



Calcium dans le fromage à raclette: importance du pH et de la formation de complexes

M.-T. FRÖHLICH-WYDER, U. BÜTIKOFER, D. GUGGISBERG et D. WECHSLER,
Station de recherche Agroscope Liebefeld-Posieux ALP, 3003 Berne

@ E-mail: marie-therese.froehlich@alp.admin.ch
Tél. (+41) 31 32 38 223.

Résumé

L'impact de l'acide citrique sur l'aptitude à la fonte du fromage à raclette a été analysé lors d'une précédente étude d'ALP. L'acide citrique permet d'extraire beaucoup de calcium de la matrice de caséine et d'améliorer l'aptitude à la fonte.

Un essai complémentaire a été réalisé pour connaître l'importance de la substance utilisée pour abaisser le pH, ainsi que l'importance de la vitesse et du moment d'abaissement du pH lors de la fabrication. L'abaissement du pH a été obtenu par la prématuration du lait ou par l'ajout de différentes concentrations d'acide citrique et d'acide lactique avec l'eau de dé lactosage. Cet essai a montré que le moment et la vitesse d'abaissement du pH influencent de manière primordiale la quantité de calcium perdue avec le petit-lait. Une bonne élimination du calcium de la matrice de caséine a été obtenue lorsqu'on a fortement abaissé le pH après le caillage, à savoir entre le tranchage et le moulage du caillé. L'ajout d'acide lactique a eu pour effet d'éliminer nettement moins de calcium que l'acide citrique, malgré des valeurs comparables de pH dans le petit-lait. La formation de complexes de l'acide citrique avec le calcium semble favoriser nettement l'élimination de ce dernier. Par contre, la prématuration du lait a engendré une meilleure rétention du calcium par rapport à la fabrication standard. Dans le fromage arrivé à maturité, la forme de calcium a joué un rôle important: la part de calcium soluble, important pour l'aptitude à la fonte du fromage à raclette, a été favorisée par un pH moins élevé ou la présence de complexes.

Introduction

Le fromage à raclette¹ est consommé principalement sous forme fondue (fig.1). L'objectif de tout producteur de raclette est de fabriquer un fromage possédant une bonne aptitude à la fonte. Cette aptitude résulte de la combinaison de différents facteurs. Les analyses effectuées par ALP ont montré à plusieurs reprises que la teneur en calcium joue un rôle important lors de la fonte du fromage à raclette. Moins la teneur est élevée, meilleure est l'aptitude à la fonte. Lors d'une précédente étude (Fröhlich-Wyder *et al.*, 2007), le rôle de différents facteurs technologiques a été examiné. A cette occasion, l'ajout d'acide citrique a montré une grande influence sur l'aptitude à la fonte en permettant d'extraire beaucoup de calcium de la matrice de caséine. Le rapport calcium-aptitude à la fonte a ainsi pu être clairement confirmé. Cependant, il restait à savoir si cet effet était dû à la diminution du pH ou à la formation de complexes avec le calcium. Lors de la complexation, un composé se forme, le citrate de calcium, qui est dissous dans le fromage et n'est pas lié aux protéines. Un

¹Dans le présent travail, il s'agit de fromage à raclette issu de lait pasteurisé dont l'appellation devrait être redéfinie suite à l'entrée en vigueur d'une éventuelle appellation d'origine contrôlée (AOC).



Fig. 1. Raclage de fromage à raclette fondu (photo: Raclette Suisse).

nouvel essai a donc été réalisé pour évaluer l'effet de différents facteurs permettant d'abaisser le pH. Le moment de la diminution du pH et de la solubilisation de calcium colloïdal, pendant la fabrication du fromage, semble fondamental. Un pH faible du lait lors du caillage et une bonne acidification au début de la synérèse sont nécessaires pour l'extraction du calcium de la caséine (Johnson et Lucey, 2006). Le pH du fromage mûr est également important: plus il est bas, plus la quantité de calcium extrait est importante.

Essais dans la fromagerie pilote

Dans la fromagerie pilote d'ALP à Liebefeld, cinq variantes et un contrôle (fromage à raclette à l'échelle modèle issu de 70 l de lait pasteurisé) avec une répétition ont été testés. Les variantes suivantes ont été examinées:

- **prématuration du lait** avec pasteurisation subséquente: le lait de chaudière a été inoculé avec 5% *Lc lactis* 17 (ALP) et stocké à 16 °C pendant quinze heures et ensuite pasteurisé. Lors de la coagulation, le temps a été adapté et non la quantité de présure; la durée totale de fabrication n'a cependant pas été modifiée;
- **ajout de 50 g d'acide citrique** ($C_6H_8O_7 \cdot H_2O$) à l'eau de délactosage (pH de 5,33 dans le petit-lait);
- **ajout de 25 g d'acide citrique** ($C_6H_8O_7 \cdot H_2O$) à l'eau de délactosage (pH de 5,83 dans le petit-lait);
- **ajout de 70 g d'acide lactique** (solution à 90%) à l'eau de délactosage (pH de 5,33 dans le petit-lait);
- **ajout de 35 g d'acide lactique** (solution à 90%) à l'eau de délactosage (pH de 5,83 dans le petit-lait).

Les mêmes valeurs de pH du petit-lait ont été recherchées dans les variantes avec acide lactique et citrique. Elles ont été déterminées dans le petit-lait lors d'un essai préliminaire et non dans le mélange caillé/petit-lait des variantes de l'essai. L'acide lactique, contrairement à l'acide citrique, ne possède pas la propriété de former des complexes comme l'acide citrique; la comparaison des deux acides devrait donc permettre de savoir si l'effet de l'acide citrique est dû uniquement à la diminution du pH ou également à la formation d'un complexe avec le calcium. Le lait des fromages témoins n'a pas été prématuré et le caillé a été lavé avec de l'eau dépourvue d'ajouts.

Des courbes de pH bien différentes

Dans le fromage de 24 heures déjà, des différences considérables ont été observées entre les variantes. L'ajout d'acide citrique et d'acide lactique a entraîné une diminution des teneurs en eau et en acide lactique du fromage par rapport aux fromages témoins (tabl.1). Comme on pouvait s'y attendre, le pH différait également entre les variantes. La figure 2 montre de nettes différences, aussi bien au début de l'affinage que dans le fromage mûr. La vitesse de l'acidification a aussi beaucoup varié. Les variantes «50 g d'acide citrique» et «70 g d'acide lactique» présentent une courbe de pH relativement plate et leurs valeurs pH à 0 h sont les moins élevées. Cependant, l'acidification s'est faite nettement plus lentement que dans les autres variantes, entraînant un pH plus élevé dans le fromage de 24 heures et, par là, des teneurs en acide lactique

moins élevées. Contrairement aux autres variantes et en dépit du développement de la morge, le pH n'a pas notablement augmenté pendant la suite de l'affinage. Les fromages témoins ont présenté la courbe de pH la plus raide avec le pH le plus faible après 24 heures et le plus élevé dans le fromage mûr.

Bilan en calcium influencé par le pH et la synérèse²

C'est dans les fromages témoins et dans les fromages avec lait prématuré que le calcium a été le moins solubilisé; les teneurs en calcium dans le petit-lait de

²La synérèse définit la séparation d'un liquide de son gel. A la fabrication du fromage, la synérèse est un phénomène de contraction du réseau formé par les protéines coagulées avec expulsion progressive du sérum (petit-lait) hors du gel.

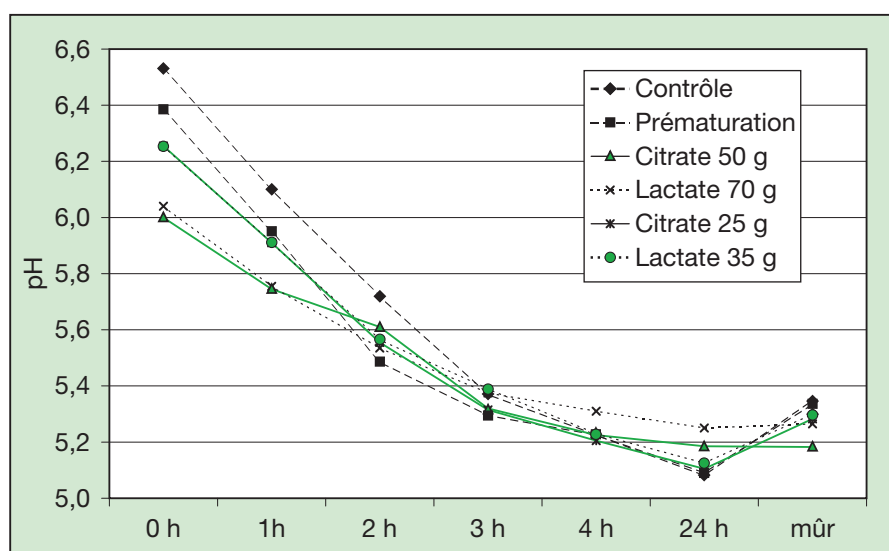


Fig. 2. Evolution du pH des fromages d'essai après le moulage (n = 2; échelle non linéaire).

Tableau 1. Calcium dans le petit-lait, teneur en eau et en acide citrique du fromage à 1 jour ainsi que calcium total et lié dans le fromage mûr à 98 jours (n = 2).

Variante	Fromage à 1 jour		Petit-lait	Fromage à 98 jours	
	Eau (g/kg)	Acide lactique (mmol/kg)	Calcium total (mg/kg)	Calcium total (mg/kg)	Calcium lié (%)
Contrôle	530,5	170,0	310,9B	4809AB	23,4
Prématuration	508,5	159,0	312,5B	5289B	29,1
Acide citrique 50 g	500,5	136,5	422,2A	3846A	11,1
Acide lactique 70 g	481,5	134,5	386,4AB	4884B	23,2
Acide citrique 25 g	491,5	159,5	336,7AB	4653AB	17,8
Acide lactique 35 g	502,0	155,5	339,9AB	5104B	26,9
Valeur p ANOVA	*	n.s.	***	**	*

* p ≤ 0,05; ** p ≤ 0,01; *** p ≤ 0,001; n.s. = non significatif; la différence entre les variantes munies des mêmes lettres n'est pas significative.

ces fromages étaient par conséquent moins élevées (tabl.1). Les plus grandes pertes en calcium au travers du petit-lait ont été enregistrées lors d'ajout d'acide citrique et d'acide lactique à haute dose. Le pH au moment du remplissage et du pressage (pH 0 h) est corrélé de manière significative avec la teneur en calcium du petit-lait (fig. 3). Un pH moins élevé pendant le décaillage et le brassage engendre une synérèse plus marquée du caillé et favorise l'extraction de calcium de la matrice de protéine. Une gestion optimale du pH dans le mélange caillé/petit-lait permet de renforcer le lessivage du calcium avec le petit-lait.

Dans le fromage mûr, la teneur totale en calcium indique que le calcium a été plus ou moins fortement extrait selon la variante (tabl.1). Comme prévu, la variante à 50 g d'acide citrique contenait le moins de calcium. En revanche, la variante avec prématuration présentait même davantage de calcium que les fromages témoins. En raison de la prématuration, le pH du lait était légèrement moins élevé (pH de 6,4) et la durée du caillage raccourcie de plus de 15 minutes. Ces conditions pourraient avoir pour conséquence que du calcium solubilisé ou ajouté au lait de chaudière ait été lié de manière accrue dans le réseau de protéines plus ferme nouvellement formé, avant d'avoir pu être extrait par le biais de la synérèse subséquente. Une autre explication possible est que pour cette variante, en raison d'un pH moins élevé de 6,4, une synérèse plus marquée s'est déjà produite

avant le moulage, sans qu'à cette occasion beaucoup de calcium soit solubilisé et lessivé avec le petit-lait. Cela a vraisemblablement diminué l'égouttage de petit-lait sous la presse ainsi que dans le bain de sel, de telle manière que la quantité de calcium solubilisé n'a pu s'écouler du fromage que de façon limitée.

Bien qu'au moment du remplissage, la variante à 70 g d'acide lactique présente un pH comparable à la variante à 50 g d'acide citrique et que des teneurs en calcium élevées aient été mesurées dans le petit-lait, les fromages mûrs de cette variante contenaient autant de calcium que les fromages témoins. Cela ne peut s'expliquer que par le fait que les fromages témoins ont encore perdu d'importantes quantités de calcium au cours des premières 24 heures sous la presse et dans le bain de sel lors d'une fermentation lactique intense et d'une acidification maximale. En outre, une formation de morge plus intensive et donc une désacidification plus marquée ont entraîné la migration de beaucoup de calcium vers la périphérie avec l'acide lactique. La variante avec ajout de 70 g d'acide lactique n'a présenté qu'une faible fermentation lactique et donc une faible diminution du pH (fig. 2), au cours des premières 24 heures. La synérèse sous la presse et dans le bain de sel n'a pas pu être intense lors de cette variante. En conséquence, le moment et l'ampleur de la diminution du pH semblent être primordiaux pour l'extraction du calcium de la matrice de caséine.

Impact du pH sur l'état du calcium

Dans le fromage mûr, il semble exister une étroite relation entre le pH et la teneur en calcium lié (fig. 4): plus le pH est faible, plus la quantité de calcium lié mise en évidence est également faible. Ce résultat correspond aux affirmations de Johnson *et al.* (2006); ces derniers ont constaté qu'au cours des deux ou trois premiers mois de la maturation, du calcium lié continue à être extrait de la matrice de caséine en fonction du pH. L'état du calcium dans le fromage mûr résulte donc d'un processus dynamique qui s'étend de la fabrication à l'affinage des fromages.

Formation de complexes et état du calcium

Bien que les variantes avec ajout d'acide citrique et d'acide lactique présentent des courbes de pH similaires, les pertes de calcium par le biais du petit-lait et les teneurs en calcium dans les fromages mûrs enregistrées n'étaient pas comparables. Les variantes à 50 g et à 25 g d'acide citrique ont perdu davantage de calcium à travers le petit-lait que les variantes correspondantes avec acide lactique et présentaient ainsi une teneur en calcium moins élevée. Ce n'est vraisemblablement pas le pH mais la capacité de l'acide citrique à lier le calcium qui explique cette perte élevée. Cette capacité à former des complexes différencie clairement les variantes avec acide citrique des autres, notamment par leur faible teneur en calcium lié (tabl.1).

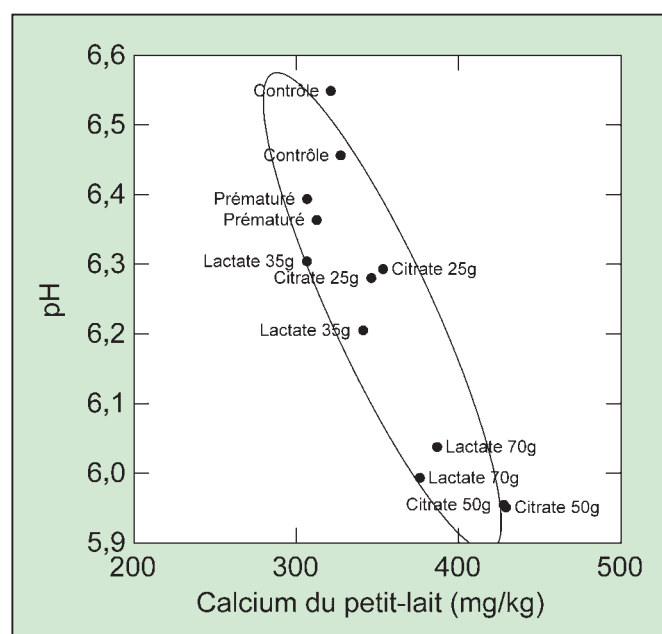


Fig. 3. Rapport entre le calcium du petit-lait et le pH au moment du moulage ($r = -0,923$, $p \leq 0,001$).

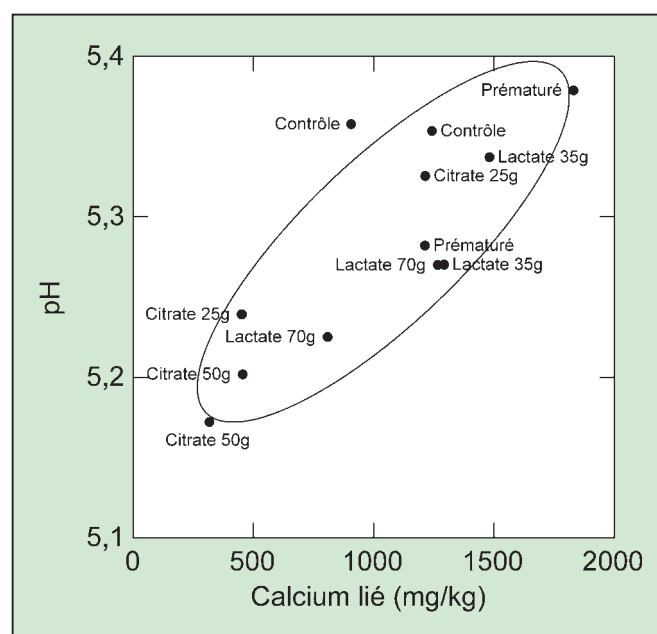


Fig. 4. Rapport entre le calcium lié et le pH dans le fromage mûr à 98 jours ($r = 0,846$, $p \leq 0,001$).

Tableau 2. Evaluation à froid des fromages mûrs (98 jours, n = 2).

Variante	Aspect extérieur	Nombre d'ouvertures	Dimension des ouvertures	Note ouverture	Fermeté de la pâte	Longueur de la pâte	Note pâte	Amer	Acide	Salé	Note goût
Contrôle	5,0	2,5	2,3	2,7	1,4	4,3	4,3	2,3	2,3	2,2	3,3
Prématuration	5,0	2,5	2,8	3,7	1,9	4,0	4,3	2,3	2,7	2,4	3,1
Acide citrique 50 g	4,9	3,6	2,1	2,5	2,7	2,5	3,2	2,9	3,3	2,5	2,8
Acide lactique 70 g	4,3	2,5	2,3	2,8	2,2	3,7	4,1	2,2	3,0	2,6	3,4
Acide citrique 25 g	4,4	2,8	2,3	3,4	2,2	3,6	4,0	2,0	3,0	2,6	3,6
Acide lactique 35 g	4,8	3,1	2,4	3,4	1,8	3,5	3,9	2,2	2,8	2,2	3,6
Valeur p ANOVA	*	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

p ≤ 0,05; note 5 = bon, très; 1 = mauvais, peu.

Tableau 3. Notes obtenues lors de l'analyse sensorielle des fromages fondus sur assiette (98 jours, n = 2).

Variante	Séparation de la matière grasse	Viscosité	Formation de fils	Aspect gommeux	Formation de peau	Amerume	Salinité
Contrôle	3,39	4,11	4,17	3,72	3,83	3,44	1,78
Prématuration	3,17	4,17	4,28	3,56	3,67	3,61	2,17
Acide citrique 50 g	2,89	4,39	4,72	4,72	3,89	3,94	2,56
Acide lactique 70 g	3,00	4,11	3,89	3,72	3,67	4,11	3,00
Acide citrique 25 g	3,11	4,22	4,61	3,72	3,61	3,78	2,33
Acide lactique 35 g	3,61	4,39	4,56	3,72	3,67	4,33	2,00
Valeur p ANOVA	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.

* p ≤ 0,05; ** p ≤ 0,01; *** p ≤ 0,001; n.s. = non significatif. 5 = léger, 3 = moyen, 1 = marqué.

Propriétés sensorielles des fromages

L'évaluation à froid des fromages d'essai par le panel d'experts n'a guère fait ressortir de différences entre les variantes (tabl. 2). Malgré cela, on observe les tendances suivantes: la prématuration a engendré de plus grandes ouvertures ainsi qu'une meilleure taxation de l'ouverture; l'ajout de 50 g d'acide citrique a fortement influencé les propriétés de la pâte, qui est devenue plus courte, plus dure et a été moins bien notée. D'une manière générale, les fromages de cette variante ont également été jugés plus amers et plus acides, ce qui s'est aussi répercuté sur la note relative au goût.

Lors de l'évaluation sensorielle des fromages fondus, les différences perçues entre les variantes se sont avérées, contre toute attente, insignifiantes (tabl. 3). C'est à nouveau la variante avec 50 g d'acide citrique qui vaut la peine d'être relevée: les échantillons de fromages ont été jugés peu gommeux et à peine filants (non significatif). Les variantes avec acide lactique se sont distinguées par leur goût: les fromages étaient nettement moins amers. Toutes les variantes de l'essai étaient moins salées que les fromages témoins (non significatif).

Comme prévu, le terme «gommeux» est corrélé avec la teneur en calcium (fig. 5): plus la teneur en calcium lié était élevée, plus les fromages étaient perçus comme gommeux.

Courbe du pH et impact sur la teneur en calcium

L'évolution du pH pendant la fabrication et l'affinage du fromage à raclette a influencé différemment la perte en calcium au travers du petit-lait et la teneur en calcium lié du fromage mûr (fig. 2). Ci-après, les différentes courbes du pH et leurs significations:

- **Fabrication standard (contrôle):** pendant l'ensemble du processus de fabrication, le pH est demeuré à peu près constant et ce n'est qu'au cours de la fermentation lactique dans le fromage moulu qu'il a fortement diminué. La valeur la plus faible a été atteinte après 24 heures; la fabrication standard est la variante qui a enregistré le pH le plus faible dans le fromage à 24 heures et le plus élevé dans le fromage mûr.
- **Diminution du pH avant le caillage:** la prématuration a fait démarrer le processus de fabrication du fromage avec un pH moins élevé que d'habitude. La durée du caillage a été réduite de moitié. Ce pH moins élevé avant le caillage a entraîné une meilleure rétention de calcium: davantage de calcium est resté dans le fromage et la part de calcium lié dans le fromage mûr était plus élevée.
- **Diminution du pH pendant le décaillage:** lorsque la diminution du pH a lieu immédiatement après la préparation des grains de caillé, alors que la synérèse n'est pas encore terminée, cela signifie que beaucoup de calcium est extrait de la matrice de caséine et éliminé au moment du remplissage avec le petit-lait. L'ajout d'acide lactique et citrique a ralenti la fermentation lactique; dans le fromage de 24 heures, le pH

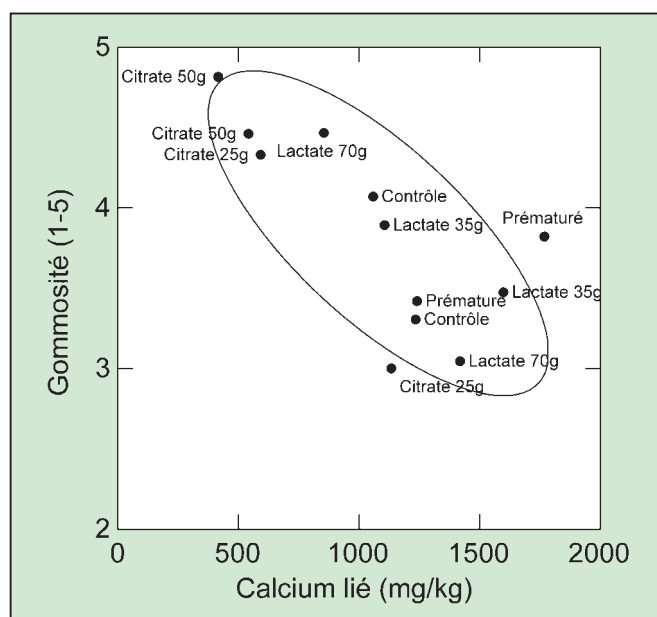


Fig. 5. Rapport entre le calcium lié et la gommosité dans un fromage à 98 jours (r = -0,745, p ≤ 0,05).

était plus élevé que lors de la fabrication standard et moins élevé dans le fromage mûr. L'ajout d'acide lactique et citrique a engendré des effets nettement différents. Comparée à la fabrication standard, seule la variante avec ajout de 50 g d'acide citrique présentait une teneur en calcium fortement réduite dans le fromage. La formation de complexes de calcium par le biais de l'acide citrique joue ainsi un rôle capital lors de la diminution de la teneur en calcium dans le fromage.

- **pH moins élevé dans le fromage mûr:** un pH peu élevé dans le fromage en maturation a également favorisé l'extraction de calcium de la matrice de caséine. Lorsque le pH était faible, la part de calcium lié a diminué. Cependant, dans ce cas aussi, la capacité de l'acide citrique à former des complexes a joué un rôle essentiel: dans les fromages avec ajout d'acide citrique, la part de calcium lié était moins élevée que dans les autres variantes (fig. 4).

Conclusions

- ❑ Une diminution prématurée du pH dans le mélange grains de caillé / petit-lait ne suffit pas pour diminuer la teneur en calcium dans le fromage, par rapport à la fabrication standard.
- ❑ L'ajout d'acide lactique et citrique au caillé a engendré des teneurs en calcium dans le petit-lait considérablement plus élevées au moment du remplissage. Cependant, seul l'ajout d'acide citrique a permis de diminuer la teneur en calcium dans le fromage mûr.
- ❑ La formation de complexes de l'acide citrique avec le calcium s'est révélée décisive pour abaisser le calcium.
- ❑ Pour l'aptitude à la fonte, non seulement la teneur totale en calcium dans le fromage est essentielle, mais aussi son état.
- ❑ Si la part de calcium lié est réduite, on peut s'attendre à une amélioration de l'aptitude à la fonte. Avec une diminution du pH et une part accrue en calcium lié sous forme de complexe, il est possible de réduire de manière ciblée la part de calcium lié dans le fromage mûr.

Summary

Calcium in raclette cheese: importance of pH value and complexing

In a previous ALP paper, the effect of citric acid on the melting properties of raclette was presented, where citric acid extracted a lot of calcium from the casein matrix and improved melting.

A further study was carried out in order to examine the importance of the type, extent and time of pH reduction during production. The pH-reducing measures applied were pre-ripening of the milk and addition of different concentrations of citric acid and lactic acid to the wash water.

This study showed that the time and pattern of pH reduction are crucial to the extent of calcium loss with the whey. Good calcium extraction from the casein matrix was obtained when the pH value was reduced dramatically after curdling, i.e. between cutting the curd and filling it into the molds. Significantly less calcium was extracted with lactic acid than with citric acid, although the pH values obtained in the whey were comparable. The complexing of the citric acid with the calcium seems to be a key effect favouring the extraction of calcium. On the other hand, pre-ripening of the milk resulted in better calcium retention compared with standard production. The state of the calcium played an important role in the ripe cheese: a low pH and complexing with calcium increased the proportion of dissolved calcium, an important factor for the melting properties of raclette cheese.

Key words: raclette cheese, melting properties, calcium, insoluble calcium, citric acid, lactic acid, acidification, pH.

Bibliographie

- Fröhlich-Wyder M. T., Bütikofer U., Guggisberg D. & Wechsler D., 2007. Fromage à raclette: moins de calcium pour une meilleure aptitude à la fonte. *Revue suisse Agric.* **39** (3), 153-157.
- Johnson M. E. & Lucey J. A., 2006. Calcium: a key factor in controlling cheese functionality. *Austr. J. Dairy Technol.* **61** (2), 147-153.

Riassunto

Calcio nel formaggio da raclette: importanza del pH e complessazione

L'impatto dell'acido citrico sull'attitudine alla fusione del formaggio da raclette è stato analizzato in uno studio precedente di ALP. L'acido citrico permette di estrarre molto calcio della matrice di caseina e migliorare l'attitudine alla fusione. Una prova complementare è stata realizzata per conoscere l'importanza della sostanza utilizzata per abbassare il pH, come pure l'importanza della velocità e del momento d'abbassamento del pH durante la fabbricazione. L'abbassamento del pH è stato ottenuto dalla prematurazione del latte e con l'aggiunta di varie concentrazioni d'acido citrico e d'acido lattico all'acqua di lavaggio. Questa prova ha mostrato che il momento e la velocità d'abbassamento del pH influenzano in modo primordiale la quantità di calcio persa con il siero del latte. Una buona eliminazione del calcio della matrice di caseina è stata ottenuta quando si è fortemente abbassato il pH dopo la cagliatura, cioè tra il taglio e la sistemazione in fascere. L'aggiunta d'acido lattico ha avuto per effetto di eliminare chiaramente meno calcio dell'acido citrico, nonostante valori comparabili del pH nel siero del latte. La formazione di complessi dell'acido citrico con il calcio sembra favorire chiaramente l'eliminazione di quest'ultimo. Invece, la prematurazione del latte ha generato una migliore ritenzione del calcio rispetto alla fabbricazione standard.

Nel formaggio arrivato a maturità, la forma di calcio ha svolto un ruolo importante: la parte di calcio solubile, importante per l'attitudine alla fusione del formaggio da raclette, è stata favorita da un pH meno elevato o la presenza di complessi.

Zusammenfassung

Kalzium in Raclettekäse: Bedeutung von pH-Wert und Komplexbildung

In einer vorangegangenen Arbeit von ALP wurde unter anderem der Einfluss von Zitronensäure auf die Schmelzeigenschaften von Raclette untersucht. Die Zitronensäure vermochte viel Kalzium aus der Kaseinmatrix herauszulösen und das Schmelzen zu verbessern.

Um der Frage nachzugehen, wie bedeutend Art, Ausmass und Zeitpunkt einer pH-Absenkung während der Fabrikation sind, wurde ein weiterer Versuch durchgeführt. Es wurden die folgenden pH-senkenden Massnahmen angewendet: Vorreifen der Verkäsungsmilch, Zugabe von unterschiedlichen Konzentrationen an Zitronensäure bzw. Milchsäure mit dem Waschwasser.

Es konnte mit diesem Versuch gezeigt werden, dass der Zeitpunkt und der Verlauf einer pH-Absenkung wesentlich sind für das Ausmass des Kalziumverlustes mit der Molke. Ein gutes Herauslösen des Kalziums aus der Kaseinmatrix wurde erreicht, wenn der pH-Wert nach dem Gerinnen, also zwischen dem Schneiden und dem Abfüllen des Käsebruchs stark herabgesetzt wurde. Mit Milchsäure wurde deutlich weniger Kalzium herausgelöst als mit Zitronensäure, obwohl die erzielten pH-Werte in der Molke vergleichbar waren. Die Komplexbildung der Zitronensäure mit dem Kalzium scheint ein entscheidender Effekt zu sein, der das Herauslösen des Kalziums begünstigt. Das Vorreifen der Verkäsungsmilch führte hingegen im Vergleich zur Standardfabrikation zu einer besseren Kalziumretention. Im reifen Käse spielte die Zustandform des Kalziums eine wichtige Rolle: Ein tiefer pH bzw. eine Komplexbildung mit dem Kalzium vermochten den Anteil an gelöstem Kalzium zu erhöhen, was für die Schmelzeigenschaften von Raclettekäse wichtig ist.