

**משרד החקלאות - דו"ח לתוכניות מחקר
לקרן המדען הראשי**

קוד זיהוי	א. נושא המחקר (בעברית)
838 - 0517 - 07	מחזור נקז מצע מנותק בטכנולוגיה ממברנלית

ג. כללי					
מוסד מחקר של החוקר הראשי					
מוסד הטכניון					
סוג הדו"ח			תאריכים		
מסכם	תקופת המחקר	עבורה מוגש הדו"ח	תאריך משלוח הדו"ח למקורות המימון		
			התחלה סיום		
			שנה חודש	שנה חודש	שנה חודש
			08 / 2008	08 / 2009	09 / 2009

ב. צוות החוקרים		
חוקר ראשי	שם משפחה	שם פרטי
	דוזורץ	קרלוס
חוקרים משניים		
1	שביב	אבי
2	לוינגרט	ענת
3	קריצמן	גיאורא

ד. מקורות מימון עבור מיועד הדו"ח		
שם מקור המימון	קוד מקור מימון	סכום שאושר למחקר בשנת תקצוב הדו"ח בשקלים
משרד החקלאות - מדען ראשי		110,000

ה. תקציר שים לב - על התקציר להיכתב בעברית לפי סעיף ה' שבהנחיות לכתיבת דיווחים
גידול במצע מנותק הינה אגרוטכנולוגיה בעלת יתרונות רבים והשימוש בו צפוי להתרחב צריכת מים נמוכה יותר במצע מנותק אל מול הצורך לחסוך במים. יתרה מכך מצע מנותק מאפשר לכאורה מיחזור של מי הנקז וקבלת חיסכון ניכר במים ובחומרי הזנה תוך העלאת יעילות ניצול המים. המיחזור עצמו מוגבל ע"י עליית המליחות במים המסוחררים, וכן סכנה להפצה מהירה של מחלות שרש ונמטודות. לצורך בחינת ייתכנות השיטה, הושם דגש מיוחד בניסיונות בממברנות אולטרפילטרציה (UF) שהן בעלות הפוטנציאל המירבי לשימוש למטרה זו בגלל יכולתם התיאורטית להרחיק כל סוגי המיקרואורגניזמים, לרבות וירוסים. עיקר הניסיונות נעשו עם ממברנות בסף מולקולרי של 100 kDa תוך שימת דגש על יכולת הדחייה ומניית התפשטותם של פתוגנים חיידקיים ופטרייתיים. בוצעו מחזורי גידול של צמחי מלפפון ועגבניה במצע מנותק תוך בחינה של מחזור מלא של מי הנקז. המלפפונים אולחו בחיידק <i>Erwinia carotovora</i> ובפטריה <i>Fusarium oxysporum f. sp. radialis</i>. העגבניות אולחו בפטריות <i>Fusarium oxysporum f. sp. radialis-lycopersici</i> ו-<i>Clavibacter cucumerinum</i>. המלפפונים אולחו בחיידק <i>Xanthomonas vesicatoria</i> ו-<i>Clavibacter cucumerinum</i>. אילוח מכיוון של מי הנקז שימש לבחינת התמודדות המערכת עם פתוגנים צמחיים. אופיינו משתנים במערכת ממברנלית לצורך מיחזור מלא של מי ההשקיה, תוך השוואה למחזור המים ללא טיפול בהם. הייתה התמקדות בתהליכים כימיים וביוכימיים שחלים במערכת כולה אשר יכולים להשפיע לא רק על הפרדת הפתוגנים ומניעת התפשטותם אלא גם על מערכת הגידול, הרכב וזמינות יסודות, תהליכים מיקרוביאליים וחומר אורגני. עיקרי מסקנות הן: (1) ממברנות אולטרפילטרציה בסף הפרדה של 100 קילודלטון מהוות מחסום אולטימטיבי לעצירת הפצת פתוגנים בגידול צמחים במצע מנותק עם מחזור מלא, כפי שנמצא בגידולי עגבניות ומלפפונים; (2) בטווח הניסויים הנכחיים נמצא שתפקוד הממברנה לא השפיעו על אופי הגידולים והיבול. לא נמצא שינוי מהותי במאזן החנקן ובמעט את מאזן הפחמן. מאידך, יתכן שהממברנות דוחות באופן חלקי חומר אורגני גבה מולקולרי במי ההשקיה, בעיקרו הומי, וגם ברזל קולואידי; (3) לא נצפתה השפעה של המערכת הממברנלית על צריכה וקליטה של דשן; (4) ביישום השיטה יש להתחשב לממשק בין מערכת הטיפול - למי ההשקיה המיבטי השיווי המשקל של הנוטריאנטים במי ההשקיה כתוצאה מפעילות ביולוגית (התפתחות ניטריפיקציה והיווצרות חנקית מפעילות מיקרואוביאלית במיכלי הטיפול) וניקוי כימי של הממברנות (מניעת ביופאולינג).

ו. אישורים

הנני מאשר שקראתי את ההנחיות להגשת דיווחים לקרן המדען הראשי והדו"ח המצ"ב מוגש לפיהן



מנהל המחלקה

מנהל המכון
(פקולטה)

אמרכלות
(רשות המחקר)

תאריך
(שנה) (חודש) (יום)

חוקר ראשי

מחזור נקז מצע מנותק בטכנולוגיה ממברנלית

Membrane technology for water recycling in soil-less culture

מוגש לקרן המדען הראשי במשרד החקלאות

ע"י:

קרלוס דוזורץ - הפקולטה להנדסה אזרחית וסביבתית, הטכניון, חיפה

אבי שביב - הפקולטה להנדסה אזרחית וסביבתית, הטכניון, חיפה

לוינגרט ענת - שה"מ, משרד החקלאות ופיתוח הכפר

גיורא קריצמן - הגנת הצומח, מנהל המחקר החקלאי

Carlos Dozoretz, Civil and Environmental Engineering, Technion, Haifa, 32000. carlosd@technion.ac.il

Avi Shaviv, Civil and Environmental Engineering, Technion, Haifa, 32000. agshaviv@tx.technion.ac.il

Anat Lowengart, the agricultural extension service. anatlw@shaham.moag.gov.il

Giura Kritzman, Plant Protection, ARO, Volcani Center, P.O.B. 6, Bet-Dagan, kritzman@volcani.agri.gov.il

אוגוסט 2009

הממצאים בדו"ח זה הנם תוצאות ניסויים ואינם מהווים המלצות לחקלאים.



חתימת החוקר

תוכן עניינים

1	תקציר	2
2	מבוא כללי ורקע מדעי	2
3	מטרות המחקר ותועלתו	3
4	פירוט התוצאות	4
4.1	תיאור מערכת הניסוי ומהלך העבודה	4
4.2	מערכת מעבדתי לבחינת הרחקת וירוסים	6
4.3	שיטות אנליטיות	6
5	תוצאות ודיון	6
5.1	גידול מלפפונים	6
5.2	גידול עגבניות במצע מנותק	10
5.3	דחיית וירוסים	15
6	סיכום ומסקנות	16
7	רשימת ספרות	17
18	נספח	18

1. תקציר

גידול במצע מנותק הינה אגרוטכנולוגיה בעלת יתרונות רבים והשימוש בו צפוי להתרחב צריכת מים נמוכה יותר במצע מנותק אל מול הצורך לחסוך במים. יתרה מכך מצע מנותק מאפשר לכאורה מיחזור של מי הנקז וקבלת חיסכון ניכר במים ובחומרי הזנה תוך העלאת יעילות ניצול המים. המיחזור עצמו מוגבל ע"י עליית המליחות במים המסוחררים, וכן סכנה להפצה מהירה של מחלות שרש ונמטודות.

לצורך בחינת ייתכנות השיטה, הושם דגש מיוחד בניסיונות במברנות אולטרפילטריציה (UF) שהן בעלות הפוטנציאל המירבי לשימוש למטרה זו בגלל יכולתם התיאורטית להרחיק כל סוגי המיקרואורגניזמים, לרבות וירוסים. עיקר הניסיונות נעשו עם ממברנות בסף מולקולרי של 100 kDa תוך שימת דגש על יכולת הדחייה ומנית התפשטותם של פתוגנים חיידקיים ופטרייתיים. בוצעו מחזורי גידול של צמחי מלפפון ועגבניה במצע מנותק תוך בחינה של מחזור מלא של מי הנקז. המלפפונים אולחו בחיידק *Erwinia carotovora* ובפטריה *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-cucumerinum*. העגבניות אולחו בפטריות *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* ו-*Clavibacter michiganensis* וכן בחיידקים *Phytium* sp. ו-*Xanthomonas vesicatoria*. בכל פעם בשני מחזורי אילוח. לבחינת יעילות הרחקת וירוסים נוסו הוירוס הצמחי-PMV3 mosaic virus וכן הבקטריופאג 'coliphage CN13. אילוח מכוון של מי הנקז שימש לבחינת התמודדות המערכות עם פתוגנים צמחיים. אופיינו משתנים במערכת ממברנלית לצורך מיחזור מלא של מי ההשקיה, תוך השוואה למחזור המים ללא טיפול בהם. הייתה התמקדות בתהליכים כימיים וביוכימיים שחלים במערכת כולה אשר יכולים להשפיע לא רק על הפרדת הפתוגנים ומניעת התפשטותם אלא גם על מערכת הגידול, הרכב וזמינות יסודות, תהליכים מיקרוביאליים וחומר אורגני.

עיקרי מסקנות הן:

1. ממברנות אולטרפילטריציה מהוות מחסום אולטימטיבי לעצירת הפצת פתוגנים ע"י מחזור מי הנקז.
2. סחרור מים ללא טיפול יכול להביא להדבקה כמעט מוחלטת של הצמחים. בגידולים רגישים תיתכן פגיעה קשה ביותר ביבול (כפי שאכן נצפה באילוח מלפפון).
3. ממברנות בסף הפרדה של 100 קילודלטון הוכיחו את יכולתן לעצירת חיידקים ופטריות, כפי שנמצא בגידולי עגבניות שהודבקו פעם אחת ומלפפונים במצע מנותק עם מחזור מלא של מי הנקז ואשר הודבק בשני מחזורים, האחד בתחילת הגידול והשני לאחר כחודשים. במערך ניסויים in vitro ממברנות אלו הוכיחו את יכולתן להרחיק גם וירוסים ובקטריופאגים.
4. בטווח הניסויים הנכחיים נמצא שתפקוד הממברנה לא השפיעו על אופי הגידולים והיבול. ממברנות בעלות סף מולקולרי של 100 kDa לא שינו באופן מהותי את מאזן החנקן ובמעט את מאזן הפחמן. יתכן שהממברנות דוחות באופן חלקי חומר אורגני גבה מולקולרי במי ההשקיה, בעיקרו הומי, וגם ברזל קולואידי.
5. לא נצפתה השפעה של המערכת הממברנלית על צריכה וקליטה של דשן.
1. ביישום השיטה יש להתייחס לממשק בין מערכת הטיפול -למי ההשקיה מהיבטי השיווי המשקל של הנוטריאנטים במי ההשקיה כתוצאה מפעילות ביולוגית (התפתחות ניטריפיקציה והיווצרות חנקית מפעילות מיקרוביאלית במיכלי הטיפול) וניקוי כימי של הממברנות (מניעת ביופאולינג).

2. מבוא כללי ורקע מדעי

גידול במצע מנותק הינה אגרוטכנולוגיה בעלת יתרונות רבים בה נתמכים גידולים רבים המיועדים ליצוא וגם לייצור מקומי אינטנסיבי. הצורך לחסוך במים ולעשות בהם שימוש יעיל, וכן גם התוכנית להעברת המשק החקלאי לשימוש במים מושבים מחייבים התארגנות גם בגידול חקלאי במצע מנותק. גידול במצע מנותק צורך פחות מים פר מסת ייבול מגידול בקרקע. החיסכון מיוחס בעיקר בדיוק ותזמון ההדשנה, הקטנת הפסדי אידוי-נשימה והפחתת נגיעות מחלות כתוצאה המתנאים המבוקרים (Giacomelli et al. 2005).

מיחזור מי הנקז אמור לאפשר חיסכון ניכר במים ובחומרי הזנה תוך העלאת יעילות ניצול המים. המיחזור עצמו מוגבל ע"י עליית המליחות במים המסוחררים, ובמיוחד באיכויות מים הנפוצות בארץ, וכן סכנה להפצה מהירה של מחלות שרש ונמטודות (Moens and Hendrickx 1992). מיחזור יעיל ובטוח של מי נקז יביא חיסכון במים ושימוש יותר יעיל בהם וגם חסכון משמעותי בחומרי הזנה והקטנה משמעותית של ניתובם למקורות מים. מיחזור דורש התייחסות לבעיות המלחת מי ההשקיה, עליה בלתי אחידה ביונים השונים וכן לנוכחות פתוגנים

בנקז. פתרון חלק מבעיות אלו נוסה ע"י בקרה רציפה של ריכוזי המלח באמצעות מדידת מוליכות חשמלית, אנליזות פרטניות וכן חיטוי המים המושבים. בעוד שפיתרון הרכב התמיסה ורמת המוליכות נתון להערכה ושלטה, סכנת התפשטות פתוגנים דרך מי הנקז הינה חמורה ומחייב פתרונות אמינים. במהלך העשור וחצי האחרונים נעשתה הרבה עבודה לגבי שימוש וישום של שיטות דזינפקציה למניעת וצמצום מחלות צמחים בגידול מצע מנותק. עיקר הדגש הושם בשיטות קטילה (Silverman 1998; Runia and Asing 2000; Ehret et al. 2001; Dornay 2002; Nakajima et al. 2005; דישון וחובריו 2002; ליטובקה 2002).

חיטוי כשיטה יחידה לקטילה של מזהמים יכול לפגוע בפלורה הטבעית, להגביר בעיית הוירוסים ולגרור להתפתחות של זני חיידקים עמידים, בעיקר אלו שיתפתחו בשכבת אילוח (ביופילם) לאורך קווי השקיה. שימוש בשיטות להפרדה ממברנלית עשוי לתת הפיתרון הרצוי ביותר. בניגוד ליתר שיטות החיטוי שמבוססות על קטילה, הפרדה ממברנלית מסוגלת להרחיק את כל סוגי הפתוגנים לרבות ווירוסים ע"י מחסום ממברנלי (בהתאם לדרגת הצפיפות) ללא פגיעה בפלורה הטבעית, ללא שינוי דרגת החמצון/חיזור של המזינים, ולא מלווה ביצירת חומרים נדיפים ורעילים לעובדים או יצירת חומרי לוואי רעילים לצמחים או לסביבה.

מחקרים בעולם מראים היתכנות טכנולוגית וכלכלית של מיחזור מים בחלופות ממברנליות (Sorour et al. 2002). מיחזור נקז חקלאי נחקר בשלושת העשורים האחרונים באזור San Joaquin valley, California, תוך התמקדות בהתאמת ממברנות לנקז המקומי ובחינת נושאי השטף, הדחייה והביופאולינג והפחתת מליחות ע"י אוסמוזה הפוכה (Savvas and Gizas 2002; Wai Lee et al. 2003). במחקרים אלו ניתן דגש להפחתת רמת המליחות ע"י התפלה (אוסמוזה הפוכה). מכיוון שיעד המחקר הנוכחי היא להעריך את יכולת מניעת התפתחות פתוגנים בהתאם לרמת המיחזור הנדרשת לשמירת על מליחות מתאימה לסוג הגידול, ההתמקדות היא בממברנות לאולטרפילטריציה (UF).

השימוש של מערכות ממברנלית להרחקת פתוגנים בגידול בחממה עם סחור מי נקז נסקרה ע"י Ehret et al. (2001). Runia (1995) דיווח על הרחקה מלאה של פטריות ווירוסים פתוגנים (*Verticillium albo-atrum*, FORL, cucumber green mottle mosaic virus ו-tobacco mosaic virus) ע"י מערכת ננופילטריציה. McPherson et al. (1995) הראו שמערכת מיקרופילטריציה הינה יעילה להרחקת *Phytophthora* *aphanidermatum* בגידול מלפפונים במצע מנותק, ולטענתם שיטה זו שפרה את איכות השורשים לעומת שיטות אחרות. Ohtani et al. (2000) חקרו השפעת של מערכת MF ו-UF בגידול עגבניות במצע מנותק תוך שימוש ב-*Pseudomonas solanasearum*, שהינו פתוגן ידוע של עגבניות, כפתוגן ייחוס.

3. מטרת המחקר ותועלתו

המטרה הכללית של מחקר היא להעריך את היכולת לקיים ממשק מים סגור למחצה בגידולים במצע מנותק ע"י מיחזור מי הנקז באמצעות מערכות סינון ממברנלית כאמצעי למניעת התפתחות פתוגנים. עיקר הדגש ניתן לשימוש בממברנות בתחום האולטרפילטריציה הנפוצות לטיפול במערכות מים וקולחים בסף מולקולרי $MWCO=100$ kDa, המסוגלות להרחיק קולואידים ביעילות גבוהה, עובדה שתבטיח הרחקה יעילה של ווירוסים, קולואידים אי-אורגניים ומקרומוקולות אורגניות. נבחנת השפעת סף הדחייה של הממברנות על הרחקת הגורמים הפיטופתוגניים ומושם דגש על בעיות ייחודיות שנובעות מאילוצי תפעול ודרישות המערכת הממברנלית. הנחת היסוד היא שממברנה מהווה מחסום מוחלט למעבר מזהמים שיתפשטו בכל המערכת (אלא אם כן יש תקלות או דליפות ועליהן חשוב לדעת להתגבר).

המטרות הספציפיות הן:

1. לבחון את התנאים בהם ניתן למחזר את המים תוך מזעור של התפתחות גורמים פתוגנים.
 2. לבחון את תופעת האילוח במרכיבים השונים במערכת מצע מנותק.
 3. להציע תנאי תפעול של מיחזור ממברנלי ולהעריך את המשמעות בתחומי מניעת התפתחות פתוגנים, חיסכון במים וחומרי דישון תפוקות הגידול ואיכותו, תוך הדגשת בעיות ייחודיות למערכת הממברנלית.
- החדרת טכנולוגיות ממברנליות, לשימוש בבתי צמחיה דורשת הוכחת ישימות ואמינות בתנאי הגידול הייחודיים לארץ ובעקבותיהם ביצוע אופטימיזציה של תנאי תפעול. היעד המרכזי של המחקר הנוכחי היא להעריך את יכולת מניעת התפתחות פתוגנים בהתאם לרמת המיחזור הנדרשת לשמירת על מליחות מתאימה לסוג הגידול (במהלך הניסיונות לא תוקנה רמת המליחות).

4. פירוש התוצאות

4.1. תיאור מערכת הניסוי ומהלך העבודה

מערכת המצע מנותק כללה 4 ערוגות גידול. בכל שולחן היו 8 שרועי פרלייט (25×10 cm) שהתקבלו מחברת דשנים וחומרים כימיים בע"מ. לאחר הכנות שכללו חיטוי החממה, הכנה של הערוגות ויישום מצעים חדשים בוצעה שתילה (יום אפס לתחילת הניסוי) וגידול אשר נמשך לאורך כשלושה חודשים בכל מחזור גידול. נבחנו שני סוגי צמחים: מלפפונים (זן מוחסן) ועגבניות צ'רי (ג'נטיקס זן 1335). מצע הפרלייט נשטף שלוש פעמים לפני התחלת מחזור הגידול ומשטר ההשקיה החל כשבוע וחצי לפני השתילה. השתילים הובאו מחברת "חישתיל". ההשקיה בוצעה ע"י טפטפות מווסתות לחץ, 2 ליטר/שעה, בתדירות כפי שמצוינת בכל מקרה ומקרה, והנקז נאסף אל מיכל סגור.

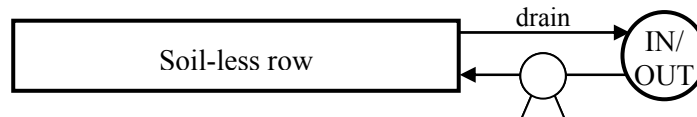
מערך הניסויים כלל ארבע טיפולים שונים, שתיים עם טיפול נקז (ערוגות 1 ו-2) ושתיים ללא טיפול (ערוגות 3 ו-4), כפי שמוצג בטבלה 1 ו-איור 1.

טבלה 1. מערך הניסוי לפי טיפול בערוגות

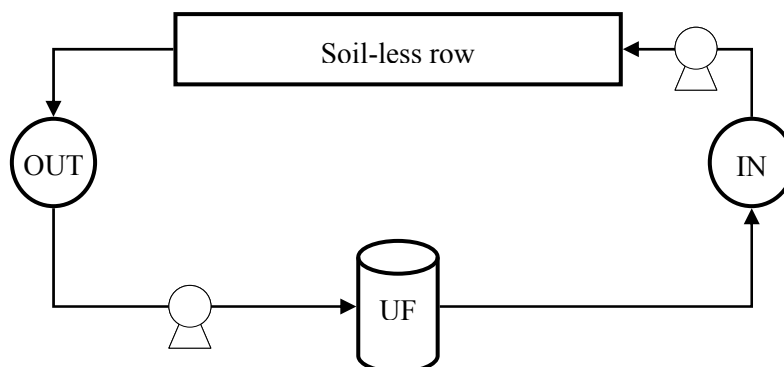
טיפול	ערוגה	1	2	3	4
טיפול נקז ב-UF	+	+	+	-	-
אילוח מכון	+	+	-	-	+

המערכת הממברנלית לחיטוי וסחרור של מי נקז כללה יחידת הפרדה ממברנלית במשטר זרימה של סינון מוצלב (cross flow) בעלת מודל לסינון בעל בשח סינון של 1 m^2 מבוקרת ע"י בקר ממוחשב. בקו השאיבה של מי הנקז המסוחרר הותקן מסנן מיקרוני (תרמיל) מקדים ($10 \mu\text{m}$) להרחקת מרחפים לפני הגעתם לממברנות. בוצע שימוש בממברנות UF בתצורה טובולרית, בעלות סף מולקולרי של 100 kDa, עשויות מ-PVDF (FP100, PCI). בתחילת הניסיונות הורכבו סט ממברנות חדשות. המערכת הופעלה בלחץ טרנסממברנלי של 0.6-1 בר. לצורך הכנת מנת השקיה יומית, המערכת פעלה כשעתיים ביום לפני תחילת ההשקיה הראשונה. במהלך הניסוי בהתאם לירידה בשטף התסנין, בוצע ניקוי מנתי של המערכת ע"י השרייה הממבראנות למשך שעתיים בתמיסת היפוכלורייט בריכוז של 200 mg/l ולאחר מכן שטיפה נמרצת במים במשך כשעתיים נוספות על מנת להרחיק כל שארית של כלור פעיל.

ערוגות ללא טיפול נקז



ערוגות עם טיפול נקז



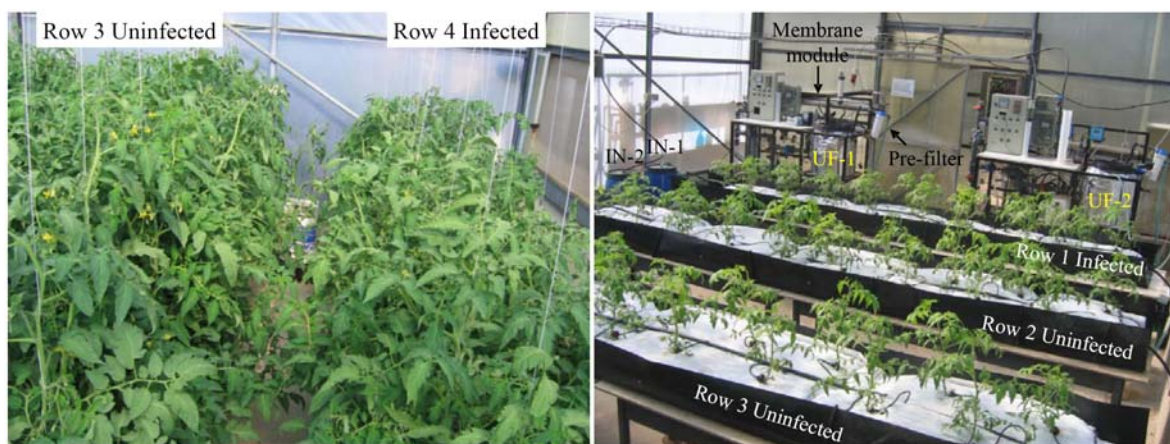
איור 1. תרשימי זרימה סכמטיים של המערכת הניסויית.

גידול מלפפונים נמשך לאורך כ-3 חודשים. דישון המלפפונים בוצע תוך שימוש בדשן מורכב נוזלי – שפר 737 בריכוז של 0.5 ליטר לקוב בתחילת הגידול ועליה (1 ליטר לקוב בחודש השני ו-1.5 ליטר לקוב בחודש השלישי). ההשקיה בוצעה שלוש פעמים ביום. אנליזות של התמיסה הזורמת בוצעה להשלמת החסרים. לאחר

כשבועיים מהשתילה בוצע אילוח המערכת ע"י הוספת המדבק למיכל מי הנקז. המלפפונים אולחו בחיידק - *Erwinia carotovora* (הגורם לפגיעות אוסמוליטיות בתאי הצמח - ריקבון רך כתוצאה מפעילות אנזימים פקטינוליטיים, ובפטריה *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-cucumerinum*) (הגורמת לרקבון השורש והגבעול).

גידול עגבניות שרי אשר נמשך לאורך כ-3 חודשים. תדירות ועצמת ההשקיה השתנתה בהתאם לעליית הטמפרטורה הממוצעת ועוצמת האופוטורנספירציה. במהלך פברואר השקינו פעמיים ביום, עשרים דקות להשקיה, במהלך מרץ התדירות עלתה ל-3 פעמים ביום למשך זמן של 20 דקות ובאפריל עלה משך ההשקיה ל-30 דקות. הנקז נאסף אל מיכל סגור. הטמפרטורות המינימליות היו בדרך כלל סביב 15 מעלות צלסיוס (להוציא מספר ימים בודדים עם 10-11 מעלות) והמקסימום היה 42 מעלות. דישון העגבניות בוצע בדשן מורכב נוזלי –שפר 3+8-5, בריכוז של 1 ליטר לקוב. תוספת הדשן למי ההשקיה הוחדרה למיכלי הדישון (מיכלי IN בערוגות 1 ו-2 ומיכלי IN/OUT לערוגות 3 ו-4. מצע הפרלייט נשטף שלוש פעמים לפני התחלת מחזור הגידול ומשטר ההשקיה החל 8 ימים לפני השתילה (יום 5). השתילה נעשתה ביום ה-13 מתחילת הניסוי. בוצעו שני אילוחים: הראשון, ביום ה-20 (7 ימים לאחר השתילה) ע"י החיידק *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* והפטריה *Phytophthora* sp.; השני, ביום 69 (56 ימים לאחר השתילה), ע"י החיידקים *Xanthomonas vesicatoria* והפטריה *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*. בגלל חשש לדליפה במערכת ה-UF בערוגה 1 (UF-1), ועל מנת להסיר כל ספק, לקראת האילוח השני ביום ה-69, מערכות הסינון חוברו במצולב לערוגות (UF-1 לערוגה 2 ו-UF-2 לערוגה 1), כך שלמעשה הודבקה ערוגה 2 שלא הודבקה בשלב קודם.

מבט כללי של מערכות הניסוי מוצגת באיור 2.



איור 2. מבט של מערכות ניסוי העגבניות. צד ימין: תמונה ביום ה-24 לניסוי ובה נראות ערוגות 1 ו-2 (עם טיפול נקז) וערוגה 3 (ללא טיפול נקז), וברקע מערכות הסינון הממברנלי המבוקרות. צד שמאל: תמונה ביום ה-52 לניסוי ובה נראות ערוגות 3 ו-4 (ללא טיפול נקז).

אחת לשבוע נדגמו המים מהמערכות השונות לצורך אנליזות כימיות ומיקרוביאלית. הדיגום נעשה בשלוש נקודות במערכות הממברנליות (ערוגות 1 ו-2): מיכל מי השקיה לאחר סינון ממברנלי (IN), מיכל מערכת ה-UF ומי נקז (OUT), כפי שמוגדר באיור 1. במערכת המיחזור ללא טיפול בנקז (ערוגות 3 ו-4) נלקחו דגימות באופן שוטף ממכל הזנה (השקיה וניקוז, המסומן IN/OUT באיור 1) ובחלק מהמקרים נדגמו גם מי הנקז בצורה נפרד ישירות באיסוף פתח הנקז (מסומן כ-drain באיור 1). עיקר הדגש היה בבחינת השפעת הממברנות על הרכב המזינים וחומר אורגני ומאפיינים מיקרוביאליים, בחינת תפקודי הממברנות ובעיות ייחודיות שעוללות להופיע תחת תנאי ההפעלה. בחלק מהניסיונות נעשה נוסטרו מדדים הצמחים אשר כללו יכול מצטבר וצריכת מים. בניסוי העגבניות צריכת המים בגידולים הייתה די דומה בכל הטיפולים; לעומת זאת בניסוי המלפפונים צריכת המים של הערוגה המאולחת ללא טיפול ממברנלי נצפתה צריכה מופחתת באופן ניכר. הצמחים קיבלו טיפול נגד מחלות עלים לפי הצורך.

4.2. מערל מעבדתי לבחינת הרחקת וירוסים

בחינת השפעת הממברנות על דחיית הוירוסים נעשתה במערכת של הפרדה ממברנלית מעבדתית לצורך פשטות ספירת הוירוסים ואינטרפרטצית התוצאות.

הניסוי הראשון נעשה בקרע של מים מזוקקים במערכת ממברנות טובולריות (ES625 – PCI) זהות לאלו ששימשו לניסוי החממה, פרט לכך שהיו בסף מולקולרי נמוך יותר – 25 kDa ואורך של 10 ס"מ בלבד, במודול תוצרת עצמית. נעשה שימוש בוירוסים PMV3 (mosaic virus) הוכנו באדיבות דר' יחזקאל אנטיגנוס והוספו ל- 5 ליטר מים. בוצעה הרצות בלחץ של 1.9 בר לאורך כשלוש שעות וכל מי התסנין נאספו לצורך האנליזה. בוצעו שתי חזרות מקבילות. הוירוסים נבדקו באמצעות מבחן צמחי. ליטר מים משני התסנינים וממי ההזנה שימשו להשקיית עציץ. הדבקה בוירוס התבטאה ע"י הופעת נקפים בעלי הצמח.

שני הניסיונות האחרים נעשו במערכת ממברנות מעבדתיות שטוחות (Filtmetec, Dow) בשטח של 24 סמ"ר וסף מולקולרי של 20, 30, 60 ו-200 קילודלטון, בטמפרטורה של $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ולחץ טרנסמברנלי של 1.10 ± 0.13 בר. הניסיונות נעשו ברקע מים מזוקקים ורקע של מי נקז של חממת מסחרית לגידול עגבניות. נעשה שימוש בבקטריופאג' coliphage CN13 שהוכנו באדיבות פרופ' רוברט ארמון. בוצעה הרצות לאורך כשלוש שעות וכל מי התסנין נאספו לצורך האנליזה. בוצעו שלוש חזרות מקבילות לגבי כל סוג ממברנה וסוג מים. נוכחות וירוסים נבדקה במי המקור, וברכז ותסנין הסינון בתחילת, מהלך וסוף כל הרצה. ריכוז הוירוסים החיים בחילת כל ניסוי כוון ל- 10^5 FPU/ml. ספירת וירוסים חיים נעשתה באמצעות מבחן פלאקים כפי שמתואר ב-Armon and Kott 1993.

מאפייני הכימיים של מי הנקז ששימש לניסיונות הוירוסים היו:

ICP (mg/L)	Zn	Ca	Fe	K	Mg	P	Na
	0.1	82.1	1.1	111.9	54.1	7.4	200.6
Autoanalyzer (mg/L)	N-NO ₂	N-NO ₃	N-NH ₄	TN	TOC		
	< 0.1	76.2	< 0.1	82	17		
Parameter	pH	EC (dS/m)					
	7.2	4.3					

4.3. שיטות אנליטיות

נבדק הרכב יסודות הקטיונים ב-ICP (Ca, Mg, Na, K) ויסודות קורט (Fe ו-Zn), ויונים מורכבים באוטו-אנלייזר (NO₃, NO₂, NH₄, PO₄). pH, מוליכות חשמלית נבדקו בדגימות טריות של מי הנקז לפני ואחרי מערכת הסינון ולאורך קווי ההשקיה. לצורך איפיון החומר האורגני נבדק חנקן כללי (TN) ופחמן אורגני כללי (TOC) נבדקו ב-TOC/TN במולטי-אנלייזר ונעשו ספקטרום פלורסנציה של התמיסות עם אנליזת PARAFAC וספקטרום FTIR-PAS של תמיסות לאחר ייבוש.

5. תוצאות ודיון

5.1. גידול מלפפונים

5.1.1 איכות מי ההשקיה ותגובת מלפפונים

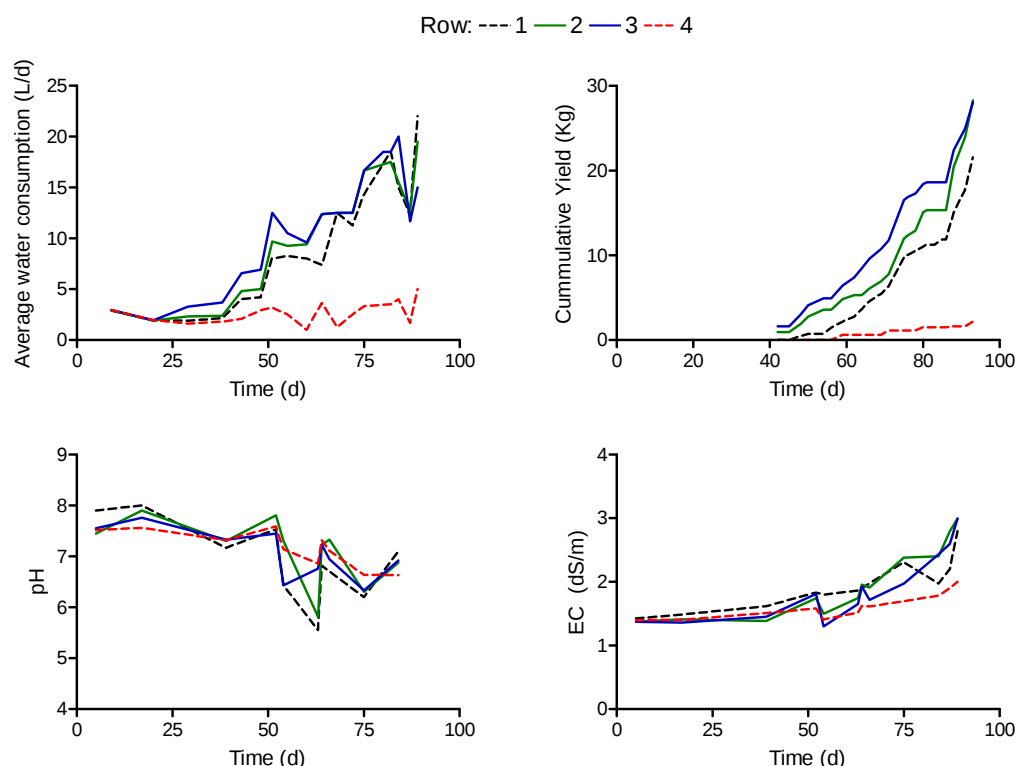
מעקב אחר מאפייני גידול ופרמטרים של מי ההשקיה מוצגים באיור 3. בעוד הסינון הממברנלי (טיפולים 1-2) הגנן בצורה יעילה ביותר על התפתחות האילוח, הערוגה ללא טיפול שאולחה (4) נפגעה בצורה ניכרת. בין ערוגות 1-3 לא נבחנו הבדלים משמעותיים, ואילו ערוגה 4 רשמה קצב גידול צמחי מזערי ובהתאמה קצב צריכת המים לגידול נמוך בעקבות פגיעת השפעת האילוח. יתכן שקצב התגובה היה במעט נמוך במערכות הממברנליות, ובעיקר במערכת המאולחת כתוצאה של התפתחות תנאי ניטרופיקציה וכן כתוצאה מטיפול הכלרה למניעת ביופילם על גבי הממברנות. תופעה זו הייתה יותר מודגשת במערכות הממברנליות בהן נעשה שימוש בהכלרה יותר תדירה לצורך צמצום ביפאולינג של הממברנות, עובדה שגרמה לתגובה מעט נמוכה יותר בטיפול 1 בחודש השני של הניסוי. לאחר סוף החודש השני נפתרו בעיות ממשק הדישון שהביאו להופעת חנקות וכן שונתה שיטת הכלורינציה (ראה בהמשך) וקצבי הגידול השתוו בקירוב. יש לציין שתגובת הגידול לא הייתה אחד מיעדי הניסוי ומשמשת רק לבקרה על מצבם הבריאותי של הצמחים וראיה להשפעות הפתוגנים

וההתמודדות עימם. האילוח של טיפול 4 הביא לנוף צמחי נמוך ולכמות פרי מזערית - סה"כ 2.2 ק"ג, לעומת 21-28 ק"ג ביתר הטיפולים.

תמונה דומה ליבול וקצב צריכת מים התקבלה לגבי במליחות מי ההשקיה, עדות למחזור המים וקצב האופטרנספירציהפגרה. בחינה יותר פרטנית של השתנות המוליכות החשמלית לאורך הניסוי ניתן לראות באיור 11 בנספח. ניתן לראות שמהערכת הסינון לא שנתה את מאזן המומסים היונים כצפוי ממערכת אולטרפילטריציה.

פרופיל האמוניה והחנקן בכל אחד מערוגות הטיפול מוצגים באיורים 12 ו-13 בנספח. פרופיל האמוניה (איור 12 בנספח) היה פחות או יותר מקביל בכל שלושת הטיפולים 1-3, לעומת הפרופיל של ערוגה 4, בהתאמה למדדי הגידול ורמת האילוח. מפרופיל החנקן (איור 13 בנספח) ניתן לראות את הנטייה של התפתחות של תהליכי ניטריפיקציה במערכת הממברנלית שהביאה להצטברות חנקן (כ-60-80 מ"ג/ל) וגם חנקית (4-7 מ"ג/ל). יתכן שניטריפיקציה חלקית היה גורם לפגיעה חלקית בצמיחה של הטיפול הממברנלי. עיקוב הצמיחה נפתר ע"י ניקוי ממברנות בתדירות שבועית החל מהיום ה-63, שבוצע במטרה למנוע פעילות מיקרוביאלית במערכת, ולא דווקא עקב צרכי הטיפול בממברנות עצמן, וכפי שניתן לראות מאיור 13 בנספח, התופעה נעלמה. הכלרה יומית של מערכת ה-UF למניעת ביופאולינג, שבוצעה בתחילת ניסוי המלפפונים, הביאה ככל הנראה לכלור שאריתי במי ההשקיה. הדבר התבטא בכך שבטיפולים שהוזנו במים מהמערכות הממברנליות לא הופיעו כתמי הירקות האופייניים על פני שרולי הפרלייט. יתכן והדבר פגע במעט גם באוכלוסיית חיידקי הקרקע והריזוספרה וגרם להאטת מה התפתחות הצמחים. תופעות אלו לא אמורה להיות משמעותית במערכת טיפול מסחרית בה גודל המערכת ביחס לנפח המים ושטח סינון הינו בסדר גודל שונה ואופן התחזוקה יכול לניקוי תדיר.

כפי שניתן לראות בפנל ימני באיור 14 בנספח, ריכוז החנקן הכללי (TN) היה יותר גבוהה במערכת הממברנלית המאולחת ללא מאולחת והוא מהווה כמעט הסכום האריתמטי של חנקות ואמוניה, שמרמז על כך שסך החנקן היה בצורוני חנקן אי-אורגני. עובדה זו היא בהתאמה בעובדה שריכוז החנקן הכללי לפני ואחרי הסינון היו זהים בשתי המערכות הממברנליות, עם או ללא אילוח.



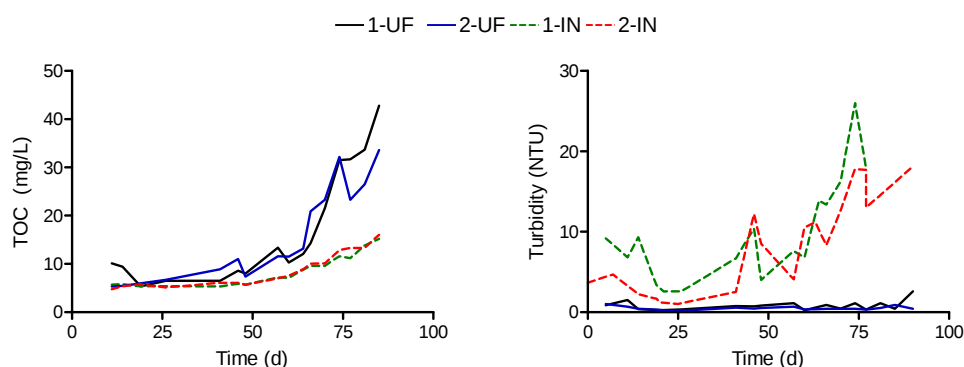
איור 3. מאפייני גידול מלפפונים במצע מנותק. פנל עליון שמאלי, צריכת מים; פנל עליון ימני, יבול; פנל תחתון שמאלי, ערך הגבה מי ההשקיה; פנל תחתון ימני, מוליכות חשמלית מי ההשקיה. ערוגות 1 ו-2 כללו טיפול ממברנלי. ערוגות 1 ו-4 אולחו; ערוגות 2 ו-3 שימשו כביקורת לכל טיפול. קצב דיגול הצמחים חושב כערך מצטבר לחלק לזמן בין כל נקודת מדידה.

המעקב אחר תפקודה של המערכת הממברנלית בוצע ע"י בדיקת חדירות הממברנה. (החדירות הינה חלוקה של שטף התסנין המתקבל בלחץ המופעל, כפי שמפורט בנספח לדוח זה). החדירות ירדה במערכת הבלתי מאולחת במתינות ולאחר כחודשיים התייצבה על כ- 70% מערכה ההתחלתי (פנל שמאלי, איור 14 בנספח). לעומתה, במערכת המאולחת נופלת החדירות בחדות לכ- 60% לאחר כשבועיים בעקבות האילוח המיקרוביאלי, שכל הנראה גרם לסתימת הממברנה. ניקויים כימיים שבוצעו בימים 63 ו-77 שמרו על יציבות שטף התסנין, אך לא הביאו להשבת החדירות לערכה המקורי.

פרופיל העכירות והחומר האורגני (כ-TOC) של ערוגות שקיבלו טיפול ממברנלי (1 ו-2) מוצג באיור 4. מלבד תקופת ההתחלה בה הערוגה 1 קיבלה אילוח ואז העכירות ותכולת ה-TOC ברכו ה-UF היה יותר גבוה במקצת, בכל יתר הזמן הפרופיל היה זהה כמעט לחלוטין. כעדות ליכולת ההפרדה של הממברנות, פרופיל העכירות ו-TOC בתסנינים, ששימשו כמי השקיה לערוגות, היו זהים לכל אורך הניסיונות.

ביצועי הממברנות נבחנו באופן תדיר ע"י בדיקת עכירות התסנין בהשוואה לעכירות ההזנה לממברנות ה-UF (פנל ימני באיור 4). בתסנין נשמרה עכירות נמוכה לאורך כל מהלך הניסוי, תוך עלייה בעכירות מי הנקז המוזנים למערכת, עקב שחרור חומר חלקיקי וגידול מיקרוביאלי במצע הגידול, בצנרת ומיכלי המערכת. עכירות התסנין מהווה בקרת איכות לטיב הסינון לצורך ביקורת על תפקוד התהליך מאידך מראה על היכולת של מערכות ממברנליות לשמש מחסום אולטימטיבי להרחקת קולואידים לרבות קולואידים מיקרוביאליים ולשמש כאמצעי בטוח במערכת מצע מנותק עם מחזור מי נקז.

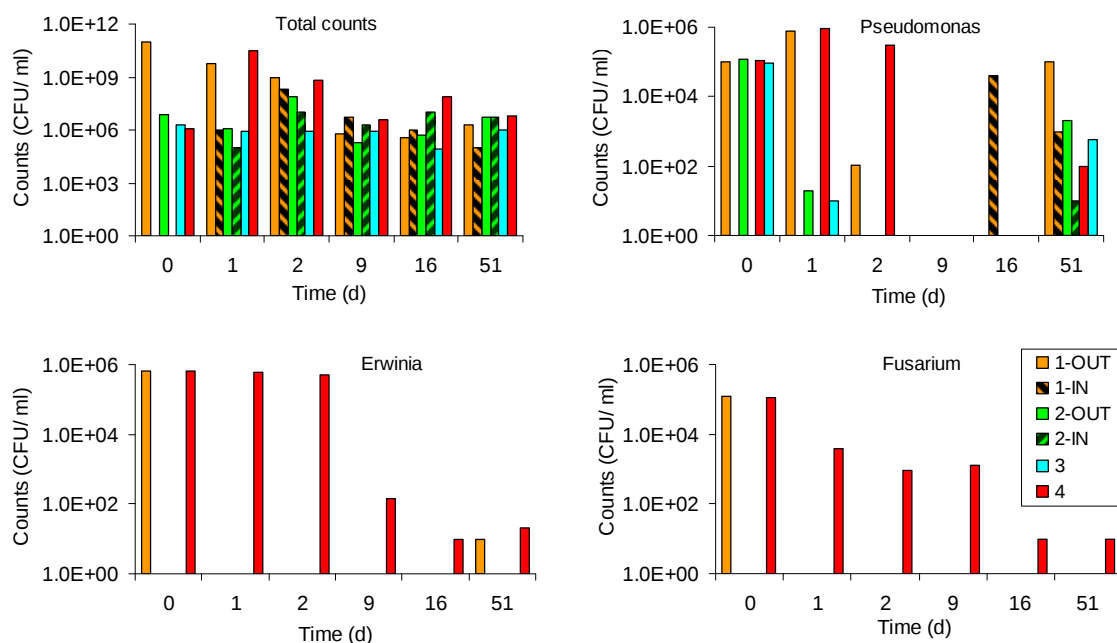
מעקב אחר החומר האורגני הכללי (TOC) מוצג בפנל שמאלי באיור 4. במהלך הניסוי נצפתה עליה בריכוז ה-TOC במי הנקז, החל מהיום ה-50 לניסוי, עקב פליטה של חומר אורגני מהגידול וכן גידול מיקרואורגניזמים. ערך ה-TOC במי הנקז עלה מכ-10 מג"ל לכ-40 מג"ל לקראת סוף הגידול. הממברנות הרחיקו את החומר האורגני הלא מומס ושמרו על ערך TOC מומס בתסנין באותה תקופה בתחום של 5-15 מג"ל. מהתבוננות בתוצאות באיור 4 ניתן לראות הקבלה כמעט מוחלטת בין פרופיל העכירות ופרופיל ה-TOC ברכו ה-UF, אשר מרמז על הרחקה של קולואידים ממקור אורגני בעיקר. מאידך ניתן לראות שלעומת קו יציב פרופיל העכירות פרופיל ה-TOC בתסנין עלה החל המיום ה-50 לגידול. עובדות אלו מצביעות בבירור שלעומת החומר האורגני המסיס שממחזור כולו, החומר האורגני הקולואידי וגורם העכירות נעצר לחלוטין ע"י הממברנות. למרות שלא נצפתה לכאורה הבדל משמעותי בקצב הגידול ויכולת לעומת טיפול הביקורת ללא ממברנה, לא ניתן לשלול שבין החומרים הנדחים נמנים פקטורי גידול צמחיים שדחייתם יכולה להוות חסרון של הטיפול הממברנלי. נקודה זו תדרוש מעקב בזמן יישום השיטה לטווח ארוך יותר.



איור 4. מעקב חדירות הממברנות (פנל שמאלי) וריכוז הפחמן הכללי (פנל ימני) בניסוי למחזור נקז מצע מנותק בגידול מלפפונים.

5.1.2 פתוגנים לאורך הניסוי בסיומו

ספירות מיקרוביאליות לאורך ניסוי המלפפונים בוצעו במי הנקז של 4 המערכות וכן בתסנין המערכות הממברנליות, ששימש להשקיה בפועל (איור 5). ניתן לראות את הספירה הכללית הגבוהה בכל דוגמאות המים, כולל במערכות הממברנליות, עקב גידול חיידקים בקווי התסנין (דהינו מי הנקז המסוננים) של מערכת ה-UF ובהמשך גם במיכל ההשקיה. לעומת זאת, הפתוגנים לא נמצאו במי ההשקיה (תסנין) של המערכות הממברנליות עקב דחייה מלאה של החיידק (*Erwinia*) והפטריה (*Fusarium*) ע"י ממברנת ה-UF. במערכת ללא הטיפול, שני הפתוגנים שרדו לאורך כל הניסוי, עם דעיכה בריכוזם במי הנקז עם הזמן.

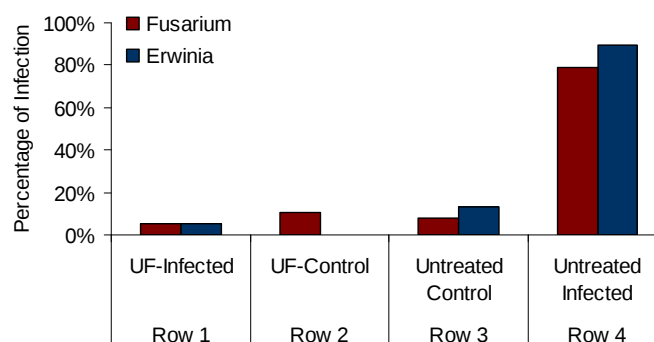


איור 5. ספירות מיקרוביאליות במי הגידול מלפפונים במצע מנותק. הפתוגנים שאולחו נמצאו במערכת האילוח ללא טיפול, בעוד שחידקים אחרים נמצאו במרבית הדוגמאות.

בסיום הניסוי בוצעה אנליזה מיקרוביאלית לבדיקת נוכחותם של הפתוגנים ע"פ כלל הצמחים (טבלה 2 ואיור 6). מהנתונים עולה שאילוח מי ההשקיה הביא להדבקה של 79% – 89% מהצמחים כאשר לא בוצע טיפול במים (ערוגה 4). לעומת זאת בטיפולים ללא אילוח מכון (ערוגות 2-3) והן בטיפול הממברנלי המאולח (ערוגה 1) נמצאו פחות מ- 10% צמחים בעלי נגיעות בפתוגנים. הממברנות עצרו את התפשטות ההדבקה הן באילוח המכון אשר הציג בסיום הניסוי את רמת ההדבקה הנמוכה ביותר.

טבלה 2. בדיקת 19 צמחים בודדים בכל ערוגת טיפול בסוף ניסוי המלפפונים (יום 90). ערוגות 1, ו-4 אולחו במהלך גידול מלפפונים.

Row	Organism	Plant specimens																		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	<i>Fusarium</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
		-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Erwinia</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
2	<i>Fusarium</i>	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Erwinia</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	<i>Fusarium</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
		-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
	<i>Erwinia</i>	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
		-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
4	<i>Fusarium</i>	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		-	+	-	+	+	+	+	+	-	+	-	+	-	+	-	+	+	+	+
	<i>Erwinia</i>	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-	+	-	+	+	+	+	+



איור 6. סיכום צמחים מודבקים בגמר ניסוי המלפפונים (יום 90). ערוגות 1, ו-4 אולחו במהלך הגידול.

מראה כללי של ערוגות הניסוי שבע עשרי ימים לאחר ההדבקה ניתן לראות באיור 15 בנספח. ניתן לראות את הפגיעה בטיפול שאולח ושלא כלל את הטיפול בנקז (4), ברמת גובה הנוף בשורות השונות, וכן ברמת הצמח והפגיעה האוסמוליטית בעלים, כתוצאה מההדבקה בארוויניה.

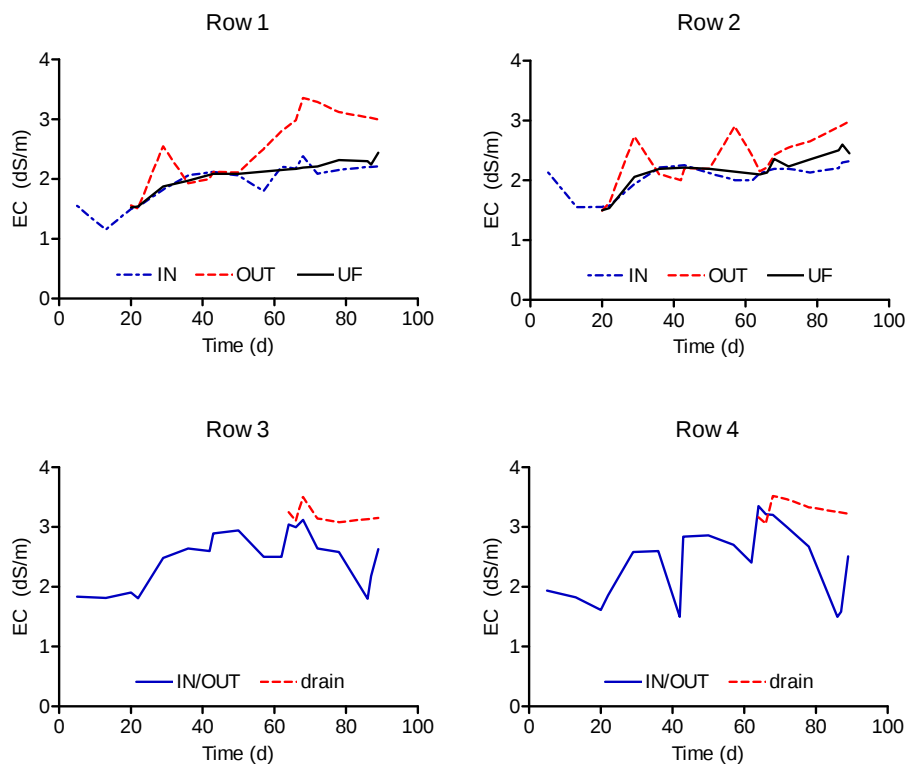
5.2. גידול עגבניות במצע מנותק

5.2.1. מאפייני מי ההשקיה ונקז

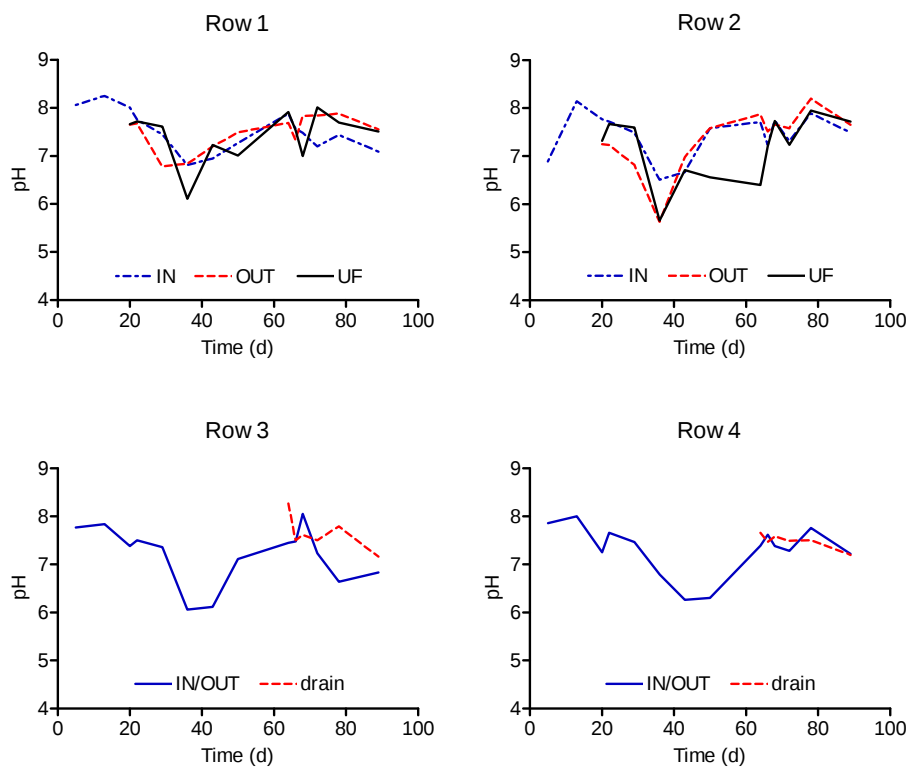
מוליכות וערך הגבה. איורים 7 ו-8 מציגים את השינויים בערכי המוליכות החשמלית וערך ההגבה, בהתאמה, עבור הטיפולים השונים ולאורך הניסוי כולו. המוליכות החשמלית (איור 7) נעה בין ערכים של 1.5 ל-3.0 דציסימנס למטר. רוב הזמן המוליכות החשמלית עמדה על ערכים שבין שני קצוות אלו, מה שמעיד שמבחינת ממשק השטיפה לא היו הבדלים משמעותיים בין הטיפולים וגם לא היה מצב של המלחה במהלך הגידול וזה גם מתייחס לתקופה של חודש אפריל בלבד שבה היו כבר מספר חמסינים. הערכים היותר יציבים בהזנה לערוגות במערכות עם טיפול ממברנלי של הנקז (ערוגות 1 ו-2), נובעים ככל הנראה מיכולת בופר יותר גדולה כתוצאה מקיום של נפח תפעולי נוסף של כ-50 ליטר של מיכל ה-UF, שמקטין את השינויים. ערכי ההגבה להוציא מצב היחסית חריג בין הימים 36-40 לניסוי נעו בין 6.5 ל-8 ולא ניכרים הבדלים משמעותיים בממוצעי הטיפולים לאורך הזמן בנקז הטיפולים השונים. שוב ניתן לראות פרופיל במקצת יותר מתון בהזנה לערוגות במערכות עם טיפול נקז ממברנלי מאותה סיבה שהוסבר לעיל.

יסודות קורט. איורים 16 ו-17 בנספח מתייחסים לשינויי ריכוזים של אבץ וברזל וכאן ניכרת מגמת התנהגות שונה בין שני היסודות. במקרה של האבץ ניכרת מגמה דומה בכל 4 הטיפולים – לאמור ריכוז של כ-5-6 ח.מ. במי ההשקיה וריכוזם קצת יותר גבוהים 6-7 ח.מ. בנקז (לאורך כל עונת הגידול). במקרה של הברזל יש הבדל בין החצי הראשון של הניסוי (עד אמצע מרץ בו הוספה מנה נוספת) ובין החצי השני שבו יש ירידה של ריכוז הברזל הנמדדים במיכלים ועיקר במקרה של הטיפולים הממברנליים. זה יכול לנבוע מכך שהברזל עובר לצורה קולואידלית והממברנות עוצרות אותו בצורתו זו. וזה אכן ניכר שדווקא במיכלי ה-UF ובמיכלי ההשקיה (תסנין ה-UF) הערכים בחצי השני של הניסוי קטנים לעומת הערכים בנקז עצמו וכמובן שהם קטנים ביחס לערוגות 3 ו-4. כפי הנראה תופעה זו לא היוותה גורם משמעותי לגידול הצמחים שהרי לא נצפה שום הבדל משמעותי בגידול בין הצמחים של בערוגות השונות וגם לא נצפו סימני כלורזה.

ריכוז הזרחן והאשלגן. השינויים לגביהם מוצגים באיורים 18 ו-19 בנספח. אלו שני יסודות הדישון שנצרכים ע"י הצמחים בצורה משמעותית (חלק מהזרחן שוקע ומתקבע). ככלל, ריכוזי הזרחן במי ההשקיה דומים בכל הטיפולים ועומדים על בין 12 ל-15 ח.מ. ובמי הנקז הם יורדים עד כדי חצי, חוץ מאשר במקרה של ערוגה 4 שבה הצמחים נפגעו במידה מסוימת ע"י ההדבקה וייתכן שזה גורר שקליטת הזרחן יותר איטית ועל כן ירידתו בנקז יותר קטנה יחסית. מגמה די דומה נצפתה לגבי האשלגן (איור 19 בנספח) למרות שהכימיה של יסוד זה ותהליכי קיבועו שונים ביחס לזרחן במערכת הספציפית (פרלייט). ושוב, גם במקרה של שני יסודות אלו ניתן לראות פרופיל במקצת יותר מתון בהזנה לערוגות במערכות עם טיפול ממברנלי לנקז מאותה סיבה שהוסבר לעיל.



איור 7. שינויי מוליכות חשמלית (EC) במי הנקז בטיפולים השונים לאורך ניסוי העגבניות.



איור 8. שינויי ערך הגבה (pH) במי הנקז בטיפולים השונים לאורך ניסוי העגבניות.

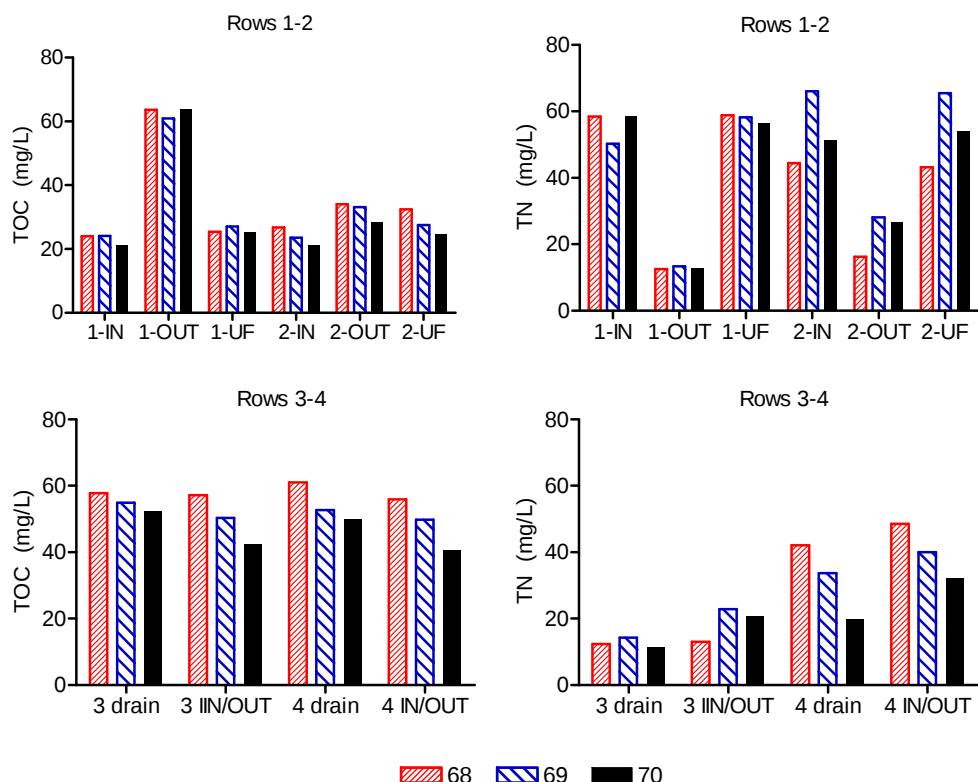
ריכוזי סידן ומגנזיום. השינויים לגבי שני יסודות אלו מוצגים באיורים 20 ו-21 בנספח וכאן שוב דגם התנהגות שונה, קרוב לוודאי בשל המצאות שני יסודות אלו במים בכמות גדולה. בכל המקרים ריכוז שני יסודות אלו עולה במי הנקז בהשוואה למי ההשקיה. אבל בולטת העובדה, במיוחד לגבי התקופה השנייה, שריכוזי היסודות במי ההשקיה של ערוגות 1 ו-2 (מיכלי IN) נמוכים ביחס לערכים שבערוגות 3 ו-4, וגם כאן סביר להניח שנוצרו קולואידים של סידן בגלל שיקוע קרבונטים שנבלמו ע"י המערכות הממברנליות (ערוגות 1 ו-2). יחד עם זאת יתכן גם תרומה למיהול הנקז במיכל ה-UF כסיבה לפער הריכוזים.

ריכוז הנתרן. מוצג באיור 22 בנספח. פרופיל הנתרן מזכיר בצורת מה את פרופיל המגנזיום ותואם את פרופיל המוליכות החשמלית, שבנקז היא כנראה מושפעת בעיקר משני יסודות אלו. הקבלה זו בין נתרן למגנזיום מרמזת שהפער ביו ריכוזם בנקז לזה במיכלי ה-UF ובתסני נובע בעיקר ממיהול ומעט משיקוע.

ריכוז צורוני החנקן. פרופיל צורוני החנקן, אמוניה (ניתן בדישון), חנקית וחנקת (נוצרים) מוצגות באיורים 23-25 בנספח. התנהגותם שונה במהותה. לגבי האמון (איור 23 בנספח) נצפה פרופיל עם מגמה מקבילה בכל הטיפולים. לגבי ערוגות 3 ו-4 צריך להתבונן בעיקר בערכים הממוצעים שלאחר היום 64, בו נעשה הפרדה בין דיגום ממכלי הזנה/ניקוז (in/out) ובין איסוף ישיר מפתח הניקוז (drain). מעניין, באותה תקופה נצפה עליה בריכוז האמון במיכל התסנין (IN) שהוא ההזנה לערוגות ובמקרה של ערוגה 2 העלייה נמדדה גם במיכל ה-UF. יתכן מאוד ששינויים אלה נובעים בפעילות מיקרוביאלית המרחפת במיכל/מקובעת (ביופילם) או בקווי ההובלה/השקיה. ההבדלים הכי בולטים הם בריכוזי החנקית (איור 24 בנספח) בו ניכר שיש היווצרות מאד חזקה במערכת הטיפול הממברנלי (מיכלי ה-UF) בערוגות 1 ו-2, בתוכם מגיעים לערכים מוצעים של בין 6 ל-11 ח.מ. חנקן בעוד שמכלי הנקז (OUT) של ערוגות אלו הערכים, עומדים על 0.2-0.3 ח.מ. חנקן, ובמיוחד בחצי השני של הניסוי. בערוגות 3 ו-4, שאינן מקבלות טיפול ממברנלי, הרמות הממוצעות נמוכות מ 1 ח.מ. חנקן. זה מעיד בהחלט על פעילות מיקרוביאלית של ניטריפיקנטים (ויתכן גם דניטריפיקציה) שכנראה מתרכזים במיכלים של הטיפול UF ומסייעים בחמיצון של האמון בחלקו לחנקית וחלקו לחנקת. ואכן, מגמה דומה ניתן לצפות גם לגבי החנקת (איור 25 בנספח), אם כי שם המצב יותר מורכב כי יש גם ניטריפיקציה משמעותית בתוך הערוגות עצמן, שממסכת על האפקט ולכן, בעיקרו הפרופיל של חנקת יותר דומה בכל ארבעת הערוגות.

פשר השפעת מערכות הסינון על מטבוליזם מיקרוביאל של צורוני חנקן דורש בירור מעמיק יותר בכדי לטפל ולצמצם את התופעה. במערכות מסחריות בהן שטח הסינון יהיה יותר קטן ביחס לשטח הגידול מאשר בניסויים שלנו, ובו יתקיים זמן שהייה קצר של הנקז, יתכן שתופעות אלו לא תהיינה משמעותיות.

שינויים בחומר אורגני. במהלך ההדבקה השניה, ביום ה-69 לניסוי, נמדד פרופיל של החומר אורגני כ-TOC וכן פרופיל החנקן הכללי-TN (איור 9), וסקפטרם פלואורסנציה (איורים 26-28 בנספח) ובליעה באינפרה אדם (איור 29 בנספח). כפי שניתן לראות מאיור 26 בנספח, פרופיל החומר האורגני (TOC) מראה שכנראה שליש מהחומר האורגני בנקז הוא כנראה קולואידלי או חלקיקי (זה בעיקר בולט לגבי הנקז של ערוגה 1 - 1 OUT אשר אולחה), שהרי הוא נדחה ע"י הממברנות (20 לעומת 60 ח.מ. בממוצע בין ערוגות 1-2 ל-4-3). מהי תרומה של תופעה זו לא ברור לנו כרגע. מאידך, ניתן לראות שמקורו של רוב החנקן בנקז הוא כנראה חנקת וחנקית (השווא איורים 9 ו-24-26 בנספח).



איור 9. שינויי חומר אורגני כ-TOC וחנקן כללי כ-TN במי הנקז בטיפולים השונים בזמן האילוח השני בגידול עגבניות. סריקת הפלואורסנציה של הנקז של ביום ה-69 לגידול נעשתה לפי המהתואר בטבלה 3. אורכי גל לערוור היו בתחום 250-400 ננומטרים. אורכי גל לפליטה היו בתחום 260-600 ננומטרים. כל המדידות בקפיצות של 5 ננומטרים ו-slit של 1 ננומטרים. יש לשים לב שבדוגמאות היה ברזל שידוע כ"מועך" משמעותי לחומצות הומיות ובעל פוטנציאל לקומפלקסים שישפיעו על הספקטרום. הספקטרומים שהתקבלו מוצגים באיורים 26-27 בנספח.

טבלה 3. תיאור דוגמאות לסריקת הפלואורסנציה (EEM) של הנקז ביום ה-69 לניסוי בטיפולים השונים בגידול עגבניות.

ערוגה	דוגמא מס'	שם הדוגמא	אופי הדוגמא
1	7	1 out	נקז מהערוגות
	4	2 UF	מיכל הזנה לממברנה
	1	1 in	תסנין (הזנת הערוגות)
2	8	2 out	נקז מהערוגות
	3	1 UF	מיכל הזנה לממברנה
	2	2 in	תסנין (הזנת הערוגות)
3	5	3 in/out	מיכל הזנה/יסוף נקז
	9	3 drain	נקז מהערוגות
4	6	4 in/out	מיכל הזנה/יסוף נקז
	10	4 drain	נקז מהערוגות

בוצעה אנליזת PARAFAC ע"י 2 מרכיבים שממוקמים בקורלציה עם מרכיבים הומיים וחלבונים (איור 28 בנספח). ניתן לראות כי על אף שלא ניתן להבחין בספקטרומי הדוגמאות בשיאים המקושרים לחלבון ניתן לאתר אותם באנליזה בעזרת PARAFAC. מהסתכלות על הערכים המתקבלים עבור כל מרכיב ניתן להבחין בהבדלים בין הדוגמאות השונות. תוצאות ספקטרום FTIR-PAS בדוגמאות מיובשות (100 סמ"ק) של יום ה-69 לניסוי מוצג באיור 29 בנספח. מאנליזת ראשונית זו של החומר האורגני ניתן להקיש שעיקר החומר האורגני בנקז הם מרכיבים הומיים בכל ארבעת המערכות וכן מיקרואורגניזמים אנדוגנים, ריזוספרה ואילוח.

5.2.2. בדיקות נגיעות בפתוגנים

התוצאות של פתוגנים נמצאות בטבלאות 4-6. בטבלה 4 מובאות הספירות בנקז מאילוח הראשון ובטבלה 5 מהאילוח השני, מה לא ניתן להוציא מגמה ברורה, יתכן מאוד מכך שהיה זיהום בין הדוגמאות הנקז בזמן הדיגום (cross-contamination). יחד עם זאת, אי אפשר לשלול את האפשרות שחלק מהמברנות דלפו (12 ממברנות צינוריות מורכבות במקביל). יתרה מזאת, ניתן לראות בבירור שבכל ההדבקות המצב היה הרבה פחות חמור בערוגות עם טיפול בנקז (בולט במיוחד לגבי הזיהום הפיטרייתי).

טבלה 4. תוצאות בדיקת מקורות מים (מיכלים) לנגיעות בפתוגנים עבור ההדבקה הראשונה (יום 20) בערוגות 1 (עם טיפול נקז) ו-4 (ללא טיפול נקז). ערוגות 2 (עם טיפול נקז) ו-3 (ללא טיפול נקז) לא הודבקו (כביקורת). הריכוזים מתייחסים למיכלי ההזנה.

Infection	Phytium (CFU/ml)				Clavibacter (CFU/ml)			
Day	20	21	22	30	20	21	22	30
Rows 1-2								
1-in	0	0	-	0	0	1×10^3	1×10^3	1×10^3
1-out	0	0	0	0	0	0	1×10^3	1×10^2
1-uf	1×10^2	-	-	-	1×10^6	-	-	-
2-in	0	0	-	0	0	0	0	0
2-out	0	0	-	0	0	0	0	0
2-uf	-	-	-	-	-	-	-	-
Rows 3-4								
3 in/out	0	0	0	0	0	0	0	0
4 in/out	1.5×10^2	1×10^2	-	1×10^1	2×10^6	5×10^5	7×10^3	1×10^3

טבלה 5. תוצאות בדיקת מקורות מים (מיכלים ונקז) לנגיעות בפתוגנים עבור ההדבקה השנייה (יום 69) בערוגות 2 (עם טיפול נקז) ו-4 (ללא טיפול נקז). ערוגה 2 חוברה במוצלב ל-UF-1 (עם טיפול נקז) ו-3 (ללא טיפול נקז) לא הודבקו (כביקורת). הריכוזים מתייחסים למיכלי ההזנה. ערוגה 1 הייתה נדבקה בסבב הראשון.

Infection	Fusarium (CFU/ml)			Xanthomonas (CFU/ml)		
Day	69	70	71	69	70	71
Rows 1-2						
1-in	0	0	0	0	0	1×10^3
1-out	0	0	0	0	0	0
2-in	0	0	0	0	1×10^5	1×10^3
2-out	4×10^5	1×10^1	1×10^1	1.7×10^7	8×10^3	1×10^3
Rows 3-4						
3 drain	0	0	0	0	0	0
3 in-out	0	-	-	0	-	-
4 drain	0	2×10^2	1×10^2	0	1×10^6	2×10^3
4 in-out	3×10^5	-	-	1×10^7	-	-

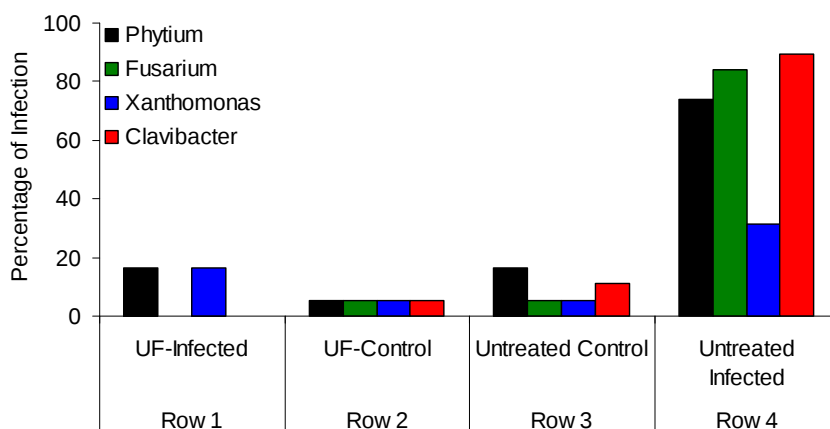
יחד עם זאת, מהתבוננות בתוצאות של טבלה 6 ואיור 10, המציגים את רמת הדבקה בבית בשורשים של 19 צמחים שנדגמו מכל ערוגה וכללו את כל הצמחים שלאורכה (בסוף הניסוי), ניתן לראות בצורה בולטת, בשתי הערוגות שחוברו למערכת הממברנלית (1-2), כמו זו של המיחזור ללא טיפול וללא הדבקה (3), רמת הנגיעות מופחתת (ודי דומה בין הערוגות) בצורה משמעותית מערוגה 4 בה נעשה הדבקה ללא טיפול בנקז.

מראה כללי של ערוגות הניסוי שישה ימים לאחר ההדבקה הראשונה (יום ה-24 לניסוי - 11 יום לאחר השתילה) מוצגים באיור 30 בנספח. ניתן גם לראות שהיה הבדל מסויים בצימוח של ערוגה 4 (מודבקת, וצמחים קצת יותר קטנים, אבל ירוקים!) לערוגה 3 לא מודבקת לאחר כחודשיים של גידול, אולם ההבדלים לא היו גדולים ולא נצפו סימני עקה מיוחדים בערוגה 4 המודבקת.

טבלה 6. בדיקת 19 צמחים בודדים בכל ערוגת טיפול בסוף הניסוי (יום 90). ערוגות 1, 2, ו-4 אולחו במהלך גידול עגבניות.

Row	Organism	Plant specimens																		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	<i>Phytium</i>			+	+														+	x
	<i>Fusarium</i>																			x
	<i>Xanthomonas</i>													+	+	+				x
	<i>Clavibacter</i>																			x
2	<i>Phytium</i>																	+		
	<i>Fusarium</i>							+												
	<i>Xanthomonas</i>										+									
	<i>Clavibacter</i>														+					
3	<i>Phytium</i>	+	+			+														x
	<i>Fusarium</i>																	+		x
	<i>Xanthomonas/Sictoria</i>							+												x
	<i>Clavibacter</i>							+	+											x
4	<i>Phytium</i>		+		+		+	+	+			+	+	+	+	+	+	+	+	+
	<i>Fusarium</i>		+		+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+
	<i>Xanthomonas</i>													+	+	+	+	+	+	
	<i>Clavibacter</i>		+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

מפתח: +, ממצא חיובי; ריק, ממצא שלילי; x: לא היו צמחים.



איור 10. סיכום צמחים מודבקים בגמר ניסוי המלפפונים (יום 90). ערוגות 1, ו-4 אולחו במהלך הגידול.

5.3. דחיית וירוסים

בחינת השפעת המברנות על דחיית הוירוסים נעשתה במערכת של הפרדה ממברנלית מעבדתית לצורך פשטות ספירת הוירוסים ואינטרפרטצית התוצאות.

ראשית נבדקת דחיית וירוסים (PMV3 (mosaic virus בקרע של מים מזוקקים במערכת ממברנות טובולריות זהות לאלו ששימשו לניסוי החממה אך בסף מולקולרי של 25 קילודלטון. ריכוז הוירוסים הוירוסים נקבע באמצעות מבחן צמחי. ליטר מים משני התסנינים וממי ההזנה שימשו להשקיית עציץ. הדבקה בוירוס התבטאה ע"י הופעת נקפים בעלי הצמח (איור 31 בנספח). ההרחקה של הוירוסים מראה על יכולת הטכנולוגיה הממברנלית למנוע מעבר פתוגנים ויראליים ובקטריאליים (במקרה של ממברנה אחת נצפה אילוח כתוצאה מדליפה של רכוז הסינון).

בכדי לאמוד בצורה יותר מדויקת את יכולת דחיית וירוסים ניסיונות ההמשך נעשו במערכת ממברנות מעבדתיות שטוחות ואטומות לחלוטין בתחום סף מולקולרי של 20, 30, 60 ו-200 קילודלטון. הניסיונות נעשו ברקע מים

מזוקקים ורקע של מי נקז של חממת מסחרית לגידול עגבניות. לניסיונות אלו שימוש בבקטריופאז' coliphage CN13. ספירת וירוסים חיים נעשתה באמצעות מבחן פלאקים (טבלה 7 בנספח). כפי שניתן לראות, בכל סוגי המברנות נצפתה דחייה מלאה של וירוסים בלתי תלוי במי רקע (מים מזוקקים או נקז חממות). תוצאות אלו מעידות בבירור על היכולת של מברנות בתחום האולטרפילטריציה להרחיק וירוסים. בניסיונות אלו נעשה שימוש בוירוסים באותו סדר גודל (200-100 ננומטר) שאמור להעריך נכונה את רוב מחוללי מחלות וירליות צפויות. יחד עם זאת יש לקחת בחשבון שבמקרה של וירוסים רנ"א שהם קטנים יותר (כ-50 ננומטר) יש אפשרות של דליפה. בפועל, אפשרות של דליפה במערכת יישומית במברנות של כ-100 קילודלטון אמורה להיות זניחה בעקבות האילוח עצמו של המברנות בזמן התפעול, אשר מעלה בפועל את בררנותן.

6. סיכום ומסקנות

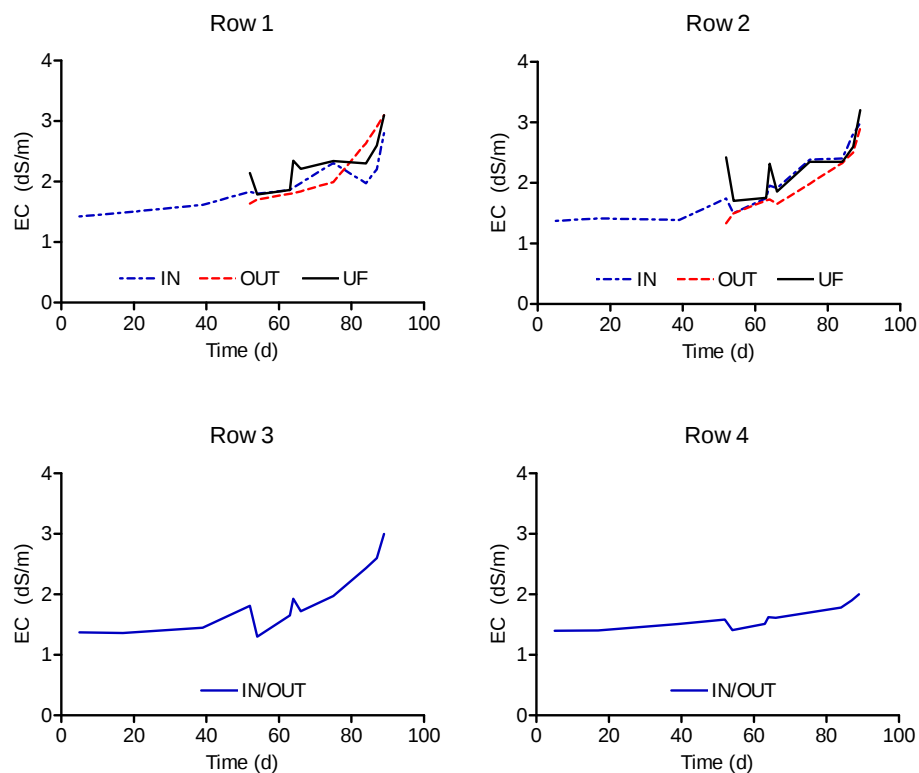
במהלך המחקר בוצעו מחזורי גידול של צמחי עגבניה ומלפפון עם מחזור מלא של מי הנקז במערכת מצע מנותק. עיקר המחקר התרכז בלימוד משתנים בשימוש במערכת ממברנלית לצורך מיחזור מלא של מי ההשקיה, תוך השוואה למחזור המים ללא טיפול בהם. אילוח מכוון של מי הנקז שימש לבחינת התמודדות המערכות עם פתוגנים צמחיים. עיקרי מסקנות הן:

- מברנות אולטרפילטריציה מהוות מחסום אולטימטיבי לעצירת הפצת פתוגנים ע"י מחזור מי הנקז.
- סחרור מים ללא טיפול יכול להביא להדבקה כמעט מוחלטת של הצמחים. בגידולים רגישים תיתכן פגיעה קשה ביותר ביבול (כפי שאכן נצפה באילוח מלפפון).
- מברנות בסך הפרדה של 100 קילודלטון הוכיחו את יכולתן לעצירת חיידקים ופטריות, כפי שנמצא בגידולי עגבניות שהודבקו פעם אחת ומלפפונים במצע מנותק עם מחזור מלא של מי הנקז ואשר הודבק בשני מחזורים, האחד בתחילת הגידול והשני לאחר כחודשים. במערך ניסויים *in vitro* ממברנות אלו הוכיחו את יכולתן להרחיק גם וירוסים ובקטריופאז'ים.
- מברנות בעלות סף מולקולרי של 100 kDa לא שינו באופן מהותי את מאזן החנקן ובמעט את מאזן הפחמן. מאידך, יתכן שהמברנות דוחות באופן חלקי חומר אורגני גבה מולקולרי במי ההשקיה, בעיקרו הומי, וגם ברזל קולואידי. לפחות בטווח הניסויים הנכחיים נמצא שתפקוד המברנה לא השפיעו על אופי הגידולים והיבול, אבל לטווח ארוך חשוב לתת תשומת לב לנושא שינויים בזמינות ברזל במערכת.
- לא נצפתה השפעה של המערכת הממברנלית על צריכה וקליטה של דשן.
- ביישום השיטה יש להתייחס לממשק בין מערכת הטיפול - למי ההשקיה מהיבטי השיווי המשקל של הנוטריאנטים במי ההשקיה כתוצאה מפעילות ביולוגית (התפתחות ניטריפיקציה והיווצרות חנקית מפעילות מיקרואביאלית במיכלי הטיפול) וניקוי כימי של המברנות (מניעת ביופאולינג).

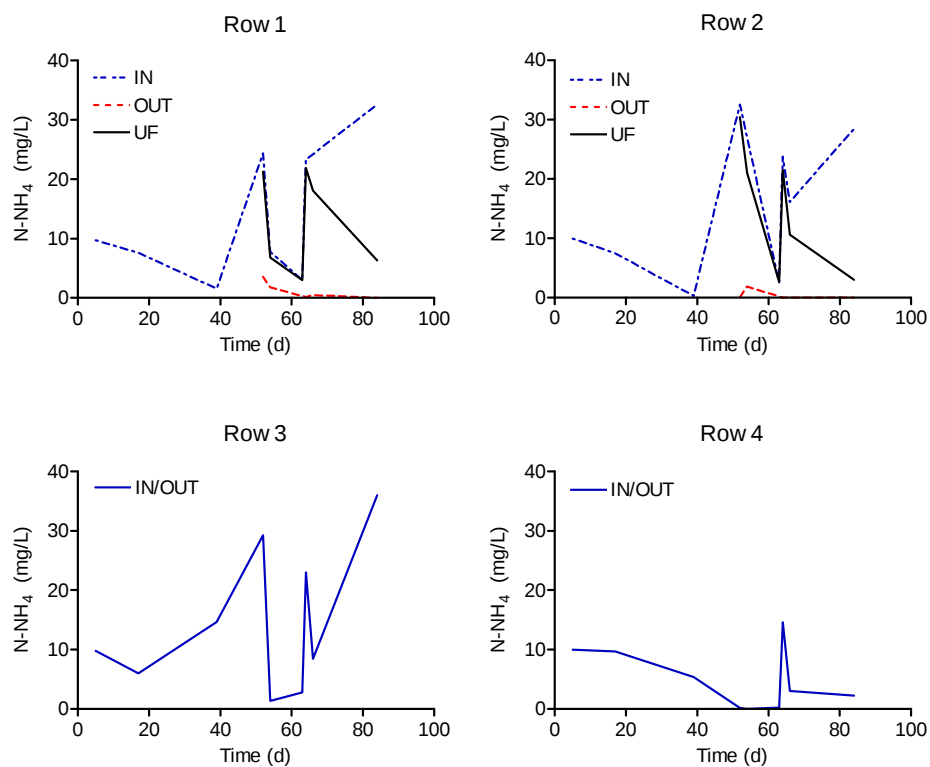
לצורך יישום השיטה יש להתחשב בהשפעת המליחות וצריכת מים ודשן ובכדי להעריך את החיסכון המושג. כמו כן נדרש מחקר המשך במחזורי גידול יותר ממושכים וכן במגוון גידולים. הצורך למתן פתרונות לבעיות המים, הדישון ומחלות, וכן מעבר לגידולים איכותיים לייצוא עשויים להגדיל את נפח הפעילות בתחום המצעים המנותקים ואת הצורך לחיטוי המים כחלק מתהליך מחזור מי ההשקיה, באופן שיאפשר חיסכון משמעותי במשאבים, ללא סיכון של אובדן הגידול עקב התפרצות מחלה. השימוש במערכות מחזור מי נקז מבוססות על מברנות אולטרפילטריציה עשויה לתת מענה עולם לדרישות אלו.

- Armon R., Kott Y. 1993. A simple, rapid, and sensitive presence/absence test for bacteriophage detection of aerobic/anaerobic bacteria in drinking water. *J. Appl. Bacteriol.* 74:490-496.
- Dornay I. 2002. Slow sand biofiltration as a method for disinfection of recycled irrigation water. M.Sc. Thesis Submitted to the faculty of agriculture. The Hebrew University of Jerusalem.
- Ehret D.L., Alsanusi B., Wohanka W., Menzies J.G., Utkhede R. 2001. Disinfection of recirculating nutrient solutions in greenhouse horticulture. *Agronomie* 21:323-339.
- Giacomelli G., Sabeh N., Costa P., Jensen M. 2005. Controlled environment agriculture: A sustainable option. Controlled Environment Agriculture Center, University of Arizona, July/August, pp. 25. http://swhydro.arizona.edu/archive/V4_N4/featurette5.pdf
- McPherson G.M., Harriman M.R., Pattison D. 1995. The potential for spread of root diseases in recirculating hydroponic systems and their control with disinfection. *Meded. Fac. Landbouww. Univ. Gent* 60/2b:371-379.
- Moens M., Hendrickx G. 1992. Drainwater filtration for the control of nematodes in hydroponic systems. *Crop Prot.* 11:69-73.
- Nakajima N., Nakano T., Harada F., Taniguchi H., Yokoyama I., Hirose J., Daikoku E., Sano K. 2005. Evaluation of disinfective potential of reactivated free chlorine in pooled tap water by electrolysis. Department of Microbiology, Osaka Medical College, 2-7 Daigaku-machi Takatsuki, Osaka 569-8686, Japan.
- Ohtani T., Kaneko A., Fukuda N., Hagiwara S., Sase S. 2000. Development of a membrane disinfection system for closed hydroponics in a greenhouse. *J. Agric. Eng. Res.* 77:227-232.
- Runia W.T. 1995. A review of possibilities disinfection of recirculation water from soilless cultures. *Acta Hort.* 382:221-229.
- Runia W.T., Amsing J.J. 2000. Lethal temperature of soilborne pathogens in recirculation water from closed cultivation systems. *Acta Hort.* 554, ISHS 2001.
- Savvas D., Gizas G. 2002. Response of hydroponically grown gerbera to nutrient solution recycling and different nutrient cation ratios. *Sci. Hort.* 96:267-280.
- Sorour M.H., Defrawy N.M.H., Shaalan H.F. 2002. Treatment of agricultural drainage water via lagoon/reverse osmosis system. *Desalination* 152:359-366.
- Wai Lee R., Glaser J., Cohen Y., Martin C., Kovac K., Milobar M.N., Bartel D.W. 2003. Low-pressure RO membrane desalination of agricultural drainage water. *Desalination* 155:109-120.
- דישון א., קריצמן ג., דורנאי א., סילברמן ד. 2002. פסטור סולרי של מי נקז של חממות למניעת הפצת מחלות בגידול עגבניות שרי. דוח מסכם לאגף הירקות.
- ליטובקה. א. 2002. היבטים פיזיקליים של פסטור, לטיהור מי נקז של חממות מפתוגנים, מחוללי מחלות צמחים. עין-גדי.

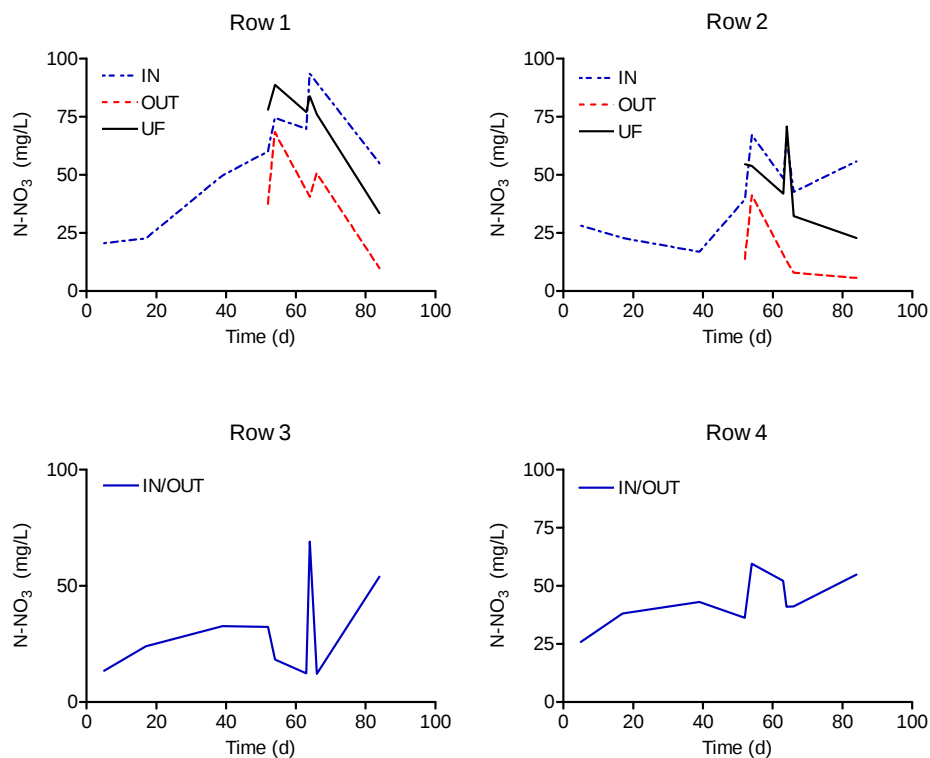
נספח: תוצאות מפורטות שהתקבלו במי הנקז, מיכלי השקיה ומכלי ה-UF.



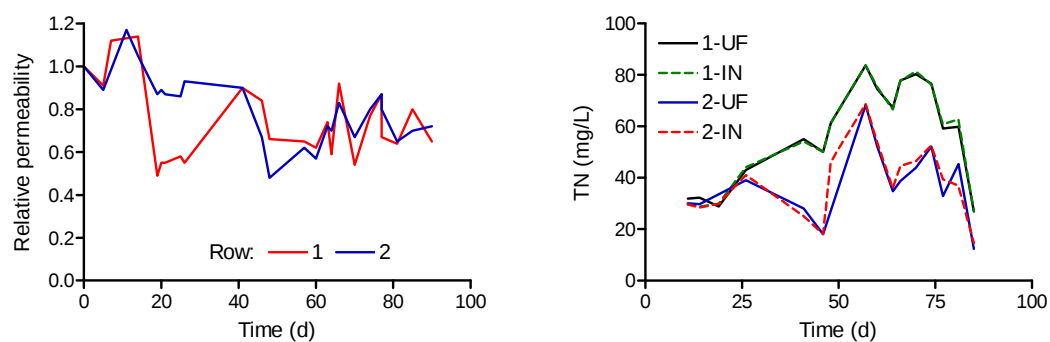
איור 11. שינויי מוליכות חשמלית (EC) במי הנקז בטיפולים השונים לאורך ניסוי המלפפונים.



איור 12. שינויי בריכוז אמון (N-NH₄) במי הנקז בטיפולים השונים לאורך ניסוי המלפפונים.



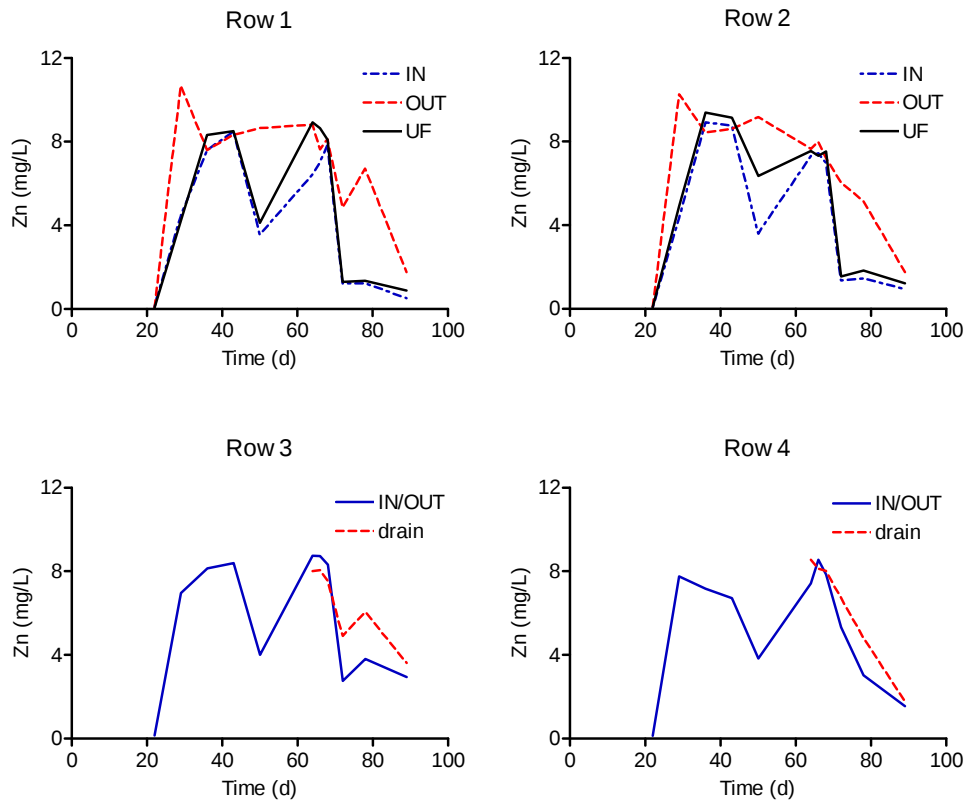
איור 13. שינויי בריכוז חנקה (N-NO_3) במי הנקז בטיפולים השונים לאורך ניסוי המלפפונים.



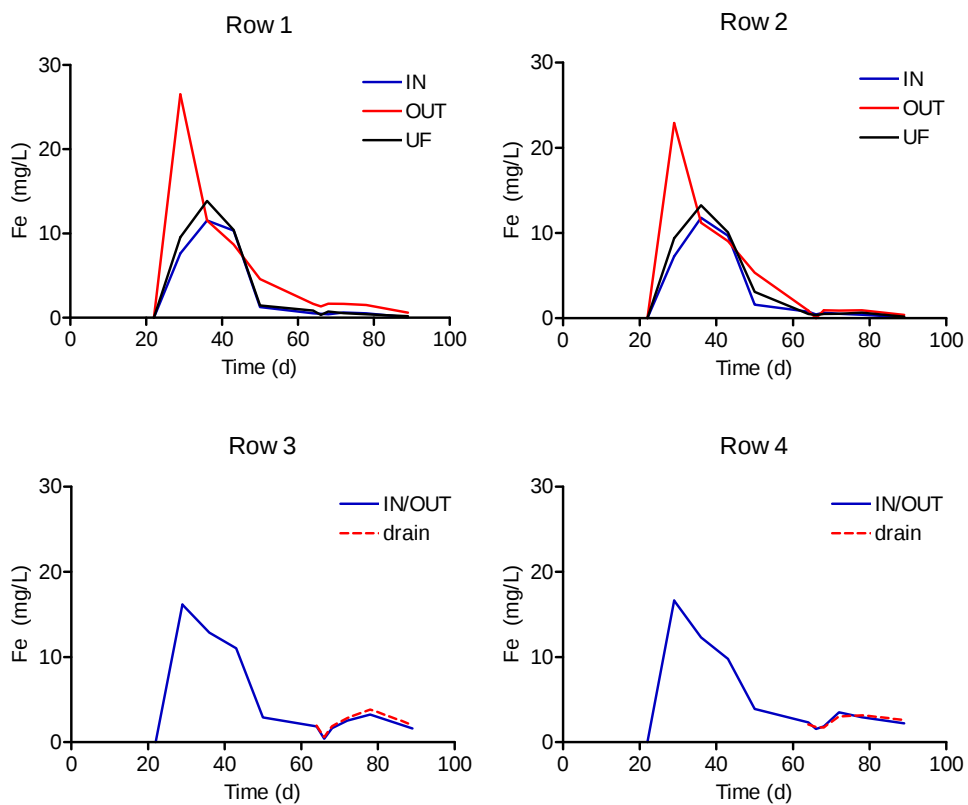
איור 14. מעקב חדירות הממברנות (פנל שמאלי) וריכוז הפחמן הכללי (פנל ימני) בניסוי למחזור נקז מצע מנותק בגידול מלפפונים.



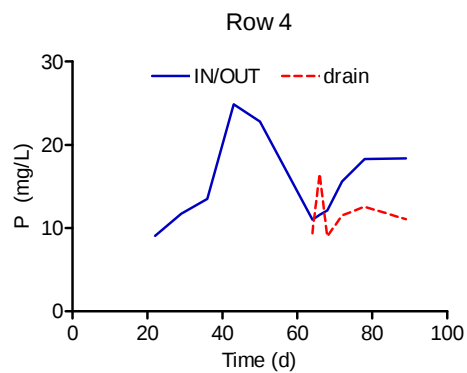
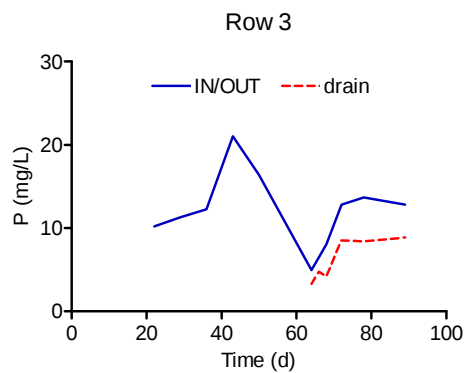
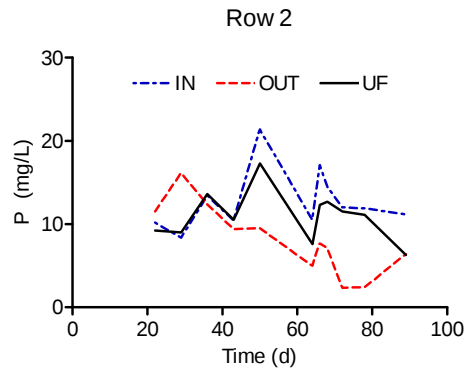
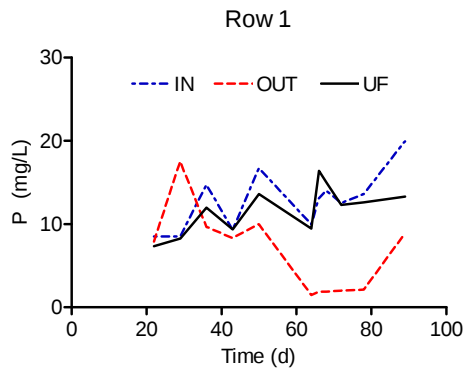
איור 15. תמונות ערוגות הגידול של שתילי מלפפון. פנל עליון: מבט הערוגות כשבועיים לאחר ההדבקה (יום ה-17). ניתן לראות את הפגיעה בגידול בשורה 4. פנל תחתון: תמונות צמח מלפפון משורות 3 ו-4, גידול ללא טיפול במים ללא אילוח ועם אילוח (בהתאמה). בצד ימין ניתן לראות את הפגיעה האוסמוליטית בעלי הצמח בטיפול 4 כתוצאה מההדבקה בארנויניה. המספרים מציינים את מספר הטיפול.



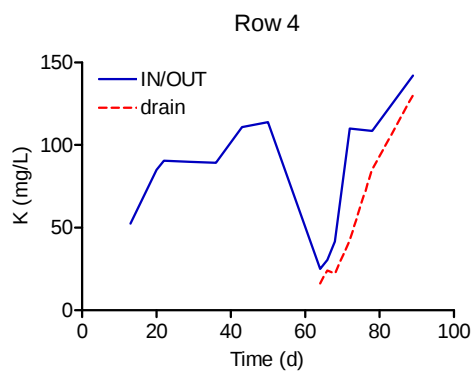
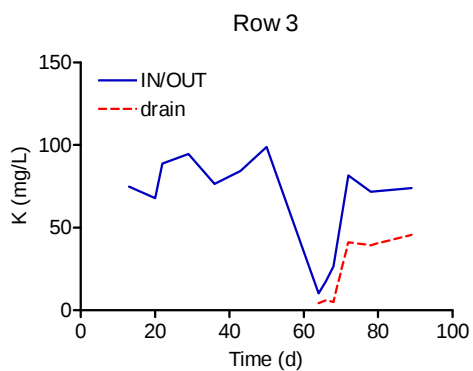
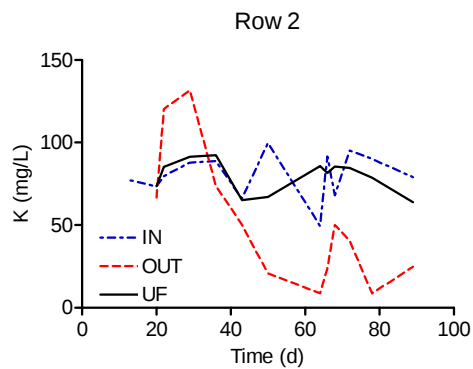
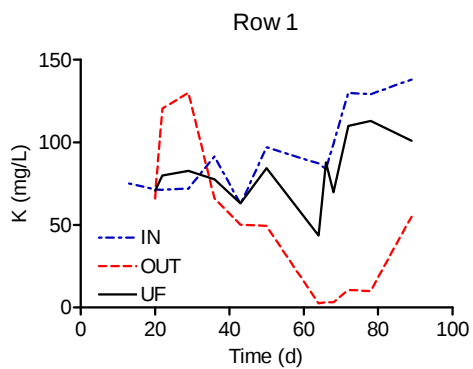
איור 16. שינויי בריכוז האבץ (Zn) במי הנקז בטיפולים השונים לאורך ניסוי העגבניות.



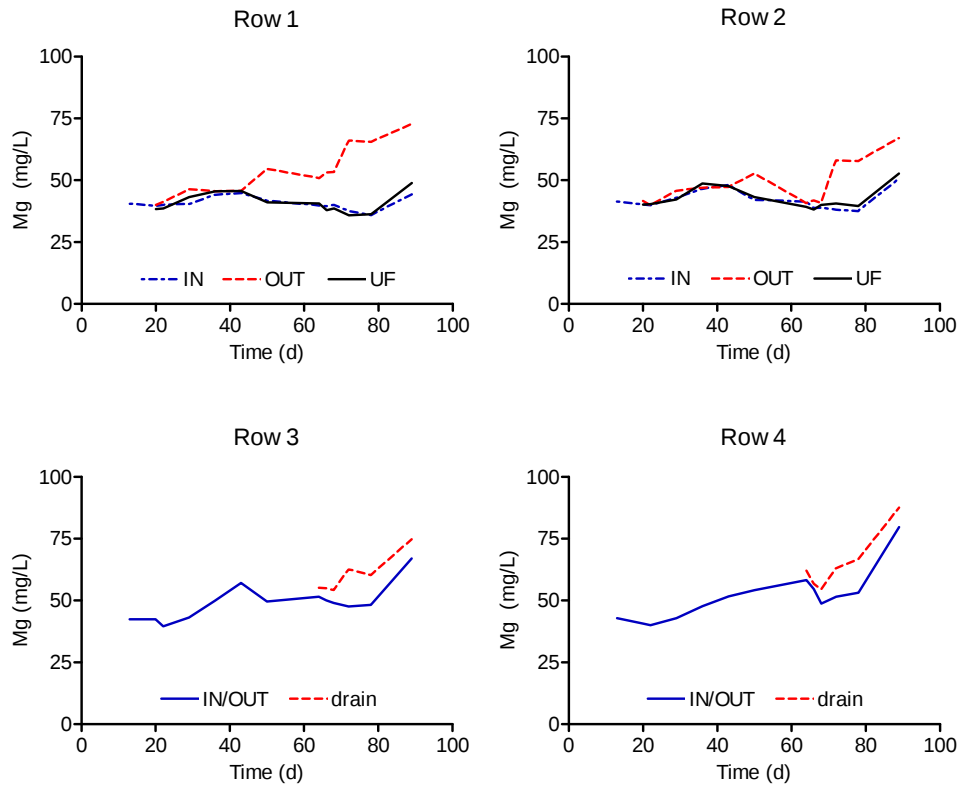
איור 17. שינויי בריכוז הברזל (Fe) במי הנקז בטיפולים השונים לאורך ניסוי העגבניות.



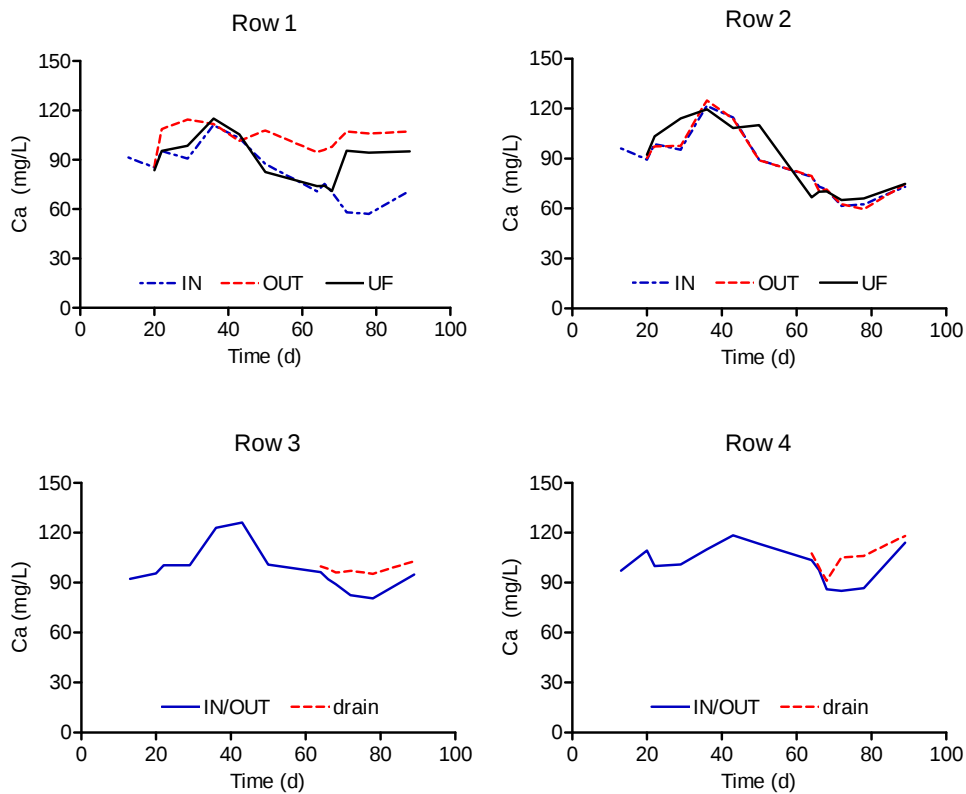
איור 18. שינויי בריכוז הזרחן ($P-PO_4$) במי הנקז בטיפולים השונים לאורך ניסוי העגבניות.



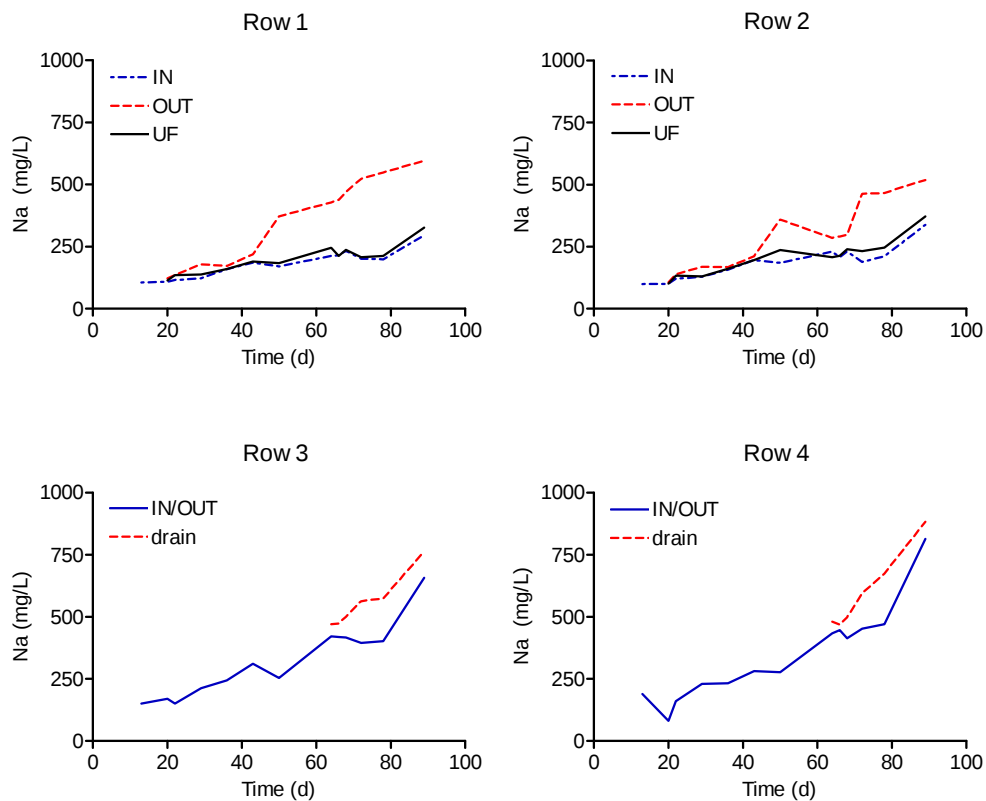
איור 19. שינויי בריכוז אשלגן (K) במי הנקז בטיפולים השונים לאורך ניסוי העגבניות.



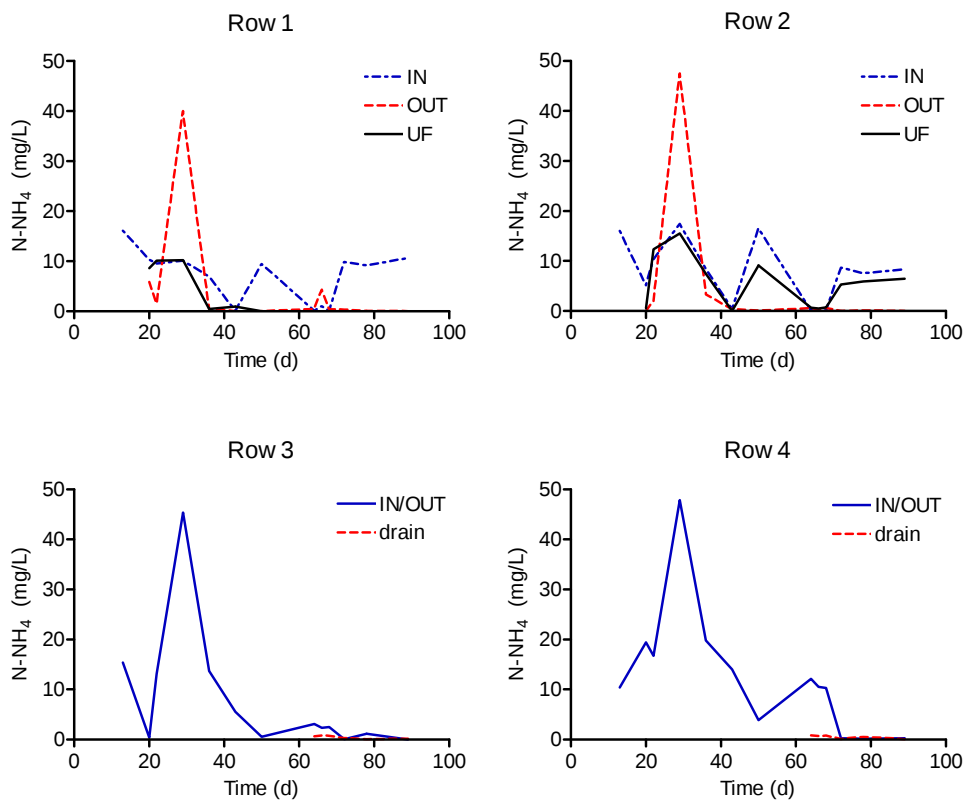
איור 20. שינויי בריכוז מגנזיום (Mg) במי הנקז בטיפולים השונים לאורך ניסוי העגבניות.



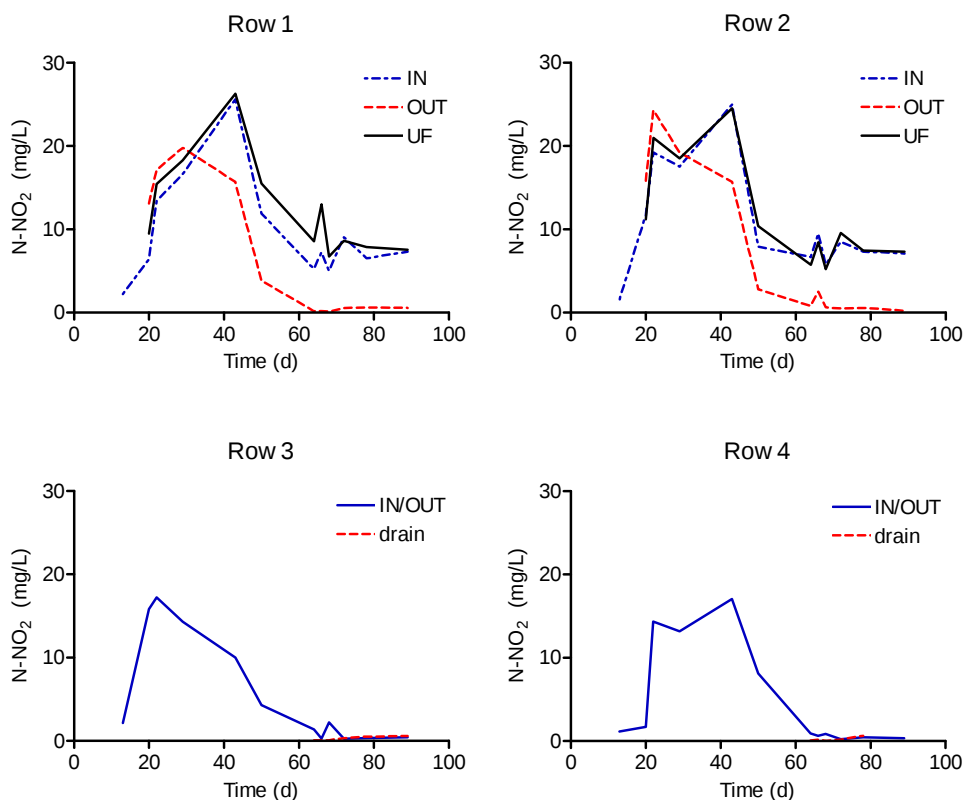
איור 21. שינויי בריכוז סידן (Ca) במי הנקז בטיפולים השונים לאורך ניסוי העגבניות.



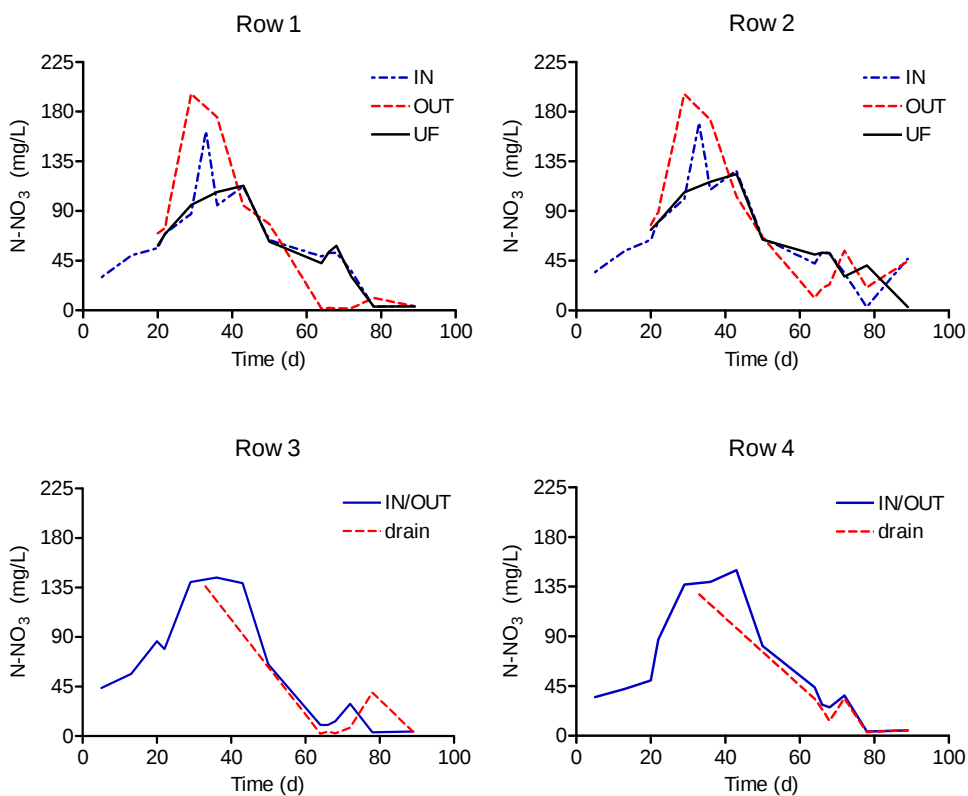
איור 22. שינויי בריכוז נתרן (Na) במי הנקז בטיפולים השונים לאורך ניסוי העגבניות.



איור 23. שינויי בריכוז אמון (N-NH_4) במי הנקז בטיפולים השונים לאורך ניסוי העגבניות.

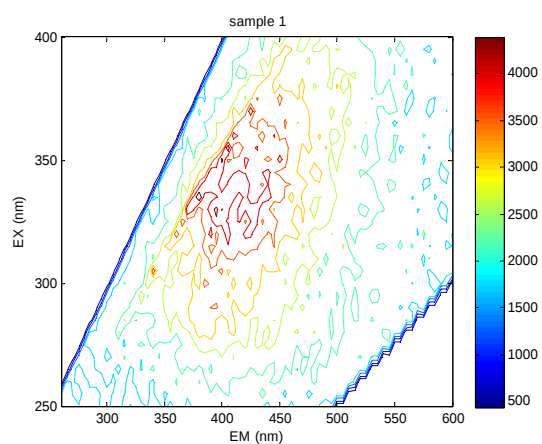


איור 24. שינויי בריכוז חנקית (N-NO_2) במי הנקז בטיפולים השונים לאורך ניסוי העגבניות.

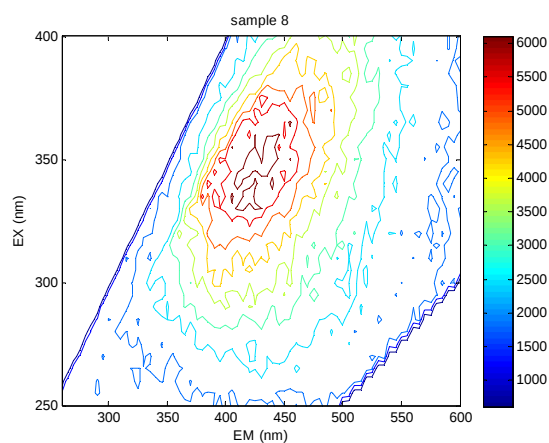
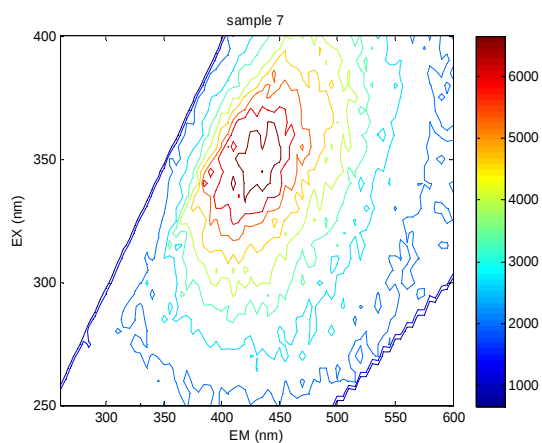
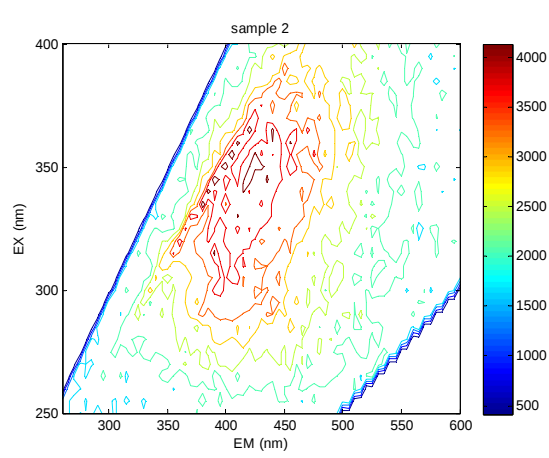
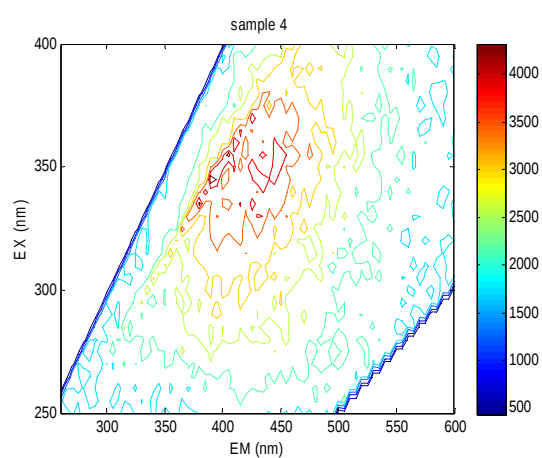
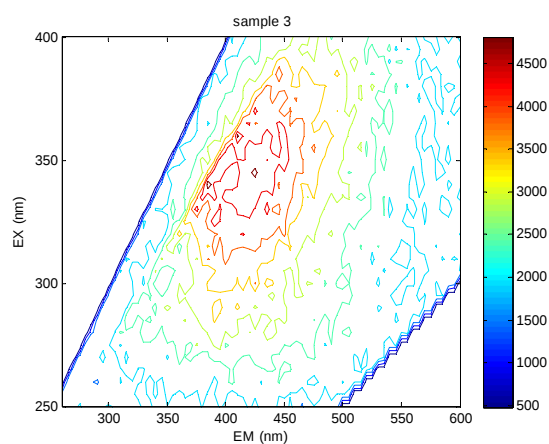


איור 25. שינויי בריכוז חנקה (N-NO_3) במי הנקז בטיפולים השונים לאורך ניסוי העגבניות.

Row 1

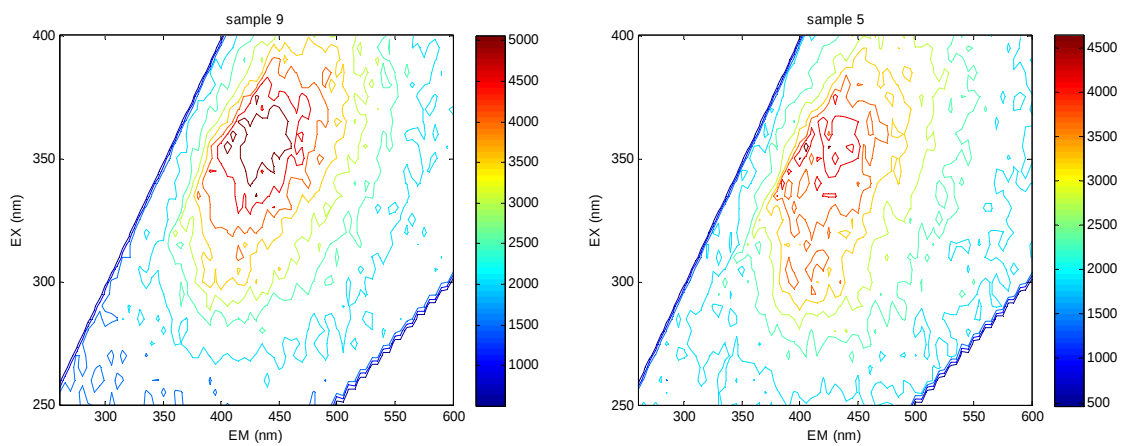


Row 2

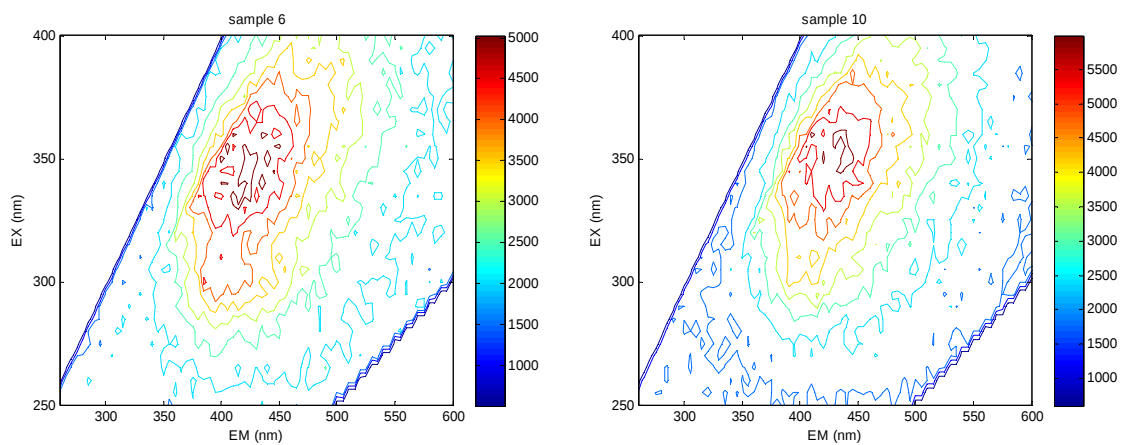


איור 26. ספקטרום הפלואורסנציה (EEM) במי הנקז בערוגות עם טיפול בנקז ביום ה-69 לניסוי העגבניות.

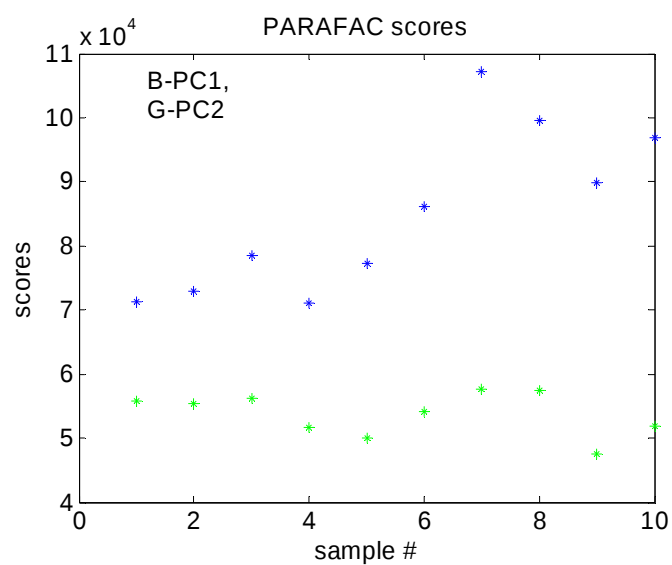
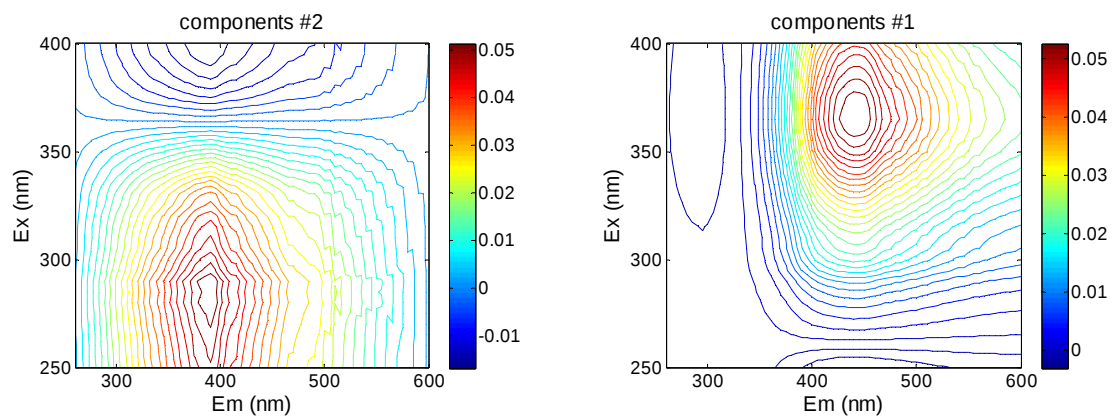
Row 3



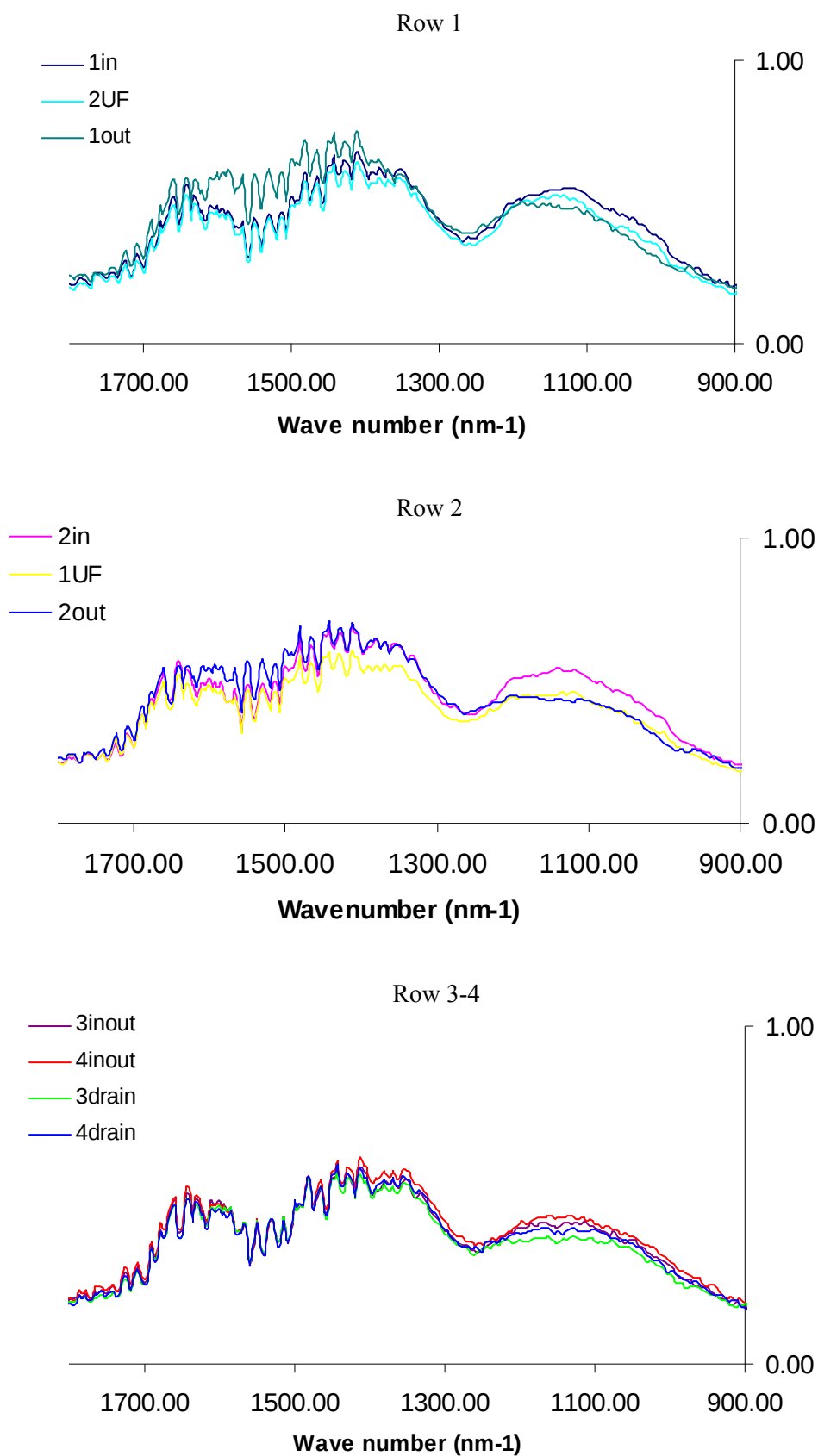
Row 4



איור 27. ספקטרום הפלואורסנציה (EEM) במי הנקז בערוגות עם טיפול בנקז ביום ה-69 לניסוי העגבניות.



איור 28. אנליזת PARAFAC של ספקטרום הפלואורסנציה במי הנקז בערוגות עם טיפול בנקז ביום ה-69 לניסוי העגבניות.



איור 29. ספקטרום אינפרה-אדום (FTIR-PAS) במי הנקז של כל הטיפולים ביום ה-69 לניסוי העגבניות.

Row 1



Row 2



Row 3



Row 4



איור 30. תמונות ערוגות הגידול של שתילי עגבניות שישה ימים לאחר ההדבקה הראשונה (יום ה-24 לניסוי - 11 יום לאחר השתילה). ניתן לראות פגיעה מסוימת בגידול בערוגה 4.



איור 31. תמונה של נקפים בצמחים שהוקזו בתסנין של מערכות ממברנות צינוריות מעבדתיות אשר הוזנו בוירוס PMV3 (mosaic virus). צד שמאל: בהזנה (133 נקפים); אמצע: תסנין ממברנה אחת (0 נקפים), ימין: ממברנה שנייה (8 נקפים).

טבלה 7. תוצאות דחיית בקטריופאג' CN13 במערכת ממברנות פלנריות בסף מולרולרי של 20, 30, 60 ו-200 קילודלטון.

Sample	Run time (h)			
	0	0.5	2	3
	Counts (FPU/ml)			
Greenhouse drain water				
Source (feed)	2.4x10 ⁵	2.0x10 ⁵		2.1 x10 ⁵
Permeate 30 KDa	none	none		none
Permeate 30 KDa	none	none		none
Permeate 20 KDa	none	none		none
Permeate 20 KDa	none	none		none
Source (feed	2.1 x10 ⁵			1.1 x10 ⁵
Permeate 60 KDa	none			none
Permeate 60 KDa	none			none
Permeate 200 KDa	none			none
Permeate 200 KDa	none			none
Source (feed	2.5x10 ⁵		2.1x10 ⁵	
Permeate 20 KDa	none		none	
Permeate 30 KDa	none		none	
Permeate 60 KDa	none		none	
Permeate 200 KDa	none		none	
Double distilled water				
Source (feed	2.5x10 ⁵			2.3x10 ⁵
Permeate 20 KDa	none			none
Permeate 30 KDa	none			none
Permeate 60 KDa	none			none
Permeate 200 KDa	none			none