



שיטות ואמצעים לשינוי הרכב החלב*

סקירה תמציתית

הירחון היוקרתי האמריקאי Journal of Dairy Science ערך מעין סימפוזיון בנושא זה באמצעות מאמרים מוזמנים מאת חוקרים ואנשי מקצוע מן השורה הראשונה. המאמרים הללו נתקבלו במערכת הירחון עוד בחודש אוגוסט 1988. אולם, בהתאם לבדיקה הקפדנית הנהוגה לגבי המאמרים המתפרסמים בירחון האמור, רק בחודש נובמבר 1988 אושרו רב המאמרים – כך שפירסומם התעכב עד אוקטובר 1989. יש לראות בסימפוזיון זה נסיון ומאמץ מודע לעידכון הידע במכלול הפתרונות הנראים כמבוססים דיים מבחינה מחקרית, ולרב גם מבחינה טכנית מעשית. אגב, יש לזכור שהדברים משקפים בראש וראשונה את המצב ביבשת האמריקאית.

שינוי הרכב החלב – מבוא

(T.A. Ferris, Michigan State Univ.m P.C.
Vasavada, Univ. of Wisconsin)

על פי המגמות בייצור חלב וצריכתו בתקופה האחרונה, אפשר להצביע על מספר גורמים מכריעים בהקשר זה: דאגת ציבור הצרכנים ביחס להשלכות בריאותיות של צריכת שומן מן החי והביקוש למוצרים "קלים" או מעוטי-שומן; יותר חלב מופנה לייצור גבינות ומוצרים אחרים; העניין שמגלה הציבור ברמה יותר גבוהה של מוצקים חסרי-שומן במוצרים ניגרים; שיטות תימחור המבוססות על כלל רכיבי החלב, בהתאם לייעוד החלב.

אילכך, דרושה מומחיות רבה הן בשלב הייצור והן בשלב עיבוד החלב לתוצרת שונה. יצרני החלב יפעלו למען שינוי הרכבו של החלב, בתנאי שיזכו לתמריצים המתאימים. מצד שני, שינוי הרכב החלב בשלב התעשייתי עשוי להביא לידי יתר ייעול וגמישות בשימוש במוצרים. בנוסף לכל אלה, המחקר של פיתוח שימושים תרופתיים של חלב עשוי לבשר אופני ניצול ושימוש שונים של פרת החלב.

Methods of Altering Milk Composition. Journal • of Dairy Science Vol. 72, No. 10, 1989.

השאלה איננה רק למה לשנות את הרכב החלב, אלא איך לגרום לשינוי של איזה רכיב באופן יעיל וכלכלי. גנטיקה (בירור) ופיסיולוגיה (הזנה), ביחד עם הנדסה גנטית וטכנולוגיות תעשייתיות חדשות מבטיחות קידום הענף ורווחה לעוסקים בו.

למה לשנות את הרכב החלב?

(D.H. Hettinger, Land O'Lakes, Minneapolis)
היכולת הטכנית להפריד את החלב לרכיביו השונים יוצרת מכלול של מוצרים, היכולים לשמש כרכיבים הן בתעשיות המזון וגם בייצור מוצרים שאינם מזון. כמעט בכל מקרה ישנם מוצרים שלא ממקור חלב המתחדרים במוצרי החלב עצמם. הגורמים הכלכליים והשיווקיים יכתיבו את הצלחתם של מוצרים ממקור חלב, שעבורם היה צורך לשנות את הרכב החלב. ביחס למגמות העתיד, יש סיכון רב בחיזוי השוק והשינויים העשויים להתהוות בו, מחד – ומה הן התשובות האפשריות מצד תעשיית החלב, מאידך.

חיי המדף של החלב ומוצריו תלויים בביצוען המושלם של טכניקות משוכללות שיש ביכולתן לשמור גם על טעם החלב ומראה מוצריו

לחשיפת החלב לחום עשויות להיות תוצאות רצויות – כגון הקטנת מספר החידקים בכלל וקליטת גורמי מחלה אם ישנם – או אף בלתי רצויות, כגון הריסת אימונו-גלובולינים, אנזימים וויטמינים.

תכולת הכולסטרול בחלב ומוצרי מהווה נושא לדיון ציבורי מתמיד. מבלי להיכנס כאן לדיון מעמיק, אם ובאיזו מידה ותנאים הכולסטרול מזיק לבריאות של סוג זה או אחר של בני-אדם, יש חשיבות מכרעת בלימוד התנהגות הכולסטרול שבחלב בעקבות עיבודו התעשייתי. לכן, יש לשאוף עידוד מתוצאות הניסויים המכוונים לשינוי הכולסטרול לתרכובות שאינן קליטות על ידי המטבוליזם האנושי. חלק מן התוצאות הושגו באמצעות ההפעלה של סוגי חיידקים (Eubacterium) המייצרים אנזים המשנה ומפרק את הכולסטרול. שיטה נוספת המבטיחה תוצאות טובות ואמינות תוך שימושה בתהליך תעשייתי מבוססת על הוצאת רב הכולסטרול מכדוריות השומן שבחלב באמצעות CO_2 על-קריטי (Supercritical carbon dioxide).

סוכר-החלב, הלקטוז מהווה את עיקר הפחמימות שבחלב. ישנם מוצרי חלב רבים, שבייצורם הם עברו תהליכי תסיסה שיש ביכולתם לסלק לגמרי, או לפחות להקטין באופן משמעותי את תכולת הלקטוז. דבר זה מאפשר צריכת המוצרים הללו גם על ידי אנשים שאינם מסוגלים לעכל לקטוז, אם מפאת מוצאם העדתי או משום גילם או מצבם הבריאותי המיוחד. מלבד תהליכי התסיסה במחלבה ישנם בשוק מוצרים (אנזימים) שאפשר להוסיף לחלב רגיל, כדי לבטל את הקושי שבעיכול לקטוז על ידי אנשים מסויימים.

כידוע, החלב מהווה ספק סידן חשוב ביותר. הטמעתו על ידי בני-אדם יותר טובה בנוכחות ויטמין D, בהשפעת אור שמש או מוסף לחלב עצמו. מעבר לזה אפשר גם להוסיף סידן לחלב ומוצרים.

בסיכום, קיימות שיטות ואפשרויות תעשייתיות בהן ניתן להתאים את הרכב החלב למוצר שמבקשים לייצר ולשווק: את אחוז

המעורר תיאבון. אמנם, אפשר לשפר את הכנסות תעשיית החלב על ידי שינוי הרכב החלב, פירוקו לרכיביו והרכבתו מחדש בהתאם למוצר מבוקש זה או אחר. אולם, לעתים קרובות הפעולה הנדרשת לשם כך גם מעלה את מחירו של המוצר המוגמר לצרכן, אפילו יהיה יותר נח בשימוש, דוגמת חלב עמיד.

החלב הוא המזון הכי מושלם בטבע, משום זמינותם המאוזנת של חלבונים, שומן, פחמימות, ויטמינים, מינרלים ותכולתו הגבוהה בגורמי תזונה חיוניים, כגון סידן, חומצות אמינו חיוניות וחומצות שומן חיוניות. ריכוז גורמי תזונה אלה על ידי עיבוד החלב עוד מגדילה את ערכו התזונתי של החלב ותוצרי-הלואי שלו. מאחר שמקובל על הרב, שהחלבון מהווה את הרכיב הכי חשוב לתעשייה, הרי העלאת אחוז החלבון בחלב הגולמי היה תורם לכמה מוצרים חשובים, בעוד הגדלת חלקו של הקזאין במקטע החלבוני היה משפר את ריווחיותם לאין ערוך יותר.

לשינויים בתכולת השומן או בהרכבו עלולים להיות תוצאות שונות וסותרות במוצרים מסויימים. לכן, יש לנהוג בכך זהירות יתירה. ידוע, ששינויים עונתיים בהרכב החלבון והשומן משפיעים על תפוקת הגבינה. חרף העובדה שקיים מתאם בין שומן+חלבון ותפוקת גבינה, השינויים הללו אינם עקביים. יתכן, ששינויים בהרכב החלבון נובעים משינוי עונתי, תכולת הקזאין של החלבון ומיעילות הפקת השומן והחלבון מחלב בהרכבים שונים (לאחרונה העידו על הקשרים מסוג זה יצרני חלב מצפון-איטליה שביקרו בארץ. אצלם נודעת להבט זה של שינויים בהרכב החלבון חשיבות מכרעת ביחס לייצור גבינת הפֶּרְמִין – מ.מ.).

בשנים האחרונות פותחה שיטה של סינון-יתר (Ultrafiltration), בה ניתן להפריד באופן סלקטיבי רכיבים שונים על פי משקלם המולקולרי. השיטה יכולה לשמש הן להקטנת כמות הנוזל (המים) בחלב לצורך הובלה למרחקים, למשל למגבנה מרוחקת, או גם לעיבוי מייגבינה תוך הגדלת תכולת החלבון במוצר המתקבל.

□ חמאה – הצריכה לנפש עשויה להיות יציבה לאורך זמן, במיוחד ומותנה בסילוק גורמי תזונה הנחשבים לשליליים (כולסטרול) מן החמאה.

□ חלב – צריכת החלב המלא הנוזלי תקטן, אך עם זאת יעבור רב המשקל לחלב דל-שומן.

□ רכיבים מוצקים – ככל שיפתחו שיטות חדשות לשינוי מרכיבי החלב, כן תגדל צריכתם בתוך מזונות מעובדים שלא ממקור חלב.

□ מוצרים מותססים – תגדל צריכתם של מוצרים מותססים בטעמים שונים, הן בעקבות אספקת סוגים חדשים, אך גם בעקבות שיפורים בסמיכותם, בטעמים ובטקסטורה.

□ מוצרים שלהם הוספה אנרגיה ונושאי טעם משובחים, כגון בגלילות שמנת מובחרות, ישמרו על צריכתם גם בעתיד.

שינוי החלב באמצעים תזונתיים*

(J.D. Sutton, NIRD)

התזונה מהווה אמצעי להשגת שינויים מהירים בהרכב החלב. אולם, היחס בין רכיבי מזון למיניהם לבין הרכב החלב מסובך ומורכב למדי. את השינויים הגדולים ביותר אפשר להשיג ביחס לריכוז השומן בחלב. בהקשר זה, הגורמים התזונתיים החשובים במיוחד הם: כמות המזון הגס (מ"ג) ויחסי מ"מ:מ"ג, הרכב הפחמימות של המזונות המדוברים, שומנים, צריכה (Intake) ותדירות הארוחות.

ביחס לריכוז החלבון בחלב השינויים האפשריים הרבה יותר מוגבלים. ההשפעות הבדוקות ביותר נודעות לצריכה ולתוספת שומנים. לחלבון שבמזון השפעה קטנה בלבד על תכולת השומן או ריכוז החלבון בחלב.

לעתים נוכחים בשינויים קטנים מאד בתכולת הלקטוז בחלב כתגובה להזנה; אולם, תגובות אלה אינן עקביות ולכן, גם לא בעלות ערך מעשי. ניצול האפשרויות הנ"ל דורש תגובות

השומן משנים על ידי הפרדת השומן כולו או בחלקו מן החלבון; תכולת הלקטוז והמינרלים אפשר לווסת באמצעות סינון-יתר, אלקטרו-דיאליזה או החלפת-יונים. אפשר, מבחינה טכנולוגית, להקטין את תכולת הכולסטרול ואפשר להוסיף מינרלים וויטמינים – הכל בהתאם לרצון הצרכנים ותוך שמירה קפדנית על ההנחיות והמגבלות של משרדי הממשלה ומכון התקנים, וכו'.

תעשיית החלב מסוגלת להענות לביקוש הרב-גווי ביותר מצד חוגי צרכנים שונים. עדות לכך ישמש הפיתוח הנמרץ והבלתי-נלאה של מוצרי חלב חדשים לבקרים. היחסים ה"אינטימיים" של ביקוש-הצבע-ביקוש-הצע מוצאים, בשיווק למעשה את ביטויים הגשמי, אשר מצדו מושפע מכמה גורמים שהמכריעים ביניהם הם: סגנון החיים (כפרי, עירוני); מבנה החברה (משפחות יותר קטנות, בודדים); מאמץ גופני (במקום העבודה ובעצם הכנת הארוחות הביתיות) קטן והולך, וכתוצאה מזה יתר השמנה, אפילו תוך הקטנת הצריכה של מזון עשיר באנרגיה; מודעות לתזונה בריאה, בהתאם לגיל ומאמץ גופני יומיומי; ואחרונה ולא בכל מקרה חביבה, הדיאטה. יש זמן שהדיאטה באה לענות על צרכים בריאותיים תזונתיים אמיתיים ובדוקים, דבר שאין עוררין על חשיבותה. אך קורה גם ואף לעתים תכופות למדי, שהדיאטה מכוונת להרזיה כשלעצמה, לשיפור "הפיגורה". ידועים מקרים לא מעטים, בהם הרזיה מופרזת הולכה להרעבה עצמית (אנוֹרֶקְסִיָה נְרוּוּחַ) והטלת נכות גופנית, אם לא גרוע מזה.

קשה לנבא מגמות עתידיות, כי הן מושפעות מגורמים פוליטיים המכוונים לעכב או לשנות את מגמות השוק הטהורות מתוך מניעים חברתיים או לאומיים. עם זאת, ישנן מספר מגמות עכשוויות העשויות להביא לידי שינויים ברורים הן בייצור והן בתעשיית החלב, בתנאי שמגמות אלה אמנם ממשיכות באותו הכיוון:

□ גבינות – תיתכן הגדלת הצריכה, ככל שיפתחו סוגים חדשים המתאימים לסגנון החיים המשתנה והולך, בעיקר בסוגי גבינה דל-שומן.

* ראה גם מאמרו המתורגם של אותו חוקר בחבורת 196, עמ' 13-20 של "משק הבקר והחלב". לכן, כאן מובאים רק עיקרי ההצאה בתוספת הטבלה המתאימה, שפירסמו בזמנו.

טבלה 4: השפעת טיפוליים תזונתיים שונים על תנובת והרכב החלב ועל תפוקת השומן והחלבון (+ הגדלה; - הקטנה; = ללא שינוי).

תפוקת החלב	שומן		חלבון		
	%	תפוקה	%	תפוקה	
+	=	-/+	-	+	פחות מ-40% מזון גס עם מ"מ על בסיס גרעיניים
+	=	-/+	-	+	(א) הקטנת המזון הגס
+/=	=	+	+	+	(ב) הגדלת הכמות הנאכלת
=	=	+	+	=	(ג) האבסת מ"מ
-	=	+/+	+	-	(ד) האבסת בופרים
-	-	=	+	-	(ה) החלפת גרעיניים בחומרי לואי
-	-	=	+/+	-	יותר מ-50% מזון גס
=/+	-	-/+	-/+	=/+	תוספות עתירות שומן
-	-	-	+	-	סוף החורף
+	+	+/=	-	+	רעיה אביבית
-	-	-	=	-	מצב גופני ירוד בהמלטה

גורמים תזונתיים המשפיעים על הרכב החלב.

גורמים יעילים ושימושיים בכח

לשינוי ריכוז השומן בחלב

- ריכוז סיבים במנה, בהתאם לטיבם כמזון גס.
- סוג הפחמימות במזון המרוכז.
- תדירות הארוחות של מ"מ עם מעט מזון גס.

לשינוי ריכוז החלבון בחלב

- אפשרי יחס מ"ג:מ"מ וסוג הפחמימות במ"מ, אך התגובות אינן עקביות.

גורמים יעילים, אך קשים לניצול מעשה

לשינוי ריכוז השומן בחלב

- תוספת שומנים, אלא שגם העוצמה וגם הכיוון של התגובה שונים ומשתנים; יש צורך בהתקדמות בטכנולוגיה של תזונה.

- צריכת אנרגיה: מנה גדושת אנרגיה נוטה להקטין את ריכוז השומן בחלב.

לשינוי ריכוז החלבון בחלב

- הגדלת צריכת האנרגיה הינה האמצעי הבטוח יותר לצורך העלאת ריכוז החלבון בחלב. אולם, בהקף העדר השלם פועלים שיקולים ממשקיים יותר רחבים מאשר הגדלת הצריכה לצורך שינוי הרכב החלב.

- תוספות שומנים בדרך כלל מקטינות את ריכוז החלבון בחלב.

גורמים בלתי יעילים

- תוספת חלבון במנה אינה ערובה לשינוי בריכוז השומן או החלבון.

עקביות החוזרות על עצמן ולפי כך גם חיזוי מדויק של התפוקה הכללית של הבהמה.

כבר פותחו נוסחאות נסיוניות (אמפיריות) לחיזוי עבור כמה גורמים. ברם, המורכבות של יחסי הגומלין בין מספר תגובות שונות לשינוי בגורם תזונתי יחיד מצביעה על כך, שאולי יש צורך במודלים מיכניסטיים החובקים את מכלול הנצילות של גורמי התזונה על ידי הפרה. אך מעבר להתפתחויות הטכנולוגיות יהיו אלה תמיד הגורמים הכלכליים, אשר יקבעו בסופו של דבר את המידה, בה הרפתן יהיה מוכן לאמץ אותן.

שינוי הרכב החלב על ידי ברירה תורשתית

(J.P. Gibson, University of Guelph)

באופן כללי ביותר, אפשר לציין שלוש דרכים, או גישות במובן הרחב ביותר, המאפשרות להגיע לידי שינויים תורשתיים בבקר-חלב: (1) השימוש בשונות תורשתית הקיימת בין גזעים, על ידי הכלאת גזע בגזע או החלפת גזע; (2) השימוש בשונות תורשתית הקיימת בתוך הגזע, על ידי ברירה (סלקציה); (3) יצירת שונות תורשתית חדשה, על ידי הפעלת טכנולוגיות טרנסגניות (transgenic) חדישות. כאן יידון

שינוי הרכב החלב באמצעות גנטיקה מולקולרית

(R.D. Bremel et al; University of Wisconsin) כיום, על ידי הנדסה גנטית אפשר להביא לידי שינויים מפליגים בהרכב החלב או אף לייצר מוצרים חדשים לגמרי בחלב. אם גם בשלב זה ישנן רק דוגמאות ספורות של בהמות/חיות טרנסגניות (transgenic animals) בהן באו לידי ביטוי חלבונים חלב זרים, הלוא אפשר להגיע לידי שליטה של כמעט כל סוג חלבון המעניין אותנו באמצעות יסודות בקרה גנטיים. מאחר שהעטין מסוגל לסנן חלב בהרכבים המוכתבים על ידי המטען הגנטי, זיקוק חלבונים בדרך זו הרבה יותר פשוט מאשר על ידי תהליכי תסיסה תעשייתיים. בנוסף לכך, הבהמות מזינות עצמן ומתרבות בהתאם לסוג, גזע, ועוד גורמים.

הגנים השולטים בייצור חלבונים זרים כאלה מועברים בדרך תורשה מנדלית בעלת אופי דומיננטי, כאשר הבהמות מייצרות את החלבונים אך ורק במשך התחלובה. אפשר להחדיר, לבסס ולרבות גנים חדשים באוכלוסיית בקר שלמה באמצעות העברת עוברים והזרעה מלאכותית.

ישנן כמה שיטות לייצור בהמות טרנסגניות. את הגנים שהופקו מקלונים אפשר להחדיר בשלבים שונים של התפתחות העובר. השיטה היותר מקובלת של ייצור בהמות טרנסגניות היא בהזרקה גן זר לתוך הגרעין (pronucleus) הזכרי של ביצית מופרית. כאשר מזריקים את הגנים בשלב החד-תאי, הם מתרכבים לעתים קרובות עם כל תאי הפרט, כולל תאי המין, ומוזה הם יכולים להיות מוֹרְשִׁים למחצית הצאצאים של הבמה.

בשיטה אחרת מחדירים את החומר הגנטי החדש בשלב יותר מאוחר לתוך הבלסטוציסט. במקרה זה מתקבלת "כימירה" (chimera), משום שלא כל התאים של הבהמה הבוגרת יכילו את הגנים החדשים ולכן, רק מעטים מן הצאצאים יירשו אותם מהוריהם.

שיטה שונה לגמרי לייצור "חלב שונה" היא העברתם של גנים לתוך התאים (epithelium) של רקמת העטין המפרישה חלב. לרקמת העטין

בעיקר השימוש בשונות התורשתית בתוך הגזע. כשם שתעשיית החלב עוסקת בעיקר בארבעת הרכיבים החשובים מבחינה מסחרית – נוזלים, שומן, חלבון ולקטוז – כן רב המידע הגנטי והכלכלי קיים לגבי אלה.

היחסים בין נוזלים, שומן, חלבון ולקטוז מאפשרים שינויים תורשתיים בכל כיוון רצוי, אם גם ישנם הבדלים ניכרים בקלות בה מושג שינוי זה או אחר. המדדים הגנטיים עלולים להיות מעט שונים בין אוכלוסיות שונות ובהם משפיעים על השיעורים בהם מושגים השינויים בכיוונים שונים. אולם, בדרך כלל הסלקציה לטובת שינוי ביחסי שומן:חלבון תתקדם די מהר, בעיקר הודות לשינוי בריכוז השומן.

מתקבל על הדעת, ששינוי תורשתי יהיה מעניינו של הענף רק בתנאי, שקיימים תמריצים כלכליים לשינוי כזה. אילזאת, יש להשתמש בערכים כלכליים ועמם בלחץ הבחירה (selection pressure) לגבי כמות רכיבים ולאזן דוקא בריכוזים שלהם בחלב. יתכן ומטרות הטיפוח תהיינה שונות ממקום למקום. אולם, ברב המקרים תפוקת השומן והחלבון והיחס שומן:חלבון עשויים לגדול בעקבות ברירה גנטית. רק במקרה היוצא-דופן בו לשומן נודע ערך כלכלי קטן ביותר או אף ערך שלילי יהיה טעם בשינויים אחרים. השונות התורשתית בהרכב השומן והחלבון, ככל שהיא מעניינת מבחינה ביולוגית, בודאי תישאר בעלת חשיבות משנית מבחינת ההשבחה הטיפוחית.

הערת העורך: מאחר והערכים והנוסחאות שבמאמר המקורי לקוחים בעיקר מן המציאות הקנדית, מצאנו שמוטב לנו להסתפק בערכים, חישובים וניתוחים כפי שהם מתפרסמים לעתים מזומנות על ידי הגנטיקאים שלנו המתבססים על השונות התורשתית למעשה והיחסים בין רכיבי החלב באוכלוסיית הבקר בישראל. הבאת טבלאות מחו"ל עם ערכים שונים ואולי גם הנחות שונות עשויה להכביד על הדיון המתנהל בגדון זה אצלנו בעצם הימים אלה. עם הקוראים הסליחה (מ.מ.).

דירתחמוצת-פחמן סופר-קריטי כשיטה המבטיחה יעילות התהליך הן מבחינה טכנולוגית והן מבחינה כלכלית. המיוחד ב- CO_2 סופר-קריטי כממס יעיל הוא בהיותו ברירני (selective) לגבי כולסטרול, בהתאם ללחץ ולטמפרטורה מסויימים, אשר אינם חורגים מעבר לאפשרי בתהליכים תעשייתיים מקובלים. למעשה, גם עד היום משמשת השיטה של מיצוי סופר-קריטי בסילוק הקפאין מן הקפה, או סילוק הטעם המר של הפירות (Hops), בידוד שמנים אתריים מתבלינים וכמובן, זיקוק של חומצות שומן מסויימות משמן דגים. אחד היתרונות של CO_2 הוא בעצם היותו תרכובת הנמצאת בטבע בשפע, הוא אינו רעיל בשום ריכוז, אינו דליק ואינו גורם לקורוזיה.

מתוך הנסיון מסתבר, שאפשר לווסת את הוצאת המקטעים השונים מן השומן באמצעות שינוי הלחץ. אם גם עד היום רב הצידוד הייחודי לצורך הפרדת הכולסטרול משומן החלב מתאים לתנאי מעבדה, מתוך השלכת העלות במתקנים דומים אפשר לשער, שעלות זו תהיה בגבולות \$0.2 לכל ק"ג שומן חלב שיש להפריד ממנו את הכולסטרול. מן הראוי לציין, שהעלות הנוספת כדי להגיע לחמאה או גבינה מעוטת-כולסטרול היא שולית בלבד. יתרה מזו, הכולסטרול עצמו מהווה מוצר-לואי בעל ערך, שעל פי הביקוש לו ניתן לחשבו כ-\$0.04 לכל גרם. לפי חישוב זהיר, במתקן תעשייתי להפקת כולסטרול המייצר תרכיז של 10% כולסטרול בתוך שומן חלב, ערך מוצר זה היה מגיע לכדי \$3.90 לק"ג שומן חלב, כלומר, תרכיז של 10% היה שווה יותר מאשר שומן החלב הגולמי. רעיון מעניין ונושא לענות בו בעתיד הנראה לעין.



תכונה ייחודית בכך, שבשלבם שונים התאים הנ"ל מפרישים חלב במשך תחלובה מסויימת כאשר רובם נכחדים ונפסדים בתקופת היובש; אחר כך באים במקומם תאים חדשים במשך התחלובה העוקבת. לו אפשר היה להחדיר אינפורמציה גנטית לתוך התאים האפיתליאליים בתקופת היובש, אפשר היה להקטין באופן מרשים את הזמן הנחוץ לייצור חלבונים מסוג חדש. במקרה כזה אפשר היה לשנות את האינפורמציה הגנטית בתוך העטין לפני התחלת כל תחלובה. תסריט מסוג זה נראה כגירסה אחרת של תדפיה גנטית, בה לוקחים תאים מבעל-חיים ונותנים להם תכונה גנטית חדשה ומחזירים אותם לבעל-החיים.

המאמר ממשיך ומפרט אפשרויות, כיווני מחקר וסיכויים להצליח ברמת סבירות שונה. בסיכום נאמר, שעדיין יש להתגבר על אתגרים רבים בטרם אפשר יהיה ליישם את הרעיונות והשינויים הלכה למעשה. אולם, אפילו יקח הדבר עשור שלם, השפעת השיטות החדשות על ענף החלב, ייצור ועיבוד ושיווק, תהיה עצומה.

הוצאת כולסטרול מתוך שומן החלב באמצעות CO_2 סופר-קריטי (R.L.) (Bradley, University of Wisconsin)

מחמת התדמית השלילית שנדבק לשומן מן החי, בגלל תכולת הכולסטרול שבו, ישנה חשיבות ממדרגה ראשונה לכל אמצעי המסוגל לסלק את "השד", כולו או ברובו מן השומן של החלב. מבין השיטות השונות מתקבלת הוצאת הכולסטרול מתוך השומן באמצעות

