

## ניטור תכולת החנקן בחיטה בשלבי הגידול השונים באמצעות מצלמה דיגיטלית בהשוואה לבדיקות מעבדה, במטרה לזהות את תצרוכת החנקן של הגידול

שלמה שריג, אלי שלוין, ארקדי זילברמן, מרדכי דודאי, שלמה נזר, ויפתח בן-אשר – מו"פ קטיף עידן ריצ'קר – גידולי שדה נגב

דו"ח המוגש לצוות היגוי הנהלת ענף הפלחה 2018 במשרד החקלאות

### תוכן עניינים

1. מבוא ותיאור הבעיה

2. חומרים ושיטות .

3. תוצאות ודיון

3.1 פונקציית הייצור של שני זני החיטה : צבירת חומר יבש וחנקן צרוף במהלך הגידול בחממה.

3.2 בחינת מתאם בין תכולת חנקן באמצעות צילום לעומת נתוני חנקה במעבדה בדגימת 3 עלים.

3.3 בחינת מתאם בין תכולת חנקן באמצעות צילום לעומת מעבדה בשלבים פנולוגיים שונים של החיטה .

3.4 אמינות הבדיקה באמצעות צילום בהשוואה לבדיקות מעבדה סטנדרטיות

3.5 ניתוח השפעת הדישון והתוצאות הסופיות באמצעות משקל וכמות החנקן שנקלטה על מרכיבי היבול בזנים זהיר ורותה, בחממה.

3.6 ניסויי זנים בקיבוץ רעים וניתוחם באמצעות צילום דיגיטאלי.

4. סיכום

4.1 אמינות הצילום ככלי לבקרה על ממשק הדישון החנקני בחיטה

4.2 מגבלות השיטה

4.3 זיהוי קליטת חנקן ע"י זני חיטה באמצעות מצלמה

### **1. מבוא ותיאור הבעיה**

אמצעי הבקרה הטוב ביותר להגדרת מצב ההזנה של הצמח הוא בדיקות צמחיות. בסוף שנות ה-90 פותח בישראל ע"י אנשי שירות השדה של שה"מ בצפון (ובשנים גשומות בנגב) נוהל של דיגום צמחי בשלב מוקדם יחסית של גידול החיטה - כמערכת תומכת החלטה לדישון ראש מוקדם. בדיקות המעבדה של חנקה במיצוי מימי, מתבצעת כאשר הצמח בשלב של 3-4 עלים. (השלב הזה נבחר מאחר ובו יש ריכוז חנקה גבוה בעיקר בחלק הלבן של הניצרון). על בסיס תוצאות בדיקות צמחיות אלו ועקום התגובה לדישון החנקן, ניתן להחליט בצורה מושכלת, על הצורך בדישון ראש מוקדם, לשיפור פוטנציאל הגידול. משך הזמן עד לקבלת תשובה הוא רק יומיים, אך התלות במעבדה (קצב עבודה וזמן בין החלטה לתשובה) מקשה על המגדל מאחר ומועד הדישון יכול להתאחר. לשם כך הותאמה הבדיקה במכשירי הוריה (להם בעיית אמינות מסויימת) (רם וחובריו 2016).

משלב 4 עלים ועד שלב עלה דגל (5-6 שבועות) אין מעקב אחר מצב החנקן בגידול, דהיינו אין פרוטוקול לבדיקות חנקן צימחיות. כאן שיטת הצילום הנבדקת מוסיפה לפרוטוקול נדבך חשוב.

חשיבות מועד הדישון היא גדולה, בעיקר מהסיבה שהשיבולת העיקרית מסיימת את ההתמיינות בשלב 5 עלים. מגיל 3 עד 5 עלים, תקופה של כשבועיים, בה צריך להחליט האם יש צורך בדישון חנקני ואם כן יש לבצע לקראת או תוך כדי גשם. חשיבות הגשם היא בהחדרת הדשן לקרקע והפיכתו לזמין לקליטה ע"י השורשים. תוספת חנקן בשלב שלאחר 5 עלים עשויה לתרום לעידוד סעיפים נוספים. ככל שהדישון יקדים, כך תרומתו ליבול תהיה משמעותית יותר. המגבלה העיקרית של השיטה הקיימת כיום היא הצורך בשליחת צמחים למעבדת שירות שדה. תהליך זה נמשך זמן רב וקבלת התוצאות כבר פחות רלוונטית, בנוסף לעלות הבדיקה. בעקבות מגבלות אלו חקלאים רבים מוותרים על הבדיקות. לעיתים ידשנו רק כאשר הסבירות למחסור היא גבוהה ובתנאים של אי ודאות - לא ידשנו.

בעבודתנו זו פיתחנו עקומת צריכה של חנקן בחיטה באמצעות מצלמה. השיטה לקביעת תכולת החנקן בעלוה באמצעות מצלמה דיגיטלית וניתוח התמונה לקביעת עצמת הצבע הירוק של העלים - (greenness) וממנה לחשב את רמת החנקן בצמח. השיטה נבחנה במעבדתנו מזה כמה שנים והוכחה כיעילה בגזר, וחסה (Shlevin et al. 2018) ובניסויים הקדמיים בחיטה ובתירס.

הבסיס לקביעת אחוז החנקן בעלי החיטה נובע ממבנה המולקולה של הכלורופיל. במרכז המולקולה נמצא אטום המגנזיום ומסביבו ארבעה אטומים של חנקן. לפיכך יש קורלציה ישירה בין ריכוז החנקן בעלה לבין ריכוז הכלורופיל המבוטא בצבע הירוק. (Evans 1989)

תמונת מצלמה צבעונית סטנדרטית מבוססת על שלושה שדות צבע: ירוק, כחול ואדום (RGB). בשיטה שפותחה אצלנו במו"פ, אנו מפרידים באופן כמותי את הצבע הירוק משאר הצבעים, מדרגים אותו ומחשבים את ריכוז החנקן בעזרת אלגוריתם שפותח למטרה זו. מכפלת אחוז החנקן ביבול החומר היבש הנשקל ביום הצילום נותנת את משקל החנקן (ק"ג חנקן לדונם) שנקלט בחיטה עד יום המדידה. Zilberman et al 2014 מצאו כי ההשוואה בין מכפלת אחוז החנקן שנמדד במעבדה ביבול החומר היבש וזו שנעשתה בצילום הן זהות. ההשוואה נעשתה בגזר אך גם בניסוי זה על חיטה ובניסוי אחר בתירס מקדמי ההתאמה מגיעים ליותר מ-90%.

גישה מקובלת למתן המלצות דישון מתבססת על פונקציית היצור של הגידול (Shlevin et al. 2018). פונקציה זו מתארת את מהלך צבירת החומר היבש לכל אורך תקופת הגידול והיא מתארת את המהלך המיטבי. כאשר מכינים מערכת שתאפשר קבלת המלצות דישון, חשוב לשם הפשטות שפונקציה זו תהיה דומה או זהה בכל זני החיטה. אחת ממטרות הניסוי הייתה לבחון את האוניברסליות של פונקציית היצור בשני הזנים שנבדקו כמודל לזנים נוספים.

עמדנו גם על יעילות השיטה עבור זני חיטה שונים, הנבדלים בעצמת הצבע הירוק בעליהם, הן בניסוי החממה והן במעקב אחרי מספר זנים בניסויי הזנים בקבוץ רעים.

### מטרות הניסוי:

1א. לבסס את אמינות השיטה של קביעת קליטת החנקן בצמח החיטה באמצעות מצלמה דיגיטלית בניסוי החממה בהשוואה לנתוני המעבדה.

1ב. לפי תוצאות אלו לבסס קביעה מהירה וזמינה של תכולת החנקן בחיטה באמצעות מצלמה דיגיטלית הנמצאת כיום בכל טלפון סלולרי.

2. בחינת השונויות בתגובות ובניתוח הצילום בין זני חיטה שונים בחממה ובשדה.

3. מטרת העל של העבודה היא לגבש המלצות לגבי דישוני ראש בשלבים שונים של גידול החיטה. על בסיס המידע על המערכת להגדיר האם יש בשדה מספיק חנקן לייצור הביומסה ליבול הגרעינים המתוכננות.

## 2. חומרים ושיטות

פרטי ניסוי העציצים בחממה: טבלה 1 מסכמת את מדיניות הדישון בניסוי.

**טבלה מס' 1.** טיפולי החנקן בחממת הגידול של מו"פ קטיף. המספרים בטבלה מייצגים יחידות חנקן בק"ג לדונם במהלך הגידול.\*

6 יסוד + 12 ראש רציף	6 יסוד + 6 ראש רציף	6 יסוד בלבד	אפס	טיפול:
18	12	6	0	סה"כ חנקן צרוף:

\* כל הטיפולים דושנו ב 12 ח"מ  $P_2O_5$  ו ב 50 ח"מ  $K_2O$  ביסוד

הניסוי נערך בחממה הניסויית של מו"פ קטיף. במיכלי גידול, כל מיכל של 10 ליטר היווה חזרה. מצע הגידול היה פרלייט 206. לפני הזריעה דושנו העציצים ב- 12 חלקי מיליון (ח"מ) זרחן (בצורת סופר-פוספט) וב- 50 ח"מ אשלגן (בצורת אשלגן כלורי). נזרעו 2 זנים – האחד בכיר – "זהיר" והשני אפיל- "רותה". המשתנה היה 4 רמות של דישון חנקני (שניתן בצורת אורן 32%). פירוט הטיפולים בטבלה מס 1. החנקן המוסף בהשקיה ניתן במשך רוב תקופת הגידול. הניסוי היה בבלוקים ב-4 חזרות.

בכל מיכל נזרעו כ-30 זרעים בתאריך 19.11.17. בגיל 2 עלים נעשה דילול לעומד של 20 צמחים למיכל (שווה ערך לכ- 320 צמחים ל מ"ר). ב-4 מועדים פנולוגים נלקחו דוגמאות צמחים למעבדה, כאשר בכל מועד דגימה דולל מספר הצמחים בכל מיכל. מועדי הדגימות והפרמטרים שנבדקו מוצגים בטבלה מס' 2.

**טבלה מס' 2:** פירוט מועדי הדגימות והפרמטרים שנבדקו בכל מועד

פרמטרים שנבדקו	ימים מזריעה	תאריך דגימה	שלב פנולוגי בדגימה
הוריבה: חנקה; מעבדה: % חנקה, % חנקן כללי; משקל חומר יבש; צילום	29	18.12.17	3 – 4 עלים
הוריבה: חנקה; מעבדה: % חנקן כללי; משקל חומר יבש; צילום	42	31.12.17	6 – 7 עלים
הוריבה: חנקה; מעבדה: % חנקן כללי, משקל חומר יבש; צילום	50	8.1.18	עלה דגל – זהיר
הוריבה: חנקה; מעבדה: % חנקן כללי; משקל חומר יבש; צילום	58	16.1.18	עלה דגל – רותה
מעבדה: % חנקן כללי, משקל חומר יבש; צילום	65	23.1.18	השתבלות – זהיר
הוריבה: חנקה; מעבדה: % חנקן כללי; משקל חומר יבש; צילום	79	6.2.18	השתבלות - רותה



**צילום 1** התפתחות החיטה בחממה בכל אחד מהטיפולים השונים. משמאל לימין בהתאמה לטבלה 1:

יחידות החנקן שניתנו בכל מיכל מוצגות שנית לנוחיות הקורא:

מספר הטיפול	1	2	3	4
רמת חנקן צרוף בק"ג לדונם	0	6	12	18

בסיום הניסוי נמדדו הפרמטרים הבאים: מספר קומות בשיבולת, יבול גרעינים לשיבולת, יבול קש, יבול כולל לצמח ואינדקס הקציר (Harvest Index = HI = משקל גרעינים/יבול כולל)

#### מדידות:

- צילום הצמחים במועדים השונים התאים בדיוק למועד הבדיקה במעבדה. כך ניתן היה להשוות בין נתוני המעבדה לצילום. לפני העברת הצמחים לבדיקות במעבדת שרות שדה בגילת צולמו הצמחים בכל מיכל (בכל שלב). כמות החנקן שניקלטה ע"י החיטה ( $N \text{ uptake} = N$ ) אחוז החנקן בעלים  $X$  משקל החומר היבש בטיפול ( חושבה בכל אחד מהטיפולים עפ"י תוצאות המעבדה ובמקביל להשוואה עפ"י עצמת הצבע הירוק בצילום.
- מדידת חנקה ( $NO_3$ ) באמצעות מכשיר דיגיטלי ידני (הוריבה): באמצעות מכשיר זה ניתן לבדוק את תכולת החנקה בחומר הצמחי ע"י מיצוי המוהל שלו. במועד הראשון מוצה הצמח השלם. התוצאות הושוו לתוצאות % החנקה שהתקבלו מהמעבדה.
- מבחן זנים בקיבוץ רעים: מטרת התצפית הייתה לבדוק האם המצלמה תבחין בשונות בקליטת החנקן בין הזנים. ברעים הוצבו 2 מבחני זנים: האחד בשטח שלחין עם השקיית הנבטה על כרב תפוז"א, שנבחנו בו ע"י צילום 7 הזנים: זהיר, רותה, כיתאין, בית השיטה, עומר, גדרה וגדיש. המבחן השני נערך בשדה בעל בו נבחנו 6 זנים: רותה, זהיר, גדיש, עומר, גדרה, יובל.

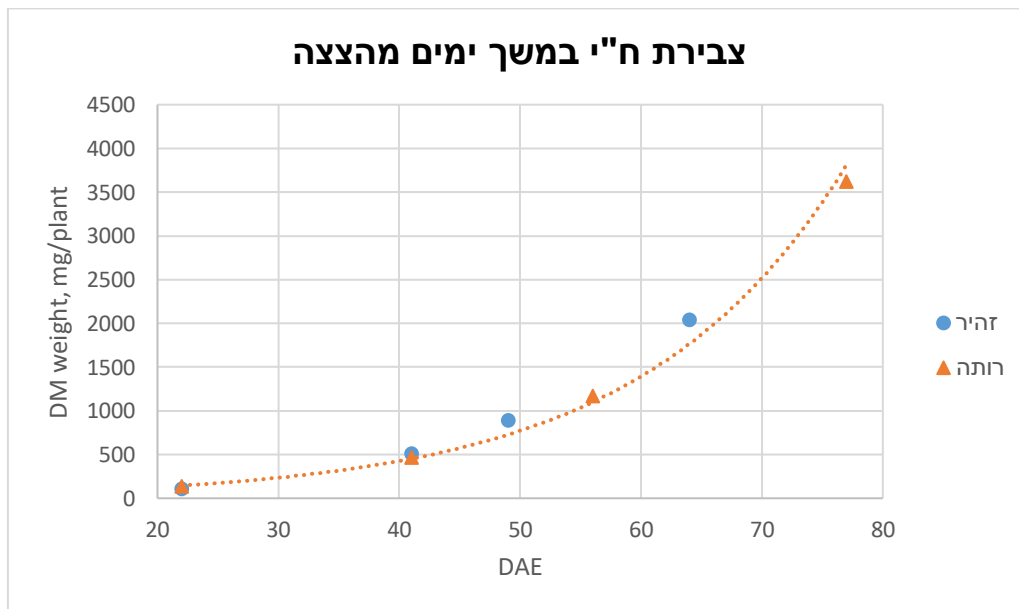
## 3. תוצאות ודיון

## 3.1 פונקציית הייצור של שני זני החיטה: צבירת חומר יבש וחנקן צרוף במהלך הגידול בחממה .

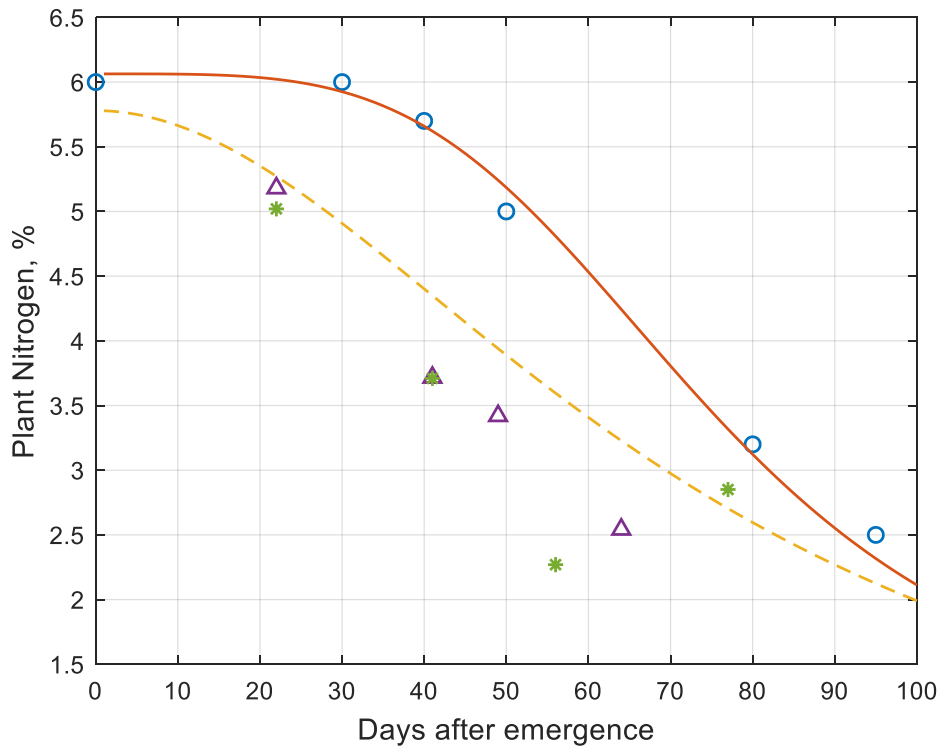
**טבלה מס' 3.** צבירת חומר יבש (ממוצעי 4 חזרות) עבור זנים "זהיר" ו-"רותה" במהלך הגידול עד שלב שליפה מלאה של השיבולת

		חיטה/חממה		משקל ח"י	
				מ"גר/צמח	
		12/12/2017	31/12/2017		
		עלה 3	עלה 6	עלה דגל	השתבלות- פריחה
זן	טיפול				
				08/01/2018	23/01/2018
זהיר	1	70	150	170	480
	2	70	230	280	960
	3	90	380	460	1720
	4	110	510	890	2040
<b>ממוצע</b>	<b>85</b>	<b>317</b>	<b>450</b>	<b>1300</b>	
				15/01/2018	05/02/2018
רותה	1	80	120	220	320
	2	110	280	440	1260
	3	130	440	890	2600
	4	140	470	1170	3620
<b>ממוצע</b>	<b>115</b>	<b>327</b>	<b>680</b>	<b>1950</b>	

ההבדלים במשקל החומר היבש בולטים בין טיפולי הדישון וגם בין הזנים.



**איור 1.** צבירת חומר יבש (טיפול דישון המרביל) עד להשתבלות ע"י חיטה משני הזנים כפונקציה של הימים מהצצה: זן בכיר (זהיר) וזן אפיל (רותה).



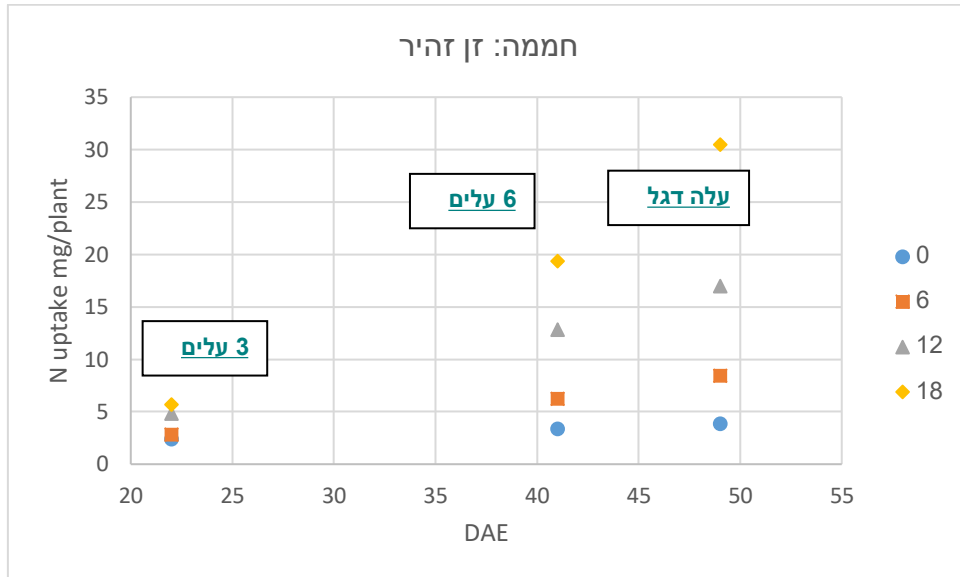
**איור 2.** אחוז החנקן בצמח שנמדד במעבדה כפונקציה של הימים מהצצה. הקו המקווקו מתאר את השינוי באחוזי החנקן שנמדדו בשני הזנים במהלך הניסוי: זהיר (משולש) ורותה (כוכב). העיגולים המלווים בקו הרציף באיור מתארים מודל DSSAT שהתקבל מתוך ניתוח תוצאות שפורסמו בספרות (Jones et al. 2003).

מאיור 2 ברור כי ריכוז החנקן בניסויי DSSAT היו גבוהים משמעותית מריכוזיו בניסויי החממה כאן.

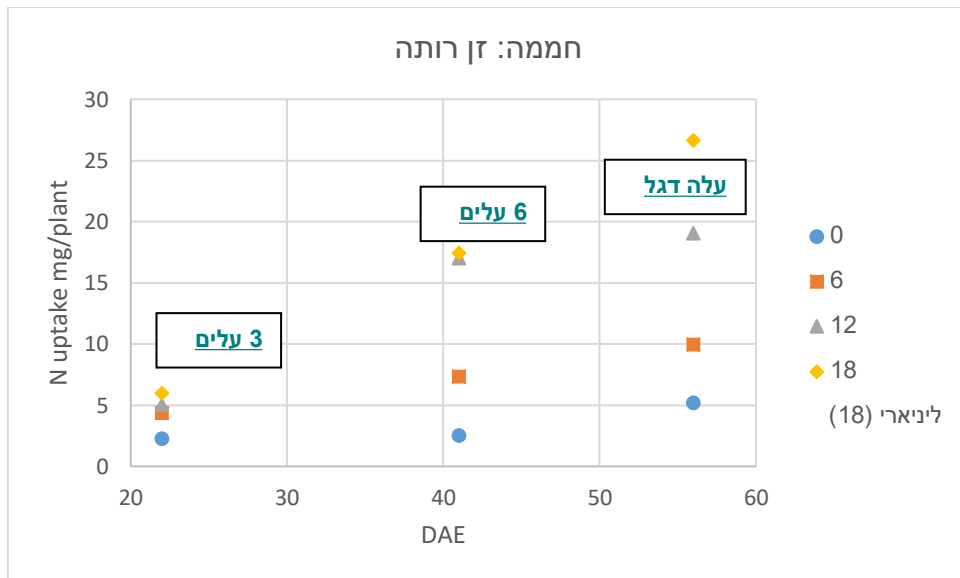
צבירת החומר היבש בזן זהיר התנהגה כפונקציה לוגיסטית והתיישרה אחרי כ 65 יום (איור 1).

מאיור 1 ניתן ללמוד כי בין הזנים לא היה הבדל מובהק בקצב צבירת החומר היבש לאורך תקופת הגידול. חיטה מהזן רותה (האפיל) המשיכה לצבור חומר יבש עוד כ 15 יום עד ההשתבלות. צבירת החומר היבש מלווה גם בצבירת חנקן. יש חשיבות מיוחדת לדמיון בין פונקציות הייצור של שני הזנים כאשר בונים מערכת למתן המלצות דישון, מאחר והפשטות שיש בפונקציה אוניברסאלית מאפשרת שימוש באותה הפונקציה (הפולינום) לזנים השונים. **עם זאת בניסויים בעתיד יש בכוונתנו לבדוק ולמיין את פונקציות הייצור בין זנים אפילים ובכירים.**

נתוני טבלה 3 שימשו לחישוב קליטת החנקן בטיפולי הדישון השונים באיורים 3 ו-4. בכל שלבי הגידול נמצאה תרומה ישירה לתוספות הדישון החנקני.



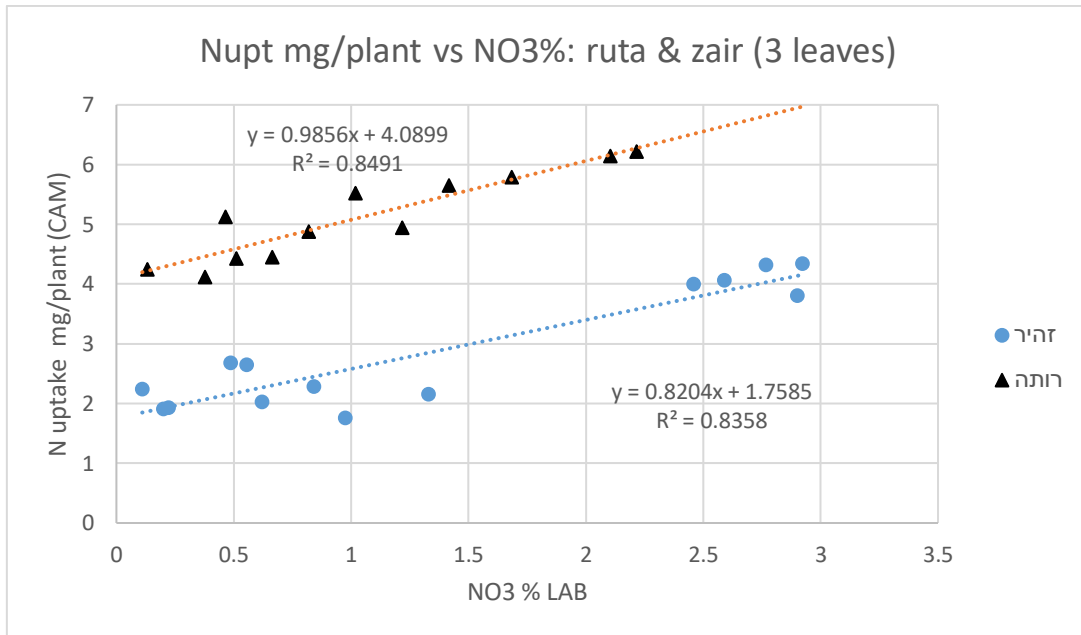
**איור 3.** זן זהיר: קליטת החנקן בטיפולי דישון שונים (0, 6, 12, 18 יחידות חנקן לדונם) ובשלבים פנולוגיים שונים (3 עלים, 6 עלים, עלה דגל)



**איור 4.** זן רותה: קליטת החנקן בטיפולי דישון שונים (0, 6, 12, 18 יחידות חנקן לדונם) ובשלבים פנולוגיים שונים (3 עלים, 6 עלים, עלה דגל)

השוואה בין איור 3 ו 4 מצביעה על צבירת חנקן מהירה יותר בזן הבכיר לעומת קצב צבירתו בזן האפיל. למשל ברותה נקלט כ-30 מ"ג חנקן לצמח אחרי 56 ימים בעוד שבזהיר נקלטה כמות דומה אחרי 49 ימים. תופעה זו נצפתה גם במבחן הזנים בשדה והדיון במשמעותה יערך בהמשך.

### 3.2 בחינת מתאם בין תכולת חנקן באמצעות צילום לעומת נתוני חנקה במעבדה בדגימת 3 עלים.



איור 5: תכולת חנקן (צילום) לעומת אחוז חנקה במעבדה ( $\text{NO}_3\%$ ) בזנים זהיר ורותה. המתאם בין השיטות דומה עבור 2 הזנים, אולם ההבדל בין הזנים מתבטא בהפרשי הביומסה בין שני הזנים (ראה טבלה 3).

### מדידת תכולת חנקה באמצעות מכשיר הורובה לעומת נתוני חנקה במעבדה בדגימה של 3 עלים.

בטבלה 4 נתונות תוצאות מדידת חנקה באמצעות הורובה בזן זהיר.

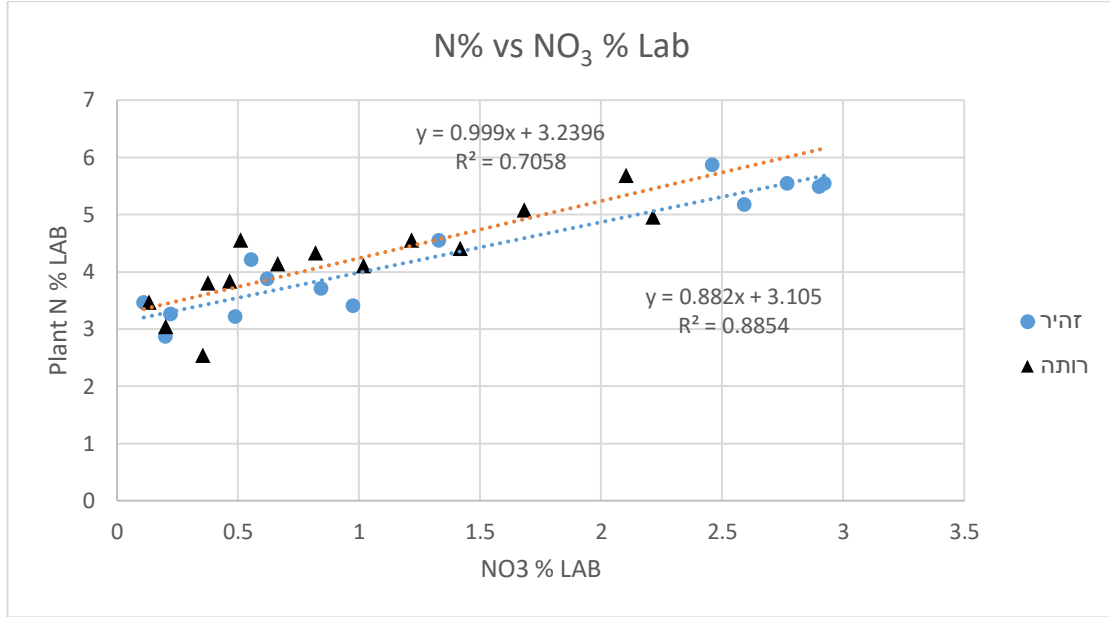
**טבלה מס' 4.** ריכוז חנקה שנמדדה בעזרת הורובה בשלב 3 עלים במוהל הצמח (ח"מ)

טיפול/בלוק	1	2	3	4
1	460	360	1000	1100
2	830	930	3100	1700
3	2400	2650	4500	2100
4	2700	3300	4900	2400

מדידות החנקה בהורובה הראו שונות רבה בין הבלוקים. בכל טיפול. למשל בטיפול מס' 1 ריכוז החנקה נע בין 460 ל-1100 ח"מ בארבעת הבלוקים. עם זאת עדיין ניתן להבחין במגמה ברורה בערכים העולים עם הגדלת רמות הדשן בטיפולים. במאמר קודם דיווחו המחברים על השימוש במכשיר ההורובה כשיטה כטובה ואמינה לגיבוש המלצות דישון חנקני (רם וחובריו 2016) אך בניסוי הנוכחי השונות בין החזרות הייתה גבוהה מאד (למשל בטיפולים 1, 2 ו-3 בטבלה 5 היה מקדם השונות כ 70%) כך שהוכיחה שהמדידה בהורובה אינה מספיק מהימנה בניסוי הנוכחי.



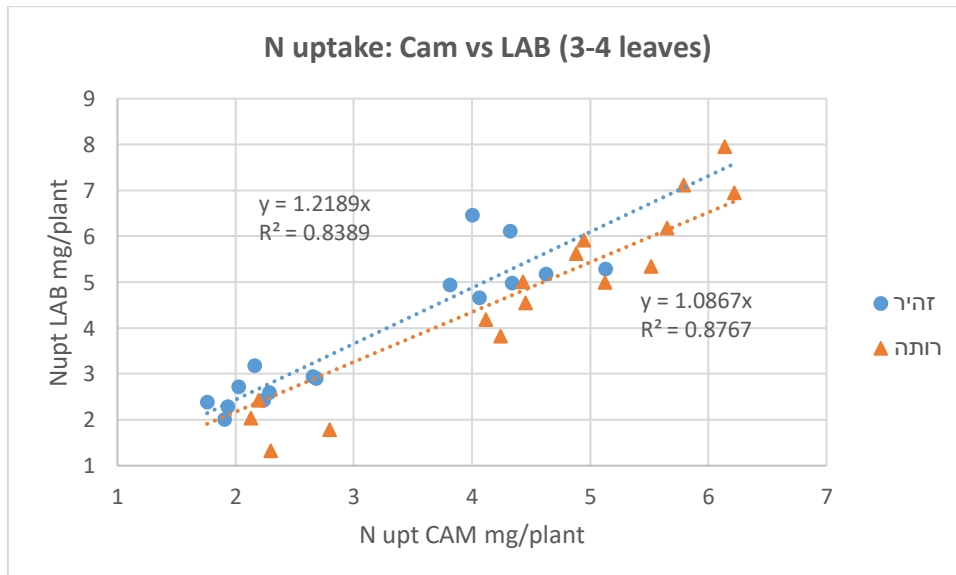
3.3 בחינת מתאם בין תכולת חנקן באמצעות צילום לעומת מעבדה בשלבים פנולוגיים שונים של החיטה .



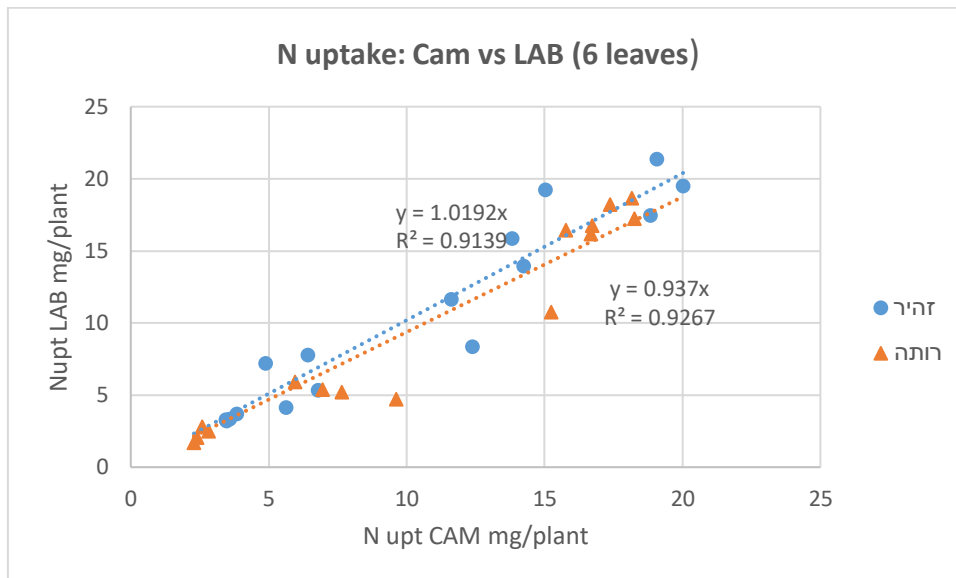
איור 6 : בחינת המתאם בתוצאות המעבדה של %חנקן לעומת %חנקן כללי, שלב 3-4 עלים.

ניתן לראות בבירור שישנו מתאם טוב בין 2 שיטות הבדיקה (גם בשלב מוקדם זה).

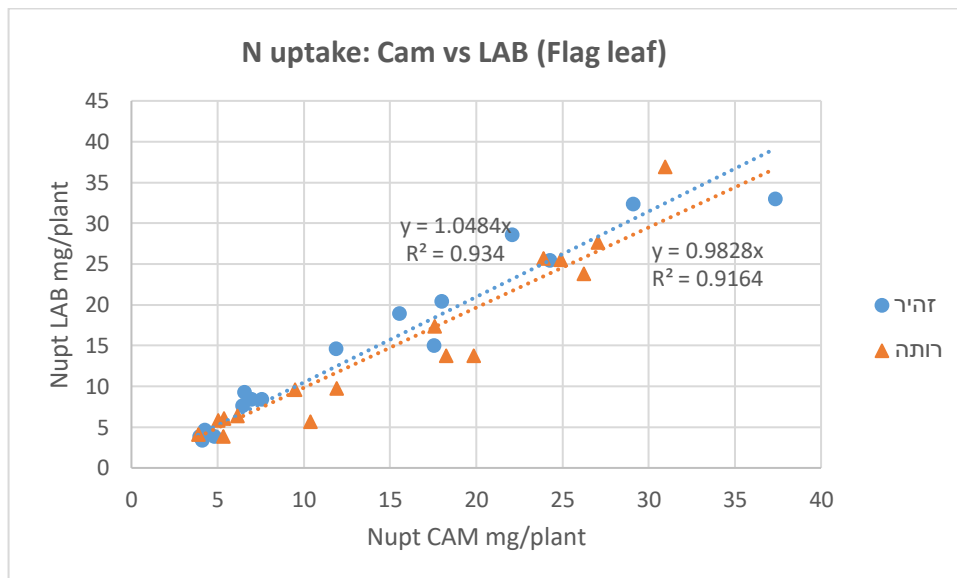
באיור 7 נתונות ההשוואות המשתנות עם השלב הפנולוגי של שני זני החיטה (זהיר ורותה). הקורלציה הטובה ביותר התקבלה כאשר זני החיטה היו בשלב של 6-7 עלים ובעלה דגל. לעומת זה בשלב 3-4 עלים שבהם מקדם הקורלציה היה נמוך מ  $r^2 = 0.9$  .



(A) זהיר, רותה - 3-4 עלים



(B) זהיר, רותה - 6 עלים



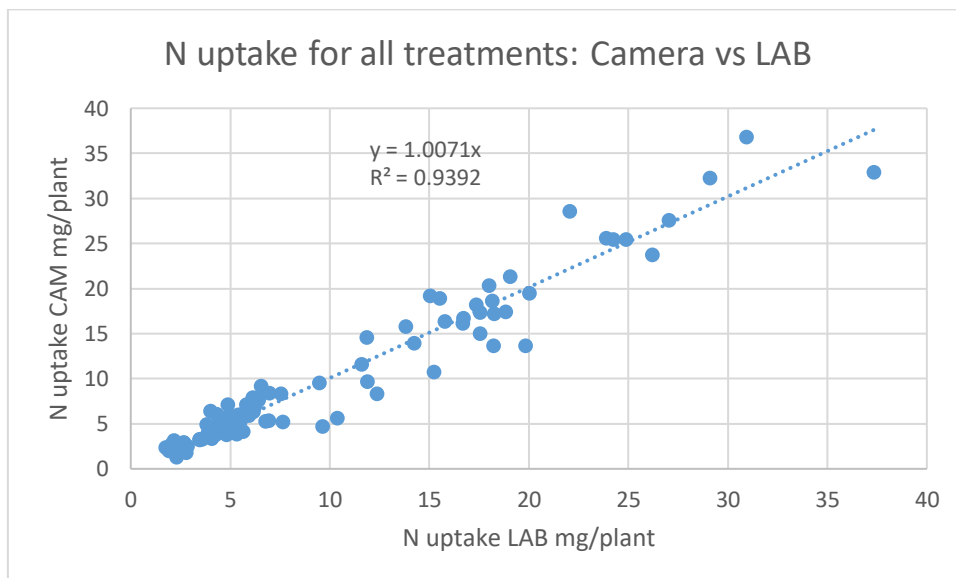
(C) זהיר, רותה - עלה דגל

**איור 7.** קליטת חנקן (mg/plant) בשלבים פנולוגיים שונים בחיטה עבור שני זנים: זהיר ורותה. השוואה בין תוצאות מעבדה לצילום. (A) 3-4 עלים, (B) 6 עלים, (C) עלה דגל.

מאיור 7 ניתן לראות כי נמצא מתאם מובהק בין מדידות המעבדה לצילום בשני הזנים זהיר ורותה, בכל המועדים.

### 3.4 אמינות הבדיקה באמצעות צילום בהשוואה לבדיקות מעבדה סטנדרטיות

איור 8 מתאר את ההתאמה בין קליטת חנקן במעבדה לזו שבצילום. כלולים בו זני החיטה רותה וזהיר מכל שלבי הדגימה והחזרות (3 עלים, 6 עלים, עלה דגל). ס"ה למעלה מ-120 השוואות. התוצאות מחזקות את הפיתוח המוצע על ידי הקבוצה הנ"ל. השיפוע המבוקש הוא יחידתי כפי שאכן התקבל ומקדם הקורלציה הוא למעלה מ  $r^2 = 0.94$ .



**איור 8** ההתאמה בין קליטת חנקן במעבדה לזו שבצילום עבור הצמח הבודד.

על מנת לקבל את עומד הצמחים ליחידת שטח נעשה החישוב הבא: שטח כל מיכל היה  $0.25 \times 0.23 = 0.057$  מ"ר. דהיינו: ניתן לחשב שכאשר עומד צמחי החיטה היה 320 למ"ר אזי קליטת החנקן שהתקבלה מהצילום עד שלב עלה הדגל נעה בין 1 ל 12 יחידות חנקן (ק"ג/דונם).

3.5 ניתוח השפעת הדישון והתוצאות הסופיות באמצעות משקל מרכיבי היבול בזנים זהיר ורותה.

טבלה 5 מסכמת את מרכיבי היבול השונים ביום הקציר.

**טבלה 5** משקל מרכיבי היבול ביום הקציר

		<u>זן: זהיר</u>		<u>4/10/2018</u>	<u>קציר סופי</u>	<u>חממה</u>	<u>חיטה</u>
<u>טיפול</u>	חזרה	מס שיבולים	קומות/שיבולת	יבול גרעינים	יבול קש	יבול כולל לפני דישון**	H.I.
		בדוגמא		לשבלת (גרי)	לצמח (גרי)	לצמח(גרי)	
	1	10	7	0.5	0.71	1.49	0.33
	2	10	4	0.4	0.57	1.18	0.34
	3	10	6	0.5	0.51	1.21	0.41
	4	10	3	0.3	0.52	1.11	0.27
ממוצע			<b>5</b>	<b>0.425</b>	<b>0.5775</b>	<b>1.2475</b>	<b>0.3375</b>
<b>2</b>	1	10	13	0.9	0.99	2.39	0.38
	2	10	11	0.5	0.51	1.22	0.41
	3	10	12	0.6	0.83	1.88	0.32
	4	10	11	0.4	0.61	1.28	0.31
ממוצע			<b>11.75</b>	<b>0.6</b>	<b>0.735</b>	<b>1.6925</b>	<b>0.355</b>
<b>3</b>	1	10	19	1.9	1.63	4.17	0.46
	2	10	11	1.4	1.01	3.27	0.43
	3	10	18	1.7	1.03	3.49	0.49
	4	10	12	1.7	1.38	3.81	0.45
ממוצע			<b>15</b>	<b>1.675</b>	<b>1.2625</b>	<b>3.685</b>	<b>0.4575</b>
<b>4</b>	1	10	26	2.5	1.88	5.46	0.46
	2	10	21	2.1	1.63	5.21	0.4
	3	10	28	2.9	1.55	4.92	0.59
	4	10	20	2	1.64	5.02	0.4
ממוצע			<b>23.75</b>	<b>2.375</b>	<b>1.675</b>	<b>5.1525</b>	<b>0.4625</b>

		<u>זן:</u> <u>רותה</u>		<u>4/10/2018</u>	<u>קציר סופי</u>	<u>חממה</u>	<u>חיטה</u>
<u>טיפול</u>	חזרה	מס שיבולים	קומות/שיבולת	יבול גרעינים	יבול קש	יבול כולל לפני דייש**	H.I.*
		בדוגמא		לשבולת	לצמח (גרי')	לצמח(גרי')	
<b>1</b>	1	10	11	0.5	0.29	1.06	0.47
	2	10	10	0.2	0.29	0.61	0.33
	3	10	10	0.2	0.25	0.71	0.28
	4	10	11	0.3	0.39	1.01	0.3
<b>ממוצע</b>			<b>10.50</b>	<b>0.30</b>	<b>0.31</b>	<b>0.85</b>	<b>0.35</b>
<b>2</b>	1	10	15	0.6	0.41	1.24	0.48
	2	10	14	0.5	0.42	0.98	0.51
	3	10	11	0.4	0.86	1.59	0.25
	4	10	15	0.6	0.61	1.49	0.4
<b>ממוצע</b>			<b>13.75</b>	<b>0.53</b>	<b>0.58</b>	<b>1.33</b>	<b>0.41</b>
<b>3</b>	1	10	20	2.4	1.78	4.92	0.49
	2	10	18	2	1.68	4.5	0.44
	3	10	15	1.9	1.74	4.51	0.42
	4	10	16	1.9	1.52	4.24	0.49
<b>ממוצע</b>			<b>17.25</b>	<b>2.05</b>	<b>1.68</b>	<b>4.54</b>	<b>0.46</b>
<b>4</b>	1	10	30	3	2.02	6.19	0.48
	2	10	28	2.7	1.84	5.53	0.49
	3	10	27	2.7	1.92	5.59	0.48
	4	10	26	2.5	1.73	6.01	0.42
<b>ממוצע</b>			<b>27.75</b>	<b>2.73</b>	<b>1.88</b>	<b>5.83</b>	<b>0.47</b>

HRVEST INDEX=HI\*

היבול לפני דייש גדול מסכום משקל הגרעינים + משקל הקש חסר משקל פחת הדייש של השיבולים ( גלומות, מלענים שזרה וגרעינים מצומקים)

בכל מדדי היבול ניכרת בטבלה 7 השפעת הדישון החנקני על התוצאה. ככל שניתן יותר חנקן בטיפול . בטיפול 4 שקיבל את מנת החנקן הגבוהה ביותר מקדם הקציר (HI=משקל גרעינים /יבול כולל. ) היה כ-50 אחוז בשני הזנים. לעומת טיפול 1 שהיה רק כ 30 אחוז. באותם טיפולים קומות השיבולת בטיפול 4 היו כמעט פי 3 - 7 יותר מאשר בטיפול 1 . התוצאה הזו באה לביטוי מובהק במשקל השיבולת הנתון בטבלה 8.

## טבלה 6. משקל גרעיניים ל שיבולת

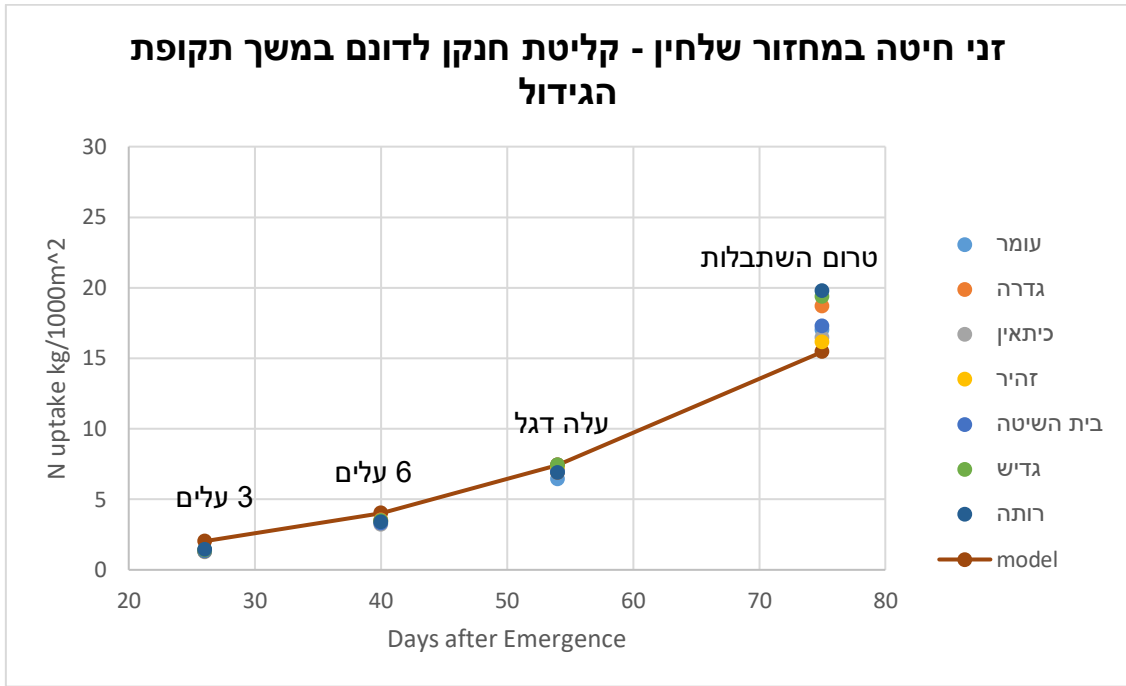
משקל גרעיניים לשיבולת, (גרם)	דרגת מובהקות	רמת חנקן צרוף שניתנה ק"ג/דונם	טיפול
2.4	A	18	זהיר 4
1.7	B	12	זהיר 3
0.6	C	6	זהיר 2
0.4	C	0	זהיר 1

משקל גרעיניים לשיבולת, (גרם)	דרגת מובהקות	רמת חנקן צרוף שניתנה ק"ג/דונם	טיפול
2.7	A	18	רותה 4
2.1	B	12	רותה 3
0.5	C	6	רותה 2
0.3	C	0	רותה 1

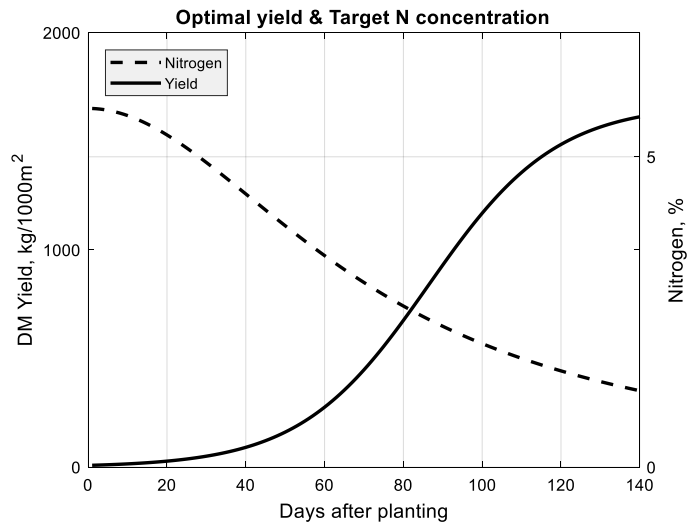
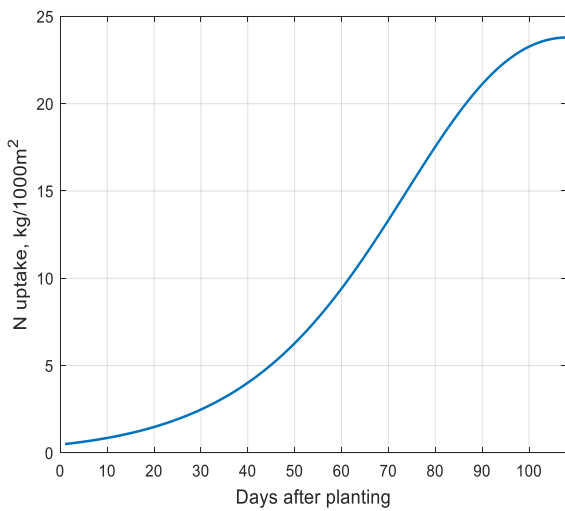
מטבלה 6 רואים כי כל תוספת דשן חנקני בניסוי מעלה את יבול הגרעיניים באופן מובהק. בניסוי השדה שייעשה בעונה הקרובה יימדד גם היבול ליחידת שטח בנוסף למשקל הגרעיניים לשיבולת.

3. ניסויי זנים בקיבוץ רעים וניתוחם באמצעות צילום דיגיטאלי.  
צילום 2. מבחן הזנים בקיבוץ רעים





**איור 9** קליטת החנקן בזני רעים בניסוי כרב תפא"ד (נביטה ב-21/11/2017). הקו הרציף מתאר את המודל הניסיוני המופיע באיור 10. הנקודות בצבעים השונים מתארות זנים שונים ואת קליטת החנקן שנמדדה בצילום. העיתוי הפנולוגי מתייחס רק לזן הבכיר (זהיר).



**איור 10** המודל הניסיוני להערכת קליטת החנקן בחיטה כפונקציה של ימים מזריעה

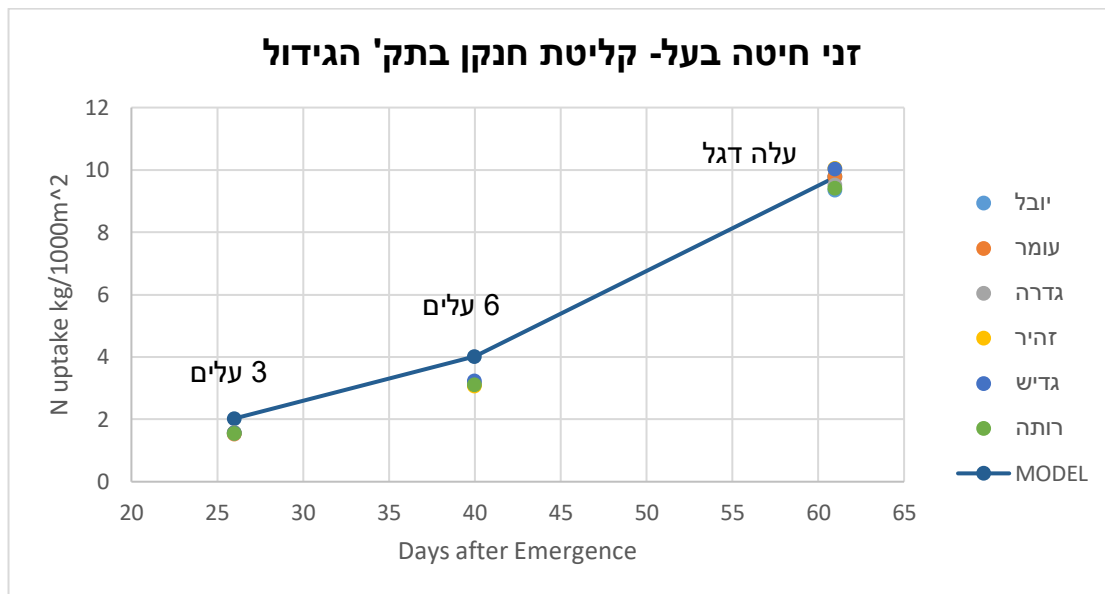
(van Keulen and Seligman, 1987 Jones et al. 2003)

מודל זה שימש את החישוב לקליטת החנקן במבחן הזנים בשדה.



**טבלה 7** קליטת החנקן בזני רעים בניסוי כרב תפא"ד (יחידות חנקן = קג/דונם שנקלטו ע"י הצמח ונמדדו בצילומים

ימים מהצצה	עומר	גדרה	כיתאין	זהיר	בית השיטה	גדיש	רותה	Model
26	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4	2.0
40	3.4	3.6	3.2	3.4	3.3	3.5	3.4	4.0
54	6.4	6.9	7.0	7.2	7.0	7.4	6.9	7.4
75 עלה דגל מתקדם זהיר	17.0	18.7	16.5	16.1	17.3	19.4	19.8	15.5



**איור 11** קליטת החנקן בזני רעים מחזור בעל (נביטה ב-5/12/2017). הקו הרציף מתאר את המודל הניסיוני המופיע באיור 10. הנקודות בצבעים השונים מתארות זנים שונים ואת קליטת החנקן שנמדדה בצילום. העיתוי הפנולוגי מתייחס רק לזן הבכיר (זהיר).

**טבלה 8** קליטת החנקן בזני רעים בניסוי כרב פלחה (יחידות חנקן = ק"ג/דונם שנקלטו ע"י הצמח. ונמדדו בעזרת הצילומים.

DAP	עומר	עומר	גדרה	זהיר	גדיש	רותה	model
26	1.6	1.5	1.5	1.6	1.6	1.6	2.0
40	3.1	3.1	3.2	3.1	3.2	3.1	4.0
61 עלה דגל זהיר	9.4	9.8	9.5	10.0	10.0	9.4	9.8

על כרב תפ"א הזן זהיר קלט 16 ק"ג/דונם חנקן צרוף עד עלה דגל (טבלה 7) . לעומת זאת, על כרב פלחה ה"זהיר" קלט רק 10 ק"ג עד אותו שלב (עלה דגל טבלה 8)

#### 4. סיכום:

##### 4.1. אמינות הצילום ככלי לניהול דישון חנקני

(א) תוצאות הצילום והמעבדה הכימית בגילת הניבו את אותן כמויות החנקן שנקלטו ע"י החיטה בשלבי הגידול השונים ( $R^2 > 0.9$  שיפוע יחידתי). (בניסוי החממה)

(ב) כיוולי המערכת להערכת תכולת החנקן בצמחי חיטה תאמו את טיפולי הדישון. דהיינו טיפול שקיבל כמות חנקן גדולה היה מלווה בעליה מובהקת ביבול הגרעינים.

(ג) בבדיקת שיטת הצילום במבחני הזנים נבחנה השונות בין זנים שונים. השיטה הוכיחה שניתן לטפל באופן דומה בין הזנים, אולם בתנאי שיהיו אלה בעלי תכונות פנולוגיות דומות (הפרדה בין בכירים \ בינוניים \ אפילים).

(ד) שיטת הצילום עשויה לאפשר ולהציע למגדל להשתמש בה ככלי למשטר הדישון. יש לשים לב כי הצילום נותן מידע על קליטת החנקן ביום הדגימה (ביחידות חנקן) במקום אחוז החנקן בצמח (מחשב את הביומסה \ הריכוז).

##### 4.2. מגבלות הגישה

בניסויי חממה נמצא שכיסוי חלקי של השטח (3 עלים) הקטין ב-10%-20 את ההתאמה בין צילום למעבדה. הסיבה לדיוק הפחות היא שהגידול נעשה על מצע לבן בוהק (פרלייט) ש"מסנוור" את המצלמה. לפיכך מומלץ לחזק את המימצאים בעזרת ניסויי שדה.

##### 4.3. זיהוי קליטת החנקן ע"י המצלמה, של זני חיטה שונים

(א) בחממה, עד השלב הפנולוגי המוגדר כ"עלה דגל" ההבדלים בקליטת החנקן בין זני החיטה השונים היו זניחים.

(ב) בשדה נמצאו הבדלים מסוימים בין הזנים האפילים והבכירים בקליטת החנקן הצרוף. חסרה הגדרה מדויקת של השלב הפנולוגי בעת הצילום ולכן קשה להגיע להשוואה מלאה ביניהם.

רם, א. אייזנקוט, א. ריצ'קר, ע. 2016. בדיקת חנקה בצמחי חיטה בגיל שלשה עלים באמצעות מכשיר ידני בהשוואה לבדיקה במיצוי מימי במעבדה. ניר ותלם גליון 69: 7 – 11.

Evans, J.R. (1989). Photosynthesis and Nitrogen relationships in leaves of C3 plants. *Oecologia* 78:9-19.

Jones W., Hoogenboom, G., Porter, C.H., Boote, K.J., Batchelor, W.D., Hunt, L.A., Wilkens, P.W., Singh, U., Gijsman, A.J., Ritchie, J.T. (2003). The DSSAT cropping system model. *Europ. J. Agronomy* 18: 235-265.

van Keulen, H., Seligman, N.G. (1987). Simulation of Water Use, Nitrogen Nutrition and Growth of a Spring Wheat Crop. *Simulation Monographs*, Pudoc, Wageningen, 310 pp.

Shlevin E., Zilberman A., Ben-Asher J. (2018) Theoretical Determination of a Critical Nitrogen Dilution Curve Based on the Carrot Case Study. *Agricultural Research*, 2: 239-244

Zilberman A, Bar-Yosef B, Ben Asher J (2014) Assessment of leaf N percentage from color imaging a conceptual model. In: Cordovil CM (ed) Proc. 18th nitrogen workshop. Oeiras, LisbonJ.