الفصل الثاني

الخصائص الفيزيائية الكيميائية للحليب

2-1 طعم الحليب .
2-2 لون الحليب .
2-3 الثوابت الفيزيائية المتعلقة بالمحلول .
2-3-1 نقطة الغليان .
2-3-2 الناقلية الكهربائية .
2-3-3 نقطة التجمد .
2-4 اللزوجة .
2-5 معامل الانكسار .
2-6 حالة الماء .
2-7 كثافة الحليب .
2-8 المادة الصلبة الكلية .
2-9 درجة الحموضة .
2-10 رقم الحموضة .
2-11 دلالة المقارنة بين رقم pH الحليب ودرجة الحموضة .

الفصل الثاني

الخصائص الفيزيائية الكيميائية للحليب

Propriɘtɘs physico-chimiques du lait

مكونات الحليب موجودة تحت أشكال فيزيائية مختلفة . فالمحاليل الحقيقية تتكون من مواد موجودة على الحالة المتشردة أو الكتل الصغيرة الفردية المتوزعة ضمن المذيب وهي مواد تتصف بقطر أقل من 1 ن م nm ويمكنها المرور ضمن أغشية نصف نفوذة كأغشية الترشيح فوق العالي وأن قوى التجانس بين الجزيئات الصغيرة والمذيب تكفي للمحافظة على توزعها فاللاكتوز والأملاح المعدنية الذائبة موجودة في محلول حقيقي .

أما المحاليل الغروية تمثل المواد الموجودة تحت شكل جزيئات أبعادها أكبر من 1 ن م nm . يمكن لهذه المواد أن تكون مكونة من كتل جزيئية صحيحة أو فردية كبيرة لا يمكنها عبور أغشية الترشيح فوق العالي . تعتمد ثباتية هذه المكونات بشكل أساسي على الشحنات الكهربائية الموجودة على سطح الجزيئات وأحياناً على درجة الإماهة .

تساهم الشحنات الكهربائية الموجودة على السطح في منعها من التقارب ويؤدي معادلة الشحنات إلى اضطراب هذه الثباتية . ضمن هذه المجموعة توجد الألبومينات والجلوبولينات والكازئين الذائب والفوسفات الغروية .

أما المعلق الغروي يتكون من جسيمات ذات وزن جزيئي مختلف ومن ضمن هذه المجموعة الكازئين . ونميز أيضاً وجود المستحلب حيث يتوزع الطور الدهني

تحت شكل حبيبات ضمن الطور السائل . توزع الليبيدات ضمن الماء فيتشكل مستحلباً للمادة الدسمة في الحليب .

عندما تتعادل الشحنات الكهربائية الموجودة على سطح الجزيئات يؤدي ذلك إلى نزع الثباتية كالكازئين أما معادلة الشحنات الكهربائية للألبومينات والجلوبولينات لا يكفي وحدة لنزع الثباتية .

2-1 طعم الحليب : Gôut du lait

للحليب طعم مقبول و لطيف مستساغ و قليل الحلاوة . تؤدي الطرق الحديثة في إنتاج الحليب وتبريده إلى المحافظة على طعمه ولكن يخشى ظهور بعض عيوب الطعم الناتجة عن البكتريا الأليفة لدرجة الحرارة المنخفضة التي تسبب تحلل بعض مكونات الحليب .

2-2 لون الحليب : Couleur du lait

يؤثر لون الحليب بشكل كبير في صناعة الألبان كونه يعتبر الدليل على غناء الحليب بالمادة الدسمة ويسبب انعكاس الأشعة على الكتل الجزيئية الموجودة في المعادن مثل جسيمات الكازئين وحبيبات المادة الدسمة وفوسفات وسترات الكالسيوم إلى إعطاء اللون الأبيض للحليب وتختلف درجة اللون الأبيض وفقاً لعدد وحجم الكتل في المعلق وإن انخفاض حجم الجسيمات نتيجة إفقارها بالكالسيوم بفعل حفظ الحليب على درجة حرارة منخفضة يمكن أن يؤثر على اللون الأبيض ويزداد اللون الأبيض في الحليب المتعرض لعملية التجنيس بسبب زيادة عدد حبيبات المادة الدسمة . أما اللون الأزرق في الحليب الفرز ناتج عن التركيز المنخفض للكتل كبيرة الوزن الجزيئي الموجودة في المعلق فأنواع الحليب غير الطبيعية الغنية في الصوديوم والبوتاسيوم تمتاز بلون حليب أقل شدة وذلك لأن كازئينات الصوديوم والبوتاسيوم أكثر ذوباناً من كازئينات الكالسيوم مما ينتج عنه انخفاض في حجم الجسيمات . الألبومينات والجلوبولينات الموجودة في المصل على شكل كتل صغيرة جداً لا يمكنها المساهمة في لون الحليب وغناء المصل بالريبوفلافين يعطيه اللون الأصفر المخضر .

تحتوي المادة الدسمة على صبغات صفراء تتعارض مع اللون الأزرق في الحليب ويختلف محتوى الحليب من الكاروتينات وفقاً للتغذية والعرق فالأعلاف الخضراء والجزر تعتبر مصادر هامة للكاروتينات والتي تؤثر على لون حليب الأبقار يضاف إلى ذلك أن عروق الأبقار الحلوب مثل جرسي تنتج حليباً يحتوي على مادة دسمة أكثر اصفراراً من حليب أبقار هولشتاين .

2-3 الثوابت الفيزيائية المتعلقة بالمحلول :

Constante physique relative a la solution

1-3-2 نقطة الغليان : Point d'ébullition

في ظروف الضغط الجوي العادي تقدر نقطة غليان الحليب 100.17-100.5 مْ ونقطة غليان الماء 100 مْ . تعتمد نقطة غليان الماء مثل نقطة التجمد على عدد الكتل الموجودة في المحلول ولذلك تزداد درجة الغليان مع زيادة التركيز وتنخفض مع الضغط وسنتناولها على المستوى العملي عند تركيز الحليب لصناعة الحليب المركز المحلى أو غير المحلى .

2-3-2 الناقلية الكهربائية : Conductivité électrique

تعتمد إمكانية النقل الكهربائية في الحليب بشكل أساسي على عدد الشوارد والكتل المستخدمة ويعزى إلى الشوارد الحرة كالبوتاسيوم والصوديوم والكلور الدور الأكثر أهمية في الناقلية .

تقدر الناقلية الكهربائية بحدود 0.005 أوم/سم على درجة حرارة 20 ْ وتنخفض الناقلية الكهربائية عند إضافة الماء . توجد علاقة إيجابية بين الناقلية الكهربائية وعدد الخلايا الجسدية ولكن عند تجاوز عدد كريات البيض 500.000/مل بالتهاب الضرع حيث تتجاوز 0.005 أوم/سم بسبب ارتفاع المحتوى من الكلور .

3-3-2 نقطة التجمد : Point de congélation

تعتبر نقطة تجمد الحليب من أهم الخصائص الفيزيائية الشائعة وتتراوح بين -0.54 مْ و -0.55 مْ وتبين التجارب أن نقطة التجمد تتذبذب ضمن مجال -0.53 و -0.57 مْ وفقاً للفصول . يرتبط انخفاض نقطة التجمد بالمواد الذائبة ولذلك تؤدي إضافة الماء إلى رفع نقطة التجمد ويسبب إضافة 1% من الماء إلى رفع نقطة التجمد حوالي 0.0055 مْ . يسبب بقاء الحليب على درجة حرارة مرتفعة عند تطبيق المعاملات الحرارية مثل البسترة ارتفاع نقطة التجمد ويعطي نفس النتيجة عند إضافة الماء بسبب حدوث تغيرات في التوازنات الملحية مما يرفع من نقطة التجمد .

تؤدي زيادة الشوارد والجزئيات الذائبة في الحليب إلى انخفاض في نقطة التجمد لأن كل جزيء من اللاكتوز ينتج أربعة أجزاء من حمض اللبن . تنخفض نقطة التجمد حيث تؤدي زيادة كل درجة دورنيكية واحدة انخفاضاً في نقطة التجمد مقداره 0.004 مْ وارتفاع درجة الحموضة 10 D^o عن درجة الحموضة الطبيعية يتوازن مع إضافة ماء بنسبة 7.4% .

وتنخفض نقطة التجمد أيضاً عند إضافة 1غ من ثاني كرومات البوتاسيوم / ليتر بمقدار 0.025 مْ .

4-2 اللزوجة : La viscosité

تعرف اللزوجة بأنها مقاومة السائل للجريان وتنتج عن احتكاك الكتل التي تكون السائل . ترتبط اللزوجة في الحليب بعدد وحجم الكتل الموجودة ودرجة

الحرارة ولذلك فهي مرتبطة في محتوى الحليب من البروتينات والمادة الدسمة أما تأثير اللاكتوز والأملاح المعدنية أقل أهمية .
لزوجة الماء تساوي 1 سنتي بواز على درجة حرارة 20 مº . أما لزوجة الحليب كامل الدسم تساوي 2.1 على نفس درجة الحرارة و1.8 سنتي بواز للحليب الفرز .
توجد علاقة بين حجم وعدد الحبيبات الدسمة واللزوجة ، فزيادة اللزوجة في الحليب المتعرض إلى التجنيس يمكن تفسيره بادمصاص البروتينات على سطح الحبيبات وتساهم أيضاً درجة إماهة البروتينات بدور هام في اللزوجة .

5-2 معامل الانكسار : Indic de r٩fraction

يستفاد من معامل الانكسار في المجال العملي لتكنولوجيا الألبان حيث تقدر درجة تركيز الحليب عند معاملته بالترشيح فوق العالي .

- بالارتشاح العاكس .
- بالتبخير تحت تفريغ .

ويمكن الاستفادة منه في تقدير محتوى الحليب المركز من السكر .

6-2 حالة الماء : Etat de l'eau

يحتوي الحليب على 87.5 % من الماء أي ما يساوي 900 غ تقريباً في اللتر ويوجد على شكلين :
- الماء المرتبط ويشكل قسماً قليلاً (3.7 %) ويرتبط بقوة في المواد الموجودة على شكل مستحلب وعلى شكل معلق . وهذا الماء لا يشكل قسماً من الطور المائي الحقيقي ولذلك لا يذيب اللاكتوز ويرتبط بشكل أساسي في البروتينات .
- الماء الحر يشكل القسم الأكبر من الماء وهو المسؤول عن إذابة اللاكتوز والأملاح وهو مستقل عن الأملاح غير الذائبة . تمثل فعالية الماء الطريقة المناسبة في إظهار جاهزية الماء ضمن المواد الغذائية كونه يسمح في تحديد العتبة المعينة التي لا تستطيع الأحياء الدقيقة النمو في قيمة أقل منها .

ويعبر عن فعالية الماء : $a\omega = \frac{p\omega}{p^{o}\omega}$

حيث $a\omega$ فعالية الماء
$p\omega$ الضغط الجزيئي على درجة حرارة معينة عند التوازن
$p^{o}\omega$ الضغط الجزيئي لبخار الماء النقي ضمن نفس الشروط .

ويتوقف نشاط الأحياء الدقيقة وفقاً للقيم التالية : البكتريا $a\omega : 0.91$
الخمائر $a\omega : 0.88$
الفطور $a\omega : 0.80$
الأنواع المتحملة للملوحة $a\omega : 0.75$

7-2 كثافة الحليب : La densitэ du lait

كثافة حليب معين ليست ثابتة ولكنها تختلف وفق عاملين متعاكسين :

1- تركيز العناصر الذائبة والعناصر الموجودة بشكل معلق أي المواد الصلبة اللادهنية حيث ترتفع الكثافة طرداً مع تركيز هذه العناصر.
2- محتوى الحليب من المادة الدسمة حيث تنخفض الكثافة بطريقة عكسية مع محتوى الحليب من المادة الدسمة لأن كثافة المادة الدسمة أقل من 1 ولذلك تكون كثافة الحليب الفرز أعلى من كثافة الحليب كامل الدسم .

فيما يتعلق بحليب الأبقار تتراوح الكثافة بين 1.028 و 1.032 غ/مل وتؤدي إضافة الماء إلى انخفاض الكثافة . يمكن أن يكون للحليب الفرز والحليب المضاف إليه الماء نفس الكثافة ولذلك لا يكفي قياس الكثافة لوحده في كشف غش الحليب بإضافة الماء ، تصل كثافة حليب السرسوب إلى 1.034 لارتفاع محتواه من المادة الصلبة الكلية . إن كثافة مكونات الحليب على درجة حرارة 30 مْ هي كالتالي :

المادة الدسمة	0.913
المادة الصلبة اللادهنية	1.92
اللاكتوز	1.63
البروتينات	1.35
الرماد	5.5

فعند معرفة تركيب الحليب يمكن معرفة كثافة الحليب حسابياً وفق المعادلة التالية:

الكثافة على درجة حرارة 30 مْ =

$$\frac{100}{\frac{\text{المادة الدسمة \%}}{0.913} + \frac{\text{اللاكتوز \%}}{1.63} + \frac{\text{بروتين \%}}{1.35} + \frac{\text{الرماد \%}}{5.5} + \frac{\text{الماء \%}}{1}}$$

وفي الوقت الحالي تستبدل الكثافة بمفهوم الوزن النوعي والذي يساوي كتلة حجم معين مقسوماً على كتلة نفس الحجم من الماء على درجة حرارة 20 مْ .

8-2 المادة الصلبة الكلية : L'extrait sec total

يتراوح محتوى أنواع الحليب المختلفة من المادة الصلبة الكلية بين 100 و600غ/اللتر ويعود هذا الفرق إلى محتوى الحليب من المادة الدسمة . فيما يتعلق بحليب الأبقار يتراوح المحتوى بين 125-130 غ/اللتر أما قيمة المادة الصلبة اللادهنية في أبقار الدول الأوروبية تتراوح بين 90 و 102 غ/اللتر ولذلك فكل قيمة أقل من 87 يترك مجالاً للشك في غش الحليب بإضافة الماء .

المادة الصلبة اللا دهنية = المادة الصلبة الكلية – المادة الدسمة

ولقد استخدمت مجموعة من الثوابت لكشف غش الحليب بإضافة الماء منها الثابت الجزيئي البسيط CMS والذي يمكن حسابته وفق المعادلة التالية :

$$\text{الثابت الجزيئي المبسط } C.M.S = \frac{1000}{S}(L + 11.9\ \ NaCl)$$

حيث L اللاكتوز المائي غ/اللتر .
NaCl كلور الصوديوم غ/اللتر .
S حجم المصل الناتج عن لتر من الحليب ويساوي بشكل متوسطي 943 مل.

وتتراوح قيمة الثابت الجزئيي المبسط بين 74 و 79 ولذلك أية قيمة أقل من 70 تسمح في التأكد من غش الحليب بإضافة الماء .

9-2 درجة الحموضة : Acidity du lait

يمكن التعبير عن درجة الحموضة بعدة تعابير ، الدرجة الدورنيكية D^o وتعبر عن عدد كل من ماءات الصوديوم تسع النظامي اللازمة لمعادلة الحموضة الطبيعية في 100مل من الحليب في وجود دليل فينول فتالين . تتراوح درجة الحموضة في الحليب الطبيعي بين 16-18 D^o .

1 D^o تساوي 0.1 غ/اللتر من حمض اللبن

أما درجة SH Soxhlet – Henkel

وهي كمية ماءات الصوديوم ربع النظامي اللازمة لمعادلة الحموضة في 100مل من الحليب في وجود دليل فينول فتالين كل SH = 2.25 D^o ، وتتراوح درجة الحموضة الطبيعية بين 7-8.5 SH .

درجة الحموضة المعايرة هي نتيجة لعدة تفاعلات تمثل الحموضة الطبيعية والتي تساوي بشكل متوسطي 18مل من ماءات الصوديوم النظامية اللازمة لواحد لتر من الحليب ، ومصدر الحموضة :

- الحموضة الناتجة عن الكازئين المسؤولة عن 5/2 من الحموضة الطبيعية .
- الحموضة الناتجة عن المواد المعدنية وآثار الأحماض العضوية وتشكل 5/2 من الحموضة الطبيعية .
- التفاعلات الثانوية الناتجة عن الفوسفات وتعادل 5/1 الحموضة الطبيعية أما الحموضة المتطورة ناتجة عن حمض اللبن والأحماض العضوية الأخرى الناتجة عن التفكك الميكروبي لسكر اللاكتوز وبشكل محتمل تحلل الليبيدات في الحليب المتحلل .

10-2 رقم pH الحليب :

تتصف جميع أنواع الحليب بتفاعل شاردي قريب من التعادل ، يتصف حليب الأبقار بتفاعل حامضي بسيط ويتراوح بين 6.6-6.8 بسبب وجود الكازئين والفوسفات ويعتبر رقم الحموضة غير طبيعي في حليب الأبقار إذا كان أقل من 6.6 أو أعلى من 6.9 . يبدي حليب السرسوب تفاعلاً حامضياً بسيطاً ولذلك له رقم حموضة أقل من 6.6 بسبب المحتوى المرتفع من البروتينات .

يتبدل رقم الحموضة من نوع حليب إلى آخر وذلك وفقاً للتركيب الكيميائي وبشكل خاص المحتوى من الكازئين والفوسفات فرقم الحموضة pH المتوسطي لحليب الأغنام الغني في الكازئين 6.5 أما حليب المرأة الفقير في الكازئين متعادل وقلوي بسيط ويتراوح رقم الحموضة بين 7-7.5 .

يمثل رقم الـ pH الحموضة الطبيعية وعليه تعتمد الخصائص الهامة مثل ثباتية الكازئين .

11-2 دلالة المقارنة بين pH الحليب ودرجة الحموضة :

يمكن لبعض أنواع الحليب أن يكون لها نفس رقم الحموضة وتبرز نفس الثباتية في المعاملات الصناعية وتتسم بنفس الحالة الطازجة ولكنها مع ذلك تظهر درجات حموضة مختلفة (الجدول 2-1) .

الجدول (2-1) : العلاقة بين نوعية الحليب ورقم الحموضة ودرجة الحموضة

نوعية الحليب	رقم الحموضة pH	درجة الحموضة D^o
1-حليب غني دون حموضة متطورة	6.7	22
2-حليب عادي دون حموضة متطورة	6.7	18
3-حليب فقير دون حموضة متطورة	6.7	14
4-حليب في حالة تحلل وارتفاع الحموضة	6.3	22
5-حليب قلوي (التهاب ضرع)	7.2	14

في المنشآت الصناعية كالتعقيم والتركيز يطبق الاختبار القاسي على أساس درجة الحموضة ومن المفروض رفض الحليب رقم 1و4 بالنسبة للحليب رقم 4 يعتبر ذلك طبيعياً كونه حامضياً أما بالنسبة للرقم 1 يعتبر غير صحيح بسبب ارتفاع المحتوى من المادة الصلبة الكلية إضافة إلى أن هذا الحليب يشكل وسطاً منظماً قوياً ولذلك يكون تبدل رقم الحموضة أقل سرعة بالمقارنة مع الحليب رقم

2و3 تحت تأثير حمض اللبن الناتج عن التخمر اللبني . من المعروف أن أنواع الحليب التي تتصف بحموضة طبيعية مرتفعة يمكن حفظها مدة أطول بالمقارنة مع أنواع الحليب المساوية لها بالنوعية الصحية أو التي حموضتها الطبيعية أقل.

تبين المعطيات الموضحة في الجدول (2-2) أن أرقام pH والحموضة المعايرة غير مرتبطة بشكل دقيق بين بعضها .

الجدول 2-2 أرقام pH الحليب ودرجة الحموضة

pH	نوع الحليب	درجة الحموضة D^o
6.8-6.6	حليب أبقار طبيعي	18-16
6.8 وأعلى	حليب قلوي أو مغشوش بإضافة الماء ، حليب في نهاية موسم الإدرار	15
6.6-6.5	حليب حامضي ضعيف أو حليب السرسوب	20-19
6.4	حليب لا يتحمل التعقيم على درجة حرارة 110 مْ	20
6.35	حليب مركز فيه المادة الصلبة اللا دهنية 20%	21
6.3	حليب لا يتحمل الطبخ على 100 مْ	22
6.25	حليب مركز فيه المادة الصلبة اللا دهنية 30%	22
6.1	حليب لا يتحمل البسترة 72 م	24 أو أكثر
5.2	حليب يتخثر على درجة الحرارة العادية	60-55
6.5	المصل الطازج الناتج عن الأجبان	13-9
4.5	مزرعة بكتريا حمض اللبن الكروية	120
3.9	مزرعة بكتريا حمض اللبن العصوية	250

على المستوى العملي يتم الاهتمام بدرجة الحموضة بشكل أعلى باستثناء الحالات التي لا يمكن تجنب قياس رقم الحموضة pH مثل التعقيم والأجبان المصهورة وزبدة التخزين .