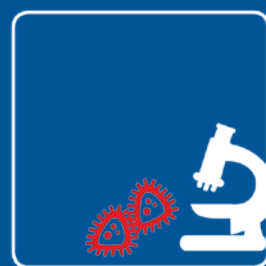


# Karakterisering af nye laktose-reducerede mejeriprodukter



# Slutrapport til Mejeribrugets forskningsfond

## Projekt titel

Characterization of new lactose-reduced milk products

## Projektperiode

1. Januar 2012- 31. December 2014

## Projektleder

Seniorforsker Hanne C Bertram

Institut for Fødevarer

Forskningscenter Årslev

Aarhus Universitet

Kirstinebjergvej 10, 5792 Årslev

Tlf. 87158353

Email: [hannec.bertram@food.au.dk](mailto:hannec.bertram@food.au.dk)

## Projektdeltagere

Professor Lotte B. Larsen, Institut for Fødevarer, AU, Tlf. 87158049, Email: [lbl@food.au.dk](mailto:lbl@food.au.dk)

Post doc Morten R. Clausen, Institut for Fødevarer, AU, Tlf. 87158318,

Email: [mortenr.clausen@food.au.dk](mailto:mortenr.clausen@food.au.dk)

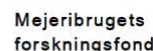
Post doc Hanne Bak Jensen, Institut for Fødevarer, AU, Email:

[hannebak.jensen@agrsci.dk](mailto:hannebak.jensen@agrsci.dk)

Post doc Steffen Nyegaard, Institut for Fødevarer, Email: [stny@mb.au.dk](mailto:stny@mb.au.dk)

PhD studerende Therese Jansson, Institut for Fødevarer, AU, Tlf. 87158305,

Email: [therese.jansson@food.au.dk](mailto:therese.jansson@food.au.dk) (nuværende adresse: [Therese.Jansson@food.ku.dk](mailto:Therese.Jansson@food.ku.dk))



## Dansk sammendrag

Bevstheden om laktose intolerance er steget de seneste år, og som konsekvens heraf er efterspørgslen af laktose-reducerede mælkeprodukter steget både i Danmark og internationalt. Til det internationale marked er en laktose-reduceret mælk med lang holdbarhed attraktiv, og derfor undergår størstedelen af laktose-reducerede mælk varmebehandling med ultra-high temperature (UHT) behandling. Laktose-reduceret mælk produceres ved at man ved filtrering reducerer mængden af laktose til 60% af den oprindelige mængde laktose inden varmebehandlingen. Efter varmebehandlingen hydrolyseres den resterende mængde laktose med en enzympræparation indeholdende primært  $\beta$ -galaktosidase. Varmebehandlingen initierer en kaskade af kemiske reaktioner, der påvirker mælkenes kvalitet. En af disse reaktioner er Maillard

reaktionen, som består af en reaktion mellem et reducerende sukker og et tilgængeligt protein i mælken.

Formålet med dette projekt var at undersøge de kemiske ændringer der forekommer i laktosereduceret UHT mælk under en 9 måneders lagringsperiode sammenlignet med konventionel UHT mælk. Til dette formål blev adskillige komplementerede analytiske metoder inkluderet. En dynamisk headspace sampling gas kromatografi masse spektrometrisk (DHS GC-MS) metode blev optimeret og anvendt til at analysere de flygtige forbindelser i mælken. GC-MS analyserne afslørede en betydelig batchvariation, der kunne tilskrives variationer i mængden af ketoner i mælken. Det mest slående resultat opnået med GC-MS var niveauet af 2-methylbutanal som under lagring øgedes mere i laktose-hydrolyseret UHT mælk end i den konventionelle UHT mælk. Mælkens furosine indhold blev bestemt for at få en indikator for omfanget af de initiale Maillard reaktioner. Under lagring steg furosine mere i laktose-hydrolyseret mælk sammenlignet med konventionel UHT mælk. RP HPLC-MS blev endvidere anvendt til at analysere kasein- og valleprotein i mælken, og det blev observeret et fald i proteinmængderne under lagring, svarende til at en proteolytisk aktivitet fandt sted i alle mælke typer. Intakt protein faldt i højere grad i laktosehydrolyseret mælk sammenlignet med konventionel mælk under lagring, og de proteiner, der især skete proteolyse af  $\beta$ - og  $\alpha_{s1}$ -kasein. Mælkens metabolitter blev analyseret ved kernemagnetisk resonans (NMR) spektroskopi, og en højere dannelse af frie aminosyrer blev identificeret i laktosehydrolyseret mælk sammenlignet med konventionel mælk under lagringen. En sensorisk deskriptiv analyse på mælken viste at hengemt flavor blev øget i alle mælketyper under lagring. Korrelationsanalyser mellem sensoriske data og GC-MS data viste at den hengemte flavor var korreleret med de flygtige forbindelser i mælken og kunne tilskrives et øget indhold af ketoner og aldehyderne 2-methylbutanal og octanal, decanal. Desuden blev et øget niveau af bitter smag observeret i laktose-hydrolyseret mælk sammenlignet med konventionel mælk, og den bitre smag var korreleret med et øget niveau af frie amino terminaler analyseret med et fluorescamine assay.

Samlet dokumenterede projektet et højere indhold af Maillard reaktionsforbindelser i laktosehydrolyseret UHT mælk sammenlignet med konventionel UHT mælk under lagring. En højere proteolytisk aktivitet blev også identificeret i laktose-hydrolyseret UHT mælk sammenlignet med konventionel UHT mælk under lagringen, der formentlig skyldes uønskede sideaktiviteter fra enzym præparationen tilføjet til den laktose-hydrolyserede UHT mælk.

## English summary

The awareness of lactose intolerance has increased the last years and an increased demand for lactose-reduced dairy products is seen in both Denmark and internationally. The international market requires lactose-reduced milk with long shelf-life, and the milk is therefore heat treated by ultra-high temperature (UHT) treatment. Lactose-reduced UHT milk is produced by reducing the lactose content of the milk to 60% of its the original content by filtration prior to the heat treatment. After heat treatment, the milk is hydrolyzed by an enzyme preparation containing mainly  $\beta$ - galactosidase. The heat treatment initiates several reactions that have major effects on the quality of the milk. One of these reactions is the Maillard reaction, which is a reaction between reducing sugars and proteins present in the milk.

The aim of the present study was to elucidate the chemical changes that occur in lactose-reduced UHT as compared with conventional UHT milk during nine months of storage. For this purpose several complementary analytical methods were included. A dynamic headspace sampling gas chromatography-mass spectrometric (DHS GC-MS) method was optimized and used to analyze the volatile compounds in the milk. The GC-MS analyses revealed a considerable batch variation, which could be ascribed to variations in the milk content of ketones. The most striking result obtained with the GC-MS was the level of 2-methylbutanal, which during storage increased more in the lactose-hydrolyzed UHT milk compared to the conventional UHT milk. Furosine content of the milk was analyzed by reversed phase high pressure liquid chromatography (RP HPLC) to obtain an indicator for the extent of the initial Maillard reactions. During storage, the furosine content increased more in the lactose-hydrolyzed UHT milk compared to the conventional UHT milk. Furthermore, in order to obtain a measure of proteolysis, RP HPLC-MS was used to analyze casein and whey proteins in the milk. These measurements revealed that during storage, the level of intact protein decreased to a higher degree in the lactose-hydrolyzed UHT milk compared to the conventional UHT milk, and the most hydrolyzed proteins were  $\alpha_{s1}$ -casein and  $\beta$ -casein. Metabolites in the milk were analyzed by proton nuclear magnetic resonance ( $^1\text{H}$  NMR) spectroscopy, and during storage a higher level of free amino acids was observed in the lactosehydrolyzed UHT milk compared to the conventional UHT milk. A sensory descriptive analysis was performed on the milk, which revealed that stale flavor increased in all milk types during storage. Correlation analysis between sensory data and GC-MS data revealed that the stale flavor was correlated with the volatile compounds in the milk, which could be ascribed to an increased level of ketones and the aldehydes 2-methylbutanal, octanal and decanal. Furthermore, a higher level of bitter taste was identified in the lactose-hydrolyzed milk compared to the conventional milk, and the increased bitter taste was correlated to an increased level of free amino terminals which was analyzed with a fluorescamine assay.

In conclusion, the present study revealed a higher level of Maillard reaction compounds in the lactose-hydrolyzed UHT milk as compared with conventional UHT milk during storage. Furthermore, a higher proteolytic activity was observed in the lactose-hydrolyzed UHT milk compared to conventional UHT milk, which probably is due to side-activities from the enzyme preparation added to the lactose-hydrolyzed UHT milk.

## Baggrund og mål

Omkring 70% af verdens befolkning mangler enzymet laktase, der produceres af tyndtarmens epitel celler, hvilket resulterer i laktoseintolerance. Laktase hydrolyserer mælkesukkeret laktose til glukose og galaktose, og et fald i laktaseproduktionen bidrager til en manglende evne til at nedbrude laktose, hvilket kan give mavesmerter, oppustethed og diarrhea<sup>1</sup>. Udbredelsen af laktoseintolerance har medvirket til udviklingen af kommerciel laktose-reduceret mælk. Holdbarheden på laktose-reducerede ælkeprodukter varierer afhængig af hvilken varmebehandling der er anvendt. Ultra-high temperature (UHT) er en kraftig varmebehandling, der inaktiverer størstedelen af bakterier og enzymer tilstede i mælken<sup>2,3</sup>. Som følge heraf har UHT mælk en lang holdbarhed og kan opbevares ved stuetemperatur, og er blevet populært i mange lande i Europa og Asien. Holdbarheden på laktose-reduceret UHT mælk er ca. tre måneder, sammenlignet med otte måneder for konventionel UHT mælk. Den kortere holdbarhed skyldes dannelsen af en

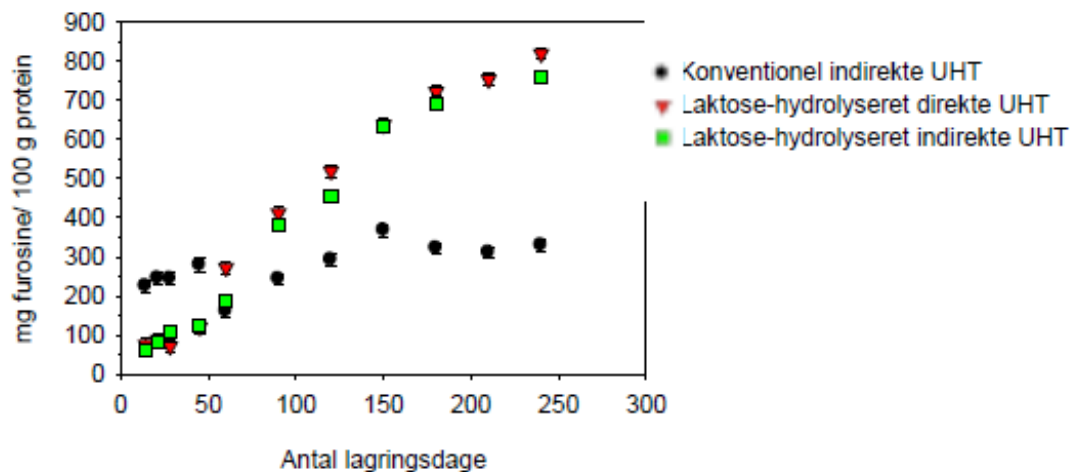
ubeskrevet off-flavor. Forbrugers accept af mælk er meget afhængig af at den sensoriske smag ikke ændres under opbevaringsperioden<sup>4,5</sup>, og af den grund er det essentielt at forstå årsagerne til at der dannes en off-flavor i laktose-reduceret mælk med henblik på at kunne opnå en længere holdbarhed i fremtiden.

Maillard reaktionen beskriver en reaktion mellem et reducerende sukker og en aminosyre, og det vides at Maillard reaktionen kan danne forbindelser, der påvirker smagen. Derfor er en hypotese for hvorfor at laktose-hydrolyseret UHT mælk har en kortere holdbarhed at der er et højere niveau af Maillard reaktionsforbindelser grundet en højere reaktivitet mellem glukose, galaktose og protein sammenlignet med mellem laktose og protein. Desuden er det også hypotiseret, at laktaseenzymet, der tilføjes til mælken, indeholder side-aktiviteter der giver anledning til off-flavor dannelse, herunder hydrolyse af proteinerne i mælken<sup>6-9</sup>. Proteinhydrolysen kan medføre dannelse af bitre peptider, der kan bidrage til ændringer i tekstur, smag og flavor<sup>10-12</sup>. Derudover dannes der frie aminosyrer, der kan reagere med reducerende sukker og andre forbindelser inkluderet i Maillard reaktionen og dermed også bidrage til smags- og aromaforandringer.

Formålet med dette studie var at undersøge de kemiske ændringer i laktose-hydrolyseret, filtreret og konventionel UHT mælk under ni måneders opbevaring ved 22 °C. To forskellige varmebehandlinger blev appliceret på den laktose-hydrolyserede UHT mælk; en direkte varmebehandling hvor damp injiceres til mælken og en indirekte varmebehandling med varmeudveksling. Direkte varmebehandling er en mere skånsom varmebehandling og flere studier har vist at der dannes færre varme-inducerede kemiske forbindelser i mælken ved brug af direkte varmebehandling<sup>13,14</sup>.

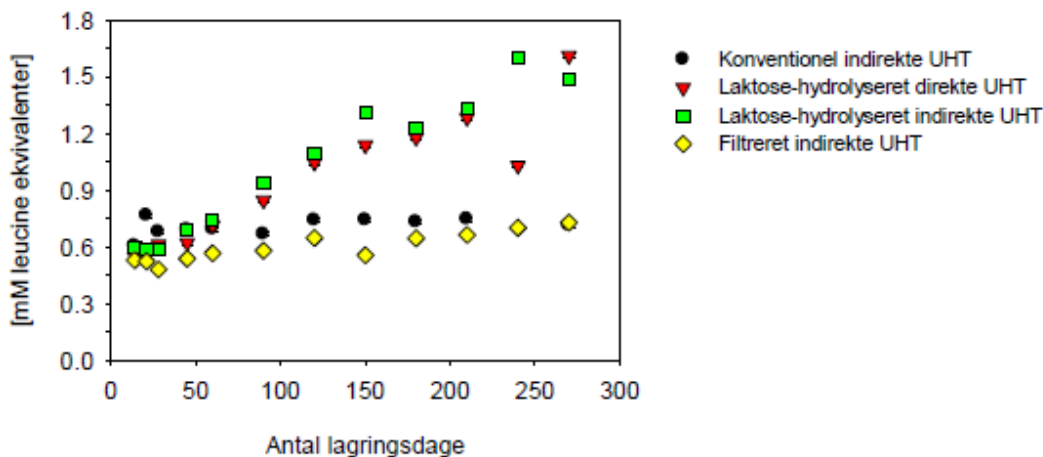
## Resultater

Furosine er et syre-hydrolyse produkt af et protein-sukker kondenseringsprodukt (Amadori produkt), der dannes i de indledende faser af Maillard reaktionen. Furosine bruges derfor som en indikator for det tidlige stadie af Maillard reaktionen og er også foreslået at være en markør for graden af varmebehandling tilført til mælken. I dette studie benyttedes HPLC til at måle furosine i konventionel og laktose-hydrolyseret UHT mælk under ni måneders opbevaring. Studiet viste, at niveauet af furosine øgedes under opbevaring for alle mælketyper, men at niveauet var højere i konventionel UHT mælk de første 60 dage sammenlignet med den laktose-hydrolyserede UHT mælk (**Figur 1**). Dette formodes at hænge sammen med et lavere niveau af laktose ved varmebehandling af den laktose-hydrolyserede mælk, der derved reducerer omfanget af den tidlige Maillard reaktion. Efter 60 dages opbevaring øgedes furosinemængden markant mere i laktose-hydrolyseret mælk end i den konventionelle mælk (**Figur 1**). Dette resultat indikerer, at sukertype har stor betydning for dannelsen af furosine under opbevaring, og at glukose og galaktose i højere grad kondenserer med protein end laktose. Resultaterne er publiceret i Journal of Agricultural and Food Chemistry (Artikel 2 i Appendix 1).



**Figur 1. Dannelse af furosine i konventionel og laktose-hydrolyseret UHT mælk.**

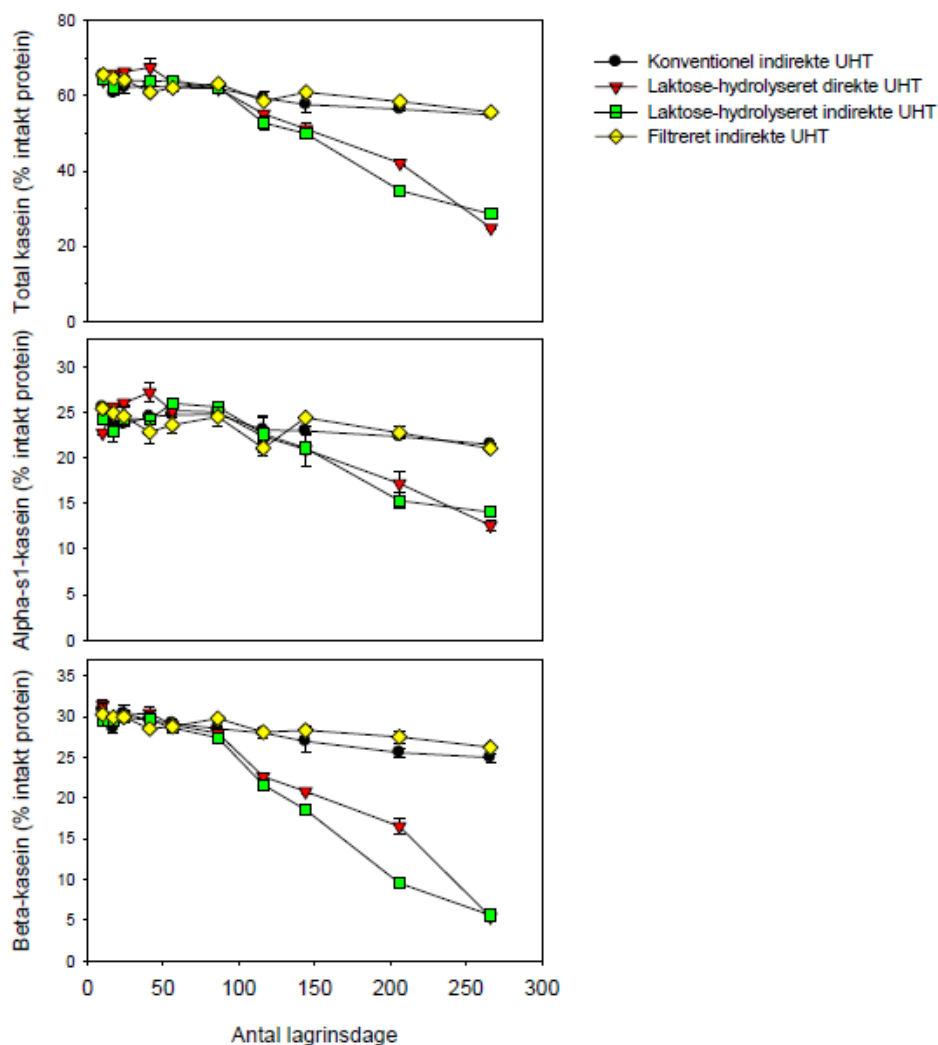
Ved et fluorescamine assay blev mængden af frie N terminaler i den konventionelle, filtrerede og laktose-hydrolyserede mælk bestemt. De frie N-terminaler er omregnet til leucine ækvivalenter og resultaterne viser, at de frie N-terminaler øgedes i alle mælketyper under opbevaring men at niveauet i den laktose-hydrolyserede mælk øgede mere sammenlignet med den konventionelle og filtrerede mælk (**Figur 2**). Dette resultat indikerer, at der er en større proteolytisk aktivitet i den laktose-hydrolyserede mælk sammenlignet med de andre to mælketyper. Disse resultater er publiceret i Journal of Agricultural and Food Chemistry (artikel 2 i Appendix 1).



**Figur 2. Leucine ækvivalenter i laktose-hydrolyseret, filtreret og konventionel UHT mælk,**

For at yderligere undersøge den proteolytiske aktivitet observeret i den laktose-hydrolyserede UHT mælk blev de forskellige mælketypers proteinprofil analyseret ved hjælp af RP HPLC-MS, der kunne identificere  $\beta$ -kasein,  $\alpha_{s1}$ -kasein,  $\alpha_{s2}$ -kasein,  $\kappa$ -kasein og  $\beta$ -lactoglobulin, i forskellige variantformer, inkl. glykeringsformer. En relativ kvantificering af de identificerede proteiner blev udført ved at dividere arealet for de individuelle proteiner med totalarealet af alle identificerede proteiner. Proteinprofilen viste et fald i mængden af

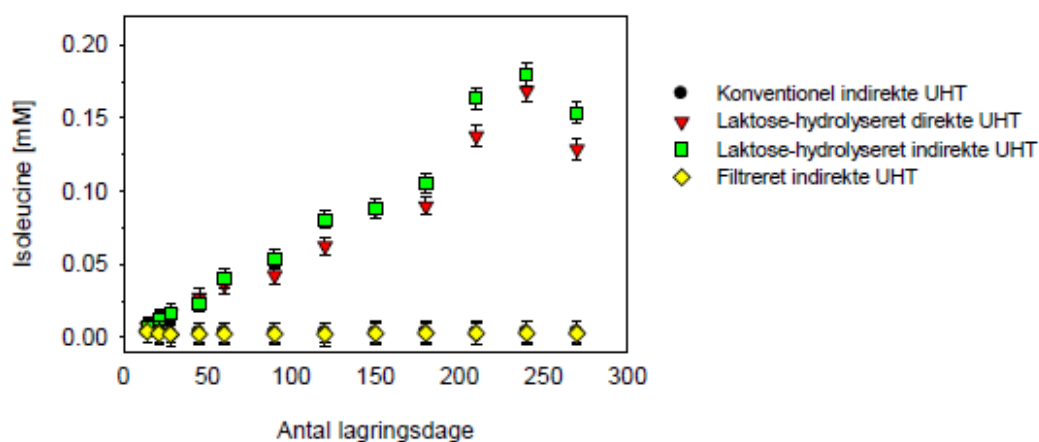
intakt protein for alle identificerede proteiner i alle mælketyper under opbevaring. I **Figur 3** ses den totale mængde intakt kasein, samt mængden af  $\beta$ - og  $\alpha_{s1}$ -kasein, der udgjorde de to enkeltproteiner, hvor mælketype havde mest markant effekt. Efter omkring 90 dages opbevaring ses et fald i proteinmængden, hvilket primært kunne tilskrives et fald i intakt  $\beta$ - og  $\alpha_{s1}$ -kasein under opbevaring (**Figur 3**). Det observerede fald i intakt  $\beta$ - og  $\alpha_{s1}$ -kasein ved omkring 90 dage anses som et interessant resultat, da det formentlig kan relateres til holdbarheden på den laktose-hydrolyserede UHT mælk, som er netop 90 dage. Resultaterne indikerer altså, at det netop er proteolyse af proteinerne, der giver anledning til den afsmag, som begrænser holdbarheden af laktose-reducerede mælkeprodukter.



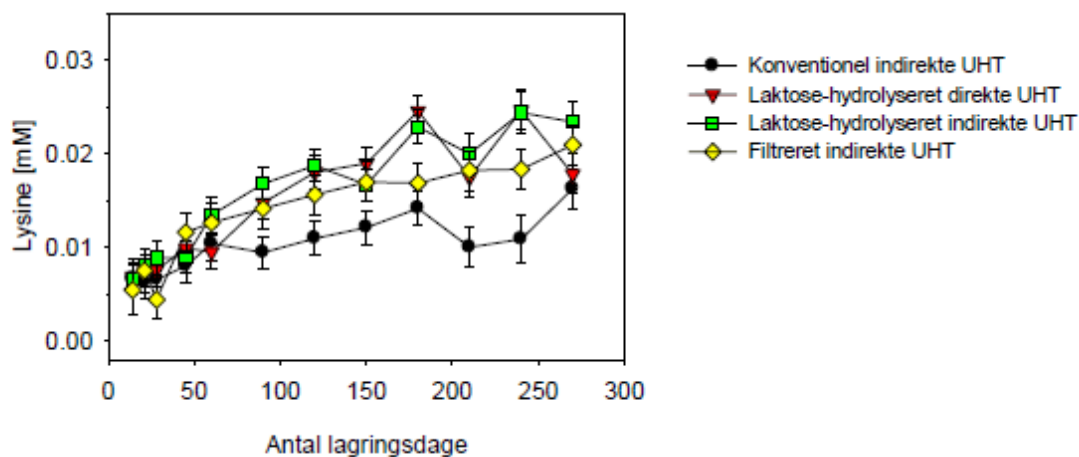
**Figur 3. Relativ kvantificering af total mængde intakt kasein, intakt  $\beta$ -kasein og  $\alpha_{s1}$ -kasein i konventionel, filtreret og laktose-hydrolyseret UHT mælk under opbevaring.**

En proteolytisk aktivitet vil formentlig give anledning til dannelse af frie aminosyrer i mælken, gennem en kombination af aktivitet af endo- og exo-proteaser. Derfor blev mængden af frie aminosyrer i mælken analyseret ved hjælp af  $^1\text{H}$  NMR spektroskopi. Ved hjælp af  $^1\text{H}$  NMR spektroskopi kunne følgende ni frie aminosyrer identificeres og kvantificeres i mælken; alanine, lysine, leucine, isoleucine, methionine, valine,

phenylalanine, tryptofan og tyrosine. Et øget niveau af de frie aminosyrer blev observeret i den laktose-hydrolyserede UHT mælk under opbevaring, mens niveauet var mere konstant i den konventionelle og filtrerede UHT mælk. Som et eksempel er udviklingen i leucine under opbevaring vist i **Figur 4**. Et tilsvarende mønster blev observeret for alle frie aminosyrer, med undtagelse af methionine og lysine. Lysine var den eneste aminosyre, der øgedes i alle mælketyper under opbevaring (**Figur 5**). Samlet understøtter resultaterne på frie aminosyrer, at der er højere proteolytisk aktivitet i den laktose-hydrolyserede mælk sammenlignet med den konventionelle UHT mælk, og at hydrolysen ikke er specifik for nogle få aminosyrer, men at der er flere, der stiger. Det højere niveau af proteolytisk aktivitet i laktose-hydrolyseret UHT mælk sammenlignet med konventionel samt for filtreret UHT mælk formodes at skyldes sideaktiviteter fra det enzym, der tilsættes med henblik på at hydrolysere laktose til glukose og galaktose. Disse resultater er publiceret i Journal of Agricultural and Food Chemistry (artikel 3 i Appendix 1).



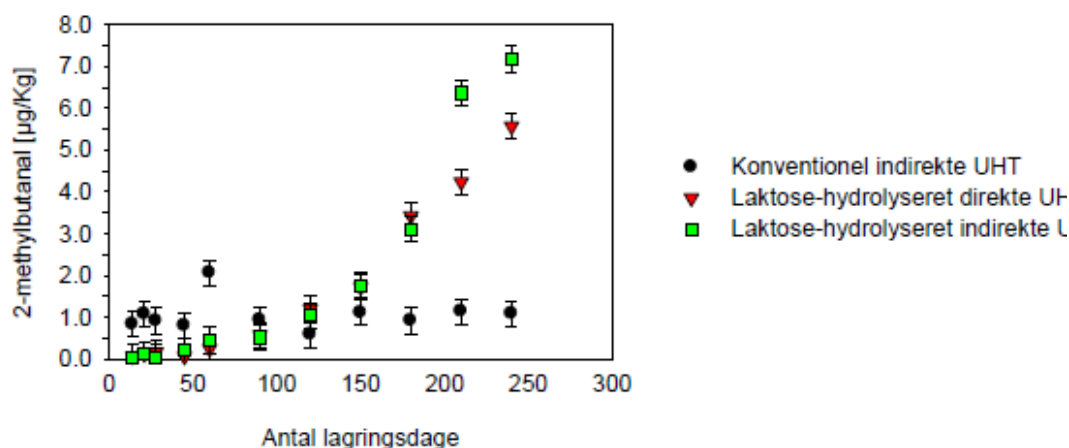
**Figur 4. <sup>1</sup>H NMR spektroskopi analyse af isoleucine i konventionel, filtreret og laktosehydrolyseret UHT mælk.**



**Figur 5. <sup>1</sup>H NMR spektroskopi analyse af lysine i konventionel, filtreret og laktosehydrolyseret UHT mælk.**



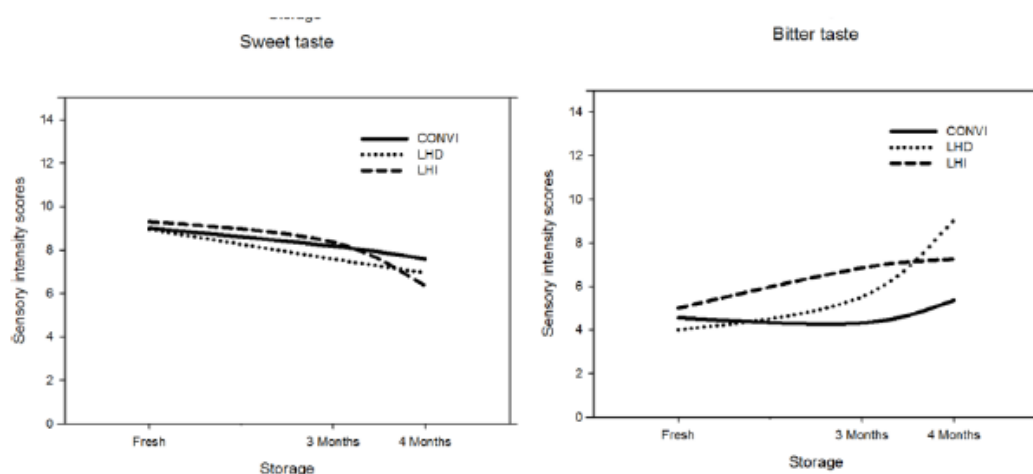
Frie aminosyrer har en betydende rolle for udviklingen af aromaforbindelser, der kan ændre mælkens smagsindtryk og kvalitet. Udover at aminosyrer i sig selv kan være bitre og dermed give en bitter smag til mælk<sup>15</sup>, så indgår de frie aminosyrer også i Maillard reaktionen ved at reagere med meget reaktive karbonyl forbindelser, og bidrager dermed til at aromaaktive Strecker degraderingsprodukter dannes. Et eksempel på at dette foregår i mælk og i særdeleshed i laktosehydrolyseret mælk ses i **Figur 6**, der viser resultater fra dynamic headspace (DHS) GC-MS analyser, der muliggjorde at kvantificere mælkens indhold af bl.a. 2-methylbutanal. Forbindelsen 2-methylbutanal er et Strecker-degraderingsaldehyd, der dannes når karbonylforbindelser og isoleucine reagerer, og i studiet blev det fundet at 2-methylbutanal øgedes mere udtalt i laktosehydrolyseret mælk sammenlignet med konventionel mælk (**Figur 6**). Dette kan forklares med at dannelsen af isoleucine var øget i laktose-hydrolyseret mælk men ikke i konventionel UHT mælk (**Figur 4**) og at det derfor ikke er nogle tilsvarende byggesten til dannelsen af 2-methylbutanal i konventionel UHT mælk som i laktose-hydrolyseret mælk under opbevaring. Svarende til faldet i kaseinniveauet identificeret efter 90 dages opbevaring (**Figur 3**), er det tydeligt at niveauet af 2-methylbutanal blev øget markant i den laktosehydrolyserede UHT mælk efter 90 dages opbevaring.



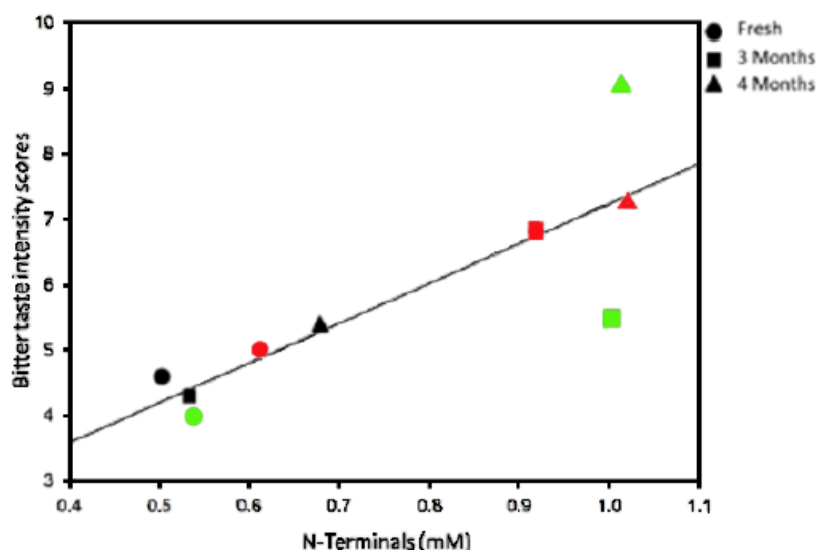
**Figur 6. Dynamisk headspace sampling GC-MS analyse af 2-methylbutanal i konventionel og laktose-hydrolyseret UHT mælk.**

Smagskarakteren af den laktose-hydrolyserede UHT mælk samt af den konventionelle UHT mælk blev bestemt ved anvendelse af et sensorisk panel kombineret med sensorisk deskriptiv analyse. Resultaterne var influeret af en betydelig batchvariation, men det syntes muligt at konkludere, at udviklingen i den sensoriske karakter under lagring er forskellig for henholdsvis laktosehydrolyseret og konventionel UHT mælk. Et væsentligt resultat opnået ved den sensorisk deskriptive analyse var, at den laktose-hydrolyserede mælk blev bedømt som mere bitter end den konventionelle mælk efter 4 måneders opbevaring (**Figur 7**). Yderligere viste resultaterne, at den søde smag falder i alle mælketyper under opbevaring, hvilket formentlig kan forklares med at den bitre smag øges med lagringstiden, da det er vist, at bitter smag kan maskere sød smag (**Figur 7**). Den bitre smag og antallet af frie amino-terminaler viste sig at være korreleret ( $R_2 = 0.71$ ) (**Figur 8**). Dermed indikerer resultaterne, at den proteolytiske aktivitet bidrager til dannelsen af bitter smag under opbevaring. Resultaterne fra den sensorisk deskriptive

analyse er sammenskrevet til en artikel, der er submittet til tidsskriftet European Food Research and Technology (artikel 4 i appendiks 1).



**Figur 7. Intensitet af sød smag (til venstre) og bittersmag (til højre) i konventionel og laktosehydrolyseret UHT mælk under 4 måneders opbevaring. CONVI: Konventionel indirekte UHT, LHD: Laktose-hydrolyseret direkte UHT og LHI: Laktose-hydrolyseret indirekte UHT.**



**Figur 8. Sammenhæng mellem mængden af amino terminaler og bittersmag intensitet i konventionel indirekte UHT mælk (sort), laktose-hydrolyseret direkte UHT mælk (rød) og laktose-hydrolyseret indirekte UHT mælk (grøn) under opbevaring.**

## Konklusion

Dette projekt har demonstreret en øget dannelse af Maillard reaktionsprodukterne furosine og 2-methylbutanal under opbevaring af laktose-hydrolyseret UHT mælk sammenlignet med konventionel UHT mælk. Resultatet kan formentlig tilskrives en øget reaktivitet af glukose og galaktose med proteindelen. Projektets resultater viste også, at mælken

indhold af frie aminosyrer har betydning for dannelsen af 2-methylbutanal, og da frie aminosyrer dannes ved proteolytisk aktivitet, har omfanget af proteolyse stor indflydelse på dannelsen af aromaforbindelser i laktosehydrolyseret mælk. En højere proteolytisk aktivitet blev demonstreret i laktose-hydrolyseret UHT mælk sammenlignet med den konventionelle UHT mælk, hvilket formentlig kan tilskrives sideaktiviteter fra enzympræparationen, der tilsættes den laktose-hydrolyserede UHT mælk. De samlede resultater indikerer kraftigt at det er proteolytisk aktivitet, der giver anledning til den afsmag, som begrænser holdbarheden af laktose-reducerede mælkeprodukter til omkring 90 dage. Fremtidige studier bør søge at identificere de peptider i mælken, der giver anledning til udviklingen af den bitre afsmag.

## Referencer

- (1) Heyman, M. B. *Pediatrics* **2006**, *118*, 1279–1286.
- (2) Rysstad, G.; Kolstad, J. *Int. J. Dairy Technol.* **2006**, *59*, 85–96.
- (3) Walstra, P.; Geurts, T. J.; Noomen, A.; Jellema, A.; van Boekel, M. A. J. S. *Dairy technology : principles of milk properties and processing*; Marcel Dekker, Inc., 1999.
- (4) Thomas, E. L. *J. Dairy Sci.* **1981**, *64*, 1023–1027.
- (5) Adhikari, K.; Dooley, L. M.; Chambers, E.; Bhumiratana, N. *LWT - Food Sci. Technol.* **2010**, *43*, 113–118.
- (6) Tossavainen, O.; Kallioinen, H. *Milchwissenschaft* **2008**, *63*, 254–258.
- (7) Mittal, S. B.; Newell, G.; Hourigan, J. A.; Zadow, J. G. *Aust. J. dairy Technol.* **1991**, *46*, 46–47.
- (8) Smuda, M.; Glomb, M. a. *J. Agric. Food Chem.* **2013**, *61*, 10198–10208.
- (9) De, M. P. M.; van Dijk, A. A.; Edens, L.; Dekker, P. J. T. Enzyme preparations yielding a clean taste. WO 2007/060247, 2007.
- (10) McKellar, R. C. *J. Dairy Sci.* **1981**, *64*, 2138–2145.
- (11) Harwalkar, V. R.; Cholette, H.; McKellar, R. C.; Emmons, D. B. *J. Dairy Sci.* **1993**, *76*, 2521–2527.
- (12) Gomez, B. M. J.; Garde, S.; Gaya, P.; Medina, M.; Nun, M. *J. Dairy Res.* **1997**, *64*, 289–297.
- (13) Nangpal, A.; Reuter, H.; Dehn-Müller, B.; Erbersdobler, H. F. *Kieler Milchwirtsch. Forschungsberichte* **1990**, *42*, 9–21.
- (14) Datta, N.; Elliott, A. J.; Perkins, M. L.; Deeth, H. C. *Aust. J. dairy Technol.* **2002**, *57*, 211–227.
- (15) McKellar, R. C.; Froehlich, D. A.; Butler, G.; Cholette, H.; Campbell, C. *Can. Inst. Food Sci. Technol. J.* **1984**, *17*, 14–17.

## Publikationer og offentliggørelser

### Artikler i internationale tidsskrifter

(Appendix artikler ikke tilføjet i samlet dokument med alle MFF, Teknolog slut/statusrapporter)

### **Volatile Component Profiles of Conventional and Lactose-Hydrolyzed UHT Milk – A Dynamic Headspace Gas Chromatography-Mass Spectrometry Study**

Jansson, T., Jensen, S., Eggers, N., Clausen, M. R., Larsen, L. B., Ray, C., Sundgren, A., Andersen, H. J., Bertram, H. C. *Dairy Science and Technology (2014) 94:311-325*

Vedlagt som paper 1 i appendiks 1

### **Lactose-hydrolyzed milk is more prone to chemical changes during storage than conventional UHT milk**

Jansson, T., Clausen, M. R., Sundekilde, U., Eggers, N., Nyegaard, S., Larsen, L. B., Ray, C., Sundgren, A., Andersen, H. J., Bertram, H.C. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* (2014) 62 (31):7886-7896 Vedlagt som paper 2 i appendiks 1

### **Chemical and proteolysis-derived changes during long-term storage of lactose-hydrolyzed UHT milk**

Jansson, T., Jensen, H. B., Sundekilde, U., Clausen, M. R., Eggers, N., Larsen, L. B., Ray, C., Sundgren, A., Andersen, H. J., Bertram, H.C. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* (2014) Accepted DOI: 10.1021/jf504104q Vedlagt som paper 3 i appendiks 1

### **Storage-induced changes in the sensory properties of conventional and lactose-hydrolyzed**

#### **milk explained by the development of volatiles**

Jensen, S., Jansson, T., Eggers, N., Clausen, M. R., Jensen, H. B., Larsen, L. B., Ray, C., Sundgren, A., Andersen, H. J., Bertram, H. C. *European Food Research and Technology* (2014) 240(6), 1247-1257 Vedlagt som paper 4 i appendiks 1

### **Populærvidenskabelige publikationer**

#### **Fremtiden er laktosefri**

Jansson, T., Clausen, M.R., Larsen, L.B., Bertram, H.C. *Mælkeritidende* (2012), 5:8-9

#### **Hvad begrænser holdbarheden af laktosefri mælk?**

Jansson, T., Clausen M.R., Larsen, L.B., Bertram H.C. *Mælkeritidende* (2015), nr 3:16-17

### **Studenteropgaver**

#### **Characterization of new lactose-reduced milk products**

Therese Jansson PhD part A report, February 2013

#### **Chemical changes and off-flavor development in lactose-hydrolyzed UHT milk during storage**

Therese Jansson PhD thesis, September 2014

### **Indlæg ved faglige kongresser, symposier, etc.**

#### **Kemiske ændringer og dannelse af off-flavor i lactose-hydrolyseret mælk under lagring**

Jansson, T. Mundtlig præsentation ved Mejeriforskningens dag, Legoland, Billund, 23 April 2015

#### **Chemical changes in lactose-hydrolyzed UHT milk during storage**

Jansson, T., Sundekilde, U.K., Jensen, H.B., Clausen, M.R., Andersen, H.J., Ray, C., Larsen, L.B., Bertram, H.C. Poster præsenteret ved det *11th International Symposium on Milk Genomics and Human Health*, Århus, 6-8 Oktober 2014.

### **Den laktosfria mjölkens framgång**

Jansson, T. Science slam: Skånes Matfestival, Brösarp, Sverige, 24 Maj 2014.

### **Et Glas Mælk-Laktosefri mælk er kommet for at blive.**

Jansson, T. Mundtlig præsentation ved *Mejeriteknisk selskab seminar*, Legoland, Billud. 3. April 2014.

### **Possibilities for lactose free and lactose reduced products: Aspects of technology, composition and storage.**

Larsen, L.B., Jansson, T., Eggers, N., Jensen, S., Clausen, M.R., Ray, C., Sundgren, A., Bertram, H.C. Mundtligt indlæg af Professor Lotte Bach Larsen ved det *43. Nordiske mejerikongres*, Lofoten, Norge. 6-8. juni 2013.

### **Laktose intolerance og laktosefri mælk**

Jansson, T. Vidensformidling: *Kulturnatten*, København, 12. oktober 2013.

### **Laktose intolerance og laktosefri mælk**

Jansson, T. Vidensformidling: *Food Festival*, Århus, 7-9. september 2012.

### **Impact of Maillard reaction on off-flavor in lactose-free UHT milk.**

Jansson, T., Clausen, M.R., Dalsgaard, T.K., Larsen, L.B., Sundgren, A., Bertram, H.C. Poster præsenteret ved det *11. Internationale Maillard symposium*, Nancy, France. 16-20. September 2012.

## **Andet**

### **Knowledge into practice**

Jansson, T. Deltager ved *PhD workshop (arr. FFI, FoodJob.dk, Maage)*, Århus, 10 Mars 2014.

### **Arla workshop**

Jansson, T. Deltager ved *Arla workshop for PhD studerende og post docs*, Århus, 11-12. December 2014.

### **Fra mælk til ost: En praktisk og teoretisk videnskab**

Jansson, T. Præsentation af projekt for gymnasie studerende inden undervisning, *Brokom*, Foulum, 2012-2013

## **Forskeruddannelse**

PhD studerende Therese Jansson har på tilfredsstillende vis gennemført sit PhD-studium ved Institut for Fødevarer, Aarhus Universitet, baseret på projektet. Morten Rahr Clausen, Institut for Fødevarer ved Aarhus Universitet har gennem projektet opnået post doc uddannelse.

## **Samarbejdsrelationer**

Projektet blev udført i et samarbejde mellem Institut for Fødevarer ved Aarhus Universitet, Arla Foods amba og Arla Foods Ingredients Group P/S. Arla Foods amba har bidraget

med UHT mælk til projektet og der har været vidensudveksling omkring analyse af flygtige svovlforbindelser i mælk.

### **Projektets praktiske og videnskabelige betydning for mejeribrug**

Holdbarhed og kvalitet er to vigtige parametre for laktose-reducerede UHT mælkeprodukter. I dette projekt er de kemiske ændringer i mælk blevet undersøgt under ni måneders opbevaring for at få en bedre forståelse for hvad der sker når laktose-hydrolyseret, langtidsholdbart mælk opbevares. Resultaterne i dette projekt fremhæver, at proteolytisk aktivitet har en betydende rolle for mælkens holdbarhed og mejeribrug anbefales at fremtidigt bør fokus primært være på at mindske den proteolytiske aktivitet i laktose-hydrolyseret UHT mælk. Hvis denne kan kontrolleres vil dette kunne bane vej for at eksporten af denne mælke-type styrkes.

### **Nye mejerirelaterede samarbejdsprojekter**

I nærværende projekt er det blevet vist, at der er øget proteolytisk aktivitet finder sted i laktosehydrolyseret mælk under lagring, formodentlig på grund af sidaktiviteter fra den tilføjede enzympræparation. Projektet har affødt et nyt samarbejdsprojekt mellem Institut for Fødevarer ved Århus Universitet og Arla Foods a.m.b.a og Arla Foods Ingredients Group P/S, støttet af FFI, omkring identificering af de bitre peptider, der giver anledning til bitter afsmag i laktosehydrolyseret mælk under lagring. I dette projekt vil der være post doc uddannelse af Therese Jansson og Søren Drud Nielsen, begge ved Institut for Fødevarer, AU.