

חשיבות הרכיב הדיפוזי בשטיפת מלחים ממצע קומפוסט באמצעות טיפוטופ

אביתר איתאל - שה"מ, משרד החקלאות ופיתוח הכפר

כתובת המחבר: Eviatarel2014@gmail.com

Juyoung Yoon - האוניברסיטה העברית, רחובות.

אבי אושורוביץ, יובל ברזילי, רבקה אופנבך, יורם צביאלי - מו"פ ערבה תיכונה וצפונית-תמר

תקציר

מצע קומפוסט הינו אחד הפתרונות הזמינים לשיפור אחידות הגידול, כאשר מיושם בתעלה החפורה בקרקע המקומית. לקומפוסט יתרונות ברורים בשל הרקע התזונתי העשיר המצוי בו, אך המליחות הגבוהה דורשת הדחה לפני תחילת הגידול. תנועת היונים בתמיסת המצע יכולה לנבוע משני כוחות: (1) תנועת מסה של המים והמומסים בתוכם, (2) תנועה דיפוזית בתוך תמיסת הקרקע הנובעת מהפרשי ריכוזים.

בניסוי הקודם נבחנה השפעתם של מספר השלוחות בעת השטיפה בתעלות קומפוסט בעלות עובי מצע שונה, וכן תשתית המכילה מחסום קפילרי בדמות שכבת חול דקה הנחה מעל לתעלת הקומפוסט. בניסוי המדווח להלן נבחנה אסטרטגיית חלוקת המים בעת השטיפה. הופעלו ארבע טיפולי חלוקת מי השטיפה, כאשר מנת המים הכוללת של 100 מ"מ, פוצלה לארבע מנות שוות של 25 מ"מ כ"א. טיפולי פרקי הזמן בין מנות המים היו: 0, 6, 12 ו-24 שעות. נבחנו שני סוגי קומפוסט, השונים במליחות הראשונית ובמאפיינים ההידראוליים שלהם וכן טיפול נוסף שבחן השפעת המחסום הקפילרי.

העלאת משכי הזמן בין פעימות ההשקיה מ-0 ל-24 שעות הפחיתה את יעילות ההדחה ב-32%. כמות המלח שהודחה פחתה אף היא ב-35%. כמות המלח שנותרה בשכבת הקומפוסט עלתה בעקבות תוספת הזמן בין הפעימות בכ-30%. מחסום קפילרי, באמצעות חיפוי בשכבת חול על גבי הקומפוסט, העלה את יעילות ההדחה, כמות המלח שהתנקזה, כמות המלח שנדחפה לצדדים, וזו שנדחקה משכבת הקומפוסט ב-22, 22 ו-64%, בהתאמה. במקביל פחתה כמות המלח השיורית בקומפוסט ב-20% בהשוואה לטיפול ללא מחסום. מתוצאות אלו ניתן להסיק שלהתקנת מחסום קפילרי ייתרון משמעותי ביותר בייעילות הדחיקה של המלחים ממצע מלוח, ובכל מיקרה עדיף לרכז את מנת השטיפה מאשר לפזרה במספר פעימות.

מבוא

תנועת מומסים

מלח מהסוג של נתרן כלורי (NaCl) המומס במים, הופך יחד עם המים לתמיסה בה קיימים היונים Cl^- ו Na^+ בכמות מטענים שקולה. תנועת היונים בתמיסת הקרקע יכולה לנבוע משני כוחות: (1) תנועת מסה (Convection קונוקציה) של המים והמומסים בתוכם, (2) תנועה דיפוזית בתוך תמיסת הקרקע הנובעת מהפרשי ריכוזים. משוואה המבטאת את תנועת המלח בקונוקציה:

$$J_{\text{convection(salt)}} = Q_{\text{(water)}} * C_{\text{(salt)}} \quad [1]$$

Q הינו שטף המים (כמות ליחידת שטח, ליחידת זמן) ו c הינו ריכוז המלח בתמיסה. כוח הדיפוזיה מניע את התנועה היונית בתמיסת הקרקע כתוצאה מהפרשי ריכוזים, לפי:

$$J_{\text{diffusion(salt)}} = D_e \left(\frac{\partial C}{\partial x} + \frac{\partial C}{\partial y} + \frac{\partial C}{\partial z} \right) \quad [2]$$

D_e הינו מקדם הדיפוזיה האפקטיבי בתמיסת קרקע מסוימת, ו- $\frac{\partial C}{\partial x, y, z}$ הינם מפלי הריכוזים בכיוונים X, Y, Z . המשוואה המשותפת לשני הכוחות נקראת: קונוקציה - דיספרסיה ומתארת את שטף המלח בשלושת הממדים:

$$J_{\text{(salt)}} = qC + D_e \left[\frac{\partial C}{\partial x} + \frac{\partial C}{\partial y} + \frac{\partial C}{\partial z} \right] \quad [3]$$

ככל שהחלקיקים במצע אחידים יותר, וכך גם חזור המים במישור XY , כך תפחת חשיבות הרכיב הדיפוזי בשטף המלח הכולל. תנועת מים מועדפת מתארת תנועה שאינה אחידה, הנובעת משונות מרחבית גבוהה במוליכות ההידראולית של המצע. השקיה בטפטוף מוגדרת כאספקת מים נקודתית שאינה אחידה במישור XY , כאשר לכל טפטפת מוגדר שטח כיסוי התלוי בפיזור הטפטפות במרחב.

מחסום קפילרי מאופיין בשתי שכבות קרקע בעלות מרקם שונה באופן קיצוני כאשר העליונה בעלת כוחות מטריציים (אחיזת מים) גבוהים מהתחתונה כך שכל עוד הרטיבות בשכבה העליונה נמוכה מרוויה, הניגוד בתכונות ההידראוליות בשכבת הגבול מעקב את ההתנקזות ומשאיר את המים בשכבה העליונה (Kampf *et al.*, 1998). מטרת העבודה הייתה לשפר את יעילות הדחת המלחים במצע מלוח באמצעות טיפולי תשתית ואופן חלוקת מנות המים בהליך השטיפה, ובכך לבחון את מידת השפעתו של הרכיב הדיפוזי בתהליך הדחת המלחים. הנחת המחקר היא שככל שפרקי הזמן בין מנות השטיפה יעלו כך תשתפר ההדחה כתוצאה מעליה ברכיב הדיפוזי. השפעה זו לא צפויה להיות אחידה בשלושת המצעים ותהיה פחותה בטיפול המחסום הקפילרי בו צפויה חדירת מים אחידה יותר לתוך המצע, בהשוואה לביקורת.

שיטות

הניסוי התבצע בתחנת יאיר בתקופה דצמבר 2013 ועד לסוף ינואר 2014. מיכלי גידול עשויים פוליסטירן (קלקר) שימשו להדמיית תעלות קומפוסט (תמונה 1). בתחתית המיכלים הותקן צינור מאסף נקז למיכל 20 ליטר. ממדי המיכלים היו 50 ס"מ רוחב, 100 ס"מ אורך ו-17 ס"מ גובה. בדפנות הותקנו לוחות פוליגל על מנת לאפשר גובה של 30 ס"מ. במרכז המיכל ברוחב של 40 ס"מ (תמונה 2) הונחה שכבת הקומפוסט בעומק של 10 ס"מ. שני גורמים בארבע חזרות נבדקו: (1) סוג המצע: קומפוסט אור (קומפוסט אור, ישראל) (טבלה 1), קומפוסט אור+מחסום קפילרי שהורכב משכבת חול בעובי של 1 ס"מ מעל לפני הקומפוסט (תמונה 2, איור 1), וקומפוסט שדה אליהו (קיבוץ שדה אליהו, ישראל), (2) מספר שעות ההמתנה בין מנות השטיפה: 0, 6, 12 ו-24 שעות. מנת ההשקיה לטיפולים השונים הייתה אחידה וניתנה בארבע פעימות של 25 מ"מ כ"א. הנקז נאסף, נשקל ונבדק למוליכות חשמלית. לאחר שניתנו 100 מ"מ נידגם מצע הקומפוסט לצורך קביעת המליחות השיורית במיצוי 1:10.



תמונה 1. מראה כללי של אתר הניסוי.



תמונה 2. טיפול המחסום הקפילרי

חישובים

יעילות ההדחה (Le) הוגדרה כערך המנורמל של רכיב המלח המודח L_f לנפח הקומפוסט ולנפח מי השטיפה. מאחר וכל הטיפוילים בעלי נפח מצע אחיד וקיבלו מנת מים זהה, ניתן להגדיר את Le :

$$Le(-) = L_f \quad [4]$$

רכיב המלח שהודח בסיום השטיפה:
כאשר:

$$L_f(-) = 1 - \frac{EC_{final}}{EC_{initial}} \quad [5]$$

$EC_{initial}$ ו EC_{final} הינם ערכי מוליכות הקומפוסט במיצוי (1:10) לפני ואחרי השטיפה.

מליחות המצע נמדדה במיצוי ביחס משקלי של 1 מצע ל-10 משקל מים ומצע. כמות המלח התחילית חושבה :

$$Q_{\text{salt (initial)}} = 9 * EC_{\text{initial}} * 6.4 * 10^{-4} = EC * 0.019 (\text{kg kg}^{-1}) \quad [6]$$

ובחישוב לפי יחידת נפח מצע עבור קומפוסט אור :

$$Q_{\text{salt (initial)}} = EC_{\text{initial}} \frac{0.019}{0.76} = EC_{\text{initial}} * 0.025 \text{ kg l}^{-1}$$

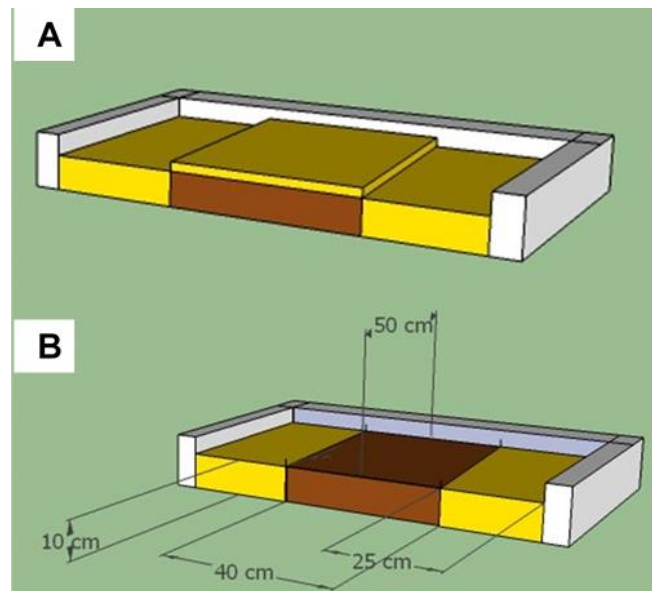
ולחישוב כמות המלח השיורית :

$$Q_{\text{salt (final)}} = \left[\frac{EC_{\text{final}}}{EC_{\text{initial}}} \right] * Q_{\text{salt (initial)}} (\text{kg l}^{-1}) \quad [7]$$

ולחישוב מאזן מלח כולל :

$$0 = Q_{\text{initial}} - [Q_{\text{final}} + Q_{\text{drained}} + Q_{\text{side pushed}}] \quad [8]$$

אשר : Q_{initial} חושב לפי [6], $Q_{\text{(final)}}$ חושב לפי [7], Q_{drained} חושב על ידי מכפלת EC_d (dSm^{-1}) ב $0.64 \text{ (g l}^{-1}\text{)}$ ומוכפל בנפח הנקז. כמות המלח שנדחקה משכבת הקומפוסט לחול בצידי התעלה- $Q_{\text{side pushed}}$ חושבה לפי Ityel *et al.* (2011).



איור 1. מידות וחלוקת החומרים במיכל. בממדים של 40 ס"מ קומפוסט ועוד 25 ס"מ חול משני צידי תעלת הקומפוסט. עובי שכבת הקומפוסט: A. 27 ס"מ ועוד 3 ס"מ חול, B. 30 ס"מ, C. 20- ס"מ, ו- D 10 ס"מ. S- חול, C- קומפוסט.

טבלה 1. מאפיינים הידראוליים ופיסיקלים של המצעים.

קומפוסט שדה אליהו	קומפוסט אור	חול	יחידות	מדד
0.1	2.8		dSm^{-1}	EC-1:10- initial
0.7	14		dSm^{-1}	EC _{sat} -initial
0	0.76	1.56	$kg\ l^{-1}$	Bulk density
1.3	76		%	DM
7	70		%	particles>2 mm
17.3	232		%	SP-v/v
6.5	200		%	SP-w/w
	0.1	0.05	$m^3\ m^{-3}$	teta r
	0.6	0.06	$m^3\ m^{-3}$	teta s
	32	3	m^{-1}	alfa
	2.3	2.68	(-)	n
	$2.8*10^{-4}$	$4.2*10^{-6}$	$m\ s^{-1}$	Ks

תוצאות

השפעות עיקריות

יעילות ההדחה - שתי השפעות ראשיות נמצאו על יעילות ההדחה (טבלה 2): 1. המחסום הקפילרי העלה את היעילות ב 62% בהשוואה ללא מחסום, 2. פיצול מנות ההשקיה הוריד את היעילות ב- 12, 30 ו- 32% כאשר נערכו הפסקות בין מנות השטיפה של: 6, 12 ו- 24 שעות, בהתאמה. ככל שההפסקה התארכה כך פחתה היעילות. הירידה ביעילות ההדחה נמדדה בעיקר עד ל- 12 שעות.

הצטברות המלח בנקז במהלך ההשקיות - משקל המלח בנקז (D_f) הושפע רק מטיפולי התשתית (טבלה 2). הכמות הרבה ביותר שהודחה הייתה בקומפוסט שדה אליהו. הטיפול של המחסום הקפילרי העלה את כמות המלח שהצטברה בנקז בכ- 22% יחסית לטיפול ללא מחסום. המחסום הקפילרי (איור 3, B בהשוואה ל A) לא שינה את קצב הצטברות המלח בנקז, ואילו סוג הקומפוסט (איור 3, C בהשוואה ל A) השפיע קבע את מידת ההשפעה. **העלאת משכי הזמן בין פעימות ההשקיה** (טבלה 3, איור 5) מ-0 ל-24 שעות הפחיתה את יעילות ההדחה ב 32%. כמות המלח שהודחה פחתה אף היא ב 35%. כמות המלח שנותרה בשכבת הקומפוסט עלתה בעקבות תוספת הזמן בין הפעימות ב כ-30%.

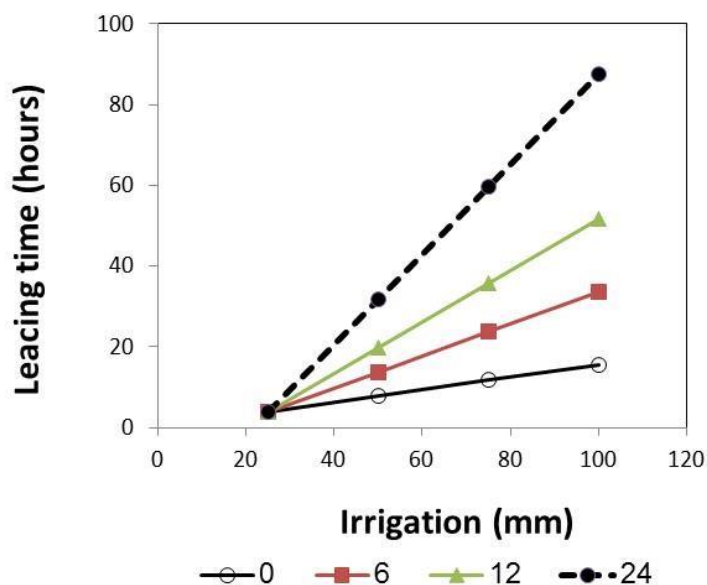
מחסום קפילרי באמצעות שכבת חול על גבי הקומפוסט (טבלה 3) העלה את יעילות ההדחה, את כמות המלח שהתנקזה, זו שנדחפה לצדדים, וזו שנדחקה משכבת הקומפוסט ב- 22, 22, 62, ו- 64%, בהתאמה. במקביל פחתה כמות המלח השיורית בקומפוסט ב- 20% בהשוואה לטיפול ללא מחסום.

ניטור תהליך השטיפה באמצעות חיישני דקגון - מוליכות תמיסת הקומפוסט (איור 6) שיקפה את מוליכות הנקז (איור 3). המחסום הקפילרי הפחית את מוליכות הקומפוסט בעיקר בטיפול של 24 שעות בין ההשקיות (C). מוליכות קומפוסט שדה אליהו עלתה על זו של קומפוסט אור בשלושת טיפולי פרקי הזמן בין ההשקיות. **משך זמן תהליך השטיפה** (איור 2) עלה מכ- 16 שעות בטיפול שהושקה ללא הפסקה, לכ- 88 שעות בטיפול בו נערכו הפסקות של 24 שעות בין מנות המים.

טבלה 2. מבחן שונויות וממוצעים למאזן המלח לאחר השטיפה ויעילות ההדחה עבור משתני התשתית ושעות ההפסקה בין מנות ההשקיה ערכים בהם ההסתברות לקבלת ערך $F > 0.05$ הינם שונים באופן מובהק. ממוצעים להם אות אנגלית שונה, ניבדלים בינם.

Variance source	DF	Drained	Side pushed	Left in Comp.	Total removed	Le
Time lapse	3	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00
Substrate	2	<.00	<.00	<.00	<.00	<.00
Time lapse*substrate	6	0.22	0.04	0.04	0.04	0.51

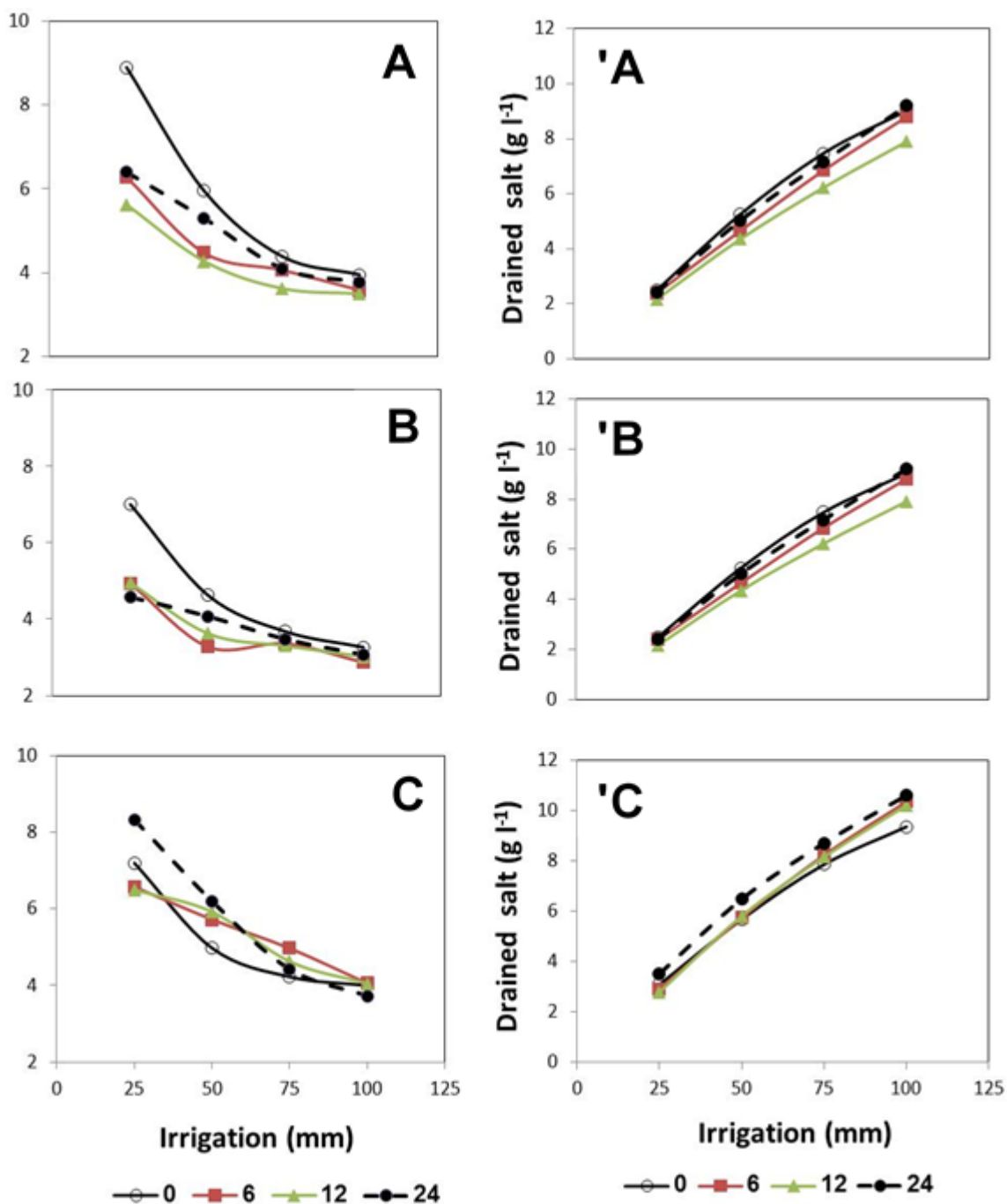
Time lapse-hours	kg l ⁻¹	kg l ⁻¹	kg l ⁻¹	kg l ⁻¹	(-)
0	0.01	A0.008	B0.019	A0.017	A0.43
6	0.01	AB0.007	AB0.021	AB0.015	AB0.38
12	0.01	B0.003	A0.025	B0.011	B0.30
24	0.01	B0.002	A0.025	B0.011	B0.29
Substrate					
Or+CB	B0.009	B0.004	B0.009	B0.013	A0.387
Or	C0.007	C0.0019	B0.005	B0.017	B0.239
Elyaho	A0.010	A0.017	A0.027	A0.037	A0.427



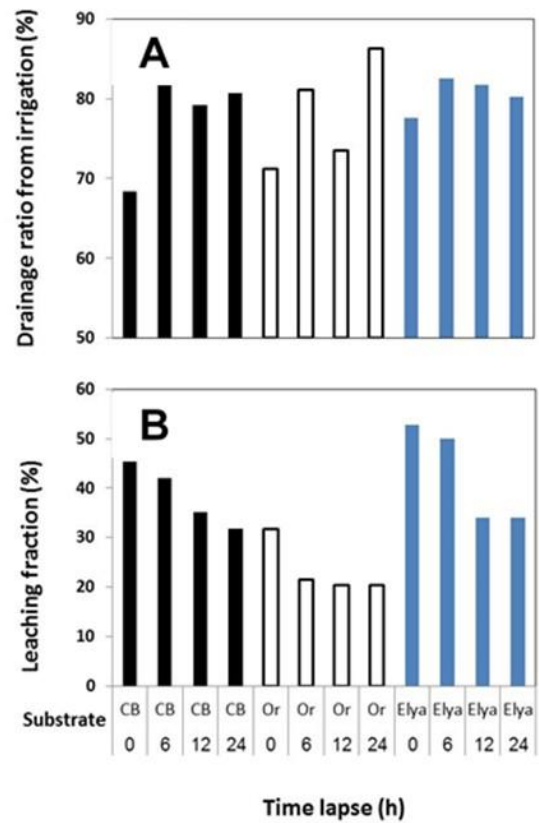
איור 2. A מנות מי השטיפה-מ"מ, משך בשעות של תהליך ההשקיה. B. מאזן מים לכל הטיפולים

טבלה 3. השפעות עיקריות על מאזן המלח וייעלות ההדחה של הזמן בין פעימות ההשקיה והמחסום הקפילרי.

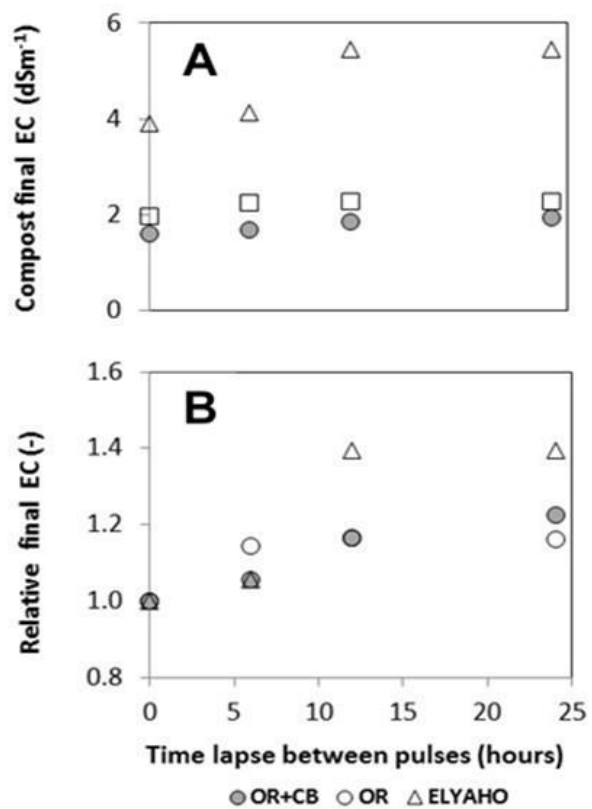
Effect	Drained %	Side pushed %	Removed %	Left in Comp. %	Le %
Increase in time lapse: 0 to 24 hours	0	-24	-35	+30	-32
Capillary barrier	+22	+22	+64	-20	+62



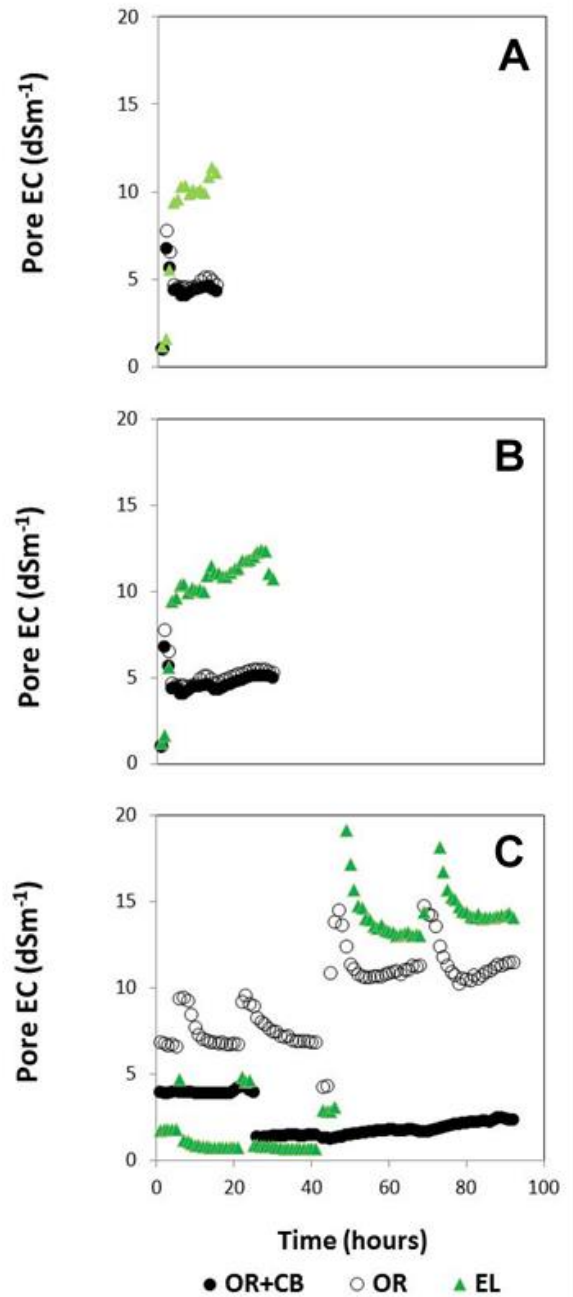
איור 3. מוליכות מי הנקז בשלושת התשתיות: A - אור, B - אור+מחסום, C - אליהו. A, B, C כמויות המלח שהצטברו בנקז בכל תשתית בגרם לליטר קומפוסט.



איור 4. A. כמות הנקז המצטברת יחסית למנת ההשקיה, B. כמות המלח שהודחה מהקומפוסט (נקז+דחיפה לצדדים) יחסית לכמות המלח הראשונית.



איור 5. A. מוליכות הקומפוסט (במיצוי 1:10) בסיום השטיפה, B. מוליכות יחסית להשקיה רציפה.



איור 6 - ניטור מוליכות התמיסה בשכבת הקומפוסט. A. -0, B. -6, C. -24 שעות בין הפולסים.

דיון

הפסקות זמן בין פעימות ההשקיה במהלך שטיפת המלחים לא רק שלא העלו את יעילות ההדחה אלא אף הפחיתו ממנו, בשונה מהנחת המחקר. עיקר השפעה ניכרה כאשר פרקי הזמן בין ההשקיות עלו מ-0 ל-12 שעות (איור 4B). הנחת המחקר כשלה גם לגבי השפעת טיפול המחסום הקפילרי. הירידה ביעילות ההדחה בטיפול זה כתוצאה מהעלאת פרקי הזמן בין ההשקיות, דמתה לטיפול ללא ממחסום. על פי התוצאות ניתן להסיק כי לפיזור מנת ההשקיה ישנה השפעה שלילית על יעילות ההדחה (איור 5). השפעה זו ניתן ליחס לתנועה הרוחבית של המים במצע בעל נקבוביות גבוהה יחסית, בו מוגבלת תנועת המים הצידיית. חיזוק להנחה זו ניתן לקבל מתוצאות מאזן המלח (טבלה 3), בהן השפעות פיזור ההשקיה והמחסום הקפילרי היו הפוכות. העלאת משכי הזמן בין ההשקיות מ-0 ל-24 שעות הפחיתה את כמות המלח שנדחק לחול בשולי התעלה ב 24% בממוצע לשלושת התשתיות, בעוד שהתקנת

מחסום קפילרי העלתה רכיב זה ב 22%. מכאן ניתן להסיק שפתיחת מרווחי זמן בין הפעימות, גם אם העלתה במשהו את הרכיב הדיפוזי, הורידה בו זמנית באופן משמעותי את התנועה הצידית של המים ובסה"כ הפחיתה את יעילות ההדחה ב 32%. מתוצאות אלו ניתן להסיק כי (1) להתקנת מחסום קפילרי יתרון משמעותי ביותר ביעילות הדחיקה של המלחים ממצע מלוח, (2) חשיבות המחסום עולה ככל שעובי השכבה נמוך יותר, (3) בכל מיקרה עדיף לרכז את מנת השטיפה מאשר לפזרה במספר פעימות.

תודות

לחברות קומפוסט אור ושדה אליהו על תרומת הקומפוסט. למו"פ ערבה תיכונה וצפונית תמר על התמיכה והעזרה בביצוע הניסוי, ולמועצת הצמחים על תמיכתם במימון.

ספרות

- Ityel, E., Lazarovitch, N., Silberbush, M., Ben-Gal A. 2011. An artificial capillary barrier to improve root zone conditions for horticultural crops: physical effects on water content. *Irr. Sci.* 29, 171-180
- Kampf, M., T. Holfelder, and H. Montenegro, 1998. Inspection and numerical simulations of flow processes in capillary barrier cover systems, In: Holz, K. P., W. Bechteler, S. S. Y. Wang, and M. Kawahara, *Advances in Hydro-Science and Engineering, Proc. of the 3.rd Int. Conf. On Hydro-Science and -Engineering*, Brandenburg University, Cottbus, Germany.

פרטי הדו"ח באנגלית

The importance of the diffusion factor in salt leaching from compost using drip irrigation
Ityel E. – Extension Service, Ministry of Agriculture and Rural Development
Juyoung Yoon – Faculty of Agriculture, Hebrew University of Jerusalem
Hashmonai D., Oshoroviz A., Offenbach R., Cohen S., Zvieli Y., Tsabari I. - Central and Northern Arava-Tamar R&D
Writer address: Eviatarel2014@gmail.com
Keywords: capsicum, compost, organic matter