

דו"ח מדעי סופי לתוכנית מחקר מס': 362-0358-14

השפעת הזנת פרות חלב בשומן ממקורות שונים בשיעורים גבוהים מן המקובל על יעילות ייצור
חלב ורכיביו ורמת הפרשת המתן בתנאי עומס חום

**The effects of high rates of various sources of fat supplemented to dairy cows
during the on production efficiency and methane secretion**

ד"ר עוזי מועלים - חוקר ראשי - הזנה ומטבוליזם של מעלי גירה, המחלקה לחקר בקר וצאן, מכון
לבע"ח, מרכז וולקני. ירכז את עבודת המחקר. uzim@volcani.agri.gov.il

פרופ' עמי אריאלי – הזנה ומטבוליזם של מעלי גירה, המחלקה לבע"ח, הפקולטה לחקלאות,
רחובות. יסייע בניתוח תוצאות הניסוי ובהדרכת סטודנטים. arieli@agri.huji.ac.il

1.4. תקציר

הגיאות במחירי הגרעינים בעשור האחרון הביאו להגברת השימוש בשומן בהזנת מע"ג. במספר ניסויים שהתבצעו בעולם נמצא כי הזנה בשומן תרמה לירידה בייצור המתן בכרס. המנה הישראלית מתאפיינת בשיעור גבוה של גרעינים, ולא ניתן להגדילו מעבר לכך משיקולים תזונתיים וכלכליים. בעבודת מחקר זו בחנו את השפעת ההזנה בשיעורים גבוהים של שומן על הייצור, יעילות, סביבת הכרס ונעכלות המזון. בניסוי הראשון במסגרת הפרויקט נבחנה השפעת שיעורים הולכים ועולים של שומן מוגן בצורת מלחי סידן של משמן דקלים במנה. 42 פרות מהמלטה שנייה ואילך חולקו ל- 3 קבוצות ברפת ההזנה הפרטנית והוזנו במנות שהכילו 4.7%, 5.8% או 6.8% שומן. לא נמצאו הבדלים מובהקים בצריכת מזון, תנובת חלב, חמ"ש או חמ"מ בין הטיפולים, אבל נצפתה ירידה אופיינית באחוז ותנובת החלבון עם העלייה ברמת השומן במנה. כמו כן, לא נמצאו הבדלים משמעותיים בחישובי יעילות. נצפתה ירידה בנעכלות של ח", חומר אורגני ו- NDF עם העלייה באחוזי השומן במנה. בחלק השני של עבודת המחקר בחנו האם למקור והרכב השומן במנה שהכילה 6.6% שומן כללי במנה יש השפעה על הייצור, יעילות ונעכלות. בניסוי זה נערכה השוואה בין מנות שהכילו שומן רווי, שומן המועשר בחומצות מסוג אומגה-6 שמקורו בשמן חמניות ושומן מועשר בחומצות מסוג אומגה-3 שמקורו בשמן פשתה. לא נמצאו הבדלים בצריכת מזון, ותנובת החלב הייתה גבוהה יותר בקבוצת האומגה-3 לעומת השומן הרווי. לא נמצאו הבדלים באחוז החלבון בחלב, ואילו אחוז השומן נטה לרדת בטיפול השומן הבלתי רווי, ככל הנראה בגלל דיכוי סינתזת חומצות קצרות שרשרת בעטין ע"י איזומרים מדכאי שומן שנוצרו מביהידרוגנציה חלקית בכרס. היעדר הבדלים באחוז החלבון בחלב מעיד כי רמת השומן במנה ולא דווקא הרכבו משפיעים על אחוז החלבון בחלב. לא נמצאו הבדלים בין הטיפולים בחומציות הכרס, או במאפיינים של תסיסת החלבון או הפחמימות. זמן הרביצה והעלאת הגירה היה גבוה יותר בפרות שצרכו שומן בלתי רווי, מה שמעיד על הרגשת נוחות גדולה יותר אצל פרות אלה.

תוצאות עבודת מחקר זו מראות כי ניתן להוסיף שומן מוגן עד לרמות של 6.8% שומן כללי ללא פגיעה משמעותית בייצור או ביעילות הייצור. כמו כן להרכב השומן במנה יש השפעה על רכיבי הייצור, כאשר לשומן בלתי רווי השפעה מטיבה גם על רווחת החייה. יחד עם זאת, בגלל הפגיעה בנעכלות המזון ובחלבון החלב אנו ממליצים על שימוש בשומן מוגן עד 6% שומן כללי במנה.

1.5. מבוא ותיאור הבעיה

כללי

פוטנציאל גנטי גבוה לייצור חלב מחייב אספקה סדירה ומספקת של מטבוליטים הנחוצים לייצור כמות חלב מוגברת. צריכת האנרגיה של פרת החלב גבוהה התנובה הדרושה לייצור יכולה להגיע ליותר מפי 3 מן הצריכה הדרושה לקיום. מקורות האנרגיה העיקריים בהזנת פרות חלב באים ממקור

של פחמימות שונות ושומן. השומן מהווה מרכיב מזוני עתיר אנרגיה באופן יחסי למקורות האנרגיה האלטרנטיביים (9 מק"ל אנרגיה כללית לק"ג חומר יבש לעומת 4 מק"ל בחלבון ופחמימות). ואולם במס' עבודות נמצא כי שומן בצורתו הטבעית עלול לפגוע בנעילות של תאית, אבל אין כל הוכחה לפגיעה בנעילות רכיבים אחרים של המנה כגון: פחמימות. כמו כן נמצא במספר עבודות ששומן פוגע בצריכת המזון, אבל ללא פגיעה בתנובת החלב, מה שעשוי לעתים קרובות להעלות את יעילות הייצור.

שומן נכלל במנות סטנדרטיות של פרות חולבות בישראל בשיעורים של 3-5% מן המנה: 2-3% שומן טבעי שמקורו ברכיבי המנה, ו-1-2% שומן מוגן. השומן המוגן הנפוץ ביותר בישראל הינו מלחי סידן של חומצות שומן, המופק בעיקר משמן דקלים. בגלל חוסר יציבות שוק הגרעינים בעולם ומחיר אלטרנטיבי נמוך יותר לשומן, השימוש בו נעשה נפוץ יותר ובשיעורים גבוהים מן המקובל. ואולם עד כה לא נבחנה באופן יסודי השפעת ההזנה בשומן בשיעורים גבוהים לפרות חלב על צריכת מזון, תנובת חלב ורכיבו ויעילות הייצור.

שיטות ההגנה על שומן

שומן מגיע לכרס עובר ליפוליזה לחומצות שומן חופשיות (FFA) וביהידרוגנציה של החומצות הבלתי רוויות. לפי רוב המחקרים, ספיגה של חומצות שומן או פירוקו לחומצות שומן נדיפות ו- CO_2 בכרס הינו זניח (Harfoot, 1978). גופם של החיידקים מכיל כ-10-15% שומן, וחלק מזערי של חומצות השומן הארוכות נספג ע"י המיקרואורגניזמים עצמם בכרס לבניית גופם (Harfoot et al., 1988). כפי שנאמר לעיל, הזנה בשומן בצורתו הטבעית בשיעור גבוה פגעה בשיעור הנעילות של פחמימות מבניות (Jenkins, 1993). לעומת זאת לא נמצאה פגיעה בנעילות פחמימות לא מבניות, ובמספר עבודות נמצאה ירידה מסוימת בנעילות חלבון עם ההזנה בריכוזי שומן גבוהים (Jenkins and Fotouhi, 1990). מס' תיאוריות מנסות להסביר את האפקט המדכא של שומן על נעילות תאית וביניהן זו הטוענת כי השומן עוטה את חלקיקי המזון ואינו מאפשר מגע ישיר בין המיקרואורגניזמים לצלולוז (Jenkins, 1993). תיאוריה נוספת טוענת כי השומן פוגע באופן ישיר בהתפתחות והתרבות חיידקים מפרקי צלולוז (Devendra and Lewis, 1974).

פותחו מספר שיטות הגנה על שומן מפני הפעילות המיקרוביאלית בכרס. שיטות הגנה אלה מצמצמות את הפגיעה של הזנה בשומן על נעילות התאית, וכן את ההרוויה של חומצות שומן בלתי רוויות בכרס. הגנה על שומן בכרס אפשרה שימוש בשומן בשיעורים גבוהים יותר ממה שהיה מקובל בעבר בהזנת מעלי גירה.

שיטות ההגנה על שומן התפתחו ושוכללו בשנים האחרונות. כפי שנאמר לעיל, שיטת ההגנה הראשונה הייתה בעזרת מלחי סידן של חומצות שומן. מאז פותחו שומנים מוגנים בשיטות אחרות שחלקן אף נחשבות כיעילות יותר.

כפי שנאמר לעיל, הסוג הנפוץ ביותר הוא שומן מוגן כמלחי סידן של חומצות שומן (CSFA, Calcium Salts of Fatty Acids): מלחים אלו אינם מתפרקים ב-pH של הכרס, אך ב-pH החומצי של האבומאזום הם מתפרקים לחומצות שומן וליוני סידן אשר נספגים במעי. סוג אחר של שומן מוגן נקרא "Prilled fatty acids". בטכניקת הגנה זו השומן הנו רווי ועובר תהליך עיבוד פיזי המכונה "גירעון" (Prilled) שהופך אותו לאינרטי בכרס. שיטה נוספת בה עושים שימוש הינה מיקרוקפסולציה של שומן, בשיטה זו עוטים במקרים מסוימים את כדוריות השומן בחומרים מינרליים המתמוססים ב-pH החומצי של האבומאזום. בישראל נעשה שימוש בעיקר במלחי סידן של חומצות שומן, כאשר המקור העיקרי הינו שמן דקלים. יש לציין מלבד שיטות ההגנה השונות, פותחו תכשירים עם הרכבי חומצות שומן שונה.

הפרשת מתן

מתן (CH_4), דו תחמוצת הפחמן (CO_2) ומימן (H_2) הינם שלושת הגזים הנפלטים ממערכת העיכול של מעלי גירה ע"י גיהוק במהלך התסיסה של פחמימות בכרס. ה- CO_2 וה- H_2 נוצרים בתהליך הביוכימי של פירוק הפחמימות בכרס ומהווים פרקורסורים לייצור המתן ע"י מיקרואורגניזמים. עקב ערכו האנרגטי הגבוה של מתן, מהווה פליטתו ע"י מעלי הגירה הפסד אנרגטי מ-2 עד 12% (Johnson and Johnson, 1995). המתן המופרש ממשק בעלי החיים מהווה כ-15-20% מסך המתן המופרש לאטמוספירה (Moss et al., 2000), ואילו המתן הנפלט ממערכת העיכול של בקר לחלב מהווה כ-50-65% מסך המתן הנפלט ממשק בעלי החיים (Eugène et al., INRA). הוספת שומן למנות מעלי גירה יכולה להוות שיטה לצמצום פליטת המתן ובעיקר שומן בלתי רווי. הרוויות השומן ע"י המיקרואורגניזמים דורשת אטומי מימן, והתחרות על אטומי מימן יכולה לגרום לצמצום ייצור המתן בכרס. כמו כן תוספת שומן למנה מהווה תוספת אנרגטית המהווה תחליף למסלולי הפקת אנרגיה ע"י תסיסת פחמימות, שהינה המקור העיקרי לייצור המתן בכרס. הגברת המודעות לאיכות הסביבה והשפעת משק בעלי החיים האינטנסיבי על הפרשת גזי החממה, מהווה שיקול נוסף לעידוד שימוש מוגבר בשומן במנת מעלי הגירה וצמצום הפרשת המתן לסביבה. ייצור גזי החממה ממשק בעלי חיים והשפעתם על איכות הסביבה ועל האקלים מהווים גורם מדאיג בקרב כל העוסקים בתחום. בעבודה שביצענו לפני כשנתיים בארץ, נמצא גם העלאת ריכוז האנרגיה במנת פרות חלב בתנאי עומס חום ע"י תוספת שומן מוגן גרמה לשיפור ביעילות הייצור יחסית למנות המכילות שיעור גבוה של (Moallem et al., 2010). כמו כן נמצאה ירידה בייצור החום המטבולי יחסית למנות ביקורת. בעבודה שנעשתה בצרפת נמצאה קורלציה גבוהה בין שיעור חומצות השומן הקצרות והבינוניות ($\geq \text{C}16:0$) בשומן החלב, לבין ייצור המתן שנקבע באופן ישיר. על פי עבודה זו פותחה נוסחה בה ניתן לכמת באופן עקיף את כמות המתן המיוצרת בכרס, ע"י קביעת פרופיל חומצות השומן בחלב.

בעבודת מחקר זו אנו מתכוונים לעשות שימוש בנוסחה זו על מנת לקבל הערכה עקיפה של כמות המתן המופרשת.

בתהליך הביוסינתיזה של האציטט בכרס מיוצרות מולקולות CO_2 ו- H_2 , ואילו בתהליך ייצור הפרופיונט נוצרות מולקולות CO_2 בלבד. לפיכך, הזנה המעודדת ייצור חומצה פרופיונית על חשבון ח. אציטית יפחית את זמינות מולקולות המימן הנחוצות לתהליך ייצור המתן, ובסופו של תהליך תגרום להפחתה בייצור המתן בכרס. בעבודת מחקר זו אנו מציעים לבחון את השפעת העלאת ריכוז השומן במנה עד ל- 8% על יעילות ייצור החלב ורכיביו, סביבת הכרס ונעכלות רכיבי המזון.

1.6. מטרת המחקר

1. לקבוע את השפעת הזנה בשומן מוגן בשיעורים גבוהים מן המקובל היום על צריכת מזון, ייצור חלב ורכיביו ויעילות הייצור.
2. לקבוע את השפעת שומן ממקורות שונים על הפרשת המתן בכרס.
3. לקבוע את השפעת ההזנה בשומן האפקטיבי ביותר מבין אלה שייבחנו בשלבי העבודה הראשונים ובריכוזים גבוהים על יעילות הייצור, סביבת הכרס ונעכלות המזון, הפרשת מתן והרכב שומן החלב.

במסגרת המחקר בוצעו 2 ניסויים אינטנסיביים ברפת ההזנה הפרטנית של מינהל המחקר החקלאי בבית דגן, ובהם נבחנה השפעת שיעורים גבוהים של שומן מוגן ממקורות שונים במנת פרות חולבות גבוהות תנובה.

ניסוי ראשון: 42 פרות מהמלטה שנייה ואילך חולקו ל- 3 קבוצות על פי תנובת חלב, ימים בתחלובה ומספר תחלובה. הניסוי נמשך 14 שבועות ובו הפרות קיבלו מנות עם תכולות דומות, ורמות עולות של שומן מוגן (טבלה מס' 1). השומן בניסוי זה ניתן כמלחי סידן של חומצות שומן משמן דקלים (אדולק – CSFA) של חברת פיברו. לא ניתן היה להגיע לרמות גבוהות של 8% שומן כפי שתוכנן בגלל מגבלות באספקת החלבון, ריכוז אנרגיה גבוה מידי או מחיר מנה לא סביר. טיפולי ההזנה היו כדלקמן: 1) **LF** – (ביקורת) מנה שהכילה 4.7% שומן – (CSFA 1.7%), 2) **MF** – (שומן בינוני) מנה שהכילה 5.8% שומן – (CSFA 2.8%), 3) **HF** – (שומן גבוה) מנה שהכילה 6.8% שומן (CSFA 3.9%).

ריכוז החלבון בשלושת המנות היה זהה וריכוז האנרגיה היה גבוה במעט במנה עם הריכוז הגבוה לעומת 2 המנות האחרות.

ביקורות חלב התבצעו אחת לשבועיים מ- 3 חליבות רצופות.

נלקחו דוגמאות כרס לבדיקת רמות VFA ואמוניה בכרס 3 פעמים ביממה: שעתיים לפני ארוחה, בזמן ארוחה ושעתיים לאחר ארוחה.

כמו כן נלקחו 8 דוגמאות צואה במשך יומיים לבדיקת נעכלות כללית.

טבלה מס' 1: הרכב המנות בניסוי הראשון.

שומן גבוה	שומן בינוני	שומן נמוך	הרכב
% מחומר יבש			
19.2	23.2	21.1	תירס גרוס
1.1	1.3	3.3	שעורה לחוצה
0.7	0.9	1.8	כוספת סויה 48%
1.1	1.3	3.3	חיטה גרוסה
0.3	0.3	0.6	מלח סידן
6.9	6.1	2.0	כוספת חמניות
2.8	3.3	3.3	שחת תלתן
10.3	12.5	12.5	שחת דגן
3.9	-	-	קש חיטה
6.5	7.9	7.9	תחמיץ חיטה
6.8	8.2	8.4	תחמיץ תירס
12.5	7.8	-	סובין
4.4	5.4	14.2	גלוטן פיד
1.9	2.2	2.2	לפתית
2.4	2.9	2.1	גרעיני כותנה מטופלת
12.3	10.1	9.7	DDG
0.7	0.9	1.0	ביקרבוט
0.9	1.0	0.7	סידנית
0.9	1.1	3.9	מי לקטוז
0.1	0.1	0.1	ויטמין חולבות
0.3	0.4	0.4	אוריאה
0.3	0.3	-	מלח NACL
3.9	2.8	1.7	שומן מוגן
			תכולה
% מחומר יבש			
1.80	1.78	1.78	אנרגיה (NEI), מק"ל לח"י
16.5	16.5	16.5	חלבון כללי
6.8	5.8	4.8	שומן
34.8	32.6	30.2	NDF כללי
17.3	17.3	17.3	NDF גס
4.95	6.0	6.41	גרעין, ק"ג
0.01	0.01	0.009	סידן
0.006	0.005	0.004	זרחן

תוצאות ניסוי ראשון

בטבלה מס' 2 מוצגות תנובות החלב ורכיביו בניסוי הראשון. לא נמצאו הבדלים מובהקים בין הטיפולים בתנובות החלב, אחוז ותנובת השומן והלקטוז. אחוז החלבון נטה להיות נמוך יותר ככל שתנובת החלב עלתה. כמו כן תנובת החלבון (ק"ג ליום) הלכה וירדה ככל שאחוז השומן עלה. תנובת ה- (4%) FCM לא הייתה שונה בין הטיפולים, ואילו תנובת החמ"מ נטתה להיות גבוהה יותר בקבוצת הנמוכה לעומת גבוהת השומן. ריכוז החנקן אוריאה בחלב היה גבוה יותר ככל שאחוז השומן במנה עלה.

טבלה מס' 2. תנובות חלב ורכיביו

P<	SEM	HF	MF	LF	
0.63	0.35	40.6	41.0	41.1	חלב, ק"ג ליום
0.38	0.41	38.6	39.1	38.3	חמ"ש (4%), ק"ג ליום
0.11	0.36	40.5	41.3	41.5	חמ"מ, ק"ג ליום
0.48	0.60	3.75	3.67	3.66	שומן, %
0.90	0.02	1.51	1.50	1.51	שומן, ק"ג
0.08	0.03	3.13	3.16	3.25	חלבון, %
0.0002	0.01	1.25 ^b	1.29 ^a	1.32 ^a	חלבון, ק"ג
0.37	0.32	4.9	5.0	5.0	לקטוז, %
0.74	0.05	1.97	2.01	2.03	לקטוז, ק"ג
0.01	0.5	15.8 ^a	14.1 ^b	13.6 ^b	חנקן אוריאה, mg/dL
0.60	157	461	383	238	ס"ס, $\times 10^3$

צריכת המזון הלכה וירדה ככל שריכוז השומן במנה עלה (28.7, 28.5 ו-28.1 ק"ג ח"י ליום במנות ה-LF, MF ו-HF, בהתאמה. בחישובי היעילות לייצור חלב לא נמצאו הבדלים בין הטיפולים, ואילו היעילות לייצור FCM הייתה גבוהה יותר בטיפול ה-MF.

טבלה מס' 3. השפעת הטיפולים על סביבת הכרס

P<	SEM	HF	MF	LF	
0.0005	0.41	6.56 ^a	6.55 ^a	6.32 ^b	ערכי pH
0.71	5.20	141.3	147.7	144.1	אמוניה, $\mu\text{g}/\text{mL}$
0.04	1.21	66.0 ^{ab}	65.2 ^b	68.8 ^a	חומצה אצטית (C2), mM
0.05	0.81	31.8 ^b	32.4 ^b	34.7 ^a	חומצה פרופיונית (C3), mM
0.5	0.46	16.7	16.7	17.4	חומצה בוטירית (C4), mM
0.05	0.08	1.5 ^a	1.3 ^{ab}	1.2 ^b	חומצה איזו-ולרית (C5), mM
0.002	0.11	2.2 ^b	2.1 ^b	2.7 ^a	חומצה ולרית (C5), mM
0.02	0.07	0.66 ^b	0.74 ^b	0.94 ^a	חומצה קפארית (C6), mM
0.04	2.31	118.9 ^b	118.4 ^b	125.7 ^a	סה"כ חש"נ, mM
0.23	0.04	2.08	2.01	2.00	mM, C2:C3

כפי שנראה מטבלה מס' 3, ה-pH בכרס היה גבוה יותר בקבוצת השומן ה-MF וה-HF לעומת ה-LF. ריכוזי האמוניה לא היו שונים בין הטיפולים. ריכוזי החומצה האצטית (C2) בקבוצת ה-LF היה גבוהים יותר בהשוואה לטיפול ה-MF, וריכוזי החומצה הפרופיונית (C3) היו גבוהים יותר בפרות ה-LF לעומת פרות קבוצות השומן הבינוני והגבוה ($P < 0.05$). עם זאת יחס אצטט:פרופיונט לא היה שונה באופן מובהק בין הטיפולים. ריכוז כלל חומצות השומן הנדיפות בכרס היה גבוה יותר ב-6.5% בקבוצת ה-LF לעומת זה שבקבוצות השומן הבינוני והנמוך ($P < 0.04$).

בטבלה מס' 4 מופיעים תוצאות הנעכלות לכאורה של המזון. הנעכלות לכאורה של ח"י של מנת ה-LF הייתה גבוהה יותר מאשר במנת ה-HF ונטתה להיות יותר גבוהה ממנת ה-MF. נעכלות החומר האורגני הייתה נמוכה יותר במנת ה-HF מאשר בשתי המנות האחרות. לא נמצאו הבדלים

בין המנות בנעכלות החלבון, ואילו נעכלות ה-NDF הלכה וירדה ככל שרמת השומן במנה עלתה. בניתוח הכמות היומית של החומר הנעכל נמצא כי כמות הח"י הנעכל הייתה גבוהה יותר במנת ה-LF מאשר ב-HF. כמות החומר האורגני הנעכל או ה-NDF היו גבוהים יותר מספרית ב-LF מאשר בשאר המנות.

טבלה מס' 4. שיעור הנעכלות לכאורה וכלל חומר נעכל של המנה ורכיביה

P<	SEM	HF	MF	LF	
שיעור הנעכלות					
0.07	1.09	50.2 ^b	52.8 ^{ab}	55.4 ^a	חומר יבש, %
0.003	0.78	54.9 ^b	58.1 ^a	58.9 ^a	חומר אורגני, %
0.0001	0.82	36.6 ^c	41.7 ^b	45.1 ^a	NDF, %
0.05	1.68	25.7 ^{ab}	28.1 ^a	23.2 ^b	ADF, %
0.9	2.55	54.5	55.4	55.7	חלבון, %
כלל חומר נעכל ליום					
0.02	0.57	13.2 ^b	14.7 ^{ab}	15.3 ^a	חומר יבש, ק"ג
0.13	0.59	13.1	14.5	14.8	חומר אורגני, ק"ג
0.20	0.19	3.8	4.3	4.2	NDF, ק"ג
0.01	0.09	1.29 ^a	1.35 ^a	0.96 ^b	ADF, ק"ג
0.7	0.11	2.1	2.0	2.1	חלבון, ק"ג

סיכום ודין – ניסוי ראשון

מתוצאות ניסוי זה ניתן לראות כי הזנה בשומן מוגן מסוג CSFA בשיעורים גבוהים של עד 6.8% לא פגעה באופן משמעותי בצריכת מזון או בתנובת החלב ורכיביו. נצפתה ירידה אופיינית באחוז ותנובת החלבון עם העלייה ברמת השומן במנה. לא נמצאו הבדלים משמעותיים בחישובי יעילות השימוש במזון לייצור חלב או חמ"מ. יעילות גבוהה יותר נמצאה לטיפול השומן הבינוני לייצור חמ"ש לעומת קבוצת השומן הנמוך. חומציות הכרס הלכה וירדה ככל שרמת השומן במנה עלתה כפי שבאה לידי ביטוי ברמות pH גבוהים יותר. ניתן להסביר זאת ברמת תסיסה יותר בכרס כפי שנראה מתוצאות ריכוזי החש"ן. התסיסה בכרס הייתה גבוהה יותר בקבוצת השומן הנמוך, ואולם לא נמצאו הבדלים בריכוזי החש"ן בין קבוצת השומן הבינוני והגבוה. מתוצאות הנעכלות לכאורה של החומר האורגני ושאר רכיבי המנה, ניתן לראות כי נעכלות הח"י, חומר אורגני ו-NDF הייתה נמוכה יותר ככל ששיעור השומן במנה עלה. גם סה"כ החומר נעכל היומי נמצא כי היה גבוה יותר במנה נמוכת השומן מאשר בשאר המנות. היות ולא נמצאו הבדלים בשיעור הנעכלות של החלבון בין שני הטיפולים, נראה כי הירידה בנעכלות החומר האורגני נבעה בעיקר מהפגיעה בנעכלות ה-NDF. היות ותכולת הגרעינים במנה גבוהת השומן הייתה נמוכה באופן משמעותי מהמנה הנמוכה, התסיסה בכרס הייתה נמוכה יותר, מה שבא לידי ביטוי גם בריכוזי חש"ן נמוכים יותר ורמת pH גבוהה יותר במנה עם ריכוז השומן הגבוה. יש לציין כי למרות הירידה בנעכלות ה-NDF, סה"כ NDF נעכל לא היה

נמוך יותר באופן משמעותי, בעיקר בגלל הריכוז הגבוה של NDF במנה גבוהת השומן לעומת הנמוכה.

מסקנות חלק זה של העבודה הראו שלמרות ריכוזי חש"ן נמוכים יותר בכרס, ופגיעה בנעכלות החומר האורגני במנה, לא נמצאה פגיעה בצריכת מזון או פרמטרים של ייצור כתוצאה מהזנה בשיעורים של עד 6.8% שומן במנה (צריכה בפועל של 1.095 ק"ג CSFA),

ניסוי שני

בניסוי זה בחנו את השפעת ההזנה בשיעורים גבוהים של שומן מסוגים שונים המוגן ע"י מיקרוקפסולציה על צריכת מזון, תנובת חלב ורכיביו, יעילות ונעכלות. בניסוי זה השתמשנו בשלושה בעלי פרופיל חומצות שומן שונה שהוזנו בשיעורים גבוהים, הדומים לאלה שהוזנו במנה הגבוהה בניסוי הראשון.

ארבעים ושתים פרות מתחלובה שנייה ואילך חולקו ל- 3 קבוצות טיפול (n=14), הוזנו במנת בסיס במשך 14 שבועות, וקיבלו תוספי שומן שונים המוגנים בצורת מיקרוקפסולציה בשיעור של עד 6.6% שומן כללי מהמנה, לפי הטיפולים הבאים: (שומן רווי- 750 ג' ליום שומן צמחי רווי, 2) **אומגה-6** – 940 ג' ליום שמן חמניות כמקור לחומצות שומן מסוג אומגה 6, ו- 3) **אומגה-3** – 940 ג' ליום שמן פשתה כמקור לחומצות שומן מסוג אומגה 3.

השומנים אינם מוצרי מדף ויוצרו באופן מיוחד לניסוי באיטליה. פרופיל חומצות השומן של התוספים מופיע בטבלה מס' 5.

הניסוי נמשך 14 שבועות ונלקחו בו דוגמאות דם, מיץ כרס וצואה בדומה לניסוי הראשון.

טבלה מס' 5. פרופיל חומצות השומן בתוספי השומן בניסוי 2

חומצות שומן	% מחומר יבש		
	שמן פשתן (omega 3)	שמן חמניות (omega 6)	שומן צמחי (SFA)
C12:0	-	0.2	-
C14:0	0.6	0.4	1
C16:0	29.9	15.1	61.6
C18:0	27.9	44.6	37.8
C18:1	11.0	14.7	-
C18:2 (אומגה 6)	7.3	23.8	-
C18:3 (אומגה 3)	23.0	-	-
C20:0	0.3	0.6	-
C22:0	-	0.6	-

תוצאות ניסוי שני

בטבלה מספר 6 מוצגות תוצאות תנובות החלב ורכיביו בניסוי השני. תנובת החלב בטיפול האומגה 6 הייתה גבוהה יותר ב- 0.8 ק"ג ($P < 0.09$) ובאומגה-3 ב- 1.4 ק"ג ($P < 0.001$), מאשר בקבוצת השומן הרווי. אחוז השומן נטה להיות גבוה בכ- 0.25 יחידות אחוז בקבוצת הפרות שקיבלו שומן רווי לעומת טיפולי השומן הבלתי רווי ($P < 0.08$). לעומת זאת, לא נצפו הבדלים באחוז החלבון והלקטוז בין הטיפולים. לא נמצאו הבדלים בתנובת החמ"מ בין הטיפולים, ותנובת החמ"ש בקבוצת השומן הרווי נטתה להיות גבוהה יותר מאשר בשאר הטיפולים ($P < 0.06$). ריכוז האוריאה בחלב היה גבוה יותר בטיפול השומן הרווי לעומת טיפולי השומן הבלתי רווי ($P < 0.04$).

טבלה 6. תנובות חלב ורכיביו

P<	SEM	אומגה-3	אומגה-6	רווי	
0.001	0.25	43.7 ^a	43.1 ^{ab}	42.3 ^b	חלב, ק"ג ליום
0.06	0.37	39.3	38.9	40.2	חמ"ש (4%), ק"ג ליום
0.32	0.27	42.6	42.5	43.1	חמ"מ, ק"ג ליום
0.08	0.08	3.63	3.66	3.89	שומן, %
0.78	0.06	1.58	1.58	1.63	שומן, ק"ג
0.57	0.04	3.22	3.27	3.29	חלבון, %
0.96	0.04	1.39	1.39	1.38	חלבון, ק"ג
0.75	0.03	4.89	4.87	4.91	לקטוז, %
0.90	0.08	2.09	2.11	2.06	לקטוז, ק"ג
0.05	0.0006	13.9 ^b	14.6 ^{ab}	15.0 ^a	חנקן אוריאה, mg/dL
0.9	50	141	165	172	סת"ס, $\times 10^3$

לא נמצאו הבדלים בצריכת מזון בין הטיפולים. חישובי היעילות לייצור חלב הראו הבדלים בין הטיפולים, כאשר טיפול האומגה-3 היה היעיל ביותר והשומן הרווי הנמוך ביותר.

טבלה 7. רביצה והעלאת גירה יומית ממוצעת

P<	SEM	אומגה-3	אומגה-6	רווי	
0.0005	7.95	512 ^a	495 ^a	465 ^b	זמן העלאת גירה יומית, דקות ליום
0.007	0.29	19.3 ^a	18.5 ^{ab}	17.7 ^b	העלאת גירה, דקות לק"ג ח"י
0.0001	5.85	627 ^a	608 ^a	570 ^b	זמן רביצה יומית, דקות ליום

זמן העלאת הגירה היומי הממוצע היה גבוה יותר בטיפולים עם השומן הבלתי רווי מאשר בקבוצת השומן הרווי (טבלה מס' 7). כמו כן זמן העלאת גירה לק"ג ח"י היה גבוה יותר בקבוצת האומגה-3 לעומת השומן הרווי. באופן דומה זמן הרביצה של פרות האומגה-3 היה גבוה יותר בכשעה לעומת פרות השומן הרווי.

לא נמצאו הבדלים בין הטיפולים בריכוזי האמוניה או ה-VFA בכרס.

תוצאות הנעכלות לכאורה של המזון בניסוי השני מופיעים בטבלה מספר 8. נעכלות החומר היבש בטיפול השומן הרווי הייתה גבוהה ב- 2.9 ו- 5.5 יחידות אחוז בהשוואה לטיפול האומגה-6 והאומגה-3, בהתאמה ($P < 0.0006$). כמו כן, נעכלות החומר האורגני הייתה הגבוהה ביותר בטיפול השומן הרווי: 1.9 ו- 5.1 יחידות אחוז יותר מאשר בטיפול האומגה-6 והאומגה-3, בהתאמה ($P < 0.003$). נעכלות ה- NDF הייתה גבוהה יותר בטיפול השומן הרווי בהשוואה לטיפול השומן האומגה-3 ($P < 0.04$). לעומת זאת נעכלות השומן בטיפול האומגה-3 הייתה גבוהה יותר ב- 3.1 ו- 6.2 יחידות אחוז בהשוואה לטיפול האומגה-6 והשומן הרווי, בהתאמה, ואילו הנעכלות של האומגה-6 הייתה גבוהה יותר 3.1 יחידות אחוז מאשר בשומן הרווי.

נתוני החומר הנעכל בפועל מוצגים בטבלה מספר 17. ככלל, לא נמצאו הבדלים מובהקים בין הטיפולים בכמות החומר היבש הנעכל ליום או הכמות הנעכלת של המקטעים השונים. יחד עם זאת, הכמות היומית של החומר היבש והחומר האורגני הנעכל היו מספרית גבוהים בכ- 1 ק"ג בטיפול השומן הרווי בהשוואה לטיפול השומן הבלתי רווי (ל"מ). בנוסף, כמות השומן הנעכל בפועל הייתה גבוהה יותר מספרית בכ- 300 גרם בטיפול השומן הבלתי רווי בהשוואה לטיפול השומן הרווי ($P < 0.22$).

טבלה 8. שיעור הנעכלות לכאורה וכלל חומר נעכל של המנה ורכיביה – ניסוי שני

P <	SEM	אומגה-3	אומגה-6	רווי	
שיעור הנעכלות לכאורה					
0.0006	0.89	55.5 ^c	58.1 ^b	61.0 ^a	חומר יבש, %
0.003	0.95	58.7 ^b	61.9 ^a	63.8 ^a	חומר אורגני, %
0.04	1.44	43.3 ^b	44.6 ^{ab}	47.7 ^a	NDF, %
0.19	2.21	16.9	20.2	22.7	ADF, %
0.89	2.05	55.5	54.5	55.7	חלבון, %
0.02	0.88	81.3 ^a	78.2 ^b	75.1 ^c	שומן, %
כלל חומר נעכל ליום					
0.29	0.79	16.0	15.9	17.1	חומר יבש, ק"ג
0.41	0.75	15.5	15.6	16.4	חומר אורגני, ק"ג
0.35	0.27	5.4	5.1	5.5	NDF, ק"ג
0.28	0.10	0.8	0.9	1.0	ADF, ק"ג
0.15	0.13	3.2	3.0	3.0	חלבון, ק"ג
0.22	0.14	2.4	2.4	2.1	שומן, ק"ג

סיכום ודין – ניסוי שני

בניסוי השני נבחנה השפעת הזנה בריכוזים גבוהים של שומן ממקורות שונים, ובעלי פרופיל חומצות שומן שונה. תנובת החלב בטיפול האומגה-3 הייתה גבוהה יותר בהשוואה לטיפול השומן הרווי. עבודות נוספות בעולם הראו תוספת חלב בהזנת שומן המכיל חומצות מסוג אומגה-3. אחוז השומן בחלב היה נמוך ב- 0.25 ו- 0.23 יחידות אחוז בטיפול האומגה-6 והאומגה-3, בהתאמה, בהשוואה לטיפול השומן הרווי. ניתן לשער כי העלייה בתנובת החלב עם מתן שומן מועשר בחומצות בלתי רוויות במנה נגרמת בעיקר בעקבות שינוי בחלוקת הנוטריאנטים בעטין בין חלב ושומן: ככל הנראה יותר נוטריאנטים תועלו לייצור חלב על חשבון שומן בטיפול השומן הבלתי רווי. בניגוד לניסוי

הראשון, בניסוי זה לא נמצאו הבדלים בין קבוצות הטיפול בחומציות הכרס (pH), ובכמות והרכב חומצות השומן הנדיפות בריכוז האמוניה בכרס. זמני הרביצה והעלאת הגירה היומי היו גבוהים יותר בטיפול השומן הבלתי רווי. אנו משערים כי העלייה בזמן הרביצה והעלאת גירה נובעת מהרגשת נוחות גדולה יותר במערכת העיכול ובכרס בפרט, בהזנה בשומן בלתי רווי לעומת בשומן רווי. שיעור הנעילות של החומר היבש היה גבוה יותר בטיפול השומן הרווי בהשוואה לטיפול השומן הבלתי רווי. כמו כן אחוז הנעילות של החומר האורגני היה גבוה יותר בשומן הרווי מאשר בקבוצת האומגה-3. שיעור הנעילות של השומן בעבודה הנוכחית היה במגמה הפוכה לנעילות החומר היבש: נעילות השומנים הבלתי רוויים הייתה גבוהה יותר מזה של השומן הרווי. למרות הבדלים בשיעור הנעילות בין הטיפולים, לא נמצאו הבדלים מובהקים בסה"כ החומר הנעיל של המנה ורכיביה.

סיכום ומסקנות

בעבודת המחקר הנוכחית נבחנה הזנת פרות חולבות במנות שהכילו עד 6.8% שומן במנה בצורת CSFA על ייצור ויעילות. כמו כן בחנו האם קיימת השפעה שונה למקור השומן והרכבו במנות עתירות שומן. בחלקו הראשון של המחקר ערכנו ניסוי בו בחנו השפעת מנות שהכילו שומן מוגן כמלחי סידן ברמות של 4.9%, 5.8% ו 6.8% שומן כללי במנה. מתוצאות הניסוי הראשון עולה כי תוספת שומן מוגן למנה עד לרמה של 6.8% שומן כללי לא פגעה באופן משמעותי בצריכת מזון או בתנובת החלב. נצפתה ירידה אופיינית באחוז ותנובת החלבון עם העלייה ברמת השומן במנה, יחד עם עלייה מתונה באחוז השומן בחלב. רמת ה-pH בכרס הייתה גבוהה יותר ככל ששיעור השומן במנה הלך ועלה, מה שמעיד כי שומן המשמש כתחליף לעמילן כמקור לאנרגיה במנה, יכול לשמש כגורם ממתן לחומציות הכרס. כמו כן, ריכוזי החש"ן בכרס היו נמוכים יותר בקבוצת השומן הנמוך, בגלל רמה נמוכה יותר של פחמימות מסיסות במנות גבוהות השומן. נמצאה ירידה בנעילות החומר היבש והחומר האורגני שנבעה בעיקרה מירידה משמעותית בנעילות ה-NDF. מסקנות עבודה זו הראו כי למרות ריכוזי חש"ן נמוכים יותר ופגיעה בנעילות לכאורה של החומר האורגני במנה, לא הייתה פגיעה משמעותית בצריכת מזון או פרמטרים של ייצור גם אצל פרות שצרכו עד 1095 גר' שומן מוגן ביום.

בחלק השני של עבודת המחקר בחנו האם למקור והרכב השומן במנה שהכילה 6.6% שומן כללי במנה יש השפעה על הייצור, יעילות ונעילות. בניסוי זה נערכה השוואה בין מנות שהכילו שומן רווי, שומן המועשר בחומצות מסוג אומגה-6 שמקורו בשמן חמניות ושומן מועשר בחומצות מסוג אומגה-3 שמקורו בשמן פשתה. לא נמצאו הבדלים בצריכת מזון, ותנובת החלב הייתה גבוהה יותר בקבוצת האומגה-3 לעומת השומן הרווי. לא נמצאו הבדלים באחוז החלבון בחלב, ואילו אחוז השומן נטה לרדת בטיפול השומן הבלתי רווי, ככל הנראה בגלל דיכוי סינתזת חומצות קצרות שרשרת בעטין ע"י איזומרים מדכאי שומן שנוצרו מביוהידרוגנציה חלקית בכרס. היעדר ההבדלים באחוז החלבון מעיד כי רמת השומן במנה ולא הרכבו משפיעים על אחוז החלבון בחלב. לא נמצאו הבדלים בין הטיפולים

בחומציות הכרס, או במאפיינים של תסיסת החלבון או הפחמימות. זמן הרביצה והעלאת הגירה היא גבוה יותר בפרות שצרכו שומן בלתי רווי, מה שמעיד על הרגשת נוחות גדולה יותר אצל פרות אלה. תוצאות עבודת מחקר זו מראות כי ניתן להוסיף שומן מוגן עד לרמות של 6.8% שומן כללי ללא פגיעה משמעותית בייצור או ביעילות הייצור. כמו כן להרכב השומן במנה יש השפעה על רכיבי הייצור, כאשר לשומן בלתי רווי השפעה מטיבה גם על רווחת החייה. יחד עם זאת, בגלל הפגיעה בנעילות המזון ובחלבון החלב אנו ממליצים על שימוש בשומן מוגן עד 6% שומן כללי במנה.

רשימת ספרות

- Devendra, C., and D. Lewis. 1974. The interaction between dietary lipids and fibre in the sheep. *Anim. Prod.* 19:67
- Eugène, M., Masse d., Chiquette and C. Benchaar. 2008. Meta-analysis on the effects of lipid supplementation on methane production in lactating dairy cows. *Can. J. Anim. Sci.* 88:331-334.
- Harfoot, C. G. 1978. Lipid metabolism in the rumen. *Prog. Lipid Res.* 17:21.
- Harfoot, C. G., and G. P. Hazlewood. 1988. Lipid metabolism in the rumen. Page 285 *in* The Rumen Microbial Ecosystem. P. N. Hobson, ed. Elsevier Appl. Sci. Publ. Co., Inc., New York, NY.
- Jenkins, T. C. 1993. Lipid metabolism in the rumen. 1993. *J Dairy Sci* 76:3851-3863.
- Jenkins, T. C., and N. Fotouhi. 1990. Effects of lecithin and corn oil on site of digestion, ruminal fermentation and microbial protein synthesis in sheep. *J. Anim. Sci.* 68:460.
- Johnson, K. A., and D. E. Johnson. 1995. Methane emissions from cattle. *J. Anim. Sci.* 73:2483-2492.
- Moallem, U., G. Altmark, H. Lehrer, A. Arieli. 2010. Performance of high-yielding dairy cows supplemented with fat or concentrate under hot and humid climates. *J. of Dairy Sci.* 93:3192-3202.