוססת על ספקטרוסקופיה בתחום ה mid-infrared לזיהוי של פיטו-פאתוגנים. הפוטנציאל של הגישה נבדק בארבעה שלבים. בשלב הראשון בוצע זיהוי של פאתוגן בודד בתרבית נקייה (*Fusarium*, *Streptomyces*, *Verticillium dahliae*) או (*Colletotrichum coccodes*). בתנאים אידיאליים אלה יותר מ-90% מהדגימות זוהו בהצלחה. בשלב שני נבדקו תרביות נקיות מכילות גם שילובים של שני פאתוגנים. בתנאים אלו התקבל זיהוי מוצלח של יותר מ-90% מהתרביות עם פאתוגן אחד ובין 70% ל-90% מהתרביות עם שני פאתוגנים. בשלב השלישי נבדקו מיצויי קרקע המכילים *Colletotrichum coccodes* או *Verticillium dahliae*. התקבלו תוצאות מאכזבות למדי עם זיהוי מוצלח של רק 6 דגימות מתוך 15, וזאת כנראה מכיוון שהריכוזים של הפאתוגן במיציים היו מאוד נמוכים. בשלב האחרון של המחקר נבחן הפוטנציאל של השיטה לצורך זיהוי ברמת המין, בתרביות נקיות. התקבלו תוצאות מעודדות מאוד עם זיהוי מוצלח עבור יותר מ-85% מהדגימות. ממצאי המחקר מצביעים על הפוטנציאל הגבוה הטמון בגישה המוצעת לזיהוי מדויק של פאתוגנים צמחיים.

1. מבוא

זיהוי מדויק, אמין ומהיר של פיטו-פאתוגנים הינו השלב הראשון ההכרחי לקראת פיתוח ממשק יעיל של מניעת והדברת מחלות צמחים. השיטות הקלאסיות אורכות בד"כ זמן רב ולעתים הזיהוי הוא ברמת סוג (genus) או מין (species), אך לא ברמת תת-מין או גזע. השיטות המתקדמות יותר – מולקולריות וסרולוגיות-אינן מצויות עדיין לכל הפאתוגנים, וחלקן אינן ישימות ברמה של קנ"מ מסחרי לגילוי נגיעות סמוייה בקרקע, כ"רפואה" מונעת. היעדר שיטה זולה, מהירה ואמינה לזיהוי פיטו-פאתוגנים גורם לשימוש יתר בחומרי הדברה ע"י החקלאיים, דבר הגורם להוצאות מיותרות וזיהום סביבתי. מטרת המחקר הנוכחי היה לפתח שיטה מבוססת על ספקטרוסקופיה FTIR בתחום ה mid-infrared (MIR) לגילוי רגיש, אמין ומהיר של פיטו-פאתוגנים. המחקר התחלק לארבעה חלקים עיקריים: השלב הראשון הוקדש להערכת הפוטנציאל של הגישה המוצעת בתנאים אופטימאליים – פאתוגן בודד בתרבית נקייה. בשלב השני נבדקה היעילות של השיטה כאשר התרבית הנקייה מכילה יותר מפאתוגן אחד ובשלב השלישי התרביות הנקיות הוחלפו במיציוי קרקע המכילים את הפאתוגנים. שלושת החלקים הנ"ל התמקדו בזיהוי ברמת הסוג. לעומת זאת, בחלק האחרון של העבודה נבחן הפוטנציאל של השיטה לצורך זיהוי ברמת המין.

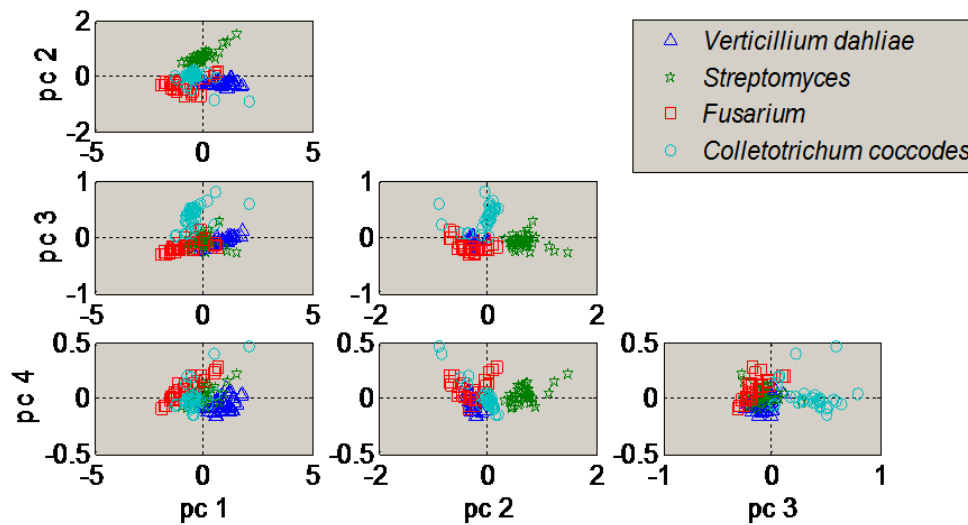
2. אנליזה של תרביות נקיות המכילות פאתוגן בודד

העבודה התמקדה ב 4 פאתוגנים נפוצים הגורמים נזקים כבדים לחקלאות ישראל: *Verticillium*, *Fusarium*, *Streptomyces*, *dahliae* ו *Colletotrichum coccodes*. תחילה בוצעו בדיקות ראשוניות במטרה לגבש טכניקה סטנדרטית של הכנת התרביות, הנחתן וייבושן על כרטיסי בדיקה חד-פעמיים ובדיקתן במכשיר ה FTIR (איור 1). נבדק גם האם משך האחסון משפיע על הספקטרום המתקבל. לצורך בדיקה זו הוכנו דופליקטים כאשר דגימה אחת נשארה בממ"ח גילת והדגימה השנייה הועברה לטכניון. לאורך תקופה ארוכה בוצעו באותו יום מדידות FTIR בטכניון ובדיקות פיסיולוגיות (בדיקת חיות הפאתוגן בשיטות מיקרוביולוגיות קלסיות) בגילת. נמצא כי אין השפעה של אחסון ממושך על מדידת FTIR.



איור 1: תמונה של כרטיסים חד פעמיים לאחר יובש התרבית ומדידה ע"י ספקטרופוטומטר

בשלב שני נבדקו 165 דגימות המכילות אחד מהפאתוגנים בלבד. כל בדיקה התבססה על תרבית נוזלית (0.5 מ"ל כ"א) אשר יובשה על כרטיס חד פעמי ונבדקה בטכניקת FTIR transmittance. לאחר נירמול הספקטרומים בוצעה טרנספורמציה (PCA) principal component analysis ומקדמי ה PCA שימשו כקלט למסווג (classifier). 60% מהדגימות נבחרו באופן אקראי בקבוצת כיול והספקטרומים הנותרים שימשו להערכת טיב הזיהוי (אימות - ולידציה). בוצעו מספר ניתוחים מבוססים על טווחים ספקטראליים שונים והתוצאות המיטביות התקבלו עבור שילוב של שני אינטרוולים: $900-1450\text{cm}^{-1}$ ו $1500-1800\text{cm}^{-1}$ (הטווח בין 1450 ל- 1500cm^{-1} לא נכלל עקב בליעה חזקה של הפולימר ממנו עשויים כרטיסים). מקדמי ה PCA מוצגים באיור 2 ותוצאות הסיווג מוצגות בטבלה 1. חשוב להדגיש כי הערכים המופיעים בטבלה 1 מתייחסים רק ל- 40% מהדגימות שלא שימשו לכיול המסווג. ניתן לראות באיור 1 שההבדלים בין הפאתוגנים השונים אינם גדולים אך התוצאות המובאות בטבלה 1 מוכיחות שהבדלים אלה מספיקים כדי להגיע לזיהוי כמעט מוחלט של כל דגימות הוולידציה, כאשר רק 8% מדגימות ה *Colletotrichum coccodes* זוהו בטעות כ *Fusarium*.



איור 2: מקדמי ה PCA של הפאתוגנים השונים

טבלה 1 : תוצאות הזיהוי (ב- %) עבור תרביות נקיות המכילות פאתוגן אחד בלבד. (ס"ה 99 דגימות ולידציה)

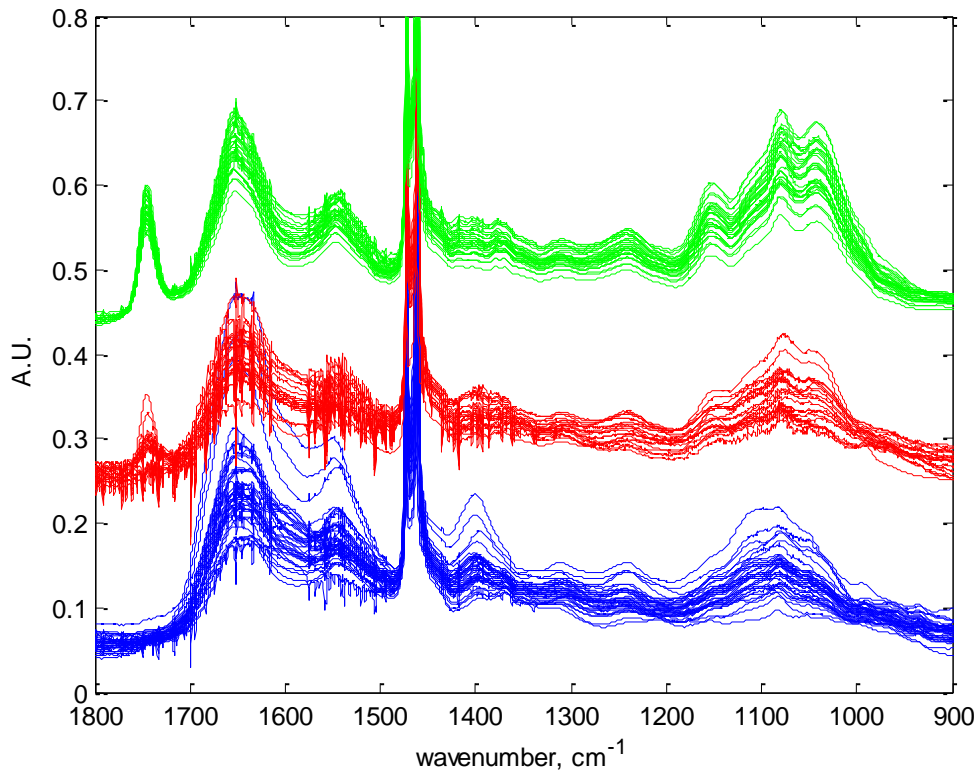
		Identified pathogen			
		<i>Verticillium dahliae</i>	<i>Streptomyces</i>	<i>Fusarium</i>	<i>Colletotrichum coccodes</i>
Actual pathogen	<i>Verticillium dahliae</i>	100	0	0	0
	<i>Streptomyces</i>	0	100	0	0
	<i>Fusarium</i>	0	0	100	0
	<i>Colletotrichum coccodes</i>	0	0	8	92

3. אנליזה של תרביות המכילות שני פאתוגנים

הוכנו דוגמאות המשלבות (1) *Streptomyces* ו *Verticillium dahliae* (21 דוגמאות) ו (2) *Streptomyces* ו *Colletotrichum coccodes* (25 דוגמאות) בתהליך דומה לסעיף הקודם. הדגימות המיובשות נבדקו ב FTIR והספקטרומים המנורמלים צורפו למסד הנתונים.

הספקטרומים המנורמלים של *Streptomyces*, *Verticillium dahliae* ושילובם מובאים באיור 3. ניתן לראות הבדלים ברורים בין הספקטרומים של *Streptomyces* ו *Verticillium dahliae*, בעיקר ב 1750cm^{-1} . בנוסף קיימים גם הבדלים קטנים יותר סביב 1150cm^{-1} ו 1250cm^{-1} . כצפוי, הספקטרומים של הדוגמאות המשולבות מכילות המאפיינים העיקריים של שני הפאתוגנים. בוצעה טרנספורמצית PCA באותו טווח ספקטראלי כמו בסעיף הקודם ($900\text{-}1450\text{cm}^{-1}$ ו $1500\text{-}1800\text{cm}^{-1}$) ומקדמי ה PCA של ה *Streptomyces*, *Verticillium dahliae* ושילובם

שימשו כקלט למסווג. תוצאות הסיווג של דוגמאות הוולידציה (48 דוגמאות רנדומאליות) מובאות בטבלה 2. ניתן לראות כי 90% מהדוגמאות המכילות את שני הפאתוגנים אכן זוהו כך.

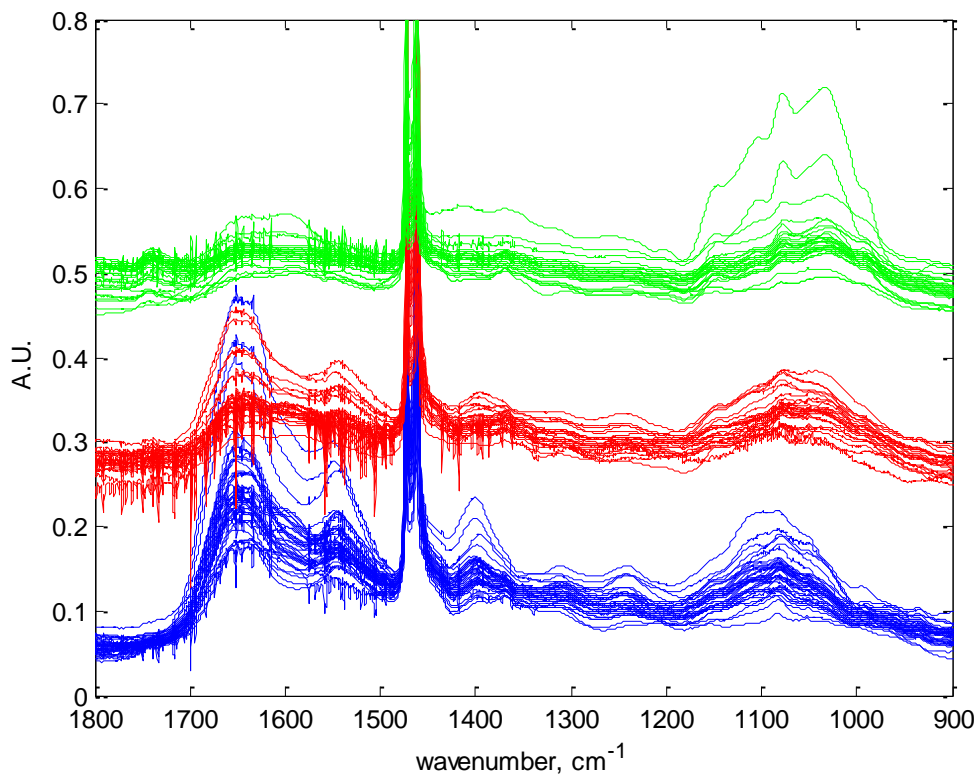


איור 3: ספקטרומים מנורמלים של *Streptomyces* (כחול), *Verticillium dahliae* (אדום) ושילובם (ירוק). הספקטרומים של הקבוצות השונות מוסתים ב 0.2 A.U.

טבלה 2: תוצאות הזיהוי (ב- %) עבור תרביות נקיות המכילות *Streptomyces*, *Verticillium dahliae* או שניהם. (ס"ה 45 דגימות ולידציה)

		Identified pathogen		
		<i>Verticillium dahliae</i>	<i>Verticillium dahliae</i> & <i>Streptomyces</i>	<i>Streptomyces</i>
Actual pathogen	<i>Verticillium dahliae</i>	100	10	0
	<i>Verticillium dahliae</i> & <i>Streptomyces</i>	0	90	0
	<i>Streptomyces</i>	0	0	100

תהליך דומה בוצע עם הדוגמאות של *Streptomyces*, *Colletotrichum coccodes* ושילובם. הספקטרומים מובאים באיור 4 והתוצאות מופיעות בטבלה 3. הבדלים בין הספקטרומים קטנים יותר מאשר במקרה הקודם ומופיעים בעיקר סביב 1400cm^{-1} ובאזור $1500\text{-}1700\text{cm}^{-1}$. מכיוון שהספקטרומים דומים יותר אחד לשני תוצאות הסיווג פחות טובות, אך עדיין הזיהוי הצליח עבור 70% מהדוגמאות המכילות את שני הפאתוגנים.



איור 4: ספקטרומים מנורמלים של *Streptomyces* (כחול), *Colletotrichum coccodes* (אדום) ושילובם (ירוק). הספקטרומים של הקבוצות השונות מוסתים ב 0.2 A.U.

טבלה 3: תוצאות הזיהוי (ב- %) עבור תרביות נקיות המכילות *Colletotrichum coccodes*, *Streptomyces* או שניהם. (ס"ה 41 דגימות ולידציה)

		Identified pathogen		
		<i>Colletotrichum coccodes</i>	<i>Colletotrichum coccodes</i> & <i>Streptomyces</i>	<i>Streptomyces</i>
Actual pathogen	<i>Colletotrichum coccodes</i>	94	20	0
	<i>Colletotrichum coccodes</i> & <i>Streptomyces</i>	0	70	0
	<i>Streptomyces</i>	6	10	100

4. אנליזה של מיצוי קרקע

כשלב ראשון לבדיקת הפוטנציאל של השיטה המוצעת כאמצעי ניטור בבדיקות קרקע עורבבו 15 תרביות של *Verticillium dahliae* ו *Colletotrichum coccodes* עם קרקע מסוג חמרה. הפאזה הנוזלית שהתקבלה ממיצוי הקרקע יובשה על כרטיס ובוצע מדידה ב FTIR. הספקטרומים שהתקבלו סווגו ע"י המסווג שכויל בחלק הראשון של העבודה.

Colletotrichum coccodes זוהה בהצלחה בארבעה מיצויים מתוך שישה מיצויים המכילים *Fusarium*. *Colletotrichum coccodes* זוהה בטעות בשני המיצויים הנוספים עם *Colletotrichum coccodes*.

Verticillium dahliae זוהה בהצלחה רק בשני מיצויים מתוך תשעה המכילים את הפאתוגן. בשאר המיצויים זוהו בטעות *Colletotrichum coccodes* (ארבעה מיצויים) ו *Fusarium* (שני מיצויים).

הסיבה לתוצאות המאכזבות הינה כנראה הריכוז הנמוך מאוד של הפאתוגן שהתקבל במיצוי הקרקע.

5. סוג מינים שונים של *Erwinia*

בניגוד לעבודות שתוארו לעיל, בדיקות ה *Erwinia* בוצעו לאחר יבוש הדוגמא על גביש ATR ולא על כרטיסים חד פעמיים וזאת ע"מ לקבל רגישות יותר גבוהה (הכרטיסים אינם שקופים ב 100%) מכיוון שהבדלים בין הספקטרומים של המינים השונים הינם קטנים מאוד. בוצעו שתי סדרות של מדידות במכשירים FTIR שונים ועם גבישי ATR שונים. בניסוי הראשון נבדקו שלושה סוגי דוגמאות: תבדיד ראשון המסווג כ- Ech-G-87 (*Dickeya sp*) מתת strain המסווג כ-biovar 3; תבדיד שני המסווג גם כן כ- Ech strain (*Dickeya sp*), אך מתת-strain שונה כ-biovar 4; ותבדיד שלישי מסווגת כ-Ecc strain (*Pectobacterium carotovorum*). בניסוי השני נבדקו שלושה פאתוגנים המסווגים כ *Pa*, *Pc* ו *Dickeya*.

ניסוי ראשון:

שלוש מאות מיקרוליטר של תרבית יובשו על גביש ATR סטנדרטי מסוג ZnSe. לאחר נירמול כל הספקטרומים, בוצעה טרנספורמציית PCA בטווחים ספקטראלים שונים ובוצע סיווג מונחה של הספקטרומים. חצי מהספקטרומים שמשו לכיול המסווג וטיב המסווג נבדק על הספקטרומים הנותרים. עבור כל טווח ספקטראלי נבחן שימוש בשלושה וארבעה מרכיבים כקלטים למסווג ובהמשך מצגות רק התוצאות עבור מספר המרכיבים שהביא לתוצאות מיטביות עבור קבוצת הוולידציה. סיכום התוצאות מוצג בטבלה 4. שימוש בטווח $1300-1450\text{ cm}^{-1}$ מביא לזיהוי מוצלח של יותר מ 85% מהדגימות, הן בסט בכיול והן בסט הוולידציה. פירוט התוצאות שהתקבלו עם אותו טווח ספקטראלי מופיעות בטבלה 5.

טבלה 4: ריכוז התוצאות זיהוי (ב- %) של המינים *Dickeya-biovar 3*, *Dickeya-biovar 4* והסוג *Pc* על סמך טווחים ספקטראלים שונים. (סה"כ 15 דגימות כיל ו 17 דגימות ולידציה)

טווח, cm^{-1}	מספר מרכיבים	סה"כ זיהוי מוצלח, %	
		קבוצת כיל	קבוצת ולידציה
1300-1450	3	87	88
900-1050	4	73	88
1200-1300	3	73	82
2800-3600	4	67	82
1450-1800	3	67	76
1300-1800	3	67	76
2800-3000	3	60	71
3100-3600	3	53	65

טבלה 5: תוצאות הזיהוי (ב- %). סה"כ 17 דגימות ולידציה של המינים *Dickeya-biovar 3*, *Dickeya-biovar 4* והסוג *Pc* על סמך הטווח הספקטראלי $1300-1450\text{ cm}^{-1}$.

		Identified pathogen		
		<i>Dickeya-biovar 3</i>	<i>Dickeya-biovar 4</i>	<i>Pc</i>
Actual pathogen	<i>Dickeya-biovar 3</i>	88	10	12
	<i>Dickeya-biovar 4</i>	0	100	0
	<i>Pc</i>	0	20	80

ניסוי שני

שלושה מיקרוליטרים של תרבית יובשו על גביש ATR מסוג יהלום. עבור כל סוג של פאתוגן נלקחו בסה"כ 32 ספקטרומים בתקופה של שלושה חודשים. לאחר נירמול כל הספקטרומים, בוצעה טרנספורמצית PCA בטווחים ספקטראליים שונים ובוצע סיווג מונחה של הספקטרומים. חצי מהספקטרומים שמשו לכיול המסווג וטיב המסווג נבדק על הספקטרומים הנותרים. עבור כל טווח ספקטראלי נבחן שימוש בשלושה, ארבעה וחמישה מרכיבים כקלטים למסווג ובהמשך מצגות רק התוצאות עבור מספר המרכיבים שהביא לתוצאות המיטביות עבור קבוצת הוולידציה. נבדקו שני סוגים של סיווגים: סיווג ראשון ברמת המין התייחס לפאתוגן *Pa* ו *Pc* כקבוצה אחת וסיווג שני המתייחס לכל פאתוגן כקבוצה נפרדת.

סיווג לשתי קבוצות

סיכום התוצאות שהתקבלו עבור הטווחים הספקטראליים השונים מוצג בטבלה 6. הטווחים של $1200-1300\text{cm}^{-1}$ ו $1300-1450\text{cm}^{-1}$ מביאים לזיהוי מוצלח של 90% או אף יותר מהדגימות בקבוצת הוולידציה. ראוי לציין כי שלושת הטווחים שהניבו תוצאות טובות הינם זהים לטווחים שהתקבלו בניסוי הראשון (טבלה 4). פירוט התוצאות עבור שני טווחים אלה מוצגים טבלאות 7 ו 8 בהתאמה. למרות שהתוצאה הכללית קצת יותר טובה עבור הטווח של $1200-1300\text{cm}^{-1}$, ניתן לראות שהתוצאות יציבות ואחידות יותר עבור הטווח של $1300-1450\text{cm}^{-1}$, עם זיהוי מוצלח של כ 85-90% מהדגימות של כל הפאתוגנים, הן בקבוצת הכיול והן בקבוצת הוולידציה.

טבלה 6: ריכוז התוצאות הזיהוי (ב- %) על סמך טווחים ספקטראליים שונים כאשר *Pa* ו *Pc* נחשבים לקבוצה אחת. (סה"כ 48 דגימות כיול ו 48 דגימות ולידציה)

טווח, cm^{-1}	מספר מרכיבים	סה"כ זיהוי מוצלח, %	
		קבוצת כיול	קבוצת ולידציה
1200-1300	5	88	92
1300-1450	5	88	90
900-1050	5	85	83
2800-3000	4	79	77
1450-1800	3	81	75
2800-3600	4	71	75
1300-1800	5	83	73
3100-3600	5	77	69

טבלה 7: תוצאות הזיהוי (ב- %) על סמך הטווח הספקטראלי $1200-1300\text{cm}^{-1}$ כאשר *Pa* ו *Pc* נחשבים לקבוצה אחת. (סה"כ 48 דגימות כיול ו 48 דגימות ולידציה)

Calibration set			
		Identified pathogen	
		<i>Dickeya</i>	<i>Pa&Pc</i>
Actual pathogen	<i>Dickeya</i>	81	19
	<i>Pa&Pc</i>	9	91
Validation set			
		Identified pathogen	
		<i>Dickeya</i>	<i>Pa&Pc</i>
Actual pathogen	<i>Dickeya</i>	81	19
	<i>Pa&Pc</i>	9	91

טבלה 8: תוצאות הזיהוי (ב- %) על סמך הטווח הספקטראלי $1300-1450\text{ cm}^{-1}$ כאשר Pa ו Pc נחשבים לקבוצה אחת. (סה"כ 48 דגימות כיוול ו 48 דגימות ולידציה)

Calibration set			
		Identified pathogen	
		<i>Dickeya</i>	<i>Pa&Pc</i>
Actual pathogen	<i>Dickeya</i>	94	6
	<i>Pa&Pc</i>	16	84
Validation set			
		Identified pathogen	
		<i>Dickeya</i>	<i>Pa&Pc</i>
Actual pathogen	<i>Dickeya</i>	88	12
	<i>Pa&Pc</i>	9	91

סיווג לשלוש קבוצות

סיכום התוצאות שהתקבלו עבור הטווחים הספקטראליים השונים מוצג בטבלה 9. גם כאן התוצאות הטובות ביותר התקבלו עם הטווחים $1300-1450\text{cm}^{-1}$ ו $1200-1300\text{cm}^{-1}$ אך למעשה רק הטווח $1300-1450\text{cm}^{-1}$ נתן תוצאות מספקות עם סיווג מוצלח של יותר מ 85% מהדגימות. פירוט התוצאות בטבלה 10 מראה כי הזיהוי של Pc הינו פחות מוצלח וחלק מהדגימות סווגו כ Pa .

טבלה 9: ריכוז התוצאות הזיהוי (ב- %) על סמך טווחים ספקטראליים שונים, כאשר Pa ו Pc נחשבים לקבוצות שונות. (סה"כ 15 דגימות כיוול ו 17 דגימות ולידציה).

טווח, cm^{-1}	מספר מרכיבים	סה"כ זיהוי מוצלח, %	
		קבוצת כיוול	קבוצת ולידציה
1300-1450	5	94	85
1200-1300	5	81	71
900-1050	5	75	69
1450-1800	3	54	60
1300-1800	3	75	60
2800-3600	4	54	56
2800-3000	4	53	52
3100-3600	5	65	52

טבלה 10: תוצאות הזיהוי (ב- %) על סמך הטווח הספקטראלי $1300-1450\text{ cm}^{-1}$ כאשר Pa ו Pc נחשבים לקבוצות שונות. (סה"כ 48 דגימות כיוול ו 48 דגימות ולידציה)

Calibration set				
		Identified pathogen		
		<i>Dickeya</i>	<i>Pa</i>	<i>Pc</i>
Actual pathogen	<i>Dickeya</i>	94	6	0
	<i>Pa</i>	12	88	0
	<i>Pc</i>	0	0	100
Validation set				
		Identified pathogen		
		<i>Dickeya</i>	<i>Pa</i>	<i>Pc</i>
Actual pathogen	<i>Dickeya</i>	94	12	0
	<i>Pa</i>	6	88	6
	<i>Pc</i>	6	19	75

6. סיכום ומסקנות

בעבודה התקבלו ממצאים המצביעים על הפוטנציאל הטמון בגישה הספקטרוסקופית לזיהוי מדויק של פאתוגנים צמחיים בתרביות נקיות. אבחנה בין סוגים שונים של פאתוגנים הושגה ביותר מ 90% מהתרביות שנבדקו. הגישה הספקטרוסקופית אפשרה אף אבחנה ברמת המין (כ 85%) ותת מין (מעל 75%). העובדה ששיעורי ההצלחה היו הרבה יותר נמוכים עם מיצויי קרקע מדגישה את הצורך במחקר נוסף שיתמקד בפיתוח טכניקה להכנת המיצויים.

סיכום עם שאלות מנחות

נא להתייחס לכל השאלות בקצרה ולעניין, ב-3 עד 4 שורות לכל שאלה (לא תובא בחשבון חריגה מגבולות המסגרת המודפסת).

שיתוף הפעולה שלך יסייע לתהליך ההערכה של תוצאות המחקר.

הערה: נא לציין הפנייה לדו"ח אם נכללו בו נקודות נוספות לאלה שבסיכום.

מטרות המחקר תוך התייחסות לתוכנית העבודה.
המטרה הכללית של המחקר הייתה לפתח שיטה מבוססת על ספקטרוסקופיה FTIR בתחום ה mid-infrared (MIR) לגילוי רגיש, אמין ומהיר של פטו-פאתוגנים.
עיקרי הניסויים והתוצאות.
פותחה טכניקה למדידת ספקטרום של פטו-פאתוגנים על כרטיסים חד פעמיים ועל גבישי ATR. נבדקו תרביות נקיות המכילות פאתוגנים מסוגים שונים. שימוש ב principal component analysis אפשר הבחנה ברמת

הסוג (90% הצלחה), ברמת המין (85% הצלחה) וברמת תת המין (75% הצלחה). נבדקו גם מיצויי קרקע המכילים פאתוגנים אך התקבלו התוצאות לא מספקות.
מסקנות מדעיות וההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו. האם הושגו מטרות המחקר לתקופת הדוח?
הממצאים שהתקבלו מצביעים על הפוטנציאל הטמון בגישה הספקטרוסקופית לזיהוי מדויק של פיטו-פאתוגנים בתרביות נקיות. אבחנה בין סוגים שונים של פאתוגנים הושגה ביותר מ 90% מהתרביות שנבדקו. הגישה הספקטרוסקופית אפשרה אף אבחנה ברמת המין (כ 85%) ותת מין (מעל 75%). העובדה ששיעורי ההצלחה היו הרבה יותר נמוכים עם מיצויי קרקע מדגישה את הצורך במחקר נוסף שיתמקד בפיתוח טכניקה להכנת המיצויים.
בעיות שונות לפתרון ו/או שינויים (טכנולוגיים, שיווקיים ואחרים) שחלו במהלך העבודה; התייחסות המשך המחקר לגביהן, האם יושגו מטרות המחקר בתקופה שנוטרה לביצוע תוכנית המחקר?
רוב המטרות הושגו. כאמור לעיל התקבלו תוצאות לא מספקות עם מיצויי קרקע ונדרשת עבודה נוספת שתתמקד בפיתוח טכניקה מתאימה למדידות בקרקע.
הפצת הידע שנוצר בתקופת הדו"ח: פרסומים בכתב - <u>ציטט</u> ביבליוגרפי כמקובל בפרסום מאמר מדעי; פנטטים - יש לציין שם ומס' פטנט; הרצאות וימי עיון - יש לפרט מקום, תאריך, ציטוט ביבליוגרפי של התקציר כמקובל בפרסום מאמר מדעי.
מאמר נמצא בכתיבה
פרסום הדוח: אני ממליץ לפרסם את הדוח: (סמן אחת מהאופציות)
← רק בספריות
← ללא הגבלה (בספריות ובאינטרנט)
← חסוי לא לפרסם
האם בכוונתך להגיש תוכנית המשך בתום תקופת המחקר הנוכחי? כן* - לא -

*יש לענות על שאלה זו רק בדוח שנה ראשונה במחקר שאושר לשנתיים, או בדוח שנה שניה במחקר שאושר לשלוש שנים