

דו"ח מסכם/שנתי לתכנית מאיץ – יק"א 2020

נושא המחקר:

שימוש בצמח הקינואה (*Chenopodium quinoa Willd*) כגידול חדש למספוא והשפעתו על ביצועים, יעילות ייצור וניצולת מזון פרטנית בטלאים.

The use of quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*) as a new forage crop and its effect on performance, individual production and feed efficiency of lambs.

חוקר ראשי: ד"ר אביב אשר¹

חוקרים שותפים: ד"ר ליאור רובינוביץ¹, ד"ר שמואל גלילי², ד"ר חיים ליבוביץ³
¹ מכון המחקר מיגל- מו"פ צפון; ² המחלקה לגדיש וירקות המכון למדעי הצמח במנהל המחקר החקלאי; ³ מו"פ חקלאי העמק.

1. רקע:

מעלי גירה בישראל צורכים כ- 700 אלף טון חומר יבש בשנה. על פי רוב, מדובר על מספוא סיבי מגידול מקומי, בעיקר תחמיץ, שגדל ברובו בתנאי בעל ובחלקו בהשקיה קיצית על מים מושבים. בשל היקפו הגדול של גידול החיטה מסך כל שטחי הגד"ש (מדי שנה מגדלים בארץ כמיליון דונם חיטה) קיים קושי בהתמודדות עם מחלות, מזיקים ועשבים רעים במחזור הפלחה. פתרון אפשרי לבעיה הוא גוון צמחי המספוא במחזור. גורם נוסף ומכריע בקביעת הרכבו של ענף המספוא בישראל הוא המחסור במים, המהווה גורם מגביל עיקרי בהתפתחות צמחים ויבולי גידולים חקלאיים. נכון להיום, צפויה בעיה זו אף להחריף בשל הדרישה הגוברת למים לשימוש ביתי ותעשייתי, לצד השינוי האקלימי הגלובלי. אחת הדרכים המבטיחות להתמודדות עם המחסור במים בחקלאות היא אימוץ גידולים וממשקים בעלי ניצולת מים גבוהה (היחס בין היבול או כלל חומר יבש לצריכת המים של הגידול). בעיה נוספת, נוגעת למקורות החלבון במנת ההזנה של מעלי גירה. גידולים חקלאיים בעלי תכולת חלבון גבוהה הולכים ומתייקרים עם השנים, והופכים פחות נגישים וכדאיים כלכלית עבור המגדלים, המחפשים מקורות חלבון חלופיים. גידול צמח הקינואה למספוא טומן בחובו ערך פוטנציאלי גבוה להזנת מע"ג זאת בשל יתרונותיו החקלאיים, המתבטאים ביעילות ניצולת מים גבוהה, פוטנציאל יבול גבוה באיכות גבוה, יכולת שימור כתחמיץ ותכולת חלבון גבוהה¹. כלומר, גידול קינואה למספוא הינו בעל פוטנציאל רב למתן מענה לשלושת הגורמים המגבילים את גידולי המספוא בארץ, כפי שצוינו לעיל. כמו כן, בחלק מזוני הקינואה, קליפת הזרע הינה בעלת תכולה גבוהה של ספונינים-גליקוזידים מרירים אשר מוסרים בתהליך הפקת הזרעים למאכל אדם², אך כאשר מדובר בהזנת מעלי גירה בצמח השלם בשלב שבו ריכוז הספונינים נמוך (נקצר למספוא עוד לפני הבשלת הגרגיר) אין צורך בתהליך הסרת הספונינים. בספרות המקצועית אף מתוארת השפעה

חיובית של הספונינים על נעכלות המזון והפחתה משמעותית בפליטת גזי חממה במעלי גירה^{4, 3}. בעשור האחרון נבחן השימוש בצמח הקינואה כגידול חדש למספוא בדרום אמריקה, באירופה, ובחמש השנים האחרונות אף בישראל (במסגרת מחקרי מו"פ צפון וחלקות מודל ברחבי הארץ). במחקר שנערך בקובה, בו נבחנו שבעה גידולים לצרכי מספוא, ביניהם קינואה, תירס, חמנייה, סויה, קינף ואמרנטוס, נמצאה הקינואה כמומלצת לייצור מספוא באיכות גבוהה⁵. יתרה מזאת, במחקר אחר בו נבדקו ערכי הנעכלות ותכולת המזון בשלבי התפתחות שונים של צמח הקינואה, נמצא כי אחוז החלבון בצמח השלם גבוה, ונע בין 13.27% בשלב הווגטיבי הצעיר ל 15.08% בשלב הרפרודוקטיבי, לאחר מילוי הגרגר. בבדיקות נעכלות חומר יבש במבחנה dry matter (*In-vitro digestibility; IVDMD*), נמצא שערכי הנעכלות של הצמח השלם בשלב הצעיר גבוהים מאוד (92%) ויורדים בהדרגה עם התפתחות הצמח עד לכדי 71% בצמח הבוגר⁶. במחקר שנערך בהולנד ובבלגיה ובו בחנו שילוב של תחמיץ קינואה בהשוואה לתחמיץ תלתן במנה כולית לפרות חולבות⁷, נמצא שהזנה בתחמיץ קינואה שיפרה את צריכת המזון (קבוצתית) ותנובת החלב והעלתה את אחוז השומן בחלב. נכון להיום, המידע הקיים בספרות בנוגע לשימוש בקינואה כצמח מספוא, עוסק בעיקר בהרכב הקינואה ובמידת נעכלותו של הצמח במבחנה (נעכלות *in-vitro*). יחד עם זאת, קיים מחסור משמעותי במידע תשתיתי בסיסי ויישומי הנוגע להשפעת הזנה בקינואה על ביצועי מע"ג ברמה הקבוצתית ככלל וברמה הפרטנית בפרט. שילוב של המידע הקיים בספרות כיום עם תוצאות הקדמיות ממספר ניסויים שביצענו בארץ בשלושת השנים האחרונות מצביע על הפוטנציאל הגבוה של הקינואה לשמש כצמח מספוא איכותי וחדש לסל גידולי השדה למספוא בארץ.

חשיבות המחקר לחקלאות ישראל: הגדלת ייצור המספוא המקומי הינו אינטרס כלכלי רב ערך למגדלי הבקר והצאן בישראל נוכח עליית מחירי המזון הגס בשנים האחרונות. לשם הגדלת שטחי המספוא יש צורך במציאת גידולים חדשים לגיוון מחזור הזרעים ובמיוחד כאלו שיוכלו להוות אלטרנטיבה לחיטה למספוא. ההצדקה לבחינת הקינואה כצמח מספוא להזנת מעלי גירה נובעת ממספר יתרונות: (1) לצמח הקינואה יתרון ביבול ח"י לדונם (כגידול חורפי הגיע במספר קווים מעל ל- 1250 ק"ג/דונם כאשר אחוז הח"י בצמח עמד על 28%), קצב צימוח מהיר (קציר לתחמיץ 70 עד 80 יום מזריעה באביב/קיץ ו 90 עד 115 יום בחורף), ויכולת אדפטציה למגוון רחב של סוגי קרקעות ותנאי אקלים. (2) ערך תזונתי גבוה המתבטא באחוז חלבון גבוה, אחוז ליגנין נמוך, נעכלות דופן תא ונעכלות ח"י גבוהה יחסית לחיטה (נכון לשחת, תחמיץ וקש). (3) לקינואה יעילות ניצול מים גבוהה לייצור חומר יבש. השילוב של הוצאות גידול נמוכות, יכול גבוה באיכות גבוהה מצביעים על כך שגידול הצמח למספוא טומן בחובו פוטנציאל גבוה, הן מהבחינה הכלכלית והן מבחינת איכות המזון. תוצאות עבודה זו, יתרמו מידע רב העשוי לבסס את השימוש בקינואה כצמח מספוא איכותי וחדש במחזור הגידולים בישראל.

2. מטרות התוכנית: באמצעות המחקר הנוכחי, נבקש לבחון כיצד משפיעה הזנה בצמח הקינואה על ביצועים, יעילות ייצור וניצולת מזון לגדילה בטלאים באופן אינדיבידואלי ועל הרכב ואחוז הטיבחה כמוצר קצה, בהשוואה להזנה בחיטה למספוא.

3. אבני דרך

אבן הדרך	תיאור אבן הדרך ואופן בדיקת העמידה בה
1. יצירת חומר הגלם (הקינואה) כתחמיץ להזנת מעלי גירה.	גידול קינואה למספוא בצפון הארץ בהיקף של 1-2 דונם. קציר בטווח חומר יבש שבין 26%-30% ח"י, החמצה (חביות החמצה או בלות פוליאתיילן) למשך 2 עד 3 חודשים. מדדי תקינות לתחמיץ בסיום ההחמצה: $pH < 5$, ללא סימנים לעובשים או ריקבון.
2. השלמת תשתית וכלובי גידול המותאמים לניסוי הזנה פרטני בצאן.	בניית חלקות הניסוי: יצירת מצע נוקשה בעל יכולת ניקוז שפכים שימש כבסיס למלונות בהם ישוכנו הטלאים. לאחר סיום המצע יבנו על בסיסו מלונות יונקים המכילות נגישות למזון ומים ומיגון מפני שמש ורוחות.
3. אפיון השפעת הזנה בקינואה על ביצועים, ויעילות ניצולת מזון פרטנית של טלאים בהשוואה להזנה בתחמיץ חיטה.	יבוצע ניסוי הזנה למשך 90 יום שבמהלכו ימדדו באופן פרטני וברמה יומית צריכת מזון של הטלאים. הטלאים ישקלו אחת לשבוע ובהתאם תחושב תוספת הגדילה היומית (תמ"י). מתוך הנתונים הפרטניים של צריכת המזון היומית והתמ"י, יחושבו מדדי יעילות ניצולת המזון הפרטנית (ג"ר תמ"י/ צריכת ח"י) ברמה שבועית ותתבצע השוואה בין הקבוצות. בסוף הניסוי תחושב יעילות אכילה (צריכת מזון מדודה פחות צריכת מזון צפויה לפי גודל ותוספת משקל) מתוך כלל המדידות בתקופת הניסוי. הטלאים ישחטו ותיבדק הרכב וכמות הטיבחה כתוצר קצה. כמו כן, לאחר סיכום הביצועים ומדדי היעילות, נשווה בין הקבוצות ונבחן האם הזנה בתחמיץ קינואה עדיפה/לא שונה/פוגעת בביצועים ויעילות ייצור של טלאים יחסית לתחמיץ חיטה.

4. תוצאות

קינואה מקו 3 נזרעה בקיבוץ גדות בתאריך 15-02-20 בהיקף של כ- 5 דונם. עומד הזריעה בפועל היה כ- 140 צמחים למ"ר. במהלך הגידול ירדו 660 מ"מ של גשם ולא ניתנה כלל השקיה במהלך הגידול. ניתן דישון אוראה, 13 יחידות לדונם. בוצעו קצירים מדגמיים (5 חזרות בשטח של 1 מ"ר כ"א), לבדיקת אחוז חומר יבש ובימסה בתדירות של אחת לשבועיים. החלקה נקצרה בתאריך 15-05-20, באמצעים מכניים (שני מהלכים) לאחר שאחוז החומר היבש עמד על כ- 31%, 90 ימים מהזריעה. יבול חומר יבש עמד על 980 ק"ג ח"י לדונם (בעוד שיבול החיטה שגדלה בסמוך לקינואה הגיע ל 720 ק"ג ח"י לדונם).

לאחר הקציר לתחמיץ החומר הצמחי נדגם והועבר להחמצה בצנצנות זכוכית ובבלות עטופות בפוליאיתילן (משקל באלה בין 500 ל 570 ק"ג חומר רטוב). לפני ההחמצה נבדקה רמת החומציות בחומר המוצא. לאחר חודשיים נדגמו התחמיצים, נבדקה רמת חומציות ונעשו בדיקות לעובשים/ריקבון. דוגמאות מהתחמיצים יובשו ונטחנו ובוצעו בדיקות כימיות להרכב החומר הצמחי כולל נעילות ח"י. רמת החמיצות לפני החמצה עמדה על $pH = 6.2$ בממוצע ורמת החמיצות בסוף החמצה: $pH = 4.32$ בממוצע (רמת חמיצות המתאימה לשימור החומר הצמחי). לא נמצאו עובשים או ריקבון בתחמיצים. תוצאות הרכב תחמיץ הקינואה מוצגות בטבלה 1.

Table 1. Chemical composition, *in vitro* dry matter digestibility (IVDMD) and *in vitro* neutral detergent fiber digestibility (IVNDFD) of Quinoa silage

Accessions	Quinoa silage
DM (%) ¹	26.1 ± 0.11
OM (% of DM) ¹	84.6 ± 1.03
CP (% of DM) ¹	15.1 ± 0.54
EE (% of DM) ¹	4.61 ± 0.64
Lignin(sa) ²	4.23 ± 0.11
NDF (% of DM) ²	26.5 ± 0.98
IVNDFD (%)	66.7 ± 3.93
IVDMD (%)	72.1 ± 1.11

Chemical composition (% DM basis): Dry matter (DM), organic matter (OM), crude protein (CP), ether extract (EE), Lignin (sa: sulfuric acid), neutral detergent fiber (NDF). Results are expressed as mean ± SE of three sample plots. ¹ based on AOAC (1990). ² Van Soest et al., (1991).

לצורך ניסוי הזנה עשרים וארבעה טלאים בגיל ממוצע של 80 יום ובמשקל ממוצע של 30 ק"ג הועברו למלונות פרטניות. הטלאים חולקו ל- 2 קבוצות (n=12 לקבוצה): לקבוצת הניסוי הוגשה מנת פיטום שהכילה את תחמיץ הקינואה ולקבוצת הביקורת הוגשה מנת פיטום שהכילה תחמיץ חיטה. לשתי המנות הוספה חליפה להשלמת חלבון, אנרגיה וח"י במנה, מקרואלמנטים, מיקרואלמנטים וויטמינים. הטלאים הוזנו במנות הניסוי לפי סדר האירועים הבא: 7 ימי הרגלה למלונות, לאחריהם 14 ימי אדפטציה למנה, ואחריהם כ - 70 ימי ניסוי שכללו שקילה יומית פרטנית של המזון כאשר המזון הוגש ברמת צריכה חופשית (ad-lib) ובנוסף בוצעו דיגומים לשאריות מזון. שקילה פרטנית של הטלאים התבצעה אחת לשבוע וחושב קצב גדילה יומי פרטני (ג'יום). מתוך הנתונים הפרטניים של צריכת המזון, משקל גוף ותוספת המשקל, חושבה יעילות ניצולת המזון פרטנית (Gain/ feed, gr Gain/kg DM intake). בסוף הניסוי הטלאים נשחטו בבית מטבחיים ונלקחו נתוני משקל ואחוז טבחה של הטלאים ונדגם שריר בין צלע 9 לצלע 12 ובוצעו בדיקות כימיה רטובה להרכב השריר באופן פרטני (שומן, חלבון, אפר וחומר יבש). תוצאות הביצועים ויעילות ניצולת מזון מתוארות בטבלה 2. משקל הגוף ההתחלתי לא נבדל בתחילת הניסוי, כאשר כבר באמצע הניסוי (BW mid = week 4 to 8) משקל הטלאים שהוזנו בקינואה היה

גבוה ב 4.5% יחסית לחיטה (לא מובהק) אך בהמשך הפער במשקל גדל ובסוף הניסוי קבוצת הקינואה הייתה בעלת משקל גוף ממוצע גבוה יותר באופן מובהק יחסית לקבוצת החיטה. צריכת המזון, תוספת המשקל היומית ויעילות ניצולת המזון היו גבוהים באופן מובהק בקבוצת הקינואה יחסית לקבוצת החיטה.

Table 2. Performance and feed efficiency of lambs feed with quinoa silage (n=12) compare to lambs fed with wheat silage (n=12)

Performance	Quinoa	Wheat	SEM	P value
Body Weight start, (kg)	38.4	37.8	0.91	0.67
Body Weight mid, (kg)	55.1	52.6	1.36	0.55
Body Weight end, (kg)	72.9 ^a	65.2 ^b	1.87	< 0.05
Dry Matter Intake, (kgDM)	1.95 ^a	1.85 ^b	0.03	< 0.05
Average Daily Gain, (kg/d)	0.44 ^a	0.37 ^b	0.02	< 0.01
Gain : Feed, (gr gain/kgDM)	226 ^a	201 ^b	12.1	< 0.05

תוצאות משקל ואחוז הטיבחה (לפי חישוב משקל הטיבחה יחסית למשקל גוף לפני השחיטה) והרכב הטיבחה הכולל את אחוז השומן התוך שרירי, החלבון, האפר וחומר יבש של קבוצת הקינואה לעומת קבוצת החיטה מתוארים בטבלה 3. משקל הטיבחה של טלאים מקבוצת הקינואה היה גבוה יחסית למשקל הטיבחה של טלאים מקבוצת החיטה ($P = 0.07$) ואחוז הטיבחה של קבוצת הקינואה היה גבוה יחסית לקבוצת החיטה אך ההבדל לא היה מובהק. אחוז השומן בשריר של טלאים מקבוצת הקינואה היה גבוה ב 6.1% יחסית לחיטה ואחוז החלבון היה גבוה ב 8.3% אך גם בפרמטרים אלה ההבדל לא היה מובהק. ערכי האפר ואחוז החומר היבש גם כן לא נבדלו באופן מובהק בין הקבוצות.

Table 3. Carcass weight and percentage and carcass components of lambs feed with quinoa silage (n=12) compare to lambs fed with wheat silage (n=12)

Parameter	Quinoa	Wheat	SEM	P value
Carcass weight, (kg)	36.5	33.2	1.01	0.07
Carcass percent, (%)	53.8	52.1	0.79	0.17
Fat, (%)	6.21	5.83	0.63	0.56
Protein, (%)	23.9	21.9	0.92	0.19
Ash, (%)	1.28	1.25	0.06	0.73
Dry matter, (%)	30.6	29.4	0.84	0.35

מתוך התוצאות עולה שגידול הקינואה מניב יותר ביומסה יחסית לחיטה ואיכות החומר הצמחי של הקינואה איכותי יותר יחסית לחיטה והיתרונות הבולטים הם באחוז החלבון (15% בקינואה יחסית לאחוז חלבון בחיטה שהוא 9% בממוצע⁸) ובנעכלות חומר צמחי (בחיטה הנעכלות היא בין 60 ל 62% בממוצע⁸ לעומת הקינואה שמגיעה ל 72% נעכלות). כמו כן, נמצא כי ניתן להחמיץ את הקינואה והחומר הצמחי משתמר לאורך זמן. הטלאים שהוזנו בקינואה הראו ביצועים טובים יותר יחסית לטלאים שהוזנו בחיטה

(צריכת מזון, משקל, עליית משקל היו גבוהים יותר יחסית לקבוצת החיטה) ויעילות ניצולת המזון המייצגת את רווחיות הגידול הייתה גבוהה באופן מובהק, כלומר השימוש בתחמיץ הקינואה במקום תחמיץ החיטה במנת הפיטום שיפר את רווחיות הגידול באופן משמעותי. גם מבחינת התוצר (הטיבחה והרכבה) נמצא יתרון יחסי לטלאים שהוזנו בקינואה לעומת חיטה. הביצועים הגבוהים בקבוצת הקינואה עשויים להיות קשורים לנעכלות הגבוהה במיוחד של הקינואה וכמות החלבון הזמין לתהליכי הגדילה בשלד ובמסה של החיה. יש לבחון מנגנונים נוספים הקשורים ליעילות ניצולת המזון בהזנה בקינואה במחקרי המשך בנושא.

5. מסקנות והמלצות להמשך המחקר

בניסוי הנוכחי הושלמו שלושת אבני הדרך שכללו את שלב יצירת חומר הגלם, בניית פלטפורמה לניסוי הזנה פרטנית וביצוע ניסוי הזנה מלא שבחן את השפעת ההזנה בתחמיץ קינואה לעומת תחמיץ חיטה בטלאים לפיטום באופן מלא. המסקנה העיקרית ממחקר זה היא שניתן להשתמש בתחמיץ קינואה לפיטום לטלאים ואף השילוב של תחמיץ קינואה במנת הפיטום של טלאים עשויה לשפר את ביצועי הגדילה ולהעלות את יעילות הייצור ולמעשה להעלות את רווחיות הגידול לחקלאי. היות ואין מחקרים נוספים בספרות המקצועית בנושא זה יש לחזור על הניסוי עם מספר טלאים גדול יותר, לבדוק ריכוזים שונים של תחמיץ קינואה במנת הפיטום והשפעתם על היצרנות ויעילות הייצור. כמו כן, כדאי לבחון שימוש בשחת קינואה משלב פנולוגי צעיר יותר (למשל 10% ח"י המכונה קינואה ירוקה צעירה⁹) בפיטום טלאים היות והוא מכיל ערכי חלבון ונעכלות גבוהים יותר מהתחמיץ ולהשוות בין פיטום בתחמיץ לפיטום בשחת קינואה. היות וכיום בענף הפיטום בצאן משתמשים גם בכופתיות, רצוי לעשות השוואה בין הזנה בבלייל משולב עם קינואה בהשוואה להזנה בכופתיות והזנה בבלייל המכיל חיטה (כלומר להכניס קבוצה נוספת שתזון בכופתיות) ולבחון האם ניתן לעבד את צמח הקינואה לכופתיות (בדומה לכופתיות אספסת) והאם תהליך זה ריווחי וכמובן לבחון האם להזנה בכופתיות קינואה יהיה יתרון לעומת הזנה בתחמיץ קינואה או שחת.

References

- (1) Jacobsen, S.-E. The Worldwide Potential for Quinoa (*Chenopodium Quinoa* Willd.). *Food Rev. Int.* **2003**, *19* (1–2), 167–177.
- (2) Cheok, C. Y., Salman, H. A. K. & Sulaiman, R. Extraction and quantification of saponins: A review. *Food Res. Internat.*, *59*, (2014).
- (3) Patra, A. K., & Saxena, J. (2009). Dietary phytochemicals as rumen modifiers: a review of the effects on microbial populations. *Antonie van Leeuwenhoek*, *96*(4), 363–375.
- (4) Tamminga, S., Bannink, A., Dijkstra, J., & Zom, R. L. G. (2007). Feeding strategies to reduce methane loss in cattle (No. 34). *Anim. Sci. Group*.
- (5) Ramos, N.; Cruz, A. M. Evaluation of Seven Seasonal Crops for Forage Production during the Dry Season in Cuba. **2002**, *36* (3), 271–276.
- (6) Peiretti, P. G.; Gai, F.; Tassone, S. Fatty Acid Profile and Nutritive Value of

- Quinoa (Chenopodium Quinoa Willd .) Seeds and Plants at Different Growth Stages. *Anim. Feed Sci. Technol.* **2013**, 183 (1–2), 56–61.
- (7) Zom, R.L.G., Van Schooten, H.A., Pinxterhuis, I.B.,. The effects of replacing grass silage by quinoa whole crop silage in the ration of dairy cows, in: *Praktijkonderzoek Veehouderij, Praktijk Rapport Rundvee*, Lelystad, the Netherlands. **2002** , p. 29.
 - (8) Shteinberg, Y., U. Levi, A. Izenkut, Y. Bernstein, D. Sade, and E. Zuckerman. 2003. Survey of legume cultivars and their combinations in Izrael Velley. Pages 41–44 in *Summary of Forage Field Experiments, 2003*. Special publication of The Israeli Extension Service, Ministry of Agriculture, Bet Dagan, Israel.
 - (9) Asher, A., Dagan, R., Galili, S., Salmon, A., & Rubinovich, L. (2021). The development of young green quinoa as a new multifunctional summer crop in Israel. Nir Vatelem, January, 1–10.