

ניטור תכולת החנקן בכותנה באמצעות צילום .

יפתח בן אשר וארקדי זילברמן - מו"פ קטיף וחברת , AgrIOT.group LTD ,
אסף צור קיבוץ צרעה
יניב רשף חברת רשף אוויאשן..

מטרת המחקר:

קביעה מהירה של תכולת החנקן בכותנה בעזרת מצלמה דיגיטלית הנמצאת על מטוס אולטרהלייט ובכל טלפון סלולרי. הבדיקה בשלבים שונים של גידול הכותנה במטרה להגיע להמלצות לגבי דישוני ראש.

מטרות ספציפיות היו:

- (א) השוואה בין אחוז החנקן הנמדד במעבדה לאחוז החנקן המתקבל מעיבוד צילומי אוויר וקרקע .
- (ב) פיתוח ושימוש בפונקציית מטרה להגדרת כמות החנקן שנקלטה ע"י הגידול עד ליום הצילום כבסיס להחלטה כמה לדשן.
- (ג) בחינת יתרונות וחסרונות של פרוטוקול הדישון הקיים באמצעות בדיקת הניטרט בפטוטרות העלים בהשוואה לגישה המוצעת לבדיקת אחוז החנקן הצרוף המתקבל מהמעבדה או מצילום האוויר והקרקע.

רקע:

הכנה להגשת התכנית נלמדו הפרוטוקולים העדכניים ביותר לגידול כותנה כיום. הסיכומים נתונים להלן.

- הכותנה צורכת כמויות גדולות של חנקן (כ- 30-25 יחידות לדונם) אותן יש לספק לצמח במהלך עונת הגידול
- משך הגידול הארוך של הכותנה מחייב מעקב ופיקוח ארוך ומתיש לאורך כ- 9 שבועות (מ- 21 ימים לפני הפריחה ועד 42 ימים אחרי הפריחה).
- דיגום הפטוטרות המקובל לוקח למגדל זמן רב ומוגבל לשעות הבוקר המוקדמות (לא יאוחר מהשעה 09:00).
- ריכוזי NPK בפרוטוקול הדישון של כותנה נתונים בנספח 2 בסוף הדוח.
- מרבית שטחי הכותנה מושקים במי קולחין המכילים כמויות משתנות של חנקן בהן יש להתחשב בביצוע תכנית הדישון.
- מעבר לשינוי בקרקע, עשויה להיווצר שונות בין מרווחי השקיה שונים בתוך השדה בגלל בעיות טכניות ותקלות בעת מתן הדישון. במהלך ההשקיה.
- שיטת הדיגום המקובל לא תמצא את השונות הזאת. לדוגמה: בשיטת הדיגום המקובלת נהוג לדגום 60 פטוטרות מחלקה של כ- 5 דונם המייצגת שדה אחיד של כ- 100-500 דונם. שדה בסדר גודל כזה מושקה ע"י לא פחות משתי השקיות (ובד"כ יותר משתיים), ולכן במקרה של שונות הנובעת מתקלה באחת ההשקיות, דגימה שתעשה רק על חלק מהשטח המושקה באותה השקיה , הדיגום המקובל לא ייצג את כל השדה.
- בשיטה המוצעת ניתן לשפר את הדיוק במתן הדשן, להגיב לתקלות ולתכנן דישון דיפרנציאלי לפי שונות ההשקיה בשדה.
- שיטת הצילום מהירה וזולה משמעותית משיטת הדיגום המקובלת ומבדיקות המעבדה.
- מוצע להציג את הפתרון בצילום כדוגמה לניטור מרחבי יעיל, אך לא כפתרון יחיד אלא כחלק מסל פתרונות (למשל: צילום מתוך השדה צילום מנקודה שלטת, צילום מרחפן וכו').
- יש שני זני כותנה עיקריים המגודלים בארץ: זן פימה, וזן מכלוא (אקלפי) מוצע לעשות השוואה בין הזנים, ואם יש צורך, לעשות עקומי כיוול שונים לכל זן.
- הדישון החנקני משפיע על הכותנה בכמה אופנים: מחסור גורם לעיכוב צימוח, עיכוב בהתמיינות פרחים ופחיתה ביבול. עודף גורם להוצאות מיותרות, זליגת חנקן לסביבה, לצימוח נמרץ מדי העשוי להפחית יבול בגלל הפחתה בהתמיינות לפריחה ועוד.
- המדד לכמויות הדישון נעשה באמצעות דיגום NO₃ בפטוטרות ע"י מכשיר הנקרא הוריבה . השימוש בו לוקח זמן רב ומוגבל לשעות הבוקר המוקדמות (לא יאוחר מהשעה 09:00. החלופה העיקרית לשיטה היא שליחת צמחים למעבדת שירות שדה. תהליך זה נמשך 2-4 שבועות עד קבלת התוצאות, בנוסף לעלות הבדיקה. בעקבות מגבלות אלו חקלאים רבים מוותרים על הבדיקות או מקבלים החלטות לפי מראה עיניים. לעיתים ידשנו רק כאשר הסבירות למחסור היא גבוהה. בתנאים של אי ודאות לא ידשנו.

בהצעה זו המלצנו להשתמש בטכנולוגיה חדישה שפותחה בחברת AGRIOT.group ומו"פ קטיף. דהיינו להחליף את מראה העיניים בצילום בעזרת אולטרלייט תוך התאמת הידע שנצבר והתוכנה שפותחה עבור צילום קרקעי (בטלפון סלולרי) לצילום אור.

שיטות המחקר:

צולמו שני זני הכותנה העיקריים פימה, וזן המכלוא אקלפי. מהצילום ומהספרות המקצועית הופקה לכל זן עקומת צריכת N ספציפית. נעשתה השוואה בין הזנים ונקבע האם יש צורך בעקומי כיוול שונים לכל זן. ביום הצילומים נאספו עלים ונשלחו למעבדת שרות שדה בחדרה לשטיפה, ייבוש ואנליזה כימית של NPK בטרפים ו NO_3 בפטוטרוט. כיוול הצילומים והפיכת הגוון הירוק (GREENNESS) של כל זן לאחוז חנקן צרוף שנקלט ע"י הצמח נעשה על בסיס השוואה ממוחשבת בין הצילום לתוצאות המעבדה. השוואת הצילום למעבדה תעשה בתאמצעות תוכנות "מערכת עצבים מלאכותית" ו"לימוד מכונה" המשמשת גם את האפליקציה לטלפון נייד. 70 אחוז מהפלט הוקדש לכיוול 30 אחוז ממנו יהיה אימות התוצאות. במהלך העונה בוצעו שתי גיחות צילום. כל גיחת צילום לוותה בצילום קרקעי ובדגימת עלים שנשלחה למעבדת שרות שדה החדרה. הצילום בוצע על שטח של 470 דונם. הגיחה הראשונה 27.06 והדגימות ב 01.07. הגיחה השנייה ב 11.07 והדגימות ב 14.07 השטח היה מפוצל לשני בלוקים. שני הבלוקים צולמו במצלמת RGB משוכללת שהותקנה על מטוס אוטרהלייט וב 5 מצלמות של טלפון נייד לצילום קרקעי. הדגימות הקרקעיות השטח הכללי חולק לשני בלוקים האחד בלוק של כותנה מהזן פימה והשני בלוק של זן המכלוא "אקלפי". בכל אחד מהבלוקים נאספו עלים של צמחים. ס"ה 18 דגימות. מכול דגימה נאספו כ 40 עלים שנשלחו למעבדת שה"מ בחדרה. תשובת המעבדות על תוצאות הדגימות שנשלחו למחרת איסוף העלים התקבלה מבדיקות המעבדה שכללו פטוטרוט לבדיקת ניטרט וטרפים לבדיקת NPK. כל בדיקה הייתה מלווה ב 5-10 צילומים להשוואת %N שהתקבל מבדיקת המעבדה עם %N שהתקבל מצילום RGB ממצלמה המותקנת בטלפון סלולרי בעזרת השיטה שפותחה ע"י חברת AGRIOT.group LTD.

עקרונות תאורטיים בניתוח צילום הכותנה

חומר הגלם של הצילומים הועבר למיפוי במעבדות חברת AGRIOT.group. החברה סיפקה מפות של פיזור אחוזי חנקן צרוף על שטח הכותנה ברזולוציה של 3 ס"מ לפיקסל. המפות הראו את פיזור רמות החנקן בשטח ועל פיהן נקבעה תכנית הדגימה הקרקעית. נדגמו חלקות שלפי המפות היו ביניהן הבדלים גדולים ברמת אחוזי החנקן. להשלמת הניתוח אנו מוסיפים המלצות דישה בנוסף לאחוזי החנקן. בהמלצות הדישה משולבים אחוזי החנקן שנמדדו במעבדות AGRIOT.group באפליקציה הכוללת גם מאגר נתונים ובו מודל סימולציה לניתוח תוצאות מניסויים רבים בעולם כמתואר בהמשך. חישוב כמות החנקן שנקלטה בכותנה

ייחוד שיטת המדידה שפותחה בחברת AGRIOT.group הוא ביכולתה לספק למגדל ו/או למדריך החקלאי המלצה כמותית לדישה מתוך מדידת כמות החנקן שנקלטה ע"י הגידול מהצצה עד ליום הצילום. השיטות האחרות הקיימות היום כמו שימוש ב"הוריבה" לקביעת רמת הניטרט בפטוטרוט העלים או ה SPAD המשמש לקביעת כמות הכלורופיל בטרף העלים מחייבות מעבר בין פונקציות קורלציה המחייבות כיוולים, אינטואיציה של המשתמש וניסיון אישי להמלצת דישה. כמות החנקן שנקלטה עד יום הצילום ב ק"ג/דונם (Nuptake) מחושבת בשוואה (1) ממכפלת אחוז החנקן מבוטאת כפרקציה של משקל החנקן (%N/100) מתוך המשקל היבש של העלווה ב ק"ג/דונם (DM) ביום הצילום (t).
$$\text{Nuptake}_{(t)} = \%N_{(t)} * \text{DM}_{(t)} / 100 \quad (1)$$
 המצלמה המותקנת על מטוס האולטרלייט מודדת את הפיזור המרחבי של אחוז החנקן (%N/100) וגם את הפיזור המרחבי של נפח העלווה $V_{(t)}$ (מ"ק/דונם). את הנעלם היחיד החסר לקבלת משקל החומר היבש ביום הצילום $(DM_{(t)})$ בשוואה (1) ניתן לחשב מתוך $V_{(t)}$ נפח העלווה הנמדד על ידי צילום האויר כאשר מגדירים מדד נוף הנקרא הצפיפות המדומה של העלווה DM_6 (ביחידות של ק"ג/מ"ק). גודל זה הוא גודל טבעי (אינהרנטי) המאפיין את הצמח עצמו ולא את תנאי הגידול שלו. לכל צמח צפיפות מדומה משלו. המונח

צפיפות מדומה נובע מכך שנפח העלווה $V(t)$ כולל בתוכו את נפח העלים עצמם וגם את נפח האוויר שבין העלים בעוד משקל העלים היבשים עצמם ML (הצפיפות האמיתית ק"ג/מ"ק) אינו כולל את האוויר שבניהם ולא את משקל המים שבהם. לפיכך:

$$D_{Mb}=ML/V \quad (2)$$

כך שמקישור משוואות (1 & 2) מתקבלת משוואה

$$Nuptake(t)= \%N(t)* D_{Mb} * V(t)/100 \quad (3)$$

כאמור $\%N$ ו $V(t)$ נמדדו בצילום האוירי מרחוק והצפיפות המדומה D_{Mb} של עלי הכותנה התקבלה מתוך נתונים שאפשר למצוא בספרות ולדוגמה ריכזנו אותם בטבלה 1.

טבלה 1 הצפיפות המדומה של כמה שדות כותנה מחושבת ומניסויים וממודל
DSSAT(=Decision Support System for Agricultural Technology)

ממוצע צפיפות מדומה של העלווה ק"ג/מ"ק	מקסימום צפיפות מדומה של העלווה ק"ג/מ"ק	מינימום צפיפות מדומה של העלווה ק"ג/מ"ק	מיקום הגידול והטיפול
0.79	0.88	0.70	מודל אריזונה 350 CO_2 ח"מ
0.89	1.08	0.7	מודל אריזונה 550 CO_2 ח"מ
0.86	1.03	0.7	ניסוי אריזונה 350 CO_2 ח"מ
0.83	1.06	0.7	ניסוי אריזונה 550 CO_2 ח"מ
0.8	0.9	0.70	מודל גורג'יה השקיה
0.7	0.7	0.7	מודל ג'ורג'יה בעל
0.83	0.97	0.7	ניסוי גורג'יה השקיה
0.74	0.78	0.7	ניסוי ג'ורג'יה בעל
0.81 ± 0.06	ממוצע \pm סטיית תקן		

מהטבלה הנ"ל רואים כי בצמחים בוגרים המכסים את החלק העיקרי של הקרקע תנאי גידול משתנים כמו ריכוזי CO_2 באקלים מדברי באריזונה , והשקיה או בעל באקלים לח בג'ורג'יה לא משפיעים בצורה דרמטית על הצפיפות המדומה של שדות הכותנה. הממוצע הכללי היה 0.81 ק"ג/מ"ק וסטיית התקן \pm כ 7%. אחדות ממוצעת זו מצדיקה קירוב טוב לשימוש בצפיפות המדומה של שדה כותנה (0.81 ק"ג/מ"ק) גם בישראל למרות שהניסויים נעשו בארה"ב.

תוצאות ודיון:

תוצאות מקדימות :

חברת AgrIoT.group השתמשה בשיטת הצילום לייצור עקומת צריכה של חנקן בחיטה, בתירס בגזר עגבניות פלפל חסה ועוד. השיטה נבחנה בהצלחה על חסה בסין ובהודו וכיום עוברת ניסויים בבוטסואנה. בקנדה בהודו ישראל רומניה ועוד.

תוצאות המחקר הנוכחי:

כאמור משך הגידול הארוך של הכותנה מלווה במעקב ופיקוח ארוך ומתיש לאורך כ- 9 שבועות (מ- 21 ימים לפני הפריחה ועד 42 ימים אחרי הפריחה). הפיקוח בתקופה הקריטית הזו מתרכז בעיקר בהספקת חנקן בכמות מדויקת לצמח. על מנת לשמור על רמת החנקן הדרושה יש לבצע בדיקות מעבדה ולקבל תוצאות בזמן אמיתי ולא באיחור כשהן כבר לא רלוונטיות. לשם כך נעשתה השוואה שתוצאותיה נתונות בטבלה 2.

טבלה 2. לוח הזמנים להשוואת רווח הימים מביצוע עד למסירת התוצאות מצילומי האוויר לבין השיטה המקובלת מביצוע הדגימה עד למסירת התוצאות מהמעבדה.

תאריך הצילום	גמר ניתוח הצילום	תאריך דגימת העלים	ימים מצילום לדגימה	תאריך מסירת התוצאות מהמעבדה	ימים מדגימה למסירת תוצאות מהמעבדה
27.06	29.06	01.07	4	12.07	11
11.07	13.07	14.07	3	20.07	6

מלוחות הזמנים בטבלה 2 רואים כי כאשר מתבססים על צילום אוויר התקבלה התוצאה המבוקשת תוך 3-4 ימים לעומת זאת כאשר נשלחו דוגמאות העלים למעבדה זמן התהליך היה פי 2-3 ארוך יותר. כל זה בנוסף לשעות העבודה והמאמץ שמחייב איסוף הדוגמאות. לפיכך אם הצילום משתלם ותוצאותיו סבירות עדיף להשתמש בו.

אחוזי החנקן במעבדה ובצילום

(א) סיכום מילולי של צילומי האוויר.

התפלגות אחוז החנקן נתונה על מפות הצילומים בנספח 1.

נספח 1

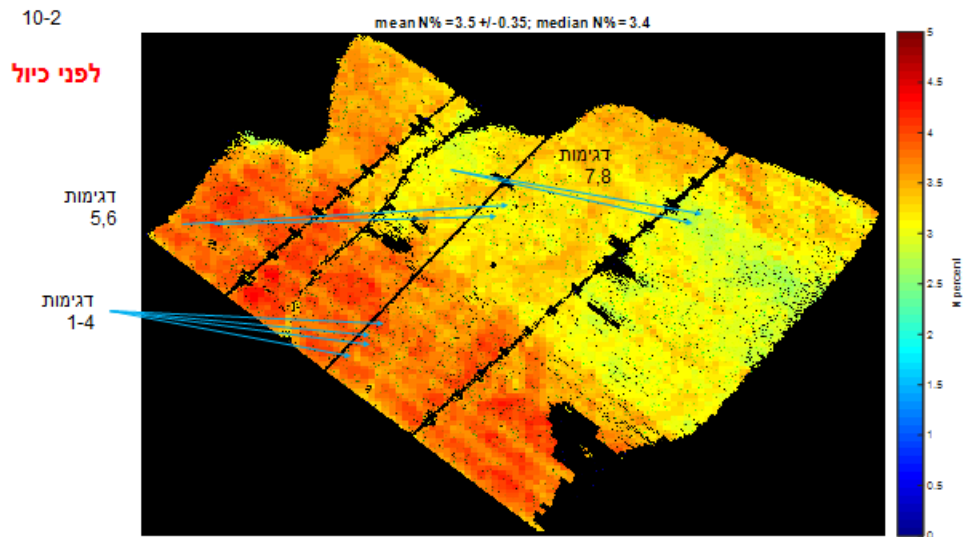
power point =LINK קישור למצגת

חלקה 10/2 מערב זן אקלפי

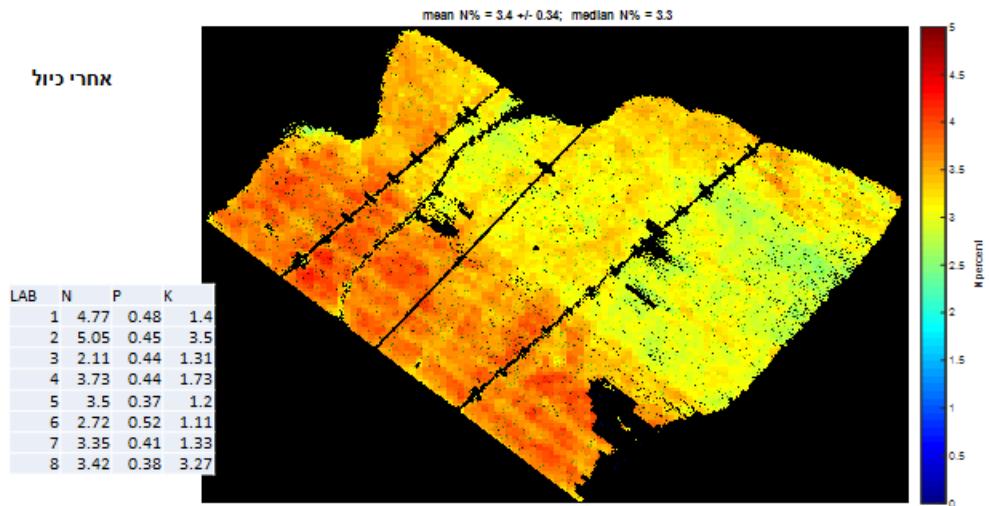
- אחוז החנקן הממוצע עומד על **3.1%** עם שונות של $\pm 0.26\%$ (חלקה לא מאוד הומוגנית)
- בקובץ המצגת (מצורף) מצוינים גם ערכי המעבדה של הדגימות
- ניתן לראות כי רמת החנקן בעלים בחלק הדרומי והמערבי בחלקה גבוהות לעומת החלק המזרחי
- גם במפת הביומסה ניתן לראות שונות בחלקה בין הצד המזרחי בו רמת הביומסה נמוכה יותר מייתר החלקה.

חלקה 10/2 זן אקלפי

- אחוז החנקן הממוצע גבוה ניתן לראות כי רמת החנקן בעלים בחלק הדרומי והמערבי בחלקה גבוהות לעומת החלק המזרחי. במפת הביומסה ניתן לראות שונות בחלקה בין הצד הצפוני לדרומי וכן רמה גבוהה יותר של ביומסה בצד המזרחי לעומת המערבי.
- בנספח 1. מופיע כ-PPT ב-LINK בסוף פרק התוצאות הזה. כאן נתונה רק דוגמה. בדוגמה מוצגת התפלגות אחוז החנקן על בלוק שנקרא 10/2: בדוגמה מוצג מסמך סטנדרטי המופק ע"י מעבדות חברת AGRIOT.group LTD לתכנון מרחב דגימות העלים.



צילום 1. פיזור אחוזי החנקן בשטח האקלפי 10/2. א) הקוים בכחול מציינים את נקודות הדגימה שנבחרו לכיול מתוך הצילום. ב) מימין סרגל הכיול ל-N%. ג) השורה העליונה מסכמת את N% הממוצע על כל השטח סטיית התקן והמידיין כוללים ערכים גבוהים ונמוכים.



צילום 2. הצילום הראשון עובד לפני הכיול והאחוז הממוצע היה 0.35 ± 3.5 ולאחר הכיול האחוז הממוצע היה 0.34 ± 3.4 תרומת הכיול מזערית.

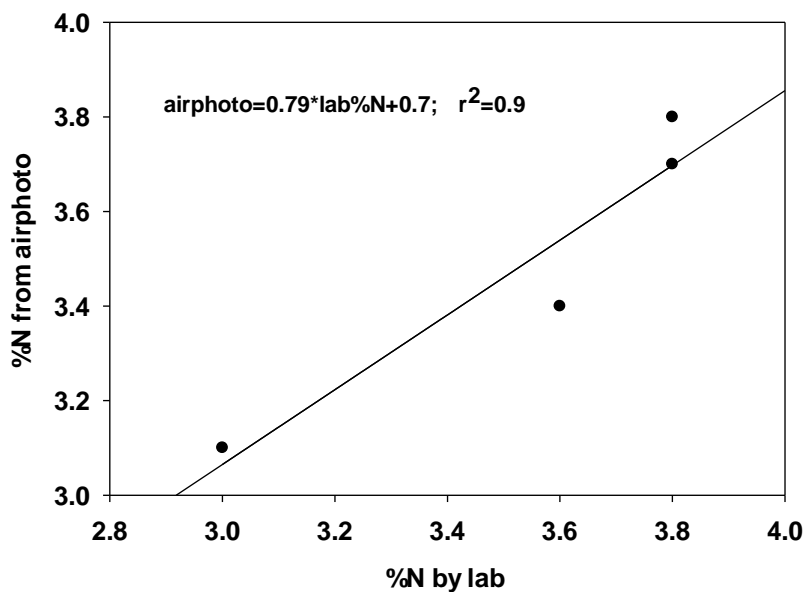
השוואה בין אחוז התנקן בצילום ובמעבדה

צילום בלוק 10/3 פימה (מופיע בנספח) נתן תוצאות שונות במקצת % N לפני כיול היה בממוצע 0.18 ± 3.3 ואחרי הכיול 0.24 ± 3.8 . דהיינו: אחרי הכיול האחוז הממוצע וסטיית התקן של N% גדלו. תוצאות המעבדה מובאות בנספח המצורף.

נספח 1

LINK = קישור למצגת power point

סיכום ממוצעי המדידות נתון בצירור 1 להשוואה בין תוצאות המעבדה לתוצאות צילומי האוויר.



צירור 1 סיכום ממוצעי המדידות לאחר הכיול במעבדה (ציר ה Xים) ובצילום האוויר (ציר ה Yים)

(בנספח נתונים הערכים המספריים של הגרף)

מצירור 1 נראה כי בשתי שיטות המדידה התקבלו ערכים הנעים בין 3 ל 4 אחוזי חנקן. והמגמות זהות. בהשוואה למחקר שנערך באוניברסיטת ג'ורג'יה ארה"ב ושימש אותנו לחישוב פונקציית המטרה בפרק הבא גם בו טווח האחוזים היה בין 3 ל 4 אחוז 110-130 יום אחרי הזריעה .

מקו הרגרסיה ניתן לחשב את הערך שבו % N שנמדד במעבדה משתווה ל %N שהתקבל מצילום האוויר

$$\text{airphoto} = \text{lab } N\% = 0. ; 0.79 * \text{lab } \%N + 0.7 - \text{lab } N\% = 0 ; \text{lab } N\% = \frac{0.7}{(1 - 0.79)} = 3.3$$

מהמשוואה הנ"ל רואים כי המגמות מתחלפות ב 3.3%. דהיינו: כאשר מדידות מעבדה היו גבוהות מ 3.3%. הן גם גבוהות מאחוזי החנקן שהתקבלו מצילומי האוויר ומתחת ל 3.3% אחוזי חנקן במעבדה תוצאות צילומי האוויר היו גבוהות במקצת מתוצאות המעבדה. עם זאת מקדם הקורלציה הגבוה מצביע על מתאם מצוין בין שתי השיטות לכל מטרה פרקטית, ומנקודת המבט האגרונומית ההבדלים זניחים. $R^2=0.9$

השוואה לבדיקות הניטרט בפטוטרות העלים.

תוצאות בדיקות המעבדה נתונות בנספח והקישורית LINK בסוף הדוח.

נספח 1

LINK = קישור למצגת power point

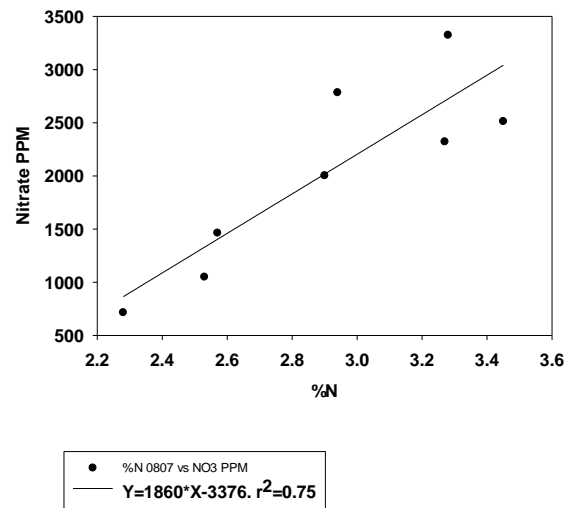
הערכים שהתקבלו מבדיקת הפטוטורות נתונים בטבלה 2.

תאריך גיחה/דגימה	ימים מתחילת פריחה	ערך מצופה ח"מ	ערך מינימום ח"מ	מקסימום ח"מ	ממוצע ח"מ	סטיית תקן (SD) ח"מ
01.07.2020	14	5000	716	3325	2119	883
14.07.2010	35	3500	604	4645	2014	1288

מהטבלה ברור כי ממוצעי ערכי הניטרט שהתקבלו היו נמוכים מקריטריון הדישון. על הבעיה הזו ניתן להתגבר בקלות ע"י תוספת דשן אך על סטיות התקן הגדולות קשה. על פי ערכי המקסימום ניתן להתרשם כי בדגימה השנייה שנלקחה 35 יום מתחילת הפריחה לא הייתה בעיית מחסור בחנקן. לעומת זאת, 14 יום מתחילת הפריחה זוהתה בעיית מחסור בחנקן אך היא נפתרה במהלך השבועיים שעברו עד הדגימה השנייה. יש לשים לב כי ההסתכלות הזו על מצב החנקן בשדה הכותנה מבוססת רק על ערכי המקסימום. ושיאוות ההערכה ($40 < \%SD < 65 = \text{coefficient of variation}$) יכולות להתקבל מ3 מקורות. א) טעיות גדולות בבדיקת הניטרט במעבדה. ב) הבדלים גדולים בריכוז הניטרט בעלים שנדגמו ג) צירוף הגורמים הנ"ל.

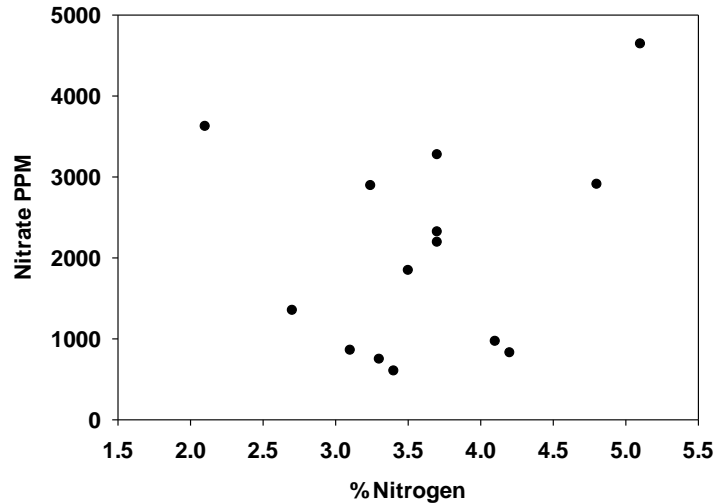
במחשבה על מטרת הניסוי שהוגדרה בתחילת הדו"ח: **קביעה מהירה של תכולת החנקן בכותנה בעזרת מצלמה דיגיטלית הנמצאת על מטוס אולטרה לייט ובכל טלפון סלולרי במטרה להגיע להמלצות לגבי דישוני ראש**. נראה כי בדיקת הניטרט בפטוטורות אינה כלי אמין לקביעת מועד וכמות הדישון הנדרשים לכותנה בשלבים הפנולוגיים השונים. עם זאת את הצעתינו לבחינת שיטות מתקדמות יותר לאותה מטרה יש להוסיף ולבחון.
בחינה ראשונית שעשינו הייתה בתוצאות המעבדה: בחינת הקורלציה בין אחוז החנקן בעלה והניטרט בפטוטורת.

Nitrate vs %N 08/07/2020



ציור 4 בחינת הקורלציה בין אחוז החנקן בעלה לריכוז הניטרט בפטוטורות בדגימת ה 08 ליולי.

Nitrate vs %N 19/07/2020



ציור 5 בחינת הקורלציה בין אחוז החנקן בעלה לריכוז הניטרט בפטוטורות בדגימת ה 19 ליולי. מקדם הקורלציה $R^2 = 0.75$ בדגימה הראשונה (ציור 4) היה סביר לניסויי שדה בקירוב ראשוני ניתן לתרגם אותו לאחוזי חנקן ולהשתמש ב "תרגום" לחישוב המלצות דישון. עם זאת, בדגימה השנייה ב 19 ליולי לא נמדד קשר בין אחוז החנקן וריכוז הניטרט הפטוטורות (ציור 5).

מסקנות

בשל חוסר היציבות שנמדד בניסוי (טבלה 2 וציור 5) נראה כי מדד ריכוז ניטרט בפטוטורות עלי הכותנה מיושן ומומלץ להחליף אותו במדדים חדישים יותר. מדד כמו זה מומלץ על ידינו המתבסס על מדידה פשוטה של אחוז החנקן ונגזרתו להמלצת דישון. מבחינת העבודה, צילום האוויר זול יותר ומחייב פחות עבודה מבדיקת פטוטורות המשמשת את המגדלים כיום.

פוטנציאל השימוש במצלמה דיגיטלית צבעונית לזיהוי מצב N של כותנה

מטרת הניסוי הייתה לקבוע (א) האם ציוד זמין כמו מצלמת סמארטפון יכול לכמת את מאפייני הצבע ו- (ב) האם הבדלי צבע מכומתים תואמים לאחוז N בעלי הכותנה.

רוב מצלמות הצבע מצלמות תמונות במרחב הצבעים של RGB. הצבע מתבטא כשלישיית אדום ירוק כחול עם ייצוג של ערכי הפיקסלים השחורים כ- (0, 0, 0) והלבן המייצג ביותר של כל פיקסל כ- (255, 255, 255) עם עומק 8 ביטים. מאפייני צבע התמונה, למשל ירוקות או צהבהבות, ניתן לייצג כמדדי הצבעים בהם מוגדרים צבעים על ידי שילוב של רכיבי RGB.

בעבודה הנוכחית חושבו שני מדדים שהוצעו בספרות, כולל ירוקות [1] וצהבהבות (או אינדקס אדום-כחול המוגדר כ- $[R-B] / [R+B]$ [2]).

איור 1 מציג דוגמה ליחס בין $(R - B) / (R+B)$ ותכולת כלורופיל בחיטה ושיפון שהושג באמצעות מצלמת RGB [2]. הוזכר כי ההבדלים בין חיטה לשיפון לא היו מובהקים סטטיסטית עבור ערכים מחושבים כלשהם, ולכן בוצע ניתוח על נתונים משולבים של שני המינים.

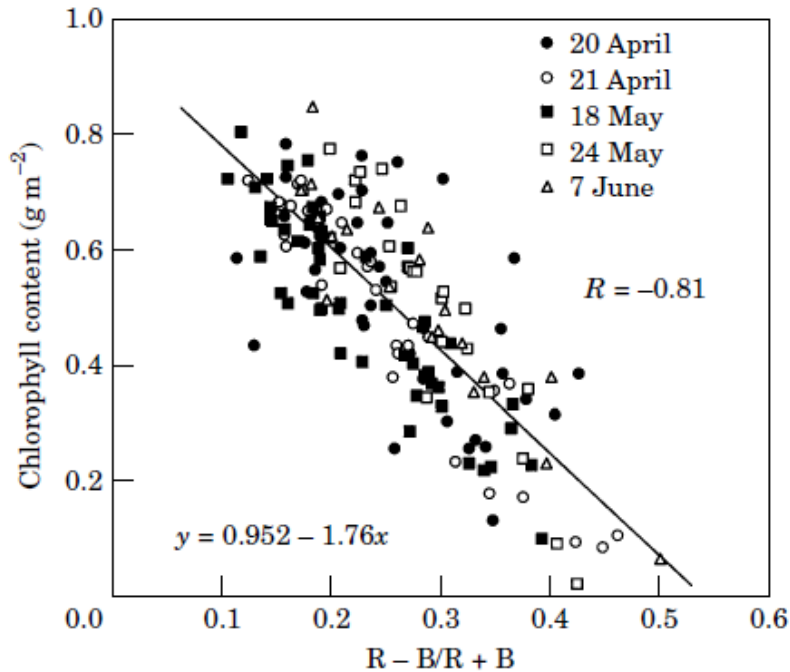


Fig.6 Relation between $(R-B)/(R+B)$ and chlorophyll content in wheat and rye [2]

במדידות שלנו, רכיבי הצבע האדום, הירוק והכחול שימשו לקבלת ערכי ה- RGB הממוצעים מניתוח צבע התמונה הדיגיטלית של חופת הצמח. לאחר מכן נעשה שימוש בערכי RGB ממוצעים אלה לקביעת מדדי צבע (ירקרקות / צהבהבות) לצורך השוואה לאחוז החנקן בעלים שנמדדו במעבדה הכימית. תמונות דיגיטליות של חופת הכותנה נאספו באמצעות טלפון חכם (סמסונג, דגם Galaxy S9) מ-12 חלקות שונות ב-1 ביולי 2020 וב-14 ביולי 2020. כל התמונות צולמו בין השעות 10 ל-13 בתנאים שטופי שמש. תמונות צולמו בעמידה צמוד לעלווה תוך החזקת המצלמה ישירות מעל הצמח (0.2 - 0.3 מ' מעל חופת הכותנה). הוקפד להימנע מהטלת צללים. דגימות עלי הכותנה שצולמו נלקחו לניתוח הכולל של %N על ידי מעבדה הכימית סטנדרטית (שיטת Kjeldahl). איור 2 מציג דוגמה לחלקות בעלות רמה %N שונה בעלי הכותנה: (א) לחלקה המקבלת את שיעור N הגבוה (N = 4.7%) יש צבע ירוק כהה יותר; (ב) העלווה המקבלת את שיעור N הנמוך יותר (N = 2.5%) יש ירוק בהיר יותר.



(A) N = 4.7%



(B) N = 2.5%

Fig.7 Plots with different N% level in cotton leaves.

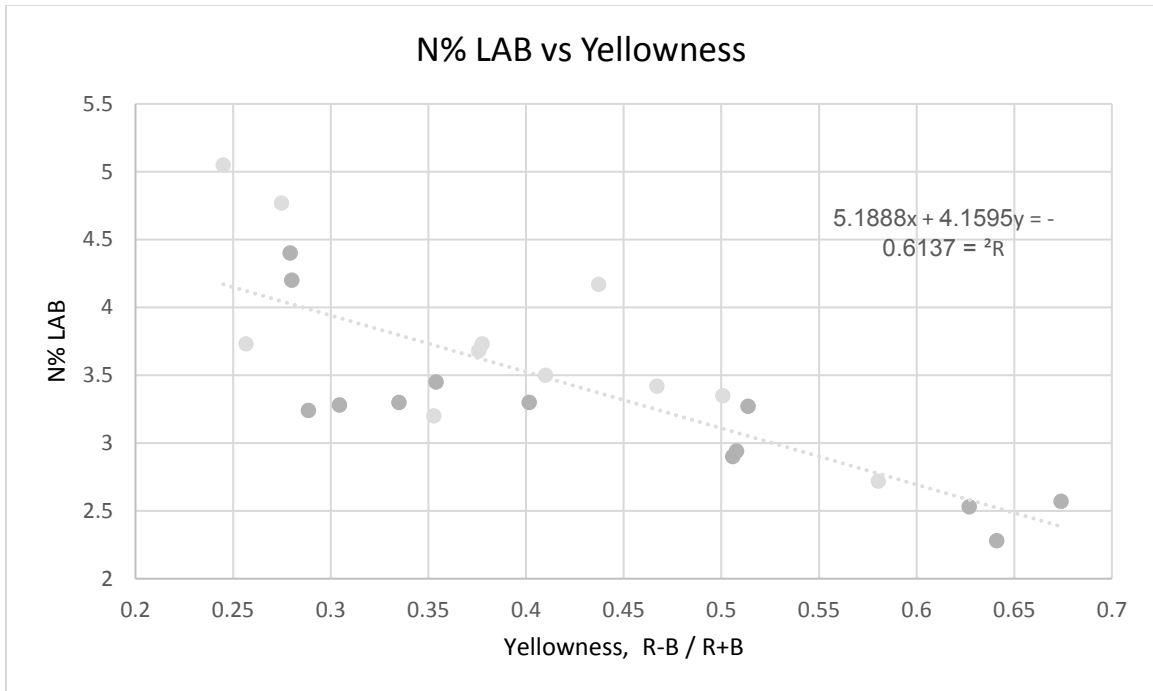
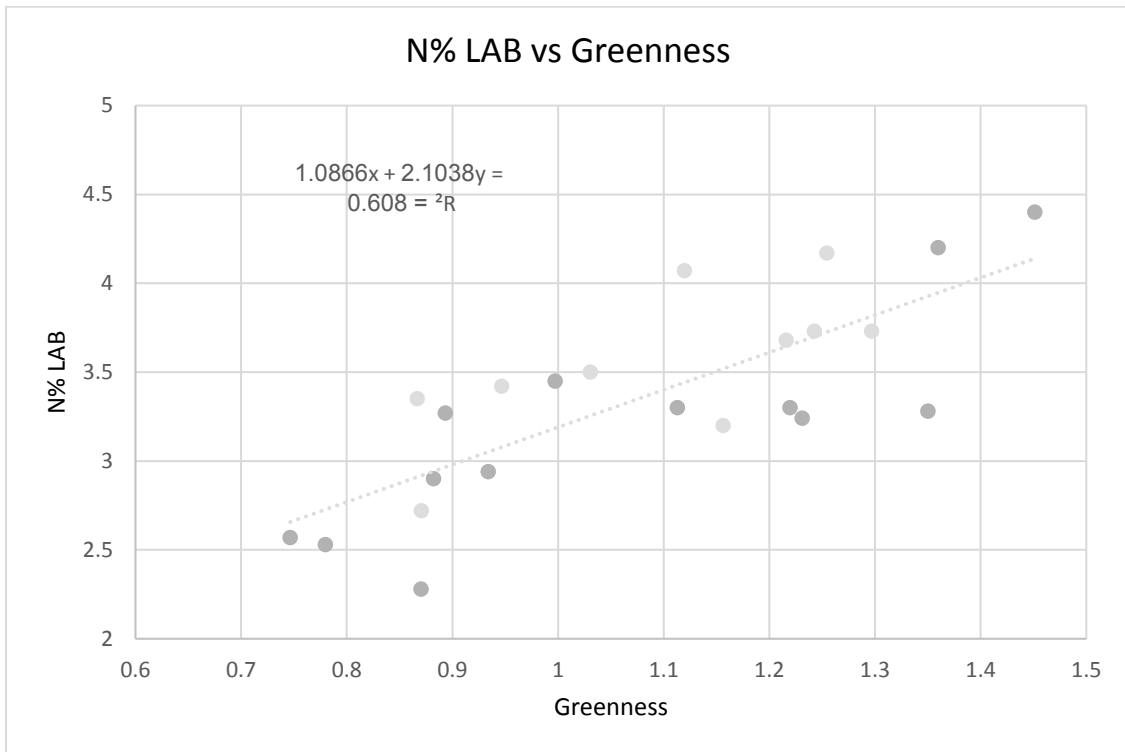


Fig.8. N% LAB and measured plot Yellowness. Sampling data: 01-07-20 (orange) and 14-07-20 (blue)



איור 9. N% LAB ומדידות ירקרקות. נתוני דגימה: 01-07-20 (כתום) ו- 14-07-20 (כחול)

קשרים הפוכים משמעותיים ($R^2 = 0.61$) נמדדו בין עוצמת הצהבהבות של תמונת החופה לריכוז N הכולל בעלי הכותנה (איור 3), ונמצא קשר ישיר מובהק בין עוצמת הירקרקות של תמונת העלווה לבין %N הכולל עלי הכותנה (איור 4).

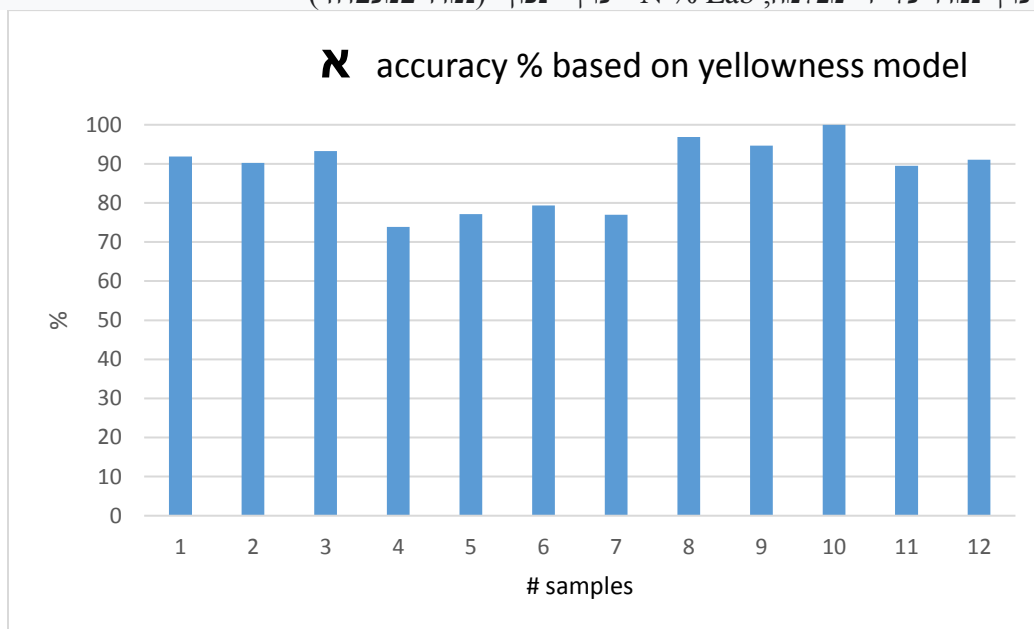
כדי לאמוד את התוצאה הנמדדת באמצעות הטלפון החכם ביחס לתוצאת המעבדה, נעשה שימוש בדיוק היחסי [באחוזים]. לשם כך הנתונים שהתקבלו ב- 1 ביולי 2020 שימשו כמודל כיוול, והנתונים שנאספו ב- 14 ביולי 2020 שימשו לאימות.

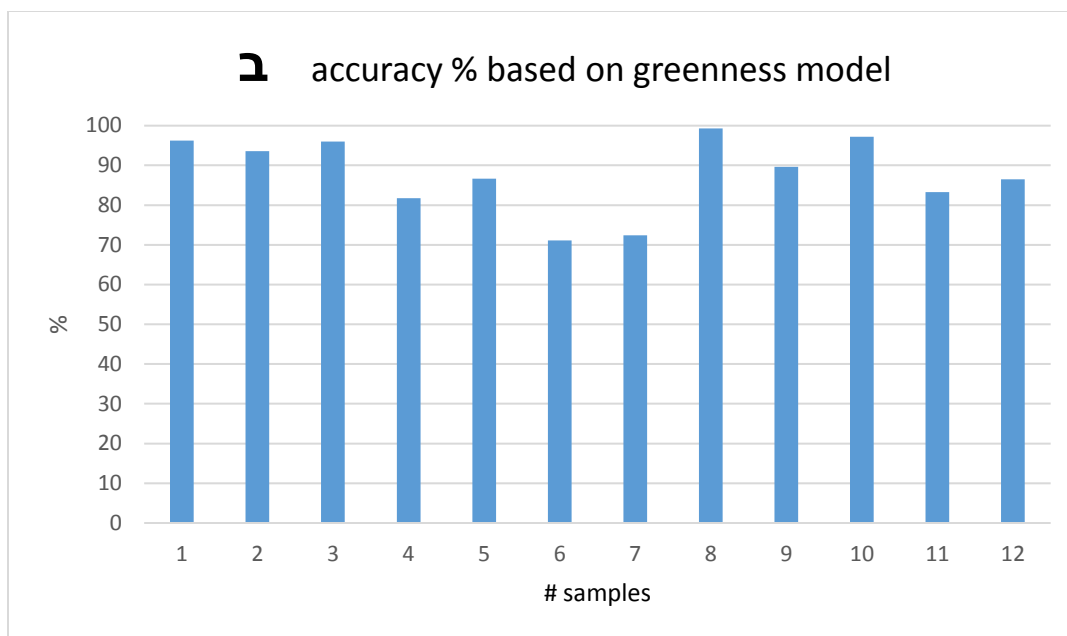
דיוק יחסי מתייחס לקרבת ערך מדוד לערך "אמיתי". ערך ה-N "האמיתי" תואם את ה-N% הנמדד על ידי מעבדה כימית סטנדרטית

$$\text{Relative Error}\% = \left| \frac{\text{CAM } N\% - \text{LAB } N\%}{\text{LAB } N\%} \right| = \frac{\text{Absolute error}}{\text{"True" value}} \times 100\%$$

$$\text{Accuracy}\% = \left[1 - \left| \frac{\text{CAM } N\% - \text{LAB } N\%}{\text{LAB } N\%} \right| \right] \times 100\%$$

(N%=CAM - ערך נמדד על ידי מצלמה, N % Lab - ערך "נכון" (נמדד במעבדה))





איור 10. הערכת הדיוק N%. N מוגדר מצהבהבות א וירקרות ב של חופת הכותנה $(R-B) / (R + B)$. דיוק ממוצע 87%. נתונים שנאספו בתאריך 14-07-20.

סיכום ההבדלים בצבע הכותנה כתוצאה מדישון N ברמות שונות קבלו ערכים כמותיים באמצעות ניתוח תמונות דיגיטליות. התוצאות מראות את הפוטנציאל של שימוש במצלמה דיגיטלית צבעונית ככלי לחישה מרחוק קרקעית לזיהוי מצב ה-N של הכותנה ולקבלת החלטות דישון

References

- [1] Karcher D.E., Richardson M.D.: Quantifying turfgrass color using digital image analysis. *Crop Sci.* **43**: 943–951, 2003.
- [2] Kawashima S., Nakatani M.: An algorithm for estimating chlorophyll content in leaves using a video camera. *Annals of Botany* **81**: 49–54, 1998.
- Larry C. Guerra, Axel Garcia y Garcia, Gerrit Hoogenboom
 The University of Georgia, Bio & Ag Engineering
 SITE@
 VRI Pivot, Stripling Irrigation Research Park, Cami
- הערה: תאריך זריעה 12.04.2004 יבול הלקטים 600 ק"ג/דונם אקלים דומה לישראל פרט לעונת הטורנדו.

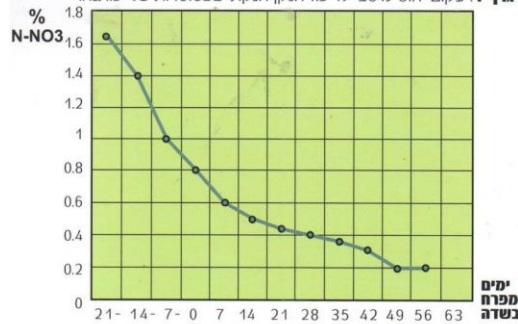
נספח 1

LINK = קישור למצגת power point

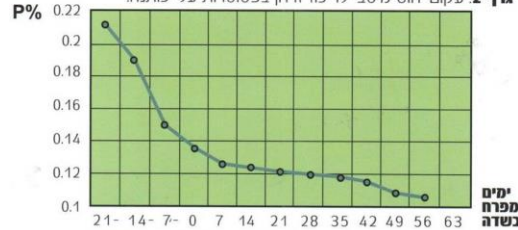
דוח סיכום כותנה בצרעה

נספח 2 ריכוזי NPK בפרוטוקול הדישון של כותנה.

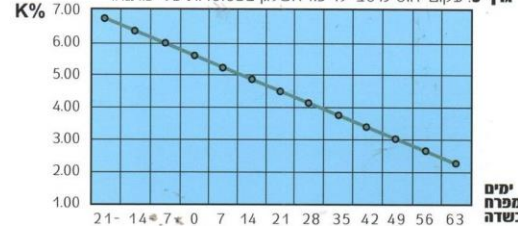
גרף 1: עקום יחס מיטבי לריכוז חנקן חנקתי בפטטורות עלי כותנה.



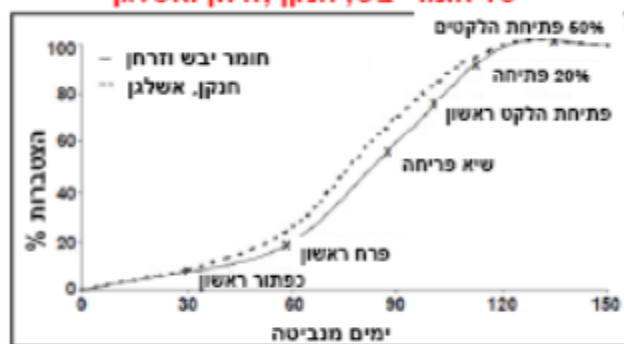
גרף 2: עקום יחס מיטבי לריכוז זרחן בפטטורות עלי כותנה.



גרף 3: עקום יחס מיטבי לריכוז אשלגן בפטטורות עלי כותנה.



הצטברות יחסית בכותנה של חומר יבש, חנקן, זרחן ואשלגן



איור 1: הצטברות חומר יבש בכותנה. הצטברות הזרחן זהה להצטברות החומר היבש, הצטברות החנקן והאשלגן גבוהה יותר בין 30 יום ל-100 יום.