

כיצד נוצר חלב

אם היה זו תהרה ותלד אי פעם תתחיל בלוטת החלב הזו ליצור חלב. כמו כן אפשר להביא זכר מסורס, כגון שור, לידי הפרשת חלב אם מזרי-קים לו הורמונים נקביים סינתטיים.

משך השנים האחרונות נתרצבו במידה רבה ידיעותינו בכל הקשור לתהליכים הכימיים המור-נחים ביסוד ייצור החלב; הדבר הושג בעיקר הודות למחקר עם יסודות נותבים רדיואקטיביים (איזוטופים רדיואקטיביים).

שתי שאלות עיקריות ניצבות לנגדנו בבואנו לברר את הפרטים הכימיים הקשורים בייצור החלב. האחת היא: א. מהם החמרים הנקלטים על-ידי התאים הבלוטניים מתוך מחזור הדם לשם ייצור החלב, רב. באמצעותם של אילו תהליכים כימיים הופכים חמרים אלה שנקלטו, לחמרים השונים המצויים בחלב.

כיוון שכל אחת מתרכובות החלב מקורה בתרכובות הדם, יהא הצעד הראשון להשוות את הרכבו הכימי של החלב לזה של הדם. חלבם של כל סוגי הבהמות מכיל שלוש תרכובות אור-גאניות עיקריות: שומן, סוכר חלב וחלבונים. שומן החלב הינו תערובת של מספר חמרים דר-מים הנבדלים יפה זה מזה. השומנים הנם תרכו-בות של האלכוהול, גליצרין וחומצות שומניות שונות. למרות שהכזהל הוא אותו הכזהל-גלי-צרין בכל שומני החלב, מופיעות בהם כל החומ-צות השומניות בעלות מספר זוגי של אטומי פחמן בפרודה שלהם, למן חומצת החומץ בעלת שני אטומי הפחמן ועד חומצות החלב (סטיר-רית) והשמן (אוליית) בעלות שמונה עשר אטומי פחמן בכל אחת מפרודותיהם. שומן החלב נבדל משאר שומני הגוף בכך שהוא מכיל כמור-יות גדולות יחסית של חומצות שומניות שמס-פר אטומי הפחמן שלהן הנו מתחת ל-16. כל פרודה של גליצרין מתחברת עם שלוש פרודות של חומצות שומניות. כיוון שישנן למעלה מ-10³ חומצות שומניות וכולן מתחברות עם הגליצרין באקראי, מכיל החלב מספר גדול של שומנים הנבדלים זה מזה באורח כימי.

סוכר החלב, או הלאקטוז, הינו תרכובת של

כאשר התאים הבלוטניים הזעירים, מהם מור-כב שד האשה או עטין הפרה מפרישים חלב, הרי שהם מבצעים תהליך כימי מפליא ומסובך. תאים זעירים אלה, שכל אחד מהם בפני עצמו מהווה בית חרושת לחלב, מסודרים קבוצות, קבוצות מסביב לחללים זעירים הקרויים נאדיות (אלבאולות). מצדה החיצוני נהנית כל נאדית כזו מהספקת דם על ידי צינורות נימיים. התאים הבלוטניים יוצרי החלב קולטים בלי הרף חמרים כימיים שונים מתוך הדם והופכים אותם לחמרים כימיים שונים לגמרי, המהווים את החלב; החלב הנוצר על ידי כך מופרש כל העת אל תוך חלל הנאדית. חישבו ומצאו כי כל תא כזה הנמצא בעטין העז מייצר ביממה החלק הזעיר שבזעירים של ליטר חלב ($10^{-12} \times 6$ של ליטר); אולם לעז טובה יש מספר כה רב של תאים כאלה בעטינה עד כי היא מסוגלת לייצר בכל יממה אף 8 קילו חלב.

החלב מנוקז מכל נאדית על ידי צינורית דקה; צינוריות אלו מתאחדות כמו מקורותיו של נהר גדול וסופו של החלב שהוא מגיע לב-ריכת החלב, משם יכול הוא לצאת דרך הפטמה. החלב נוצר בלי הרף, ובהפסקות שבין החליבות נאגר הוא בנאדיות, בצינוריות ובבריכת החלב. בבוא עת החליבה או ההנקה מופרש על ידי האונה האחורית של בלוטת יתרת המוח אל תוך הדם הורמון האופסיוצין. הורמון זה גורם להת-כווצותם של שרירים זעירים המקיפים את הנא-דיות ועל ידי כך נסחט מתוכן החלב. הורמון זה הוא אף שגורם להתכווצויות הרחם בעת הלידה. העטין או השד מתפתחים משך תקופת הב-גירה וההריון ומייצרים חלב לאחר הלידה לא בעקב פעולתם של עצבים אלא בעקבות השפעתם של הורמונים, המופרשים אל תוך מחזור הדם על ידי בלוטות הפרשה פנימית ומגיעים במח-זור אל סביבת העטין או השד. עובדה זו אפשר להוכיח על ידי כך שמנתחים חיה צעירה ומ-נתקים מגופה את בלוטת החלב; על ידי כך מנתקים את הקשר עם מערכת העצבים. אחר כך שותלים את הבלוטה מחדש במקום אחר בגוף.

בניגוד לדעה המקובלת, דומה ביותר בהרכבו לחלב פרות.

טבלה 1.

ריכוזי השומן, הלאקטוז והחלבון בחלב של מיני בעלי חיים שונים.

שומן %	לאקטוז %	חלבון %	
1.2	5.8	1.8	סוסה
3.3	6.8	1.3	אשה
48.5	1.3	11.2	דולפין
3.7	4.7	3.4	פרה
4.5	4.8	7.1	חתולה

עתה עלינו לדון באותן תרכובות המצויות בדם היכולות לשמש כחומר גלם לפלוטת החלב לשם יצירת השומן, הלאקטוז והחלבון של החלב. הדם מורכב מתאים לבנים ואדומים הצפים בפלאסמה נוזלית, והפלאסמה היא הנושא את החמרים הכימיים שמקורם במזון והמועברים לכל תאי הגוף. כמה מן התרכובות החשובות ביותר המצויות בפלאסמת הדם מובאות בטבלה דלהלן. מן הטבלה אפשר להיווכח שהדם מכיל שומן, ביחד עם חומצת חומץ, הידועה בתפקידה כמרכיבות שומני הגוף. כמו כן מכיל הדם גלוקוז וחלבונים; גם כל החומצות האמיניות, מהן מורכבים החלבונים מצויות בצורה חפשית, אם כי בכמויות זעירות, בדם.

טבלה 2.

הרכב פלאסמת הדם של פרה (בקירוב, ב-%)

שומן	0.4
חומצת חומץ	0.002—0.014
גלוקוז	0.06
חלבון	8
חומצות אמיניות חפשיות	0.03

מתקבל על הדעת שכל אחד ממרכיבי הדם הללו יכול לשמש כחומר גלם לייצור מרכיבי החלב. כך, למשל, יכול שומן החלב להיווצר משומן הדם, מחומצת חומץ, מגלוקוז או אף חומצות אמיניות מסוימות, המשתתפות בהר-

שני סוכרים פשוטים יותר, הגאלאקטוז וסוכר הענבים (הגלוקוז). הלאקטוז הינו תרכובת טהורה: כל אחת מפרודותיו יאמה לכל רעותיה. לאקטוז אינו מצוי בכל סוג מזון אחר פרט לחלב, ובטרם יכול הגוף לנצל לצרכיו את הגא-לאקטוז צריך הוא להפכו לגלוקוז. יש ילדים החסרים את האנזים שהופך את הגאלאקטוז לגלוקוז, ואם אין מסלקים מתפריטם את הלך-טון בעוד מועד עלולים הם למות מהרעלה בגא-לאקטוז.

החלבון העיקרי שבחלב הוא הקאזאין. החלבונים הינם בעלי פרודות ענקיות שהן למעשה שרשרות של פרודות חומצות אמיניות.

הקאזאין מכיל לפחות שלושה חלבונים נבדלים שמשקלו המולקולארי של כל אחד מהם הינו בסביבת 100,000, ולכן אפשר להסיק מכך שכל פרודה של אחד מחלבונים אלה מכילה כ-800 חוליות-פרודות של חומר צות אמיניות. אנו מניחים כי כל אחד מן החלבונים הללו הינו חומר טהור, אולם אין לנו כל מושג מהו הסדר, בו מחוברות החומצות האמיניות זו אל זו בתוך הפרודה החלבונית. למעשה האינסולין הינו החלבון היחיד כיום שמבנה פרודתו ידוע לנו לכל פרטיו; פרודת האינסולין קטנה פי עשר מזו של פרודת הקאזאין, ובכל זאת נדרשו עשר שנים של עבודת כימאים מזהירה על מנת לגלות לכל פרטיו את סדר החומצות האמיניות בתוך הפרודה. במקרה זה של האינסולין הוכח כי הנחתנו שהחלבון הינו חומר טהור וכל פרודותיו דומות במבנהו ובהרכבו הינה נכונה. ישנם בחלב מספר חלבונים נוספים אשר אפשר להפרידם מעל הקאזאין על ידי שאינם נוחים כמוהו לשקוע בסביבה חמוצה. החלב מכיל כמו כן מספר ויטאמינים ואף מינרלים. כיוון שאלה עוברים מן הדם אל החלב כמעט ללא כל שינוי כימי, לא אוסיף עוד להזכירם.

הריכוזים הממוצעים של שומן, לאקטוז וחלבון בחלבם של סוגי בעלי חיים שונים מובאים בטבלה דלהלן. מתוך הטבלה מתברר שחלבון של הדולפין הינו העשיר ביותר בשומן. חלב עזים,

האטומים הללו הנם אף בעלי משקל אטומי זהה, אולם ביניהם מצוי תמיד מספר קטן של אטומים בעלי משקל אטומי השונה. במשהו מזה הרגיל לאטומי אותו יסוד; אלה הם אטומים איזוטופיים של אותו יסוד. כך, למשל, הפחמן, שמופיע בין השאר כגראפיט, מורכב בעיקרו מאטומים בעלי משקל אטומי 12, אולם הוא מכיל אף מספר זעום של אטומים בעלי משקל אטומי 13. יתר על כן, בכורים האטומיים אשר פותחו בקשר עם ייצור הפצצה האטומית, אפשר ליצור איזוטופים אחרים של פחמן, בעלי המשקלים האטומיים 11 או 14. איזוטופים מלאכותיים אלה אינם יציבים והם מתפרקים בהדרגה והופכים לחמרים אחרים; תוך כדי התפרקותם הם פולטים קרניים שניתנות לעיקוב ומדידה על ידי מונה גייגר.

מפעלי האנרגיה האטומית מייצרים איזוטורפים בלתי יציבים כאלה וכן מזקקים הם ממקורות טבעיים את אותם האיזוטופים הטבעיים והיציבים המצויים בכמויות זעירות ביסודות שבתבע. כל האיזוטופים הללו למיניהם עומדים אחר כך לרשותו של החוקר היכול לקנותם ללא כל קושי מיוחד. כך, למשל, יכול החוקר לקנות באריום פחמתי המכיל פחמן איזוטופי רדיואקטיבי בעל המשקל האטומי 14 (פחמן 14), או אמן חנקתי שחלק גדול ממנו מסומן על ידי חנקן 15 יציב. בדרך תהליכים כימיים יכולים יסודות איזוטופיים אלה להיכלל בפרודות של תרכובות אורגאניות, ועובדה זו מגוולת במחקרים עם יסודות נותבים בבעלי חיים. כך למשל ניתן להשיג גלוקוז בעל פחמן 14; אם גלוקוז כזה יוזק אל תוך גוף החיה אפשר יהיה לגלות איזה הן התרכובות הנוצרות בגוף, בחלקן או בשלמותן, מגלוקוז, כיוון שהן תהפוכנה רדיואקטיביות ואפשר יהיה לעקוב אחריהן באמצעות מונה גייגר. מאידך, אם משתמשים בתרכובות בעלת איזוטופ יציב אפשר יהיה לגלות את תפקידה בגוף החי על ידי שמגלים אותן התרכובות שמכילות מן האיזוטופ היציב כמויות העולות על הרגיל; הגילוי נעשה באמצעות ספקטרומטר מסות, מכשיר המפריד בין פרודות (מוליקולות) חמרים בהתאם למשקלן.

ממראה ראשון מתקבל איפוא הרושם כי אין

כב חלבוני הדם. בטרם הוחל השימוש בנותבים איזוטופיים לשם חקר אופן היווצרותו של החלב היו שתי שיטות לגילוי אותם החמרים המשמשים ליצירת מרכיב חלב זה או אחר. ראשית, אפשר לקבוע את ריכוזו של החומר בדם בטרם עבר הדם דרך רקמת העטין ולאחר שעבר דרכה; אם הריכוז יורד לאחר המעבר דרך בלוטת החלב יש להניח שחלק מן החומר נספג על ידי הבלוטה. הדבר נראה כפשוט ביותר, אולם לאמיתו של דבר אין שיטה זו קלה לביצוע כיוון שהדם זורם במהירות רבה ולכן שינויי הריכוז החלים בו הגם זעירים ביותר, ובשיטות הבדיקה המקובלות קשה להבחין בהם או למדדם בדייקנות. יתר על כן, אף אם הוכח שחומר זה או אחר נספג מן הדם אל תוך הבלוטה עדיין נסתר ממנו השימוש בו ומהו החומר שבייצורו הוא משתתף.

השיטה השנייה כרוכה בהמתת חיית מעבדה מן היונקים, כגון חולדה או עכבר, הרחקת בלוטת החלב שלה ופריסתה לפרוסות דקות המוחזקות בצלחיות עם תמיסות מלח בריכוז השווה לזה של פלאסמת הדם וטמפרטורה השווה לזו של הגוף, לצלחיות אלו מוסיפים חמרים מסויימים, כגון גלוקוז או חומצת חומץ, המצויים בדם ואז מנסים לעמוד על השינויים החלים בחמרים אלה; האם, למשל, הופך החומר שהוסיפו, ללאקטוז? שיטה זו הביאה לידי מספר תגליות חשובות, אולם למעשה אין לדעת אף פעם בבטחון אם אמנם אותם השינויים המתחוללים בצלחיות מתרחשים אף בגוף החיה הבלתי מנותח.

אין ספק ששיטת המחקר באמצעות הנותבים האיזוטופיים היא היא אשר הביאה לידי התרצאות המשכנעות ביותר, ומאז החל השימוש בחמרים אלה נתגלו כמעט כל החמרים המצויים בדם, האחראים לייצורו של חומר זה או אחר המצוי בחלב. אנסה עתה להסביר ביתר פירוט כיצד נערך ניסוי עם נותבים איזוטופיים, כיוון שיתכן ורבים מבין הקוראים מתארים וודאי לעצמם כיצד משתמשים בחמרים אלה, אולם רק מעטים מהם יודעים בבירור כיצד יש לבצע את העבודה על מנת לקבל תוצאות מאלפות.

יסוד טהור (כגון חתיכת ברזל מתכתי) מורכב מאטומים בעלי תגובות כימיות זהות; מרבית

אחד שנכנס בכניסה א'. אם נציין את היחס שבין מספר האנשים המסומנים למספר אלה הבלתי מסומנים כסימון סגולי נקבל:

סימון סגולי ב'ג' = מספר הנכנסים ב'א'
סימון סגולי ב'א' = מספר כל הנכנסים ב'א' וב' כ' למשל אם אחד מכל עשרה סומן ב'א' ואחד מכל 100 ב'ג' מתקבל:

מספר הנכנסים ב'א' = 1% = $\frac{1}{100}$
מספר כל הנכנסים = 10% = $\frac{10}{100}$

אותו עקרון משמש לנו בניסויים עם יסודות נותבים; אנו קובעים את היחס הכמותי שבין אטומים מסומנים ובלתי מסומנים ואנו קוראים ליחס זה הפעילות הסגולית. במקרה של איזוטור פים רדיואקטיביים אנו עושים זאת על ידי קביעת מספר ההתפרקויות הרדיואקטיביות לדקה (שהוא יחסי למספר האטומים הרדיואקטיביים) בכמות מסוימת של יסוד זה או אחר. במקרה של איזוטופ יציב אנו קובעים את חלקו בכלל כמות היסוד באורח ישיר, על ידי ספקטרומטר המסות.

הבה נניח עתה כי ברצוננו לקבוע איזה חלק מפרודות הלאקטוז שבחלב מקורו בגלוקוז הדם. אפשר לשער שבדם מצויים שני חמרי מוצא אפשריים ללאקטוז החלב—הגלוקוז וכל שאר מיני החמרים המכילים פחמן. הלאקטוז מקורו באחד מהם, או בשניהם גם יחד והוא מופרש מן העטין דרך הפטמה. את הניסוי נבצע על ידי שנסמן חלק מסוים מגלוקוז הדם של החיה, תהא זו עז, בפחמן 14; זאת, נעשה על ידי שנזריק לדמה של החיה כמות קטנה של גלוקוז שנוצר מפחמן 14. אנו נמדוד את הפעילות הסגולית של הגלוקוז שבדם החיה וכן של הלאקטוז שבחלבה על ידי נטילת דוגמאות בזמנים קצובים לאחר ההזרקה. אם הפעילות הסגולית של גלוקוז הדם נשארת קבועה, ואם כל לאקטוז החלב נוצר מגלוקוז הדם הרי שהפעילות הסגולית של הלאקטוז תלך ותעלה עד שתשווה לזו של הגלוקוז; אם רק מחצית מן הלאקטוז מקורה בגלוקוז תגיע הפעילות הסגולית רק לכדי מחצית מזו של הגלוקוז, וכן הלאה.

דבר פשוט מקביעת זהותן של תרכובות הדם האחראיות ליצירתו של מרכיב זה או אחר של החלב. כל שמוטל עלינו הוא להזריק לגופה של הבהמה כמות קטנה של אחד ממרכיבי הדם המ"כ. ריכוז גדול של איזוטופ ולבדוק אחר כך אילו ממרכיבי החלב מכילים איזוטופ זה. אם יש ברצוננו למשל לבחון את ההנחה שסוכר החלב הגו מרכיב החלב היחיד הנוצר מגלוקוז הדם הרי שעלינו להזריק לדמה של החיה גלוקוז בעל פחמן 14 ולהיווכח אחר כך אם אמנם רק סוכר החלב הפך רדיואקטיבי בעקבות ההזרקה. אולם לאמיתו של דבר ניסוי מעין זה לא ילמדנו מאד מה, כיון ששעות מספר לאחר הזרקה הסוכר הרדיואקטיבי לדם החיה יכילו כמעט כל מרכיבי החלב כמות מסוימת של איזוטופ הרדיואקטיבי. הסיבה לכך היא שכמעט כל חומר המצוי בהם מתפרק בהתמדה ומיוצר מחדש מחמרים אחרים. עלינו איפוא לעמוד על משמעותם של ריכוזי האיזוטופ אשר יתגלו במרכיבי החלב השונים: האם כל הלאקטוז מיוצר מגלוקוז הדם או רק אחוז אחד ממנו מיוצר בדרך זו. אם משתמשים ביסודות הרדיואקטיביים הנותבים בדרך הנכונה אפשר לקבל את התשובה על השאלה הנ"ל, וה' דבר יובהר בצורה הטובה ביותר על ידי דוגמה. הבה נתאר לעצמנו מרחב סגור כל שהוא, יריד למשל, אשר אנשים נכנסים אליו ויוצאים ממנו בורם בלתי פוסק. למרחב שתי כניסות (א ו'ב) אולם יציאה אחת (ג) בלבד. נניח שבר' צוננו לגלות איזה חלק מן האנשים היוצאים דרך יציאה ג' נכנסו בפתח א'; אנו יכולים לבדוק זאת כדלהלן: אדם שיעמוד ליד פתח א' יסמן חלק מסוים של הנכנסים, נאמר עשירית, על ידי סרט צבעוני בדש הבגד. אדם אחר יספור ביציאה ג' את האנשים בעלי הסרט הצבעוני ויקבע את חלקם בכלל היוצאים. אם הוא ימצא כי אחד מכל עשרה יוצאים עונד את הסרט הצבעוני הרי שלא נוספו ליוצאים כל אנשים שהם מכניי סה ב'. אם הוא מוצא שאחד מכל עשרים עונד את הסרט הרי שמספר היוצאים נחלק שווה בין שתי הכניסות; ואם הוא מוצא רק אחד בעל סרט לכל מאה יוצאים הרי שעל כל תשעה יוצ' אים שנכנסו בכניסה ב' מגיע ליציאה רק אדם

אלן באורח כימי נמצא כי כל אטום פחמן שני בשרשרת, לסירוגין, היה רדיואקטיבי.

הם הסיקו מכאן שכל החומצות השומניות המכילות פחות מ-18 אטומי פחמן בכל פרודה נוצרות בבלוטת החלב מחומצת חומץ שנקלטת מן הדם. הם חיזקו מסקנה זו על ידי שהראו כי גם בלוטת חלב של פרה אשר הורחקה מגוף הבהמה ואשר הוזרם לתוכה דם, המכיל גם חומצת חומץ מסומנת, תיצור חומצות שומניות קצרות שרשרת בעלות פחמן מסומן. בניסויים אלה היה הגליצרול של שומן החלב כמעט משולל כל רדיואקטיביות אך כאשר הוסיפו לדם גלר קוז רדיואקטיבי הפך אף הגליצרול, המתחבר עם החומצות השומניות של החלב, רדיואקטיבי ביותר. מכאן הוסק שהגליצרול מיוצר מגלוקוז הדם. בכל הניסויים הללו כמעט ולא נמצאה כל רדיואקטיביות שהיא בחומצות השמן והחלב (או ליאית וסטיארית), שהן החומצות המרכיבות בדרך כלל את שומן הגוף של בעלי החיים ומקורן של אלו עדיין אינו ברור.

רמז למקורן של אותן חומצות ארוכות שרשרת נמצא בניסיונם של איכרים ונשותיהם. בימים, בהם מקובל היה לחבץ את החמאה במשק, ידוע היה כי קשיותה של החמאה תלויה בסוג המספוא המוגש לפרות. עובדה זו העלתה במוחם של אנשי המדע את ההשערה כי שומני המזון יכולים לעבור ללא כל שינוי בדרך מחזור הדם אל העטין ולהיכלל באורח ישיר, ללא פירוק ובנייה מחדש, בהרכב החלב, כיוון שידוע היה שישנם מזונות המכילים שומנים רכים, בעלי נקודות התכה נמוכה, וישנם כאלה שהם קשים. למעשה בוצעו ניסויים פרימיטיביים בחמרים נותבים על ידי שהגישו לפרה מזון שהכיל כמויות גדולה של חומצה אוליאית ועל כן נקודת ההתכה שלו היתה נמוכה ומצאו כי שומן החלב מן החליבה הבאה היה בעל נקודת התכה נמוכה יותר. הניחו, איפוא, כי אותם שומני החלב המכילים חומצה סטיארית ואוליאית נקלטים מן הדם באורח ישיר ללא כל שינוי, ואמנם נמצא כי כמויות שומן נקלטות מן הדם בעברו דרך העטין. בזמן האחרון הוכח, באמצעות חומצה סטיארית המסומנת בטריטיום, שהוא האיזוטופ

עוד בטרם הוכנס השימוש בנותבים איזוטופיים הוכח כי בלוטת חלב פעילה קולטת גלוקוז מן הדם וכי פרוסות של רקמת חלב מסוגלות ליצור לאקטוז בהיותן מונחות בתוך תמיסה המכילה גלוקוז. מכאן הוסק כי לאקטוז החלב נוצר מן הגלוקוז שבדם, אולם תמיד אפשר היה לטעון כי הגלוקוז נספג לבלוטה לצרכי הפקת אנרגיה ועניין יצירת הלאקטוז מגלוקוז על ידי פרוסות של בלוטת חלב אינו מוכיח עדיין כי אמנם כך הוא הדבר אף בבלוטה המחוברת אל גוף החיה. מניסוי בעזרת איזוטופים נותבים נוכחו שהיווצרותו של כל לאקטוז החלב, או כמעט כולה, הוא מגלוקוז הדם.

גם מרכיבי הדם המהווים מקור לשומן החלב נמצאו בעזרת איזוטופים נותבים. כפי שכבר הזכרתי קודם לכן מכיל שומן החלב חומצות שומן ניות קצרות שרשרת, שאינן מצויות בשומן הדם, ולכן יש להניח שהן נוצרות מחדש בבלוטת החלב. החומצות השומניות בעלות השרשרות הארוכות יותר יכולות להיווצר בבלוטת החלב, או שהן עוברות בשלמותן, באורח ישיר מדם החיה.

לפני כעשר שנים נתגלה בארצות הברית כי חומצת החומץ ממלאת תפקידים חשובים ביותר בתהליכים הכימיים המתרחשים בגוף החי ובין השאר מנוצלת היא לייצור שומנים. לחומצת החומץ שני אטומי פחמן בכל פרודה, ובכך נמצא מיד הסבר לעובדה שכמעט כל החומצות השומניות הטבעיות הנן בעלות מספר זוגי של אטומי פחמן. מספר שנים לאחר מכן מצא חוקר אחר כי דם היונקים מכיל חומצת חומץ וכי בלורית החלב קולטת כמויות גדולות של חומר זה מן הדם. עובדה זו העלתה את ההנחה שחומצת החומץ מנוצלת לייצור שומן החלב, אולם אפשר היה לטעון כי חומצת החומץ נקלטת רק לצרכי ייצור אנרגיה בבלוטה.

או נערך הניסוי בו הוזיקו לדמה של עז חומצת חומץ שאחד מאטומי הפחמן שלה היה פחמן 14 רדיואקטיבי. נמצא כי כל חומצות השומן קצרות השרשרת שבחלב הפכו רדיואקטיביות בעוד שלא כן היה הדבר לגבי ארוכות השרשרת. כאשר פורקו חומצות קצרות שרשרת

הריאקציות המביאות לידי הפיכתם של מרכיבי הדם למרכיבי החלב? התשובה היא: מעט מז' עיר. ידוע לנו שהן הגאלאקטוז והן הגלוקוז הדרושים ליצירת הללקטוז של החלב מקורם בגלוקוז הדם אולם כיצד הופך הגלוקוז לגאלאקטוז וכיצד מתחברות פרודות של שני החמרים על מנת ליצור פרודה אחת של ללקטוז? על כך יודעים אנו מעט מאוד. ושוב, יודעים אנו כי חומצת החומץ משמשת כאבן בניין לחומצות השומניות שבשומן החלב אולם כיצד מבוצע תהליך ייצור זה, לא ידוע לנו. אמנם יכולים אנו להניח שאין תהליכים אלה שונים ביסודם מתהליכי יצירת החומצות השומניות בחלקי גוף אחרים, תהליכים שנתלבנו בעת האחרונה. הדרך בה נבנים חלבונים החלב מחומצות אמיניות אינה ידועה, ולמעשה דרך יצירת החלבונים בכללה הנה עדיין אחת הבעיות העיקריות והמסובכות ביותר של מדע הביוכימיה.

ולבסוף מספר מלים בדבר ערכם המעשי של כל המחקרים הללו. מה התועלת שבעבודתך? האם היא תוליך להשגת תובנות גבוהות יותר של חלב עשיר יותר? שאלות כאלו מופנות אלי תדיר. כיוון שהוצאות המחקר שלי משתלמות על ידי מועצת המחקר החקלאי מכיסו של משלם המסים, עלי להצדיק את עצמי ואת עבודתי, וסבורני שאני יכול לעשות זאת. למרות שמח' קרי, וכן עבודות דומות הנעשות על ידי אחרים, אינם מכוונים להשגת תועלת מעשית מיידית, הרגשתנו הרגשת החוקרים היא — כי ככל שניי טיב להבין את אורח פעולתו של העטין כן נדע טוב יותר לנצלו לטובתנו.

ולהלן דוגמה המעידה על התועלת הבלתי צפויה שמופקת ממחקר טהור ביסודות נותבים. אחת התקלות החמורות במשק החלב היא הירידה הגדולה בריכוז השומן שבחלבן של פרות הניי זונות במרעה אביכי רך או בכמויות גדולות של מזון מרוכז ללא תוספת נאותה של מספוא גס; הירידה באחוז השומן יכולה להגיע אף אל מתחת לתקן הדרוש לפי החוק. הסיבה לכך לא היתה ידועה עד שגילו שני חוקרים כי חלק ניכר משומן החלב נוצר מחומצת החומץ שבדם. חוקר אחר מצא כי הירידה בריכוז שומן החלב אצל

הרדיואקטיבי של מימן, כי חומצה כזו הנמצאת במזון עוברת ללא שינוי אל חלב החיה. בסיכום אפשר לומר איפוא, כי חומצות השומן קצרות השרשרת שבחלב נוצרות מחומצת חומץ בעטין עצמו, הגליצרוֹל שבשומן החלב מקורו בגלוקוז הדם בעוד ששאר שומן החלב עובר אל החלב באורח ישיר מן הדם.

עדיין נותר לנו לדון במקורו של חלבון החלב. אם נשווה את הרכב החלב לזה של הדם נמצא כי כל חלבוני החלב יכולים להיווצר בעטין על ידי שיחלוף ואירגון מחדש של החומצות האמיניות המרכיבות את חלבוני פלאסמת הדם; או שהם יכולים להיווצר בעטין מחומצות אמיניי יות בודדות הנקלטות מן הדם כמות שהן או אף מחומצות אמיניות הנוצרות בעטין מחמרים אחרים. ושוב, תמונה מטושטשת למדי של מקור חלבוני החלב נתבהרה בתכלית באמצעותם של מספר ניסויים נותבים. בדיקות של הרכב הדם הנכנס אל העטין והיוצא ממנו העלו כי בלוטת חלב פעילה נוטלת מן הדם חומצות אמיניות חפשיות, אולם יחד עם זאת תובחנו אף שינויים בלתי ברורים בהרכב חלבוני פלאסמת הדם. המסקנה היתה שחלבוני החלב נוצרים הן מחומצות אמיניות חפשיות שבדם והן מחלבוני פלאסמת הדם.

הניסויים נערכו בארנבות ובעזים עם חומצות אמיניות המסומנות בפחמן 14 ובחנקן 15. כל החוקרים העוסקים בשטח זה תמימי דעים כי הקאזאין, וכן עיקר החלבונים המצויים בגבן, נוצרים מחומצות חפשיות שנקלטו על ידי העטין מתוך הדם, וכי לחלבוני פלאסמת הדם אין כל חלק בתהליך זה. עובדה זו מבהירה נקודה מסויימת לגבי יצירת החלבונים בגוף; אם עומדים לרשות התא החי חומצות אמיניות מצד אחד וחלבונים מוגמרים מצד שני לצרכי יצירת חלבונים חדשים, הרי שהוא מנצל לצורך זה רק את החומצות האמיניות החפשיות ואינו משלב במבנה החלבונים החדשים קטעי פרודות חלבוניות מחלבונים הקיימים.

הודות לנותבים האיווטופיים מכירים אנו כיום את מרכיבי הדם המשמשים כאבני יסוד לתור' כובות המצויות בחלב. מה ידוע לנו בדבר פרטי

החלב יכולים איפוא להיות בעלי ערך מעשי, אולם הכוח המניע אתי ואת החוקרים האחרים לעסוק בשטח מחקר זה אינו התועלת המעשית הצפויה מתוצאותיהם אלא הקסם שבמחקר עצמו. אנו מוצאים עצמנו בעולם בו גוף החיה, והאדם בכלל זה, פועלים לא בכוח פלאים אלא על ידי תהליכים עדינים ומסובכים ביותר אשר כיום מובן לנו רק אפס קצהם. אם נצא לחקור מנגנון החיים מובטח לנו שנגלה מרחבים נהדרים ומפיי תיעים לא פחות מאלה שנתגלו על ידי קולומבוס או מרקו פולו.

ג. מ. מרי

תרגום מקוצר מתוך New Biology 24
שיצא לאור באוקטובר 1957.

פרות המקבלות מנות זעומות של מספוא גם יכולה להיגרם על ידי כך שבכרס הפרות נוצרת כמות קטנה יותר של חומצת חומץ בעקבות העיכול החלקי של המספוא על ידי חיידקי הכרס ועל כן כמויות קטנות יותר של חומצה זו עומדות לרשות העטין. ניסויים העלו כי הנחה זו נכונה וכי על ידי הוספת נתרן חומצי למזון אפשר להחזיר את שומן החלב לרמתו הקודמת. כך אפשר למעשה למנוע ירידה זו באחוז השור מן על ידי הגשת תחליפים שונים שיימצאו כמוכשרים לקיום רמת הייצור הרגילה של חומצת החומץ בכרס, וכבר ניגשו החוקרים לעיבוד הצעות מעשיות בשטח זה. ניסויים המיועדים לגילוי דרך היווצרותו של

זוטות

- כל טון של זבל מספק חמרי הדשן דלהלן: 4.5 ק"ג חנקן, 2.25 ק"ג זרחן ו-4.5 ק"ג אשלגן.
- בארבעת החודשים הראשונים של התחלובה (לאקטאציה) מניבות הפרות כ-50% של התנובה הנורמאלית, המתקבלת מתקופת חליבה בת 10 חדשים.
- לתשומת לב המנהלים של מחסני האספקה! העכברים מתרבים במהירות עצומה, ומתקבל על הדעת שמוזג אחד של עכברים יכולה לקום אוכלוסיה בת 400 מיליון בשלוש שנים בלבד.
- מניעת כל האבידות בבהמת הבית בארה"ב היתה יכולה להגדיל את הכנסות החקלאים ב-2,209,000,000 דולר בשנה.
- אילו שתה כל אדם בארה"ב 60 גרם חלב ביום יותר משהוא שותה כיום, היה מתהווה מחסור בחלב במקום העודפים שמצויים כיום. התוצאה היתה יכולה להיות: הכנסה גדולה יותר לחקלאים וחסכון בסובסידיות ע"י מוסדות הממשלה.
- הקפדה על חליבה תקינה הפחיתה כדי מחצית את מקרי ההידבקות במאסטיטיס ב-468 עדרי חלב שבמדינת אילינוי (ארה"ב).
- כמחצית שטח האדמה של ארה"ב משמש לייצור מוצרי בעלי החיים.
- ארצות-הברית הפכה לאקספורטר הכי חשוב בעולם לתוצרת חקלאית. ב-1957 היווה חלקה של אמריקה בייצוא החקלאי העולמי כ-22% מכלל הייצוא. תנובת 240 מיליון דונם של אדמה חקלאית (כחמישית מכל השטח) משווקת חוצה לארץ.
- תכשיר אנטיספטי מונע צמיחתם של מיקרואורגניזמים; תכשיר חיטוי משמיד אותם.
- בעדר החלב של אוניברסיטת קולוראדו עורכים ניסויים בתכשירי הרגעה לפרות. ה"סמים המרגיעים" הללו משקטים את הפרות העצבניות ומתקנים את "מצב-רוחן". פעולת הזריקה מורגשת כעבור 20-30 דקות, ודי במנה אחת ל-24 שעות. הניסויים טרם נסתיימו ולכן אין ממליצים עדיין על השימוש בתכשירים אלה בשדה.
- בשנת 1910 היה אחוז האוכלוסיה הכפרית בארה"ב 34.9, וב-1957 אין האחוז עולה על 12.