الفصل التاسع
الأجبـــــان

9-1 عموميات حول صناعة الأجبان
9-2 تحضير الحليب في صناعة الأجبان
9-3 التخثر
9-4 انفصال المصل من الخثرة
9-5 التمليح
9-6 الإنضاج
9-7 الخصائص الفيزيائية والكيميائية للأصناف المختلفة من الأجبان
9-8 تصنيف الأجبان
9-9 مردود الأجبان
9-10 القيمة الغذائية للأجبان
9-11 الأجبان المصهورة

الفصل التاسع

الأجبـــــان

9-1 عموميات حول صناعة الأجبان :

G9n9ralit9s sur la technologie fromagère

تشكل الأجبان طريقة قديمة في حفظ البروتينات والمادة الدسمة وقسم من الكالسيوم والفوسفور وتعتبر القيمة الغذائية والخصائص الحسية هامة جداً للإنسان في كل المناطق . توجد نماذج عديدة من الأجبان وفقاً لطريقة التصنيع ويطلق اسم الأجبان على المنتج المتخمر أو غير المتخمر الناضج أو غير الناضج الذي تم الحصول عليه حصرياً من المنتجات اللبنية التالية :

- الحليب
- الحليب المتعرض إلى عملية فرز جزئية أو كلية .
- القشدة
- اللبن الخض

والتي تستخدم بشكل خليط أو لوحدها وتم تخثرها جزئياً أو كلياً قبل انفصال المصل أو بعد التخلص من قسم محدد من الطور المائي . يشتمل تصنيع الأجبان المراحل التالية :

1 – تحضير الحليب وتنظيم محتواه من البروتينات والمادة الدسمة .

2 – تخثر الحليب والحصول على الهلام .
3 – التخلص من المصل والحصول على الخثرة .
4 – الإنضاج والحصول على الشكل النهائي للأجبان .

2-9 تحضير الحليب في صناعة الأجبان :

Pr9paration des laits de fromagerie

تؤدي التبدلات النوعية والكمية للحليب إلى إيجاد حلول تكنولوجية وفق Mahout 2000 يعزى إليها وجود التنوع الكبير في الأجبان . يعتبر تحضير الحليب في صناعة الأجبان مرحلة أساسية للأسباب التالية :
1 – رغبة المستهلك في الحصول على منتج يمتاز بنوعية ثابتة خلال أوقات مختلفة وأماكن متعددة .
2 – مظهر تشريعي : يجب أن تتطابق خصائص الجبنة وفقاً للتشريعات والمواصفات المطلوبة المتعلقة بالمحتوى من المادة الصلبة الكلية والعلاقة بين المادة الدسمة إلى المادة الصلبة الكلية والوزن الثابت والنوعية الصحية .
3 – مظهر تقني : ضرورة تحسين إمكانية تخثر الحليب المحفوظ على درجة حرارة باردة .
4 – آلية وميكانيكية الطرق التكنولوجية للزيادة الإنتاجية وتقليل دورها في الأجبان ، كل ذلك يتطلب المعرفة الدقيقة لـ :
- الخصائص الفيزيائية والكيميائية للحليب .
- سلوكية الحليب إزاء المعاملات التكنولوجية .
- التقنية المطبقة في كل مرحلة عند تصنيع الحليب .

2-9 -1- تنظيم تركيب الحليب فيزيائياً وكيميائياً

Standardisation physicochimique de la composition du lait

يقصد به تنظيم الخصائص الفيزيائية والكيميائية للحليب المستخدم في صناعة الأجبان وبصورة خاصة ينظم المحتوى من :
- المادة الدسمة .
- المواد البروتينية .
- التوازن المعدني .
- رقم pH .
- اللاكتوز .

2-9 1-1 : تنظيم محتوى الحليب من المواد الآزوتية البروتينية :

يتبدل تركيب الحليب من المواد البروتينية وفقاً للفصل والمناطق مما يؤثر على إمكانية تخثر الحليب ومردود الأجبان ونوعية الأجبان المصنعة . يتحسن مردود

الأجبان عند ارتفاع المحتوى من المادة البروتينية في الحليب بالإضافة إلى تحسن نوعية الأجبان وهذا ما يفسر ارتفاع المتانة للخثرة الناتجة وسهولة انفصال المصل عن الخثرة والذي يؤدي إلى انخفاض الفقد من الخثرة ضمن المصل .

تتدخل أيضاً طبيعة البروتين في إمكانية وقابلية الحليب للتخثر فمثلاً يختلف تركيب الحليب الناتج عن التهاب الضرع والحليب في بداية ونهاية موسم الإدرار وخاصة محتواه من البروتينات حيث ينخفض المحتوى من الكازئين المتزامن مع ارتفاع المحتوى من البروتينات الذائبة وحدوث تغير في التوازن الملحي حيث ينخفض الكالسيوم والفوسفور والمغنزيوم ويترافق بزيادة المحتوى من الصوديوم .

يؤدي حفظ الحليب على درجة حرارة منخفضة إلى نتائج هامة على مستوى إمكانية تخثر الحليب ونتائج ذلك على بقية مراحل التصنيع . من أهم النتائج الفيزيائية والكيميائية الأساسية التي تحدث بشكل أساسي على مستوى الكازئين والتوازن الملحي :

فعلى مستوى الكازئين : يلاحظ زيادة في نسبة الكازئين الذائب وخاصة الكازئين B وبدرجة أقل ، الكازئين K والكازئين S α ويوازي ذلك انخفاض في حجم الجسيمات وزيادة درجة الإماهة ويترتب عن هذه النتائج :

- إطالة في الزمن اللازم للتخثر .
- الحصول على خثرة ضعيفة المتانة .
- انخفاض في المردود .

أما على المستوى المعدني يلاحظ زيادة في درجة ذوبان فوسفات الكالسيوم الغروية ويترتب عنه انخفاض في أبعاد الجسيمات . يؤدي تطبيق المعاملات الحرارية على درجة أعلى من 63- 65 م^{o} خلال 30 ثانية إلى زيادة الشكل الغروي للكالسيوم مما ينتج عنه صعوبة تكوين وخلق روابط بين الجسيمات عند تشكل الهلام ومن جهة أخرى يؤدي التسخين إلى تبدل وتغير في البروتينات الذائبة مع تشكيل معقد بين بيتالاكتوجلوبولين والكازئين K مما يتعارض مع فعل الكيموزين والذي يترجم بإطالة الزمن اللازم للتخثر . يكمن الأثر الإيجابي في المعاملة الحرارية عند تبدل وتشوه بروتينات المصل في الاحتفاظ بها ضمن الأجبان مما يزيد المردود في حالة الأجبان الطازجة والطرية والمضغوطة غير المطبوخة . بغية تجنب وتبدل محتوى الحليب من المواد البروتينية يفضل تنظيم معدل البروتين بين 35 إلى 40 غ في اللتر وفقاً للطرق المختلفة التالية :

- إغناء الحليب المستخدم في صناعة الأجبان بإضافة بودرة الحليب والتي تعطي الحليب نفس النتائج بالمقارنة مع تركيز الحليب بالارتشاح المعاكس أو بالتبخير تحت تفريغ ، وتركيز الحليب بالترشيح فوق العالي UF حيث تسمح هذه التقنية في رفع درجة تركيز بروتينات الحليب أو المصل وترتفع العلاقة بين البروتينات إلى المادة الصلبة الكلية من 0.36 إلى 0.65 وأحياناً حتى 0.95 عند تطبيق الترشيح

فوق العالي مرة ثانية بعد التمديد بالماء ويمكن إضافة المركز بالتركيز فوق العالي والمجفف بمعدل 4إلى 8غ من البودرة لكل ليتر حليب .
- إغناء الحليب بالكازئينات حيث تضاف كازئينات الكالسيوم أو كازئينات الصوديوم بمعدل 5غ/اللتر وتؤدي الإضافة إلى تغيرات وتبدلات على مستوى التوازنات المعدنية مما يتطلب تغييراً في العوامل التكنولوجية .
- إغناء الحليب بالكازئين الطبيعي عند التركيز بالترشيح الفائق حيث يزداد المحتوى من معقد فوسفو كازئينات الكالسيوم مما يحسن من فعل المنفحة وزيادة المردود . وفق Cheftel et al 1985 , (Cayot 1998 et al)

2-9 -1-2 : تنظيم المحتوى من المادة الدسمة :

يجب تنظيم العلاقة بين المادة الدسمة والمادة الصلبة اللا دهنية في الحليب المستخدم للوصول إلى نموذج الأجبان المطلوب والذي تتوافق خصائصه مع المواصفات القياسية وهذا يتطلب استخدام خليط من حليب كامل الدسم وحليب فرز وفق النسب المطلوب تحديدها . إذا كان لدينا :

MG محتوى الحليب الخام من المادة الدسمة غ/اللتر .

mg محتوى الحليب الموجه إلى التصنيع من المادة الدسمة غ/اللتر .

T حجم الحليب الخام اللازم فرزه لـ 100 لتراً .

C حجم القشدة الناتجة عن فرز 100 لتراً من الحليب الخام .

$$\text{حجم الحليب الواجب فرزه } T = 10000\frac{(MG - mg)}{100MG - mgC}$$

فإذا كان لدينا حليب خام محتواه من المادة الدسمة 36غ/اللتر ونريد تحضير حليب لتصنيع الأجبان محتواه ومن المادة الدسمة 30غ/اللتر وإذا كان حجم القشدة الناتج 10% فيكون حجم الحليب الواجب فرزه يساوي 18.1 لتراً وفقاً للمعادلة السابقة :

$$= \frac{10000(36-30)}{100x36-30x10} = 18.1$$

2-9 1-3 التوازن الملحي للحليب وتنظيم رقم pH الحليب والمحتوى من اللاكتوز :

لقد أشرنا سابقاً إلى أن تبريد الحليب يزيد من ذوبان فوسفات الكالسيوم الغروية في حين أن تطبيق المعاملة الحرارية على درجة حرارة أعلى من البسترة له مفعول معاكس . يمكن اعتبار أن محتوى الحليب من الكالسيوم يتغير خلال موسم

الإدرار وعلاقة الكالسيوم بالآزوت تؤثر أيضاً على الزمن اللازم للتخثر ولقد تبين أن الحليب الذي يتخثر ببطء يتصف بعلاقة $\frac{Ca}{N} = 0.2$ في حين أن هذه العلاقة تصل إلى 0.23 في الحليب الطبيعي وسريع التخثر . تبين الدراسات الحديثة أن علاقة الكالسيوم إلى الفوسفات والليمونات في الطور المائي تؤثر على الزمن اللازم لبداية التخثر حيث يزداد الزمن اللازم للتخثر عندما تكون العلاقة منخفضة ويترتب عنه :

- إطالة الزمن الكلي اللازم للتخثر .
- الحصول على هلام طري
- صعوبة انفصال المصل
- انخفاض في مردود الأجبان .

ولتلافي الآثار السلبية الناتجة عن تبريد الحليب أو تعريضه إلى معاملة حرارية يمكن تطبيق إحدى المعاملات التالية :

- إضافة كلوريد الكالسيوم بنسبة 50 إلى 200مغ/اللتر مما يزيد الكالسيوم الذائب ويخفض رقم الـ pH .
- تطبيق الإنضاج لرفع درجة الحموضة خلال مدة 15 ساعة على درجة حرارة 10م^{o} أو 1-2 ساعة (30-35م^{o}) .

- تنظيم رقم pH الحليب :

يتحكم رقم pH الحليب في زمن التخثر ودرجة تمعدن الخثرة لأن الحموضة المرتفعة تزيد من ذوبان الكالسيوم الغروي وعند إضافة كلور الكالسيوم المترافق مع رفع درجة الحموضة ينخفض الزمن اللازم للتخثر نظراً لأن رقم pH الحليب قريب من رقم الحموضة الأمثل لفعالية المنفحة حوالي 5.5 . يؤدي خفض رقم الحموضة إلى انخفاض في درجة إماهة الجسيمات وتناقص في الشحنات السالبة مما يزيد من عدم ثباتية الطور الغروي وانخفاض الزمن اللازم للتخثر وزيادة سرعة تقوية متانة الخثرة والحصول على خثرة لها متانة متزايدة بفضل وجود الكالسيوم المتشرد والغروي على مستوى الطور الثاني من التخثر، يمكن أن ينظم رقم الحموضة وفق طرق عديدة :

- بإضافة مادة جلوكونو دلتا لاكتون التي تتحلل إلى حمض جليكونيك .
- إضافة بروتينات حامضية بمعدل 1إلى 7غ/اللتر وفقاً لرقم الحموضة المطلوب ويمكن إضافة الأحماض العضوية مثل حمض اللبن .
- تطبيق الإنضاج الحيوي على درجة حرارة 30-35م^{o} خلال ساعة أو إضافة 0.1% على درجة حرارة 10م^{o} خلال 15 ساعة .
- إضافة كلوريد الكالسيوم ضمن مجال 80 وحتى 200مغ/اللتر .

- اللاكتوز Lactose :

اللاكتوز مادة أساسية للتخمر اللبني حيث يؤثر المحتوى الأولي من اللاكتوز على مسيرة التحمض اللبني . تسبب التراكيز المرتفعة في زيادة درجة الحموضة والتي تؤثر على نوعية الأجبان أما إذا كان المحتوى منخفضاً يكون ارتفاع درجة الحموضة بطيئاً ومن المعروف أن خفض رقم الحموضة يؤثر على قوام الخثرة وإنضاج الأجبان . في بعض أنواع الأجبان يمدد المحتوى من اللاكتوز بغسيل الخثرة أو تعريض الحليب إلى الترشيح فوق العالي لخفض محتواه من اللاكتوز والأملاح المعدنية والمواد الآزوتية غير البروتينية .

2-9 -2 التنظيم الحيوي : Standardisation biologique

يسبب تبريد الحليب على درجة حرارة 3-5م° خلال مدة 72 ساعة إلى حدوث تغيرات في التوازن الملحي والتركيب الجسيمي حيث يتحلل الكازئين بفعل البلاسمين (البروتيئاز القلوي) وبروتيئاز البكتريا الأليفة لدرجة الحرارة المنخفضة . عند استخدام الحليب المبرد في صناعة الأجبان ينخفض المردود الناتج بفعل تحلل قسم من الكازئين وفقد قسم من المواد الآزوتية ضمن المصل والذي يترافق أحياناً في ظهور الطعم المر . تساهم بكتريا حمض اللبن بدور هام في المراحل المختلفة عند تصنيع الأجبان ويسمح إنتاج حمض اللبن في خفض رقم pH الحليب وتساهم أيضاً مع الإنزيمات المخثرة في تغيير الخصائص الفيزيائية والكيميائية للوسط والذي يؤثر على قوام الأجبان الناتجة وتساهم في تحضير شروط مناسبة لنمو بادئات الإنضاج (الخمائر والفطور) وتضفي على الأجبان الخصائص الحسية بفعل قدرتها على تحلل البروتينات ولذلك من الضروري الاهتمام في عملية التخمر . يؤدي تطبيق المعاملة الحرارية 63م° / 30 دقيقة ، 72م°/20-30ثانية إلى تخفيض العدد الأولي للبكتريا الطبيعية الموجودة في الحليب وبنفس الوقت تتأثر الخصائص التكنولوجية للحليب . يمكن استخدام بعض المعاملات لتنقية الحليب أو لتنظيف الحليب Bactofugation أو الترشيح الفائق كطرق بديلة للمعاملات الحرارية وذلك بالتخلص من 95 إلى 99% من البكتريا على درجة حرارة 30-50م° والتي منها كلوستريديا Clostridia دون أن تؤثر على الخصائص التكنولوجية. تهدف عملية التنظيم الحيوي إلى :

- تنظيم الزمن اللازم للتخثر
- تحسين عوامل النمو
- تنظيم رقم الحموضة المطلوب

ويمكن توضيح مخططي الإنتاج وفقاً لنوعية الحليب الميكروبيولوجية :

المخطط الأول : يطبق الإنضاج على درجة حرارة 30-35م° خلال مدة ساعة على الحليب جيد النوعية الميكروبيولوجية والمحفوظ على درجة حرارة 4م° لمدة 24 ساعة وذلك لخفض رقم الحموضة pH من 6.7 إلى 6.65 .

المخطط الثاني :الإنضاج على درجة حرارة 30 – 35 م^{o} لمدة ساعة وذلك لخفض رقم الحموضة pH من 6.65 إلى 6.6 ويطبق على الحليب متوسط النوعية الميكروبيولوجية حيث يكون العدد الكلي أعلى من 100.000/مل وعدد الأحياء الدقيقة الأليفة لدرجة الحرارة المنخفضة أعلى من 20.000/مل ويفضل تطبيق معاملة حرارية 63-65م^{o} خلال 20 ثانية لتطبيق الإنضاج الحيوي والفيزيائي . يهدف تطبيق المعاملة الحرارية 72م^{o} /خلال 15 ثانية قبل تطبيق الإنضاج على درجة حرارية مرتفعة إلى التخلص من البكتريا الطبيعية في الحليب والبكتريا المضافة عند تطبيق إنضاج أولي على درجة حرارة منخفضة وذلك لتجنب خطر ملتهمات الجراثيم والتلوث . من أهم بكتريا حمض اللبن المستخدمة نشير بصورة أساسية إلى البكتريا المتجانسة Lactococcus lactis spp lactis

Lactococcus lactis spp cremoris

وفقاً Chanda 2006

تهدف إضافة البادئ بعد المعاملة الحرارية وتطبيق الإنضاج لمدة ساعة على درجة حرارة 30-35م^{o} إلى توجيه والسيطرة على رقم الحموضة عند إضافة المنفحة وكذلك التحكم في درجة الحموضة خلال انفصال المصل وتعتبر هذه المرحلة هامة جداً كونها تتحكم في المحتوى من العناصر المعدنية والمادة الصلبة الكلية ، (الجدول 9-1) وفقاً لـ Mahaut et al 2000 الجدول (9-1) أهم بكتريا حمض اللبن المستخدمة في صناعة الأجبان والمنتجات الأخرى .

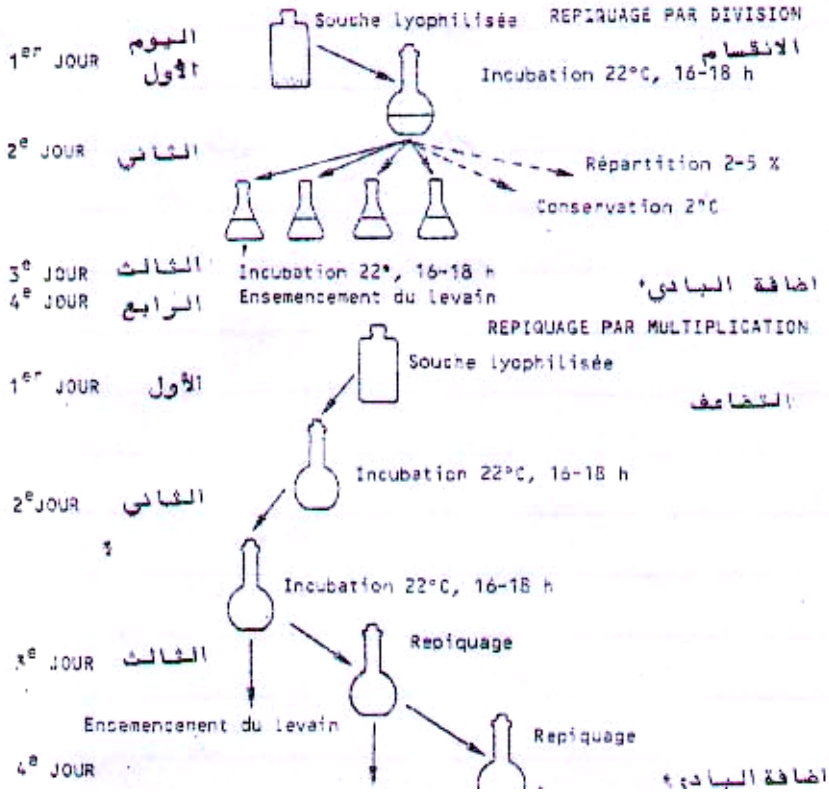
نموذج البادئ	الاسم القديم	الاسم الجديد	المنتج
Mésophiles			
	Streptococcus cremoris	*Lactococcus lactis* ssp *cremoris*	أجبان طازجة
			أجبان فيبا
	Streptococcus lactis	*Lactococcus lactis* ssp *lactis*	أجبان طرية
	Streptococcus cremoris	*Lactococcus lactis* ssp *cremoris*	
			أجبان مضغوطة
			زبدة
	Streptococcus lactis	*Lactococcus lactis* ssp *lactis*	زبدة
	Leuconostoc citrovorum	*Leuconostoc mesenteroides* ssp *cremoris*	
	Leuconostoc lactis	*Leuconostoc lactis*	أجبان طرية
	Streptococcus cremoris	*Lactococcus lactis* ssp *cremoris*	
	Streptococcus lactis	*Lactococcus lactis* ssp *lactis*	أجبان مضغوطة
	Streptococcus diacetylactis	*Lactococcus lactis* ssp *lactis*	زبدة
	Streptococcus cremoris	*Lactococcus lactis* ssp *cremoris*	
	Streptococcus lactis	*Lactococcus lactis* ssp *lactis*	اللبن الخاثر
	Streptococcus diacetylactis	*Lactococcus lactis* ssp *lactis* biovar *diacetylactis*	موزاريلا
	Leuconostoc citrovorum	*Leuconostoc mesenteroides* ssp *cremoris*	أجبان مضغوطة
	Leuconostoc lactis	*Leuconostoc lactis*	
Thermophiles			
	Streptococcus thermophilus	*Streptococcus salivarius* ssp *thermophilus*	
	Lactobacillus bulgaricus	*Lactobacillus delbruckii* ssp *bulgaricus*	
	Streptococcus thermophilus	*Streptococcus salivarius* ssp *thermophilus*	
	Lactobacillus helveticus	*Lactobacillus helveticus*	
	Lactobacillus lactis	*Lactobacillus delbruekii* ssp *lactis*	

تحضر البوادئ اعتباراً من مزارع بكتريا سائلة مركزة أو مجففة أو مجفدة ويتطلب تحضير البادئ مرحلتين :

1- تحضير مزرعة الأم .

2- تحضير مزرعة البادئ والتي تمثل 1-2% من حجم الحليب المستخدم في التصنيع .

يتضمن تحضير مزرعة الأم سلسلة عمليات الزرع مع زيادة الحجوم المزروعة وفق طريقتين بالانقسام أو التضاعف للحصول على البادئ المستخدم في التصنيع . تمتاز طريقة الانقسام بدرجة أمان عالية على المستوى البكتريولوجي إلا أن حفظ السلالات لعدة أيام على درجة حرارة 2-4°م يمكن أن يؤدي إلى فقد في الفعالية أما طريقة التضاعف تمتاز بفعالية مثلى للسلالات إلا أنه يخشى من خطر التلوث وعدم التوازن بين السلالات الشكل (9-1) . يحضر البادئ في أحواض مزدوجة الجدران مجهزة بغطاء وخلاط وينصح أيضاً باستخدام أحواض معزولة حرارياً للحد من التلوث . عند تحضير مزرعة الأم يستخدم الحليب المعقم الفرز بالطريقة القديمة (120° م / 20 دقيقة) أما عند تحضير البادئ المضاف يستخدم حليب مبستر فرز أو معامل حرارياً على درجة حرارة 90° م خلال 30 دقيقة مع الإشارة إلى ضرورة إضافة 1-2% عند تحضير المزارع .



الشكل رقم (9-1) : تحضير البادئ

3-9 التخثر : Coagulation

يحدث التخثر نتيجة تبدل غير عكوس للحالة السائلة في الحليب إلى الحالة نصف الصلبة والتي تدعى الخثرة وتتحكم خصائصها في انفصال المصل والخصائص النهائية للأجبان .

توجد مجموعة من العوامل القادرة على أن تؤثر في مسيرة التخثر للحليب والخصائص الفيزيائية للخثرة ، من هذه العوامل :

- التبدلات الفصلية .
- طور الإدرار .
- العوامل الوراثية .

حيث تؤثر هذه العوامل في طبيعة ومحتوى البروتين وأبعاد جسيمات الكازئين والمحتوى من الكالسيوم الذائب وفوسفات الكالسيوم الغروية ويضاف إلى تلك القائمة مجموعة من المعاملات التكنولوجية مثل التبريد والمعاملات الحرارية والإنضاج التي تغير من الخصائص الفيزيائية والكيميائية للحليب .

يمكن تمييز ظاهرة التخثر بثلاثة عوامل محددة :

1 – الزمن اللازم لبداية التخثر ويتوافق مع الزمن الفاصل بين إضافة المنفحة وبداية التسبخ .
2 – الزمن الكلي للتخثر ويتوافق مع الزمن الفاصل بين إضافة الأنزيم المخثر وتقطيع الخثرة ويساوي بشكل عام ضعفي الزمن اللازم لبداية التخثر في الأجبان المضغوطة وثلاثة أضعاف الزمن اللازم لبداية التخثر في الأجبان الطرية .
3 – زمن تقوية وتقسية الهلام ويتوافق مع الزمن الفاصل بين بداية التخثر والزمن الكلي للتخثر .

9-3 -1 ثباتية الجسيمات : Stabilitϑ de la micelle

جسيمات الكازئين مواد غروية أليفة للماء ويحافظ على ثباتيتها :
- الخصائص الفيزيائية للسطح .
- درجة الإماهة .

يتصف الكازئين بالصفة الحامضية ويمتاز بشحنة كهربائية سالبة مما يحرض تنافراً قوياً يمنع من اقتراب الجسيمات من بعضها والتي تحتوي على كمية هامة من الماء 3.7غ/غ من البروتينات ويشكل جزءاً من الماء غلاف الإماهة الذي يحمي الجسيمة . تعود ثباتية الجسيمة أيضاً إلى الإعاقة الناتجة عن القسم C النهائي للكازئين كابا والذي يحد من التفاعلات الداخلية وتُعتمد عوامل الثباتية نفسها على الخصائص المميزة للكازئين :
- تركيب الجسيمة من أقسام الكازئين .
- المحتوى من فوسفات الكالسيوم الغروية .
- شروط الوسط (pH والقوة الشاردية وطبيعة الشوارد) . وحدوث أي تغير في الجسيمات أو في الوسط وسيكون له تأثير على الثباتية والتي تؤدي إلى حدوث ظاهرة التخثر كالحموضة أو تحلل البروتينات بفعل بعض الإنزيمات أو المعاملات الحرارية .

يعتبر نزع ثباتية المعلق الغروي أساساً لمجموعة من التقنيات الخاصة المستخدمة في صناعة الأجبان ويمكن أن نميز بين نموذجين من التخثر : (1) التخثر الحامضي – (2) التخثر الأنزيمي .

9-3 -2 - التخثر الحامضي : Coagulation par acidification

9-3-2-1 ميكانيكية التخثر الحامضي :

التخثر الحامضي ظاهرة معقدة وتحتاج إلى فهم وتوضيح ما زال غير كاف لفهم التبدلات التي تحدث على التركيب وانفصال المصل ، تؤدي إضافة شوارد الهيدروجين بالتخمر اللبني أو بإضافة مادة جلوكونو دلتا لاكتون أو CO_2 إلى تراجع في تشرد الوظائف الحامضية ويترافق أو يتلازم ذلك مع إذابة وانحلال

تدريجي للكالسيوم والفوسفات اللا عضوية للجسيمة وتؤدي الحموضة في نفس الوقت إلى إذابة جزئية للكازئين **αs1 , αs2 ,β , k** على درجة الحرارة العادية وتزداد درجة الإذابة مع انخفاض درجة الحرارة إلى 4^{o} م . عند رقم pH أقل من 5.2 يكون كل الكالسيوم الغروي والفوسفات على الحالة المنحلة وتسبب درجة الحموضة تفكك الكالسيوم المرتبط مع فوسفوسيرين مما يحرض تفريق الجسيمات وإعادتها على شكل تحت وحدات الجسيمة .

تؤدي زيادة الكالسيوم والفوسفات الذائبة إلى رفع القوة الشاردية مضعفة التفاعلات الكهربائية الراكدة ومخفضة الخصائص الأليفة للماء لأقسام الكازئين k , β مما يزيد من إضعاف الروابط غير الأليفة للماء بين أقسام الكازئين ويترجم ذلك بنزع البلمرة للكازئين αs مؤدياً إلى إعادة تنظيم البروتينات على شكل شبكة يليها تشكل الهلام عند رقم pH 4.6 .

9-3 -2-2 : العوامل المؤثرة في التخثر الحامضي :

تعتمد الخصائص الفيزيائية والكيميائية للهلام اللبني على عوامل عديدة منها :

- المحتوى من البروتينات .
- درجة الحرارة .
- رقم pH النهائي وسرعة ارتفاع درجة الحموضة .
- إضافة العناصر المعدنية .

9-3-2-2-1 المحتوى من البروتينات :

من المعروف أن سرعة إعادة تنظيم البروتينات وقوة ومتانة الهلام الناتج تزداد كلما ارتفع المحتوى من البروتينات .

9-3-2-2-2 درجة الحرارة :

تؤثر درجة الحرارة في التوازن الملحي وكذلك ثباتية الكازئين على درجة حرارة بين 0 و5^{o} م يبقى 20% من الكالسيوم الغروي مرتبطاً في الكازئين عند رقم pH 4.6 مع ارتفاع في اللزوجة دون أن يتخثر الحليب وتعود هذه الثباتية للكازئين على درجة حرارة منخفضة إلى وجود الكالسيوم الغروي وزيادة في درجة الإماهة مع انخفاض في التفاعلات غير الأليفة للماء . يتم نزع الثباتية عند رقم الـ pH كلما ارتفعت درجة الحرارة فعند رقم pH 5.2 يحدث نزع الثباتية عند درجة حرارة 40^{o} م في حين أنه يحدث على درجة حرارة 20^{o} م عندما يكون رقم الـ pH 5 ويستفاد من هذه الخصائص الفيزيائية والكيميائية عند تصنيع الكازئين الذي يتصف بمحتوى قليل من المعادن وشدة الألفة للماء .

9-3-2-2-3 : إضافة العناصر المعدنية :

تهدف إضافة كلوريد الكالسيوم إلى الحليب بعد تطبيق معاملة حرارية شديدة عند تصنيع الأجبان الطازجة (90-95°م خلال 1-5 ثانية) إلى زيادة الكالسيوم الشاردي وانخفاض رقم الحموضة pH ودرجة الإماهة للجسيمات وقد يساهم الكالسيوم الشاردي في إعادة تنظيم الشبكة البروتينية خلال تشكيل الهلام وإعطائه المتانة المتزايدة .

9-3-2-2-4 : سرعة ارتفاع درجة الحموضة :

إن العلاقة بين سرعة ارتفاع درجة الحموضة وإعادة التنظيم الفراغي لها دور محدد لخصائص قوام الهلام . إن عقدة الشبكة البروتينية تتكون من تحت وحدات الجسيمة بفعل روابط ذات طبيعة غير أليفة للماء وهذا ما يفسر الحصول على هلام متفتت وقليل التقلص ويمتاز بمرونة ومطاطية ضعيفة مع وجود مسامية عالية ولذلك لا يمكن إخضاع الهلام الناتج عن التخثر الحامضي إلى معاملات ميكانيكية .

9-3-3 التخثر الإنزيمي للحليب :

Coagulation du lait par voie enzymatique

الأنزيمات المخثرة :

يوجد العديد من الإنزيمات ذات الأصل الحيواني والنباتي والميكروبي القادرة على تخثر الحليب :

- الأنزيمات من أصل حيواني : المنفحة (العجول ، الخروف ، الجدي) الببسين (الديك ، الخنزير)
- الأنزيمات من أصل نباتي : فيسين Ficine ، بروميلين Bromelaine
- الأنزيمات من أصل ميكروبي : أنزيمات فطرية Endothia parasitica ، Mucor pusullus ، Mucor miehei ، أنزيمات بكتيرية Bacillus subtilis ، (Ramet 1984) .

تعتبر المنفحة المستخرجة من معدة صغار المميزات غير المفطومة من أكثر الأنزيمات استخداماً أما الأنزيمات البديلة الأخرى فهي أقل كلفة ولكنها تمتاز بفعالية عالية في تحلل البروتين وتؤدي إلى الحصول على أجبان مرة الطعم وانخفاض في المردود . في الوقت الحالي ، بفضل استخدام الهندسة الوراثية التي سمحت في إضافة مورث على بعض الأحياء الدقيقة مثل Aspergillus و Kluyveromyces والتي تؤدي إلى الحصول مستحضرات تجارية .

المنفحة خليط من الكيموزين والببسين يستخلص من مرث الجدار الداخلي للمعدة لدى صغار المجترات ضمن محلول 10% ووفقاً للتشريع الفرنسي يجب أن تحتوي المنفحة على 520مغ/اللتر من الكيموزين الفعال في اللتر وأن العلاقة بين الكيموزين والببسين يجب أن تكون أعلى أو تساوي 1.38 وهذا يمثل أن 75 إلى 80% من الفعالية المخثرة تعود إلى الكيموزين .

الكيموزين بروتيئاز حامضي يفرز على شكل طليعة الأنزيم غير الفعال ويتم تنشيط طليعة الأنزيم إلى الكيموزين آنياً في المعدة عند رقم pH 5 بفعل تحلل رابطة ببتيدية للقسم N النهائي للجزيء :

- وزنه النوعي 30700غ/مول .
- الثباتية العظمى عند رقم PH 5-6 مع رقم حموضة أمثل 5.5 .
- درجة الحرارة المثلى 42° م وتقل عند انخفاض درجة الحرارة عن درجة الحرارة العادية 20-30° م وتثبط الفعالية عن درجة 65° م ولذلك ينصح بحفظ المنفحة على درجة حرارة تتراوح بين 0 و 5° م .

يمتاز الكيموزين بفعالية مزدوجة ، فعالية مخثرة حيث يتحلل الكازئين كابا وفعالية محللة للبروتين بشكل عام على كافة البروتينات خلال الإنضاج . تعتمد كمية الأنزيم ضمن الأجبان على طريقة التصنيع المطبقة حيث يتم الاحتفاظ بـ 12-15% في الأجبان المضغوطة المطبوخة مقابل حوالي 30-50% في الأجبان الطرية والمضغوطة غير المطبوخة ولذلك فإن أثر الفعل المحلل للبروتين أكثر أهمية في الأجبان المضغوطة غير المطبوخة لأن رقم حموضتها 5.2 يقترب من رقم الحموضة الأمثل لفعالية المنفحة أما في الأجبان الطرية تختفي فعالية المنفحة بسبب وجود الفعالية المحللة المرتفعة للبروتينات بفعل الأحياء الدقيقة الموجودة على سطح الأجبان أو نتيجة التثبيط الحراري في الأجبان المضغوطة المطبوخة . تقدر بشكل عام الفعالية المخثرة للمستحضرات التجارية للمنفحة بتحديد الزمن اللازم لتخثر الحليب .

فقوة المنفحة عبارة عن حجم الحليب الطازج الخليط المتخثر بوحدة حجم من المنفحة خلال 40 دقيقة وعلى درجة حرارة 35° م حيث :

قوة المنفحة = 2400 × حجم الحليب / الزمن اللازم للتخثر بالثواني × حجم المنفحة

أما وحدة المنفحة عبارة عن كمية الأنزيم الموجودة في 1 مل من المحلول القادرة أن تخثر 10مل من مادة التفاعل خلال 100 ثانية وعلى درجة حرارة 30° م .

وحدة المنفحة = حجم الحليب × 10/حجم المنفحة × الزمن في الثواني

وتحضر مادة التفاعل من 12% بودرة حليب فرز محضر على درجة حرارة منخفضة ضمن محلول من كلور الكالسيوم مول/50 .

وأن وحدة المنفحة = قوة المنفحة × 0.00416

9-3-3-1 ميكانيكية التخثر الأنزيمي :

تشتمل ميكانيكية التخثر الأنزيمي على ثلاث مراحل :

التحلل الأنزيمي للكازئين كابا

تراكم الجسيمات المنزوعة الثباتية .

التقلص وتشكيل الهلام .

9-3-3-1-1 : التحلل الأنزيمي :

يتوافق الطور الأنزيمي بتحلل بروتيني محدود للكازئين كابا على الرابطة 105-106 حيث يتشكل (1) بارا كازئين غير ذواب (1-105) (2) كازئين ماكروببتيد أليف الذوبان في الماء (106-169) يؤدي تحرر كازيئنو جليكو ببتيد إلى انخفاض في الشحنة السالبة للجسيمة أي انخفاض قوى التنافر ودرجة الإماهة المسؤولة عن ثباتية الجسيمة .

9-3-3-1-2 : تراكم الجسيمات :

عند رقم pH 6.6 وتحلل 80-90% من الكازئين كابا والذي يتوافق مع 60% من الزمن اللازم لبداية التخثر يحدث التراكم نتيجة تشكل روابط كهربائية راكدة وروابط غير أليفة للماء بين الجسيمات المتغيرة .

9-3-3-1-3 : تشكيل الهلام :

تخضع الجسيمات المتراكمة إلى إعادة تنظيم معمقة بسبب وجود روابط ذات طبيعة متنوعة تنشأ بين الجسيمات (روابط ملحية ، روابط غير أليفة للماء، روابط كهربائية راكدة) لتشكل الهلام المتكون من شبكة طرية تحتوي ضمنها المصل والمادة الدسمة . يوجد الكازئين الذي يمتاز بمحتوى مرتفع من العناصر المعدنية ضمن الهلام المتشكل وهذا ما يضفي على هلام المنفحة الخصائص المتميزة عن الهلام الحامضي اللبني ، فهلام المنفحة مرن ومتماسك، وقابل للتقلص وغير مسامي .

9-3-2 : العوامل المؤثرة في التخثر الإنزيمي :

توجد عوامل عديدة قادرة أن تؤثر في تخثر الحليب والخصائص الفيزيائية والكيميائية للخثرة الناتجة . وفقاً لـ Brµle et al 1997

9-3-3-2-1 : تركيز الأنزيم :

يتناسب زمن التخثر عكسياً مع تركيز الأنزيم ضمن مجال حراري بين 25 و 40° م وخلال زمن تخثر يتراوح بين 2 و40 دقيقة . يؤثر تركيز الأنزيم أيضاً على سرعة ازدياد المتانة والسرعة في الوصول إلى المتانة النهائية ولكنه لا يؤثر على المتانة النهائية .

9-3-3-2-2 : درجة الحرارة :

درجة الحرارة المثلى لفعالية المنفحة تتراوح بين 40-42° م ولا يحدث التخثر على درجة حرارة أدنى من 10° م ويكون الزمن في حده الأدنى عند درجة حرارة 40-42° م ويزداد الزمن مع ارتفاع درجة الحرارة ولا يتخثر الحليب عند الوصول إلى درجة حرارة 65° م بسبب تثبيط فعالية المنفحة . يلاحظ انخفاض الزمن اللازم للوصول إلى المتانة النهائية عند ارتفاع درجة الحرارة عن 30° م علماً بأن دليل المتانة ينخفض مع ارتفاع درجة الحرارة . إن Q_{10} للطور الإنزيمي يساوي 2 في

حين أنه يساوي 15 في الطور الثاني للتخثر ولذلك تعتبر درجة الحرارة وسيطاً للفصل بين الطورين عند ترك المنفحة مع الحليب على درجة حرارة منخفضة ، يلاحظ حدوث الطور الإنزيمي وعدم التخثر ويكفي تسخين الحليب للحصول على التخثر .

9-3-3-3-2 : pH :

لرقم الحموضة تأثير هام على خصائص الخثرة حيث يؤدي انخفاض رقم الحموضة إلى انخفاض الزمن اللازم للتخثر فعند المرور من PH 6.5 إلى 5.6 تزداد سرعة التخثر بمعدل 30 وهذا ناتج عن سرعة تحلل الكازئين بمعدل 7 وأن انخفاض الـ pH يسرع في الوصول إلى المتانة أما المتانة النهائية ترتفع عند انخفاض رقم الحموضة من 6.6 إلى 6.0 بسبب وجود كمية مرتفعة من الكالسيوم المتشرد في حين أن الانخفاض إلى رقم أدنى من 6 يفقد الكازئين معادنه وتزداد درجة تبعثر التركيب الجسيمي ويصبح كلياً عند pH 5.2 وعلى درجة حرارة 40 ^{o}م مما ينتج عنه انخفاض وضعف في بنية الشبكة البروتينية .

9-3-3-3 الخصائص الفيزيائية والكيميائية للحليب :

9-3-3-3-1 : المحتوى من الكالسيوم :

يتطلب تشكل الهلام عند التخثر بالمنفحة وجود روابط فوسفو كلسية والتي تتأثر بالمحتوى الطبيعي للكالسيوم في الحليب ويؤدي إضافة كلوريد الكالسيوم إلى زيادة الكالسيوم المتشرد والغروي والتي تؤثر في زيادة حجم الجسيمات وخفض الـ pH مما يقلل الزمن اللازم للتخثر وزيادة متانة الهلام .

9-3-3-3-2 : المحتوى من الكازئين :

لا يؤثر المحتوى من الكازئين على زمن تخثر الهلام نظراً لأن النسبة المئوية للتحلل في البداية مستقلة عن المحتوى من البروتينات وأن سرعة التحلل الأنزيمي متناسبة طردياً مع المحتوى من البروتينات وبالمقابل فإن سرعة التراكم ومتانة الهلام تزداد مع ازدياد المحتوى من الكازئين .

9-3-3-3-3: أبعاد الجسيمات :

إن أبعاد الجسيمات مرتبط في الحصص النسبية للكازئين $\alpha S1$, β , k وتبين وجود علاقة إيجابية بين زمن التخثر وحجم الجسيمات ، في حالة الجسيمات ذات القطر الصغير والغني في كازئين كابا ، يكون التحلل أسرع . يتصف الهلام المتشكل من حليب يحتوي على جسيمات صغيرة بمتانة أكبر بالمقارنة مع الحليب المحتوي على جسيمات كبيرة .

9-3-3-3-4 : المعاملات المسبقة للحليب :

يؤدي تبريد الحليب لمدة 48 إلى 72 ساعة على درجة حرارة 2-3°م إلى تغيرات في التوازن الملحي وتركيب الجسيمات ويترتب عنه إطالة في الزمن اللازم لتخثر الحليب وتشكل هلام طري وينتج عنه انخفاض في المردود . يمكن تصحيح هذه الآثار العكوسة : بإضافة كلوريد الكالسيوم – رفع درجة الحموضة بالإنضاج الحيوي – إضافة 10% من المادة الصلبة اللا دهنية – إضافة البروتينات .

يؤدي التسخين على درجة حرارة مرتفعة إلى نتائج سلبية على زمن التخثر ومتانة الهلام الناتج فمثلاً تطبيق المعاملة الحرارية 90° م خلال دقيقة يزيد زمن التخثر بمعدل 1.6 وازدياد الزمن اللازم للوصول إلى متانة $K_2 20$ إلى 6.5/ مرة ويقل دليل المتانة بمعدل 25% عن القيمة الناتجة عن الحليب الخام . لا يتخثر الحليب المعامل على درجة حرارة 140° م خلال 15 ثانية ويمكن الحد وتخفيض الفقد في إمكانية التخثر الناتج عن تطبيق معاملة حرارية بزيادة علاقة الكازئين إلى البروتينات الذائبة ولذلك عند صناعة الأجبان يمكن إخضاع الحليب إلى معاملة حرارية معتدلة 63° م / 30 دقيقة أو 72°م / 15 ثانية . يطبق التجنيس في صناعة الأجبان الطازجة لزيادة الثباتية والحصول على عجينة ناعمة . أخيراً توجد مجموعة من العوامل التي يمكنها التأثير على قابلية التخثر والخصائص الفيزيائية للهلام المتشكل . يوضح الجدول رقم (9-2) أنواع الهلام المتشكلة عن الترابط بين التخثر الحامضي والتخثر الإنزيمي الذي يؤدي إلى الحصول على هلام يتصف بقوام متبدل من شكل السوائل اللزجة وحتى الصلب المرن .

الجدول (9-2) : أنواع الهلام الناتجة في تكنولوجيا الألبان وطريقة الحصول عليها

أنواع الهلام	اللبني		الخليط	المنفحة	
	نقي	سائد		سائد	نقي اختياري
بكتريا حمض اللبن	+	+	+	+	اختياري
أنزيم مخثر مل/100لتر	-	8-1	30-16	40-20	50-40
pHعند إضافة المنفحة	-	6.7-6	6.45-6.15	6.75-6.55	6.8-6.7
درجة حرارة التخثر °م	43-20	28-18	38-28	40-30	45-40
الزمن الكلي للتخثر	3-18ساعة	14-36ساعة	20دقيقة-2.5ساعة	25-45دقيقة	10-15دقيقة
pH عند انفصال المصل	لايوجد انفصال المصل	أقل من4.6	5,8< pH < 6,45	أعلى من 6,5	لا يوجد
نماذج الأجبان	ألبان متخمرة (اليو غورت)	أجبان طازجة	أجبان طرية	مضغوطة وغير مطبوخة	حليب متخثر ومنكه

4-9 انفصال المصل من الخثرة : Igouttage du coagulum

الهلام المتشكل بالتخثر الحامضي أو التخثر الإنزيمي يشكل طوراً وحالة فيزيائية غير مستقرة ووفقاً للتكنولوجيا المستخدمة يتكون المصل من الماء واللاكتوز والأملاح المعدنية والمواد الآزوتية والمادة الدسمة وينفصل بسرعة متباينة وفقاً للخثرة المتشكلة وتتوافق عملية النضح مع خروج المصل حيث تساهم بدور هام في تجفيف الأجبان واستبعاد اللاكتوز وبعض العناصر المعدنية.

4-9 -1 ميكانيكية انفصال المصل : M9canisme de l'9gouttage

4-9 1-1 : انفصال المصل من الخثرة الحامضية :

من المعروف أن الخثرة الحامضية متفتتة ومكونة من شبكة من الكازئين منزوع العناصر المعدنية ولذلك فهي محرومة من الروابط القادرة على خلق قوى التقلص أو تشكيل ترسبات من الكازئين وفقاً لارتفاع درجة الحموضة . يمتاز الهلام الحامضي بنفوذية عالية ويكون خروج المصل تلقائياً ولكنه محدود لانعدام التقلص . في نهاية مرحلة انفصال المصل تكون العجينة طرية وغير مترابطة ويصل المحتوى إلى مستوى يتراوح بين 75 وحتى 80% .

4-9 1-2 : انفصال المصل من الخثرة الأنزيمية :

الخثرة الناتجة عن التخثر الأنزيمي مكونة من شبكة من الكازئين المنظمة جيداً وعند الترسب تتشكل روابط كلسية جديدة وروابط غير أليفة للماء تؤدي في النهاية إلى تقلص وانكماش الخثرة مما يسهل من خروج المصل الموجود ضمن الشبكة البروتينية . عندما لا يطبق أي فعل خارجي ، يحتفظ الهلام بشكله الأساسي خلال فترة انفصال المصل . يمتاز الهلام بمسامية عالية ونفوذية ضعيفة ولذلك من الضروري لقطع هذا الطور ينبغي تطبيق بعض المعاملات الميكانيكية والحرارية والفيزيائية والكيميائية .

4-9-1-3 : انفصال المصل من الخثرة الناتجة عن التخثر الخليط :

تمتاز الخثرة الناتجة عن التخثر الخليط بخصائص وسيطة بين الخثرة الحامضية والخثرة الإنزيمية للتخلص من المصل حيث تكتسب الخثرة الحموضة التي تحسن من نفوذية خروج المصل .

4-9-2 : العوامل المؤثرة في انفصال المصل :

من أهم العوامل المؤثرة في انفصال المصل يشار إلى المعاملات الميكانيكية والحرارية والفيزيائية والكيميائية والحيوية وشدتها وهي مرتبطة في خصائص قوام الخثرة الناتج عند التخثر وانفصال المصل . الخثرة الحامضية متفتتة ولا

تتحمل أي فعل ميكانيكي ولذلك توضع الخثرة ضمن أكياس أو قطع من القماش أو تطبيق الطرد المركزي للتخلص من المصل أما الخثرة المختلطة ذات السيادة الحامضية تتحمل قليلاً التقطيع في حين تمتاز الخثرة المختلطة ذات السيادة الأنزيمية بمطاطية عالية وتعتبر قادرة ويمكن بسهولة إخضاعها إلى المعاملات التي تسرع من خروج المصل .

9-4-2-1 : التقطيع :

يهدف التقطيع إلى تقسيم الهلام إلى قطع متساوية لزيادة السطح الذي يسرع من خروج المصل وتزداد درجة انفصال المصل كلما ارتفعت درجة التقطيع . بشكل عام يطبق التقطيع بعد زمن يساوي 2إلى 3 أضعاف الزمن اللازم لبداية التخثر .

9-4 -2-2 : التحريك :

يهدف التحريك إلى تجنب التحام حبيبات الخثرة وذلك للمحافظة على السطح الحر لخروج المصل ، بالنسبة للخثرة الحامضية أو الخثرة المختلطة ذات السيادة الحامضية تمتاز بعدم تكتل الحبيبات في حين أن الخثرة الأنزيمية أو المختلطة مع سيادة التخثر الأنزيمي تحتاج إلى تحريك وبشكل مستمر لتحسين النقل الحراري . يجب أن يكون التحريك معتدلاً لتجنب الفقد عن الكتل الصغيرة ضمن المصل وتختلف مدة التحريك وفقاً للمحتوى من المادة الصلبة الكلية المطلوبة والتي تتراوح بين 90 و 120 دقيقة ويمكن التحريك وغسل حبيبات الخثرة بإضافة الماء لخفض المحتوى من اللاكتوز .

9-4 2-3 : التسخين :

يؤدي رفع درجة الحرارة إلى تسريع خروج المصل نظراً لانخفاض لزوجة المصل وزيادة الروابط غير الأليفة للماء التي تعمل على تقلص حبيبات الخثرة مما يساعد في خروج المصل .

تختلف درجة الحرارة المطبقة وفقاً لنموذج الأجبان :

20°م للأجبان الطازجة .

35° م للأجبان الطرية والمضغوطة .

35-57 °م للأجبان المطبوخة بغية اختيار البكتريا الأليفة لدرجة الحرارة المرتفعة ويتم رفع درجة الحرارة بمعدل 1-2 درجة مئوية كل مدة دقيقتين لتجنب تشكل غلاف غير نفوذ . تغمر خثرة بعض أنواع الأجبان مثل الموزاريلا والقشقوان بعد الضغط ضمن المصل على درجة حرارة تتراوح بين 75-85° م خلال مدة تتراوح بين 10 و 20 دقيقة لاكتسابها المطاطية والقدرة على تشكيل الخيوط .

9-4 2-4 : الضغط :

يهدف الضغط إلى إعطاء الشكل النهائي للأجبان والتخلص من المصل والهواء الموجود ضمن الحبيبات وبالتالي تحسين التحام الحبيبات ، يعتمد مقدار الضغط

ومدته على المحتوى من المادة الصلبة الكلية في الأجبان حيث تكون مدة الضغط عدة دقائق في الأجبان الطرية . وتصل إلى عدة ساعات مع الأجبان المضغوطة والمطبوخة . تطبق خلال عملية الضغط عمليات تقليب الأجبان ضمن القوالب وذلك لاستمرار خروج المصل والحصول على خثرة متجانسة .

4-9 2-5 : ارتفاع درجة الحموضة :

يؤدي ارتفاع درجة الحموضة بفعل بكتريا حمض اللبن إلى انخفاض قيمة التنافر الكهربائي للكازئين مع انخفاض في درجة إماهة الجسيمات المتزامن بنزع العناصر المعدنية من الكازئين والذي يؤدي في النهاية إلى تشكيل روابط جديدة تترجم بتقلص الخثرة مع ازدياد النفاذية مما يسرع من خروج المصل

5-9 : التمليح Salage :

يهدف تمليح الأجبان إلى :

- تأمين استمرار خروج المصل .
- المساهمة في تشكيل القشرة .
- تنظيم فعالية الماء aw التي تتحكم في نمو الميكروبات والفعالية الأنزيمية خلال الإنضاج .
- زيادة وتحسين الخصائص الحسية للأجبان .

يتراوح محتوى الأجبان من الملح بين 0-2.5% ويمكن أن يصل إلى مستوى 3-4% في الأجبان الزرقاء أو بعض أصناف أجبان الماعز يضاف إلى ذلك حفظ بعض الأجبان مثل فيتا / اليونان والدمياطي / مصر ضمن محلول ملحي حيث يصل المستوى إلى 8-15% ولذلك يتطلب تحلية هذه النماذج من الملح قبل استهلاكها . يطبق التمليح وفق طريقتين :

1 – التمليح الجاف على سطح الأجبان أو بحقن الملح ضمن عجينة الأجبان .

2 – التمليح بغمر الأجبان ضمن محلول مشبع لكلور الصوديوم .

خلال تمليح الأجبان في محلول ملحي يحدث فقد لبعض مكونات الجبنة مثل العناصر الذائبة والماء مما يترتب عنه فقد في الوزن يصل إلى 2-4% وبالمقابل يزداد محتوى الأجبان من كلور الصوديوم . تعتمد سرعة انتشار الملح في الأجبان على :

- نفاذية الخثرة .
- العلاقة بين السطح والحجم .
- رقم pH الخثرة .
- رقم pH المحلول الملحي ودرجة الحرارة .
- تحريك المحلول الملحي .

يؤدي التمليح إلى خفض فعالية الماء ويتجانس الملح ضمن الأجبان الطرية بعد مدة 8 أيام عند التمليح بالمحلول الملحي في حين أنه يحتاج إلى ثلاثة أيام عند تطبيق التمليح الجاف . يؤدي الاستخدام اليومي للمحلول الملحي إلى إغنائه بمكونات الخثرة ، كالبروتينات الذائبة ، واللاكتوز ، والأملاح المعدنية ، وحمض اللبن والكتل الصغيرة من الكازئين مع حدوث تطور سريع لرقم الحموضة حيث يستقر عند pH 4.7 في حالة استخدام الأجبان الطرية وبالمقابل يمكن أن يحدث التلوث بفعل الأحياء الدقيقة غير المرغوبة وهذا يتطلب ضرورة المراقبة الدائمة للخصائص الفيزيائية الكيميائية كالمحتوى من كلوريد الصوديوم، و pH ، ودرجة الحرارة والعكارة بالإضافة إلى المراقبة الميكروبيولوجية التي تتطلب تنقية المحلول الملحي وتعقيمه بغية الحصول على الشروط المثلى للتمليح على المستوى الكيميائي والفيزيائي والميكروبيولوجي .

9-6- الإنضاج Affinage :

تتوافق عملية الإنضاج مع مرحلة الهضم الأنزيمي لمكونات الخثرة الناتجة فبعد التخلص من المصل تتكون الخثرة من المادة البروتينية والمادة الدسمة وقسم من المكونات الذائبة في الحليب . خلال الإنضاج تتحلل مكونات الخثرة تحت فعل الأنزيمات الموجودة ضمن الخثرة أصلاً والأنزيمات المضافة إلى الحليب كالأنزيمات المخثرة وأنزيمات البادئ أو الأنزيمات المفرزة خلال الإنضاج بفعل الاصطناع الحيوي للخمائر والبكتريا والفطور . تؤدي عملية التحويل المعقدة إلى إكساب عجينة الأجبان الخصائص الفيزيائية والكيميائية والحسية الجديدة حيث يتغير المظهر والقوام والتركيب المتزامن مع ظهور الرائحة والطعم والنكهة . وفقاً لنموذج الأجبان الخاضع إلى الإنضاج نشير إلى ما يلي :

- يتراوح محتوى الأجبان من الماء بين 35 و60 % أما مستوى المادة الدسمة إلى المادة الصلبة الكلية يتراوح بين 40 و70% وتشكل المواد الآزوتية بالنسبة إلى المادة الصلبة اللادهنية بين 85 حتى 90% .
- يختلف محتوى الأجبان من العناصر المعدنية وفقاً لطريقة التخثر حيث يشكل 0.6 إلى2.3غ/100غ في الأجبان الطرية مقابل 2.6-3غ/100غ في الأجبان المضغوطة ليصل إلى 2.9-3غ/100غ ضمن الأجبان المطبوخة .
- بالنسبة لرقم الحموضة فهو مرتبط بنموذج التخثر حيث يكون رقم الحموضة 4.75 إلى 4.8 في الأجبان الطرية مقابل 5.1 إلى 5.3 في الأجبان المضغوطة ويصل معدل الملح بين 1.5 و 2.5% .

6-9 -1 : عوامل الإنضاج Agents d' affinage :

الأنزيمات المسؤولة عن إنضاج الأجبان مختلفة المصادر :

- الحليب
- الأنزيمات المخثرة .
- الأحياء الدقيقة المضافة على شكل البادئ .

6-9- 1-1 : الأنزيمات الطبيعية الموجودة في الحليب :

دورها محدود ولكن لا يمكن إهماله بالنسبة لبعض الأجبان . من هذه الأنزيمات :

- البلاسمين : - بروتيناز قلوي .
  - مقاوم لدرجة الحرارة المرتفعة
  - يعزى إليه أحياناً دور تهلم الحليب المعقم بالمعاملة الحرارية المرتفعة .
  - محتواه في الحليب يتراوح 1- 2.4 مغ/اللتر .
  - يحلل الكازئين بيتا إلى كازئين جاما1 ، جاما2 ، جاما3.
  - مسؤول عن ظهور الطعم المر في الأجبان المصنعة من حليب حفظ على درجة حرارة 4°م مدة 24-72 ساعة .
- الليباز : - حساس للحرارة .
  - يستفاد منه في صناعة الأجبان المصنعة من الحليب الخام .
  - مسؤول عن تحلل المادة الدسمة في أجبان شيدار حيث يصل مستوى تحلل المادة الدسمة إلى 15-20 % .

6-9 -1-2 : المنفحة :

عند إضافة المنفحة إلى الحليب يلاحظ بقاء قسم منها ضمن الخثرة وتتناسب الكمية طردياً مع كمية المنفحة المستخدمة وتوجد علاقة بين احتفاظ الخثرة بالمنفحة ورقم الحموضة pH حيث يتم الاحتفاظ في 50% في حالة الأجبان الطرية مقابل 10-15% في الأجبان المضغوطة ، رقم الحموضة الأمثل لفعالية المنفحة 5.5 وتتصف بفعالية خاصة على الكازئين αs_1 ويتناسب معدل التحلل مع كمية المنفحة المضافة .

6-9-1-3 : الأنزيمات الميكروية

يمكن أن نشير إلى المجموعات البكتيرية التالية :

(1) بكتريا حمض اللبن : يمكن أن نميز البكتريا الكروية Lactococcus متجانسة التخمر أليفة لدرجة الحرارة المتوسطة موجودة في الأجبان الطرية والمضغوطة التي تنتج حمض اللبن وبعض البروتيئاز المحلل للبروتين خلال الإنضاج .

- البكتريا العصوية Lactobacillus

والبكتريا Streptococcus thermophilus التي تمتاز بدور هام في رفع الحموضة وتحلل البروتينات في الأجبان المطبوخة .

- بكتريا Leuonostoc غير متجانسة التخمر تنتج حمض اللبن وتساهم مع البكتريا الكروية في إنتاج المواد المنكهة مثل داي استيل وحمض الخل وايتانول وغاز ثاني أوكسيد الكربون وهي مسؤولة عن الظهور المبكر للعيون في الأجبان الزرقاء .

(2) البكتريا المنتجة لحمض البروبيونيك Proprionibacterium : بكتريا لا هوائية تنتج حمض بروبيونيك اعتباراً من اللاكتات وكذلك حمض الخل وغاز CO_2 وهي مسؤولة عن ظهور العيون في الأجبان المطبوخة ويعزى إليها الطعم والنكهة المميزة .

(3) البكتريا المستخدمة على سطح الأجبان مثل :

Corynebacterium variabilis
Brevibacterium linens
Microbacterium
Micrococcus varians

التي تتصف بفعالية أنزيمية محللة للبروتين والمادة الدسمة .

(4) الخمائر :

يلاحظ وجود الخمائر على سطح الأجبان ومن أهمها Candida kefir ، Candida lipolytica ، C.valida حيث تساهم بأدوار متنوعة مثل رفع رقم الحموضة باستهلاك حمض اللبن مع إنتاج الايتانول وبعض المنتجات الثانوية بفعل تخمر اللاكتوز يضاف إليها الفعالية المحللة للبروتينات والمادة الدسمة ويضاف أيضاً Geotrichum candidum ضمن هذه المجموعة .

(5) الفطور :

أهم الفطور المستخدمة في صناعة الأجبان الطرية :

Penicillium camemberti وفطر P.roqueforti المستخدم في الأجبان الزرقاء . حيث تتصف هذه الفطور بإنتاج أنزيمات لها فعالية مرتفعة في تحلل المادة الدسمة والبروتينات .

9-6 -2 : العوامل المؤثرة في إنضاج الأجبان :

تساهم العوامل المؤثرة في نشاط الأحياء الدقيقة وإنتاج الغازات والفعالية الأنزيمية بدور هام وأساسي في إنضاج الأجبان .

9-6-2-1 : درجة الحرارة :

تعتبر درجة الحرارة العامل الأساسي في نمو الأحياء الدقيقة والفعاليات الأنزيمية خلال الإنضاج وتختلف درجة الحرارة المثلى وفقاً للأنواع :
الخمائر والفطور وبكتريا سطح الأجبان 20-25°م .
بكتريا حمض اللبن الأليفة لدرجة الحرارة المتوسطة 30-35°م .
بكتريا حمض اللبن الأليفة لدرجة الحرارة المرتفعة 40-50°م .
أما درجة الحرارة المثلى للفعاليات الأنزيمية تصل في حدها الأعظمي بالنسبة للبياز عند 35°م أما الدرجة العظمى للبروتيئاز تتوضع حول 45°م وتختلف درجة حرارة الإنضاج وفقاً لنموذج الأجبان وبشكل عام تنخفض درجة حرارة الإنضاج كلما ارتفع محتوى الأجبان من الرطوبة .

نوع الأجبان	درجة الحرارة
الزرقاء	3°م
الروكفورت	7-8°م
الطرية	8-10°م
المضغوطة	10-12°م
المطبوخة	كهف بارد 12-13°م وكهف حار 20-22°م

9-6-2-2 : pH :

بشكل عام تستطيع الخمائر والفطور النمو ضمن وسط حامضي عند رقم pH 4.5 أما البكتريا تفضل الوسط المتعادل رغم أن بعض بكتريا حمض اللبن يمكنها النشاط والنمو في وسط حامضي فيه رقم الحموضة أقل من 5 . تختلف الفعاليات الأنزيمية للأحياء الدقيقة وفقاً لتبدلات رقم الـ pH حيث أن رقم الحموضة الأمثل لأغلب البروتيئاز يتوضع ضمن مجال pH 5-6.5 في حين أن رقم الحموضة الأمثل للبياز يتراوح بين 7.5 و9 ، يتبدل رقم حموضة الأجبان خلال الإنضاج ففي الأجبان الطرية يرتفع رقم الحموضة من 4.5 إلى 7 بفعل استهلاك الخمائر والفطور لحمض اللبن أما في الأجبان المضغوطة يبقى رقم الحموضة تقريباً بين 5 و 5.5 .

9-6-2-3- فعالية الماء :

يعتبر نشاط الماء من العوامل المحددة لنشاط الأحياء الدقيقة وللفعالية الأنزيمية فالخمائر والفطور تتحمل فعالية ماء منخفضة بعكس بكتريا الكوليفورم. من العوامل المحددة لفعالية الماء محتوى الأجبان من الماء والملح ويحدث انخفاض

لفعالية الماء خلال الانضاج نظراً للفقد في الماء وبشكل عام يتم إنضاج الأجبان الرطبة بسرعة أعلى من الأجبان القاسية .

9-6-2-4 : التهوية :

وجود الهواء عامل هام في نمو ونشاط الأحياء الدقيقة حيث تعتبر الخمائر والفطور وبعض أنواع البكتريا هوائية إجبارية ولذلك تنمو على سطح الأجبان عند توفر الأوكسجين وعلى العكس فالبكتريا المسؤولة عن إنتاج حمض بروبيونيك وحمض بيوتيريك تعتبر لا هوائية إجبارية وتتواجد ضمن الأجبان . فيما يتعلق ببكتريا حمض اللبن وخاصة العصوية غير متطلبة للهواء ولكنها تحتاج إلى وجود نسبة محددة من الأكسجين .

9-6-3 : تطور المكونات خلال الإنضاج :

خلال الإنضاج يختفي سكر اللاكتوز لتحوله إلى حمض اللبن بفعل بكتريا حمض اللبن خلال عدة أيام ووفقاً للأحياء الدقيقة المسؤولة عن تخمر اللاكتوز نميز :

- بكتريا حمض اللبن المتجانسة حيث يتحول 90-95% إلى حمض اللبن وكميات بسيطة من المنتجات الثانوية كالإيتانول وحمض الخل واسيت ألدهيد .
- بكتريا حمض اللبن غير متجانسة التخمر تعطي 50% حمض اللبن .
- بكتريا الكوليفورم تنتج حمض اللبن وحمض الخل وحمض الفورميك و H_2 , CO_2 .
- تنتج الخمائر الإيتانول وCO_2 وكمية بسيطة من اسيت ألدهيد وأحماض عضوية ، من أهم منتجات التخمر حمض اللبن الموجود وعلى شكل لاكتات في الأجبان والذي يستقلب بدوره وفق طرق عديدة :
- يستهلك حمض اللبن بسرعة بفعل الخمائر والفطور خلال 4-7 أيام في الأجبان الطرية أما في الأجبان المطبوخة تتحول اللاكتات إلى حمض بروبيونيك وحمض الخل المسؤول عن الطعم مع إنتاج CO_2 المسؤول عن العيون في الأجبان المطبوخة .
- تتحول اللاكتات بفعل B.tyrobutricum إلى حمض بيوتيريك المسؤول عن الرائحة المتعفنة والطعم المتزنخ مع إنتاج H_2 , CO_2 المسؤولة عن إنتفاخ الأجبان المتأخر في الأجبان المطبوخة . بالنسبة للمادة الدسمة فإن تحللها خلال الإنضاج محدد في الأجبان المضغوطة وتشكل الأحماض الدسمة الحرة 0.2-0.3% في حين يرتفع الرقم إلى 3-10% في الأجبان الطرية ويمكن أن يصل إلى مستوى 10-25% في الأجبان الزرقاء . فيما يتعلق بالبرويتنات ، يتحلل الكازئين مما يزيد من مرونة ومطاطية الأجبان ويضفي عليها الطعم والنكهة حيث تشكل الأحماض الأمينية طليعة المواد المسؤولة عن النكهة وتقاس درجة الإنضاج

بتحديد الآزوت الذائب عند pH 4.6 بالنسبة إلى الآزوت الكلي في نهاية الإنضاج وتختلف هذه النسبة وفقاً لنماذج الأجبان التالية :

- الأجبان الطرية 35%
- الأجبان المضغوطة 16-20%
- الروكفورت 25-50% .

9-7 الخصائص الفيزيائية و الكيميائية للأصناف المختلفة من الأجبان:

تأخذ عملية انفصال المصل وارتفاع درجة الحموضة حيزاً هاماً في الحصول على خثرة حامضية أو خثرة أنزيمية كونهما العاملين الأساسيين المحددين لفعالية الماء aw والذي يتم الحصول عليه بتركيز جزئي للمادة الصلبة وبالتمليح ورقم الحموضة (الجدول ، 9-3) .

الجدول (9-3) : الخصائص المميزة لنماذج الأجبان وفقاً لرقم الحموضة وفعالية الماء

نماذج الأجبان	رقم الحموضة pH	فعالية الماء aw
الأجبان الطازجة	4.3 - 4.5	0.98 - 0.995
الأجبان الطرية	4.5 - 4.8	0.97 - 0.99
الأجبان المضغوطة	4.8 - 5.2	0.94 - 0.97
الأجبان المطبوخة	5 - 5.5	0.885 – 0.905

حيث تتحكم فعالية الماء ورقم الحموضة بنمو الأحياء الدقيقة وفي التفاعلات الأنزيمية و الحيوية خلال الإنضاج.

من المعروف وجود علاقة بين المحتوى من الماء وفعالية الماء في الأجبان ويمكن أيضاً الحصول على نماذج متنوعة من الأجبان وفقاً لارتفاع درجة الحموضة وانفصال المصل عن الخثرة (الجدول 9-4) .

الجدول (9-4) : نماذج تخثر المصل وانفصاله لأصناف الأجبان وفقاً لـ Ramet (1984)

التخثر	الأجبان	الأجبان	الأجبان	الأجبان

	الطازجة	الطرية	المضغوطة	المطبوخة
درجة الحرارة °م	28-18	36-28	38-30	42-30
بكتريا حمض اللبن كلية/مل	10×5^{6}	10×5^{6}	10×5^{5}	10×5^{5}
رقم الحموضة عند إضافة المنفحة	6.7-6	6.5-6.45	6.7-6.55	6.75-6.6
كمية الأنزيم المخثرمل/100لتر	5-1	30-18	35-20	45-25
زمن بداية التخثر بالساعة	16-6	3-0.12	0.4-0.1	0.3-0.1
الزمن الكلي للتخثر بالساعة	48-14	0.4-0.3	0.8-0.2	0.6-0.2
انفصال المصل				
رقم الحموضة في البداية	أقل من4.6	6.4-5.8	أعلى من6.5	أعلى من6.55
التقطيع /(سم)	15-10	10-1.5	1-0.5	0.3-0.2
تحريك (الساعة)	معدوم	معدوم	0.9-0.3	2-0.52
رقم الحموضة في النهاية	4.5-4.3	4.8-4.5	5.2-4.8	5.5-5.0
المادة الصلبة الكلية %	35-15	45-37	60-48	70-60
المادة الصلبة اللادهنية%	20-16	24-21	32-28	40-25
الكالسيوم/المادة الصلبة اللادهنية%	0.5-0.3	2.3-0.6	3-2.6	3.5-2.9

تمتاز الخثرة الحامضية بارتفاع الرطوبة 75-80 % وانخفاض المحتوى من المعادن 0.3-0.5% ورقم حموضة منخفض يتراوح بين 4.3-4.5 وتتصف بأنها غير متماسكة وتصنع بدون هيكلية أو شكل ومدة حفظها قصيرة .

أما الخثرة المختلطة مع سيادة التخثر الحامضي كالأجبان الطرية تمتاز بمحتوى الرطوبة 65-60% ورقم حموضة 4.6-4.8 ومحتوى من العناصر المعدنية 0.6-2.3% ضمن المادة الصلبة اللادهنية الهلامية ومدة حفظها أسابيع محدودة .

أما الخثرة المختلطة مع سيادة التخمر الأنزيمي كالأجبان المضغوطة تمتاز بمحتوى من الرطوبة 50% ورقم حموضة 4.8-5.2 واستبدال قسم من المصل بالماء لتخفيف المحتوى من اللاكتوز ويصل محتوى العناصر المعدنية إلى 2.6-3% ضمن الصلبة اللادهنية وتتصف أيضاً بالمرونة والمطاطية ومدة حفظها عدة أسابيع .

أما الخثرة الأنزيمية كالأجبان المضغوطة تمتاز بمحتوى من الرطوبة 30-40% ومحتوى من المعادن 2.6-3.5% ضمن المادة الصلبة اللادهنية . يمكن حفظها عدة أشهر ويصل وزن قرص الجبنة إلى قيم تتراوح بين 25-110كغ في حين أن وزن أقراص الجبنة المضغوطة يتراوح بين 1-10كغ.

9-8- تصنيف الأجبان : Classification des fromages

إنَّ التنوع الكبير للأجبان يجعل تصنيفها صعباً ولكن يمكن أن تؤخذ بعين الاعتبار النقاط الآتية لتصنيف الأجبان وفقاً لـ Mahaut 2000 :

1 – طبيعة المادة الأولية : حليب كامل الدسم، حليب فرز، حليب غني بالبروتينات، حليب معامل بالترشيح الفائق، الحليب الطازج، الحليب المعاد التشكيل.
2 – نوع الحليب : حليب الأبقار والماعز والأغنام والجاموس والنوق وخلائطها.
3 – تركيب الأجبان : المحتوى من المادة الصلبة الكلية والذي يؤثر على القوام وتتشكل أجبان قاسية وأجبان نصف قاسية وأجبان نصف طرية .

لا يمكن الأخذ بعين الاعتبار إحدى هذه النقاط لوحدها كونها لا تسمح في تمييز نوع من الأجبان بشكل كامل ، إضافة إلى أنها ناتجة عن تأثير عوامل متعددة ومعقدة أحياناً متضاربة فبالإضافة لتركيب الحليب فإنها تختلف وفقاً لمستويات عديدة .

- الخصائص الميكروبيولوجية : وتتضمن تركيب البادئ المضاف ونشاطه خلال الإنضاج .
- الخصائص الكيميائية : المحتوى من الكالسيوم والماء والمادة الدسمة ومستوى كلور الصوديوم .
- الخصائص الكيميائية الحيوية : فعالية الأنزيمات المخثرة – فعالية الأحياء الدقيقة .
- الخصائص الفيزيائية مثل درجة الحرارة ورقم الحموضة والمدة الزمنية وفعالية الماء .
- العوامل الميكانيكية : شدة التقطيع ، التحريك والضغط وتقليب الأجبان .

من ضمن هذه العوامل العديدة تبرز الأهمية الخاصة لدرجة الحموضة وارتفاعها خلال التخثر وانفصال المصل حيث تحدد الخصائص الأساسية للأجبان وينظم محتواها من العناصر المعدنية وفعالية الماء ورقم الحموضة وفعالية الأحياء الدقيقة والأنزيمات خلال الإنضاج والتي تؤثر على قوام الأجبان وطعمها.

ووفقاً للتشريعات القياسية الدولية لمنظمة الأغذية والزراعة FAO ومنظمة الصحة العالمية OMS صنفت الأجبان ضمن تشريع يحمل الرقم 1978/8/6 حيث تصنف الأجبان وفقاً للمحتوى من الماء ضمن الأجبان منزوعة الدسم والمحتوى من المادة الدسمة ضمن المادة الصلبة الكلية مع الخصائص الأساسية خلال الإنضاج. الجدول (9-5) .

الجدول (9-5) : تصنيف الأجبان وفق المواصفة رقم OMS / FAO 1978/8/6

النموذج 1 محتوى الماء في المادة الصلبة اللا دهنية في الأجبان %	النموذج 2 المادة الدسمة / المادة الكلية %	النموذج 3 وفقاً لخصائص الإنضاج
أقل من 51 أجبان قاسية جداً 56-49 قاسية 63-54 نصف قاسية 69-61 نصف طرية أعلى من 69 طرية	أعلى من 60 غنية جداً بالدسم 60-45 كاملة الدسم 45-25 نصف دسم 25-10 ربع دسم أقل من 10 فقيرة بالدسم	ناضجة بشكل أساسي على السطح ضمن الأجبان 2- ناضجة بالفطور +على السطح ضمن الأجبان 3 طازجة

ولا بد من الإشارة إلى بعض أنواع الأجبان المصنعة الخاصة في بعض البلاد المتوسطية .

1- الأجبان المالحة المحفوظة في المحلول الملحي :

ضمن دول حوض البحر الأبيض المتوسط توجد نماذج عديدة من الأجبان وفقاً لـ ELMAYDA 2007 التي تمتاز بتصنيعها إما من حليب مملح أو أحياناً تحفظ في محلول ملحي بعد التخلص من المصل . من أهم النماذج الأساسية أجبان فيتا اليونانية التي تصنع تقليدياً من حليب الأغنام والماعز وأجبان الدمياطي المصنعة في مصر من أنواع مختلفة من الحليب تشابه وتماثل طريقة تصنيع فيتا الأجبان الطرية مع سيادة التخثر الأنزيمي أما أجبان الدمياطي من حليب مملح بنسبة 6-15% لخفض فعالية الماء وحفظ الحليب في المناخ الحار ويترتب عن التمليح خللاً في الطرق المعتادة بصناعة الأجبان من حليب الأبقار حيث يزداد الزمن اللازم للتخثر وتنقص متانة الخثرة مع عدم انتظام انفصال المصل . يتم التخلص من المصل بعد تقطيع الخثرة 1 إلى 2 سم مع تحريك غير مستمر وتتراكم الحبيبات فوق بعضها بالضغط حيث تشكل كتلة تقطع فيما بعد إلى حصص على شكل مكعبات أو متوازي المستطيلات يتراوح وزنها بين 0.25 و 1كغ . بالنسبة للأجبان فيتا تملح القطع بالملح الجاف أو بمحلول ملحي أو تغمر ضمن أوعية تحتوي على مصل ملحي حتى الاستهلاك النهائي ويصل معدل الملح في الأجبان 3-5% .

أما أجبان الدمياطي تحفظ ضمن محلول ملحي 14-18% حيث يضاف قسم من المحلول الملحي مقابل ثلاثة أقسام من الأجبان .

2 – الأجبان الخيطية :

أجبان إيطالية الأصل وتصنع عادة في الشتاء الذي يضفي عليها اللون الأبيض ومن أهم النماذج أجبان القشقوان وبرفولون المصنعة من حليب الأبقار والأغنام أو الماعز لوحدها أو بشكل خليط وأجبان الموزاريلا المصنعة من حليب الجاموس ويمكن تصنيعها أيضاً من حليب الأبقار . يتم التخثر باستخدام البروتيئاز المخثر ويضاف الليباز لتحسين تشكيل المواد المنكهة القوية وتتشابه صناعة هذه الأجبان مع الأجبان المضغوطة حتى آخر مرحلة التحريك ضمن حوض التصنيع ويلي ذلك الخطوات الآتية :

1 – تترك الحبيبات مدة 3-8 ساعات للوصول إلى رقم حموضة pH 5.15-5.20 للحصول على مطاطية معينة للأجبان .

2 – تقطع الأجبان إلى شرائح 1-2 سم باستخدام سكاكين خاصة وتغمر في المصل الساخن70-85°م خلال 10-20 دقيقة .

3 – بعد الصهر تتصف العجينة بقوام مطاطي يمكن عجنها وسحبها وتنعيمها يدوياً أو آلياً ثم تعبأ في قوالب معينة تحت أشكال مختلفة كروية ودائرية وأسطوانية وتوضع مع القوالب ضمن الماء البارد للتقسية .
4 – التمليح خلال عدة أيام ضمن محلول ملحي .
5 – التنشيف والتجفيف ثم تغليفها بطبقة شمعية وإخضاعها إلى الإنضاج .
6 – يمكن تطبيق التدخين في بعض أنواع الأجبان مثل بروفولون .
في السنوات الأخيرة صنعت أجبان الفيتا من تخثر القسم المركز بالترشيح فوق العالي ضمن عبوات نهائية دون انفصال للمصل ويصل معدل الملح في الأجبان الدمياطي 6-9% ولذلك عند استهلاكها يجب تخفيف محتواها من الأملاح بغمرها وغسيلها بالماء .

3 – أجبان المصل :

تنتج هذه الأجبان من تركيز البروتينات الذائبة بعد انفصال المصل عن الخثرة وهي منتجات تقليدية تسمح في تحسين استثمار مكونات الحليب ولا يمكن عدّها نموذجاً من الأجبان الحقيقية نظراً لعدم الحصول عليها من تخثر الكازئين بالطريقة الأنزيمية أو الطريقة الحامضية .

مبدأ صناعة أجبان المصل بسيط ويعتمد على التخثر الحراري للبروتينات الموجودة في المصل حيث تتجمع على شكل كتل صغيرة ومن أهم أنواع المصل المحتوية على أكبر كمية من البروتينات الذائبة المصل الناتج عن الحليب الناتج عن حليب الأبقار والماعز والجاموس والأغنام . أما المصل الناتج عن الحليب المبستر يمتاز بانخفاض محتواه من البروتينات الذائبة بسبب احتفاظ قسم منها ضمن الأجبان .

وفقاً للطريقة التقليدية يسخن المصل ضمن أوعية حيث ترتفع درجة الحرارة للوصول إلى 90-95 م^{o} خلال 30-45 دقيقة فتتشكل كتل من البروتينات الراسبة على سطح المصل حيث تستعاد باستخدام مصافي يدوية .

يمكن تطبيق طرق عديدة لزيادة تماسك وترابط الراسب وارتفاع المردود بإضافة مادة حامضية عضوية أو حليب متحمض . على المستوى الصناعي يتم الحصول على بروتينات المصل في حوض مزدوج الجدران أو ضمن مبادل حراري يليه تطبيق الترشيح أو الطرد المركزي ويمكن أيضاً تعريض المصل إلى الترشيح فوق العالي لتركيز البروتينات وخفض الحجم الكلي ليستهلك الراسب الناتج على الحالة الطازجة أو المجففة أو الناضجة مع إمكانية إضافة بعض المواد مثل السكر والملح والبهارات لتحضير وجبات أو مستحضرات للحلويات ويمكن استخدامها أيضاً في تحضير شوربات غذائية .

9-9- مردود الأجبان :

يسمح مردود الأجبان في تحديد كمية المادة المتبقية في الأجبان ويعبر عنها بعدة طرق :

- كمية الأجبان المصنعة من 100 كغ من الحليب .
- كمية الحليب المستخدمة لتصنيع 1 كغ من الأجبان .
- كمية مكون ما أو مجموعة من المكونات الموجودة في قرص الجبن كالمادة الصلبة اللادهنية والمادة الدسمة والبروتينات ويمكن أيضاً التطرق إلى معدل الاستعادة :

$$\textbf{المردود الطازج} = \frac{\text{وزن الأجبان}}{\text{وزن الحليب}} = \frac{\text{وزن الحليب – وزن المصل}}{\text{وزن الحليب}}$$

$$= \frac{\text{المادة الصلبة اللادهنية للحليب – المادة الصلبة اللادهنية للمصل}}{\text{المادة الصلبة اللا دهنية للأجبان – المادة الصلبة اللادهنية للمصل}}$$

$$= \frac{\text{بروتين الحليب – بروتين المصل}}{\text{بروتين الأجبان – بروتين المصل}}$$

إن قيم المردود الناتجة عن صناعة الأجبان موضحة في الجدول (9-6) حيث يلاحظ أن المردود ومعدل الاستعادة يرتفعان كلما انخفض المحتوى من المادة الصلبة الكلية وعند ترتيب معدل الاستعادة تأتي المادة الدسمة أولاً ويليها المواد الآزوتية ثم الصلبة اللا دهنية نظراً لاستبعاد اللاكتوز مع المصل . ينخفض معدل استعادة المادة الدسمة عند ارتفاع شدة الفعل الميكانيكي كالتقطيع والتحريك وكما ذكرنا سابقاً خلال انفصال المصل ترتفع درجة الحموضة وتشكل الدور الأساسي في الخصائص الفيزيائية والكيميائية للأجبان وتطور خصائصها خلال الإنضاج وبالتالي فهي مسؤولة عن الخصائص الحسية للمنتج النهائي .

الجدول (9-6) : القيم المتوسطة لمردود الأجبان وفقاً لـ /Mietton /1994

نماذج الأجبان	تركيب الأجبان %		تركيب المصل غ/كغ			مردود الأجبان كغ/100كغ حليب	معامل الاستعادة %		
	صلبة كلية	مادة دسمة % صلبة كلية	صلبة	مادة دسمة	مواد أزوتية		مادة دسمة	مواد أزوتية	مادة صلبة لادهنية
أجبان طازجة فقيرة بالمادة الدسمة	13.5	-	62-58	0	8-6.5	45-35	-	84-82	48-44
أجبان طازجة	38	40	65-64	1-0.5	8.5-8.4	18-16	98-96	92-77	44-38
أجبان طرية	40	45-44	65-64	2-1	8.7-8.5	15-14	95-93	77-76	35-33
أجبان مضغوطة	47-46	40	مختلف حسب معدل إضافة الماء			11-10.5	90-88	78-77	34-33
أجبان مطبوخة	61.5-60.5	48-45	72-70	6-4	9-8.8	9.5-8.5	88-82	75-73	32-31

9-10- القيمة الغذائية للأجبان :

Qualit9 nutrionnelle des fromages

يختلف محتوى الأجبان من البروتينات ويتراوح من 10- 30 % ولذلك تعتبر الأجبان مصدراً ممتازاً للبروتينات (الجدول 9-7) .

الجدول (9-7) : القيمة الغذائية للأجبان

	البروتينات %	المادة الدسمة %	الكالسيوم غ/كغ	الطاقة ك جول/100غ
الأجبان الطازجة	10	9 – 0	1.6 – 1	6000 – 2000
الأجبان الطرية	20	28 – 20	3.8 – 1,5	15000 – 11000
الأجبان المضغوطة	24 – 23	29 – 24	8.6 – 6.5	16000 – 13500
الأجبان المطبوخة	27 - 29	28 - 30	9 - 11	17000 – 16700
الأجبان الزرقاء	20	27 - 32	9.7 – 7.2	17500

تمتاز الأجبان وخاصة المضغوطة بأنها الأغنى في البروتينات وتصل القيمة إلى 30% متخطية نسبة البروتين في اللحم 20% وعند الأخذ بعين الاعتبار أن تحلل البروتينات خلال الإنضاج يحسن معامل الهضم والتحويل ويتراوح بين 97-98% مقابل 90% في الحليب .

تعتبر الأجبان المصدر الأهم للطاقة فمثلاً الأجبان المضغوطة والمحتوية على المادة الدسمة 45% تقدم حوالي 11300 ك جول أما البروتينات والسكريات تقدم 5000 ك جول . تعتبر الأجبان مصدراً ممتازاً للكالسيوم والفوسفور بالرغم من اختلاف المحتوى وفقاً لطريقة التصنيع والمحتوى من الماء أما الفيتامينات موجودة بكميات متفاوتة فالفيتامينات الذوابة في المادة الدسمة وبشكل أساسي A,D موجودة على الليبيدات أما الذوابة في الماء PP , β12 حمض بانتونيك يمكن اصطناعها حيوياً بفعل البكتريا والفطور . ووفقاً للمعايير المطلوبة من قبل أخصائي التغذية ينصح باستهلاك كميات كافية يومياً وفقاً للعمر (الجدول 9-8) .

الجدول (9-8) : كمية منتجات الألبان التي ينصح باستهلاكها يومياً (غ)

	الحليب	الأجبان
طفل عمره 2-6 سنة	600-500	30-20
طفل عمره 7-11 سنة	600-500	30
يافع 12-15 سنة	500	50
الشباب	500	80-50
البالغ	350	50-30

النساء الحوامل	500	50
أشخاص مسنين	500	30

9-11- الأجبان المصهورة : Les fromages fondus

وفقاً Chambre 1997

الأجبان المصهورة منتج يتم الحصول عليه بخلط مجموعة من الأجبان مختلفة الأصول والأنضاج مع أملاح الصهر حيث يطحن الخليط ويسخن تحت تفريغ جزئي مع التحريك المستمر للحصول على كتلة متجانسة معبأة ضمن أغلفة واقية ويمكن إضافة بعض المواد اللبنية الأخرى ضمن المواد الأولية مثل الزبدة وبودرة الحليب وكذلك بعض المواد المضافة والمنكهة وتكون الأجبان الناتجة متجانسة وتمتاز بثباتيتها وسهولة حفظها ومن أهم مميزاتها :

1- منتجات لها قيمة غذائية عالية كونها تحتوي على مكونات الحليب
2- منتجات تتصف بنوعية صحية عالية بفضل تطبيق المعاملة الحرارية المرتفعة إضافة إلى سهولة تسويقها حتى في البلاد الحارة
3- إمكانية استهلاكها في كل الأوقات الحارة والباردة بالإضافة لتنوع استخدامها

9-11-1 تكنولوجيا صناعة الأجبان المصهورة :

تصنع الأجبان المصهورة وفق الخطوات التالية :

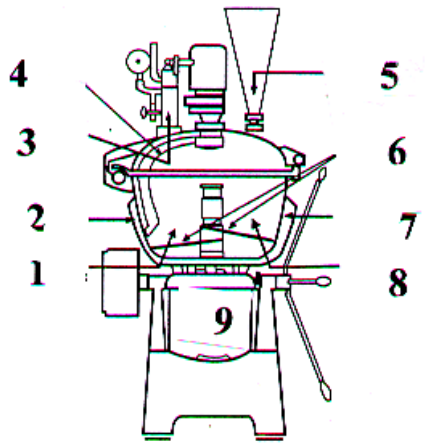
1- **انتخاب واختيار المواد الأولية** واختبار نوعيتها وفقاً لنموذج الأجبان المطلوبة مع التأكد من خصائصها الفيزيائية والكيميائية والميكروبية والحسية .
2- **إزالة القشرة وتقطيع الأجبان وطحنها** وقد تقسم إلى شرائح لتسهيل طحنها وسهولة إذابتها .
3- **تحضير الخليط :**

توزن المواد الأولية وتخلط حيث يضاف إليها الماء وأملاح الصهر مع تطبيق طحن أولي خلال عشر دقائق للحصول على خليط متجانس يسهل من فعل أملاح الصهر .

4- **صهر الأجبان :**

تستخدم أجهزة وفقاً للحجم أو الكميات حيث تشمل على أذرع وسكاكين مع أغطية محكمة الإغلاق وتسمح الأجهزة بتفريغ جزئي للتحكم في الإغلاق والتخلص من الهواء الذي يعيق الإستحلاب ويمكن حقن البخار والماء ومحاليل الأملاح المستخدمة في الصهر (الشكل 9-2). تمتاز الأجهزة بجدار مزدوج يسمح في تسخين إضافي ورفع درجة الحرارة إلى 75°م وبعضها يعمل تحت ضغط للوصول على درجة حرارة 120°م ويمكن تعقيم الأجبان المصهورة وفق

المعاملة الحرارية العالية UHT التي تسمح في التعقيم الكامل للمنتج مع المحافظة على الخصائص الحسية والتغذوية كالطعم والرائحة وتفاعل ميلارد . يلي التعقيم تبريد الأجبان إلى درجة حرارة 80-90^{o} م والوصول إلى مرحلة تشكيل بنية وتركيب الأجبان .



الشكل : (9-2) جهاز صهر الأجبان :

1- حقن منتجات	6 – سكاكين
2- تبريد غير مباشر	7 – تسخين غير مباشر
3- تفريغ وتهوية	8 – تسخين مباشر بالبخار
4- خلاط	9 – محرك كهربائي

5 – تجنيس الأجبان :

يمكن أحياناً تطبيق التجنيس لتحسين ثباتية مستحلب المادة الدسمة بفعل تكسير الحبيبات وتصغير حجمها وتحسين قوام ومظهر الأجبان المصهورة .

6 – التعبئة والتغليف :

يجب تجنب إعادة تلوث الأجبان عند التعبئة ولذلك تنقل الأجبان المصهورة ضمن أنابيب غير قابلة للأكسدة وتعبأ ضمن أوراق من الألمنيوم أو ضمن عبوات بلاستيكية تستعمل في المجال الغذائي قابلة للالتحام ويمكن تعبئة الأجبان المصهورة ضمن عبوات معدنية وفق أشكال عديدة .

7 – تبريد الأجبان المصهورة :

تختلف طريقة التبريد وفقاً للمنتج فيكون سريعاً ضمن الأجبان المصهورة القابلة للمد ويكون التبريد بطيئاً للأجبان القاسية وأجبان القطع علماً بأن التبريد البطيء يحسن من ظهور تفاعل ميلارد .

8 – تخزين الأجبان المصهورة :

يمكن تخزينها على درجة حرارة تتراوح بين 10-15^{o} م لتجنب انفصال الدسم ويجب عدم حفظها على درجات حرارة منخفضة لتجنب تشكل مواد متكاثفة .

عند إتباع الشروط المثلى خلال المراحل المختلفة في التصنيع يمكن الحصول على منتج يمكن حفظه خلال فترة تتراوح بين 6 أشهر وسنة .

9-11-2 العوامل المؤثرة على صهر الأجبان : (ELMAYDA 1999)

1 – درجة إنضاج الأجبان :

عند الإنضاج تزداد درجة تحلل بروتينات الأجبان وكلما ازدادت درجة الإنضاج كلما قلت الخصائص المستحلبة ولذلك من الضروري المحافظة على الحد الأدنى من الكازئين غير المتحلل .

2 – تأثير رقم الـ pH :

يتم تشكيل بنية الأجبان المصهورة ضمن مجال لرقم الحموضة يتراوح بين 5.2 و 6.2 وعند انخفاض رقم الحموضة عن 5 ينحل الكازئين ويفقد قدرته على الاستحلاب .

3 – أملاح الصهر :

للحصول على التركيب والبنية المطلوبة للأجبان يجب استخدام أملاح بولي فوسفات ضمن خليط من أملاح الصهر والذي يجب ألا يتجاوز 3% .

4 – تأثير الصهر الأولي :

يسمح الصهر الأولي في تسريع مسار التفاعل مع تثبيت المستحلب نظراً لتحسين التفاعلات الداخلية بين البروتينات والمادة الدسمة ولذلك يطبق الصهر الأولي لتحسين قوام الأجبان المصهورة وثباتيتها .

9-11-3 : القيمة الغذائية للأجبان المصهورة :

تمتاز الأجبان المصهورة بقيمة غذائية مرتفعة بفعل منتجات الألبان التي تدخل في تركيبها حيث تقدم للكائن الحي أغلب المواد المغذية الموجودة في حالة توازن غذائي ولا تحتاج إلى عملية تحضير وتعتبر عنصراً هاماً يزود الجسم بكل عناصر الطاقة الضرورية لبناء وظائف الجسم كالبروتينات والدسم والأملاح والسكريات والفيتامينات وتتصف بأنها مصدر ممتاز للبروتينات والكالسيوم .