

דו"ח מדעי מסכם (שנה שניה) לתכנית 19-549-362 # במימון מועצת החלב – ענף הצאן

אפיון הקשר בין יעילות היצור ואיכות הבשר בטלאים לפיטום באמצעות מניפולציה תזונתית

Characterization of the Association between Production Efficiency and Meat Quality, via Dietary Manipulation in fattening lambs

מירי כהן- צינדר: חוקרת ראשית, מנהל המחקר החקלאי, המכון לבע"ח, היחידה לבקר לבשר, נוה יער.
mirico@volcani.agri.gov.il

אריאל שבתאי: חוקר, מנהל המחקר החקלאי, המכון לבע"ח, היחידה לבקר לבשר, נוה יער.

חיים ליבוביץ: תזונאי, הזנת טלאים, מו"פ חקלאי העמק

רתם אגמון: מהנדס מחקר בתקן, מנהל עדר הבקר בנוה יער

Abstract

In the current study, we aimed to evaluate the dietary effect of ensiled *Moringa oleifera* on feed efficiency performances and meat quality characteristics of growing lambs, with tenderness as a key trait of palatability. Thirty-six Assaf X Dorper lambs were transferred post-weaning (~7Wks of age) to the Beef Cattle Unit of the Neve Ya'ar. Following 3Wks of adaptation, the lambs were subjected to 3 homogeneous groups, based on their initial BW, and phenotypic characterization of Dorper breed on the 'background' of the Assaf (dairy selected breed). Each group was provided with a different diet: *group I* - received moringa silage + soybean hulls (MO-SB) + molasses; *group II* - was provided with moringa silage + crushed corn kernels (MO-CC) + molasses; for both diets, wet matter ratios were 72.5: 22.5: 5 which donated 10% moringa silage (WS; on DM basis); both groups were supplemented with a concentrate. *Group III*, (control) was provided with 10% wheat silage (on DM basis) and a concentrate. All three diets were balanced for protein, energy, and rough NDF components. A significant advantage was found in feed efficiency performances of moringa-fed lambs from group II (MO-CC), by means of gain to feed (G:F; 0.222 ± 0.02 Kg BWG/ Kg DMI), comparing to group I (0.200 ± 0.02 Kg BWG/ Kg DMI) and control group (0.189 ± 0.02 Kg BWG/ Kg DMI) following 12Wks of experiment ($P < 0.05$). Analysis of fiber length selection, showed that moringa-fed lambs from both groups, mostly selected towards longer fibers (< 8 mm), comparing to control-fed lambs, which preferred to eat shorter particles (> 4 mm) of mainly concentrated pellets ($P < 0.05$). Selection of specific food particles, might be associated with our findings of growth performances and meat quality characteristics, although no significant differences were identified in digestibility of DM, protein and NDF. While evaluating meat quality characteristics of the longissimus lumborum (LL) muscle, steaks of Moringa-fed lambs from groups 1 (MO-SB) & 2 (MO-CC) were tenderer (32.2 ± 4.53 and 31.7 ± 4.14 N respectively) by means of shear-force (SF; $P < 0.001$), characterized by longer sarcomeres (SL: 2.06 ± 0.28 and 2.08 ± 0.17 μ m, respectively; P

<0.001) comparing to the controls (SF: $39.0 \pm 7.83\text{N}$; SL: $1.73 \pm 0.11 \mu\text{m}$). Interestingly meat of moringa lambs from both MO-SB and MO-CC groups was characterized by lower intra-muscular fat (IMF) content (3.05 ± 0.26 and $3.00 \pm 0.25 \%$ respectively;) comparing to the control (3.92 ± 0.26 ; $P < 0.05$). Similarly, total collagen content (CC; an indicator for connective tissue in the muscle) was lower in the meat of moringa lambs (8.27 ± 0.15 ; $8.53 \pm 0.16 \text{ mg/gr}$ respectively) comparing to the control ($8.89 \pm 0.15 \text{ mg/gr}$; $P < 0.05$). Another beneficial effect of the moringa was found in vitamin E content (an important lipophilic antioxidant) and lipid peroxidation process which were found significantly higher and lower respectively, in the meat of moringa-fed lambs comparing to the controls, suggesting an improving effect of the health profile of the steaks.

Our findings from the current study, suggest that Moringa oleifera-based dietary manipulation could be implemented in order to improve FE, and to design tender, lean and healthy lamb meat. Providing additional information from the transcriptome analysis of muscle and adipose tissues of moringa-fed lambs, will enable to gain deeper knowledge on the biological mechanisms concurrently affecting the FE and meat tenderness by dietary ensiled Moringa oleifera.

תקציר מדעי של תוכנית המחקר

במסגרת המחקר הנוכחי, ביקשנו לבחון את השפעת ההזנה בתחמיץ מורינגה מכונפת, צמח מספוא הנחשב אטרקטיבי בשל תכולת חלבון גבוהה בעלים (עמיד לדגרדציה בכרס), לצד תכולה גבוהה של ויטמינים ונוגדי חמצון, על יעילות ניצון המזון ואיכות (רכות) הבשר של טלאים בתקופת הגידול. לשם כך, נרכשו בשנת המחקר הראשונה שלושים ושישה טלאים מגזע מכלוא אסף X דורפר בגיל 7 שבי ממשק מסחרי במושב עופר והועברו למתקני היחידה לבקר לבשר בנוה יער. בתום תקופת הסתגלות (3 שבועות) חולקו הטלאים לשלוש קבוצות הומוגניות על בסיס משקלם ההתחלתי ועל בסיס אפיון פנוטיפי של גזע ה"דורפר" על רקע ה"אסף". כל קבוצה קיבלה משטר הזנה ייחודי: קבוצת טיפול א' קיבלה תחמיץ מורינגה + קליפות סויה + מולאסה (יחסים בחומר רטוב 72.5 : 22.5 : 5) + חליפה; קבוצת טיפול ב' קיבלה תחמיץ מורינגה + גרעיני תירס שבורים + מולאסה (יחסים בחומר רטוב 72.5 : 22.5 : 5) + חליפה. בשתי מנות הטיפול, תרם תחמיץ המורינגה 10% ח"י. קבוצת הביקורת קיבלה 10% ח"י תחמיץ חיטה + 90% ח"י חליפה. שלוש המנות אוזנו ברמות חלבון, אנרגיה וחומר יבש גס. השלמות נעשו בהרכב החליפה של כל מנה. בתום הניסוי הממשקי שארך 12 שבי (+ 3 שבועות הרגלה), נמצא יתרון מובהק לקבוצת הטלאים שניזונה מתחמיץ מורינגה תירס שבור על פני קבוצת הטלאים שניזונה מתחמיץ מורינגה קליפות סויה ועל פני קבוצת הביקורת בפרמטרים: קצב הגדילה, ומדד נצילות המזון על פי (G:F) gain to feed. אנליזה שבוצעה למיפוי אורך סיב במנה ובשאריות המזון, הראתה כי הטלאים שניזונו ממורינגה (2 הקבוצות) נטו לברור ולהעדיף סיבים שאורכם מעל 8 מ"מ בתחמיץ בהשוואה לטלאים שניזונו מתחמיץ חיטה. אלה האחרונים העדיפו את חלקיקי המזון הקטנים מ 4 מ"מ (בעיקר חלקי המזון המרוכז). יתכן כי ניתן לקשור בין העדפת סיבי המורינגה ע"י הטלאים ובין הממצאים המתקבלים בנצילות המזון ואיכות הבשר, זאת על אף שלא נמצאו הבדלים בין המנות בנעילות הח"י והחלבון.

בשנת המחקר השנייה, בחנו את השפעת ההזנה בתחמיצי המורינגה על פרמטרים של איכות הבשר ובריאות הנתח, ומשך חיי המדף שלו. כשנבחנה השפעת הדיאטה על מדדי איכות בשר, מצאנו יתרון מובהק של ההזנה בתחמיצי המורינגה (הן תחמיץ מורינגה תירס והן תחמיץ מורינגה קליפות סויה) על פנוטיפים ישירים ועקיפים של רכות הבשר: בשר טלאי המורינגה היה רך יותר, עם סרקומרים ארוכים יותר (אינדיקטור לרכות בשר גבוהה), ותכולת קולגן נמוכה יותר בהשוואה לבשר טלאי הביקורת (אשר ניזונו מתחמיץ חיטה). עוד מצאנו אפקט חיובי של ההזנה במורינגה על הפרופיל הבריאותי של הנתח ומשך חיי המדף שלו, כאשר תכולת ויטמין E היתה גבוהה יותר ותהליך חמצון, פרופיל חומצות שומן ותהליך חמצון שומנים נמוך יותר. באופן מעניין, לא רק שבשר הטלאים אשר ניזונו מתחמיצי המורינגה היה רך יותר (על פי מדד WBSF), תכולת השומן התוך שרירי בו היתה נמוכה יותר. ממצא זה, על אף שנתמך על ידי עבודותינו הקודמות, עומד בהיפוך למתואר בספרות המחקרית, שם קיימות עדויות מצטברות לכך שרכות בשר גבוהה נמצאת במתאם חיובי עם תכולה גבוהה של שומן תוך שרירי (אינדיקטור לשיוש), ומובילה בכך לעסיסיות של הנתח.

ממצאי עבודה זו, מחזקים את ההנחה כי ניתן לשפר במקביל את יעילות ניצול המזון מחד, ואת רכות הבשר והפרופיל הבריאותי שלו מאידך, באמצעות הזנת טלאים בתחמיץ מורינגה מכונפת. בטווח הקרוב, אנו מתעתדים לבחון השפעה זו גם על עגלי פיתום בתקופת הגידול. באמצעות ניתוח אנליזת הטרנסקריפום של רקמות השריר והשומן (הצעת מחקר נוספת שמספרה 20-0649-362 הממומנת אף היא על ידי מועצת החלב – וועדת צאן החל משנה זו), נצליח להבין באופן מדויק יותר את האופן בו פועלת המורינגה על אותם המנגנונים המובילים לנצילות מזון גבוהה ורכות בשר משופרת.

II. סטטוס המחקר

במהלך העשור האחרון, התייקרו מקורות החלבון והאנרגיה להזנת מעלי גירה, והציבו רף חדש של אתגרים לכלכלת ענפי הגידול האינטנסיבי של בעה"ח, ובכללם למשק החלב והבשר. בשל כך, התפתחה מגמה עולמית לשיפור יעילות הייצור בד בבד עם חיפוש אחר מקורות מזון איכותיים חלופיים. תהליכים אלה הביאו להתעניינות עולמית גוברת והולכת בצמח המורינגה המכונפת (*Moringa oleifera*) (Mendieta-Araica et al., 2012a; Moyo et al., 2012), הנחשב לצמח מספוא אטרקטיבי בשל התכולה הגבוהה של חלבון (עמיד לדגרדציה בכרס), ויטמינים A, B ו C, קרוטנואידים ונוגדי חמצון, בצד כמויות זניחות של תרכובות אנטי-נוטרייטיות (Makkar & Becker 1996; Verma et al., 2009). קבוצת המחקר שלנו התמקדה, בשנים האחרונות, בהטמעת גידול המורינגה בארץ, בלימוד תהליכי ההחמצה שלה, ובבחינת ההשפעה של שילוב תחמיץ מורינגה מכונפת במנה על הביצועים של מעלי גירה. למשל, מצאנו כי בעקבות החמצה חל שיפור בפרוטנציאל נוגד החמצון של המורינגה, אשר אינו מיוחס לשינוי בתכולת הפוליפנולים אלא להצטברות של חומצות אמינו מחזרות ופפטידים נמוך מולקולריים. תוצאות ראשוניות של מחקר זה היוו בסיס לניסויי הזנה ברפת בית דגן וברפת אפיקים, בהם שימש תחמיץ מורינגה כתוסף (Cohen-Zinder et al., 2016a) או כתחליף לתחמיץ תירס (Cohen-Zinder et al., 2017a, revised). בשני המקרים נרשמה עליה בתנובה ובקיבולת נוגדת החמצון של החלב בקבוצת המורינגה. זאת ועוד, כאשר תחמיץ המורינגה ניתן כתוסף חל שיפור מובהק ביעילות הייצור של הפרות (Cohen-Zinder et al., 2016a).

במחקר אחר, ביקשנו לבחון את השפעת ההזנה בתחמיץ מורינגה מכונפת כתוסף במנה (6.5% על בסיס ח"י) על איכות הבשר ויעילות ניצול המזון של טלאים לפיתום. מאחר ואחוז החומר היבש בעלי המורינגה היה נמוך מ 20%, איזנו את תכולת החומר היבש ההתחלתית של התחמיץ ע"י הוספה של

קליפות סויה (כ 60%). מצאנו כי יעילות ניצול המזון הקבוצתית של קבוצת הטלאים אשר ניזונה מתחמיץ המורינגה הייתה גבוהה יותר משל קבוצת טלאי הביקורת, אשר ניזונה ממנת פיטום סטנדרטית ($P \leq 0.05$). בנוסף, נתחי הבשר של טלאי המורינגה התאפיינו ברכות גבוהה יותר במדדי shear force (האנליזה הפיסיקלית המקובלת לקביעת רכות הבשר בהשוואה לטלאי הביקורת (Cohen-Zinder et al., 2017). באופן מעניין, הרכות הגבוהה שהתקבלה בבשר הטלאים שניזונו מתחמיץ מורינגה הייתה במתאם שלילי עם תכולת השומן התוך שרירי, בשונה מהמתואר בספרות ומעבודות שלנו בבקר לבשר, המצביעות על מתאם חיובי בין השתיים. יחד עם זאת, סיבי השריר של טלאי המורינגה אופיינו בסרקומרים ארוכים יותר משל טלאי הביקורת, תכונה המצויה אף היא במתאם חיובי עם רכות הבשר. ממצאנו אלה, הובילו אותנו להניח כי אינדוקציה של תהליכים פיסיולוגיים/מטבוליים/מורפולוגיים מתרחשת בשריר בהשפעת הזנה בתחמיץ המורינגה, ומביאה לאפקט משולב שביטויו ניכר ביעילות המטבולית וברכות הבשר.

בהצעת המחקר הנוכחית, ביקשנו לתקף ולבסס את הממצאים שתוארו לעיל אודות הקשר החיובי בין יעילות יצור המזון ואיכות (רכות) הבשר, תוך בידוד מבוקר של הרכיב המזוני הפעיל. כדי לגשר על פערי הידע הקיימים בנושא, מספר דגשים יושמו במהלך המחקר, וייחדו אותנו בהשוואה למתואר לעיל ובספרות המדעית: 1. אומדן יעילות הייצור יתבסס על הזנה פרטנית. 2. תרומת קליפות הסויה תופרד מתרומת המורינגה במנה. 3. אוניברסליות השפעת הדיאטה תבחן בשני מינים של מעלי גירה. 4. הרכב סיבי השריר ימופה, כנקודת השקה בין יעילות הייצור לאיכות הבשר. 5. הטרנסקריפטום של רקמות השריר והשומן יאופיינו, לצורך איתור של גנים משתי רקמות אלה, המצויים באסוציאציה עם מודולציה של סיבי השריר, ו/או המשותפים ליעילות הייצור ואיכות (רכות) הבשר.

III. מטרת המחקר וחשיבותו

הנחת העבודה הבסיסית של המחקר הנוכחי היא קיומו של קשר חיובי בין יעילות הייצור (ניצול המזון) של בעל החיים לבין איכות הבשר שהוא מפיק, הנתון למודולציה באמצעים תזונתיים. קשר זה מתאפשר, בין היתר, בתיווך הרכב סיבי השריר, ומעורבים בו, קרוב לוודאי, מסלולים מטבוליים ברקמות השומן והשריר.

על בסיס השערות המחקר וממצאינו הקודמים, גיבשנו את יעדי המחקר הבאים:

1. **בחינת השפעת ההזנה בתחמיץ מורינגה מכונפת (המכיל גרעיני תירס שבור או קליפות סויה) המשולב במנת הפיטום לפיטום על יעילות ניצול המזון הפרטנית ואיכות (רכות) הבשר של טלאים בתקופת הגידול מגזע אסף X דורפר בהשוואה להזנה בתחמיץ חיטה הניתן כמנת ביקורת.**
2. **בחינת השפעת הדיאטה של הטלאים (בניסוי המתואר ביעד מספר 1) על מדדים לאיכות (רכות) הבשר והפרופיל הבריאותי שלו.**

מהלך המחקר – שנה ראשונה

ניסוי בטלאים לפיטום מגזע מכלוא אסף X דורפר הנגזר מיעד # 1 - בחינת השפעת ההזנה בתחמיץ מורינגה מכונפת המשולב במנת הפיטום על יעילות ניצול המזון הפרטנית ואיכות (רכות) הבשר של טלאים. שלושים ושישה טלאים מגזע מכלוא אסף X דורפר נרכשו בגיל 7 שבי' ממשק מסחרי במושב עופר והועברו למתקני היחידה לבקר לבשר בנוה יער. בתום תקופת הסתגלות (3 שבועות) חולקו הטלאים ל 3 קבוצות הומוגניות ($n=12$ טלאים בקבוצה) על בסיס משקלם ההתחלתי ועל בסיס אפיון פנוטיפי של גזע ה"דורפר" על רקע ה"אסף". כל קבוצה קיבלה משטר הזנה ייחודי באופן הבא **(תרשים 1)**: קבוצת

טיפול א' (צבע כחול) – תחמיץ מורינגה + קליפות סויה + מולאסה (יחסים בחומר רטוב 72.5 : 22.5 : 5) + **חליפה**; **טיפול ב' (צבע אדום)** – תחמיץ מורינגה + גרעיני תירס שבורים + מולאסה (יחסים בחומר רטוב 72.5 : 22.5 : 5) + חליפה. בשתי מנות הטיפול, תרם תחמיץ המורינגה 10% ח"י. **טיפול ג' (צבע ירוק)** – 10% בח"י תחמיץ חיטה + 90% ח"י חליפה. יחסי המנות בחומר רטוב מוצגים ב**טבלה 1**. שלוש המנות אוזנו ברמות חלבון, אנרגיה וחומר יבש גס. השלמות נעשו בהרכב החליפה של כל מנה. הטלאים שוכנו במלונות פרטניות לצורך מעקב אחר צריכת מזון אינדבידואלית. המנות: תערובת + תחמיץ הוגשו בדלי אחד כבליל מדי יום ב 07:00 בבוקר, שאריות מזון נאספו ונשקלו בבוקר העוקב, טרם חלוקת המזון החדשה. על בסיס משקל השאריות הוספו לטלאים *ad-lib* כ 5% מערך המנה בבוקר העוקב על פי הצורך. כל מלונה צויידה בדלי מים (10 ליטר) אשר מולא במים צוננים מספר פעמים ביום. הטלאים נשקלו אחת לשבוע בימי רביעי לפני חלוקת המזון.



תרשים 1. חלוקת הטלאים ל 3 קבוצות: 2 קבוצות הזנה וקבוצת ביקורת (n=12 טלאים בכל קבוצה). קבוצה א' (טיפול): ניזונה מתערובת (90%) ומתחמיץ מורינגה וקליפות סויה (10%). **קבוצה ב' (טיפול):** ניזונה מתערובת (90%) ומתחמיץ מורינגה ושברי תירס (10%). **קבוצה ג' (ביקורת):** ניזונה מתערובת (90%) ומתחמיץ חיטה (10%). שלוש המנות אוזנו ברמות חלבון, אנרגיה וחומר יבש גס. השלמות נעשו בהרכב החליפה של כל מנה.

טבלה 1. הרכבי מנות הניסוי, שתי מנות טיפול ומנת ביקורת. שנים עשר טלאים בכל קבוצת הזנה.

| קבוצה | מנת תחמיץ חיטה* | תחמיץ תירס | | מנת תחמיץ קליפות סויה* | | מרכיב [%] בחומר רטוב |
|---------------|-----------------|----------------|-------------------|------------------------|-------------------------|--|
| | | מנת תחמיץ תירס | מנת מורינגה שבור* | מנת תחמיץ קליפות סויה | מנת מורינגה קליפות סויה | |
| טיפול (קב 1) | | | | 48.5 | 51.5 | תחמיץ מורינגה קליפות סויה |
| | | | | | | חליפה 1 |
| טיפול (קב 2) | | | 48.5 | | | תחמיץ מורינגה תירס שבור |
| | | | | 51.5 | | חליפה 2 |
| ביקורת (קב 3) | 29.0 | | | | | תחמיץ חיטה |
| | 57.0 | | | | | חליפה 3 |
| | 14.0 | | | | | מים |
| | מנת תחמיץ חיטה | תחמיץ תירס | מנת מורינגה שבור | תחמיץ קליפות סויה | מנת מורינגה קליפות סויה | הרכב כימי של המנה [%] בחומר יבש (תחמיץ וחליפה) |
| | 58.0 | | 62.8 | | 62.9 | ח"י |
| | 18.0 | | 18.0 | | 18.0 | חלבון |
| | 2.87 | | 2.85 | | 2.85 | אנרגיה מטבולית מג"ק/ק"ג |
| | 1.6 | | 2.0 | | 2.0 | סידן |
| | 0.51 | | 0.51 | | 0.51 | זרחן |
| | 10.0 | | 10.0 | | 10.0 | מזון גס |

* כל המנות מכילות 10% ע"ב ח"י מזון גס (תחמיץ מורינגה או תחמיץ חיטה) + 90% גרעינים משלימים ותערובת (חליפה) להשוואת תכולות חלבון, אנרגיה וח"י גס במנות.

אנליזה לברירת אורך סיב. אנליזה לברירת אורך סיב לכאורה נערכה בשבוע השביעי לניסוי באמצעות נפת פנסילבניה. המבחן בוצע על בסיס פרוטוקול קבוע אשר תואר בהרחבה בדו"ח הקודם. נעכלות לכאורה של כל מרכיב [ח"י, שומן, חלבון, אפר (משלים לח"א) ו NDF] חושבה על בסיס **הפרש** בין **כמות המרכיב הנצרכת במזון** (ההפרש היומי בין המזון המוגש לשארית המזון) וכמות המרכיב בצואה (הפרש זה שווה לכמות המרכיב הנעכלת). אחוז הנעכלות חושב כיחס בין הכמות הנעכלת לכמות הנצרכת.

בתום 12 שבועות של ניסוי הוקרבו הטלאים בבית המטבחיים א.א. מלאכת הבשר בירכא. שריר ה *longissimus* נדגם לאנליזות איכות בשר באמצעות איסוף צלעות 9-12 כולל + מכסה הצלעות של כל טלה. אנליזות שונות לקביעת פרמטרים לתכונות איכות בשר בוצעו כמתואר בעבודתנו הקודמת (Cohen Zinder et al., 2017). כלל האנליזות, למעט pH וצבע, שבוצעו בסמיכות לשחיטה בוצעו בתחילת שנת המחקר השנייה. בדוח זה הן תדווחנה בפרק התוצאות של שנת המחקר הראשונה בסמיכות לתוצאות הניסוי הממשקי שנערך בשנה זו.

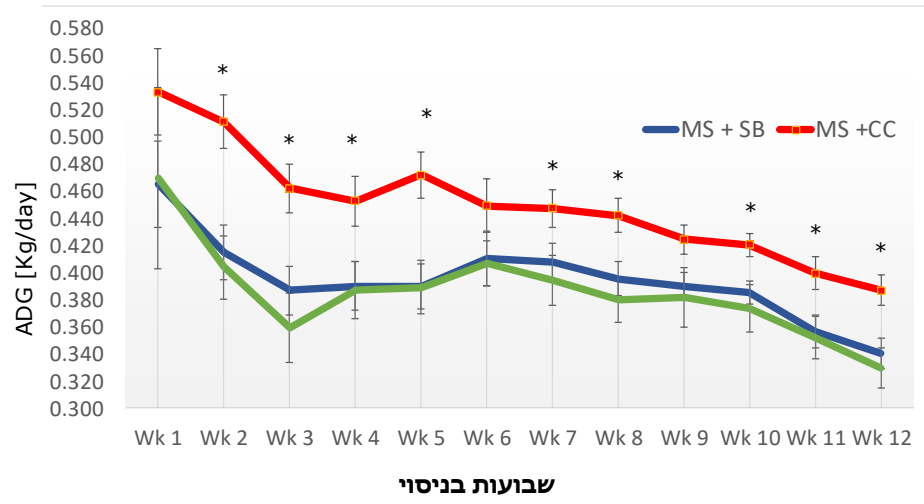
תוצאות שנה ראשונה

טבלה 1 מסכמת את ביצועי הטלאים במדדי קצב גדילה, צריכת מזון ונצילות מזון עבור שלוש קבוצות הניסוי. בתום 12 שבועות של ניסוי הציגו הטלאים מהקבוצה אשר ניזונו מתחמיץ מורינגה-תירס שבור יתרון מובהק במשקל גוף (משקל סיום, ק"ג) בהשוואה לטלאים מהקבוצות שניזונו מתחמיץ מורינגה-קליפות סויה ותחמיץ חיטה בהתאמה (**טבלה 2**). טלאי מורינגה-תירס, הציגו יתרון מובהק גם בתוספת המשקל היומית הממוצעת (גרם/יום/טלה) בהשוואה לשתי הקבוצות האחרות (**טבלה 2**). יתרון זה בא לידי ביטוי בשבועות 2-5, 7-8, ו-10-12 כולל של הניסוי ($P < 0.05$). כללית, לא נמצאו הבדלים בצריכת המזון היומית (ח"י) הממוצעת לאורך כל הניסוי בין שלושת קבוצות ההזנה (**טבלה 2**). בהתייחס לצריכת ח"י יומית (ק"ג / יום / טלה) בהסתכלות שבועית, לא נמצאו הבדלים בין שלוש קבוצות ההזנה למעט בשלושת השבועות האחרונים לניסוי בהם צריכת המזון היומית היתה גבוהה יותר בקבוצה שניזונה מתחמיץ חיטה. יחד עם זאת, נמצא יתרון מובהק לקבוצת מורינגה-תירס במדד ה $(G:F)$ gain to feed, המבטא את יעילות ניצול המזון על בסיס תוספת משקל גוף (**טבלה 2**). בהסתכלות שבועית, נמצא יתרון מובהק לקבוצת טלאי מורינגה-תירס במדד ה $G:F$ לאורך כל תקופת הניסוי למעט שבועות 1, 6, ו-9, כאשר נבחן על בסיס שבועי מתחילת הניסוי למשך 12 שבועות (**גרף 1 א-ג** $P < 0.05$).

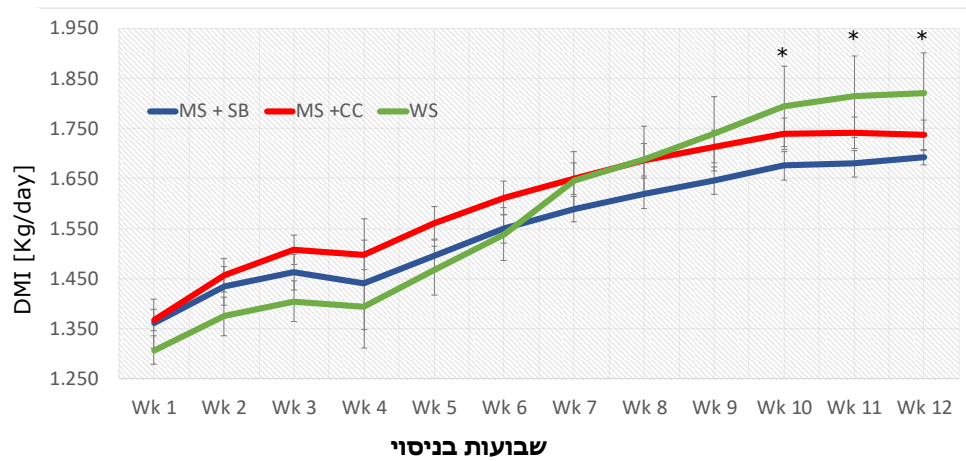
טבלה 2. ביצועי הטלאים, קצב גדילה, צריכת ונצילות מזון – שלוש קבוצות הניסוי

| פרמטר | תחמיץ מורינגה קליפות סויה | תחמיץ מורינגה שבור | תחמיץ חיטה |
|---|---------------------------|--------------------------|--------------------------|
| מספר טלאים* | 11 | 12 | 10 |
| משקל התחלתי ממוצע (ק"ג) | 34.9±1.1 | 35.0±0.65 | 35.1±1.0 |
| משקל סופי ממוצע (ק"ג) | 63.8±0.9 ^b | 67.1±1.4 ^a | 63.6±1.2 ^b |
| תוספת משקל ממוצעת (ג' / יום / טלה) | 345 ^b | 392 ^a | 347 ^b |
| צריכת ח"י ממוצעת (ק"ג / יום / טלה) | 1.72±0.255 | 1.70±0.300 | 1.74±0.470 |
| יעילות ניצול מזון ממוצעת (תוספת משקל ק"ג / צריכת ח"י) | 0.200±0.005 ^b | 0.227±0.004 ^a | 0.200±0.004 ^b |

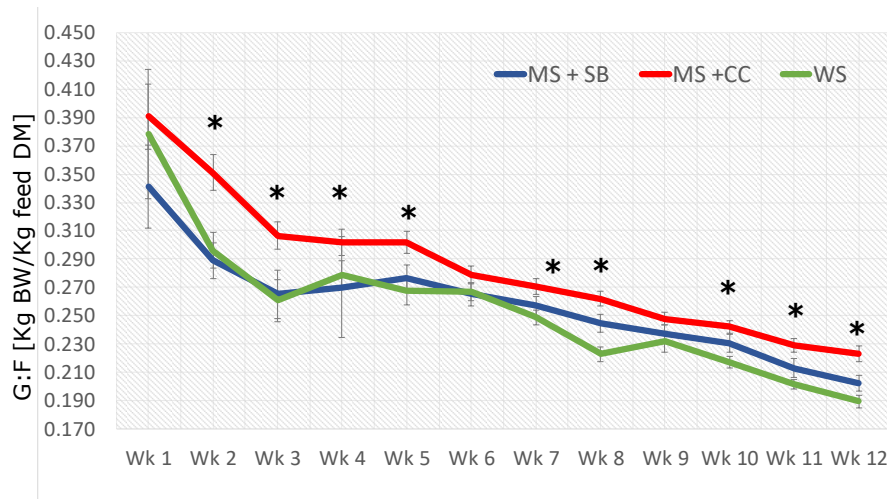
* התחילו את הניסוי 12 טלאים בכל קבוצה, פערים בסיום כתוצאה מתמותת טלאים.



גרף א'. תוספת משקל יומית ממוצעת (average daily gain, ADG) במהלך 12 שבועות בהשפעת משטרי ההזנה: כחול קבוצה 1 (תחמיץ מורינגה-קליפות סויה MS+SB); אדום קבוצה 2 (תחמיץ מורינגה – תירס שבור MS+CC); ירוק קבוצה 3 (תחמיץ חיטה – ביקורת).
 * מסמלת הבדל מובהק בין שלושת טיפולי ההזנה ($P < 0.05$).



גרף ב'. צריכת מזון של הטלאים (Dry Matter Intake, DMI) במהלך 12 שבועות על בסיס קבוצות ההזנה: כחול קבוצה 1 (תחמיץ מורינגה-קליפות סויה); אדום קבוצה 2 (תחמיץ מורינגה – תירס שבור); ירוק קבוצה 3 (תחמיץ חיטה – ביקורת).
 * צריכת מזון נבדלת לפחות בין שני טיפולים ($P < 0.05$).



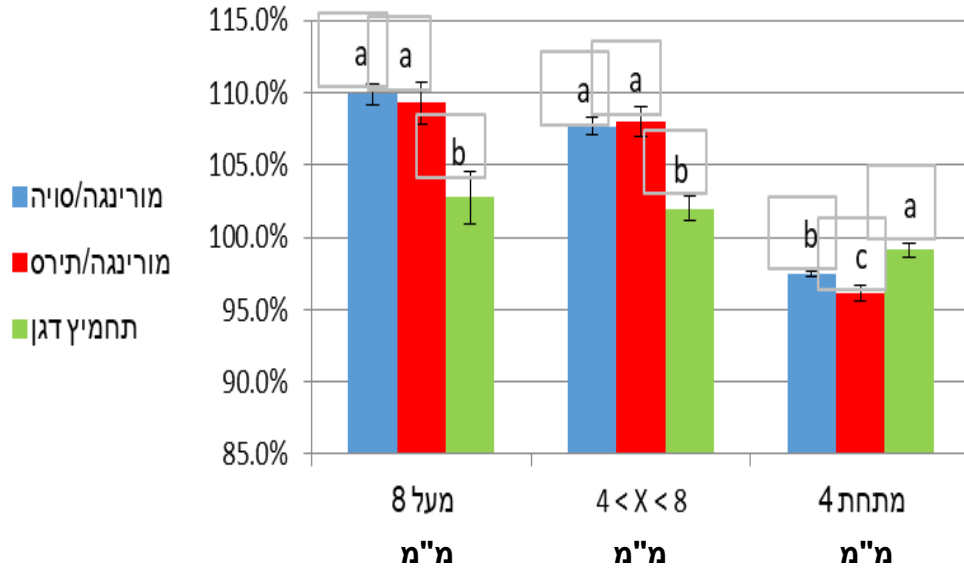
גרף 1. יעילות ניצול מזון במונחי (G:F) Gain to Feed במהלך 12 ש' על בסיס קבוצות ההזנה : כחול קבוצה 1 (תחמיץ מורינגה-קליפות סויה ; MS-SB) ; אדום קבוצה 2 (תחמיץ מורינגה – תירס שבור ; MS-CC) ; ירוק קבוצה 3 (תחמיץ חיטה – ביקורת ; WS). ($P < 0.05$).

היתרון בנצילות המזון לגדילה של קבוצת מורינגה תירס, לא התקבל כנראה כתוצאה משיפור בנעילות חומר יבש, חומר אורגני או חלבון, שכן לא נמצאו הבדלים מובהקים בין קבוצות ההזנה במדדים אלה (טבלה 3). לגבי נעילות שומן, נמצא יתרון לקבוצת מורינגה תירס שבור, על פני קבוצת מורינגה קליפות סויה, אך הוא לא היה מובהק. נעילות NDF נטתה להיות גבוהה יותר בקבוצת החיטה (טבלה 3), אולם נטיה זו לא נמצאה מובהקת ($P = 0.88$).

טבלה 3. נעילות לכאורה של חומר יבש, חומר אורגני, חלבון ושומן, השוואה בין שלושת טיפולי ההזנה.

| נעילות [%] | תחמיץ מורינגה קליפות סויה | תחמיץ מורינגה תירס שבור | תחמיץ חיטה |
|-------------|---------------------------|-------------------------|------------|
| חומר יבש | 76.9±1.15 | 76.5±1.92 | 76.4±0.46 |
| חומר אורגני | 79.7±1.04 | 80.7±1.16 | 79.0±0.41 |
| חלבון | 79.0±0.77 | 77.5±1.97 | 77.1±0.52 |
| שומן | 79.7±1.78 | 83.0±1.06 | 82.7±0.85 |
| NDF | 45.7±3.44 | 45.8±3.29 | 47.8±3.61 |

באנליזת התפלגות גודל החלקיקים של המנה המוגשת והשאריות באבוס, שבוצעה באמצעות נפות פנסילבניה, לא נמצאו הבדלים בין שתי המנות שהכילו תחמיצי מורינגה (עם תירס שבור או קליפות סויה) בהעדפת סיבים שאורכם מעל 8 מ"מ, אך הללו נבדלו באופן מובהק מתחמיץ החיטה ($p \leq 0.05$). הטלאים משתי הקבוצות שהואבסו בתחמיץ מורינגה העדיפו את החלקיקים הארוכים במנה (110% מעל 8 מ"מ), בהשוואה לטלאים שניזונו מתחמיץ חיטה אשר בררו פחות לכיוון חלקיקים גדולים במנה (102% ; גרף 2). תופעה זו חזרה על עצמה גם ביחס לחלקיקים הקצרים יותר, שאורכם בין 4-8 מ"מ, כאשר טלאי המורינגה משתי הקבוצות בררו יותר לכיוון חלקיקים שאורכם בין 4-8 מ"מ בהשוואה לטלאים שניזונו מתחמיץ חיטה באורך זה. טלאי החיטה לעומת זאת, בררו באופן מובהק לכיוון חלקיקים קצרים / מרכיבי המזון המרוכז במנה בהשוואה לשתי קבוצות המורינגה (גרף 2).



גרף 2. תוצאות מבחן ברירת סיב באמצעות נפת פנסילבניה.

תוצאות שנה שניה

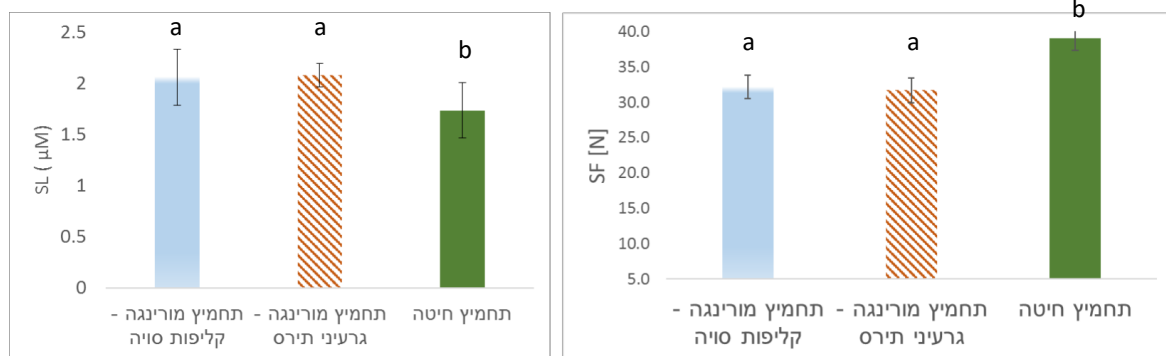
קביעת מדדי איכות בשר בדגש כל מדד הרכות והפרופיל הבריאותי של הנתח

האנליזות בוצעו על שריר ה LD של הטלאים. ההרכב הכימי של הפרמטרים השונים בבשר (ח"י, חלבון, נטתה תכולת החלבון להיות גבוהה יותר בבשר הטלאים אשר ניזונו מתחמיץ מורינגה – תירס, אם כי הבדל זה לא נמצא מובהק ($P=0.1$) (טבלה 4). תכולת השומן התוך שרירי לעומת זאת נבדלה באופן מובהק ($P=0.015$ טבלה 3) בין קבוצת מורינגה תירס וקליפות סויה (3.00 ו 3.05% , בהתאמה) בהשוואה לקבוצת הביקורת של תחמיץ החיטה (3.92%), והיתה נמוכה יותר בקבוצת הטיפול ביחס לקבוצת הביקורת (טבלה 4). נתון זה נתמך בעבודותינו הקודמות ומציג כיוונויות הפוכה עם ערך הרכות במדדי SF (מתאם הפוך בין רכות בשר גבוהה ותכולת שומן תוך שרירי נמוכה, שונה מהמתאם המקובל בספרות של רכות גבוהה עם שיוש מרובה, ידון בהמשך).

טבלה 4. הרכב כימי של של המרכיבים השונים בבשר הטלאים שניזונו מתחמיץ חיטה (ביקורת) תחמיץ מורינגה – תירס שבור או תחמיץ מורינגה - קליפות סויה.

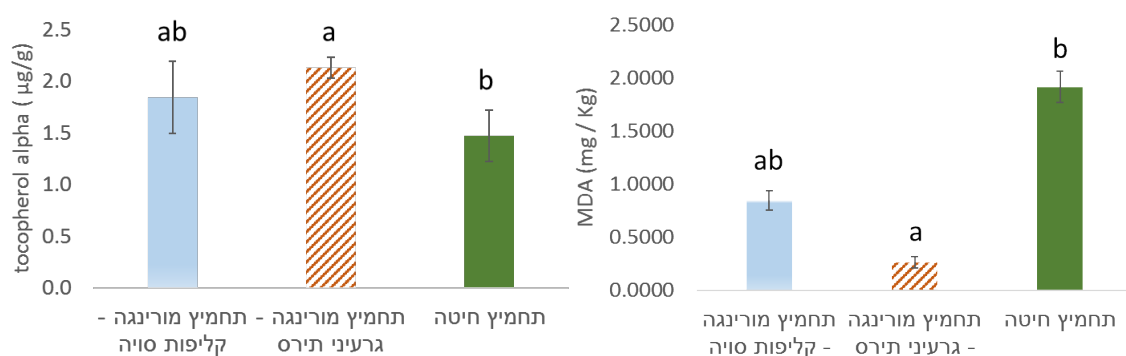
| P-value | תחמיץ מורינגה – ק. סויה | תחמיץ מורינגה – תירס | תחמיץ חיטה – (ביקורת) | תכולות בשר [%] |
|---------|-------------------------|----------------------|-----------------------|----------------|
| 0.5 | 25.67 ± 0.25^a | 25.23 ± 0.22^a | 25.63 ± 0.23^a | ח"י |
| 0.1 | 22.52 ± 0.18^a | 23.16 ± 0.18^b | 22.64 ± 0.17^a | חלבון |
| 0.015 | 3.05 ± 0.26^a | 3.00 ± 0.25^a | 3.92 ± 0.26^b | שומן |
| 0.7 | 1.39 ± 0.03^a | 1.43 ± 0.03^a | 1.42 ± 0.03^a | אפר |

בשר הטלאים אשר ניזונו מתחמיצי המורינגה (=מורינגה תירס שבור; מורינגה קליפות סויה) היה רך יותר במדדי shear force (SF) באופן מובהק ($P < 0.01$) בהשוואה לבשר הטלאים שניזונו מתחמיץ חיטה (גרף 3). באופן מעניין, תכולת השומן התוך שרירי היתה הנמוכה ביותר בבשר הטלאים שניזונו מתחמיץ מורינגה – תירס (טבלה 3) בעוד רכות הבשר שלהם היתה הגבוהה ביותר (גרף 3). לעומת זאת, תכולת השומן התוך שרירי בבשר הטלאים שניזונו מתחמיץ החיטה היתה הגבוהה ביותר ואילו רכות הבשר במדדי SF הנמוכה ביותר (גרף 3). (הערה: רכות בשר גבוהה יותר מתקבלת כאשר הכוח הנדרש ביחידות ניוטון "לגזור" את הנתח כאשר הוא צלוי או מבושל בתנאים סטנדרטיים נמוך יותר).



גרף 3. מבחן F לקביעת מדד רכות הבשר בערכי SF ואורך סרקומרים (sarcomere length, SL) בבשר טלאים משלושת טיפולי ההזנה: תחמיץ חיטה (ביקורת – ירוק), תחמיץ מורינגה-תירס (טיפול – אדום מקווקו) ותחמיץ מורינגה – סויה (טיפול – תכלת). אותיות שונות מעידות על הבדלים סטטיסטיים מובהקים בין הקבוצות ($P < 0.01$).

מצאנו כי הסרקומרים (μm) בשריר ה LL של טלאים מקבוצות מורינגה תירס ומורינגה תחמיץ קליפות סויה (ללא הבדל ביניהן) היו ארוכים יותר בהשוואה לשריר של טלאים שניזונו מתחמיץ חיטה (גרף 3) ($P = 0.02$). אורך הסרקומרים אף נמצא במתאם גבוה ושלילי ($R^2 = -0.7$) עם מדדי SF בהתאם למקובל בספרות (רכות בשר גבוהה נמדדת בערכי SF נמוכים יותר ואילו ככל שהסרקומרים ארוכים יותר הנתחים נחשבים רכים יותר).



גרף 4. מבחן F לקביעת תכולת ויטמין E באמצעות האיזומר tocopherol alpha (גרף שמאלי) וחמצון שומנים כאינדיקטור למשך חיי מדף באמצעות תכולת MDA (Malondialdehyde) (גרף ימני), בבשר טלאים משלושת טיפולי ההזנה: תחמיץ חיטה (ביקורת – ירוק), תחמיץ מורינגה-תירס (טיפול – אדום מקווקו) ותחמיץ מורינגה – סויה (טיפול – תכלת). אותיות שונות מעידות על הבדלים סטטיסטיים מובהקים בין הקבוצות ($P = 0.05$).

תכולת ויטמין E (נוגד חמצון מסיס בשומן) היתה הגבוהה ביותר בבשר הטלאים אשר ניזונו מתחמיץ מורינגה – תירס ולאחריה בבשר טלאי המורינגה סויה; התכולה הנמוכה ביותר נמצאה בבשר טלאי

החיטה (גרף 4 ; $P=0.05$). מדד ה MDA המבטא תהליך חמצון שומנים ומשמש כאינדיקטור לחיי מדף היה הגבוה ביותר בבשר טלאי החיטה והנמוך ביותר בבשר טלאי תחמיץ מורינגה – תירס (גרף 4 ; $P=0.01$).

ערכי ה pH, לא נבדלו בין הטבחות של הטיפולים השונים כ 45 דקות לאחר השחיטה (טבלה 5). לעומת זאת, כ 24 שעות לאחר השחיטה מצאנו כי ערכי ה pH בנתחי טלאי המורינגה בשתי קבוצות הטיפול (תירס וקליפות סויה) ירדו ל 5.95 ו – 6.29, בהתאמה, זאת בהשוואה ל 6.33 של נתחי טלאי החיטה (טבלה 5 ; $P=0.05$). טווח pH הנע בין 5.8 ל 6.2 כ 24 שעות לאחר השחיטה, הינו הטווח האופטימלי הנדרש לקבלת בשר איכותי ללא פסילות על רקע pH גבוה, או נמוך, המוביל בהתאמה ליצירתם של סינדרומים דוגמת dark firm dry (DFD) או pale soft exudative (PSE) המאפיינים בשר אשר קצב ירידת ה pH שלו אינו תקין. יחד עם זאת, אפקט זה נעלם בתום 48 שעות לאחר השחיטה (טבלה 5). בהתייחס למדד הצבע בשריר, נמצא יתרון מובהק (טבלה 5) לבשר טלאים משני טיפולי המורינגה במדד L^* המעיד על מידת בהירות הנתח וכושר אחזקת הנוזלים שלו כ 24 שעות לאחר השחיטה ($P=0.01$). יתרון זה נשמר גם מעבר ל 48 שעות ($P=0.05$). יחד עם זאת, לא נמצא יתרון במדד a^* המעיד על צבעו האדום של הנתח (כושר נשיאת החמצן של חלבון המיוגלובין בשריר) על אף שזה האחרון נמצא מעט גבוה יותר בבשר-טלאי המורינגה – תירס. יתרון דומה (לא מובהק) נמצא גם במדד b^* המעיד על גוון צהבהב של הנתח (טבלה 5).

טבלה 5. מדדי pH (45 דקות, 24 ו 48 שעות) וצבע 24 ו 48 שעות לאחר השחיטה בשריר טלאים שניזונו מתחמיץ חיטה (ביקורת) תחמיץ מורינגה – תירס שבור או תחמיץ מורינגה - קליפות סויה.

| <i>P-value</i> | תחמיץ מורינגה – ק. סויה | תחמיץ מורינגה – תירס | תחמיץ חיטה – (ביקורת) | |
|----------------|-------------------------|------------------------|------------------------|--------------------|
| 0.86 | 6.78±0.05 ^a | 6.78±0.05 ^a | 6.83±0.05 ^a | pH – 45 דק' (טבחה) |
| 0.05 | 6.29±0.26 ^{ab} | 5.95±0.10 ^a | 6.33±0.33 ^b | pH – 24 ש' (נתח) |
| 0.23 | 6.00±0.25 ^a | 5.87±0.23 ^a | 6.07±0.26 ^a | pH – 48 ש' (נתח) |
| | | | | צבע שריר – 24 ש' |
| 0.01 | 46.5±0.6 ^a | 46.6±0.6 ^a | 43.7±0.6 ^b | L^* |
| 0.3 | 14.8±0.3 ^a | 15.0±0.3 ^a | 14.3±0.3 ^a | a^* |
| 0.9 | 3.98±0.4 ^a | 4.22±0.4 ^a | 4.15±0.4 ^a | b^* |
| | | | | צבע שריר – 48 ש' |
| 0.05 | 47.2±0.8 ^{ab} | 49.1±0.7 ^a | 46.1±0.8 ^b | L^* |
| 0.4 | 13.7±0.3 ^a | 13.2±0.3 ^a | 13.2±0.3 ^a | a^* |
| 0.9 | 3.95±0.2 ^a | 4.02±0.3 ^a | 3.99±0.3 ^a | b^* |

תכולת קולגן כללית וכושר אגירת נוזלים בנתח (water holding capacity), אובדן נוזלים לאחר הפשרה (thawing loss) ולאחר בישול (cooking loss) מוצגים ב**טבלה 6**. תכולת הקולגן, אינדיקטור ישיר לרמות של רקמת החיבור בשריר נמצאה נמוכה יותר בבשר הטלאים שניזונו מתחמיצי המורינגה

בהשוואה לתחמיץ החיטה ($P < 0.05$). אובדן הנוזלים הנמוך ביותר (3.49%) התקבל מבשר הטלאים שניזונו מתחמיץ מורינגה תירס ($P = 0.06$).

טבלה 6. תכולת קולגן כללית, כושר אגירת נוזלים (water holding capacity, WHC), אובדן מים בהפשרה (thawing loss, THL), אובדן נוזלים בבישול (cook loss, CKL) בבשר טלאים שניזונו מתחמיץ חיטה (ביקורת) תחמיץ מורינגה – תירס שבור או תחמיץ מורינגה - קליפות סויה.

| <i>P-value</i> | תחמיץ מורינגה – ק. סויה | תחמיץ מורינגה – תירס | תחמיץ חיטה – (ביקורת) | |
|----------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|------------------|
| 0.05 | 8.27±0.15 ^a | 8.53±0.16 ^{ab} | 8.89±0.16 ^b | Collagen content |
| 0.9 | 42.8±0.87 ^a | 43.1±0.98 ^a | 42.4±0.92 ^a | WHC |
| 0.06 | 5.01±0.59 ^{ab} | 3.49±0.59 ^a | 5.50±0.73 ^b | THL |
| 0.16 | 20.5±1.00 ^a | 20.5±1.01 ^a | 22.7±0.81 ^a | CKL |

*תכולת קולגן בבשר מבוטאת ביחידות של מ"ג / גרם ח"י.

דיון ומסקנות

בעבודתנו הנוכחית, מצאנו יתרון במדד ה G:F (המבטא את יעילות ניצול המזון) אצל טלאים אשר ניזונו מתחמיץ מורינגה משולב גרעיני תירס שבור (בשיעור 10% מורינגה מהח"י במנה). יתרון זה התקבל הן על פני טלאי קבוצת הביקורת אשר ניזונה מ 10% תחמיץ חיטה, אך גם על פני טלאים שניזונו מתחמיץ המכיל מורינגה עם קליפות סויה (10% מורינגה במנה). על אף שמנות-הניסוי (הבליל כולו) אוזנו בתכולת החלבון, האנרגיה ותכולת ח"י, שיערנו כי התירס אשר הוסף כגרעינים שבורים לתחמיץ הכיל בפועל גם גרעינים שלמים, אשר העניקו כביכול יתרון אנרגטי כלשהוא לטלאי קבוצה זו בכך שהתפרקו לאט יותר בכרס וחלקם שרדו את הכרס והגיעו למעי.

במהלך שנת המחקר השנייה השלמנו את בדיקתם של מגוון פנוטיפים המגדירים איכות בשר. התמונה המתקבלת, מציגה אפקט חיובי ניכר של תחמיץ המורינגה אשר שולבו בדיאטה (הפעם לא רק תחמיץ מורינגה תירס אלא גם תחמיץ מורינגה קליפות סויה) בראש ובראשונה על מדדים המגדירים את רכות ובריאות הנתח. באמצעות אנליזת ה shear force, מצאנו כי רכות הבשר של הטלאים משתי קבוצות המורינגה גבוהה יותר באופן מובהק מזו של הטלאים שניזונו מתחמיץ חיטה. יתרון דומה נמצא גם כאשר נמדד אורך הסרקומרים. אלה נמצאו ארוכים יותר בטלאי קבוצות המורינגה בהשוואה לטלאי החיטה. גם תכולת קולגן כללית כמדד עקיף התורם לקשיות הבשר נמצאה גבוהה יותר בבשר טלאי תחמיץ החיטה. השומן התוך שרירי לעומת זאת נמצא במתאם הפוך לרכות הבשר – קרי רכות בשר גבוהה עם תכולת שומן תוך שרירי נמוכה בהתייחס לבשר הטלאים שניזונו מתחמיץ המורינגה. ממצא מעניין זה מקבל חיזוק גם מעבודותינו הקודמות, ומציע כי רכות הבשר הגבוהה מקורה במודולציה המתקיימת על סיבי השריר (סרקומרים מתארכים). כאשר תושלם האנליזה על הרכב סיבי השריר נוכל לבסס השערותנו זו בצורה חזקה יותר, באם אכן יתברר כי המורינגה פועלת לריכוך הבשר באמצעות הארכת סיבי השריר.

בהתייחס לפרופיל הבריאותי של הנתח מצאנו כי להזנה במורינגה השפעה מיטיבה על קצב חמצון השומנים באמצעות תכולת MDA נמוכה יותר בבשר הטלאים שניזונו ממורינגה בהשוואה לתחמיץ חיטה.

גם תכולת ויטמין E, שהוא נוגד חמצון מסיס בשומן, היתה גבוהה יותר בבשר הטלאים שניזונו מתחמיץ המורינגה. באופן כולל יותר, ניכר כי להזנה במורינגה השפעה מיטבית על הפרופיל הבריאותי של הנתח.

גם כי הבשר המתקבל רזה יותר (אם כי רכותו לא נפגעת). אינדיקציות ראשוניות מאנליזת פרופיל חומצות השומן אף מצביעות על נוכחות גבוהה יותר של חומצות שומן רב בלתי רוויות בבשר הטלאים שניזונו מתחמיץ מורינגה, אנו חוזרים על אנליזה זו ונדע לספר יותר בהמשך.

על בסיס התוצאות שהתקבלו בניסוי זה ביקשנו בניסוי המשך (אשר אינו מהווה חלק מתכנית המחקר הנוכחית) לבחון: האם האפקט המיטבי על נצילות המזון ואיכות הבשר, מקורו במורינגה, או בשילוב בין מורינגה ותירס (במקרה של ההשפעה על נצילות המזון), או בשילוב בין מורינגה ותירס / מורינגה קליפות סויה בהשפעה על רכות הבשר הגבוהה, ותכולת השומן הנמוכה. עוד ביקשנו לבחון את האפקט על השומן בגזע נוסף, המעלה שומן בכמות גבוהה יותר בהשוואה לגזע האסף (מטופח לחלב עם תכולת שומן תוך שרירי נמוכה משל הגזעים המטופחים לבשר) ועל כן בחרנו את הגזע הפורטוגלי המעורב. הניסוי שהתקיים בשנה השניה ובחן השפעתו של תחמיץ מורינגה "נקיי" (מוקמל ללא תוספים) על מדדי נצילות המזון של הטלאים מציג לכל אורכו יתרון יחסי לטלאי המורינגה במדד ה G:F על פני טלאי תחמיץ החיטה. אמנם יתרון זה אינו גדול כמו היתרון שהתקבל בניסוי בשנה א' אך עדיין מרמז על האפשרות הקיימת להשתמש בתחמיץ המורינגה כתחליף במנת הפיטום, ואף לשפר את יעילות ניצול המזון. ממצאי ההשפעה על רכות הבשר, באם יהיו דומים לאלה שהתקבלו בשנה הראשונה אף יחזקו את מסקנתנו זו. עד כה, על בסיס התוצאות הקיימות ברשותנו מהניסוי התזונתי השני (עם טלאי הגזע הפורטוגלי) נראה, כי הזנה בתחמיץ מורינגה נקי מעניקה יתרון במדד הצבע האדם בבשר (*a מדד טכנולוגי) כ 24 שעות לאחר השחיטה.

ממצאי עבודה זו, מאששים את הנחה כי ניתן לשפר במקביל את יעילות ניצול המזון מחד, ואת רכות הבשר והפרופיל הבריאותי שלו מאידך באמצעות הזנת טלאים בתחמיץ מורינגה מכונפת (משולב גרעיני תירס) אשר ניתן בשיעור של כ 10% (ח"י) מהרכב המנה. בטווח הקרוב, אנו מתעתדים לבחון השפעה זו גם על עגלי פיטום בתקופת הגידול. כאשר תושלם התמונה כולה יחד עם אנליזת הטרנסקריפטום של רקמות השריר והשומן (בהצעת מחקר נוספת, חדשה, שמספרה 20-0649-362 הממומנת אף היא על ידי מועצת החלב – וועדת צאן החל משנה זו), נדע להעריך בצורה מדויקת יותר את התרומה של המורינגה לבדה לשינויים המתקבלים ברקמות השריר והשומן ובאים לידי ביטוי בנצילות מזון גבוהה ואיכות בשר משופרת.

בביליוגרפיה

Cohen-Zinder, M., Leibovich, H., Vaknin, Y., Sagi, G., Shabtay, A., Ben-Meir, Y., Nikbachat, M., Portnik, Y., Yishay, M., & Miron, J. (2016a). Effect of feeding lactating cows with ensiled mixture of *Moringa oleifera*, wheat hay and molasses, on digestibility and efficiency of milk production. *Animal Feed Science and Technology* 211, 75–83.

Cohen-Zinder M., Asher A., Lipkin E., Feingresh R., Karasik D., Agmon R., Brosh A., & Shabtay A. (2016b). FABP4 is a leading candidate gene associated with residual feed intake in growing Holstein calves. *Physiological Genomics*. 48(5):367-76.

Cohen-Zinder, M., Weinberg Z., Leibovich, H., Chen, Y., Rosen M., Sagi, G., Orlov A., Agmon, R., Yishay M., Miron J. & Shabtay A. (2017a) Ensiled *Moringa oleifera*: an antioxidant-rich-feed that improves dairy cattle performance. – Revised.

Cohen-Zinder, M., Orlov A., Trophymiuk O., Wanger E.K., Shor-Shimoni, Kaabia R., Agmon R., Leibovich H., Miron J., & Shabtay A. (2017b). Dietary manipulation with *Moringa oleifera* increases meat tenderness of Assaf lambs. – Submitted.

Duke, J. (1983). Handbook of energy crops (*Moringa oleifera*). Center for New Crop and Plant Products, Purdue University, Indiana .

Foidl, N., Makkar, H.P.S., & Becker, K. (2001). Potential Of *Moringa Oleifera* For Agricultural And Industrial Uses. In: Fugile, L.G. (Ed.). *The Miracle Tree. The Multiple Attributes of Moringa*, CTA, Wageningen, The Netherlands, vol. 31. pp. 45–76.

Goszczynskia, D.E., Papaleo-Mazzuccob, J., Ripolia, M.V., Villarrealb, E.L., Rogberg-Munoza, A., Mezzadrab, C.A., Meluccib, L.M. & Giovambattistaa, G. (2017). Genetic Variation in *FABP4* and Evaluation of Its Effects on Beef Cattle Fat Content. *Animal Biotechnology*, 4:1-9.

Hoashi, S., Hinenoya, T., Tanaka, A., Ohsaki, H., Sasazaki, S., Taniguchi, M., Oyama, K., Mukai, F., Mannen, H. (2008). Association between fatty acid compositions and genotypes of *FABP4* and *LXR-alpha* in Japanese black cattle. *BMC Genetics*, 11;9:84.

Joo, S.T., Kim, G.D., Hwang, Y.H., & Ryu, Y.C. (2013). Control of fresh meat quality through manipulation of muscle fiber characteristics. *Meat Science* 95, 828–836.

Kovanen, V., Suominen, H., & Heikkinen, E. (1984). Mechanical properties of fast and slow skeletal muscle with special reference to collagen and endurance training. *Journal of Biomechanics*, 17, 725–735.

Maltin, C., Balcerzak, D., Tilley, R., & Delday, M. (2003). Determinants of meat quality: Tenderness. *The Proceedings of the Nutrition Society*, 62, 337–347.

Makkar, H.P.S., & Becker, K. (1996). Nutritional value and antinutritional components of whole and ethanol extracted *Moringa oleifera* leaves. *Animal Feed Science and Technology* 63, 211-228.

Mendieta-Araica, B. Sporndly, E. Reyes-Sanchez, R. & Sporndly, N. (2011a). Feeding *Moringa oleifera* fresh or ensiled to dairy cows—effects on milk yield and milk flavor. *Tropical Animal Health Production* 43, 1039–1047.

Mendieta-Araica, B., Sporndly, R., Reyes-Sanchez, N., & Sporndly, E. (2011b). *Moringa (Moringa oleifera)* leaf meal as a source of protein in locally produced concentrates for dairy cows fed low protein diets in tropical areas. *Livestock Science* 137, 10-17.

Moyo, B. Masika, P.J., & Muchenje, V. (2012). Effect of supplementing crossbred Xhosa lop-eared goat castrates with *Moringa oleifera* leaves on growth performance, carcass and non-carcass characteristics. *Tropical Animal Health Production* 44, 801-809.

Ozawa, S., Mitsuhashi, T., Mitsumoto, M., Matsumoto, S., Itoh, N., & Itagaki, K. (2000). The characteristics of muscle fiber types of longissimus thoracis muscle and their influences on the quantity and quality of meat from Japanese Black steers. *Meat Science* 54, 65–70.

Qwele, K., Hugo, A., Oyedemi, S.O., Moyo, B., Masika, P.J., Muchenje, V. (2013). Chemical composition, fatty acid content and antioxidant potential of meat from goats supplemented with *Moringa (Moringa oleifera)* leaves, sunflower cake and grass hay. *Meat Science* 93, 455–462.

Rahelic, S., & Puac, S. (1981). Fiber types in longissimus-dorsi from wild and highly selected pig breeds. *Meat Science* 5, 439–450.

Reyes-Sanchez, N., Sporndly, E., & Ledin, I. (2006). Effects of feeding different levels of foliage from *Moringa oleifera* to creole dairy cows on intake, digestibility, milk production and composition. *Livestock Sciences* 101, 24-31.

Ryu, Y. C., & Kim, B. C. (2005). The relationship between muscle fiber characteristics, postmortem metabolic rate, and meat quality of pig longissimus dorsi muscle. *Meat Science* 71, 351–357.

Schiaffino, S., & Reggiani, C. (1996). Molecular diversity of myofibrillar proteins: Gene regulation and functional significance. *Physiological Reviews* 76, 371–423.

Solomon, M. B., & Lynch, G. P. (1988). Biochemical, histochemical and palatability characteristics of young ram lambs as affected by diet and electrical stimulation. *Journal of Animal Science* 66, 1955–1962.

Verma, A.R., Vijayakumar, M., Mathela, C.S., & Rao, C.V. (2009). In vitro and in vivo antioxidant properties of different fractions of *Moringa oleifera* leaves. *Food Chemistry and Toxicology* 47, 2196-2110.