

הכימיה של החלב

משתתפי הסדנה להכשרת מורים מובילים בכימיה*
ערכו: שרית שמאי ועל שורץ

מבוא

חלב הוא נוזל הנוצר בבלוטות החלב של נקבות היונקים ומיועד להזנת הוולדות. בימים הראשונים לאחר הלידה אין לנקבה עדיין חלב, והנוזל המופרש מהפטמות הוא "קולוסטרום". זהו נוזל מרוכז מאוד בצבע צהבהב. הקולוסטרום מכיל כמות עצומה של תאי דם לבנים ונוגדנים המספקים הגנה לתינוק מפני זיהומים. החלב נוצר מספר ימים לאחר מכן. האדם הוא בעל החיים היחיד הצורך חלב לאחר הינקות ומשתמש בחלב של בעלי חיים אחרים לשם כך.

היסטוריה של החלב

התיעוד הראשון של צריכת חלב בעלי חיים בידי אדם הוא משנת 3,000 לפני הספירה מפסיפס שנמצא באזור נהר הפרת. החלב מוזכר לא מעט פעמים בתנ"ך. פגשנו את החלב בסיפור אברהם ושלושת המלאכים:

"ויקח חמאה וחלב ובן הבקר אשר עשה ויתן לפנייהם והוא עמד עליהם תחת העץ ויאכלו" (בראשית יח' 8). וכמובן בסיפור יעל וטיסרא: "מים שאל חלב נתנה, בספל אדירים הקריבה חמאה" (שופטים ה' 25)

הביטוי המתאר את הארץ המובטחת כ"ארץ זבת חלב ודבש" חוזר מספר רב של פעמים.

הרכב החלב

החלב מכיל שומנים, חלבונים, סוכרים, ויטמינים ומינרלים.

הכמות היחסית של כל מרכיב משתנה בחלב של יונקים שונים בהתאם לצורכי הצאצא. חלב אם (אישה), למשל, רזה יחסית ועשיר בלקטוז - הסוכר העיקרי שנמצא בו. לעומת זאת, חלב פרה מתאפיין ברמה נמוכה יותר של סוכרים, מכיל כ-3.5% שומן ורמה גבוהה של חלבונים, על מנת לאפשר לוולד לגדול במהירות (העגל מכפיל את משקלו במהלך 50 הימים הראשונים שלאחר הלידה). החלב של נקבות כלבי הים מכיל אחוז גבוה של שומן (45%). כך יוכל הוולד לפתח במהירות שכבת שומן עבה הדרושה לו כאמצעי בידוד.

מאחר שחלב פרה הוא מרכיב עיקרי בתזונתם של רבים מאתנו לאחר הגמילה מחלב-אם, נביא כאן את הרכב חלב הפרה בישראל:

● **חלבון:** 3.0%-3.6% (80% מכמות זו הם החלבון קזאין).

● **שומן:** 3.0%-3.5%

● **פחמימות:** 4.8%-5.0%

● **מינרלים:** 0.6%-0.7%

● **מים:** 87%-89%

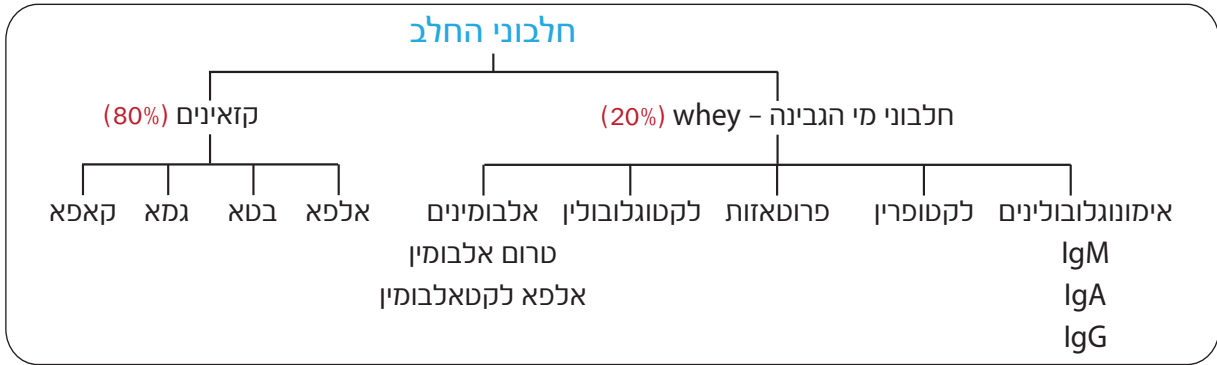
- **ערך קלורי:** 60-70 קק"ל / 100 גרם.

- **סה"כ מוצקי חלב כ- 8.5%**

חלבונים בחלב

החלב מכיל תערובת הטרוגנית של חלבונים, אנזימים, פפטידים וכמות קטנה של מולקולות חנקניות שאינן חלבון.

* נכתב במסגרת הסדנה להכשרת מורים מובילים לכימיה, בהנחיית ד"ר יעל שורץ וד"ר דבורה קצביץ, על ידי המורים: אגבאריה ג'ואד, אגבאריה עיסאם, ברקוביץ שרילי, גולובצ'יק רוזה, ולדמן רות, זולצובר דינה, ד"ר כנעאני יאסין, לידרמן סופי, סטולר נחום, שולמן גליה ושמאי שרית



איור 1: הרכב חלבוני החלב

ממי הגבינה מייצרים תוספי חלבון לסוגי מזון רבים.

מרכיבים	מי גבינה מתוקים ב-%	מי גבינה חמוצים ב-%
סך הכל מוצקים	6.35	6.5
מים	93.7	93.5
שומנים	0.5	0.04
חלבונים	0.8	0.75
לקטוז	4.85	4.9
מינרלים	0.5	0.8
חומצה לקטית	0.05	0.4

טבלה 1: הרכב אופייני של מי גבינה באחוזים

מדדים שונים לסיווג ערך החלבון

- ניקוד כימי - Chemical Score
- ערך ביולוגי - Biological Value
- יחס יעילות חלבוני - Protein Efficiency Ratio
- עיכול חלבון ויחס חומצות אמינו מתוקן - Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score

המדד הנפוץ ביותר הוא הערך הביולוגי של החלבון - BV. ככל שערך זה גבוה יותר, כך החלבון זמין יותר לספיגה בגוף. הערך הגבוה ביותר הוא של חלבון הביצה (אלבומין), והוא שווה ל-100. ערך החלבון במי הגבינה קרוב ל-100. גם ההרכב הכימי של החלבונים במי הגבינה דומה ביותר לחלבון הביצה. החלבונים של מי הגבינה שייכים לחלבונים השלמים - המכילים את כל תשע החומצות האמיניות שכמות מספקת מהן חיונית לשמירת

מי גבינה

מי גבינה הם תמיסה מימית שנפרדת מהגבן בתהליכי הייצור של גבינות ושל קזאין. מי הגבינה מכילים כ-50% מהחומרים המזינים שבחלב: חלבון מסיס, לקטוז, ויטמינים ומינרלים.

קיימים מי גבינה מתוקים ומי גבינה חמוצים. מי הגבינה המתוקים נוצרים בתהליכי ייצור גבינות שונות בעזרת תערובת אנזימי הגבנה המכונה רנט. התערובת מכילה את האנזימים רנין (לעיתים גם פפסין) וכימוסין. למי הגבינה pH בטווח 5.9-6.3. מי הגבינה החמוצים מתקבלים בתהליך ייצור הקזאין בעזרת חומצה, והם בעלי pH בטווח 4.3-4.6.

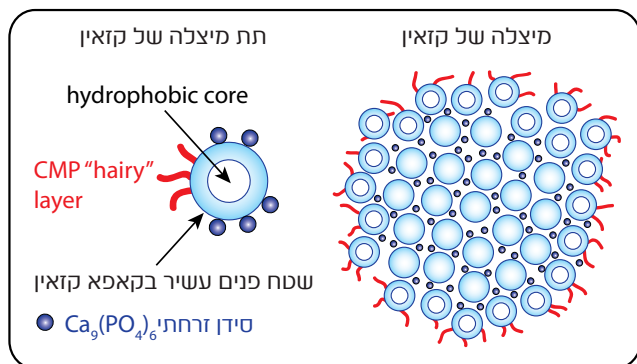
ההבדלים המשמעותיים בין שני סוגי מי הגבינה הם בהרכב השומנים ובהרכב החומצה הלקטית.

בתהליך התסיסה הלקטית (על ידי חיידקים כדוגמת: *Lactococcus-lactobacillus*, *Streptococcus*, *Leuconostoc*) נוצרת חומצה לקטית (חומצת חלב) וה-pH של התמיסה יורד. בתנאי pH נמוכים רוב החיידקים אינם מתקיימים, ולכן התוצרים, כדוגמת יוגורט, עמידים יותר. מסיסות השומנים בסביבה ניטרלית גבוהה ממסיסות השומנים בסביבה חומצית.



אסטרי לשייר של חומצה אמינית סרין. קישור של הסידן על ידי הקזאין הוא פרופורציונלי לתכולת הפוספט בחלבון. קונפורמציה של הקזאינים דומה לחלבונים גלובולריים שעברו דנטורציה. המספר הגבוה של שיירי פרולין (המכיל טבעת מחומשת) בשרשרת החלבון מגביל את הקיפול של החלבון ומונע במידה מסוימת התארגנות במבנה שניוני. לקזאינים אין מבנה שלישוני. אין בקזאין קשרי דו-גפריית. שלושת הסוגים הראשונים של הקזאינים הם הידרופוביים וריכוז נמוך של יוני סידן גורם לשקיעה שלהם, ואילו חלבוני הקאפא-קזאין הם אמפיפטיים (בעלי חלקים הידרופיליים וחלקים הידרופוביים) ועמידים לשקיעה בנוכחות יוני סידן (כל הקזאינים שוקעים ב-pH=4.6).

ההתארגנות המרחבית של הקזאינים בחלב היא במיצלה כדורית - שמורכבת מכ-31% חלבון, 2% מינרלים ו-66% מים. החלבונים הידרופוביים נמצאים במרכז המיצלה, בעוד הקאפא-קזאינים נמצאים על פני השטח של המיצלה ומייצבים אותה מבחינה אנרגטית. מטרתה הטבעית של מיצלת הקזאין היא להעביר מהאם לתינוק - סידן, חלבון ופוספאט החיוניים לבניית הגוף. זהו למעשה כלי הובלה של חומרים מזינים. הקזאין הוא חלבון מלא ואיכותי. הוא זה שמספק לגוף את כל חומצות האמינו הדרושות לו, כולל תשע חומצות האמינו שבני



איור 2: מיצלה של קזאין

האדם אינם מסוגלים לייצר לבדם. אנשים העוסקים בפיתוח גוף צורכים קזאין כמקור לחומצות אמינו המעוכל באטיות.

הסבר התרשים

א. תת-מיצלות (עיגולים) - לפי מודל זה 10 עד 100 מולקולות קזאין נמצאות ביחד במבנה הקרוי תת-מיצלות. יש להן אזור

החיים. מעניין לציין כי חלב פרה אינו נחשב חלבון שלם מכיוון שהוא מכיל את החומצה האמינית מתיונין, חומצה אמינית מגבילה, בריכוז נמוך שאינו מספק את כל צרכי התזונתיים של האדם. חומצה זו מצויה בכמות מגבילה גם בסויה. חומצת האמינו מתיונין חשובה כמקור לגפריית השומרת על השיער, העור והציפורניים. הגפריית מורידה את רמת הכולסטרול על ידי הגדלת ייצור לציטין בכבד והקטנת השומן בכבד. כמו כן לגפריית תפקיד בוויסות תהליכי ההפרשה בכליה ובבלוטת השתן.

ניתן לסכם כי בשל ערך החלבון הגבוה תוספי חלבון המיוצרים ממי הגבינה הם בעל יתרונות תזונתיים רבים על פני החלב עצמו ועל פני חלבון הסויה. תוספי החלבון האלו מוכנסים לסוגי מזון רבים ומשמשים מרכיב עיקרי בתוספי מזון לספורטאים המעוניינים בבנייה מהירה של שרירים.

קזאין

הקזאין הוא החלבון העיקרי בחלב. ניתן לראות בטבלה 2 המפרטת את הרכב חלבוני החלב, כי הקזאין מהווה כ-80% מסך חלבוני החלב.

סוג החלבון	הרכב
קזאינים	
אלפא 1 קזאין	32
אלפא 2 קזאין	8
בטא קזאין	32
קאפא קזאין	8
	80
חלבוני גבינה	
בטא לקטוגלובולין	12
בטא לקטאלבומין	4
אימונוגלובולינים	3
סרום אלבומין	1
	20

טבלה 2: הרכב חלבוני החלב

קזאין הוא שמה של תערובת של ארבעה סוגי חלבונים (אלפא 1, אלפא 2, בטא וקאפא-קזאינים). כל סוגי הקזאינים הם חלבונים שאליהם צמודה קבוצה פוספאטית, הקשורה בקשר



38.3–39.4 °C, והחלב צריך להיות נוזלי בטמפרטורה הזאת.

התגבשות של שומני החלב קובעת את היציבות הפיזיקלית של הגלובולות השומניות ואת הצפיפות של מוצרי חלב בעלי אחוז שומן גבוה. שומנים הנמצאים במצב נוזלי בטמפרטורת הגוף מתעכלים ביעילות גבוהה. מכיוון שנקודת ההתכה של שומן החלב היא בטמפרטורה נמוכה מזו של טמפרטורת הגוף, השומן מתעכל ביעילות רבה מאוד. אורך השרשרות של חומצות השומן בחלב נע בין החומצה הבוטירית (4:0) ועד חומצות שומן ארוכות-השרשרת המכילות 26 פחמנים. בסך הכול זהו בחלב למעלה מ-400 חומצות שומן המופיעות כטריגליצרידים. 62% מחומצות השומן שבחלב הן חומצות שומן רוויות, 30% חד-בלתי-רוויות, 4% רב-בלתי-רוויות ועוד 4% חומצות שומן אחרות. שומן החלב הוא ייחודי מבין שומנים אחרים בעולם החי, מכיוון שהוא מכיל כמות גדולה באופן יחסי של חומצות שומן רוויות קצרות שרשרת, ושל חומצות שומן רוויות באורך בינוני. רק כ-10% מחומצות שומן שבחלב הן חומצות שומן רוויות ארוכות שרשרת. קיימת שונות בין חומצות השומן הרוויות השונות בהשפעה על רמות שומני הדם. חומצות שומן רוויות בינוניות וארוכות שרשרת מעלות את רמות הכולסטרול הכללי ואת ה-LDL, למעט חומצה סטארית (המהווה כ-10% משומן החלב). לעומת זאת, חומצות שומן רוויות קצרות שרשרת (כמו בוטירית, קפרואית וקפירילית) אינן משפיעות על רמת הליפופרוטאינים בדם.

בריאות האדם מושפעת מהיחס שבין אומגה-3 לבין אומגה-6. תזונת האדם המערבית גרמה לשינוי היחס בין אומגה-3 לבין אומגה-6 לטובת האחרון. בתפריטים של מרבית הארצות בעולם המערבי היחס עומד על 1:10, ובאזורים מסוימים אף 1:30 לטובת אומגה-6. על פי המלצות רפואיות יש לשאוף להוריד נתון זה ליחס הנמוך מ-1:4. המבנה המולקולרי הדומה של החומצות מאפשר להן להחליף זו את זו. גופנו משתמש באומגה-6 לתפקיד השמור לאומגה-3 בקרום התאים, וכך נגרמות תופעות בריאותיות שליליות כגון: בעיות בתפקוד הלב, עלייה בשקיעת שומנים בעורקים, היחלשות של יכולת הריכוז.

פנימי הידרופובי ואזור חימוני הידרופילי. קיימים שני סוגים של תת-מיצלות: 1. עם קאפא קזאין (בצירור עם עיגול פנימי). 2. ללא קאפא קזאין (בצירור ללא עיגול פנימי). על פני השטח מסתדרות התת-מיצלות שמכילות קאפא קזאין.

ג. השערות בצבע ורוד בצירור, עשויות מחלבון הקאפא קזאין ומחלקק ההידרופילי שקרוי CMP (Caseino Macro Peptide).

ג. הנקודות הכחולות - סידן זרחתי משמש כדבק בין התת-מיצלות. הקאפא-קזאין מורכב מ-169 חומצות אמינו ועל ידי הסרה של החלק ה-169-106 שלו בעזרת אנזים הגבנה, נגרם חוסר יציבות אנרגטי שמוביל להגבנה וליצירת הקריש. עוד על הקזאין תוכלו לקרוא בפסקה על עיבוד מוצרי החלב.

שומנים בחלב

שומן החלב אחראי לתכונות רבות של מוצרי חלב כגון מראה, מרקם וטעם. הוא מקור לאנרגיה, לכולסטרול, לחומצות שומן הכרחיות, לויטמינים מסיסים בשומן ולמרכיבים חיוניים נוספים המסיסים בשומן (פוספוליפידים, חומצות שומן ייחודיות). שומן החלב נמצא בכדוריות מיקרוסקופיות כאמולסיה בתוך נוזל החלב המורכב ממים.

נקודת ההתכה של שומן מושפעת מאורך השרשרת וממידת הרוויה של חומצות השומן. ככל שחומצות השומן קצרות יותר, וככל שהן רוויות פחות, יימצא השומן במצב נוזלי בטמפרטורה נמוכה יותר.

נקודת הקיפאון בחלב נקבעת לפי ריכוז המומסים ומשמשת בעיקר כדי לקבוע אם הוספו מים לחלב. ככל שכמות המומסים בחלב עולה כך יורדת נקודת הקיפאון. לפיכך עליה בנקודת הקיפאון מעבר לטווח של מינוס 0.52-0.56 מעלות צלזיוס מצביעה על מהילת החלב במים. בטמפרטורת החדר השומנים הם מוצקים, לכן נכון להתייחס אליהם כאל שומן ולא כאל שומן (שהוא נוזלי בטמפ' החדר). נקודת ההתכה של הטריגליצרידים נעה מ-75°C (tributyric glycerol) ועד ל-72°C (tristearin).

נקודת ההתכה הסופית של שומני החלב היא 37 מעלות מכיוון שהטריגליצרידים הם בעלי נקודת ההתכה הגבוהה ביותר מבין אלה המומסים בשומן הנוזלי. נקודת ההתכה הזו היא משמעותית מכיוון שטמפרטורת הגוף של הפרה היא

אפשר למצוא אותו בחלב של משפחות היונקים. הלקטוז מגביר את ספיגת הברזל והסידן בגוף, הוא חיוני להתפתחות מערכת העצבים ולהתפתחות מוח התינוק.

מבחינה כימית הלקטוז הוא דו-סוכר המורכב מהסוכרים גלוקוז וגלקטוז הקשורים ביניהם בקשר גליקוזידי בטא 4-1.

בתהליך העיכול במעי הדק הלקטוז עובר הידרוליזה על ידי האנזים לקטאז. הידרוליזה הוא תהליך שבו מפורק הקשר הגליקוזידי ונוצרים 2 חדי-סוכר: גלוקוז וגלקטוז. עיכול לקוי של לקטוז עלול לנבוע מ-2 בעיות:

- **חסר מולד** - מאופיין בחוסר מוחלט של לקטאז. התסמינים כוללים שלשול כבד, התייבשות ותת-תזונה, והם מופיעים כבר בשבוע הראשון לחיים. הטיפול הוא כמובן בהימנעות ממוצרי חלב לכל החיים.

- **חסר נרכש** - נפוץ יותר ושכיח מאוד בקרב 30%-50% מהאוכלוסייה.

הפרשה מועטה מדי של האנזים לקטאז גורמת לכך שחלק מהלקטוז הנצרך אינו מתפרק. דבר זה יגרום לעלייה בלחץ האוסמוטי בחלל המעי שיגרור אחריו עלייה בכמות מים במעי. תכולת מים הגדולה פי שלושה מהרגיל מהווה גירוי לפריסטולטיקה של המעי וגורמת לשלשולים. הלקטוז שלא פורק במעי הדק עובר למעי הגס. במעי הגס הוא מנוצל על ידי חיידקי המעי והופך לחומצות שומן קצרות (וכך, למרות שאינו נספג במעי הדק, יוצל הלקטוז להפקת אנרגיה) ולמימן.

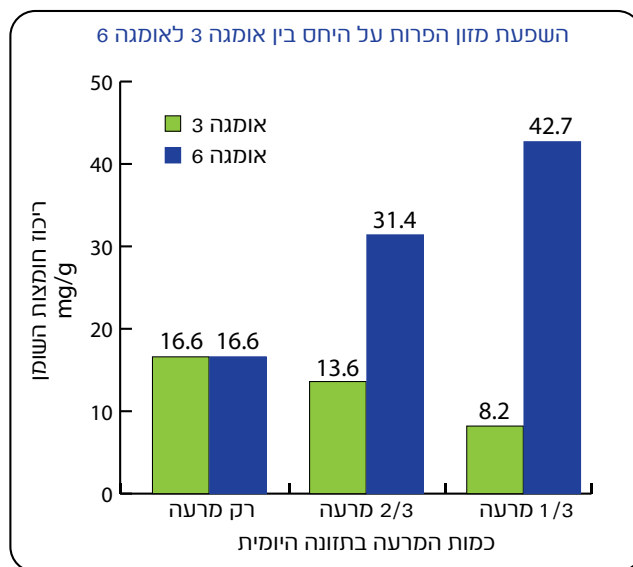
בסופו של דבר אי סבילות לקטוז תבוא לידי ביטוי בתסמינים הקליניים הבאים: שלשולים, גזים, נפיחות, כאבי בטן. האבחון הספציפי לאי-סבילות לקטוז מתבצע על ידי תבחין מימן בנשימה הנוצר כתוצאה מההתססה החיידקית. מובן שאפשר לנסות לאבחן את הבעיה גם על ידי ניסוי וטעיה. מומלץ להפסיק את צריכתם של כל מוצרי החלב ולראות אם הסימפטומים נעלמים ואם הם חוזרים להופיע כאשר מתחדשת צריכת מוצרי החלב.

ויטמינים ומינרלים בחלב

חלב מכיל את כל הויטמינים, גם את אלו המסיסים בשומן וגם את הוויטמינים המסיסים במים. חלקם מופיעים בכמויות

חומצות שומן טרנס - בחלב פרה מצויות 2 חומצות שומן טרנס ממקור טבעי (Conjugated linoleic acid & Vaccenic acid). ממחקרים עולה כי נוכחותן של חומצות אלו מועילה להורדת כולסטרול ולעמידות בפני סוגים שונים של סרטן.

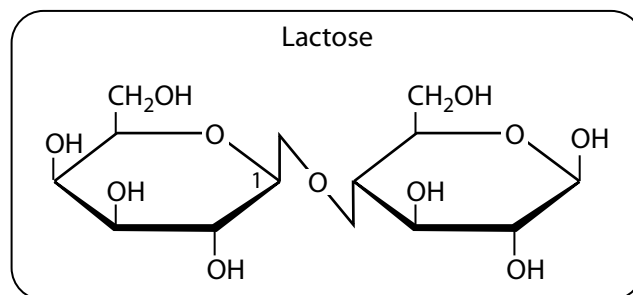
חומצות אומגה 3 ו-6 - נמצאות בשמנים נפוצים כגון שמן תירס, שמן חמניות, שמן סויה, ביצים, אגוזים ועוד. אומגה 3 נמצאת במוצרים מהחי, בעיקר בדגי מים עמוקים, בחלב (בכמות מועטה) וגם בשמן גרעיני שיפון. כאמור, אף שניתן למצוא אומגה 3 במזונות מהחי, הרי בחלב מפורת שרעו במרעה יחס חומצות השומן 3-6 זהה, לעומת החלב מפורת המזונות בתערובת שבה כמות האומגה 6 גדולה משמעותית. (ראה מסגרת בעמוד קודם)



תכולת אומגה 3 ואומגה 6 בחלב של פרות המזונות באופן שונה

סוכרים בחלב ואי-סבילות ללקטוז

לקטוז הוא סוכר החלב האחראי לטעמו המתוק של החלב.





לחלב פרה.

מינרלים: מינרלים: ניכר כי חלב כבשים עשיר יותר בסידן אך אין הבדלים משמעותיים בין חלב פרה לחלב עיזים. חשוב לציין כי קיימים מינרליים וויטמינים המצויים בחלב פרה בכמות גדולה יותר מאשר בחלב עיזים, למשל: ויטמין B12 מצוי בכמות הגדולה פי 5 בחלב פרה מאשר בחלב עיזים, כך שהקביעה מי טוב יותר איננה חד משמעית.

טבלה 3: השוואה בתכולת הוויטמינים בסוגי חלב שונים

פרה	עיזים	כבשים	$\mu/100g$
52	44	83	ויטמין A
<0.21	<0.1	0.2	בטא קרוטן
0.03	0.12	0.18	ויטמין D
90	30	120	ויטמין E
1500	1100	4700	ויטמין C
40	41	85	תיאמין (B1)
180	138	330	ריבופלבין
50	63	83	ויטמין B6
0.4	0.08	0.6	ויטמין B12
80	328	428	חומצה ניקוטינית (B3)
50	415	464	חומצה פוטוטנית (B5)
3.0	3.1	2.6	ביוטין (B8)
0.5	0.6	5.6	חומצה פולית

טבלה 4: השוואה בתכולת המינרלים של סוגי חלב שונים

פרה	עיזים	כבשים	mg/liter
1200	1340	1900	יוני סידן
900	1100	1580	פוספאט
500	500	440	יוני נתרן
130	140	180	יוני מגנזיום
4	3	5	יוני אבץ

גדולות המהוות מקור משמעותי בתזונה, וחלקם בכמויות קטנות ולא משמעותיות.

בתהליך פסטור החלב נהרסים כעשרה אחוזים של הויטמין B1 והתיאמין. המינרלים העיקריים שבחלב הם סידן וזרחן. הוא מכיל גם יוני כלור, מגנזיום, אשלגן, נתרן, גפרית ולמעלה מ-100 יסודות קורט (כל היסודות למעט בריום, טיטניום וליתיום). תכולת המינרלים שבחלב משתנה בהתאם לגנטיקה, לסביבה, לתזונה ולתקופת ההנקה של הפרה.

החלב מהווה את אחד המקורות העיקריים לסידן בתזונה. מעבר לתרומתו לתקינות השלד, צריכה נאותה של סידן חיונית למניעת יתר לחץ-דם, והיא כנראה בעלת תפקיד במניעת סרטן.

20% מהסידן שבחלב קשורים לקזאין, והשאר מצויים כמינרל חופשי. הסידן הקשור לקזאין משתחרר בתהליך העיכול ושיעור הספיגה שלו מגיע ל-25%-35%.

מה ההבדל בין חלב פרה לחלב צאן (עזים וכבשים)?

יש הטוענים כי חלב מצאן - עזים או כבשים - בריא יותר לתזונתנו מחלב פרה. האם יש אמת בטענה זו? על מנת לענות על סוגיה זו נבחן את ההרכב הכימי של סוגי החלב השונים. כל סוגי החלב מכילים חומצות אמינו ליצירת חלבון, שפע ויטמינים ומינרלים. ראשית, מעניין לציין כי חלב עזים הכי קרוב בהרכבו לחלב אם, אף שהוא שמן מעט יותר מחלב פרה. חלב כבשים שמן כמעט פי שניים מחלב פרה, ומייצרים ממנו גבינות רוקפור, גליל ופטה. גם חלב הבאפלו נחשב שמן יותר, פי שניים מחלב פרה (מכילים ממנו את גבינת המוצרלה המפורסמת). גודל כדוריות השומן בחלב העזים זהה לזה של חלב פרות, אך מספרן קטן יותר, מרכיביהן שונים והכדוריות מפוזרות יותר. עובדה זו תורמת לעיכול המהיר ולפירוק של חלב עזים במערכת העיכול.

מבחינה תעשייתית כדוריות השומן בחלב עזים אינו מתלכדות ואינן צפות כפי שקורה לכדוריות בחלב פרה. התלכדות זו חיונית לייצור מוצרי שמנת, ולפיכך חלב עזים אינו מומלץ לשימוש במוצרים המצריכים ליבה קצפתית.

ויטמינים: בחלב כבשים יש כמויות משמעותיות יותר מרוב הויטמינים. כך למשל, ריכוז ויטמין C גבוה פי 3 מחלב פרה. חלב בופאלו עשיר בויטמין A ו-D, וגם בו ריכוז ויטמין גבוה פי 3 מחלב פרה. חלב עזים עשיר בויטמינים B3 ו B5 יחסית

טבלה 5: הבדלים בהרכב חומצות השומן בין סוגי חלב שונים

חומצות שומן*				
חלב אם	פרה	עיזים	כבשים	
0.25	3.61	3.63	3.17	C4:0
0.25	1.97	2.51	2.22	C6:0
0.25	1.31	2.79	2.22	C8:0
1.27	2.62	7.26	6.35	C10:0
6.33	2.95	3.35	3.81	C12:0
7.85	11.15	8.94	10.48	C14:0
23.29	28.85	25.42	25.71	C16:0
7.34	13.11	12.29	14.29	C18:0
3.29	2.62	2.23	2.06	C16:1
37.47	27.54	27.37	24.76	C18:1
9.37	2.62	3.07	2.86	C18:2
1.27	1.64	1.12	2.06	C18:3
0.76				C20:4
1.01				C20:1

* האחוז הינו מתוך כלל חומצות השומן

גופים המצדדים בהקטנת השימוש בחלב פרה טוענים כי חלב פרה נחשב אלרגן בשל חוסר הסבילות של חלקים באוכלוסייה ללקטוז (ראו בפסקה - הסוכרים שבחלב) וכן מכיל קזאין, שגופם של אנשים אלרגיים מתייחס אליו כאל גורם זר ומתחיל לתקוף אותו. התגובה האלרגית באה לידי ביטוי בפריחה או נפיחות ובמקרים חמורים עלול להתפתח מצב מסוכן הנקרא שוק אנפילקטי. כמו כן טוענים גופים אלו כי חלב פרה יוצר ליחה. מהסיבות האלה הוא אינו מתאים לאנשים עם מגרנות, בעיות עיכול, מחלות מעי דלקתיות, אלרגים, בעיות נשימה, אסטמה וכו'. חלב בפאלו, למשל, מכיל פחות לקטוז מחלב הפרה וכן פחות קזאין, ולכן עיכולו נחשב מצוין.

זמן עיכולו של חלב בפאלו אורך כחצי שעה להבדיל מחלב הפרה שעיכולו אורך כ-3 שעות! חלב כבשים מכיל פחות לקטוז מחלב פרה, אך עדיין יש בו כמות לקטוז העשויה לגרום לבעיות עיכול. לסיכום: ניתן לסכם כי חלב עזים הוא החלב הקרוב ביותר בהרכבו לחלב אם, אך למי שאין בעיות עיכול ובעיות אלרגיות - יכול ליהנות מצריכת כל סוגי החלב.



הידעת

כמות הניאצין שבחלב אינה גדולה, אך בחלב יש תכולה גבוהה מאוד של טריפטופאן, המהווה חומר מוצא לסינתזה של ניאצין בגוף. 60 מ"ג טריפטופאן אקוויולנטים למ"ג של ניאצין.

התכונות האופטיות קובעות את המראה של החלב ותוצריו. פיזור האור על ידי הגלובולות השומניות וחלקיקי הקזאין (מיצלות) גורמים לחלב להיות עכור, אטום ולא שקוף. פיזור האור קורה כשאורך הגל של האור קרוב לגודל החלקיקים. חלקיקים קטנים מפזרים אור באורכי גל קצרים.

- חלב רזה נראה כחול בגלל שחלקיקי הקזאין מפזרים את אורכי הגל הקצרים של האור הנראה (כחול) יותר מאשר את האדום.

- הקרויטנואיד - פיגמנט אדום או צהוב המצוי בבע"ח אחראי לצבע הקרמי של החלב והחמאה.

- ריבופלבלין - מקנה צבע ירקרק למי הגבינה.

ספיגתו של ויטמין A מהחלב מוגברת ע"י בטא-לקטוגלובולין.

מוצרי חלב דלי שומן מכילים כמויות מעטות של ויטמין A ושל קארטן.



טבלה 6: תכולת הלקטוז בחלב ובמוצרי חלב שונים

מוצר	תכולת לקטוז בגר' ל 100 גר'
חלב עיזים	4.4
חלב פרה (מלא)	4.8
גבינה רכה מחלב עיזים	0.9
גבינה רכה מחלב פרה	0.4-2.9
גבינת קוט'ג	2.1
יוגורט מחלב עיזים	1.3
יוגורט מחלב פרה	4.7

עיבוד החלב
פיסטור

תהליך הפסטור נקרא על שם לואי פסטר אשר חקר את הגורמים לקלקול יין (1862). הוא מצא שהסיבה לקלקול היין והחמצתו היא פעילות החיידקים המצויים בו. בתהליך של חימום היין, כך גילה, ניתן להשמיד את רוב החיידקים ולשפר את איכותו ויציבותו של היין. רעיון זה אומץ על ידי תעשיית החלב, שסבלה אף היא מקלקול מהיר ומהחמצת החלב כתוצאה מפעילות החיידקים שבו.

בפיסטור מחממים את החלב לטמפרטורה של 72 מעלות צלסיוס במשך 15 שניות (או לטמפרטורה של 60 מעלות צלזיוס במשך 30 שניות). החימום אינו מגיע לנקודת הרתיחה של החלב, וכך שומר החלב על ערכו התזונתי וטעמו, ורוב החיידקים שבו מושמדים. מיד לאחר החימום, מקררים לטמפרטורה של 4 מעלות צלסיוס, וטמפרטורה זו נשמרת לאורך רוב תהליכי העיבוד הבאים.



החיסרון בתהליך הוא בזה שאין הוא פוגע בנבגי החיידקים. דבר זה מגביל את אורך החיים של המזון המפוסטר, שכן לאחר פרק זמן מסוים הנבגים מתפתחים לחיידקים פעילים ופוגעים במזון.

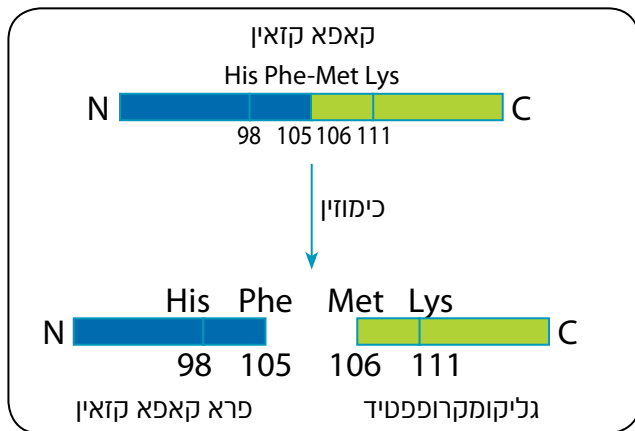
כיצד גורמים לקרישת הקזאין בחלב? במילים אחרות: כיצד מגבנים גבינה?

ייצור הגבן מתרחש ע"י שבירת מיצלות הקזאין. למרות שמיצלות הקזאין די יציבות, יש 2 דרכים תעשייתיות עיקריות המשמשות לקרישת החלב וליצירת גבן: א. שימוש באזנים חיתוך ששמו רנין כימוזין; ב. שימוש בחומצה. בהמשך נרחיב על כל שיטה.

א. שימוש באזנים החיתוך - רנין כימוזין

לאזנים זה פעילות פרטאוליטית ספציפית מאוד בשבירה מהירה של הקשר הפפטידי בין פניל אלנין מספר 105 לבין מתיונין מספר 106 בקאפא-קזאין, שהוא החלבון המגן על המיצלחת של קזאין בפני הפרדה ושקיעה מתוך החלב. לפני החיתוך האזנים מזהה את הרצף בין הידסטדין 98 לבין ליזין 111; לאחר החיתוך נגרם חוסר יציבות אנרגטי שמוביל להגבנה וליצירת הקריש.

לפניכם תרשים המציג את החיתוך.



חיתוך על ידי האזנים כימוזין

הפעילות הייחודית הזאת חשובה ביותר לאיכות המוצר הסופי היות שפרוטאוליזה לא מבוקרת של חלבוני חלב מובילה ליצירת פפטידים בעלי טעמים באיכות ירודה. ההפקה המסורתית של אזנים זה היא מקיבות של עגלים. הירידה הדרסטית בהיצע של

מעלות. שומרים בטמפרטורה של 30-40 מעלות צלזיוס הנוחה לתסיסה חיידקית, ומקבלים יוגורט. כדי לשמור אותו בטמפרטורה זו אפשר לעטוף את הסיר עם החלב במגבת או להניח אותו במקום חמים (ליד רדיאטור, ליד חלון החשוף לשמש). הכמות המומלצת היא כף יוגורט לליטר חלב מפוסטר. בתיאבון!



מקורות בעברית

אתר חברת תנובה

www.tnuva-research.co.il/site/HE/tnuva.asp?pi=262&doc_id=822#beforedoc

אתר מועצת החלב www.milk.org.il/normal.htm

www.tevalife.com/article.asp?id=1170

נחום-גוזלו, ר. (2002). אי סבילות ללקטוז,

מידע על לקטוז - קובץ כתבות באתר דוקטורס

www.doctors.co.il/t/%D7%9C%D7%A7%D7%98%D7%95%D7%96

קרקו, ע. (2009) חלב לא בריא? אמת מול מיתוסים.

www.ynet.co.il/articles/0,7340,L-3816927,00.html

רוזנטל, י. (1996). מדע החלב מאומנות מבוססת על נסיון

לטכנולוגיה, סינתזיס 14, עמ' 34-39,

telem.openu.ac.il/courses/c20237/milksci-s.htm

עגלים באמצע שנות ה-60 הכריחה את יצרני הגבינות להסתגל לתחליפים מחיות אחרות (חזיר) או לאנזימים פרוטאוליטיים ממקור מיקרוביאלי, כגון אנזים חוץ-תאי מ-Muchor miehei, די בכמויות קטנות של Muchor pusillus, Endothia parasitica. אנזים כדי להקריש כמויות עצומות של חלב, למשל, שתי כוסות של האנזים רנין מספיקות להקרשת 10,000 ליטר של חלב בתוך 20-30 דקות. כיום, למרות שכמחצית מתעשיית הייצור העולמית של הגבינות משתמשת באנזימים אלה, עדיין קיים ביקוש לכימוזין שמקורו מעגלים בגלל ההבדלים העדינים בטעם ובמרקם שהוא מקנה לגבינות. מעניין לציין שמאז ומתמיד המחסור בכימוזין הקשה יותר על בני העם היהודי מאשר על עמים אחרים בגלל דרישות הכשרות. אנזים כשר מפיקים רק מעגלים אשר נשחטו בשחיטה כשרה, שמטבעה היא מצומצמת ביותר. לאורך הדורות חיפשו היהודים פתרונות מקוריים כמו פרוטאזות מן הצומח, מתאנים למשל; או בשנות ה-70 השתמשו בפפסין מקיבות של תרנגולות משחיטה מקומית כשרה.

ב. שימוש בחומצה

שיטה נוספת ליצירת קריש היא באמצעות חומצת החלב, כך שהמטענים השליליים שעל השיירים ההידרופיליים ("אוהבי-מים") של הקאפא-קזאין מנוטרלים על ידי הפרוטון החיובי. בהגעה לנקודה האיזואלקטרית החלבון לא טעון במטען חשמלי; לאחר נטרול המטענים אין כוח דוחה בין המיצלות, והן מתאחות ליצירת קריש גבן. קיימות שתי שיטות מקובלות להחמצה.

הראשונה נעשית בעזרת חיידקים המפרישים חומצה לקטית לחלב. השיטה השנייה מתבססת על הוספה ישירה של חומצה (חומצות שמקובל להשתמש בהן הן חומצה לקטית, חומצה אצטית - חומץ וחומצה ציטרית - חומצת לימון).

ייצור יוגורט

יוגורט הוא מוצר חלב הנוצר בתהליך של החמצת החלב על ידי חיידקים, קרי, על ידי תסיסה. החיידקים צורכים את סוכר החלב לקטוז ומפרישים חומצה לקטית. החומצה הלקטית היא זו שמקנה ליוגורט את טעמו החמוץ. ניתן להכין יוגורט בבית על ידי הוספת חיידקים (משתמשים במעט יוגורט מוכן המכיל חיידקים) לסיר שמכיל חלב מפוסטר שקורר ל-40

Keenan TW. (2001) Milk lipid globules and their surrounding membrane: a brief history and perspectives for future research.

www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11547904

MacGibbon, A.K.H. & Taylor M.W. (2006). Composition and Structure of Bovine milk lipids. Advanced Dairy Chemistry, vol 2

Mangino, M. & Harper J (2007). . Food Science lectures Ohio University

class.fst.ohio-state.edu/FST822/lecturesab/Milk2.htm

Marleen Verheul and Sebastianus P. F. M. Roefs (1998). Structure of Particulate Whey Protein Gels: Effect of NaCl Concentration, pH, Heating Temperature, and Protein Composition J. Agric. Food Chem., 1998, 46 (12), pp 4909–4916

pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf981100f

Posati, L.P., Orr, M.L. 1976. Composition of Foods, Dairy and Egg Products. USDA-ARS, Consumer & Food Economics Inst. Publ., Washington, D.C., Agr. Handbook, No. 8-1,p. 77-109.

מקורות באנגלית

Garton, G. A. (2011) The composition and biosynthesis of milk lipids

www.jlr.org/cgi/reprint/4/3/237.pdf

Haenlein, G. (2002). Lipids And Proteins In Milk, Particularly Goat Milk

www.goatconnection.com/articles/publish/article_73.shtml

Hurley, W.H. The Lactation Biology website

classes.ansci.illinois.edu/ansc438/milkcompsynth/milkcomp_fat.html

International Livestock Research Institute

www.ilri.org/Research

Journal Of Dairy Science

www.journalofdairyscience.org

Lloyd, M. Introduction to the Symposium on Milk Lipids

www.springerlink.com/content/pv58520638202h2n/fulltext.pdf?page=1