جامعة حماه - كلية الطب البيطري السنة الرابعة

المقرر: صحة الألبان وتقاناتها المحاضرة الثانية: **التركيب الكيميائي للحليب**

*** التعريف الفيزيوكيميائي للحليب:**

الحليب سائل بيولوجي معقد ثلاثي الأطوار فهو محلول مائي لبعض الأملاح وسكر اللاكتوز، وتنتشر فيه المركبات الدهنية بصورة مستحلبة، بينما تنتشر فيه البروتينات وفوسفات الكالسيوم بصورة غروية.

*** التركيب الكيميائي للحليب:**

المستوى المكوّن	النسبة التقريبية
الحليب	١٠٠%
الماء	~٨٧%
المواد الصلبة الكلية	~١٣%
المواد الصلبة اللادهنية SNF	~٩%
من SNF الدهن	~٣,٧%
من SNF البروتين	~٣,٥%
من SNF اللاكتوز	~٤,٨%
من SNF الرماد	~٠,٧%

بروتينات الحليب

ينقسم أزوت الحليب إلى:

* آزوت لا بروتيني (NPN): يمثل ٥% من الأزوت الكلي، ويشمل اليوريا، الكرياتين، حمض البول، والأحماض الأمينية الحرة. يقدّر بحوالي ١,٦ غ/لتر، نصفه تقريباً من اليوريا.

* آزوت بروتيني حقيقي: يمثل ٩٥% من الأزوت الكلي.

البروتين الحقيقي فيتكوّن من مجموعتين رئيسيتين:

* الكازئين ٧٨–٨٠%
* بروتينات المصل ١٧–١٩%
* بروتينات متنوعة (إنزيمات وغيرها) نسبة صغيرة

أولاً: الكازئين (Casein) 80%

الكازئين هو المجموعة البروتينية الرئيسة في الحليب، ويتميز بالخصائص التالية:

· الترسيب: يترسب الكازئين كلياً عند الوصول إلى pH= 4.6 بدرجة حرارة ٢٠°م (النقطة الأيزوكهربائية). هذه الخاصية هي الأساس في تقدير الكازئين مخبرياً وفي تصنيع الأجبان بالتحميض.

· الصورة الغروية: يوجد الكازئين في الحليب على شكل ميسيلات كازئين (Casein Micelles)، وهي تجمعات كروية يتراوح قطرها بين ٣٠ و٣٠٠ نانومتر.

· ارتباطه بالكالسيوم والفوسفور: ترتبط ميسيلات الكازئين بالكالسيوم والفوسفور بصورة أساسية، مما يمنحها ثباتاً بنيوياً.

*** بنية مسيلة الكازئين:**

- اللب الداخلي: تجمعات بروتينية صغيرة من αs2،αs1 ، وβ كازئين ترتبط مع بعضها لتشكل المسيلة الكبيرة
- فوسفات الكالسيوم الغروي: يعمل بمثابة الإسمنت أو الجسور التي تربط البروتينات ببعضها وتثبت الهيكل الداخلي
- الطبقة الخارجية: تتكوّن من κ– كازئين له جزء محب للماء وجزء كاره للماء.

* الجزء **الكاره** للماء يتجه داخل لب المسيلة ليرتبط مع باقي بروتينات الكازئين

* الجزء **المحب** للماء يبرز نحو السائل المحيط ك شعيرات مشحونة بشحنة سالبة قوية

* ما هو سر استقرار الحليب السائل (ماهي وظيفة الشعيرات)؟

وجود الشعيرات المحبة للماء تعمل ك مصدات تمنع المسيلات من الالتصاق من خلال آليتين:

١– التنافر الكهربائي حيث تحمل مسيلات الكازئين الشجنة السالبة

٢– الإعاقة الفراغية تبعد الشعيرات المسيلات من الاقتراب بحيث تمنع تكتلها

تخثّر الكازئين:

(أ) التخثّر الإنزيمي (بالمنفحة):

· إنزيم الرينين (أو الكيموزين) في المنفحة يهاجم κ- كازئين تحديداً.

· يفقد κ- كازئين قدرته على حماية المسيلة، فتفقد المسيلة ثباتها وتترسب مع الكالسيوم وهذا الأساس في تصنيع الجبن بالمنفحة.

(ب) التخثّر الحمضي:

· عند خفض الـ pH إلى ٤,٦ (بإضافة حامض أو بالتخمّر اللبني)، تفقد المسيلة شحنتها وتترسب وهذا الأساس في تصنيع الأجبان الحامضية (مثل الجبن القريش).

ثانياً: بروتين المصل (Whey Proteins) 20%

هي البروتينات التي تبقى ذائبة في المصل بعد ترسيب الكازئين عند pH 4.6. تمثل ١٧–١٩% من البروتين الكلي، وتتميز بقيمتها الغذائية العالية.

أنواع بروتينات المصل

β-لاكتوغلوبيولين: ٥٠–٥٥% الأكثر وفرة، يرتبط بالفيتامينات الذائبة بالدهن

α-لاكتو ألبومين: ٢٠–٢٥% يرتبط بالكالسيوم، يحوي حمض أميني يسمى تريبتوفان

بروتين المصل المناعي: ١٠-١٥% مضادات حيوية طبيعية، مناعية

ألبومين المصل البقري: 10%–5 (BSA) مشابه لألبومين الدم

من أهم خصائص بروتينات المصل:

الذوبان: تبقى ذائبة عند pH 4.6 (بعكس الكازئين).

· الحساسية للحرارة:

· β-لاكتوغلوبيولين يبدأ بالتخثر عند ٧٠–٧٥°م.

· α-لاكتو ألبومين أكثر مقاومة للحرارة (يتخثر عند ٨٠°م).

لهذا السبب، البسترة (٧٢°م/١٥ثانية) لا تخثّر بروتينات المصل لكنها قد تغيّر بنيتها.

· القيمة الغذائية: غنية بالأحماض الأمينية الأساسية (خصوصاً الليزين والتريبتوفان)، وتُعدّ ذات قيمة بيولوجية أعلى من الكازئين

المقارنة بين الكازئين وبروتينات المصل في الحليب

وجه المقارنة	المصل (Whey)	الكازئين (Casein)
النسبة في الحليب	تشكل حوالي ٢٠% من إجمالي بروتين الحليب.	تشكل حوالي ٨٠% من إجمالي بروتين الحليب.
البنية الجزيئية	بروتينات كروية (Globular) ذائبة في الماء.	تتجمع على شكل ميسيلات (Micelles) غنية بالكالسيوم والفوسفات.
السلوك عند التخثر (pH 4.6)	تبقى ذائبة في المحلول الملحي المتبقي (الشرش).	تترسب وتتخثر (وهي أساس صناعة الأجبان).
الاستقرار الحراري	حساس للحرارة، ويتعرض للتمسخ (Denaturation) عند التسخين.	ثابت حرارياً جداً، ولا يتبدل بتأثير الحرارة وحدها.
سرعة الهضم والامتصاص	سريعة الامتصاص (تصل لمجرى الدم والأنظمة العضلية خلال ٣٠ إلى ٦٠ دقيقة).	بطيئة الامتصاص (تفرز أحماضاً أمينية على مدى ساعات طويلة تصل إلى ٧ ساعات).
الملف الأميني والمحفزات	غني جداً بالأحماض الأمينية متفرعة السلسلة (BCAAs) وخاصة الليوسين لتفعيل تخليق البروتين العضلي.	غني بحمض الجلوتامين؛ يوفر تأثيراً مضاداً للتقويض (يحمي العضلات من الهدْم).
القيمة الحيوية (Biological Value)	تتجاوز ١٠٠ (الأعلى من حيث كفاءة الامتصاص والاستفادة بالجسم).	تتراوح بين ٧٠ - ٨٠ (ممتازة ولكنها أقل مقارنة بالمصل).
التوقيت الأمثل للاستهلاك	بعد التمرين مباشرة (Post-workout) للاستشفاء السريع.	قبل النوم أو فترات الانقطاع الطويل عن الطعام لتغطية الاحتياج المستمر.
التأثير على الشهية	تأثيره أقل نسبياً في إطالة الشعور بالشبع مقارنة بالكازين.	يمنح شعوراً أعلى بالشبع لفترة أطول بفضل تكوين بنية هلامية بالمعدة.
الاستخدامات الصناعية	يدخل في أغذية الرضع، المكملات الغذائية الرياضية، والصناعات الغذائية الوظيفية.	يدخل في صناعة الأجبان، مثبتات القوام، ومكملات الاستشفاء الليلي.

الإنزيمات

يحتوي الحليب الخام على أكثر من ٦٠ إنزيم طبيعي وهي مواد ذات طبيعة بروتينية تحفز التفاعلات الحيوية أهمها:

- **اللاكتاز Lactase:** يقوم بتحليل سكر اللاكتوز إلى سكرين بسيطين هما الجلوكوز والجلاكتوز.
- **الليباز Lipase:** يساعد في تحليل الدهون إلى أحماض دهنية بسيطة، مما يسهل هضمها وامتصاصها.
- **الفوسفاتاز القلوي Alkaline Phosphatase:** يساعد الجسم في امتصاص الكالسيوم والفوسفور، ويُستخدم كمؤشر لنجاح عملية البسترة حيث يتم تفكيكه بالبسترة بدرجة٧١ م°.
- **الفوسفاتاز الحمضي Acid Phosphatase:** يعمل بطريقة مشابهة للفوسفاتاز القلوي ولكن في وسط حامضي.
- **الكاتالاز Catalase:** يخلص الخلايا من فضلات معينة ويشارك في إدارة التفاعلات الخلوية كما يزداد في حالات التهاب الضرع.
- **الليزوزيم واللاكتوبيروكسيداز Lactoperoxidase:** إنزيم طبيعي مضاد للميكروبات يساعد في حماية الحليب.*
- **البروتياز Proteases:** يعمل على تخليق وتفكيك البروتينات.

ملاحظة: هناك بعض الإنزيمات النوعية موجودة في حليب الأم وغير موجودة في حليب الأبقار وبذلك نكشف عن نوع الحليب

الإنزيم	في حليب الأم (البشري)	في حليب الأبقار
الليباز المحفز بأملاح الصفراء (BSSL)	وفير جداً (يساعد في هضم 30-40% من الدهون).	غير موجود تماماً.
الليزوزيم (Lysozyme)	مرتفع للغاية (حماية مناعية فائقة).	ضئيل جداً (شبه معدوم طبيعياً).
الأميلاز (Amylase)	نشط ومرتفع (لهضم النشويات).	منخفض جداً.

دهن الحليب

يوجد الدهن في الحليب على شكل مستحلب زيت في الماء (O/W)، حيث تنتشر حبيبات دهنية صغيرة في الطور المائي. يتراوح قطر الحبيبة الدهنية بين ١ و٨ ميكرومتر (وقد يصل إلى ٠,١ ميكرومتر في حليب الإنسان).

عدد الحبيبات الدهنية في ١ مل من الحليب يقارب ٢–٤ مليار حبيبة.

التركيب الكيميائي للدهن:

غليسريدات ثلاثية ٩٨,٥% فوسفولبيدات ١%

مواد ذائبة في الدهن (كوليسترول، فيتامينات A, D, E, K) ٠,٥%

بنية حبيبة الدهن:

يتكون اللب الداخلي من الدهون المتعادلة وخاصة الغليسريدات الثلاثية

أما غلاف حبيبة الدهن مكون من ٣ طبقات:

١. الطبقة الداخلية أحادية: ملاصقة للدهن، غنية بالفوسفولبيدات الأحادية الكارهة للماء.

٢. الطبقة الوسطى: غنية بالبروتينات الهيكلية والإنزيمات الخلوية.

٣. الطبقة الخارجية: هي غشاء بلازمي مزدوج غني بالبروتينات السكرية والفوسفوليبيدات السكرية ملاصقة للوسط المائي للحليب.

وظائف الغلاف

١. منع اندماج الحبيبات الدهنية: يمنع تجمّعها وانفصالها كطبقة دهنية.

٢. الحماية من الإنزيمات: يحمي الدهن من هجوم إنزيم الليباز.

٣. الحماية من الأكسدة: يمنع تأكسد الأحماض الدهنية غير المشبعة.

٤. الثبات المستحلبي: يمنح الغلاف المستحلب ثباتاً في الحليب إضافة لشحنة الغلاف السالبة..

٥. الأهمية التصنيعية:

· الغلاف حساس للمعالجات الميكانيكية (الخض، الرج، التجنيس).

· التجنيس (Homogenization): يفتّت الحبيبات الدهنية بفعل الضغط العالي ويستبدل الغلاف الأصلي بغلاف جديد من بروتينات الكازئين، مما يزيد عدد الحبيبات ويقلل قطرها.

· الخض (Churning): في صناعة الزبدة، يُدمّر الغلاف بشكل كامل لتجميع حبيبات الدهن العارية على شكل كتلة دهنية واحدة.

تزنخ الحليب

هو فساد دهن الحليب نتيجة التحلل الكيميائي أو الإنزيمي مما يؤدي لتغير الطعم والرائحة بشكل غير مقبول وعليه يقسم التزنخ لنوعين:

١. التزنخ التأكسدي

· السبب: تفاعل الأحماض الدهنية غير المشبعة مع الأوكسجين وتكوين بيروكسيدات الهيدروجين والتي تتحلل إلى الألدهيدات والكيتونات .

· النتيجة: ظهور طعم ورائحة مؤكسدة.

· العوامل المساعدة: الأكسجين، الضوء، الحرارة، المعادن (النحاس، الحديد).

· الوقاية: التعبئة الجيدة، الحفظ في الظلام والبرودة، إضافة مضادات الأكسدة.

٢. التزنخ التحللي (الأنزيمي)

· السبب: فعالية إنزيم الليباز الذي يحلّل الغليسريدات الثلاثية ويحرر الأحماض الدهنية.

· النتيجة: تحرر الأحماض قصيرة السلسلة (بيوتريك، كابرويك...) مما يسبب طعماً ورائحة كريهة.

· العوامل المساعدة: الحرارة، الخض، التجميد والذوبان المتكرر.

. الوقاية: البسترة (لتخريب الليباز)، تجنّب الخض المفرط، الحفظ المبرد.

سكر الحليب (اللاكتوز)

· اللاكتوز هو سكر ثنائي يتكوّن من:

جلوكوز + جالاكتوز مرتبطان برابطة β−1,4−غليكوزيدية.

الذوبان في الماء منخفض نسبياً (١٨ غ/١٠٠ مل عند ٢٠°م)

الطعم حلو خفيف ويوجد في الحليب بالحالة الذائبة

تختلف نسبة اللاكتوز في الحليب بين الأنواع: الإنسان ٧%

الأبقار ٤,٨% الجاموس ٤,٥% الماعز ٤,٥%

التخمّر اللبني

· بكتيريا حمض اللبن (Lactobacillus, Streptococcus) تخمّر اللاكتوز وتحوله إلى حمض اللبن و هذا أساس تصنيع:

· اللبن الرائب (Yogurt) · الأجبان الحامضية · الزبدة

الأهمية الغذائية

· مصدر طاقة: يُمدّ الجسم بالطاقة.

· امتصاص المعادن: يساعد على امتصاص الكالسيوم والفوسفور.

· تطور الدماغ: يحتاج الدماغ إلى اللاكتوز لبناء النسيج الدماغي، ولهذا نسبة اللاكتوز أعلى في حليب الإنسان.

· الفلورا المعوية: يشجّع نمو البكتيريا النافعة مثل .(Lactobacillus)

عدم تحمّل اللاكتوز (Lactose Intolerance)

· **السبب:** هو عجز الأمعاء الدقيقة عن انتاج كمية كافية من أنزيم اللاكتاز.

· **النتيجة:** عدم هضم اللاكتوز، تخمّره في الأمعاء الغليظة مما يسبب ظهور أعراض: آلام وتقلصات في البطن مع انتفاخ، غازات، إسهال.

أنواع عوز اللاكتوز:

مكتسب: يقل انتاج الإنزيم مع التقدم بالعمر أو نتيجة تلف في بطانة الأمعاء الدقيقة.

وراثي: ولادة بعض الأطفال بنقص تام للإنزيم نتيجة عوامل وراثية نادرة.

· **الحلول:**

* حليب خالٍ من اللاكتوز أو حليب النباتات مثل الصويا أو الشوفان.

* منتجات متخمّرة (لبن، جبن).

الفيتامينات

تقسم لمجموعتين:

١- الذوابة في الدسم: ADEK

- A: ضروري للعيون
- D: ضروري للوقاية من الكساح
- E: العقم عند الرجال / مضاد أكسدة
- K: مضاد للنزف

٢- الذوابة في الماء:

C و B1 , B2 , B3 , B5 , B6 , B8 , B9 , B12

- ضرورية لعمليات الاستقلاب وتحتوي على مرافقات أنزيمية.
- بشكل عام نقص مجموعة فيتامين B يتجلى في أمراض بالجلد.
- فيتامين Cهو حمض الأسكوربيك يعمل مضاد أكسدة.
- فيتامينات Cو B1 و B12 حساسة للحرارة وتتلف بسرعة.

العناصر المعدنية

توجد على صورة ذائبة أو غروية

ومن أهم العناصر: البوتاسيوم، الكالسيوم، الكلور، الفوسفور، الصوديوم، المغنيزيوم

*الكالسيوم والفوسفور مترافقان دائما

*الكالسيوم موجود في الحليب بنسبة ٣/١ ذائب و٣/٢ مرتبط بالكازئين

بينما يتواجد في اللبن الرائب بالشكل الذائب بشكل كامل

ملاحظة : كلما زادت نسبة الكالسيوم الذائب تزداد حساسية الحليب للمعاملة الحرارية

*نسبة الصوديوم للبوتاسيوم ٣/١ وفي حالات التهاب الضرع تنقلب النسبة لتصبح ١/٣.