

האם רצוי להוסיף חומצות שומן לפרות חלב: איזה, מתי וכיצד?

חלק א' - שומן מוגן כרס: מטבוליזם של חומצות שומן פלמיתית וסטארית בפרות חולבות אוריאל כהן, "אמבר" מכון תערובת

מבוסס על מאמרם של J. R. Loften et al., 2014. J. Dairy Sci., 97:1-14

רקע: לאחרונה, עקב עלייתו הכלכלית של מרכיב השומן בחלב וגורמים בשוק שמעודדים מגמה זו, ישנה התעניינות רבה בקרב הרפתנים כיצד להעלות את שיעור השומן בחלב. מקובל לחשוב שתוספות שומניות של חומצות שומן ארוכות שרשרת (חשא"ש) עשויות לשפר את % השומן בחלב או את תפוקתו (חמ"ש ק"ג/יום\ראש). הוספת שומן במנת פרות לחלב שכיחה במשקים כדי לענות על צרכי האנרגיה של הפרה החולבת: לייצור חלב, לרבייה, לשיקום המצב הגופני או לגדילה. הרכב חומצות השומן (ח"ש) בשומן מוגן, מגוון. הנפוצות שבהן הן חשא"ש: C16:0 (ח. פלמיתית), C18:0 (ח. סטארית) C18:1 (ח. אולאית), ו-C18:2 (ח. לינולאית). מחקרים בשנים האחרונות הראו כי חשא"ש אינם רק מקור אנרגיה אלא הן גם תרכובות להן פעילות ביולוגית ותפקוד מטבולי שונה בפרת החלב. שתי חומצות השומן הרוויות (חש"ר; ללא קשרים כפולים) C16:0, C18:0 שונות מאד האחת מהשנייה בתפקוד המטבולי ובדרך בה הן תומכות בייצור חלב.

עיכול וספיגה: בעוד C16:0 ו-C18:0 דומות מאד בנוסחתן הכימית (שונות רק באורך השרשרת/מספר הפחמנים), נוכחותן ותפקידן במטבוליזם של פרת חלב שונים במקצת. החומצה הפלמיתית הינה חומצת השומן הרוויה הנפוצה ביותר בצמחים, בבע"ח ובמיקרואורגניזמים. מקורות נפוצים לחומצה זו הם שמן דקלים, שמן גרעיני דקל, שמן בוטנים ושומן חלב. חומצה סטארית נפוצה בטבע, נמצאת בשומן בע"ח ובשומן צמחים, אך בדרך כלל בשיעור גבוה הרבה יותר בשומן בע"ח. הרכב ח"ש במזון המגיע לכרס, שונה במקצת מהרכב בכניסה למעי הדק. Wu וחבוריו (1991) היה אחד הראשונים שהראה כי C18:0 הינה ח"ש היחידה שריכוזה עלה במעכל שעבר את הכרס והגיע למעי, עם או בלי תוספת שומן למנה, עקב ביוהידרוגנציה (הרווית קשרים כפולים במימן) בכרס של חומצות שומן רב בלתי רוויות (PUFA) אשר במזון. מחקר מאוחר יותר הראה כי כמות C18:0 העוזב את הכרס יכולה להיות פי 25 יותר גדולה מהכמות הנצרכת במזון, וכן, מגיעה לכדי 40-70% מכלל הח"ש המגיעות לתריסריון. כמות C16:0 המגיע לתריסריון מהכרס דומה לזו שבמזון הנאכל ומהווה 10-20% מכלל ח"ש שבמעכל. מחקרים מאוחרים יותר השוו נעילות ח"ש בין התריסריון למעי הגס או בין התריסריון ועד סוף מערכת העיכול (בצואה), והגיעו למסקנה שנעילות C18:0 ו-C16:0 בעקרון דומה (סביב 75%, כשהפלמיתית נעכלת ב-2-3 יחידות יותר).

מטבוליזם: ח"ש סטארית היא העיקרית במעכל המגיע למעי, והיא גם העיקרית הנספגת במערכת העיכול; עם זאת, חומצה זו אינה העיקרית ברקמות הפרה. הרכב רקמות השומן בפרה הוא: 27% פלמיתית, 11% סטארית ו-48% אולאית, כאשר כמעט כל כמות שתי האחרונות ברקמת השומן, היא תוצאה של הארכת השרשרת של הפלמיתית ב-2 פחמנים לסטארית, ולאחר מכן דה-סטוראציה (הוספת קשר כפול ציס במקום 9) של C18:0 ל-C18:1. ח"ש הסטארית היא מקור לא טוב לליפוגנסיס (בניית רקמת שומן), בעוד שהפלמיתית הוא מקור מצוין. קיים הבדל מרכזי בניצול הפלמיתית לעומת הסטארית ע"י הפרה בתקופת המעבר. נמצא (מחקר מ-2007) כי ריכוזם של הסטארית הפלמיתית והאולאית, בפלסמה היה דומה בתקופת היובש, אך לאחר ההמלטה, בעת מאזן אנרגטי שלילי ופרוק רקמת שומן גוף, ריכוז הפלמיתית והאולאית עלה בעוד שריכוז הסטארית ירד. גידול בריכוז חומצות השומן החופשיות (NEFA) בפלסמה בתקופת המעבר מוביל למסלול של קליטתם בכבד, אסטרופיקציה יצירת טריגליצרידים (TG) והצטברותם בכבד. נמצא כי הצטברות מופרזת של שומן ברקמת הכבד ובתאים אחרים של פרת מעבר, עלולים לגרום לנזק פיזי, כולל דחיסה והקטנת גודל פיזי של מספר אברונים עד כדי מיתת תאים. מספר מחקרים הראו כי לאחר ההמלטה, ריכוז ה-C16:0 עלה ברקמת הכבד, בעוד שריכוז ה-C18:0 לא עלה. דבר זה מלמד כי המטבוליזם של

הסטיארית מופנה לאנרגיה – למשל חמצון בטא - בכבד ובשרירים, ו/או לעטין, שם מופרשת כחלק משומן החלב, או כ-C18:0 או כ-C18:1 לאחר שעברה דסטוראציה. (Karcgi et al. (2010) בדק 3 מנות לפני ההמלטה: ביקורת ללא תוספת שומן; קבוצה שקיבלה תוספת של טריגליצרידים של שמן דקלים שעבר הרוויה המכיל 69% C18:0 (סטיארית) ו-23% C16:0 (פלמיתית) (קבוצת HTG); קבוצה שקבלה מלחי סידן של חומצות שומן בהרכב של 33% C16:0 ו-4% C18:0 (קבוצת CaS). נמצא שקבוצת HTG אפשרה הספקת אנרגיה טובה יותר לפרות גבוהות תנובה הנמצאות במאזן אנרגיה שלילי, בהשוואה ליתר הקבוצות. הייתה פחות היווצרות של טריגליצרידים בכבד ב-5 ימים אחרי ההמלטה באותה קבוצה, ופרות קבוצה זו אכלו יותר ח"י וייצרו יותר חלב במשך 100 הימים הראשונים לתחלובה לעומת 2 הקבוצות המקבילות. מחקר זה ומחקרים נוספים מציעים שוני במסלולים המטבוליים: ל-C16:0 הסתברות גדולה יותר להגדיל ריכוזו בכבד פרה לפני ההמלטה לעומת C18:0. מכאן שמסתמן שתוספת C18:0 בריכוז גבוה, ותוספת C16:0 בריכוז נמוך בתקופה המעבר (לפני ואחרי ההמלטה) מקנה את היתרון הטוב ביותר לפרת החלב לעומת קומבינציות אחרות. ניתן לסכם ולומר ש-C18:0 אינה מצטברת בכבד ונראה כי היא מנוצלת בראש וראשונה כמקור אנרגיה בתחילת התחלובה. בניגוד לה, ה-C16:0 יכולה להצטבר בכבד במצב של מאזן אנרגיה שלילי ויש לה פוטנציאל של גרימת נזק בצורה של תסמונת כבד שומני.

השפעת ח' פלמיתית וח' סטארית על תנובת החלב, תנובת השומן ועל הרכב ח"ש בחלב: בסקרי שוק בארה"ב (2011) ובמחקר שדיווח על שומן החלב (2007), נמצאו ההרכבים הבאים של שומן החלב (ג' ח"ש/100 ג' שומן; מהגבוה לנמוך): פלמיתית – כ-28; אולאית – כ-24-20; סטיארית כ-11. אפשר לסכם מנתונים אלה שתכולת הפלמיתית מהווה בערך 80% מתכולת האולאית והסטיארית גם יחד. בעוד ריכוז ח"ש בחלב עקבי למדי, כממוצע החוצה מספר גדול של דגימות, מחקרים נפרדים, במיוחד למשך זמן קצר, הראו כי גם תנובת השומן וגם ריכוז ח"ש ניתנים לשינוי ע"י המנה והרכב ח"ש המוספות למנה.

אנטגוניזם של ח"ש החלב: (Steele and Moore (1968) בחנו השפעת תוספת C16:0 ו-C18:0 במנה, על תנובת השומן ועל הרכב ח"ש בחלב. חוקרים אלו הראו כי מתן 578 גר'יום של C16:0 או 564 גר'יום של C18:0 לפרות באמצע תחלובה העלו את שעור השומן בחלב ב-0.86 ו-0.30 יחידות אחוז, בהתאמה. מתן C16:0 אמנם העלה את ריכוז וכמות C16:0 בשומן החלב אך מאידך הקטין את ריכוז וכמות ח"ש הקצרות שרשרת בשומן החלב, אלה המסונתזות דה-נובו (בתוך רקמת העטין; C4-C14) כמו גם הקטינו את ריכוז וכמות C18:0 ו-C18:1. למתן C18:0 הייתה השפעה קטנה על ריכוז וכמות ח"ש קצרות שרשרת בשומן החלב אך הקטינה את ריכוז C16:0 בשומן החלב והגדילה את ריכוז C18:0 ו-C18:1. מחקרים נוספים (1969, 2000) אוששו את אופן ההשפעה של מתן ח' פלמיתית או ח' סטארית על ריכוז וכמות ח"ש בשומן החלב כפי שתואר לעיל. אפשר להסיק כי מתן ח"ש פלמיתית או סטארית במזון משפיע באופן חיובי על הריכוז והכמות בשומן החלב של אותו החומר המוסף, ובאופן שלילי על משנהו. מתן כל אחת משתי ח"ש אלה משפיעות באופן שלילי על ריכוז וכמות ח"ש קצרות ובנויות שרשרת. עבודות מחקר בהם נתנו בהזנה או באינפוזיה תערובת של ח"ש פלמיתית וסטארית הראו ירידה בסינתזה דה-נובו של ח"ש קצרות וביוניות שרשרת, ומאידך הראו עלייה בתנובת החלב, שיעור השומן בחלב ותנובת השומן, ללא שינוי מובהק של C16:0, C18:0 ו-C18:1 בחלב.

צמיגות החלב: שומן החלב חייב להיות נוזלי כדי להשתחרר מרקמת החלב. רקמת החלב "דואגת" בעקביות משלבת ח"ש שונות עם נקודות היתוך שונות כדי לקיים מצב של חלב נוזלי (המונח בלועזית הוא fluidity, נוזליות בתרגום חופשי, שכוונתו – רמת הצמיגות של שומן החלב). ח"ש בלתי רוויות חייבות להשתלב בטריגליצרידים של שומן החלב כדי לגרום לכך שהחלב יהיה במצב נוזלי. הדבר נעשה ע"י ערבוב של ח"ש עם נקודת היתוך נמוכה יותר (קצרות או

בעלות קשר כפול כגון: C4:0, C6:0 ו-C18:1) לתוך שלד הגליצרול בעמדה 3 (sn-3), עמדה מועדפת לצורך הסדרה מצב צמיגות נוזלי לשומן החלב (ראה טבלה).

הרכב טריגליצרידים של שומן החלב ומיקומם של מספר ח' שומן בעמדות sn-1, sn-2, sn-3 וטמפרטורת ההיתוך התואמת; Jensen (2002).

חומצות שומן (FA)										
C18:1	C18:0	C16:0	C14:0	C12:0	C10:0	C6:0	C4:0			
עמדת טריגליצרידים										
37.3	54.0	44.1	27.3	23.7	15.2	10.3	3.1	1.6	%	sn-1
21.2	16.2	45.4	65.6	62.9	56.6	55.2	3.9	0.3	%	sn-2
41.5	29.8	10.5	7.1	13.4	28.2	34.5	93.0	98.1	%	sn-3
-13.4	69.6	62.9	54.4	43.2	31.6	16.7	-3.4	-7.9	°C	נקודת היתוך

בשעת ייצור טריגליצריד בחלב, אשר צריך להיות מופרש מתאי רקמת החלב, 2 העמדות הראשונות על שלד הגליצרול (sn-1, sn-2) מאוכלסות באופן בולט ע"י ח"ש בעלות נקודת היתוך גבוהה כמו ח' פלמיתית וח' סטארית. הסטארית בשונה מהפלמיתית, יכולה לעבור תהליך של דסטוראציה (הסרת שני מימנים והיווצרות קשר כפול; הערת המתרגם) ולהפוך ל-C18:1 ברקמת החלב, דבר שתורם לנוזליות של שומן החלב ומוריד הצטברות C18:0 בעמדות 1 ו-2 בטריגליצריד. צריכת כמות גבוהה של C16:0 מציב בעיה לפרה חולבת בהתייחס לתכולת חומצות השומן בחלב. האמצעי הבסיסי להבטיח את הנוזליות של שומן החלב הינו שילוב של C18:1 ושל ח"ש קצרות שרשרת (10-4 פחמנים בשרשרת) לתוך הטריגליצרידים המיועדים ליצור את כדוריות שומן החלב.

היות וביו-הידרוגנציה בכרס מקטינה ריכוז C18:1 לטובת C18:0, המקור העיקרי של C18:1 המגיע לשומן החלב הוא התהליך ההפוך לנ"ל, "דסטוראציה", של C18:0 ל-C18:1 בבלוטת החלב. לכן הרכב ח"ש המוגשות במזון כנראה חשוב מאד לייצור שומן החלב, ומשפיע גם על הרכב ח"ש השומן החלב. הוספת שומן למזון עם רמת C16:0 גבוהה, דורשת ח"ש קצרות ובינוניות שרשרת שמסונטזות בתהליך דה-נובו או הוספת C18:0 כדי שיגיע לבלוטת החלב ובתהליך דה-סטורציה יהפוך ל-C18:1, 2 מסלולים ששומרים על איזון ח"ש בשומן החלב ועל צמיגותו. מהמידע הזמין אפשר להסיק כי איזון של C16:0 עם C18:0 + C18:1 ביחס קרוב ל-1:1, דומה ליחסים ביניהם בשומן החלב, יכול להיות עדיף לצורך ייצור שומן חלב מקסימאלי. יחד עם זאת נדרשים עוד מחקרים לתקופות זמן ארוכות יותר ובתקופות שונות של התחלובה.

Loften (2014) בסוף עבודתו ממליץ ואומר: נראה כי לשילוב של C16:0 (ח. פלמיתית), ו-C18:0 (ח. סטארית), בטווח שבין 1:1 ל-1:2, C16:0 ו-C18:0 בהתאמה, יש את היתרון המיטבי בניצולם לייצור חלב ולכלל הביצועים של פרת החלב.

לאחרונה (2018-2019) נעשו מספר עבודות במחלקה למדעי בע"ח באוניברסיטת משיגן ארה"ב ע"י קבוצת חוקרים בראשותם של Adam L. Lock & de Souza. הממצאים והתובנות של מחקרים בשנים האחרונות שונים במידת מה ממה שניסקר מעלה. השינוי המהותי במחקר בשנים האחרונות היה הוספת חומצה אולאית cis-9, C18:1 (בנוסף לח' פלמיתית וח' סטארית) דבר שלא נבדק בניסויים שנסקרו עד כה. בפרק הבא נביא נסקור חלק מעבודות אלה עם תובנות ומסקנות עדכניות.