

אפיון ושימוש בנעכלות NDF ככלי לתכנון מנות בקר לחלב בישראל

1. שמות השותפים למחקר ושטח הפעולה של כל משתתף:

פרופ' עוזי מועלם - פרוטוקול מחקר, ביצוע טיפולים ומדידות, כתיבת ד"ר מסכם ופרסומו, המחלקה לחקר בקר וצאן, מינהל המחקר החקלאי.

יואב שעני – ממ"ר הזנה, שה"מ, משרד החקלאות, פרוטוקול מחקר, ביצוע טיפולים ומדידות, כתיבת ד"ר מסכם ופרסומו.

2. תקציר

קביעת ריכוז המזון הגס הדרוש כדי לאפשר פעילות כרס תקינה מחד, וצריכת מזון מקסימלית מאידך הינה מהאתגרים המרכזיים העומדים בפני התזונאי בעת תכנון המנה (Zebeli et al., 2012). גורמים רבים משפיעים על מידת האפקטיביות של המזון הגס בשמירה על פעילות כרס תקינה. לאחרונה בוצעו מספר עבודות אשר תוצאותיהן מעידות כי בעזרת השימוש במקטע הלא נעכל של NDF (uNDF) ניתן להגיע לתכנון מדויק יותר של המנה אשר יאפשר שמירה על בריאות הכרס ללא פגיעה בבריאות הפרה. למרות זאת, ככל הנראה נעכלות ה-NDF לבדה אינה מספקת כדי לקבוע את מידת האפקטיביות של המזון הגס במנה. מטרת המחקר הנוכחי הייתה לייצר פלטפורמה לתכנון מדויק וכלכלי יותר של ריכוז המזון הגס במנה, וזאת ע"י שימוש בפרקציה הלא נעכלת של ה-NDF. בחלקו הראשון של מחקר זה קבענו את קצב נעכלות ה-NDF של מזונות נפוצים ברפת החלב הישראלית, וכן את רמת הסיב הבלתי נעכל בכרס בפרקי זמן שונים לאחר הדגרה בכרס. כמו כן בדקנו את רמת המתאם בין התוצאות כפי שנמצאו בהדגרה in-situ לבין התוצאות המתקבלות בעזרת שימוש במכשיר ה-Daisy. בחלק זה של העבודה מצאנו מתאם גבוה בין תוצאות הנעכלות in-situ לבין התוצאות ב-Daisy, המעיד כי ניתן להשתמש במכשיר ה-Daisy לקביעת קצבי נעכלות ומדדים נוספים של מזונות ברמת אמינות ודיוק טובה. כצפוי, מצאנו הבדלים גדולים בקצבי הנעכלות של NDF בין המזונות השונים, אשר קובע את קצב השרידות של ה-uNDF. ע"י שימוש בנתונים מחלקו הראשון של המחקר העמדנו ניסוי הזנה ברפת ההזנה הפרטנית בו עשינו שימוש בנתוני ה-uNDF ב-48 שעות הדגרה של המזונות הגסים (uNDF_{48f}) מחלקו הראשון של הניסוי. בניסוי זה שבוצע במתכונת cross-over בחנו שתי מנות שונות בריכוז המזון הגס ובריכוז ה-NDF ממזון גס, אך זהות בריכוז ה-uNDF_{48f}, תוך שמירה על ריכוז אנרגיה, חלבון ועמילן זהים ככל האפשר בין המנות. בניסוי זה נמצא כי השימוש במדד ה-uNDF_{48f} שהוביל להמרה של שחת בדגן בקש חיטה במנה גרם לירידה בתנובת חלב, חמ"ש וחמ"מ, ונעכלות רכיבי המנה בקבוצת הטיפול, אבל תרם לשיפור במדדי היעילות.

בניסוי השלישי בחנו את האינטראקציה בין רמת ה-uNDF במנות ואורך הסיב ע"י שימוש בארבע מנות השונות בריכוז המזון הגס ובריכוז ה-uNDF_{48f}, אך זהות בריכוז ה-NDF ממזון גס, תוך שמירה על ריכוז אנרגיה, חלבון ועמילן זהים ככל האפשר בין המנות. השינוי באורך הקיצוץ בניסוי בוצע ע"י קיצוץ מקדים של השחת אשר שימשה בניסוי לשתי רמות קיצוץ שונות, והשינוי בריכוז ה-uNDF_{48f} במנות בוצע ע"י החלפת חלק מהשחת חיטה בקש חיטה. בניסוי זה מצאנו כי קיימת אינטראקציה מובהקת בין אורך הקיצוץ וריכוז ה-uNDF_{48f} במנה

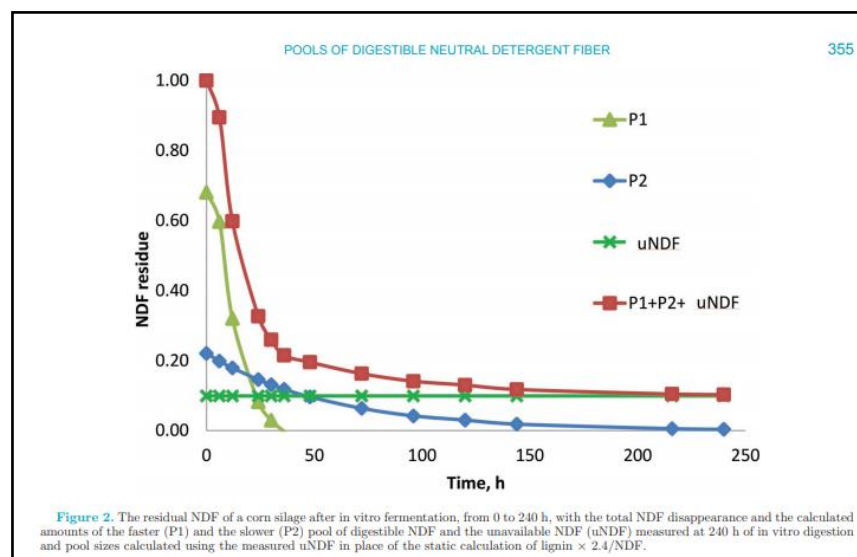
הן בייצור החלב והן בצריכת המזון. ההבדלים המשמעותיים ביותר בין הטיפולים בניסוי היו בין טיפול השחת הקצוצה וטיפול השחת הארוכה, ואילו במנות אשר הכילו קש ההבדלים היו קטנים באופן יחסי. ייתכן והסיבה לכך היא כי המזון הגס בו נעשה שינוי ברמת הקיצוץ בניסוי היה שחת ולכן במנות אשר הכילו קש, ריכוז השחת במנה היה נמוך (7.3% בלבד מהח"י), וככל הנראה לא הצליח לייצר שינויים משמעותיים במבנה הפיזיקלי של המנה. כמו כן נראה כי בגלל המאפיינים של קש החיטה, לא הצלחנו ליצור שינויים משמעותיים באורך הסיב בין מנת הקש קצוץ למנת קש ארוך, ולכן במרבית הפרמטרים שנבחנו לא נמצאו הבדלים בין 2 טיפולי מנות הקש.

בסדרת ניסויים אלה הדגמנו כי ניתן להוריד את ריכוז המזון הגס במנה ע"י שימוש בפרמטר $uNDF_{48h}$ כמדד בתכנון המנה ללא פגיעה בייצור החלב וביעילות הייצור, אך עם זאת ישנה חשיבות לגורמים נוספים בהרכב המנה אשר משפיעים על צריכת המזון ובריאות הכרס. כדי לבסס את השימוש במדד זה ככלי לתכנון מנות בקר לחלב יש צורך במחקר נוסף אשר ידייק את השימוש בו.

3. מבוא

קביעת ריכוז המזון הגס הדרוש כדי לאפשר פעילות כרס תקינה מחד, וצריכת מזון מקסימלית מאידך הינה מהאתגרים המרכזיים העומדים בפני התזונאי בעת תכנון המנה (Zebeli et al., 2012). גורמים רבים משפיעים על מידת האפקטיביות של המזון הגס בשמירה על פעילות כרס תקינה: ריכוז פחמימות דופן התא (NDF), אופיו הפיזיקלי של המזון (p_{ef} – physical effective factor) (Lammers et al., 1996), גורמים אחרים שלא ניתנים כיום לכימות, כגון שבירות (זמן הלעיסה הנדרש להפחתת גודל החלקיקים), קצב השקיעה בכרס ועוד. בשנים האחרונות מתבצע מחקר נרחב בנוגע לקצב הפירוק של דופן התא הצמחי בכרס ולאפיון החלקים הנעכלים והלא נעכלים של מקטע זה. מקובל כיום כי ניתן לחלק את מקטע ה-NDF במזון לשלושה חלקים: מקטע בעל נעכלות מהירה, מקטע בעל נעכלות איטית ומקטע לא נעכל (ציור 1) (Raffrenato et al., 2019).

איור 1. מקטעי ה-NDF השונים בתחמיץ תירס כדוגמה.



מחקר שנערך בצפון איטליה בחן מנות בשני ריכוזים שונים של מזון גס ושני מקורות שחת אספסת הנבדלות בנעכלות ה- NDF. נמצא כי צריכת NDF הלא נעכל ב- 24 שעות במבחנה (uNDF₂₄) הינה קבועה ועומדת על 0.74% ממשקל הגוף של הפרה. לא נמצא הבדל מובהק בתנובת החלב אך נמצא יתרון בריכוז השומן דווקא במנות עם שחת אספסת בעלת הנעכלות הנמוכה יותר (Fustini et al., 2017). מחקר אחר שנערך באיראן קש חיטה החליף תחמיץ תירס או שחת אספסת במנות אשר נשמר בהן ריכוז קבוע של uNDF₃₀. נמצא שבמנת הניסוי בה הוחלפה שחת האספסת בקש חיטה, תוך כדי הורדת ריכוז המזון הגס במנה מ- 40% ל- 31%, לא נמצאה פגיעה בצריכת המזון, תנובת החלב, חומציות הכרס והנעכלות in-vivo (Kahyani et al., 2019). עבודות אלו מרמזות כי בעזרת השימוש במקטע הלא נעכל של NDF ניתן להגיע לתכנון מדויק יותר של המנה אשר יאפשר שמירה על בריאות הכרס ללא פגיעה בבריאות הפרה. למרות זאת, ככל הנראה נעכלות ה- NDF לבדה אינה מספקת כדי לקבוע את מידת האפקטיביות של המזון הגס במנה. על אף מחקרים אלו טרם נמצאו קווים מנחים ברורים באשר לריכוז ה- uNDF במנה והשילוב בין אורך החלקיקים לריכוז ה- uNDF.

פרת ההולשטיין הישראלית לא נופלת בביצועיה מפרת ההולשטיין בארה"ב ובאירופה וזאת על אף שבישראל נעשה שימוש במזונות גסים אשר אינם איכותיים כמו אלו המצויים בצפון אמריקה ואירופה. אחת הסיבות המאפשרות לפרת החלב הישראלית להגיע לביצועים הגבוהים על אף איכות המזונות הגסים היא השימוש בריכוז נמוך יותר של מזונות גסים (30-35%) ביחס לארה"ב (40-50%) וצפון אירופה (50-70%), מבלי לפגוע בבריאות הכרס. בתנאי ישראל, בניגוד לארה"ב ואירופה, המזון הגס מהווה מרכיב המייקר את המנה, ובעוד המגמה הרווחת בארה"ב ואירופה הינה לבחון מהו הריכוז המקסימלי של מזון גס אשר יתמוך ברמת הייצור, בישראל ישנו צורך לבחון האם ניתן לייצר מנות אשר יתנו תוצאות טובות יותר מבחינה כלכלית ע"י שימוש במדדי ה- uNDF וה- peNDF.

בשנה הראשונה אפיינו את קצב נעכלות של מקטעי ה- NDF במזונות האופייניים בישראל והשווינו את קצב הנעכלות של אלה למזונות סטנדרטים מהעולם. במקביל לבדיקה בשקי דקרון נבדקו אותם מזונות באותם פרקי זמן במכשיר ה- DAISY_{II} לצורך השוואה ותיקוף השימוש במכשיר לקביעת נעכלות NDF. בהשוואת תוצאות נעכלות ה- NDF נמצאה התאמה טובה עם קורלציה של מעל 94% (r=0.969). על בסיס התוצאות מהשנה הראשונה ושימוש במודלים המדמים את פעולת הכרס בחרנו להשתמש בנתוני המקטע הבלתי נעכל ב- 48 שעות הדגרה (uNDF₄₈) בכדי לבחון האם ניתן להשתמש במדד זה לצורך תכנון מנות וזאת ע"י ניסוי בפרות ברפת הפרטנית בבית דגן.

4. תיאור הבעיה הנחקרת ופערי הידע בנושא:

קביעת ריכוז המזון הגס הדרוש כדי לאפשר פעילות כרס תקינה מחד, וצריכת מזון מקסימלית מאידך הינה מהאתגרים המרכזיים העומדים בפני התזונאי בעת תכנון המנה. על אף ההתקדמות בתחום ההזנה, לנושא "פשוט" (לכאורה) זה טרם נמצאה תשובה מדויקת דיו. השימוש ב- uNDF בתכנון המנות עשוי לעזור בפתרון בעיה זו, אך כדי לבחון זאת יש לאפיין תחילה את קצב נעכלות ה- NDF במזונות האופייניים לישראל ואת התאמת בדיקות המעבדה הקיימות לתנאי הכרס המאפיינים את הפרה בישראל. לאחר שנאפיין את קצב נעכלות

ה- NDF של המזונות בישראל ניתן יהיה לבחון את השימוש ב- uNDF ככלי לתכנון מנות ובשלב שני את האינטראקציה בין uNDF לתכונות אחרות המשפיעות על האפקטיביות וקצב הנעכלות של המזון הגס.

5. מטרת המחקר

מטרת המחקר הנוכחי הייתה לייצר פלטפורמה לתכנון מדויק וכלכלי יותר של ריכוז המזון הגס במנה וזאת ע"י שימוש בפרקציה הלא נעכלת של ה NDF. כדי לעמוד במטרה זו, מחקר זה חולק לשלוש מטרות ביניים:

א. אפיון קצב הנעכלות והפרקציות השונות של NDF במזונות האופייניים למנות בקר לחלב בישראל

ב. לבחון האם ניתן להצביע על מדד יחיד (למשל: ריכוז uNDF ב- 30 שעות) ככזה המאפשר שימוש מדויק לסיוע בתכנון כמות המזון הגס האופטימלית במנה.

ג. בחינת האינטראקציות בין ה- uNDF וגורמים נוספים המשפיעים על מידת האפקטיביות של המזון הגס בשמירה על תנאי כרס תקינים

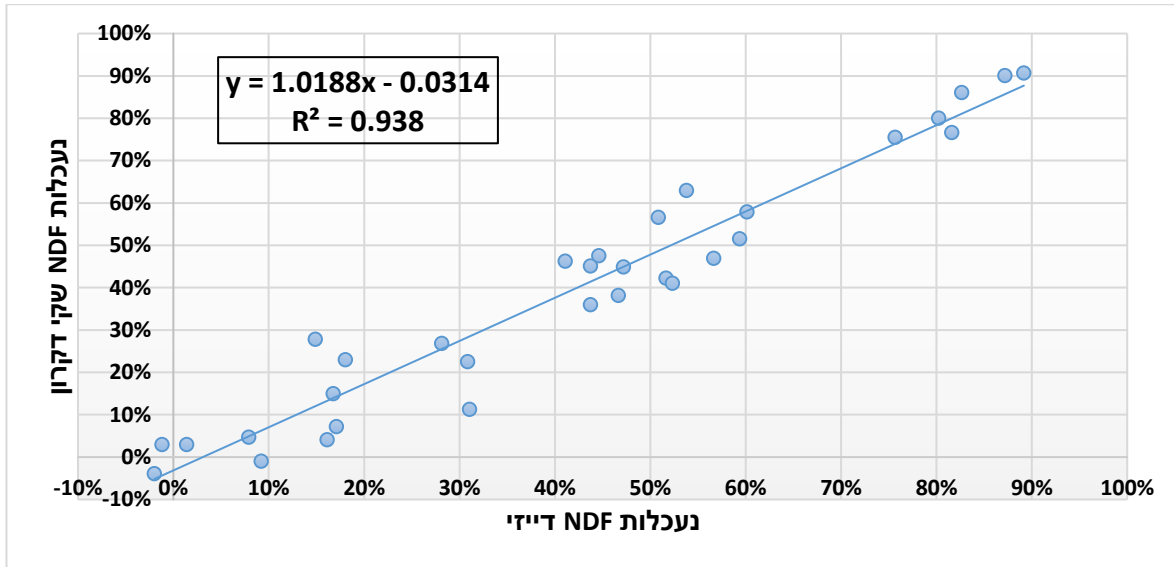
6. שנה ראשונה

בשנה הראשונה אפיינו את קצב נעכלות של מקטעי ה- NDF במזונות האופייניים בישראל והשוונו את קצב הנעכלות של אלה למזונות סטנדרטים מהעולם.

דוגמאות מהמזונות הגסים העיקריים בישראל ומן המזונות המרוכזים הנפוצים נאספו משלושה מרכזי המזון גדולים למעבדה (רשימת המזונות מופיעים בטבלה מס' 1). בסך הכל דגמנו 5 מזונות גסים ו- 10 מזונות מרוכזים. המזונות עברו ייבוש וטחינה ודוגמאות של 5 גרם מכל מזון (בטריפליקטים) נשקלו לשקיות דקרון.

המזונות הודגרו בכרס של פרה עם פיסטולה לכרס לפרקי זמן הבאים: 0, 6, 9, 12, 24, 30, 48, 120 ו- 240 שעות לקביעת נעכלות ופרקציית ה- NDF הלא נעכלת. במקביל נבדקו אותם מזונות באותם פרקי זמן במכשיר ה- DAISY לצורך השוואה ותיקוף השימוש במכשיר לקביעת נעכלות NDF. באיור מספר 2 מוצגות תוצאות הנעכלות ה- NDF בשתי השיטות, ונמצאה התאמה טובה - קורלציה של מעל 94% ($r=0.969$).

איור 2. נעכלות NDF כפי שנמדדה ע"י שיטת שקי דקרון כתלות בנעכלות NDF כפי שנמדדה ע"י שימוש במכשיר ה-DAISY. כל נקודה מייצגת בדיקה של מזון בזמני הדגרה שונים.



אפיון המזונות המרוכזים המיובאים מחו"ל הראה תוצאות דומות למחקרים דומים מחו"ל שבחנו את המתאם בין שתי השיטות (טבלה 1). בנוסף נמצא כי קצב הנעכלות דומה לזה המתואר בספרות ומתחלק לשני מקטעים בעלי פוטנציאל נעכלות (פרקציה בעלת נעכלות מהירה ופרקציה בעלת נעכלות איטית) ומקטע נוסף אשר אינו נעכל כלל.

טבלה 1. ריכוז uNDF (% מח"י) כתלות בשעות הדגרה למזונות המרכזיים ברפת הישראלית. המזונות מחולקים לפי סוג מזון: מזונות גסים (ירוק), גרעינים (צהוב), כוספות (כחול) ומזונות לוואי עתירי סיב (ורוד).

מזון/שעות בכרס	6	9	12	24	30	48	120	240
קש חיטה	67.4	66.6	62.8	62.3	59.3	52.0	37.0	29.3
שחת אספסת	39.5	35.9	35.2	32.5	27.2	28.7	20.9	23.3
שחת דגן	59.8	54.6	51.2	45.2	42.3	38.6	25.2	21.7
תחמיץ חיטה	47.8	47.5	47.2	40.9	40.0	33.8	25.7	23.7
תחמיץ תירס	40.6	40.3	37.9	35.7	34.2	30.9	19.5	18.9
חיטה ג.	15.0	13.9	12.7	11.3	10.0	9.2	3.5	1.9
שעורה ג.	17.1	16.5	15.0	14.2	12.3	9.8	6.8	4.0
תירס גרוס	13.4	12.3	9.6	8.9	6.9	5.9	4.1	2.9
כ. לפתית	28.2	25.3	23.0	18.8	17.0	13.6	12.6	12.4
כ. סויה	8.9	7.9	5.7	2.4	1.5	0.1	0.0	0.0
גלוטן פיד	30.8	26.3	22.9	18.7	17.8	8.8	5.8	4.1
ד.ד.ג'	36.7	30.0	25.5	15.8	17.7	10.2	7.2	4.0
סובין	37.7	36.1	32.8	31.3	28.6	27.1	21.4	20.7
פימה מטופלת	42.3	39.5	30.0	27.9	23.2	20.3	18.2	13.5
קליפות סויה	64.9	62.8	54.9	52.6	44.2	27.6	5.6	0.9

בנוסף נאספו דגימות חיטה משני זני חיטה נפוצים משלב שליפת השיבולת במרווחים של שבוע עד לשלב של קציר החיטה לגרעינים. דוגמאות אלה ישמשו לאפיון ההבדלים בקצב הנעכלות של צמח החיטה, אשר מהווה את המזון הגס העיקרי בישראל, כתלות בשלב הפנולוגי מפריחה ועד קש.

7. שנה שנייה

על בסיס התוצאות מהשנה הראשונה ושימוש במודלים המדמים את פעולת הכרס בחרנו להשתמש בנתוני המקטע הבלתי נעכל של הסיב במזונות הגסים ב- 48 שעות הדגרה (uNDF_{48f}) בכדי לבחון האם ניתן להשתמש במדד זה לצורך תכנון מנות וזאת ע"י ניסוי בפרות ברפת הפרטנית בבית דגן. בניסוי שבוצע בתחילת קיץ 2022 בחנו שתי מנות שונות בריכוז המזון הגס ובריכוז ה- NDF ממזון גס, אך זהות בריכוז ה- uNDF_{48f}, תוך שמירה על ריכוז אנרגיה, חלבון ועמילן זהים ככל האפשר בין המנות (טבלה 2). בניסוי, שבוצע במתכונת החלפה (cross-over) בחנו את צריכת המזון, תנובת החלב ורכיביו, נעכלות *in-vivo* ו- pH הכרס. במהלך הניסוי בצענו מספר בדיקות של אורך הסיב של הבלילים וכן בדיקות של ברור המזון לבחינת השפעת הרכב המנה על התנהגות האכילה של הפרות.

טבלה 2. הרכב ותכולות מנות הניסוי

רכיבים, % מח"י	ביקורת	טיפול	תכולות, מסך הח"י	ביקורת	טיפול
תירס	18.5	18.5	אנרגיה, מק"ל לק"ג	1.78	1.78
שעורה	3.1	3.1	פל"ם, %	37.4	39.0
חיטה	2.2	4.0	מזון גס, %	30.6	35.8
כ. סויה	5.0	5.0	חלבון, %	16.5%	16.5%
כ. לפתית	4.5	4.5	NDF ממזון גס, %	17.5%	18.0%
קש חיטה	0	8.3	uNDF _{48f} *, %	12.2%	12.3%
ת. חיטה	20.0	20.0	עמילן, %	23.5%	23.0%
ש. דגן	15.7	2.2	NDF כללי, %	32.8%	31.4%
אוריאה	0.1	0.2	48* uNDF _{48f} – NDF ממזון גס שאינו נעכל לאחר		
שומן מוגן	2.0	2.1	שעות הדגרה		
שמן	0.1	0.1			
סובין	3.3	6.6			
ג. פיד	12.4	12.4			
ד.ד.ג'	6.6	6.6%			
פימה מטופלת	1.9	1.9%			
מלח:סידן	1.4	1.3%			
סידנית	0.2	0.1%			
פרמיקס ויטמינים	0.1	0.1%			
סודה	0.7	0.7%			
מי לקטוז	2.3	2.3%			

בניסוי נמצא כי תנובת החלב והחמ"מ היו גבוהות יותר במנת הביקורת ביחס למנת הטיפול אך ריכוז המוצקים בחלב לא היה שונה בין הטיפולים (טבלה 3). צריכת המזון הייתה גבוהה יותר במנת הביקורת ביחס למנת הטיפול מה שהוביל לניצולת מזון טובה יותר לייצור חלב בקבוצת הטיפול (טבלה 4).

טבלה 3. ממוצעי ייצור חלב ורכיביו בהשפעת הטיפולים

P-VALUE	שת"ם	טיפול	ביקורת	מדד
0.008	0.20	51.7	52.2	חלב, ק"ג
0.04	0.49	49.5	50.5	חמ"ש 4%, ק"ג
0.006	0.36	49.1	50.1	חמ"מ, ק"ג
0.014	0.30	36.9	37.6	חמ"א, ק"ג
0.145	0.064	3.73	3.82	שומן, %
0.059	0.041	1.91	1.99	תנובת שומן, ק"ג
0.21	0.011	3.18	3.19	חלבון, %
0.03	0.019	1.63	1.67	תנובת חלבון, ק"ג
0.9	0.010	4.95	4.95	לקטוז, %
0.08	0.028	2.56	2.61	תנובת לקטוז, ק"ג
0.09	0.38	14.8	15.5	אוריאה, מ"ג/דצ'

טבלה 4. ממוצעי צריכה וניצולת מזון

P-VALUE	שת"ם	טיפול	ביקורת	מדד
<0.0001	0.2530	31.7	32.7	צריכת מזון, ק"ג ח"י
0.0002	0.0127	1.66	1.61	חלב/מזון, ק"ג/ק"ג
0.2371	0.0187	1.59	1.57	חמ"ש/מזון, ק"ג/ק"ג
0.1421	0.0168	1.60	1.58	חמ"ם /מזון, ק"ג/ק"ג
<0.0001	0.0043	0.621	0.639	מזון/חלב, ק"ג/ק"ג
<0.0001	0.0045	0.669	0.689	מזון/חמ"ש, ק"ג/ק"ג
0.1111	0.0061	0.653	0.663	מזון/חמ"מ, ק"ג/ק"ג

בדיקת נעכלות in-vivo בוצעה ל-12 פרות בכל קבוצה הן בתקופת הניסוי הראשונה והן בתקופת הניסוי השנייה. נעכלות החומר היבש, החומר האורגני, החלבון, ה-NDF והשומן הייתה גבוהה יותר במנת הביקורת ביחס למנת הטיפול (טבלה 5). משך העלאת הגירה במנת הטיפול היה נמוך יותר ב-10 דקות ביום אך זמן האכילה היה גבוה יותר בפרק זמן דומה (טבלה 6). pH הכרס נבדק במהלך הניסוי בעזרת בולוסים המנטרים את pH הכרס כל רבע שעה לאורך כל תקופת הניסוי. לא נמצא הבדל מובהק ב-pH הממוצע בכרס אך משך הזמן בו pH הכרס היה נמוך מ-6.0 ומ-5.8 היה ארוך יותר בקבוצת הטיפול (טבלה 6).

טבלה 5. ערכי נעכלות in-vivo כפי שנבדקו בעזרת iNDF כסמן פנימי

P-VALUE	שת"ם	טיפול	ביקורת	מזד
<0.0001	0.56	56.8	62.6	חומר יבש, %
<0.0001	0.52	59.6	65.1	חומר אורגני, %
<0.0001	1.04	53.8	61.9	חלבון, %
0.0004	1.09	30.8	36.7	NDF, %
0.0012	1.05	73.3	78.4	שומן, %
0.0512	0.93	95.0	97.6	עמילן, %
0.2409	0.77	91.0	92.3	פל"ם, %

טבלה 6. ממוצעי פרקי הזמן היומיים שנמדדו לרביצה, העלאת-גירה, אכילה והתנשמות כפי שנמדדו ע"י תגי SCR ואפיקים. בנוסף, ממוצעי ה-pH בכרס הפרות כפי שנמדדו ע"י בולוסים שהושטלו בכרס הפרות במהלך הניסוי.

P-VALUE	שת"ם	טיפול	ביקורת	מזד
0.35	4.2	524	520	משך רביצה, דק'
0.012	4.01	517.4	527.5	העלאת גירה יומית, דק'
<0.0001	1.96	214.7	201.9	אכילה יומית, דק'
0.20	5.19	138.8	132.2	התנשמות יומית, דק'
0.15	0.038	6.31	6.36	PH ממוצע
0.02	0.053	5.86	5.99	PH מינימלי
0.83	0.031	6.80	6.79	PH מקסימלי
0.004	40.6	171.0	52.7	PH<6.0 (דק'/יום)
0.01	32.6	110.9	26.8	PH<5.8 (דק'/יום)

סיכום ומסקנות - בניסוי זה נמצא כי השימוש במדד הסיב הלא נעכל שגרם להמרה של שחת בדגן בקש חיטה במנה גרם לירידה יומית ממוצעת של 0.5 ק"ג חלב (1%), וירידה ממוצעת של 1 ק"ג חמ"ש או חמ"מ (2%) בקבוצת הטיפול. ואולם ככלל בגלל הירידה צריכת מזון בקבוצת הטיפול גרמה לשיפור במדדי יעילות. כמו כן נמצאה ירידה בנעכלות כל רכיבי המזון בקבוצת הטיפול. תוצאות ניסוי זה מראות כי שימוש במדד הסיב הלא נעכל ממזון גס במשך 48 שעות הדגרה אינו מספק כמדד יחיד לקביעת כמות המזון הגס הדרושה במנת פרות חלב. יחד עם זאת יכול להיות שהכללת 8.3% קש חיטה במנה גרם לירידה בנעכלות וירידה קלה בתנובות בתנובות, וככל הנראה גם בשימוש בסיב הלא נעכל בתכנון המנה מחייב שימוש מתון יותר בקש חיטה במנת חולבות גבוהות תנובה.

למרות תוצאות אלו יש לבחון את האינטראקציה בין שימוש במדדים של ריכוז הסיב הלא נעכל במנה ותכונות אחרות של המנה בכדי לאפיין בצורה טובה יותר את הגורמים המשפיעים על האפקטיביות של המזון הגס בשמירה על פעילות הכרס בפרות חלב.

8. שנה שלישית

על בסיס תוצאות השנה השנייה ובהמשך לתוכנית המחקר בשנה זו בחנו את יחסי הגומלין בין רמת ה- uNDF במנות ואורך הסיב. בניסוי שבוצע בחורף 2023-4 בחנו את שני המשתנים (ריכוז uNDF ואורך הקיצוץ) והאינטראקציה ביניהם ע"י שימוש בארבע מנות השונות בריכוז המזון הגס ובריכוז ה- uNDF_{48f}, אך זהות בריכוז ה- NDF ממזון גס, תוך שמירה על ריכוז אנרגיה, חלבון ועמילן זהים ככל האפשר בין המנות (טבלה 2). השינוי באורך הקיצוץ בניסוי בוצעו ע"י קיצוץ מקדים של השחת אשר שימשה בניסוי לשתי רמות קיצוץ שונות, והשינוי בריכוז ה- uNDF_{48f} במנות בוצע ע"י החלפת חלק מהשחת חיטה בקש חיטה. לצורך שטף הקריאה המנה בעל ריכוז ה- uNDF_{48f} הגבוה תכונה מנת השחת ומנת ה- uNDF_{48f} הנמוך תכונה מנת הקש. כלל השחת בניסוי נקצצה ע"י מכשיר קיצוץ יעודי (חברת שילוני, כפר ורבורג) ואוחסנה בשני תאים נפרדים. הניסוי התבצע ברפת הפרטנית בבית דגן על 42 פרות מתחלובה שנייה ומעלה, אשר חולקו לארבעה טיפולים. בחנו את צריכת המזון, תנובת החלב ורכיביו, נעכלות *in-vivo* ו- pH הכרס. במהלך הניסוי בצענו מספר בדיקות של אורך הסיב של הבליים וכן בדיקות של ברור המזון לבחינת השפעת הרכב המנה על התנהגות האכילה של הפרות.

טבלה 7. הרכב מנות הניסוי, אחוז מהח"י

רכיבים	שחת		קש	
	קצוץ	ארוך	קצוץ	ארוך
תירס	26.7	26.7	27.6	27.6
חיטה	3.5	3.5	3.0	3.0
כ. סויה	2.5	2.5	1.9	1.9
כ. לפתית	13.0	13.0	14.5	14.5
קש חיטה	--	--	7.9	7.9
ת. חיטה	15.2	15.2	15.2	15.2
ש. דגן ארוכה	0	19.8	7.3	0
ש. דגן קצוצה	19.8	0	7.3	0
אוריאה	0.2	0.2	0.1	0.1
שומן מוגן	2.0	2.0	2.1	2.1
שמן	0.1	0.1	0.1	0.1
סובין	1.3	1.3	2.1	2.1
ג. פיד	6.8	6.8	8.1	8.1
ד.ד.ג'	5.3	5.3	6.4	6.4
מלח:סידן	1.0	1.0	1.0	1.0
סידנית	0.1	0.1	0.1	0.1
פרמיקס ויטמינים	0.1	0.1	0.1	0.1
סודה	0.7	0.7	0.7	0.7
מי לקטוז	1.8	1.8	1.8	1.8

טבלה 8. הרכב כימי של מנות הניסוי, אחוז מהח"י

תכולות, מסך הח"י	שחת		קש	
	קצוץ	ארוך	קצוץ	ארוך
אנרגיה, מק"ל לק"ג	1.77	1.77	1.77	1.77
פל"ם	41.3%	41.3%	39.3%	39.3%
מזון גס	35.0%	35.0%	30.4%	30.4%
חלבון	16.5%	16.5%	16.6%	16.6%
NDF ממזון גס	17.8%	17.8%	17.8%	17.8%
*UNDF48F	12.3%	12.3%	11.7%	11.7%
עמילן	26.6%	26.6%	26.7%	26.7%
NDF	29.7%	29.7%	31.4%	31.4%

*UNDF48F – NDF ממזון גס שאינו נעכל לאחר 48 שעות הדגרה

טבלה 9. התפלגות אורך החלקיקים במנות הניסוי לפי נפות פנסילבניה

p-value	מקור המזון הגס							
	מקור	אורך	מקור*אורך	קש חיטה		שחת חיטה		
				קצוץ	ארוך	קצוץ	ארוך	
0.14	0.08	<0.001	1.393	^א 21.3	^א 21.7	^ג 12.2	^ב 16.7	מעל 19 מ"מ
0.19	0.72	<0.001	0.532	^ב 12.4	^ב 11.9	^א 15.1	^א 16.0	בין 8 ל-19 מ"מ
0.37	0.62	<0.01	0.221	^ג 9.2	^ג 9.2	^א 10.0	^{אב} 9.7	בין 4 ל-8 מ"מ
0.05	0.05	0.02	1.301	^ב 57.1	^ב 57.2	^א 62.7	^ב 57.5	מתחת ל-4 מ"מ
0.05	0.05	0.02	1.301	^א 42.9	^א 42.8	^ב 37.3	^א 42.5	מעל 4 מ"מ
0.04	0.04	<0.01	1.319	^א 33.7	^א 33.6	^ב 27.2	^א 32.7	מעל 8 מ"מ

*אותיות שונות לצד המספרים מציינות כי קיים הבדל מובהק סטטיסטית ברמת ביטחון גבוה מ 95% נמצאו הבדלים בהתפלגות אורך הסיב בטיפול שחת החיטה בין קיצוץ ארוך לקצר. באופן מפתיע לא נמצא הבדל באורך הסיב בין טיפולי הקיצוץ בקש החיטה.

טבלה 9. תנובת חלב ורכיבי חלב ממוצעים לקבוצות הניסוי

p-value	מקור המזון הגס							
	מקור	אורך	מקור*אורך	קש חיטה		שחת חיטה		
				קצוץ	ארוך	קצוץ	ארוך	
<0.01	0.21	0.37	0.722	^א 41.4	^{אב} 44.9	^א 46.4	^ב 41.1	חלב, ק"ג
0.78	0.07	0.15	0.087	4.11	3.97	4.26	4.08	שומן, %
0.60	0.40	0.08	0.053	1.75	1.67	1.82	1.80	שומן, ק"ג
0.57	0.07	0.54	0.044	3.49	3.43	3.48	3.38	חלבון, %
0.98	0.89	0.89	0.038	1.48	1.48	1.47	1.48	חלבון, ק"ג
0.50	0.17	0.24	0.028	4.84	4.82	4.89	4.83	לקטוז, %
0.94	0.64	0.62	0.067	2.05	2.09	2.09	2.11	לקטוז, ק"ג
<0.01	0.03	0.03	1.129	^ב 41.2	^ב 43.8	^א 48.9	^ב 41.5	4% חמ"ש, ק"ג
<0.01	0.02	0.04	1.085	^ב 41.9	^ב 44.5	^א 49.5	^ב 41.7	חמ"א, ק"ג

*אותיות שונות לצד המספרים מציינות כי קיים הבדל מובהק סטטיסטית ברמת ביטחון גבוה מ 95%

בניסוי נמצאה אינטראקציה בין אורך הקיצוץ וה- $uNDF_{48h}$ כאשר תנובת החלב הייתה הגבוהה ביותר בטיפול השחת הקצוצה (טבלה 9). לא נמצאו הבדלים מובהקים בריכוז שומן, חלבון ולקטוז בחלב ובתנובת הרכיבים. נמצאו הבדלים מובהקים בתנובת החמ"ש ותנובת החמ"מ לטובת טיפול השחת הקצוצה.

טבלה 10. צריכת מזון, יעילות ניצול המזון, שינוי משקל גוף ומאזן אנרגיה ממוצעים לקב' הניסוי

p-value	מקור המזון הגס							
	שתי"ם			קש חיטה		שחת חיטה		
	מקור	אורך	מקור*אורך	קצוץ	אורך	קצוץ	אורך	
0.24	0.94	0.01	0.363	^א 29.8	^א 30.2	^א 29.3	^ב 28.9	צריכת מזון, ק"ג ח"י ליום
<0.01	0.00	0.01	0.039	^ב 1.47	^ב 1.54	^א 1.78	^ב 1.46	חמ"מ/מזון, ק"ג/ק"ג
<0.01	0.87	0.84	0.040	^ב 1.48	^א 1.63	^א 1.64	^ב 1.48	חלב/מזון, ק"ג/ק"ג 4% חמ"ש/מזון, ק"ג/ק"ג
<0.01	0.00	0.00	0.039	^ב 1.47	^ב 1.55	^א 1.79	^ב 1.49	שינוי משקל גוף, ק"ג
0.58	0.02	0.56	4.779	^א 24.4	^א 33.8	^ב 18.1	^א 32.8	חמ"א/מזון, ק"ג/ק"ג
<0.01	<0.01	<0.01	0.040	^ב 1.49	^ב 1.57	^א 1.81	^ב 1.49	מאזן אנרגיה, מק"ל
0.00	0.04	0.00	0.866	^א 10.8	^א 9.2	^ב 4.8	^א 10.0	

*אותיות שונות לצד המספרים מציינות כי קיים הבדל מובהק סטטיסטית ברמת ביטחון גבוה מ 95%

צריכת המזון של הפרות בניסוי לא הושפעה מאורך קיצוץ אך כן נמצאה השפעה מובהקת לריכוז ה-uNDF_{48f} במנות, כאשר במנות המכילות קש עם סיב ארוך צריכת החומר היבש הייתה גבוהה יותר (טבלה 10) משחת חיטה עם סיב ארוך. ההבדלים בצריכת החומר היבש היו יחסית קטנים ולכן יעילות הייצור הייתה הטובה ביותר בטיפול השחת הקצוצה הן לייצור חלב והן לייצור חמ"ש וחמ"מ. בניגוד ליעילות בייצור החלב, מאזן האנרגיה של הפרות בטיפול השחת הקצוצה היה נמוך באופן מובהק משאר הטיפולים. משך העלאת הגירה הייתה נמוכה באופן מובהק בטיפול ה-uNDF_{48f} הנמוך (קש כמקור מזון גס) והקצוץ הן בסך הדקות היומי והן לק"ג חומר יבש נאכל (טבלה 11). תוצאות דומות מצאנו גם במשך האכילה היומית, אך בפרמטר זה לא היה הבדל מובהק בין טיפול הקש הקצוץ לטיפול השחת הארוכה.

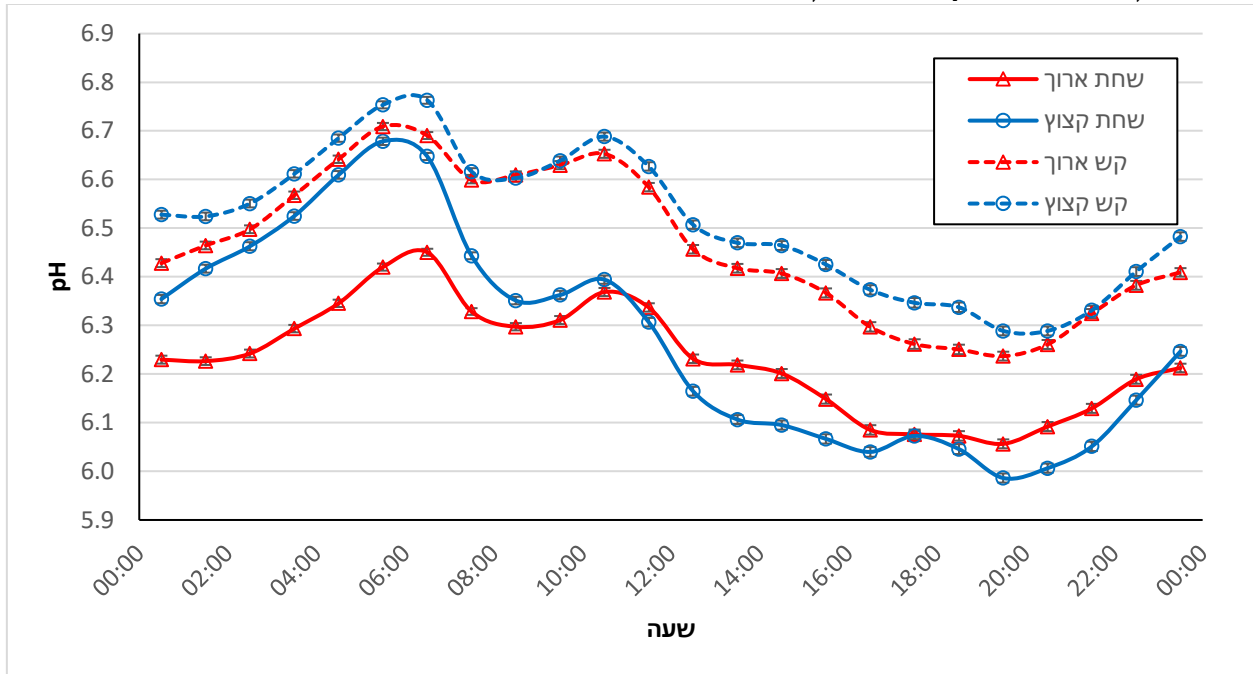
טבלה 11. העלאת גירה, זמן אכילה ורביצה ממוצעים לקבוצות הניסוי

p-value	מקור המזון הגס							
	שתי"ם			קש חיטה		שחת חיטה		
	מקור	אורך	מקור*אורך	קצוץ	אורך	קצוץ	אורך	
<0.001	0.002	0.007	5.683	^ב 472	^א 518	^א 515	^א 506	העלאת גירה, דק' העלאת גירה, דק'/ק"ג
0.004	0.007	<0.001	0.256	^ב 16.2	^א 17.6	^א 17.8	^א 17.7	ח"י
<0.001	0.365	0.015	5.063	^ב 177	^א 204	^א 212	^א 194	אכילה, דק'
<0.001	0.175	0.061	0.213	^ב 6.1	^א 7.1	^א 7.3	^א 6.8	אכילה, דק'/ק"ג ח"י
0.443	<0.001	0.035	8.573	^ב 694	^ב 651	^א 705	^א 676	רביצה, דק'

*אותיות שונות לצד המספרים מציינות כי קיים הבדל מובהק סטטיסטית ברמת ביטחון גבוה מ 95%

ניטור pH הכרס לאורך היממה התבצע ע"י שימוש בבולוסים אשר הוחדרו לכרס הפרות ומדדו את ה-pH כל 10 דקות. הבולוסים הוכנסו לארבע פרות בכל קבוצת ניסוי והנתונים נאספו בתום תקופת הניסוי. בניסוי נמצא כי pH הכרס בפרות בטיפול השחת היה נמוך יותר מאשר בטיפול הקש, כאשר במהלך שעות הלילה ה-pH היה

הנמוך ביותר בטיפול השחת הארוכה ואילו בשעות הצהריים עד הערב ה-pH בפרות בטיפול השחת הקצוצה היה הנמוך ביותר (איור 3)
איור 3. גרף השתנות ה-pH בכרס לאורך היממה בפרות הניסוי.



בניסוי זה מצאנו כי קיימת אינטראקציה מובהקת בין אורך הקיצוץ וריכוז ה- $uNDF_{48f}$ במנה הן בייצור החלב והן בצריכת המזון. ההבדלים המשמעותיים ביותר בין הטיפולים בניסוי היו בין טיפול השחת הקצוצה וטיפול השחת הארוכה ואילו במנות אשר הכילו קש ההבדלים היו קטנים באופן יחסי. ייתכן והסיבה לכך היא כי המזון הגס בו נעשה שינוי ברמת הקיצוץ בניסוי היה שחת ולכן במנות אשר הכילו קש, ריכוז השחת במנה היה נמוך (7.3% בלבד מהח"י), וככל הנראה לא הצליח לייצר שינויים משמעותיים במבנה הפיזיקלי של המנה. כמו כן נראה כי בגלל המאפיינים של קש החיטה, לא הצלחנו ליצור שינויים משמעותיים באורך הסיב בין קש קצוץ לקש ארוך, ולכן במרבית הפרמטרים שנבחנו לא נמצאו הבדלים בין 2 טיפולי הקש.

משך העלאת הגירה ומשך האכילה היומי הושפעו מריכוז ה- $uNDF_{48f}$ במנה והיו גבוהים יותר במנות השחת אך למרות זאת, pH הכרס היה נמוך יותר בטיפולים אלו. ייתכן והסיבה להבדל נובעת מבירור מזון משמעותי יותר שבוצע ע"י הפרות כנגד החלקיקים הארוכים המנה בטיפול השחת (תוצאות לא מוצגות). בעת כתיבת סיכום המחקר טרם סיימנו מספר אנליזות חשובות לסיכום המחקר ובהן בדיקת נעכלות in-vivo ובחינה של ריכוזי חש"ן ואמוניה בכרס. תוצאות אלה יתווספו לסיכום המחקר שיתפרסם במאמרים בכתבי עת בינלאומיים.

9. סיכום ומסקנות

בחלקו הראשון של מחקר זה קבענו את קצב נעכלות ה- NDF של מזונות נפוצים ברפת החלב הישראלית, וכן את רמת הסיב הבלתי נעכל בכרס בפרקי זמן שונים לאחר הדגרה בכרס. כמו כן בדקנו את המתאם בין התוצאות כפי שנמצאו בהדגרה in-situ או במכשיר ה- Daisy. נמצא מתאם גבוה בין תוצאות הנעכלות in-situ לבין התוצאות ב- Daisy, המעיד כי ניתן להשתמש במכשיר ה- Daisy לקביעת קצבי נעכלות ומדדים נוספים של מזונות ברמה טובה. כצפוי, מצאנו הבדלים גדולים בקצבי הנעכלות של NDF בין המזונות השונים, אשר קובע את קצב השרידות של ה- NDF הבלתי נעכל – uNDF.

ע"ע שימוש בנתונים מחלקו הראשון של המחקר העמדנו ניסוי ברפת הפרטנית בו עשינו שימוש בנתוני ה- uNDF ב- 48 שעות הדגרה של המזונות הגסים (uNDF_{48f}) מחלקו הראשון של הניסוי. בניסוי זה שבוצע במתכונת cross-over בחנו שתי מנות שונות בריכוז המזון הגס ובריכוז ה- NDF ממזון גס, אך זהות בריכוז ה- uNDF_{48f}, תוך שמירה על ריכוז אנרגיה, חלבון ועמילן זהים ככל האפשר בין המנות. בניסוי זה נמצא כי השימוש במדד ה- uNDF_{48f} שהוביל להמרה של שחת בדגן בקש חיטה במנה גרם לירידה בתנובת חלב, חמ"ש וחמ"מ, ונעכלות רכיבי המנה בקבוצת הטיפול, אבל תרם לשיפור במדדי היעילות. יכול להיות שהכללת קש חיטה במנה בשיעור גבוה יחסית גרמה לירידה בנעכלות ובערך האנרגטי של המנה ובתנובות, וכן לפגיעה בצריכת מזון, פרמטרים אשר אמורים להילקח בחשבון עם שימוש מוגבר בקש.

למרות תוצאות אלו יש לבחון את האינטראקציה בין שימוש במדדים של ריכוז הסיב הלא נעכל במנה ותכונות אחרות של המנה בכדי לאפיין בצורה טובה יותר את הגורמים המשפיעים על האפקטיביות של המזון הגס בשמירה על פעילות הכרס בפרות חלב.

בניסוי השלישי בחנו את האינטראקציה בין רמת ה- uNDF במנות ואורך הסיב ע"י שימוש בארבע מנות השונות בריכוז המזון הגס ובריכוז ה- uNDF_{48f}, אך זהות בריכוז ה- NDF ממזון גס, תוך שמירה על ריכוז אנרגיה, חלבון ועמילן זהים ככל האפשר בין המנות. השינוי באורך הקיצוץ בניסוי בוצעו ע"י קיצוץ מקדים של השחת אשר שימשה בניסוי לשתי רמות קיצוץ שונות, והשינוי בריכוז ה- uNDF_{48f} במנות בוצע ע"י החלפת חלק מהשחת חיטה בקש חיטה. בניסוי זה מצאנו כי קיימת אינטראקציה מובהקת בין אורך הקיצוץ וריכוז ה- uNDF_{48f} במנה הן בייצור החלב והן בצריכת המזון. ההבדלים המשמעותיים ביותר בין הטיפולים בניסוי היו בין טיפול השחת הקצוצה וטיפול השחת הארוכה ואילו במנות אשר הכילו קש ההבדלים היו קטנים באופן יחסי. ייתכן והסיבה לכך היא כי המזון הגס בו נעשה שינוי ברמת הקיצוץ בניסוי היה שחת ולכן במנות אשר הכילו קש, ריכוז השחת במנה היה נמוך (7.3% בלבד מהח"י), וככל הנראה לא הצליח לייצר שינויים משמעותיים במבנה הפיזיקלי של המנה. כמו כן נראה כי בגלל המאפיינים של קש החיטה, לא הצלחנו ליצור שינויים משמעותיים באורך הסיב בין מנת הקש קצוץ למנת קש ארוך, ולכן במרבית הפרמטרים שנבחנו לא נמצאו הבדלים בין 2 טיפולי מנות הקש.

בסדרת ניסויים אלה הדגמנו כי ניתן להוריד את ריכוז המזון הגס במנה ע"י שימוש בפרמטר ה- uNDF_{48f} כמדד בתכנון המנה ללא פגיעה בייצור החלב וביעילות הייצור, אך עם זאת ישנה חשיבות לגורמים נוספים בהרכב המנה אשר משפיעים על צריכת המזון ובריאות הכרס. כדי לבסס את השימוש במדד זה ככלי לתכנון מנות בקר לחלב יש צורך במחקר נוסף אשר ידייק את השימוש בו.

Fustini M, Palmonari A, Canestrari G, et al. Effect of undigested neutral detergent fiber content of alfalfa hay on lactating dairy cows: Feeding behavior, fiber digestibility, and lactation performance. *J Dairy Sci.* 2017;100(6):4475-4483. doi:10.3168/jds.2016-12266

Kahyani A, Ghorbani GR, Alikhani M, et al. Performance of dairy cows fed diets with similar proportions of undigested neutral detergent fiber with wheat straw substituted for alfalfa hay, corn silage, or both. *J Dairy Sci.* 2019;102(12):10903-10915. doi:10.3168/jds.2019-16869

Lammers BP, Buckmaster DR, Heinrichs AJ. A simple method for the analysis of particle sizes of forage and total mixed rations. *J Dairy Sci.* 1996;79(5):922-928. doi:10.3168/jds.S0022-0302(96)76442-1

Raffrenato E, Nicholson CF, Van Amburgh ME. Development of a mathematical model to predict pool sizes and rates of digestion of 2 pools of digestible neutral detergent fiber and an undigested neutral detergent fiber fraction within various forages. *J Dairy Sci.* 2019;102(1):351-364. doi:10.3168/jds.2018-15102

Zebeli Q, Aschenbach JR, Tafaj M, Boguhn J, Ametaj BN, Drochner W. Invited review: Role of physically effective fiber and estimation of dietary fiber adequacy in high-producing dairy cattle. *J Dairy Sci.* 2012;95(3):1041-1056. doi:10.3168/jds.2011-4421