

# השקיה מדויקת בחממות מבוססת ליזימטרים



**סיכום עונת ירקות בערבה, תחנת יאיר 2/6/2022**

ניר אברבוך

פרופ' מנחם מושליון

הפקולטה לחקלאות, מזון וסביבה ע"ש רוברט ה. סמית

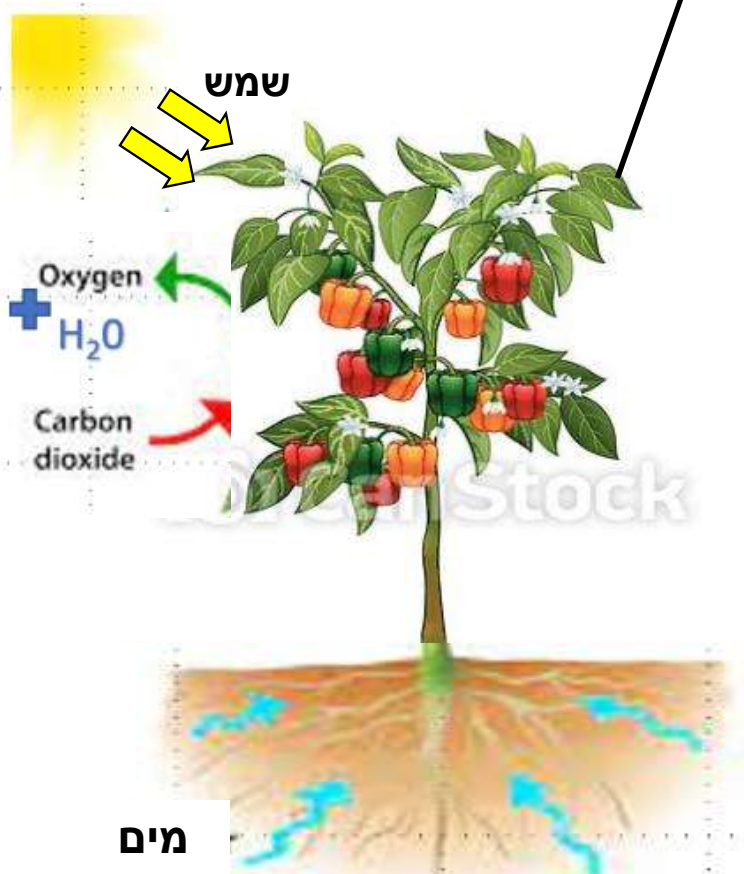
האוניברסיטה העברית בירושלים

# צריכת מים - טרנספירציה

הצמח משתמש רק ב-5% מהמים, שאר המים מתאדים לאטמוספירה (טרנספירציה)

טרנספירציה

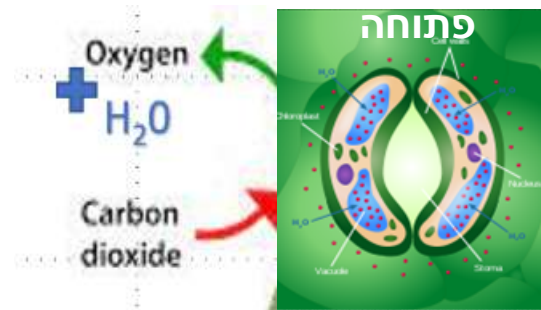
שמש



מים

© CanStockPhoto.com - csp56707800

פתוחה



## צריכת מים - צמח פלפל

ממוצע האידוי של צמח אחד לעונה הוא  $\frac{\text{ליטר}}{\text{יום}} \sim 0.575$

האידוי המקסימאלי של צמח אחד הוא  $\frac{\text{ליטר}}{\text{ליום}} \sim 1.5$

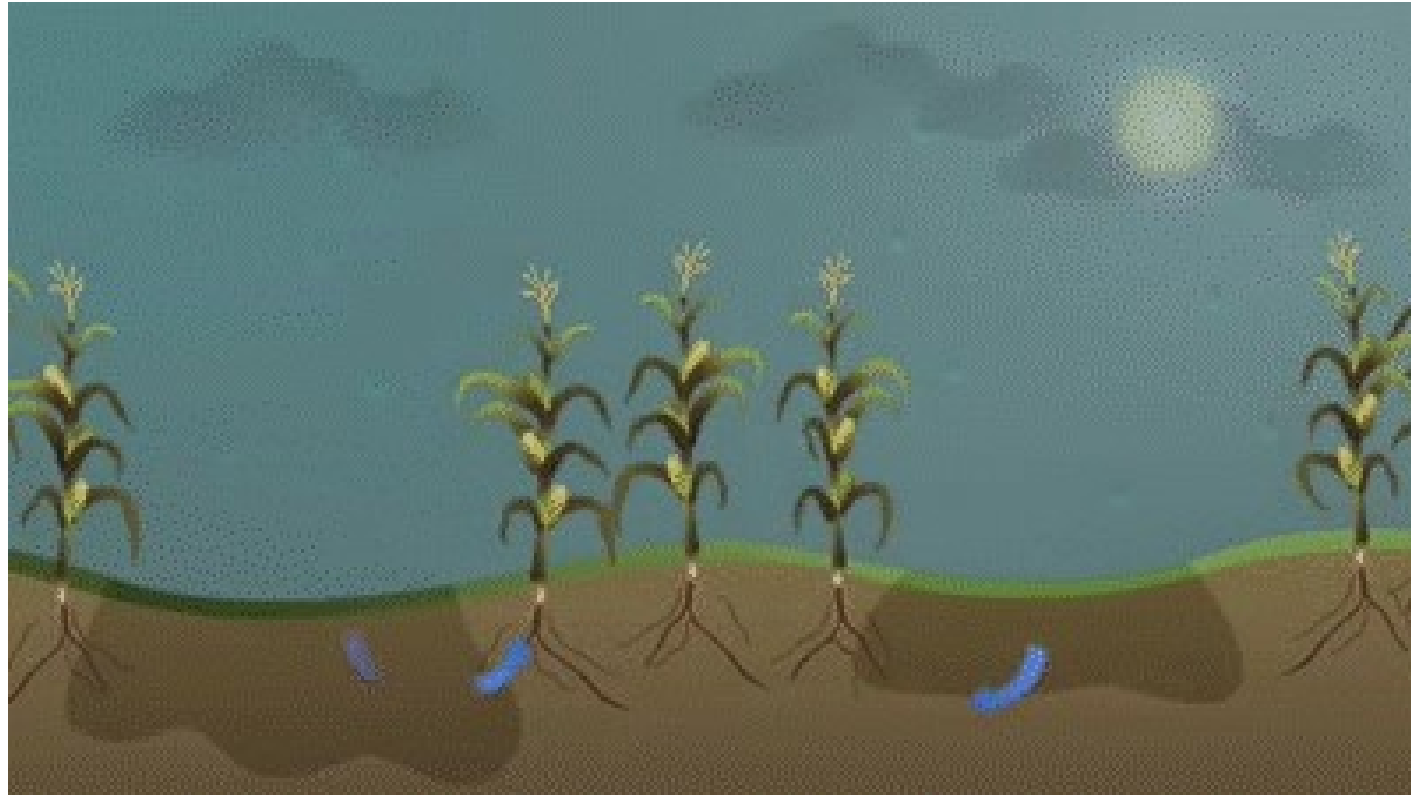
כמות המים הכוללת שצמח **בודד** מאדה (212 יום) היא **107-131**  $\frac{\text{ליטר}}{\text{עונה}}$



# צריכת מים

צריכת המים של הצמח נקראת אֵנפּוֹטְרַנְסְפִירַצְיָה

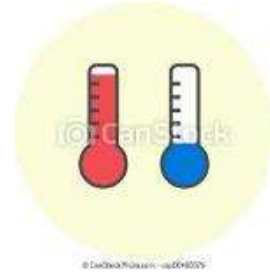
- אֵדוּי - איבוד מים מהקרקע/ משטח מאדה
- דִּיּוּת - איבוד מים מהצמח



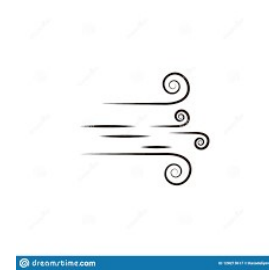
# כמה צריך להשקות ?



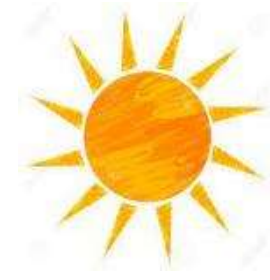
טמפרטורה



רוח



קרינה



גיל הצמח



השפעות?

# השפעות סביבתיות בעקבות השקיה בעודף



- שימוש ייתר במים
- פגיעה ביבול
- פגיעה והמלחת הקרקע
- זיהום מי תהום

**פתרונות?**

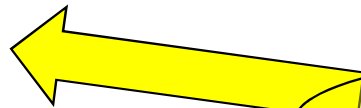
# כמה להשקות – אידוי ייחוס

## -משוואת פנמן-מונתיס' -FAO-56-

היחידות הן ב-  $\frac{1000L}{dunn}$  or  $\frac{m^3}{dunn} = \frac{mm}{day}$

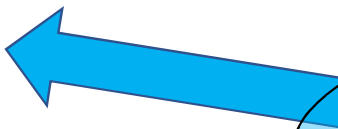
$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

רכיבים קרינתיים



$ET_0$  reference evapotranspiration (mm day<sup>-1</sup>)  
 $R_n$  net radiation at the crop surface (MJ m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>)  
 $S$  (or  $G$ ) soil heat flux density (MJ m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>)

רכיבים אווירודינמיים



$T$  mean daily air temp at 2 m height (°C)  
 $u_2$  wind speed at 2 m height (m s<sup>-1</sup>)  
 $e_s, e_a$  saturation and actual vapor pressure (kPa)  
 $e_s - e_a$  vapor pressure deficit, VPD (kPa)  
 $\Delta$  Slope of vapor pressure curve (kPa °C<sup>-1</sup>)  
 $\gamma$  Psychrometric constant (kPa °C<sup>-1</sup>)

### השפעת הרוח

כאשר חם והלחות גבוהה וההשפעה המרכזית היא מהרכיבים הקרינתיים

כאשר חם ויבש ההשפעה המרכזית היא מהרכיבים האווירודינמיים

# כמה להשקות – אידוי ייחוס

## -משוואת פנמן-מונתיס' FAO-56-

$$\frac{1000L}{dunn} \text{ or } \frac{m^3}{dunn} = \frac{mm}{day} \text{ היחידות הן ב}$$

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1+0.34u_2)}$$

התחשבות בשינויים עיתיים ומרחביים ?



- $ET_0$  reference evapotranspiration ( $mm \text{ day}^{-1}$ )
- $R_n$  net radiation at the crop surface ( $MJ \text{ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ )
- $S \text{ (or } G)$  soil heat flux density ( $MJ \text{ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ )
- $T$  mean daily air temp at 2 m height ( $^{\circ}C$ )
- $u_2$  wind speed at 2 m height ( $m \text{ s}^{-1}$ )
- $e_s, e_a$  saturation and actual vapor pressure (kPa)
- $e_s - e_a$  vapor pressure deficit, VPD (kPa)
- $\Delta$  Slope of vapor pressure curve (kPa  $^{\circ}C^{-1}$ )
- $\gamma$  Psychrometric constant (kPa  $^{\circ}C^{-1}$ )





by

**Richard G. Allen**  
Utah State University  
Logan, Utah, USA

**Luis S. Pereira**  
Instituto Superior de Agronomia  
Lisbon, Portugal

**Dirk Raes**  
Katholieke Universiteit Leuven  
Leuven, Belgium

**Martin Smith**  
Water Resources, Development and Management Service  
FAO

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations  
Rome, 1998

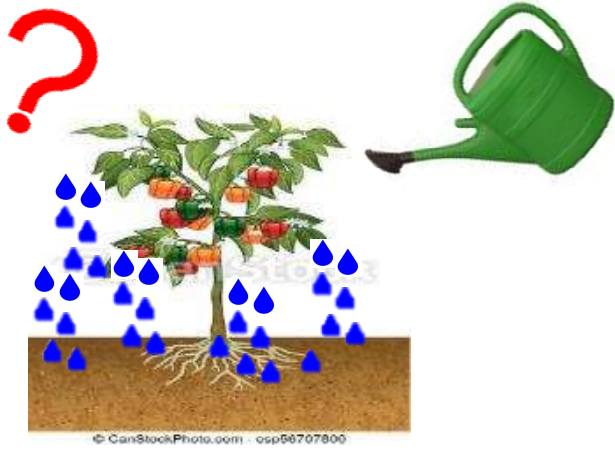


פנמו?  
מונת'יס'?

Table of

<https://www.fao.org/3/x0490e/x0490e00.htm>

# האם אפשר להשקות ע"פ טרנספירציה אבסולוטית ?



VectorStock® VectorStock.com/2198433



## האם אפשר להשקות ע"פ טרנספירציה אבסולוטית ?

- איך מודדים טרנספירציה אבסולוטית ?

- כיצד משפיע על תהליכים פיזיולוגיים ?

- כיצד משפיע על היבול ?

## פרויקט

מערכת קבלת החלטות לייעול ממשק תשומות,

המבוססת על ניטור המערכת

קרקע-צמח-אטמוספירה (קצ"א)

# החוקרים המשתתפים בפרויקט



נפתלי לזרוביץ - אוניברסיטת בן גוריון  
מנחם מושליון - האוניברסיטה העברית  
יוני אפרת - אוניברסיטת בן גוריון  
משה שנקר - האוניברסיטה העברית  
נורית אגם - אוניברסיטת בן גוריון  
עפר דהן - אוניברסיטת בן גוריון  
גולן בל - אוניברסיטת בן גוריון  
ארנון קרניאלי - אוניברסיטת בן גוריון  
ערן טס - האוניברסיטה העברית  
עידו קן - האוניברסיטה העברית  
תמיר קמאי - מכון וולקני

## מטרות



- ◀ אפיון ספקטרום תגובות הצמח ויחסי הגומלין צמח-סביבה, תחת סביבה דינמית
- ◀ לימוד ובחירת סוגי החיישנים, מספרם ומיקומם במרחב
- ◀ בדיקת הקשר בין מדידות רציפות ללא רציפות
- ◀ כיול מודל זרימה והסעה בעזרת מדידות החיישנים
- ◀ בניית כלים לאופטימיזציה של יישום תשומות
- ◀ בניית מערכת קבלת החלטות ליישום תשומות לבית השורשים
- ◀ פיתוח כלים חדשים למדידה של פרמטרים עבורם לא קיימות כיום שיטות מדידה

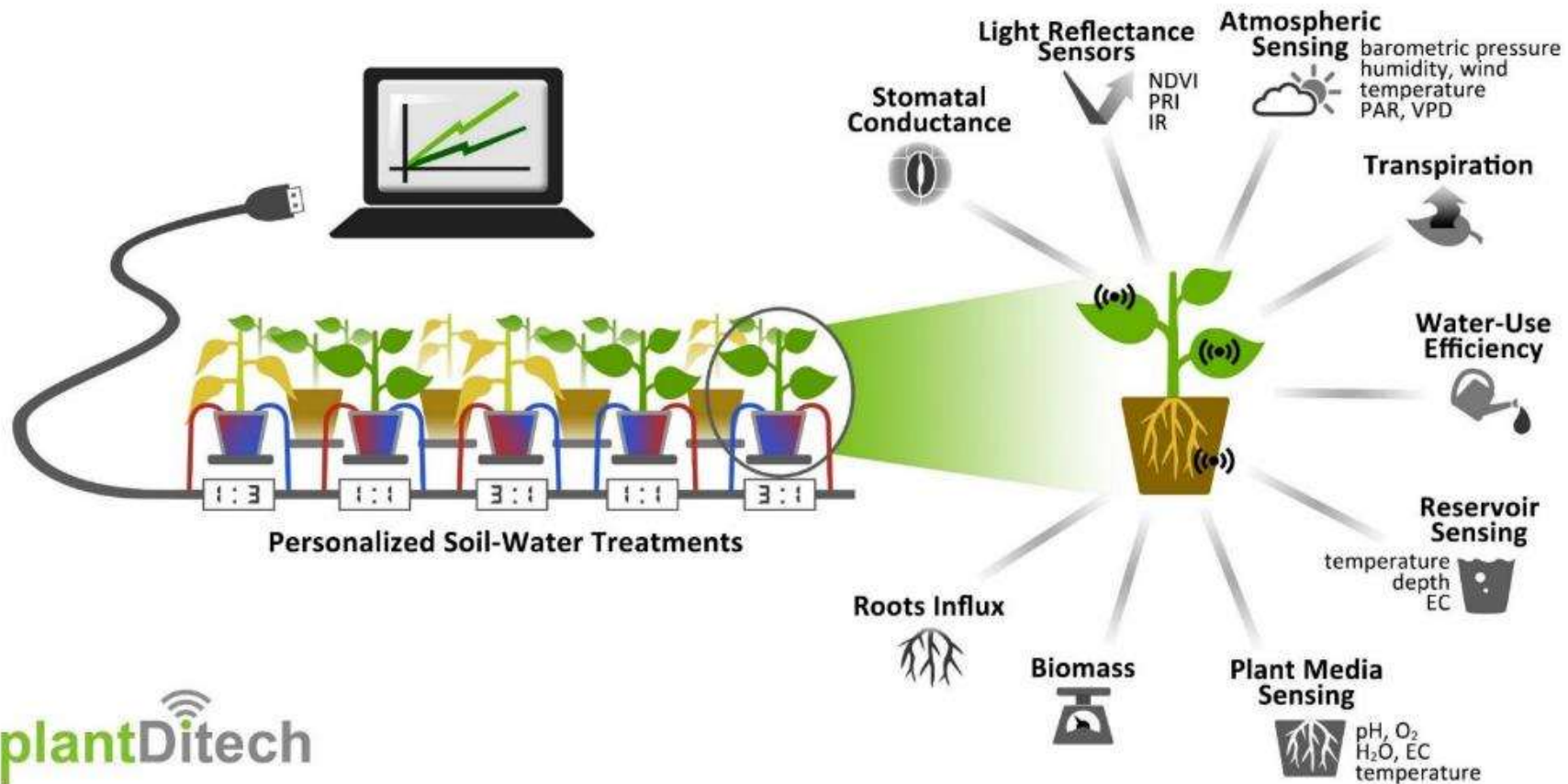
# השקיה מדייקת – טרנספירציה אבסולוטית



# השקיה מדייקת – טרנספירציה אבסולוטית

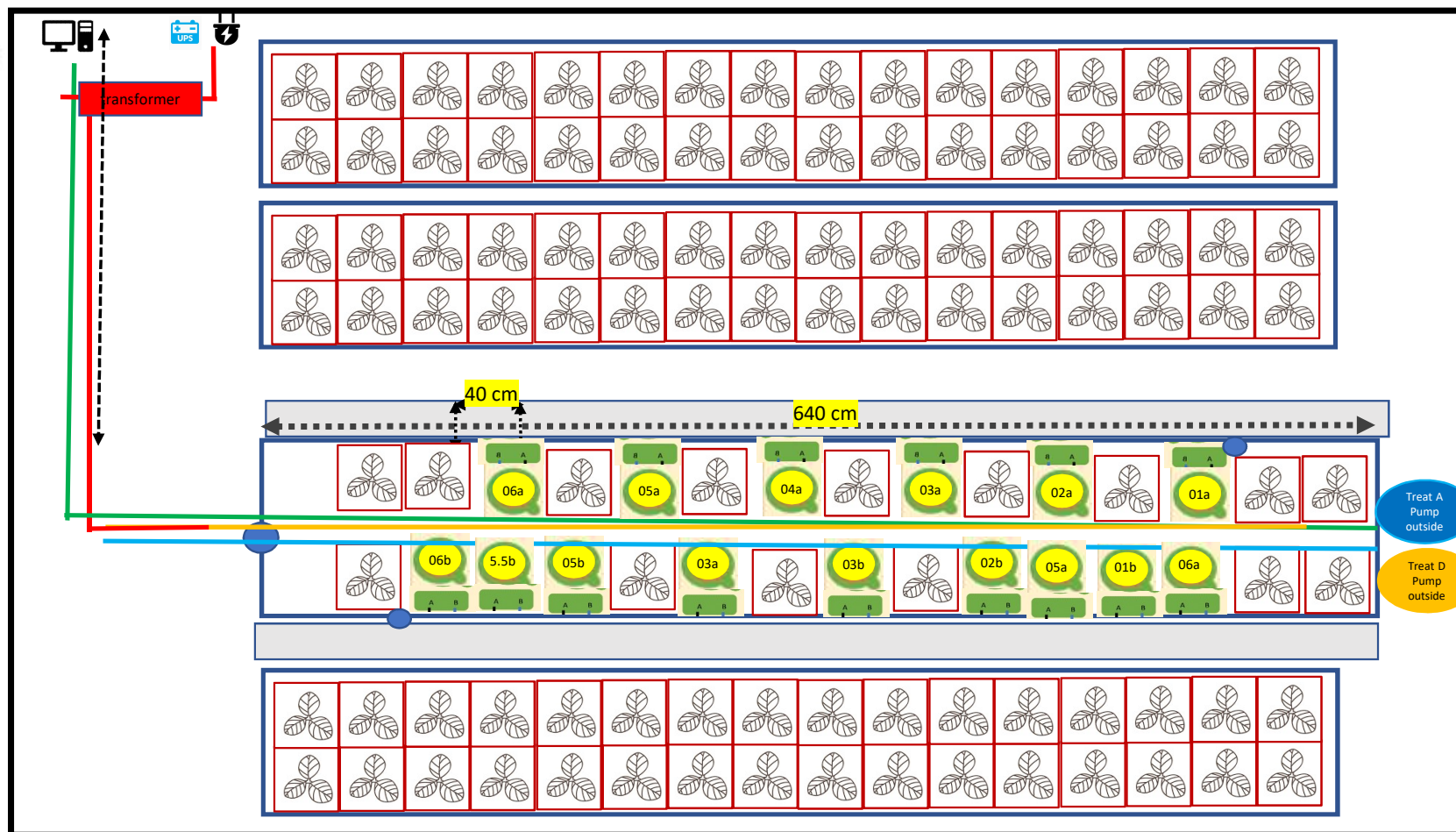
Plantarray - Digital Functional Phenotyping











Accelerate Plants Diagnostics





# My experiment setup –top view



- Electricity point 
- Plant ditech pot + controller 
- Power supply to controller 
- UPS 
- Electricity, communication and Watch dog – שרװל 
- Pipe Treat D 
- Pipe Treat A 
- בזנט תחנה מטאורולוגית 
- עציץ מוגבה בשוחה כ-16 עציצים בשורה \* 2 שורות 
- תוספת 5 ס"מ כל צד לשלוחת ליזימטרים – לצורך תחזוקה 

הפסקת דשן 30 יום – השקיה ימית      דשן מלא – השקיה יומית      דשן מלא – השקיה בפולסים

# השקיה ע"פ טרנספירציה אבסולוטית

## -ערבה בית רשת-

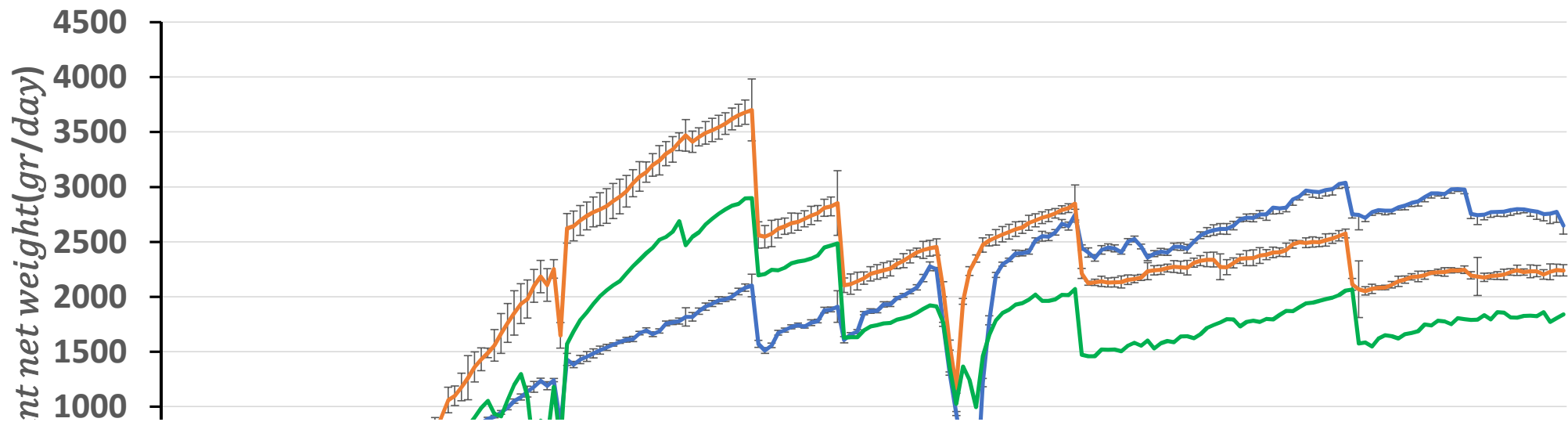
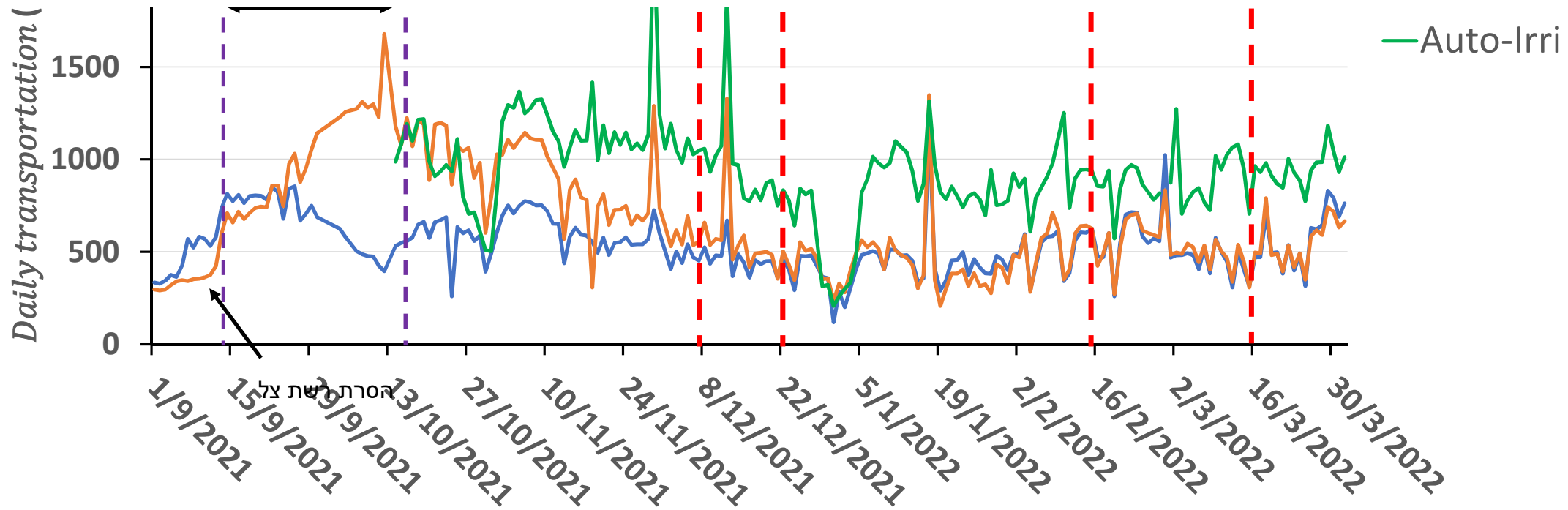
### Lysimeter System



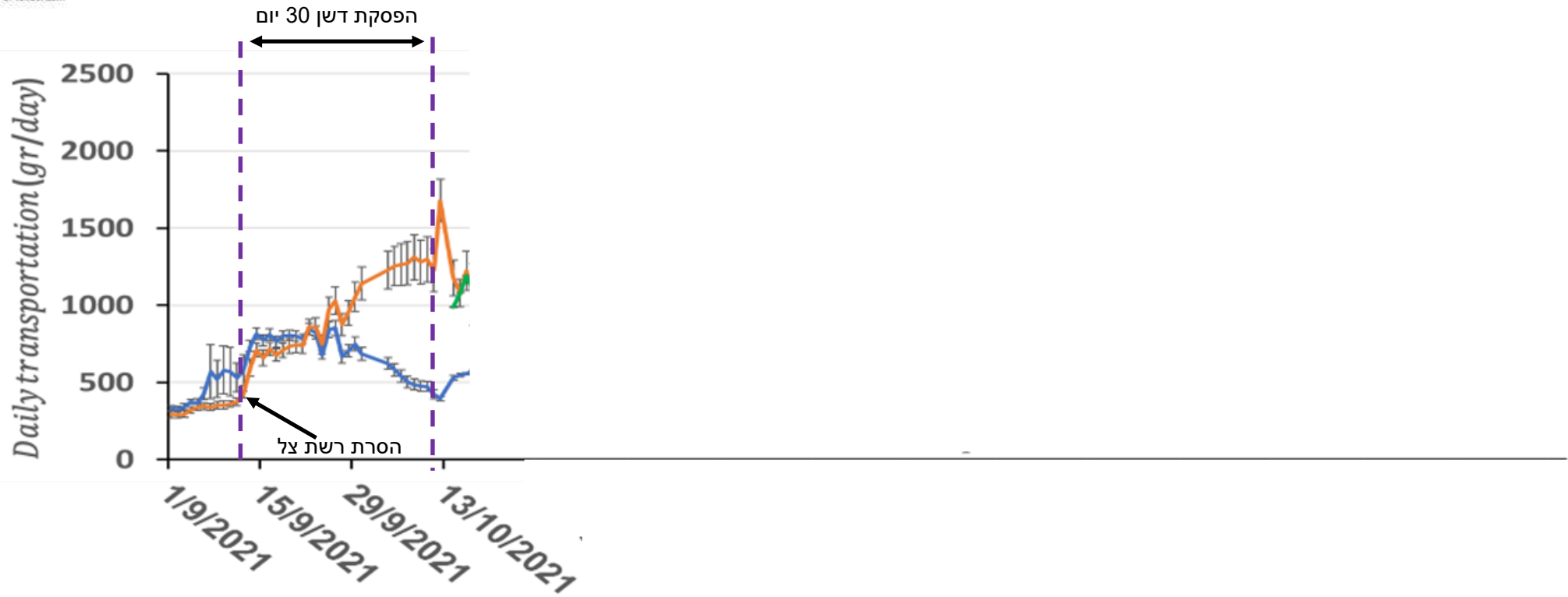
13.09.2021

14.12.2021

10.02.2022

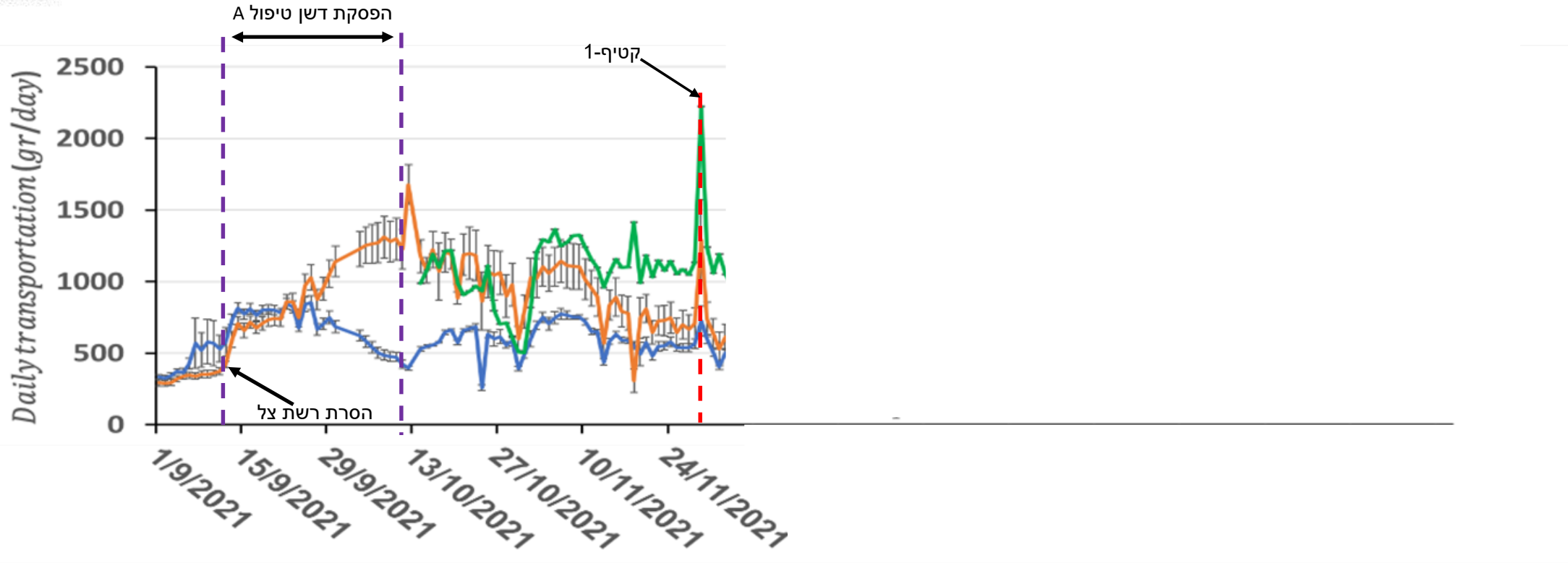


# תוצאות – אופוטורנספירציה



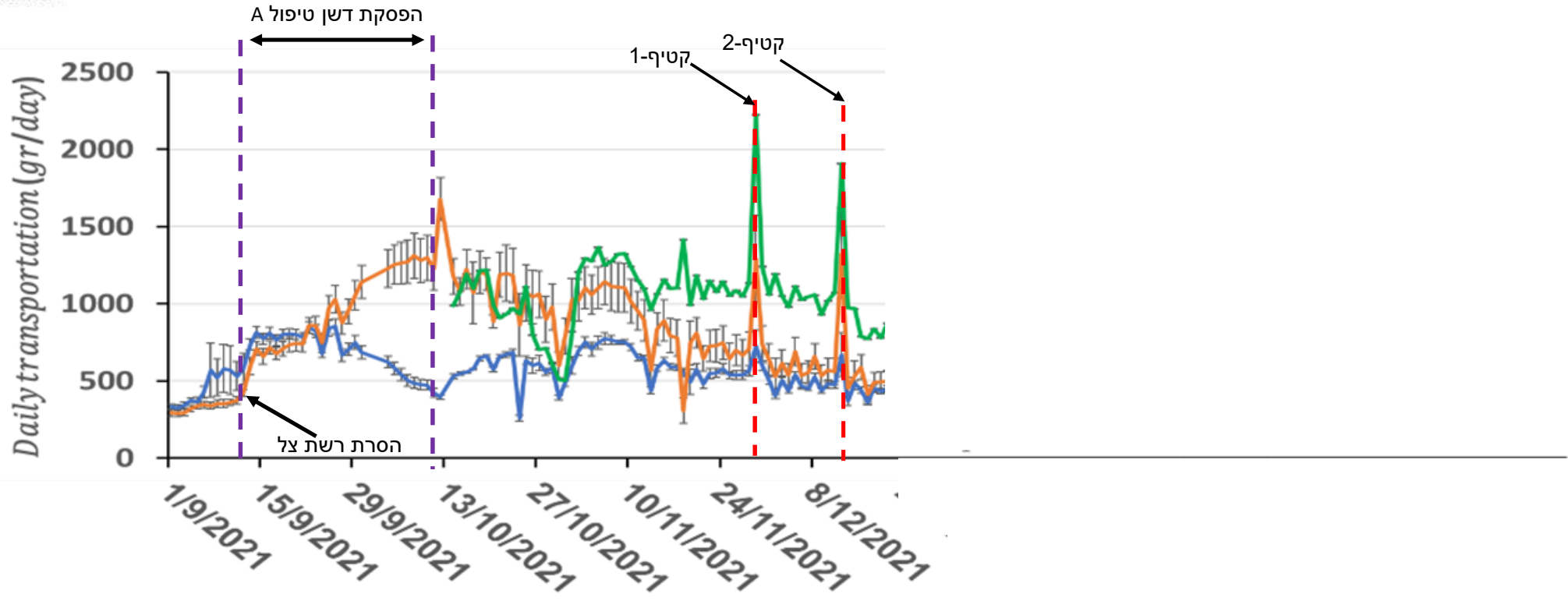
- השקיה יומית (הפסקת דשן)
- השקיה יומית (דשן מלא)
- השקיה בפולסים (דשן מלא)

# תוצאות – אוּפּוּטְרַנְסְפִירַצִיָה



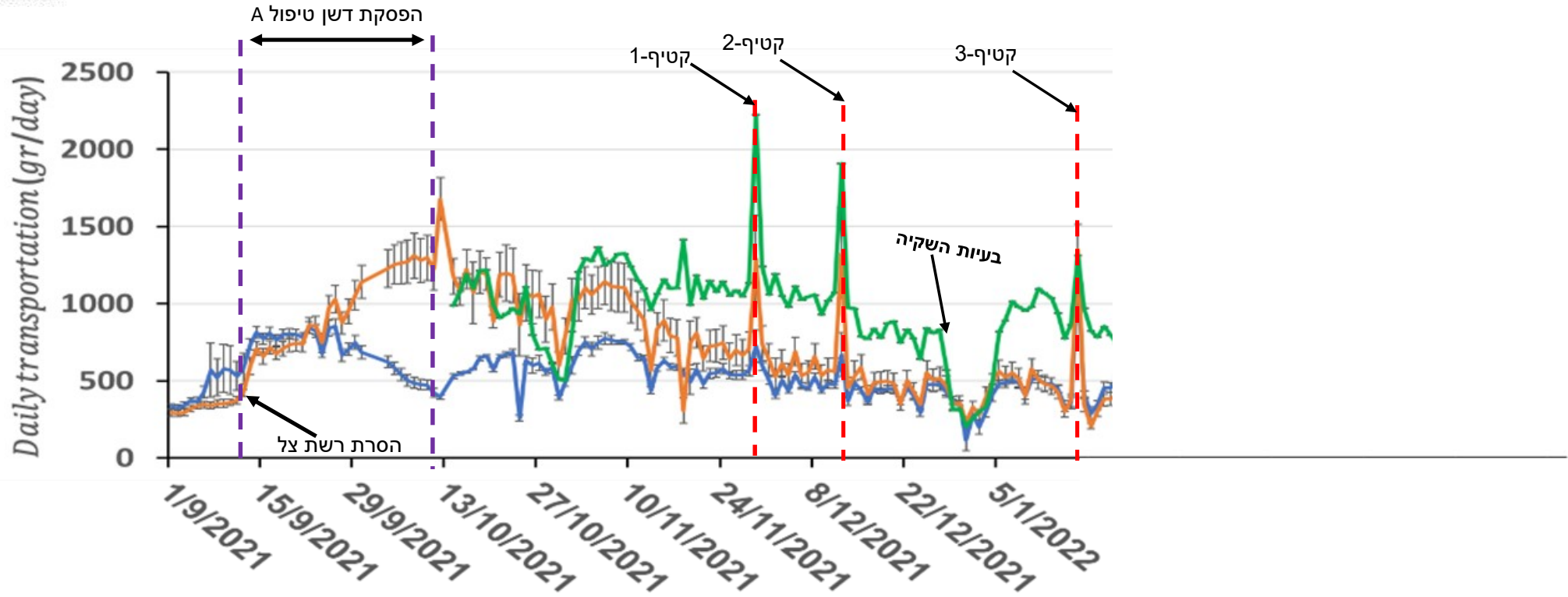
- השקיה יומית (הפסקת דשן) (Blue line)
- השקיה יומית (דשן מלא) (Orange line)
- השקיה בפולסים (דשן מלא) (Green line)

# תוצאות – אופוטטרנספירציה



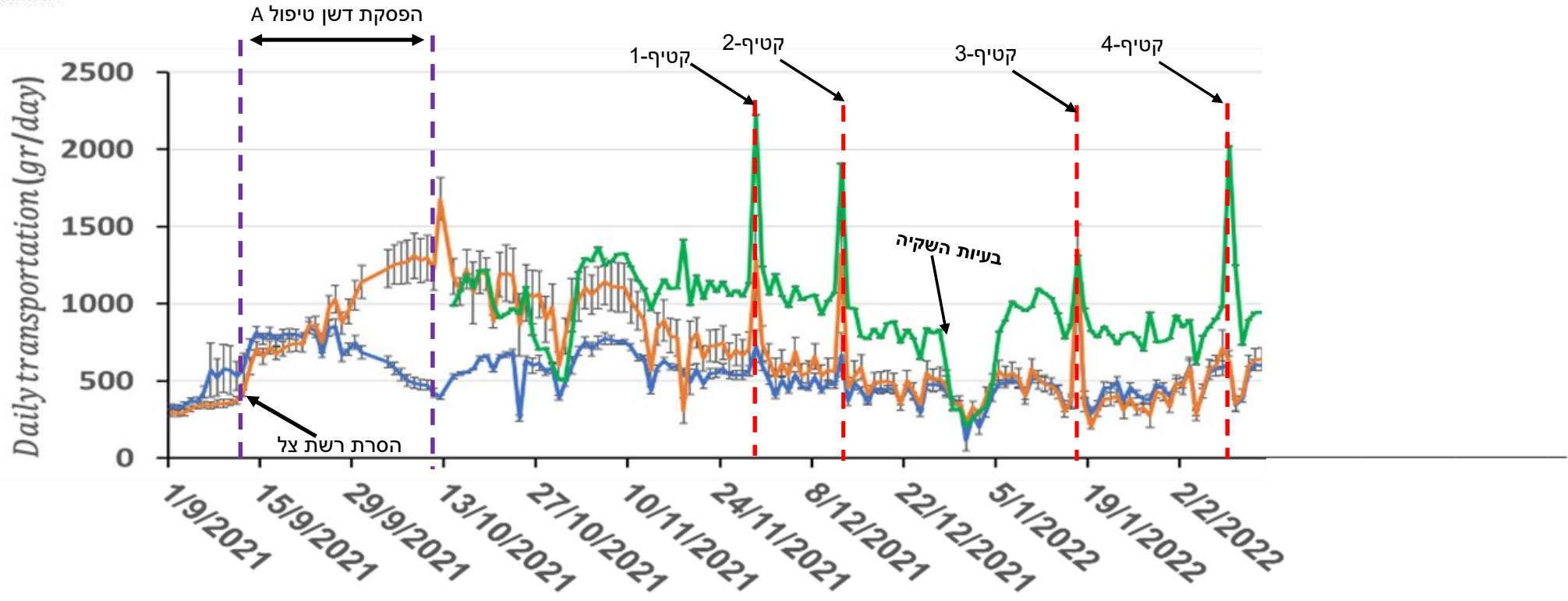
- השקיה יומית (הפסקת דשן) (blue)
- השקיה יומית (דשן מלא) (orange)
- השקיה בפולסים (דשן מלא) (green)

# תוצאות – אופוטטרנספירציה



- השקיה יומית (הפסקת דשן) (Blue line)
- השקיה יומית (דשן מלא) (Orange line)
- השקיה בפולסים (דשן מלא) (Green line)

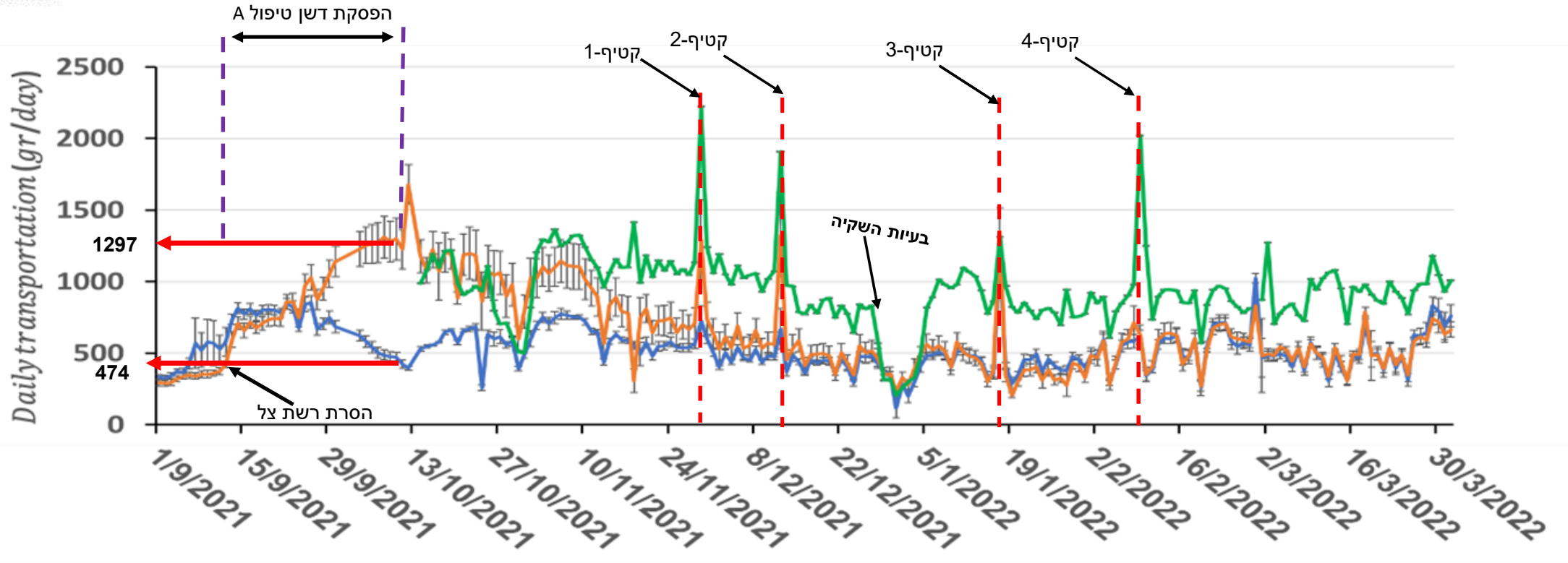
# תוצאות – אוּפּוּטְרַנְסְפִירַצִיָה



- השקיה יומית (הפסקת דשן)
- השקיה יומית (דשן מלא)
- השקיה בפולסים (דשן מלא)



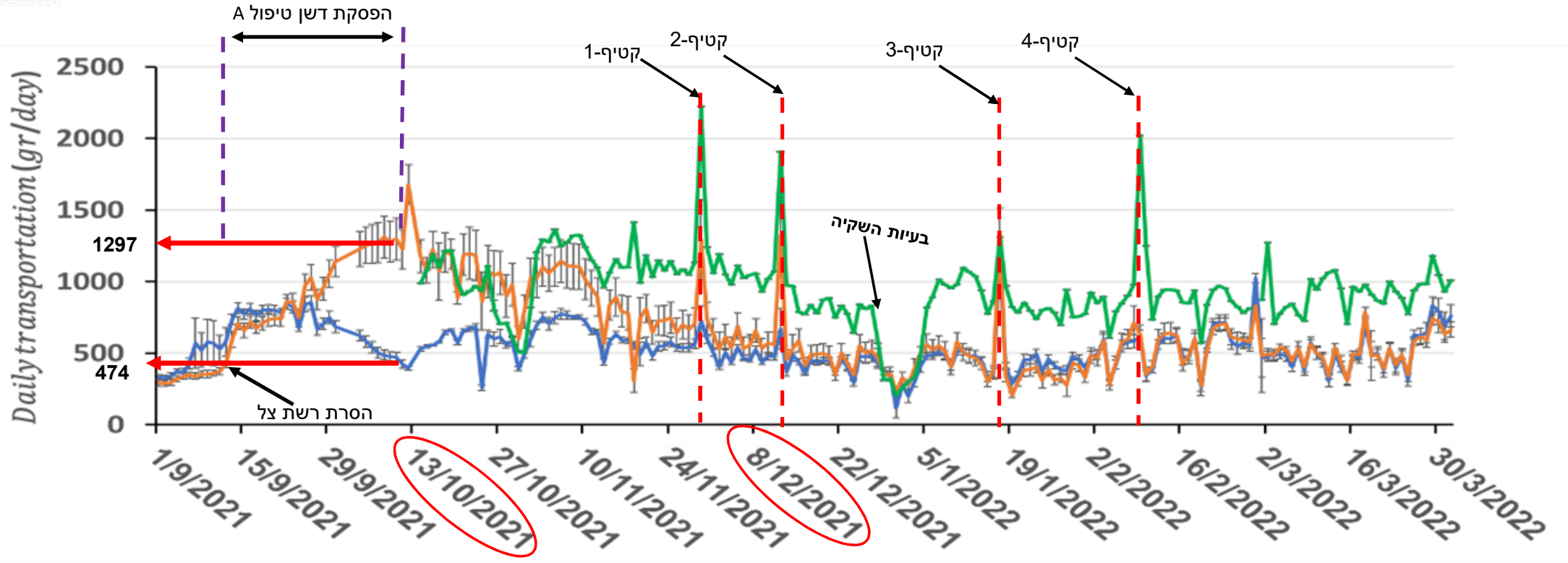
# תוצאות – אופוטטרנספירציה



• השקיה יומית הפסקת דשן - הורדת הטרנספירציה בעד פי 2.7 במקסימום

- השקיה יומית(הפסקת דשן)
- השקיה יומית(דשן מלא)
- השקיה בפולסים(דשן מלא)

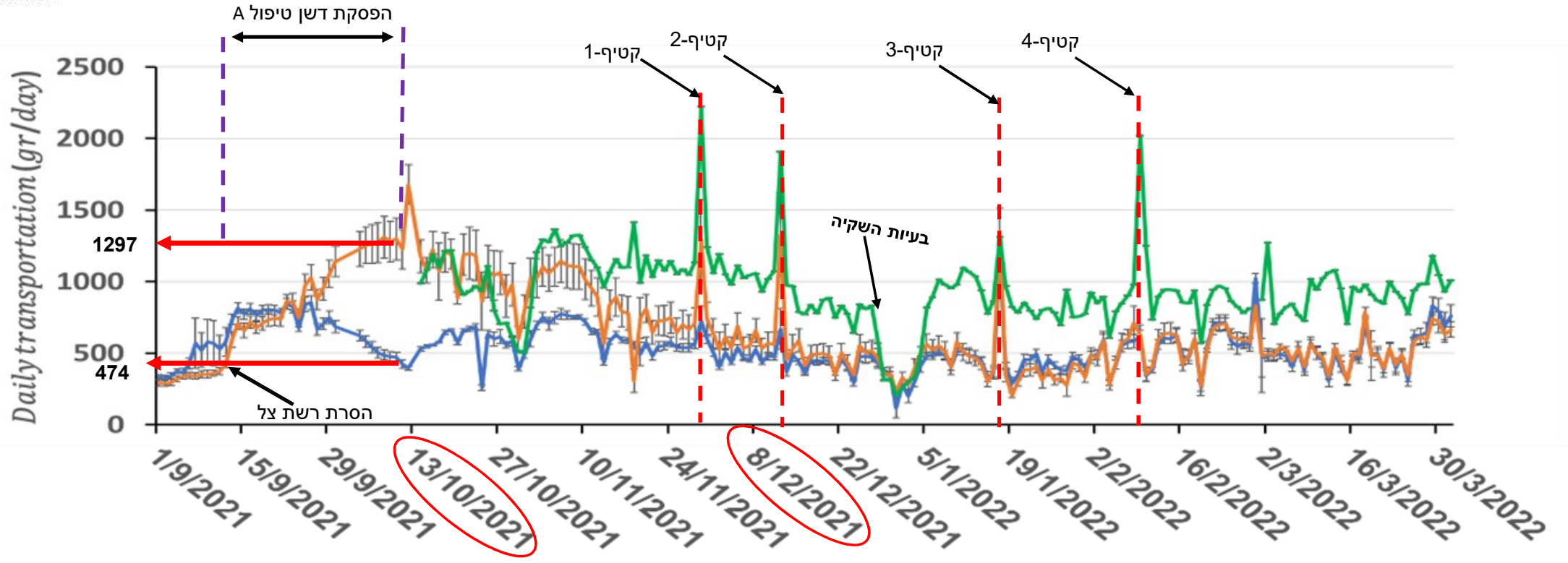
# תוצאות – אוּפּוּטְרַנְספִירָצִיָה



- השקיה יומית הפסקת דשן - הורדת הטרנספירציה בעד פי 2.7 במקסימום.
- השקיה יומית הפסקת דשן - חזרה לפעילות פיסיולוגית דומה לקחה כמעט כחודשיים.

- השקיה יומית(הפסקת דשן)
- השקיה יומית(דשן מלא)
- השקיה בפולסים(דשן מלא)

# תוצאות – אופוטטרנספירציה



• השקיה יומית הפסקת דשן - מורידה את הטרנספירציה בעד פי 2.7 במקסימום.

• השקיה יומית הפסקת דשן - חזרה לפעילות פיסיולוגית דומה לקחה כמעט כחודשיים.

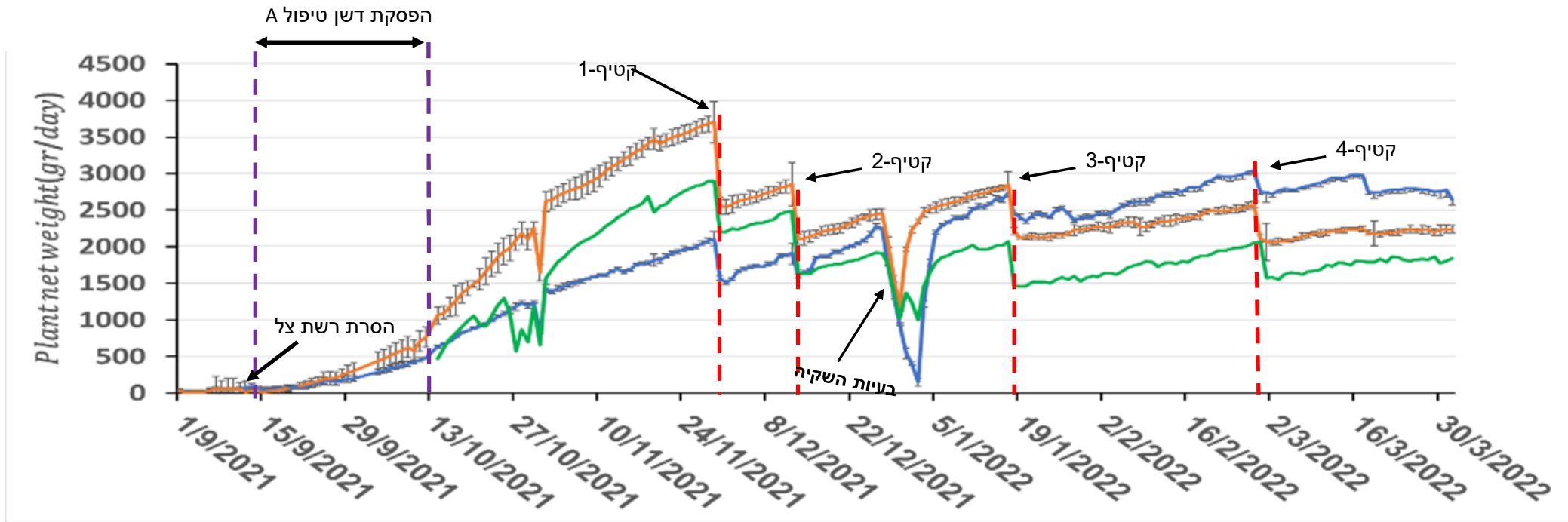
• השקיה בפולסים דשן מלא - מעודדת טרנספירציה מוגברת.

— השקיה יומית (הפסקת דשן)

— השקיה יומית (דשן מלא)

— השקיה בפולסים (דשן מלא)

## תוצאות – משקל הצמח



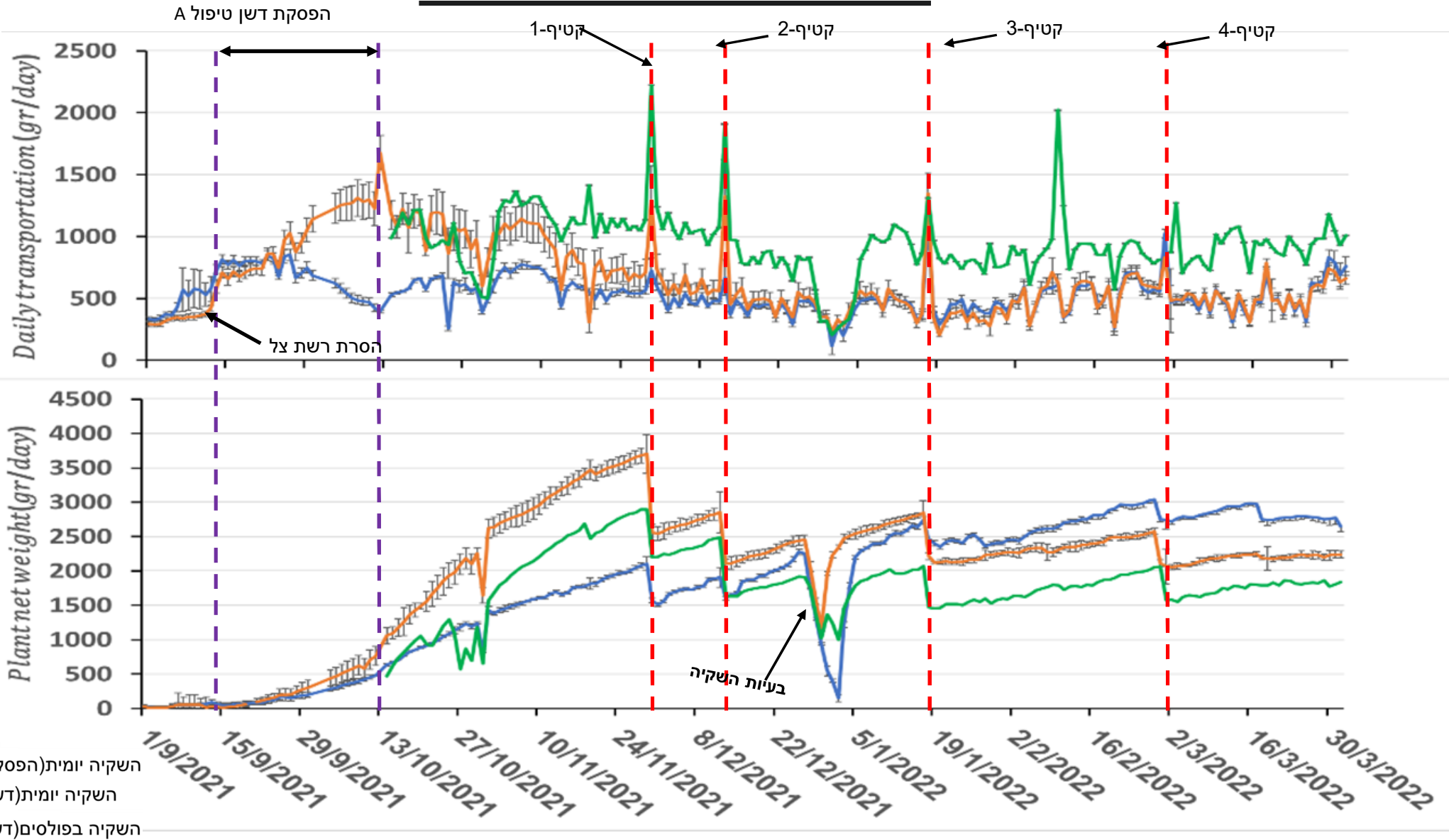
- השקיה יומית דשן מלא - מעודד צימוח בעיקר עבור פרי ב-3 הקטיפים הראשונים.
- השקיה בפולסים דשן מלא - לא מגבירה קצב צימוח הן בפרי והן במשקל הצמח.

— השקיה יומית (הפסקת דשן)

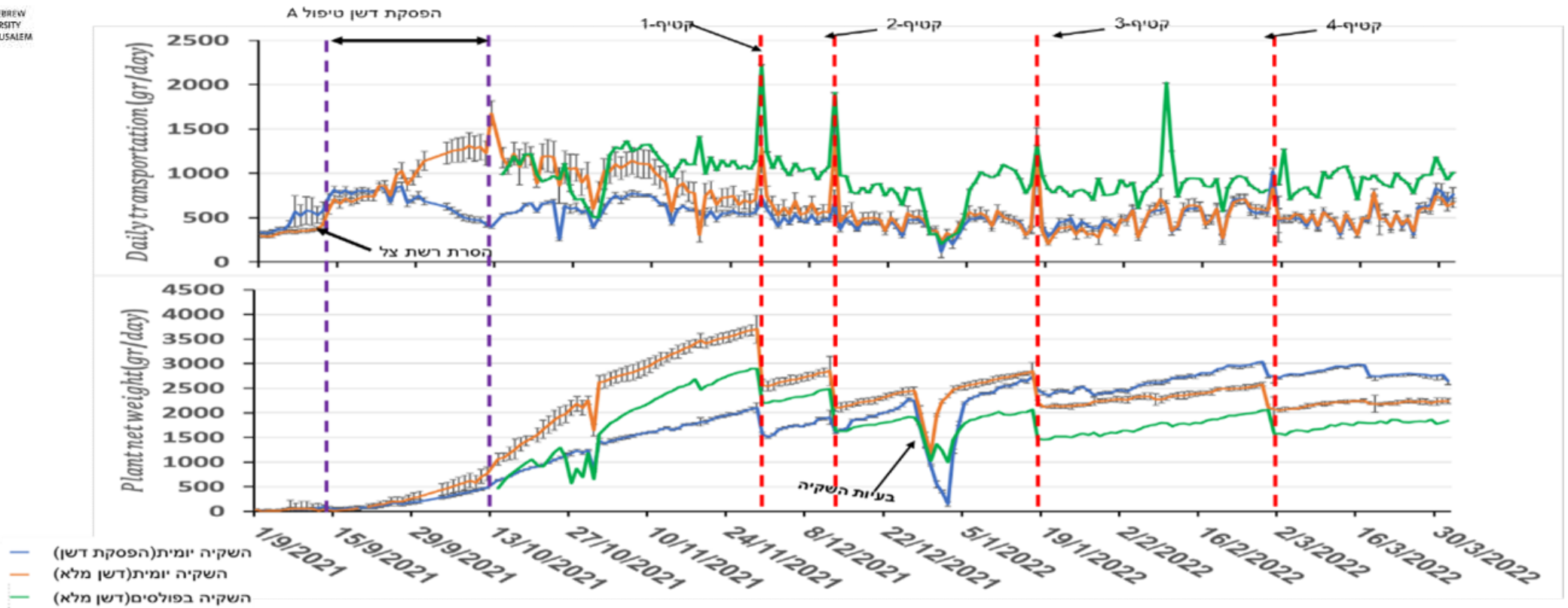
— השקיה יומית (דשן מלא)

— השקיה בפולסים (דשן מלא)

# תוצאות – אופוטרנספירציה



# תוצאות – אופוטטרנספירציה



• השקיה יומית הפסקת דשן - מורידה את הטרנספירציה ואת קצב הצימוח.

• השקיה יומית דשן מלא - מעלה פוטנציאל צימוח הפרי לאורך העונה.

• השקיה בפולסים דשן מלא - מעלה את הטרנספירציה אך לא את קצב הצימוח.

— השקיה יומית (הפסקת דשן)

— השקיה יומית (דשן מלא)

— השקיה בפולסים (דשן מלא)

# תוצאות יבול ערבה

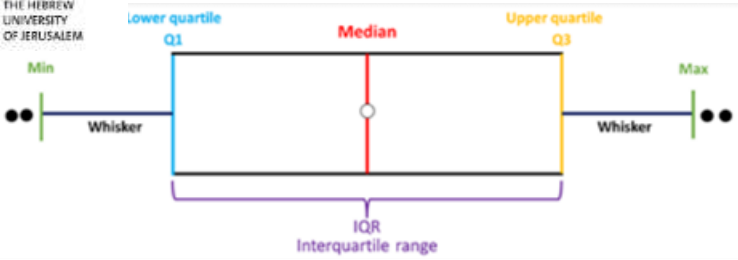
## עציץ מול חממה

ממוצע יבול אזורי  
בין 9-12 טון לדונם (או 3~ ק"ג לצמח)



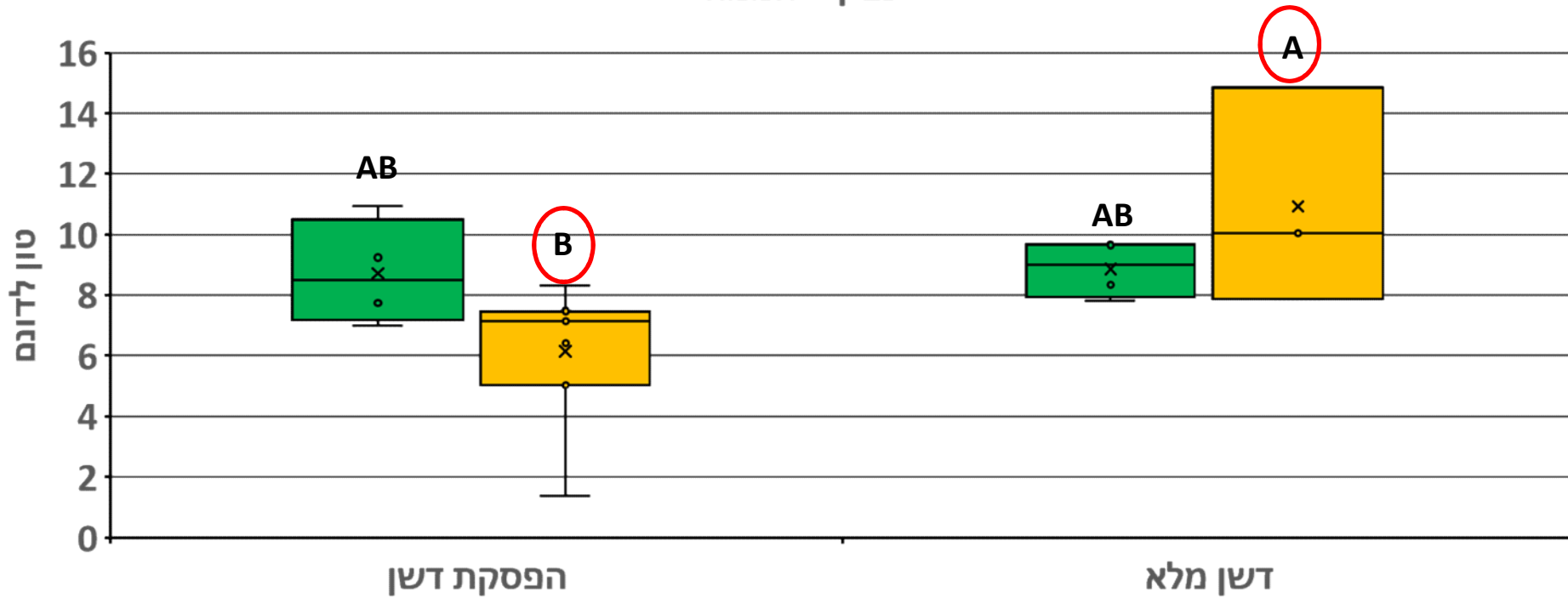
# תוצאות יבול ערבה

## ליזימטר מול חממה



משקל פרי עונתי (טון לדונם)

■ עציץ ■ חממה



ממוצע יבול

אזורי

בין 9-12

טון לדונם

(או 3~ ק"ג

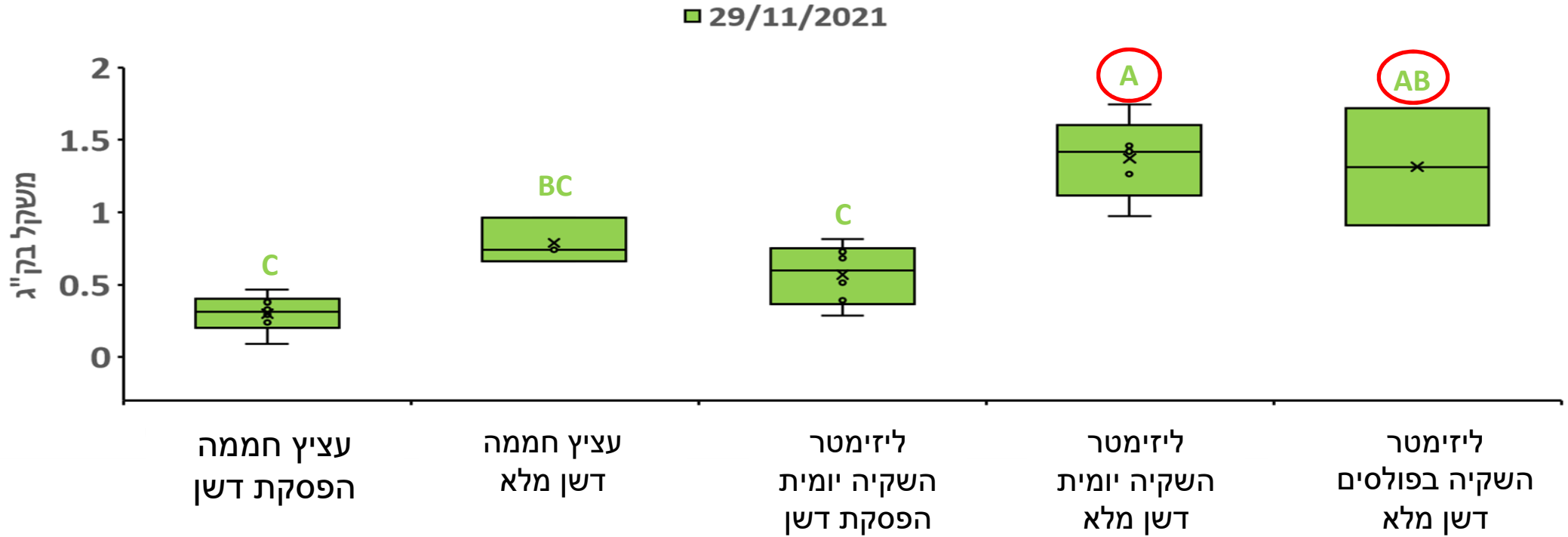
לצמח)



# תוצאות יבול ערבה

## -עציץ-

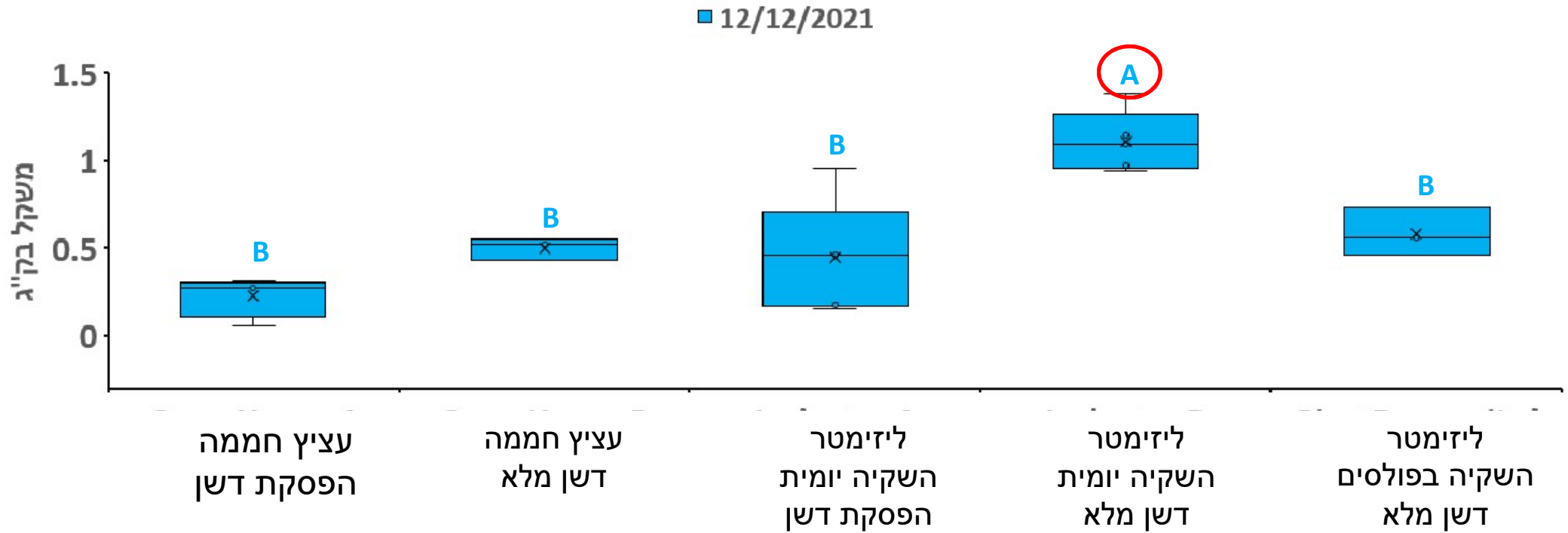
הפסקת דשן 12.09.2021-11.10.2021  
תחילת ניסוי פולסים 14.10.2021



# תוצאות יבול ערבה

## עציץ-

הפסקת דשן 12.09.2021-11.10.2021  
תחילת ניסוי פולסים 14.10.2021

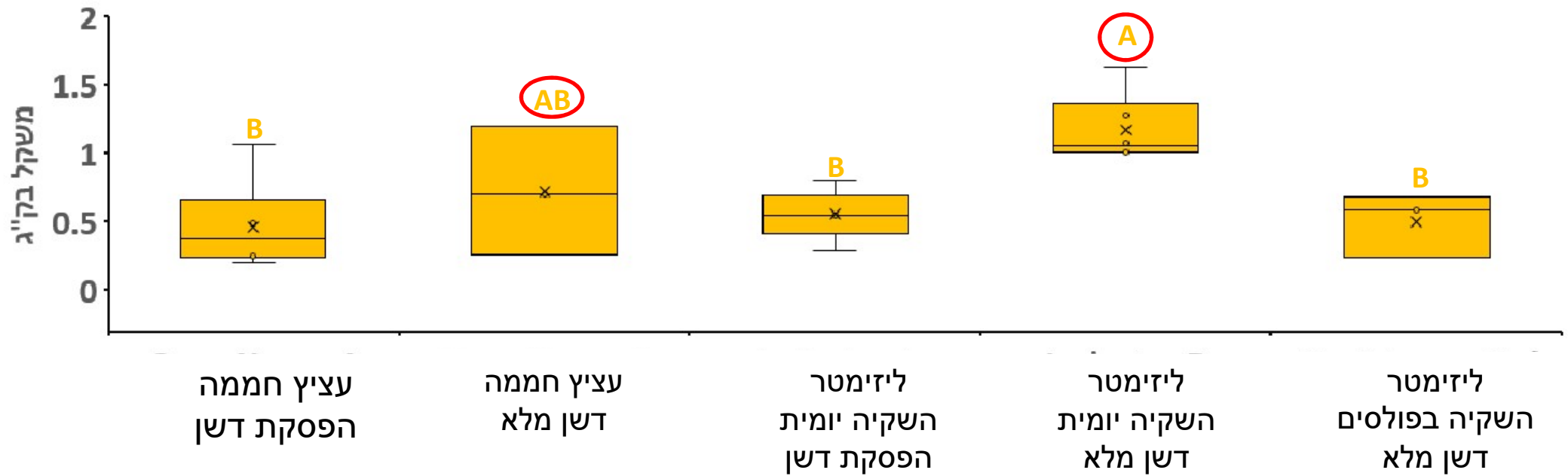


# תוצאות יבול ערבה

הפסקת דשן 12.09.2021-11.10.2021  
תחילת ניסוי פולסים 14.10.2021

## עציץ-

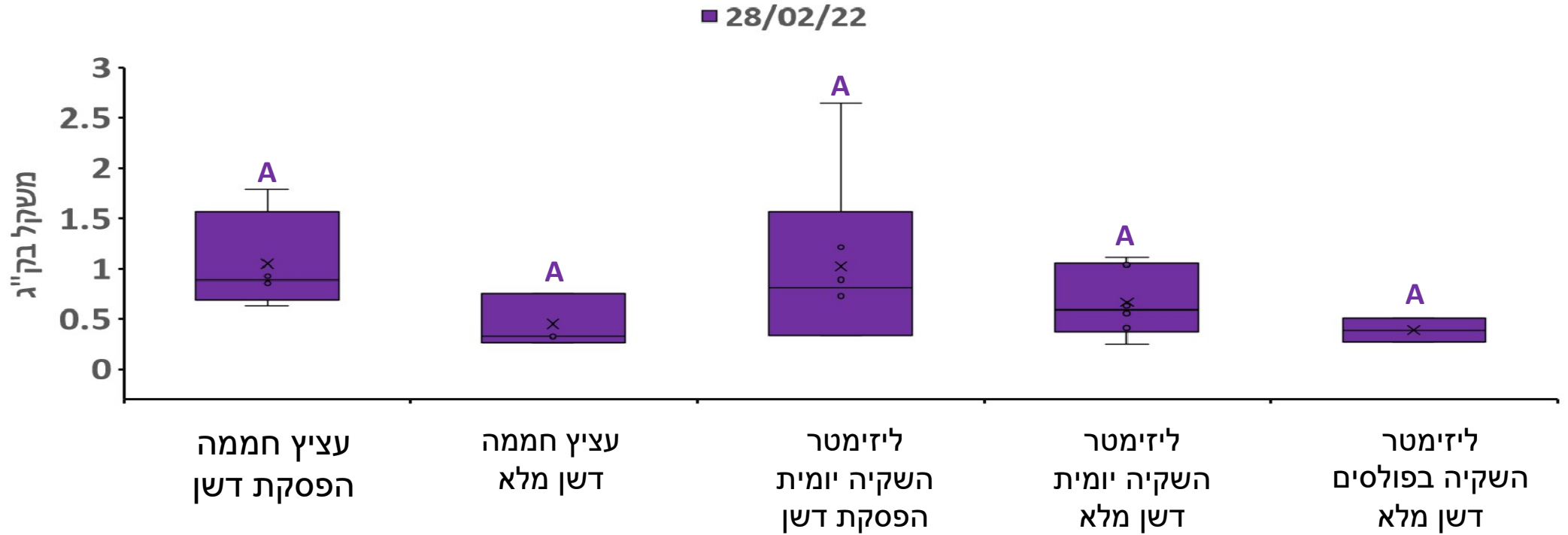
16/01/22



# תוצאות יבול ערבה

## -עציץ-

הפסקת דשן 12.09.2021-11.10.2021  
תחילת ניסוי פולסים 14.10.2021

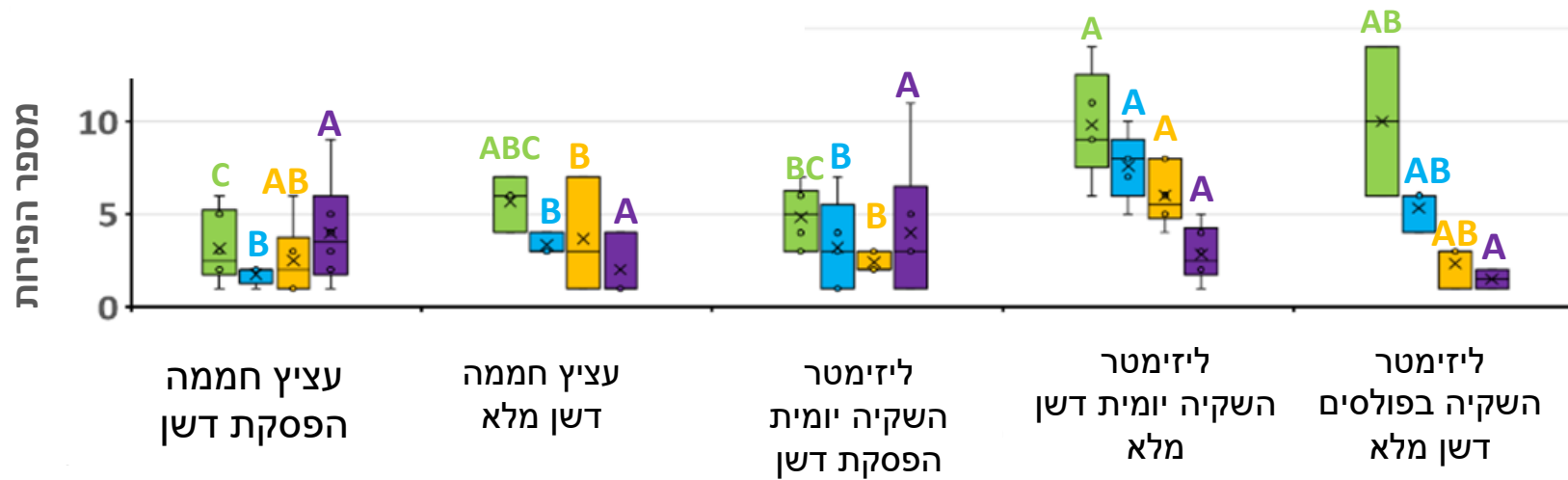


# תוצאות יבול ערבה

הפסקת דשן 12.09.2021-11.10.2021  
תחילת ניסוי פולסים 14.10.2021

## -עציץ-

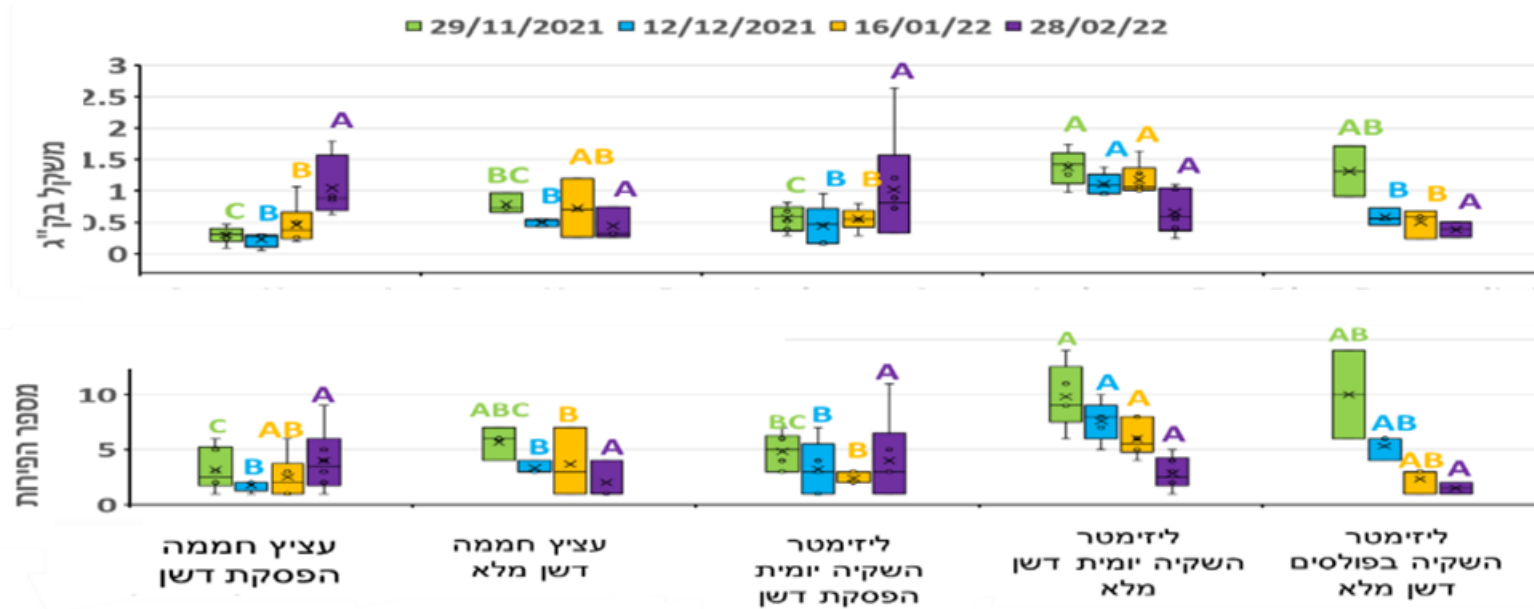
■ 29/11/2021 ■ 12/12/2021 ■ 16/01/22 ■ 28/02/22



# תוצאות יבול ערבה

## -עציץ-

הפסקת דשן 12.09.2021-11.10.2021  
תחילת ניסוי פולסים 14.10.2021

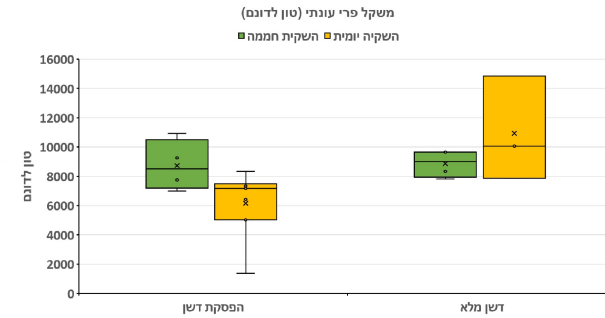
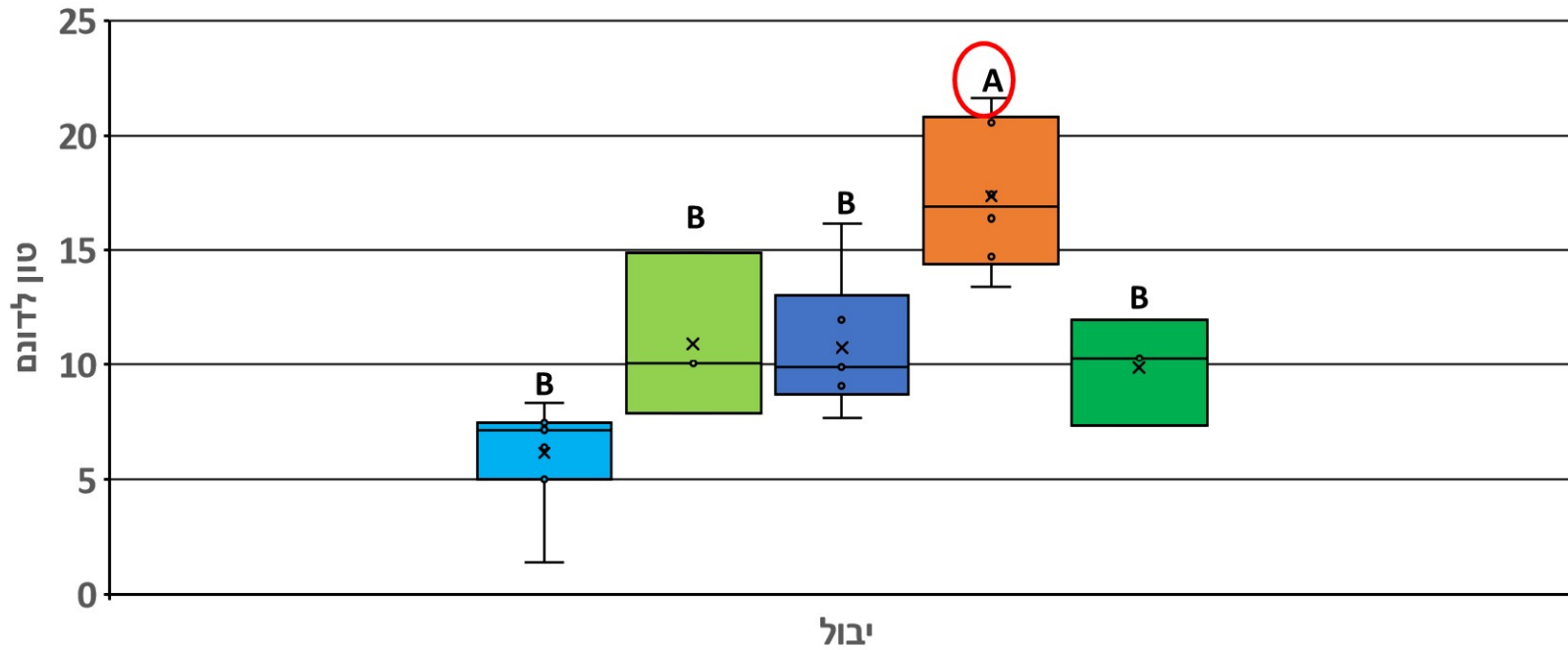


- השקיה יומית דשן מלא – מניבה יותר יבול באופן מובהק בתחילת העונה.
- הפסקת דשן – מניב יבול מוגבר לקראת סוף העונה בליזימטר ובעציץ.

# תוצאות יבול ערבה

משקל פרי עונתי בעציץ (טון לדונם)

דשן מלא - פולסים ■ דשן מלא - יומית ■ הפסקת דשן - יומית ■ דשן מלא - חממה ■ הפסקת דשן - חממה



כל הטיפולים הניבו יבול בכמות המסחרית, איפה החיסכון ?

# תוצאות יבול

## - מים -

צורת השקיה	משקל פלפל ממוצע (טון לדונם)	מים עונתי לדונם (מ <sup>3</sup> )	ליטר מים לק"ג פלפל
פנמן	6.96	954	137
דרישת צמח	10.77	574	53

עציץ – הפסקת דשן

ליזימטר – הפסקת דשן

פי 1.54 יותר פרי פי 1.66 פחות מים





# תוצאות יבול

## - מים -



צורת השקיה      משקל פלפל ממוצע (טון לדונם)      מים עונתי לדונם (מ<sup>3</sup>)      ליטר מים לק"ג פלפל

פנמן	10.93	954	87
		∨	
דרישת צמח	17.16	702	40

עציץ – דשן מלא

ליזימטר – דשן מלא

פי 1.56 יותר פרי      פי 1.35 פחות מים

סוג הטיפול	השוואת טיפולים השקיה	יחס פרי	יחס מים
הפסקת דשן	יומית מול פנמן	פי 1.54 יותר	פי 1.66 פחות

# תוצאות יבול

## - מים -



צורת השקיה	משקל פלפל ממוצע (טון לדונם)	מים עונתי לדונם (מ <sup>3</sup> )	ליטר מים לק"ג פלפל
פנמן	6.96	954	137

עציץ – הפסקת דשן

פי 2.46 יותר פרי פי 1.35 פחות מים

∨      ∧

דרישת צמח	17.16	702	40
-----------	-------	-----	----

ליזימטר – דשן מלא

סוג הטיפול	השוואת טיפולים השקיה	יחס פרי	יחס מים
הפסקת דשן	יומית מול פנמן	פי 1.54 יותר	פי 1.66 פחות
דשן מלא	יומית מול פנמן	פי 1.56 יותר	פי 1.35 פחות

# תוצאות יבול

## - מים -

צורת השקיה      משקל פלפל ממוצע (לחממה (טון לדונם))      מים עונתי לדונם (מ<sup>3</sup>)      ליטר מים לק"ג פלפל



פולסים      9.86      815      82

ליזימטר דשן מלא

סוג הטיפול	השוואת טיפולים השקיה	יחס פרי	יחס מים
הפסקת דשן	יומית מול פנמן	פי 1.54 יותר	פי 1.66 פחות
דשן מלא	יומית מול פנמן	פי 1.56 יותר	פי 1.35 פחות
דשן מלא מול הפסקת דשן	יומית מול פנמן	פי 2.46 יותר	פי 1.35 פחות

# תוצאות יבול

- מים -



צורת השקיה	משקל פלפל ממוצע לחממה (טון לדונם)	מים עונתי לדונם (מ <sup>3</sup> )	ליטר מים לק"ג פלפל	
פנמן	6.96	954	137	עציץ – הפסקת דשן
דרישת צמח	10.77	574	53	ליזימטר – הפסקת דשן
פנמן	10.93	954	87	עציץ – דשן מלא
דרישת צמח	17.16	702	40	ליזימטר – דשן מלא
פולסים	9.86	815	82	ליזימטר דשן מלא

סוג הטיפול	השוואת טיפולים השקיה	יחס פרי	יחס מים
הפסקת דשן	יומית מול פנמן	פי 1.54 יותר	פי 1.66 פחות
דשן מלא	יומית מול פנמן	פי 1.56 יותר	פי 1.35 פחות
דשן מלא מול הפסקת דשן	יומית מול פנמן	פי 2.46 יותר	פי 1.35 פחות

- לא נמצא ייתרון בהפסקת דשן ביבול העונתי ב-2 הטיפולים.
- השקיה ע"פ דרישת הצמח מובילה ליבול מוגבר תוך חיסכון במים ב-2 הטיפולים.
- להשקיה ע"פ דרישת הצמח פוטנציאל להוביל לזיהום מופחת של הקרקע ומי תהום

# השקיה ע"פ טרנספירציה אבסולוטית -פקולטה לחקלאות חממת זכוכית-

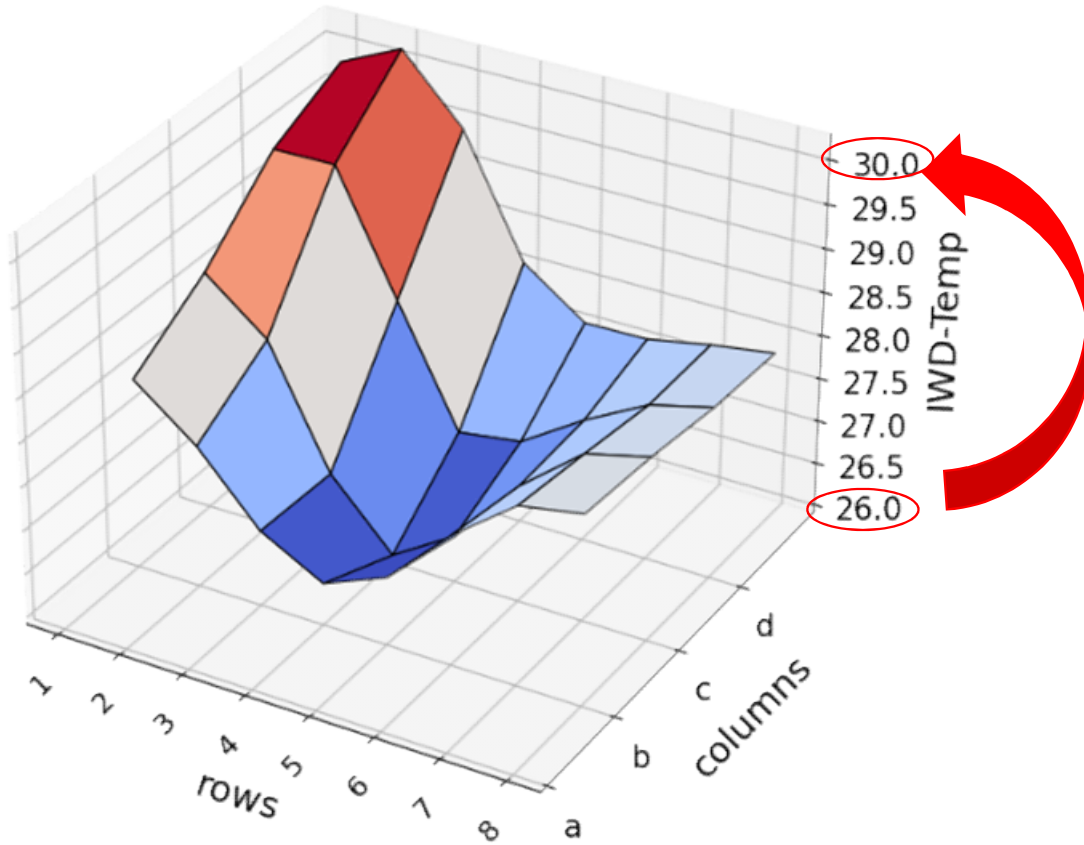


# השקיה מדייקת -פקולטה לחקלאות חממת זכוכית-

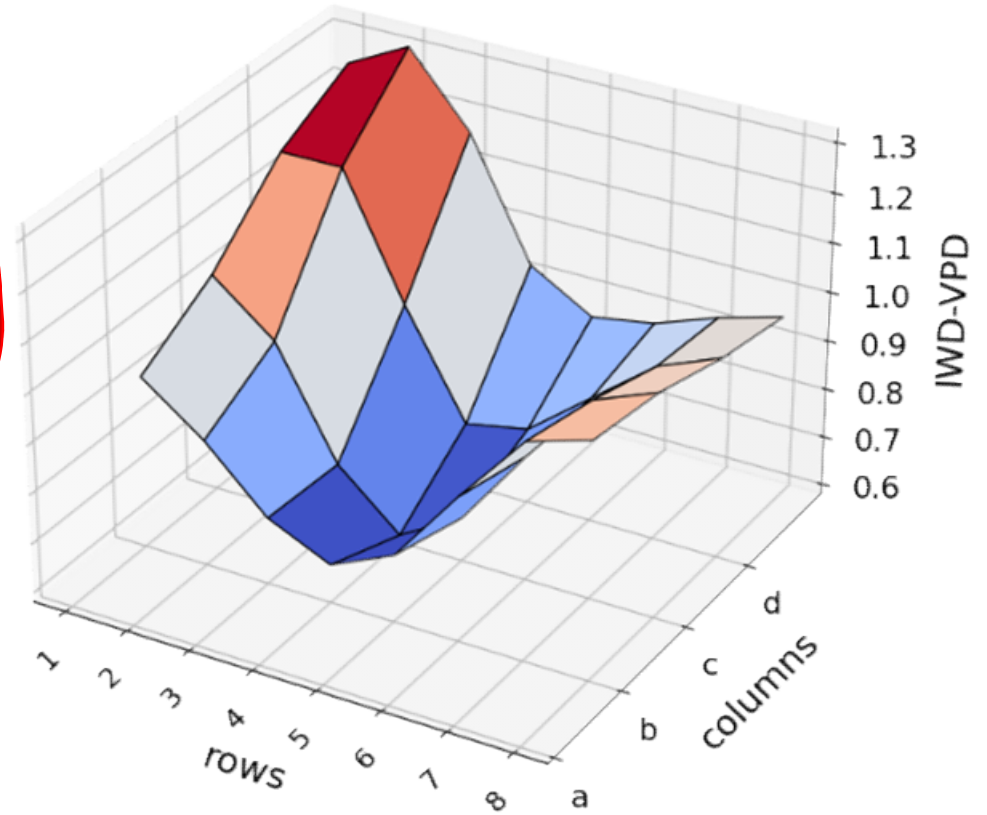
21.09.2021 11:30:00



טמפרטורה מרחבית



גירעון לחץ אדים מרחבי

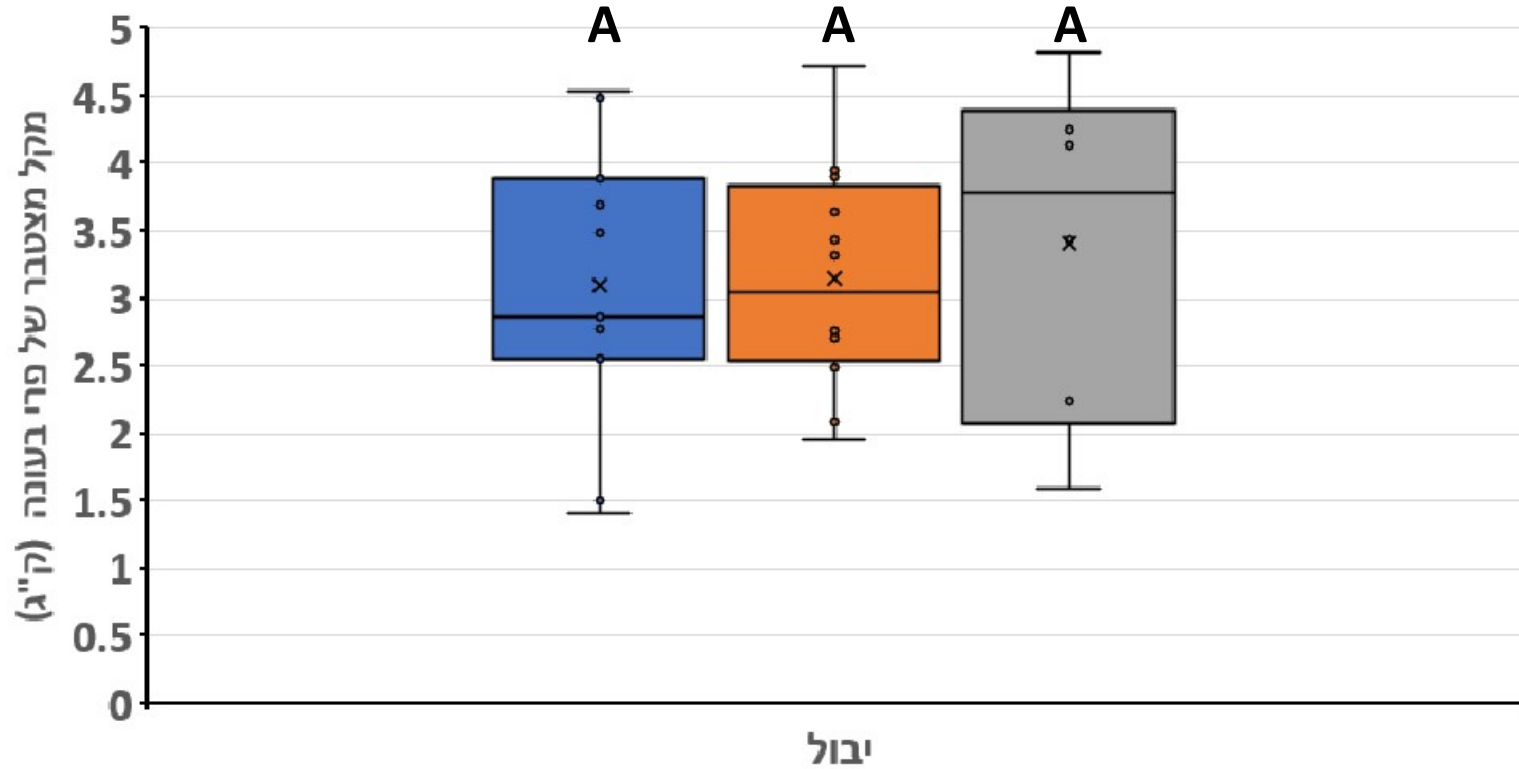


# תוצאות יבול פקולטה

## טיפול השקיה

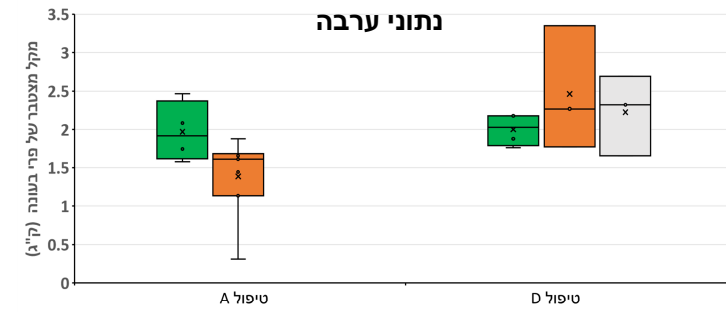
משקל פירות לעציץ (עונתי)

פולסים ■ פנמן ■ השקיה יומית



משקל פירות ממוצע לעציץ (עונתי)

■ השקיה חממה ■ השקיה יומית ■ השקיה רציפה



# תוצאות יבול

## -200 יום-

צורת השקיה	משקל פלפל ממוצע (טון לדונם)	מים עונתי לדונם (מ <sup>3</sup> )	ליטר מים לק"ג פלפל
יומית	6.82	752	54
פנמן	6.945	585	41
פולסים	7.7	1088	71

ליזימטר דשן מלא

השוואת טיפולים השקיה	יחס פרי	יחס מים
יומית מול פנמן	פי 1.01 פחות	פי 1.28 פחות
יומית מול פולסים	פי 0.88 פחות	פי 1.44 פחות
פנמן מול פולסים	פי 0.9 פחות	פי 1.85 פחות

השקיה מדייקת ב-3 סוגי ההשקיות בדשן מלא, מובילה לחוסר שונות מובהק ביבול ויעילות המים.

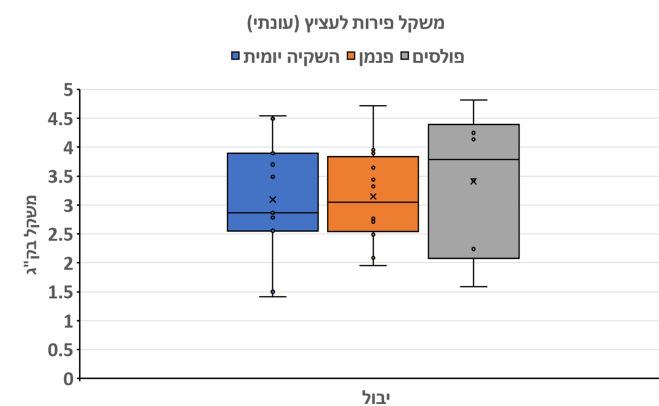
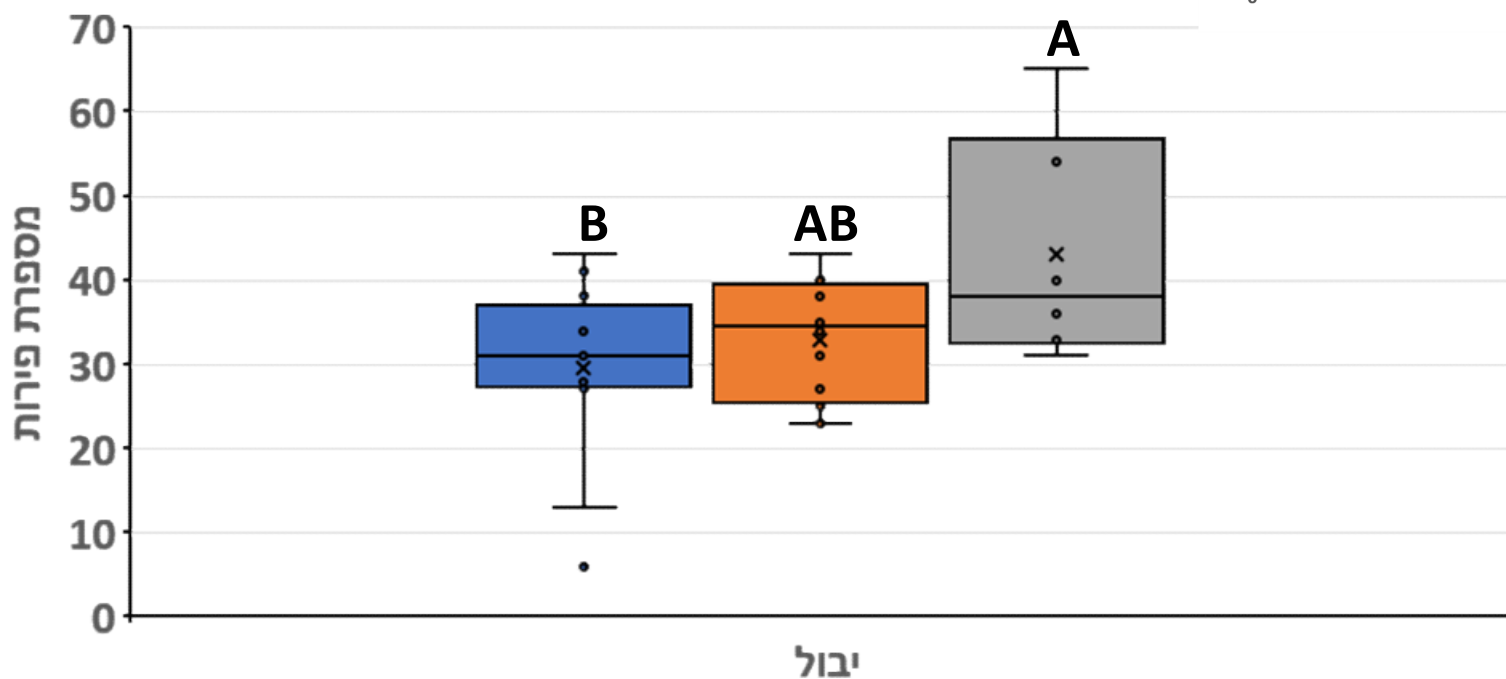


# תוצאות יבול

## -מספר פירות גבוה?-

מספר פירות לעציץ (עונתי)

פולסים ■ פנמן ■ השקיה יומית ■



## סיכום

- מחסור בדשן, גורם לעקה בצמחים בעציצים ובחממה. בעקבות עקה זו מתרחשת פגיעה פיזיולוגית בצמח וכמו כן ירידה מובהקת ביבול, החזרת דשן גורמת לפיצוי בסוף העונה.
- השקיה יומית על פי דרישת הצמח הובילה ליבול גבוה יותר ב-2 הטיפולים תוך חיסכון במים.
- חזרה על הניסוי במספר גדול של חממות וגידולים יכול לאפשר ליצור מודל השקיה מדויק, רווחי ואקולוגי.
- השקיה ע"פ פנמן תהיה מדויקת במדידות מיקרו אקלים מדויקות (המחקר שלי).

# Thanks

שורש דבר



Plant Ditech Team



מו"פ ערבה תיכונה וצפונית-תמר, צוות תחנת יאיר  
תמיר, מייק, מוטי, אפרודיס, טוביה, שמעון,  
יורם, איילון וכל עובדי החממה שבלעדיים  
הניסוי לא היה מתקיים



# Thanks

חברי המעבדה

איתמר, דור, עידן, שני אוהד, עדי, אייל, יעל, ורוניקה,  
רמון, רן, נועם ואהן