

הגברת ריכוז החומצה הלינולאית המצומדת (CLA) בחלב פרות:
השפעת מנות עתירות בעמילן בהשוואה למנות עתירות בפקטין,
ללא שילוב או בשילוב פולי סויה משוחלים

דוח

מוגש להנהלת ענף בקר על ידי סולומון רן

שה"מ, המחלקה לבקר;

Cornell University, Dept Animal Sci, Ithaca, NY

העבודה נעשתה במהלך פוסט דוקטוראט באוניברסיטת קורנל, איטקה, יו-יורק (אוגוסט, 1998 –
אוגוסט, 1999); במסגרת מלגת BARD post-doc fellowship ותמיכה חלקית של הנהלת ענף
בקר.

תקציר

החומצה הלינולאית המצומדת, או (Conjugated Linoleic Acid) CLA - אנטיקרצינוגן טבעי המצוי במוצרי חלב, הינו תוצר ביניים של ביוהידרוגנציה בלתי מושלמת של חומצות שומן בלתי רוויות על ידי חיידקי הכרס. להגברת ריכוז ה-CLA במוצרי חלב יש משמעות כפולה: בריאות הציבור והגברת מודעות הציבור לצריכת מוצרי חלב. מטרת העבודה הייתה לבחון השפעת מקורות שונים של פחמימות לא מבניות - עמילן (גרעיני תירס) לעומת פקטין (קליפות תפוזים), ללא שילוב או בשילוב מקור של חומצות שומן בלתי רוויות (פולי סויה משוחלים), על ריכוז ה-CLA בשומן החלב. 20 פרות הולשטיין חולקו באקראי ל-4 קבוצות בנות 5 פרות, במתכונת של ריבוע לטיני 4X4. ניתנו 4 מנות השונות במקורות הפחמימות הבלתי מבניות ובריכוז השומן במנה: מנה עתירת גרעיני תירס (עתירת עמילן, HS); מנה עתירת קליפות תפוזים מיובשות (עתירת פקטין, HP), שתיהן ללא שילוב או בשילוב גרעיני סויה משוחלים (HS+Ex; HP+Ex; בהתאמה).

צריכת המזון במנות שהכילו פולי סויה משוחלים הייתה גבוהה יותר: תוספת מובהקת של 5.4% למנת HS+Ex ותוספת בלתי מובהקת של 2.4% למנת ה-HP+Ex. לא היה הבדל מובהק ביצור החלב בין הפרות שניזונו במנת ה-HS לבין אלו שניזונו במנת ה-HP. שילוב פולי הסויה המשוחלים במנות אלו גרם לשיפור תנובת החלב לפרה ב-7.8 ו-10.5%. השומן בחלב לא ניבדל באופן מובהק והערכים נעו בין 3.30 ל-3.38% במנות השונות. תוספת פולי הסויה המשוחלים גרמה לפגיעה מובהקת ב-% החלבון בחלב: מ-3.00 ל-2.87% במנות ה-HS ומ-2.93 ל-2.82% במנות ה-HP, וכן לעלייה של כ-12% בריכוז האוראה בחלב (NUN). עם זאת, סך יצור חלבון ושומן החלב (ק"ג/פרה/יום) היה גבוה יותר במנות אלו בהשוואה למנות הנטולות פולי סויה משוחלים. לא היו הבדלים בולטים בין מנות ה-HS ובין מנות ה-HP לגבי ריכוז חומצות השומן הזוגיות קצרות ובינוניות השרשרת (C_4-C_{16}), המסונטוזת ע"י העטין) בשומן החלב; עם זאת, בשתי המנות בהם שולבו פולי סויה משוחלים (HS+Ex; HP+Ex) חלה ירידה בריכוזן של מרבית חומצות אלו בשומן החלב: C_8 , 10 , 12 , 14 , $14:1$, 16 , $16:1$, ובמיוחד בריכוז החומצה הפלמיטית מכ-32% לכ-24% ללא קשר למקור הפחמימות הלא מבניות. פולי הסויה המשוחלים גרמו לעלייה ניכרת בריכוזן של חומצות השומן ארוכות השרשרת (שמקורן במזון) בשומן החלב ללא קשר למקור פחמימות הבלתי מבניות במנה: חומצה סטארית (C_{18}) כ-40%; אולאית ($cis-9$, $C_{18:1}$) כ-67%; TFA (trans fatty acids) ($trans\ C_{18:1}$) כ-24%; חומצה לינולאית ($cis-9$, $cis12-C_{18:2}$) כ-67%; חומצה לינולנית ($C_{18:3}$) כ-60%. בולטת במיוחד העלייה בריכוז החומצה הלינולאית המצומדת (CLA) בשומן החלב בעקבות שילוב פולי הסויה המשוחלים במנה: עלייה בריכוזה בכ-216% בשומן החלב של פרות שניזונו במנה עתירת העמילן ועלייה בריכוזה ב-229%, מ-0.45% ל-1.03% בשומן החלב של פרות שניזונו במנה עתירת פקטין. בנוסף, סך יצור ה-CLA היומי היה הגבוה ביותר במנה זו והגיע לכ-13 גרם/פרה/יום. נראה שהמנה עתירת קליפות התפוזים יצרה תנאים טובים יותר לביוהידרוגנציה בלתי מושלמת בכרס, לייצור CLA בכרס, או לייצור פרקורסורים לייצור CLA בעטין. תוצאה זו חיובית במיוחד משום התקבלה ברפת רגילה, בתנאי הזנה וממשק המדמים משק מסחרי לכל דבר, המוזן בבליב הבנוי ממזונות גסים ומרוכזים קונבנציונאליים, בתנובות חלב גבוהות במיוחד, ובהרכב חלב סביר.

מבוא

החומצה הלינולאית המצומדת, או בשמה הנפוץ - CLA (Conjugated Linoleic Acid) מייצגת שורה של איזומרים של חומצה לינולאית, בעלי קשר כפול מצומד. מוצרי מזון שמקורם במעלי גרה, ובעיקר מוצרי חלב, הנם המקור העיקרי של CLA בתזונת האדם; מביניהם, האיזומר cis-9, trans-11, octadecadienoic acid, הינו האיזומר העיקרי המופיע בשומן החלב (מעל 90%, Chin et al., 1992). ה-CLA בשומן החלב מקורו מ-CLA שנוצרו בכרס כתוצר ביניים של ביוהידרוגנציה בלתי שלמה של החומצה הלינולאית הבלתי רוויה, וכן כנראה מתוצר אחר של ביוהידרוגנציה בלתי מושלמת בכרס של החומצות הלינולאית והלינולנית - האיזומר trans-11-octadecadienoic acid; לאחרונה הסתמן שאיזומר זה כנראה הנו פרקורסור בתאי רקמת העטין לייצור CLA על ידי האנזים דלתא-9 דסטוראז (Griinari and Bauman, 1999).

על פי מספר רב של עבודות בחיות מודל התקבל של-CLA סגולות בריאותיות כמו דיכוי ומניעת התפתחות של גידולים סרטניים (מיוחס לאיזומר cis-9, trans-11- (Parodi, 1997; Knekt et al., 1996), אך גם אפקטים של מניעת השמנה, עידוד המערכת החיסונית, הקטנת הסיכון למחלות קרדיו-וסקולאריות ומניעת סוכרת (Ip et al., 1994; Belury, 1995). מכאן שלהגברת ריכוז ה-CLA בחלב לרמה בה הוא עשוי לשמש כגורם תרפואטי, עשויה להיות משמעות חשובה הן בהיבט של בריאות הציבור והן בהגברת המודעת לצריכת מוצרי חלב; זאת במיוחד לאור העובדה שבשנים האחרונות חלה בחברה המערבית ירידה גדולה בצריכת שומן בע"ח ככלל ושומן חלב בפרט, תוך החלפת שומן מע"ג רווי (חלב ובשר) בשומן צמחי בלתי רווי (Pietinen et al., 1996).

גורמים רבים עשויים להשפיע על ריכוז ה-CLA בשומן החלב כפי שמציינים Bauman et al. (1998) וכן Griinari and Bauman (1999), כמו שעור המזון הגס במנה, גיל ומועד הקציר, שיטת השימור, הרכב הפחמימות, שעור והרכב חומצות השומן של השמן המוסף למנה, ועוד; זאת משום השפעת רכיבי המנה השונים על הרכב אוכלוסיות החיידקים בכרס והדומיננטיות היחסית ביניהם, ובהתאם - תוצרי המטבוליזם בכרס. בהקשר זה, החיידק *Butyrivibrio fibrisolvens* הינו מהנפוץ בחיידקי הכרס, הרבוגוני ביותר מבחינה מטבולית והנחקר ביותר בהקשר לתהליך הביוהידרוגנציה של חומצות שומן בלתי רוויות בכרס; מסתמן שתרומתו רבה משום היותו החיידק העיקרי בקבוצת החיידקים A, אשר אחראים על השלב הראשון של הביוהידרוגנציה בכרס - הפיכת החומצה הלינולאית והלינולנית לחומצות מצומדות (די/טרי אן, בהתאמה) ובהמשך לאחר הידרוגנציה ראשונית, הפיכתן ל-trans-11-C_{18:1} (Harfoot and Hazlewood, 1998; Griinari and Bauman, 1999). בנוסף על היותו כנראה הביוהידרוגנטור העיקרי, *Butyrivibrio fibrisolvens* מגלה מעורבות רבה במטבוליזם של פחמימות בלתי מבניות (NSC) בכרס: הן בפירוק וניצול של עמילן והן בפרוק וניצול הפקטין (השייך למקטע ה-"soluble fiber" של דופן התא). מקטעים אלה דומים בקצב ובשיעור פריקותם בכרס, אך שונים מהותית בפרופיל תוצרי התסיסה: בעוד תוצר הפרמנטציה העיקרי של עמילן הוא לקטאט ופרופיונאט, תוצר הפירוק של מקטע ה-soluble fiber הוא בעיקר חומצה אצטית (Ben-Ghedalia et al., 1989; Hall, 1994). לעובדה זו משמעות ביצירת תנאי הסביבה בכרס, כמו pH. בממשק יצור החלב האינטנסיבי שילוב מוגבר של גרעינים עמילניים במנה הוא תופעה מקובלת; עם זאת לשיעור גבוה של מזון מרוכז מיחסים פגיעה בריכוז ה-CLA בחלב (Griinari et

al., 1998). מכאן העניין בבחינת של מקור פחמימות פרמנטבילי חליפי לעמילן גרעינים ובחינת סיטואציה תזונתית העשויה להגביר יצור CLA ואו trans-11 בכרס על ידי החיידקים על פני ניצולם והפיכתם לחומצה סטארית (C_{18:0}).

המקורות העיקריים של חומצות שומן בלתי רוויות במזון הן החומצה הלינולאית (C_{18:2}) שמקורה בשמנים צמחיים והחומצה הלינולנית (C_{18:3}) שמקורה במזונות גסים. לתוספת שמן צמחי חופשי למנת חולבות עלולה להיות השפעה שלילית על פעילות החיידקים הצלולוליטיים בכרס מחד גיסא, ומאיךד גיסא, לתוספת זרעים עתירי שמן למנה, שלמים ובלתי מעובדים (פולי סויה, גרעיני כותנה), עלולה להיות חסרת תועלת כמקור שומן בלתי רווי; לכן היה עניין במיוחד בעבודה הנוכחית לבחון תוספת פולי סויה אשר עברו תהליך של אקסטרוזיה (שיחול); מקור מזוני זה עשוי להיות מקור לסובסטרט שומני בלתי רווי לביהידרוגנציה תוך פגיעה מינימאלית בתקינות הפעילות הצלולוליטית ו-1% השומן בחלב (Chouinard et al., 1997a).

מכאן נגזרה מטרת העבודה העיקרית: בחינת ההשפעה של מקורות שונים של פחמימות בלתי מבניות (עמילן בהשוואה לפקטין), ללא שילוב או בשילוב פולי סויה משוחלים במנה (כמקור לחומצות שומן בלתי רוויות), על ריכוז ה-CLA בשומן החלב.

חומרים ושיטות

פרות וטיפולים: כל ההליכים המתוארים לעיל, הקשורים בטיפול בפרות החלב אושרו על ידי Cornell University Institutional Animal Care and Use Committee. 20 פרות הולשטיין הופרדו משאר העדר ושוכנו בתאי רביצה פרטניים (tie stalls) ברפת המחקר והלימוד של אוניברסיטת קורנל (T&R center, Dryden, NY) (ראה נספח). הפרות היו חשופות לתנאים הממשק הרגילים של הרפת. עם תחילת העבודה היו הפרות 133±23 ימים בתחלובה ושקלו 563±60 ק"ג (ממוצעים ± סטיית תקן). הפרות חולקו באקראי ל-4 קבוצות, במתכונת ריבוע לטיני 4X4. הפרות הואבסו פרטנית ב-4 בלילים שונים בעלי מקור ושעור זהה של מזון גס, אך שונים במקורות הפחמימות הבלתי מבניות (עמילן או פקטין), וכן בשיעור השומן במנה: מנה עתירת גרעיני תירס (HS) לעומת מנה עתירת קליפות תפוזים מיובשות (HP); או שתי המנות הנ"ל בשילוב עם פולי סויה משוחלים (HS+Ex; HP+Ex, בהתאמה). תכנון המנה הנוגע לצורכי החלבון המטבולי נעשה בעזרת מודל CNCPS שפותח באוניברסיטת קורנל על פי בדיקות כימיות פרלמינאריות של תחמיץ התירס, שחמיץ האספסת, קליפות התפוזים המיובשות ופולי הסויה המשוחלים; ועל פי הרכבים סטנדרטים של גרעיני תירס וכוספת סויה. להלן ההרכב הכימי של המזונות הלא סטנדרטים, שהיו מרכיב משתנה במנות השונות (על פי בדיקות פרלמינאריות, % ע"ב חומר יבש: קליפות תפוזים מיובשות - חלבון כללי-6.6, NDF-22.9; פולי סויה משוחלים - חלבון כללי-40.7, NDF-18.8, EE-19.1). טבלה 1 מציגה את הרכב מנות הניסוי. שעור המזון הגס בארבעת המנות היה זהה - כ-48%. שעור גרעיני התירס במנות העתירות בעמילן (HS & HS+Ex) היה למעלה מכפול בהשוואה לשיעור קליפות התפוזים ובמנות העתירות בפקטין (HP & HP+Ex) שעור קליפות התפוזים המיובשות היה למעלה מכפול בהשוואה לשיעור גרעיני התירס. הבלילים הואבסו בעודף על מנת לאפשר צריכת מזון חופשית, לקבלת כ-10-5 שאריות. צריכת המזון נמדדה יומית. צריכת המים הייתה חופשית.

דגימות, ובדיקות מעבדה: השבועיים הראשונים של כל אחת מארבעת תקופות הניסוי הוקדשו להרגלה ואקלום הפרות למנות הניסוי; דגימות ומדידות בוצעו בשבוע השלישי. הבליל היומי הוכן בעגלה מערבלת (ל-5 פרות), הועבר למכונה מחלקת והוגש לכל פרה פרטנית לאבוס (ראה נספח). כמות הבליל המוגש נרשמה יומית, פרטנית לכל הפרה (09:30). שאריות נמדדו יומית (07:30). דגימות של הבלילים נלקחו יומית מכל פרה, אוחדו לפי טיפול והוקפאו (20- מ"צ) עד לאנליזות. לפני האנליזות, הדגימות היומיות הופשרו, אוחדו לפי טיפול/תקופה, תת-דגימה נלקחה לבדיקת % חומר יבש (105 מ"צ, 24 שעות) ושאר הדגימה יובשה בתנור 65 מ"צ (48 שעות) ונטחנה במטחנה בעלת גודל נפה של 1 מ"מ (Arthur H Thomas, Philadelphia, PA). ההרכב בכימי של הבלילים נקבע במעבדה לבדיקת מזונות גסים הסמוכה לאוניברסיטת קורנל (Northeast DHIA Inc. Laboratory, Ithaca, NY). ההרכב הכימי של הבלילים (ערכים ממוצעים של 4 תקופות) מוצג בטבלה 1. מרבית הערכים שהתקבלו תואמים את הערכים לפיהם תוכננו המנות, פרט לשיעור החלבון הכללי במנת ה-HS אשר היה נמוך מעט מהמתוכנן, ונבע כנראה מהעמסה לא מדויקת של כוספת סויה לעגלה המערבלת ב-2 מתוך 4 התקופות, במנה זו (לאור הידע הקיים, סטייה זו אינה אמורה להוות גורם העשוי להשפיע על ריכוז ה-CLA בשומן החלב). שיעור החלבון הכללי הגבוה יותר במנות המכילות פולי סויה משוחלים (כמתוכנן), מקורו באוראה שהוספה לפרמיקס המינרלים והויטמינים לצורך אספקת שיעור דומה של חנקן מסיס לכרס. מנות אלה אף הכילו שיעור כמעט כפול של מיצוי אתרי (כמתוכנן) שמקורו בריכוז השומן הגבוה בפולי הסויה. בדיקה מפורטת של הרכב חומצות השומן בפולי הסויה המשוחלים ובבלילים מתבצעת בימים אלה, עם זאת מהידוע בספרות פולי סויה מכילים כ-10% חומצה פלמיטית (C_{16}), כ-2.5% חומצה סטארית (C_{18}), כ-29% חומצה אולאית ($C_{18:1}$), אך חשוב יותר כ-51% חומצה לינולאית ($C_{18:2}$) וכ-6.5% חומצה לינולנית ($C_{18:3}$) - שניהן פרקורסורים פוטנציאליים ליצור CLA או $trans\ 11-C_{18:1}$ בכרס (Griinari and Bauman, 1999).

הפרות נחלבו 3 פעמים ביום, ויצור החלב נירשם מידי חליבה. סט אחד של דגימות חלב נלקח מידי חליבה ב-3 הימים האחרונים של שבוע הדגימות של כל תקופה (9 דגימות/פרה). דגימות אלו נשמרו במקרר (4 מ"צ) עד לבדיקתם לריכוז שומן, חלבון, לקטוז ו-MUN במעבדה לבדיקת חלב (Northeast DHIA Inc. Laboratory, Ithaca, NY), או בקיצור, קיסריה וביתן אהרון של רפני צפון מזרח ניו-יורק). סט נוסף של דגימות חלב נלקח מידי חליבה ב-3 הימים האחרונים של שבוע הדגימות של כל תקופה; דגימות אלו אוחדו על בסיס יומי לפרה לקבלת 3 דגימות חלב/פרה, ונשמרו בהקפאה (20- מ"צ) עד לבדיקת הרכב חומצות השומן בשומן החלב.

אנליזה של חומצות שומן: פירוט אצל המחבר; כללית, השיטה מבוססת מיצוי שומן החלב, מתילציה, וקביעת המתיל-אסטרים ב-GC.

מודל סטטיסטי: 19 מתוך 20 הפרות השלימו יחדיו מודל שלם של ריבוע לטיני 4X4. הנתונים נותחו בעזרת מודל GLM של תוכנת סאס על פי המודל הבא:

$$Y = \mu + \rho_i + \kappa_j + \tau_k + \varepsilon_{ijk}$$

כאשר: μ =קבוע; ρ_i =אפקט התקופה; κ_j =אפקט הפרה; τ_k =אפקט הטיפול; ε_{ijk} =שגיאה.

תוצאות ודיון

צריכת המזון, יצור החלב ורכיביו

טבלה 2 מציגה את נתוני צריכת המזון, יצור החלב ורכיביו של הפרות שניזונו במנות הניסוי (least square means). צריכת המזון של המנות העתירות בעמילן הייתה גבוהה יותר מזו של המנות העתירות בפקטין, ובמיוחד מנת ה- $HS+Ex$ בה שולבו פולי סויה משוחלים. צריכת המזון לא נפגעה בתוצאה מתוספת פולי הסויה והגברת ריכוז השומן (EE) במנה (בלמעלה מ-80%), אלא אף שופרה (תוספת מובהקת של מעל 1 ק"ג ח"י במנות העתירות בעמילן; תוספת בלתי מובהקת של כ-0.5 ק"ג ח"י במנות העתירות בפקטין). שיפור דומה דווח לאחרונה על ידי Dhiman et al. (1999). לא היה הבדל מובהק ביצור החלב בין הפרות שניזונו במנת ה- HS לבין אלו שניזונו במנת ה- HP , אם כי הפרות שניזונו במנה ה- HS נטו ליצור יותר חלב מהפרות שניזונו במנת ה- HP , מגמה שתאמה אף את צריכת המזון. שילוב פולי הסויה המשוחלים במנות אלו (אשר החליפו חלק קטן מגרעיני התירס או קליפות התפוזים, וכוספת הסויה) גרמה לשיפור תנובת החלב לפרה ב-7.8% ו-10.5% בהתאמה; זאת עקב שיפור בצריכת המזון והעלייה בריכוז השומן במנה. שילוב פולי הסויה פולי סויה משוחלים לא גרמה לפגיעה ב-% השומן בחלב, הערכים נעו בין 3.30 ל-3.38% במנות השונות, ולא נבדלו באופן מובהק; זאת בניגוד לעבודה קודמת בה פולי סויה וגרעיני כותנה משוחלים גרמו לפגיעה של 10% ויותר ב-% השומן בחלב (Dhiman et al., 1999). מאידך % החלבון היה הגבוה ביותר במנה העתירה בגרעיני תירס (HS , 3.00%) ונמוך יותר באופן מובהק במנה העתירה בקליפות תפוזים (HP , 2.87%). תוספת פולי הסויה המשוחלים גרמה לפגיעה מובהקת ב-% החלבון בחלב: מ-3.00 ל-2.87% במנות ה- HS ומ-2.93 ל-2.82% במנות ה- HP , וכן לעלייה של כ-12% בריכוז האוראה בחלב (NUN , טבלה 2). נטייה דומה התקבלה אף בעבודה של Dhiman et al. (1999). הפגיעה בריכוז החלבון בחלב במנות אלו יתכן ונובעת מריכוז השומן הגבוה במנה, אך יתכן שדווקא עודפי חלבון מסיס, או צימוד תת אופטימאלי של פחמימות-חלבון פריק כרס (כמסתמן מריכוזי ה- MUN הגבוהים יותר) הם הסיבה העיקרית (למרות היות פולי הסויה בעלי תכולה גבוהה יחסית של חלבון שרידי). עם זאת, סך יצור חלבון החלב (ק"ג/פרה/יום) היה גבוה יותר במנות אלו בהשוואה למנות הנטולות פולי סויה משוחלים, מכאן שיתכן והיה גם אפקט מיהול של החלבון עם העלייה ביצור החלב כתוצאה מהגברת השימוש בחלק מחומצות האמינו הגלוקוגניות השרידיות של חלבון פולי הסויה כמקור ליצור גלוקוז ולקטוז (DePeters and Cant, 1992).

תהליך השיחול אמור לספק "הגנה" על חלבון הסויה בפני פריקות יתר בכרס ולהגדיל את שרידותו; בנוסף, תהליך זה אמור לספק "הגנה" מסוימת על חומצות השומן, לצורך פגיעה מינימאלית שלהם בפעילות המיקרואורגניזמים הצלולוליטיים בכרס, יחד עם "אספקת" חומצות שומן בלתי רוויות לביוהידרוגנציה (כפי שיוצג בהמשך); לכאורה שני האחרונים נראים מנוגדים. נראה שפולי סויה משוחלים הנם "עוף מוזר" הדורש התייחסות מחקרית נוספת בעתיד.

ערכי ה-pH במיץ הכרס של פרות הניסוי לא נבדלו בין הטיפולים ונעו בתחום הנורמאלי של כ-6.4. לקיום ערכי pH תקינים חשיבות משום השפעת ה-pH על שיעור הדיסוציאציה והביוהידרוגנציה של חומצות שומן (Chouinard et al., 1997b), על שיעור יצירת TFA (trans fatty acids) בכרס על שיעור זרימתן למעי והכמות המגיעה לעטין (Erdman, 1999).

הרכב חומצות השומן של שומן החלב

טבלה 2 מציגה את הרכב חומצות השומן של שומן החלב של פרות שניזונו במזונות הניסוי (least square means). חומצות השומן הזוגיות קצרות ובינוניות השרשרת (C_4 - C_{16}) מסונטזות על ידי העטין (Barber et al., 1997); מנתוני הטבלה נראה שלא היו הבדלים בולטים בין מנות ה-HS ובין מנות ה-HP לגבי ריכוזן של חומצות אלו. עם זאת, בשתי המנות בהם שולבו פולי סויה משוחלים ($HS+Ex$; $HP+Ex$) חלה ירידה בריכוזן של מרבית חומצות אלו בשומן החלב: C_8 , 10, 12, 14, 14:1, 16, 16:1. ירידה בולטת במיוחד התקבלה בריכוז החומצה הפלמיטית (C_{16} , חומצת השומן העיקרית בשומן החלב) מכ-32% לכ-24% ללא קשר למקור הפחמימות הלא מבניות. מגמה דומה התקבלה על ידי Dhiman et al. (1999) כאשר נעשה שימוש בפולי סויה ובגרעיני כותנה משוחלים. נראה שהגברת קליטת חומצות שומן ארוכות שרשרת ישירות מהפלסמה על ידי רקמת העטין (שמקורן בשומן פולי הסויה) גרם לירידה בשיעור הסינטז העצמי (de-novo synthesis) של חומצות השומן הקצרות ובינוניות השרשרת על ידי רקמה זו (Dhiman and

Zanten, 1995), כנראה עקב ירידה בפעילות האנזים אצטיל קואנזים A קרבוקסילאז (Storry, 1988).

חומצות השומן הבלתי זוגיות, C_{15} ו- C_{17} , המרכיבות את שומן החלב מקורן בעיקר בחומצות שומן המיוצרות על ידי המיקרואורגניזמים בכרס מחומצות שומן נדיפות בלתי זוגיות, לצורך בניית גופם. נראה שלא היה הבדל בולט בין המנות העשירות בעמילן לאלו העשירות בפקטין, אולם תוספת פולי הסויה למנות אלו גרמה לירידה מובהקת בריכוז חומצות אלו בחלב: C_{15} - ירידה של כ-30%; C_{17} - ירידה של כ-20%. מעט מאד ידוע כיצד החיידקים בכרס מווסתים את הרכב שומן גופם, אולם מקובל שלהרכב שומן המזון יש השפעה ניכרת על הרכב שומן תאי החיידקים, בעיקר על אוכלוסיות החיידקים הקשורים לסיב בהשוואה לאלו הקשורים לנוזל (Harfoot and hazlewood, 1998). ניתן לשער שתוספת שומן פולי הסויה גרמה להגברת קליטת שומן ממקור חיצוני על ידי תאי החיידקים על חשבון סינטז עצמי של חומצות שומן (Chouinard, 1997b).

לא התקבלו הבדלים בריכוזן של חומצות השומן ארוכות השרשרת בשומן החלב של פרות שניזונו במנות עתירות עמילן בהשוואה למנות עתירות בפקטין. אולם כאשר שולבו פולי סויה משוחלים למנות אלו, חלה עלייה ניכרת בריכוזן של חומצות אלו בשומן החלב, ללא קשר למקור פחמימות הבלתי מבניות במנה: חומצה סטארית (C_{18}) כ-40%; אולאית ($cis-9$, $C_{18:1}$) כ-20%; TFA ($trans$ $C_{18:1}$) כ-240%; חומצה לינולאית ($cis-9$, $cis12-C_{18:2}$) כ-67%; חומצה לינולנית ($C_{18:3}$) בכ-60%.

בולטת במיוחד העלייה בריכוז החומצה הלינולאית המצומדת (CLA) בשומן החלב בעקבות שילוב פולי הסויה המשוחלים במנה: עלייה בריכוזה בכ-216% בשומן החלב של פרות שניזונו במנה עתירת העמילן ועלייה בריכוזה ב-229%, מ-0.45% ל-1.03% בשומן החלב של פרות שניזונו במנה עתירת פקטין. נראה שבעבודה זו, המנה העתירה בפקטין בתוספת פולי סויה משוחלים גרמה ליצירת התנאים המיטביים בכרס המאפשרים ביוהידרוגנציה בלתי מושלמת, דהיינו יצור מרבי של CLA בכרס ואו של TFA, אשר מהם האיזומר $t-11$ $C_{18:1}$ יכול לשמש בעטין כמקור נוסף ליצור CLA על ידי האנזים דלתא 9 דסטוראז (Griinari and Bauman, 1999). ואכן ריכוז חומצות השומן הללו בחלב היה הגבוה ביותר באופן בולט במנה זו (תנאי ההפרדה ב-GC לא אפשרו הפרדה מושלמת של $t-11$ $C_{18:1}$). בנוסף, סך יצור ה-CLA היומי היה הגבוה ביותר במנה זו והגיע לכ-13 גרם/פרה/יום. תוצאה זו חיובית במיוחד משום התקבלה ברפת גילה, בתנאי הזנה וממשק המדמים משק מסחרי לכל דבר, המוזן בבילל הבנוי ממזונות גסים ומרוכזים

קונבנציונאליים, בתנובות חלב גבוהות במיוחד, ובהרכב חלב סביר. במיוחד ראוי לציין את השילוב המוצלח של פולי הסויה המשוחלים כמקור לחומצות שומן בלתי רוויות המהוות פרקורסור ליצור מוגבר של CLA ו-TFA. האחרון מעניין אף הוא משום שבמידה ולרקמות גוף האדם יש יכולת סינטזת CLA מ- $t-11 C_{18:1}$, המהווה כשליש מכלל ה-TFA בשומן החלב (נתונים לא מוצגים), יתכן ואז לריכוז מוגבר של איזומר זה במוצרי חלב יש משמעות חיובית במיוחד, בניגוד מוחלט לאפקטים הבריאותיים השליליים המיוחסים TFA כתוצר הידרוגנציה בלתי מושלמת של שמנים צמחיים.

בעבודה זו חלה עלייה של למעלה מפי 2 בריכוז כ-TFA בשומן החלב, בעקבות שילוב פולי הסויה במנות, ללא פגיעה בריכוז שומן החלב. נקודה זו מעניינת במיוחד משום שהיא בניגוד לעבודות הטוענות לקשר שלילי בין עלייה ביצור כלל ה-TFA בכרס, בכמות הזורמת למעי ובריכוז ה-TFA בשומן החלב, לבין ריכוז השומן בחלב; דהיינו, הפגיעה בריכוז שומן החלב, הן בתנאי הזנה במנות דלות במזון גס, ובעיקר בעקבות תוספת שמנים צמחיים נוזליים למנה, יוחסה לעלייה ביצור כלל ה-TFA בכרס (Erdman, 1999). נראה שקביעה זו היא גורפת מידי, ומן הראוי למצוא את האיזומר הספציפי מכלל ה-TFA האחראי על הפגיעה ביצור שומן החלב בעטין. ממצאים ראשוניים שהתקבלו במעבדת קבוצת המחקר של באומן וחבריו (אוניברסיטת קורנל) מעידים שאיזומר זה כנראה הינו CLA עם קשר כפול בעמדה 10 או האיזומר trans10- $C_{18:1}$ "המקורב" אליו, ולא כלל ה-TFA (Griinari et al., 1998; Griinari and Bauman, 1999).

לסיכום: מתוצאות העבודה מסתמן שמניפולציה תזונתית הקשורה בתוספת מקור חייוני של חומצות שומן בלתי רוויות (פולי סויה משוחלים) גרמו לעלייה ניכרת בריכוז ה-CLA בשומן החלב. העלייה הניכרת ביותר (פי 2.3) התקבלה כאשר פולי הסויה המשוחלים הוספו למנה העשירה בפקטין, בה גרעיני תירס הוחלפו בקליפות תפוזים; כל זאת ללא פגיעה בתנובת החלב ובריכוז השומן בחלב.

הערת סיום

מירב הנושאים שהועלו במסמך זה, הקשורים בתרומת ה-CLA שבשומן החלב לבריאות האדם, הגברת ריכוז ה-CLA בשומן החלב וחשיבות הגברת צריכת ה-CLA שמקורו במוצרי חלב על ידי האוכלוסייה בישראל, הועלה לראשונה בארץ בהרצאתו של פרופ' דניאל בן גדליה - "חלב=בריאות" (בן גדליה, 1998). עם זאת, המודעות בישראל לחשיבות ה-CLA והתמיכה להעמקת המחקר בנושא, עדיין נמוכים ביותר בישראל, זאת בניגוד גמור לנעשה בארה"ב ובאירופה. לא קיים שום ידע באשר לריכוז ה-CLA בשומן החלב של פרות "צבריות" כחול לבן, וכפועל יוצא, לא קיים שום אומדן הנוגע לצריכה היומית הממוצעת של CLA לאדם בישראל. עם זאת, קיים אתגר מיוחד לבחון זאת לאור תנאי ההזנה והממשק המיוחדים שמקובלים בארץ: השימוש המוגבר בגרעינים וחומרי לוואי, והשימוש הרווח במזונות גסים משומרים באיכות בינונית (תחמיץ חיטה) מחד גיסא, לעומת הפוטנציאל האדיר הגלום בגידול מזונות גסים איכותיים תוך שימוש במים מושבים, מאידך גיסא; כמו כן, תנובות החלב הגבוהות, והתנודות בתנובה וברכיבי החלב עקב השינויים האקלימיים לאורך השנה, לעומת ההשקעה הרבה באמצעי צינון להפגת

חום וייצוב התנובה בעונות הקשות. לגורמים אלו ולאחרים עשויה להיות השפעה על ריכוז ה-CLA בשומן החלב.

חשובה לא פחות היא המגמה החיובית המסתמנת לאחרונה במחלבות הגדולות, הקשורה בהתמחות בקווי יצור ובקליטת חלב בהרכב ייעודי לקווי ייצור ספציפיים. נישה ייעודית, העוסקת ביצור חלב ומוצרי חלב עתירי CLA בעלי תווית בריאותית סגולית, תואמת כיוון חיובי זה. נושא מחקר זה גורם בארה"ב ובאירופה להתעניינות רבה ביותר הן מכיוון ציבור הצרכנים, אך בעיקר מכיוון יצרני ותעשיית החלב משום הפוטנציאל האדיר הגלום בו בהקשר לבריאות הציבור, וכפועל יוצא - בהגברת הביקוש והצריכה של מוצרי חלב.

Table 1. Ingredients and chemical composition of the TMRs

Composition	Diets			
	HS	HS+Ex	HP	HP+Ex
	% , DM basis			
Ingredients:				
Corn silage	28.64	28.20	28.44	28.13
HCS	19.91	19.49	19.75	19.54
Dry citrus pills	9.66	9.59	23.93	20.70
Corn grain	23.69	20.44	9.33	9.28
ExSB	0.00	13.53	0.00	14.12
SBM	16.31	6.35	17.18	6.56
¹ Min+Vit mix	1.79	2.40	1.37	1.68
Chemical:				
DM	42.10	43.05	42.50	43.05
NE ₁ (Mcal/gkDM)	1.75	1.77	1.73	1.75
CP	15.72	17.86	16.61	17.75
NDF	35.15	34.96	36.36	35.16
ADF	23.35	22.93	25.81	24.45
Ash	7.16	7.19	7.24	7.12
EE	3.38	6.08	3.19	5.83
² NSC	38.59	33.91	36.60	34.14

HS = high starch; HS+Ex = high starch + extruded soy bean; HP = high pectin; HP+Ex = high pectin + extruded soy bean.

¹The composition (%) of the Min+Vit mix, for each TMR was: HS TMR: Urea, 0; TM base mix, 4.31;vit trace base, 6.42; Limestone, 22.03; DCP, 11.10; Salt-white, 21.75; MgSO₄, 27.6; Monosodium Phosphate, 0; Vit E (20000 IU/Lb), 1.1; Marker 8.23. HS+Ex TMR: Urea, 12.22; TM base mix, 3.29;vit trace base, 4.89; Limestone, 28.58; DCP, 0; Salt-white, 16.27; MgSO₄, 19.56; Monosodium Phosphate, 8.37, Vit E (20000 IU/Lb), 0.85; Marker 5.98. HP TMR: Urea, 0; TM base mix, 5.50; vit trace base, 8.17; Limestone, 0; DCP, 0; Salt-white, 24.85; MgSO₄, 27.6; Monosodium Phosphate, 21.12; Vit E (20000 IU/Lb), 1.42; Marker 11.24. HP+Ex TMR: Urea, 21.42; TM base mix, 4.30;vit trace base, 6.41; Limestone, 0; DCP, 0; Salt-white, 21.51; MgSO₄, 25.81; Monosodium Phosphate, 10.98, Vit E (20000 IU/Lb), 1.10; Marker 8.48.

²Calculated value: NSC=100-CP-NDF-EE-ASH

Table 2. Least square mean intake (kg/cow/day), milk production (kg/cow/day), and milk composition, for cows fed diets differing in NSC sources, with or without the inclusion of full fat ExSB.

Composition	Diets				SEM	P
	HS	HS+Ex	HP	HP+Ex		
¹ DMI	20.89 ^b	22.02 ^a	20.30 ^b	20.79 ^b	0.317	0.002
Milk Production	35.5 ^b	38.30 ^a	34.58 ^b	38.20 ^a	0.586	0.0001
Milk fat (%)	3.33	3.33	3.38	3.30	0.047	0.716
Milk protein (%)	3.00 ^a	2.87 ^c	2.93 ^b	2.82 ^d	0.016	0.0001
Milk lactose (%)	4.62 ^{ab}	4.60 ^{bc}	4.57 ^c	4.66 ^a	0.017	0.005
Milk fat (kg)	1.18 ^b	1.26 ^a	1.16 ^b	1.26 ^a	0.022	0.003
Milk Protein (kg)	1.05 ^{ab}	1.09 ^a	1.01 ^b	1.07 ^a	0.017	0.009
² MUN (mg/100 ml)	13.64 ^b	15.27 ^a	13.67 ^b	15.4 ^a	0.27	0.0001
Rumen pH	6.35	6.45	6.37	6.41	0.033	0.300

a,b,c Means with unlike superscripts within a row differ according to the value indicated.

HS = high starch; HS+Ex = high starch + extruded soy bean; HP = high pectin; HP+Ex = high pectin + extruded soy bean.

¹DMI = Dry Matter Intake

²MUN=Milk Urea Nitrogen

Table 3. Least square mean fatty acid composition of milk fat (mg FA/100mg fat) and conjugated linoleic acid (*c*-9,*t*-11- C_{18:2}; CLA) yield (g/day/cow) for cows fed diets differing in NSC sources, with or without the inclusion of full fat ExSB.

Fatty acid	Diets				SEM	P
	HS	HS+Ex	HP	HP+Ex		
C ₄	4.45 ^d	4.72 ^b	4.59 ^c	4.93 ^a	0.041	0.0001
C ₆	2.39 ^b	2.43 ^a	2.41 ^b	2.30 ^c	0.019	0.0001
C ₈	1.38 ^a	1.18 ^b	1.35 ^a	1.20 ^b	0.012	0.0001
C ₁₀	3.09 ^a	2.34 ^c	2.99 ^b	2.34 ^c	0.030	0.0001
C ₁₂	3.53 ^a	2.51 ^c	3.39 ^b	2.49 ^c	0.034	0.0001
C ₁₄	11.51 ^a	9.09 ^d	11.21 ^b	9.22 ^c	0.067	0.0001
C _{14:1}	1.13 ^a	0.81 ^b	1.11 ^a	0.83 ^b	0.015	0.0001
C ₁₅	1.03 ^a	0.68 ^c	0.98 ^b	0.69 ^c	0.014	0.0001
C ₁₆	32.42 ^a	23.9 ^b	32.85 ^a	24.38 ^b	0.177	0.0001
C _{16:1}	1.69 ^a	1.25 ^b	1.68 ^a	1.25 ^b	0.018	0.0001
C ₁₇	0.49 ^b	0.40 ^c	0.51 ^a	0.40 ^c	0.005	0.0001
C ₁₈	7.89 ^c	11.45 ^a	7.85 ^c	10.79 ^b	0.110	0.0001
<i>c</i> -9-C _{18:1}	19.19 ^c	23.24 ^a	19.18 ^c	22.48 ^b	0.144	0.0001
<i>t</i> -C _{18:1}	3.07 ^c	7.13 ^b	3.09 ^c	7.56 ^a	0.105	0.0001
<i>c</i> -9, <i>c</i> 12-C _{18:2}	2.23 ^b	3.65 ^a	2.18 ^b	3.70 ^a	0.032	0.0001
C _{18:3}	0.35 ^c	0.55 ^b	0.37 ^c	0.61 ^a	0.006	0.0001
CLA	0.44 ^c	0.95 ^b	0.45 ^c	1.03 ^a	0.024	0.0001
Unknown	3.72	3.72	3.81	3.80	0.032	0.157
*CLA yield	5.15 ^b	12.12 ^a	5.26 ^b	12.98 ^a	0.493	0.0001

a,b,c Means with unlike superscripts within a row differ according to the value indicated.

HS = high starch; HS+Ex = high starch + extruded soy bean; HP = high pectin; HP+Ex = high pectin + extruded soy bean.

CLA yield = milk CLA content multiplied by the daily fat yield from individual cows.

רשימת ספרות

- Barber, C.M., Clegg, R.A., Travers, M.T and Vernon, R.G., 1997. Lipid metabolism in the lactating mammary gland. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1347: 101.
- Bauman, D.E., Corl, B.A. and Baumgard, L.H., 1998. Trans fatty acids, conjugated linoleic acid and milk fat synthesis. in: *Cornell Nutrition Conference for Feed Manufacturers. Proc.*, Cornell Univ., Ithaca, NY, USA.
- Ben-Ghedalia, D., Yosef, E., Miron, J. and Est, Y., 1989. The effect of starch and pectin-rich diets on quantitative aspects of digestion in sheep. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 24:289.
- Chin, S.F.W., Liu, J.M., Storkson, Y., Ha, L. and Pariza, M.W., 1992. Dietary sources of conjugated dienoic isomers of linoleic acid, a newly recognized class of antocarcinogens. *J. Food. Comp. Anal.*, 5:185.
- Chouinard, P.Y., Girard, V. and Brisson, G.J., 1997b. Lactational response of cows to different concentrations of calcium salts of canola oil fatty acids with or without bicarbonates. *J. Dairy Sci.*, 80:1185.
- Chouinard, P.Y., le'vesque, J., Girard, V. and Brisson, G.J., 1997a. Dietary soybeans extruded at different temperature: Milk composition and in situ fatty acids reactions. *J. Dairy sci.*, 80:2913.
- Christie, W.W., 1982. A simple procedure of rapid transmethylation of glycerolipids and cholesteryl esters. *J. Lipid research*, 23:1072.
- DePeters, E.J. and Cant, J. P., 1992. Nutritional factors influencing the nitrogen content of bovine milk: a review. *J. Dairy Sci.*, 75:2043.
- Dhiman, T. R., and Zanten, K. V. and Satter, L.D., 1995. Effect of dietary fat sources on fatty acid composition of cow's milk. *J. sci. Food Aric.*, 69:101.
- Dhiman, T.R., Helmink, E.D., McMahon, D. J., Fife, R.L. and Pariza, M.W., 1999. Conjugated linoleic acid content of milk and cheese from cows fed Extruded oilseeds. *J. Dairy Sci.*, 82:412.
- Erdman, R., 1999. Trans fatty acids and fat synthesis in milk. pp 101 in: *Southwest Nutrition and Management Conference Proceedings*, Phoenix, Arizona.
- Griinari, J.M. and Bauman, D.E., 1999. Biosynthesis of conjugated linoleic acid and its incorporation into meat and milk in ruminants. In: *conjugated Linoleic Acid: Biochemical and Nutritional, Chemical, Cancer and methodological Aspects*. M.P. Yuraweca, M.M. Mossoba, J.K.G Kramer, G. Nelson and M.W. Pariza, eds. AOCS, in press

Griinari, J.M., Dwyer, D.A., McGuire, M.A., Bauman, D.E., Palmquist, D.L and Nurmela, K.V.V., 1998. Trans-octadecenoic acids and milk fat depression in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 81:1251.

Hall, M.B., 1994. Pectin: The structural non-structural carbohydrate. Page 29 in: *Cornell Nutrition Conference for Feed Manufactures. Proc.*, Cornell Univ., Ithaca, NY, USA.

Harfoot, C.G., and Hazlewood, G.P., 1997. Lipid metabolism in the rumen: pp 382, in: *The Rumen Microbial Ecosystem*. P.N. Hobson and C.S. Steward, ed. Blackie Academic. London.

Knekt, P., Jarvinen, R., Seppanen, R., Pukkala, E. and Aromma, A, 1996. Intake of dairy products and the risk of breast cancer. *Brit. J. Cancer*, 73:687.

Lynch, J.M., Barbano, D.M., Bauman, D.E., Hartnell, G.F. and Nemeth, M.A., 1992. Effect of prolonged release formulation of n-methionyl bovine somatotropin (sometribove) on milk fat. *J. Dairy Sci.*, 75:1794.

Parodi, P.W., 1997. Conjugated octadecadienoic acids of milk fat. *J. Dairy Sci.*, 60:1550.

Pietinen, P., Vartiainen, E., Seppanen, T., Aro, A. Puska, P., 1996. Changes in the diet Finland from 1972 to 1992: impact of coronary heart disease risk. *Prev. Med.* 25:243.

בן גדליה, ד. 1998. חלב=בריאות. הרצאה מוזמנת. הכנס השנתי למדעי מעלי הגירה, זיכרון יעקוב.