

TINJAUAN KOMPARATIF PELAPIS KEJU BERBASIS PARAFIN WAX, PROTEIN WHEY, DAN KITOSAN UNTUK MEMPERPANJANG UMUR SIMPAN

Lia Wildatus Sholihah¹, Usi Susila², Rhahmasari Ismet³
liawildatus@gmail.com¹, usisusila27@gmail.com², dosen02387@unpam.ac.id³
Universitas Pamulang

Abstrak

Keju merupakan produk olahan susu yang memiliki daya simpan relatif pendek akibat kontaminasi mikroba, kehilangan kadar air, dan perubahan sifat fisikokimia selama penyimpanan. Artikel tinjauan ini bertujuan membandingkan efektivitas lilin parafin, protein whey, dan kitosan sebagai bahan pelapis keju dalam mempertahankan mutu dan memperpanjang umur simpan. Kajian dilakukan terhadap berbagai penelitian yang dipublikasikan pada periode 2017–2024 dengan mengevaluasi sifat penghalang (barrier), aktivitas antimikroba, dan kemampuan pengawetan masing-masing bahan. Hasil kajian menunjukkan bahwa lilin parafin efektif mengurangi kehilangan kadar air dan pertumbuhan kapang, protein whey berperan sebagai penghalang oksigen yang membantu mempertahankan kadar air dan menghambat oksidasi lemak, sedangkan kitosan memiliki aktivitas antimikroba terbaik serta mampu mempertahankan tekstur dan memperpanjang umur simpan keju hingga lebih dari 30 hari pada penyimpanan dingin. Secara keseluruhan, kitosan menunjukkan potensi paling tinggi sebagai pelapis yang dapat dimakan (edible coating), sementara pelapis komposit berbasis lilin parafin, protein whey, dan kitosan berpotensi menjadi alternatif yang efektif untuk meningkatkan umur simpan dan mempertahankan mutu keju.

Kata Kunci: Keju, Pelapis Keju, Lilin Paraffin, Protein Whey, Kitosan.

ABSTRACT

Cheese is a dairy product with a relatively short shelf life due to microbial contamination, moisture loss, and physicochemical changes during storage. This review aims to compare the effectiveness of paraffin wax, whey protein, and chitosan as cheese coating materials for maintaining quality and extending shelf life. Relevant studies published between 2017 and 2024 were reviewed by evaluating the barrier properties, antimicrobial activity, and preservation performance of each coating material. The findings indicate that paraffin wax effectively reduces moisture loss and mold growth, whey protein provides an excellent oxygen barrier that helps retain moisture and inhibit lipid oxidation, while chitosan exhibits the strongest antimicrobial activity, preserves cheese texture, and extends shelf life for more than 30 days under refrigerated storage. Overall, chitosan demonstrates the greatest potential as an edible coating, whereas composite coatings combining paraffin wax, whey protein, and chitosan offer a promising approach to improving shelf life while maintaining cheese quality.

Keywords: Cheese, Cheese Coating, Paraffin Wax, Whey Protein, Chitosan.

PENDAHULUAN

Keju merupakan produk pangan berbahan dasar susu yang memiliki nilai gizi tinggi sehingga banyak dikonsumsi sebagai sumber protein dan kalsium. Namun, keju tergolong produk yang mudah mengalami kerusakan akibat pertumbuhan mikroorganisme, kehilangan kelembapan, dan perubahan sifat fisik maupun kimia selama penyimpanan, bahkan pada suhu rendah (Hyun & Lee, 2020; Artiga-Artigas et al., 2017). Tingginya aktivitas air pada permukaan keju menyebabkan produk ini rentan terhadap kontaminasi bakteri, kapang, dan khamir yang dapat menurunkan mutu sensori serta memperpendek umur simpan (Proulx et al., 2017; Kure & Skaar, 2019).

Salah satu teknologi yang banyak dikembangkan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah penggunaan cheese coating atau pelapis keju. Pelapis berfungsi sebagai penghalang terhadap perpindahan uap air dan oksigen, sekaligus melindungi permukaan keju dari kontaminasi mikroorganisme sehingga kualitas produk dapat dipertahankan selama penyimpanan (Paula et al., 2024). Seiring berkembangnya teknologi pengemasan pangan, berbagai material pelapis telah dikembangkan, baik yang bersifat sintetis maupun berbasis biopolimer (Pluta-Kubica et al., 2020).

Beberapa material yang paling banyak diteliti sebagai pelapis keju adalah paraffin wax, whey protein, dan kitosan. Ketiga material tersebut memiliki karakteristik yang berbeda dalam hal sifat penghalang, aktivitas antimikroba, kemampuan mempertahankan mutu, serta dampaknya terhadap umur simpan keju. Masing-masing juga memiliki kelebihan dan keterbatasan yang memengaruhi efektivitasnya dalam aplikasi industri pangan.

Meskipun berbagai penelitian telah mengevaluasi penggunaan paraffin wax, whey protein, dan kitosan sebagai pelapis keju, sebagian besar penelitian masih membahas masing-masing material secara terpisah. Kajian yang membandingkan ketiganya secara komprehensif berdasarkan mekanisme kerja, keunggulan, keterbatasan, dan efektivitas dalam mempertahankan kualitas keju masih relatif terbatas. Oleh karena itu, artikel ini bertujuan menyajikan tinjauan komparatif mengenai efektivitas paraffin wax, whey protein, dan kitosan sebagai pelapis keju berdasarkan hasil penelitian terkini.

METODE PENELITIAN

Kajian ini dilakukan melalui studi literatur dengan menelaah artikel ilmiah yang dipublikasikan pada periode 2017–2024 dari berbagai basis data ilmiah. Literatur dipilih berdasarkan relevansi terhadap penggunaan lilin parafin, protein whey, dan kitosan sebagai pelapis keju.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Paraffin Wax

Paraffin wax merupakan salah satu material pelapis yang telah lama digunakan pada industri keju karena memiliki sifat hidrofobik yang sangat baik. Sifat ini memungkinkan paraffin wax membentuk lapisan pelindung yang efektif dalam menghambat perpindahan uap air sehingga mampu mengurangi kehilangan kelembapan, mempertahankan berat keju, serta menghambat pertumbuhan kapang selama penyimpanan (Gonzalez Ariceaga et al., 2018; Bucio et al., 2021). Kemampuan tersebut dipengaruhi oleh komposisi hidrokarbon rantai lurus (alkana) yang mendominasi lebih dari 90% komposisi paraffin wax, sehingga menghasilkan permeabilitas uap air yang rendah dan meningkatkan efektivitasnya sebagai material pelapis (Hauerlandová et al., 2014).

Dibandingkan dengan jenis lilin lainnya, seperti beeswax dan candelilla wax, paraffin wax menunjukkan kemampuan yang lebih baik dalam mempertahankan kelembapan keju karena memiliki nilai permeabilitas uap air yang lebih rendah (Bucio et al., 2021). Namun demikian, beberapa penelitian melaporkan bahwa lapisan paraffin wax cenderung mengalami keretakan selama penyimpanan maupun proses distribusi. Keretakan tersebut dapat menurunkan kemampuan lapisan dalam melindungi permukaan keju sehingga meningkatkan risiko kehilangan kelembapan dan kontaminasi mikroorganisme (Masae et al., 2014).

Protein Whey

Protein whey adalah produk sampingan dari Whey protein merupakan produk samping utama dari industri pembuatan keju yang berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan

pelapis (edible coating) karena mampu membentuk lapisan transparan, tidak berbau, fleksibel, dan aman untuk dikonsumsi (Avramescu et al., 2020). Selain memiliki kandungan protein yang tinggi, whey protein juga menunjukkan kemampuan membentuk film dengan sifat penghalang yang baik terhadap oksigen dan uap air sehingga mampu mempertahankan kelembapan, menghambat oksidasi lemak, serta menjaga tekstur dan cita rasa keju selama penyimpanan (Tomczyńska-Mleko et al., 2024; R. Zhang et al., 2024).

Meskipun demikian, efektivitas film whey protein dipengaruhi oleh kondisi penyimpanan. Struktur protein yang sensitif terhadap kelembapan dan suhu menyebabkan film mudah mengalami perubahan sifat mekanik. Pada kelembapan tinggi, film whey protein dapat menyerap air sehingga meningkatkan plastisitas dan menurunkan kekuatan mekaniknya. Sementara itu, paparan suhu tinggi dapat menyebabkan denaturasi protein yang mengurangi kemampuan film sebagai penghalang terhadap oksigen dan uap air (Xia et al., 2022). Akibatnya, kemampuan pelapis dalam mempertahankan kualitas keju selama penyimpanan menjadi berkurang (Song et al., 2023). Oleh karena itu, beberapa penelitian mengembangkan modifikasi formulasi melalui penambahan bahan hidrofobik atau agen penstabil yang terbukti mampu mengurangi kehilangan kelembapan dan mempertahankan kekerasan keju secara lebih efektif (Li et al., 2024).

Berbeda dengan kitosan, whey protein tidak memiliki aktivitas antimikroba alami sehingga efektivitasnya dalam menghambat pertumbuhan mikroorganisme bergantung pada penambahan senyawa aktif, seperti asam organik, minyak atsiri, atau peptida antimikroba (R. Zhang et al., 2024). Penambahan komponen tersebut dilaporkan mampu menghambat pertumbuhan bakteri patogen, khamir, dan kapang tanpa menurunkan kualitas sensori keju.

Selain berperan dalam mempertahankan mutu produk, whey protein juga menawarkan keuntungan dari aspek keberlanjutan. Pemanfaatan whey sebagai bahan pelapis merupakan salah satu bentuk valorisasi limbah industri susu yang sejalan dengan konsep ekonomi sirkular. Film whey protein memiliki tingkat biodegradabilitas yang tinggi sehingga dapat terurai dengan cepat pada kondisi pengomposan dan berpotensi mengurangi limbah kemasan berbasis plastik (Kontogianni et al., 2022; Hendrasty et al., 2022; Uribarrena et al., 2024). Berdasarkan berbagai penelitian tersebut, whey protein merupakan material pelapis yang menjanjikan karena mampu mempertahankan kualitas sensori dan memperpanjang umur simpan keju. Namun, keterbatasannya dalam aktivitas antimikroba dan stabilitas terhadap kelembapan menunjukkan bahwa modifikasi formulasi masih diperlukan agar kinerjanya dapat bersaing dengan material pelapis lain, seperti kitosan.

Kitosan

Kitosan merupakan polisakarida alami hasil deasetilasi kitin yang banyak ditemukan pada cangkang udang, kepiting, dan kerang. Material ini banyak dikembangkan sebagai edible coating karena mampu membentuk lapisan film yang homogen, memiliki sifat biodegradabel, serta menunjukkan aktivitas antimikroba alami yang tidak dimiliki oleh sebagian besar biopolimer lainnya (Ortiz et al., 2022; Ruggeri et al., 2021). Sebagai pelapis keju, kitosan berperan sebagai penghalang terhadap perpindahan uap air dan oksigen sehingga mampu mengurangi kehilangan kelembapan, mempertahankan aroma, serta melindungi produk dari oksidasi lipid selama penyimpanan (Ortiz et al., 2022; Casalini et al., 2024).

Keunggulan utama kitosan dibandingkan material pelapis lainnya adalah kemampuannya menghambat pertumbuhan bakteri, khamir, dan kapang. Aktivitas antimikroba tersebut berkontribusi dalam mempertahankan keamanan mikrobiologis sekaligus memperpanjang umur simpan keju (Casalini et al., 2024). Meskipun demikian,

Berdasarkan Gambar 2, paraffin wax bekerja terutama sebagai penghalang fisik yang bersifat hidrofobik sehingga sangat efektif menghambat perpindahan uap air dari permukaan keju. Sifat tersebut mampu mempertahankan kadar air, mengurangi kehilangan berat, dan menghambat pertumbuhan kapang pada permukaan keju. Namun demikian, paraffin wax tidak memiliki aktivitas antimikroba intrinsik serta cenderung mengalami keretakan selama penyimpanan jangka panjang, sehingga efektivitasnya dapat menurun apabila lapisan mengalami kerusakan.

Berbeda dengan paraffin wax, whey protein membentuk lapisan film yang transparan dan fleksibel dengan kemampuan penghalang yang baik terhadap oksigen dan uap air. Karakteristik tersebut berperan dalam memperlambat oksidasi lemak, mempertahankan tekstur, serta menjaga kualitas sensori keju selama penyimpanan. Selain berasal dari produk samping industri susu sehingga lebih ramah lingkungan, whey protein juga memiliki tingkat biodegradabilitas yang tinggi. Akan tetapi, material ini tidak memiliki aktivitas antimikroba alami sehingga efektivitasnya dalam menghambat pertumbuhan mikroorganisme masih bergantung pada penambahan senyawa aktif, seperti minyak atsiri atau asam organik.

Sementara itu, kitosan menunjukkan mekanisme perlindungan yang lebih kompleks dibandingkan kedua material lainnya. Selain membentuk lapisan penghalang terhadap uap air dan oksigen, gugus amino bermuatan positif pada kitosan mampu berinteraksi dengan membran sel mikroorganisme sehingga menghambat pertumbuhan bakteri, khamir, dan kapang. Kombinasi antara sifat penghalang dan aktivitas antimikroba tersebut menjadikan kitosan mampu mempertahankan tekstur, mengurangi oksidasi lipid, serta memperpanjang umur simpan keju hingga lebih dari 30 hari pada suhu dingin. Meskipun demikian, aplikasi kitosan masih memerlukan modifikasi formulasi, seperti penambahan plastisiser atau proses netralisasi residu asam asetat, untuk meningkatkan stabilitas lapisan dan mempertahankan mutu sensori produk.

Secara keseluruhan, ketiga jenis pelapis memiliki keunggulan yang berbeda sesuai dengan fungsi perlindungannya. Paraffin wax lebih unggul sebagai penghalang terhadap kehilangan kelembapan, whey protein menawarkan keseimbangan antara perlindungan produk dan keberlanjutan lingkungan, sedangkan kitosan memberikan perlindungan paling komprehensif karena mengombinasikan sifat penghalang dengan aktivitas antimikroba alami. Oleh karena itu, pemilihan jenis pelapis sebaiknya disesuaikan dengan tujuan aplikasi. Paraffin wax lebih sesuai untuk mempertahankan kadar air, whey protein cocok digunakan sebagai pelapis ramah lingkungan yang menjaga kualitas sensori, sedangkan kitosan menjadi alternatif paling potensial untuk memperpanjang umur simpan dan meningkatkan keamanan mikrobiologis keju. Di masa mendatang, pengembangan pelapis komposit yang mengombinasikan paraffin wax, whey protein, dan kitosan berpotensi menghasilkan sistem edible coating dengan sifat penghalang, aktivitas antimikroba, dan stabilitas mekanik yang lebih optimal dibandingkan penggunaan satu material secara tunggal.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian literatur, paraffin wax, whey protein, dan kitosan memiliki karakteristik serta mekanisme perlindungan yang berbeda dalam mempertahankan kualitas dan memperpanjang umur simpan keju. Paraffin wax efektif mengurangi kehilangan kelembapan, whey protein mampu mempertahankan kualitas sensori serta mendukung konsep keberlanjutan, sedangkan kitosan menunjukkan performa paling komprehensif karena memiliki aktivitas antimikroba alami sekaligus mampu mempertahankan tekstur dan memperpanjang umur simpan keju. Oleh karena itu, pemilihan jenis pelapis perlu

disesuaikan dengan tujuan aplikasi dan karakteristik produk. Pengembangan pelapis komposit yang mengombinasikan keunggulan masing-masing material berpotensi menjadi alternatif yang lebih efektif untuk meningkatkan kualitas, keamanan, dan umur simpan keju.

DAFTAR PUSTAKA

- Artiga-Artigas, M., Acevedo-Fani, A., & Martín-Belloso, O. (2017). Improving the shelf life of low-fat cut cheese using nanoemulsion-based edible coatings containing oregano essential oil and mandarin fiber. *Food control*, 76, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.01.001>
- Avramescu, S. M., Butean, C., Popa, C. V., Ortan, A., Moraru, I., & Temocico, G. (2020). Edible and functionalized films/coatings—Performances and perspectives. *Coatings*, 10(7), 687. <http://dx.doi.org/10.3390/coatings10070687>
- Bucio, A., Moreno-tovar, R., Bucio, L., Espinosa-dávila, J., & Anguebes-franceschi, F. (2021). Characterization of beeswax, candelilla wax and paraffin wax for coating cheeses. *Coatings*, 11(3), 1–18. <https://doi.org/10.3390/coatings11030261>
- Casalini, R., Ghisoni, F., Bonetti, L., Fiorati, A., & De Nardo, L. (2024). Development of acid-free chitosan films in food coating applications: Provolone cheese as a case study. *Carbohydrate Polymers*, 331, 121842. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2024.121842>
- Flórez, M., Guerra-Rodríguez, E., Cazón, P., & Vázquez, M. (2022). Chitosan for food packaging: Recent advances in active and intelligent films. *Food Hydrocolloids*, 124, 107328. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107328>
- Gonzalez Ariceaga, C., Afzal, M., Umer, M., Usman, S., Ahmed, H., Jacquot, M., & Catherine, C.-G. (2018). Effect of alginate beads on olfactory sensory perception of paraffin coated cheese. *Czech Journal of Food Sciences*, 36, 255–260. <https://doi.org/10.17221/431/2016-CJFS>
- Hassan, A. H., Korany, A. M., Zeinhom, M. M., Mohamed, D. S., & Abdel-Atty, N. S. (2022). Effect of chitosan-gelatin coating fortified with papaya leaves and thyme extract on quality and shelf life of chicken breast fillet and Kareish cheese during chilled storage. *International Journal of Food Microbiology*, 371, 109667. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109667>
- Hauerlandová, I., Lorencová, E., Buňka, F., Navrátil, J., Janečková, K., & Buňková, L. (2014). The influence of fat and monoacylglycerols on growth of spore-forming bacteria in processed cheese. *International journal of food microbiology*, 182, 37-43. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2014.04.027>
- Hendrasty, H. K., Rahayu, W. T., & Marsudi, F. (2022). Effectiveness of Edible Film from Mozzarella Cheese Whey on Physical and Chemical Properties of “Halloumi” Cheese and “Mozzarella” Cheese Stored at Room Temperature. *Jurnal Agroekoteknologi Terapan*, 3(2), 229-237. <https://doi.org/10.35791/jat.v3i2.43577>
- Hyun, J.-E., & Lee, S.-Y. (2020). Antibacterial effect and mechanisms of action of 460–470 nm light-emitting diode against *Listeria monocytogenes* and *Pseudomonas fluorescens* on the surface of packaged sliced cheese. *Food Microbiology*, 86, 103314. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fm.2019.103314>
- Kontogianni, V. G., Kasapidou, E., Mitlianga, P., Mataragas, M., Pappa, E., Kondyli, E., & Bosnea, L. (2022). Production, characteristics and application of whey protein films activated with rosemary and sage extract in preserving soft cheese. *Lwt*, 155, 112996. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112996>
- Kritchenkov, A. S., Egorov, A. R., Yagafarov, N. Z., Volkova, O. V., Zabodalova, L. A., Suchkova, E. P., Kurliuk, A. V., & Khrustalev, V. N. (2020). Efficient reinforcement of chitosan-based coatings for Ricotta cheese with non-toxic, active, and smart nanoparticles. *Progress in Organic Coatings*, 145, 105707. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2020.105707>

- Kure, C. F., & Skaar, I. (2019). The fungal problem in cheese industry. *Current Opinion in Food Science*, 29, 14-19. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.07.003>
- Li, H., Qiu, X., Ren, C., Zhao, S., Zhang, J., Cao, H., Zou, Y., Chen, X., Li, H., & Yu, J. (2024). Effect of the whey protein isolate-pectin bilayer emulsion system on the textural properties and oil release characteristics of room-temperature stored processed cheese. *LWT*, 203, 116403. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.116403>
- Masae, M., Pitsuwan, P., Sikong, L., Kooptarnond, K., Kongsong, P., & Phoempoon, P. (2015). Karakterisasi termofisika parafin dan lilin lebah pada kain katun. *Science & Technology Asia*, 19 (4), 69–77. Diperoleh dari <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/SciTechAsia/article/view/41129>
- Nastaj, M., Sołowiej, B. G., Gustaw, W., Peréz-Huertas, S., Mleko, S., & Wesołowska-Trojanowska, M. (2019). Physicochemical properties of High-Protein-Set Yoghurts obtained with the addition of whey protein preparations. *International Journal of Dairy Technology*, 72(3), 395–402. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1471-0307.12603>
- Ortiz, J. A., Sepúlveda, F. A., Panadero-Medianero, C., Murgas, P., Ahumada, M., Palza, H., Matsuhiro, B., & Zapata, P. A. (2022). Cytocompatible drug delivery hydrogels based on carboxymethylagarose/chitosan pH-responsive polyelectrolyte complexes. *International Journal of Biological Macromolecules*, 199, 96–107. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.12.093>
- Paula, V. B., Dias, L. G., & Estevinho, L. M. (2024). Microbiological and Physicochemical Evaluation of Hydroxypropyl Methylcellulose (HPMC) and Propolis Film Coatings for Cheese Preservation. *Molecules*, 29(9), 1941. <https://doi.org/10.3390/molecules29091941>
- Pluta-Kubica, A., Jamróz, E., Kawecka, A., Juszczak, L., & Krzyściak, P. (2020). Active edible furcellaran/whey protein films with yerba mate and white tea extracts: Preparation, characterization and its application to fresh soft rennet-curd cheese. *International Journal of Biological Macromolecules*, 155, 1307–1316. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.11.102>
- Prasad, W., Wani, A. D., Shende, V., Khamrui, K., & Hussain, S. A. (2022). Effect of glucan addition on complexed zinc concentration and physico-chemical attributes of buffalo milk paneer whey. *Food Bioscience*, 49, 101912. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101912>
- Proulx, J., Agustin, M., Sullivan, G., VanWees, S., Jian, J., Hilton, S. T., & Moraru, C. I. (2017). Short communication: Influence of pulsed light treatment on the quality and sensory characteristics of Cheddar cheese. *Journal of Dairy Science*, 100(2), 1004–1008. <https://doi.org/https://doi.org/10.3168/jds.2016-11579>
- Ruggeri, E., Farè, S., De Nardo, L., & Marelli, B. (2021). Edible Biopolymers for Food Preservation. In *Sustainable Food Packaging Technology* (pp. 57–105). <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9783527820078.ch3>
- Schlossareck, C., & Ross, C. (2019). Electronic Tongue and Consumer Sensory Evaluation of Spicy Paneer Cheese. *Journal of Food Science*, 84. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14604>
- Song, B., Zhu, P., Zhang, Y., Ju, N., Si, X., Pang, X., Lv, J., & Zhang, S. (2023). Preparation and quality assessment of processed cream cheese by high hydrostatic pressure combined thermal processing and spore-induced germination. *Journal of Food Engineering*, 341, 111319. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2022.111319>
- Todaro, M., Palmeri, M., Cardamone, C., Settanni, L., Mancuso, I., Mazza, F., Scatassa, M. L., & Corona, O. (2018). Impact of packaging on the microbiological, physicochemical and sensory characteristics of a “pasta filata” cheese. *Food Packaging and Shelf Life*, 17, 85–90. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.06.005>
- Tomczyńska-Mleko, M., Sołowiej, B. G., Terpiłowski, K., Wesołowska-Trojanowska, M., & Mleko, S. (2024). Novel high-protein dairy product based on fresh white cheese and whey protein isolate. *Journal of Dairy Science*. <https://doi.org/10.3168/jds.2024-25263>
- Uribarrena, M., Rovira-Cal, E., Urbina, L., Suárez, M. J., Aymerich, E., Guerrero, P., de la Caba, K., & Etxabide, A. (2024). Valorization of cheese whey: closing the loop from protein extraction to whey protein film composting. *Green Chemistry*, 26(7), 4103–4111. <https://doi.org/https://doi.org/10.1039/d3gc04304e>

- Xia, X., Kelly, A. L., Tobin, J. T., Meng, F., Fenelon, M. A., Li, B., ... & Sheehan, J. J. (2022). Effect of heat treatment on whey protein-reduced micellar casein concentrate: A study of texture, proteolysis levels and volatile profiles of Cheddar cheeses produced therefrom. *International Dairy Journal*, 129, 105280. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105280>
- Zhang, R., Wang, B., Zhang, F., Zheng, K., & Liu, Y. (2024). Milk-derived antimicrobial peptides incorporated whey protein film as active coating to improve microbial stability of refrigerated soft cheese. *International Journal of Food Microbiology*, 419, 110751. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2024.110751>
- Zhang, X., Liu, Y., Yong, H., Qin, Y., Liu, J., & Liu, J. (2019). Development of multifunctional food packaging films based on chitosan, TiO₂ nanoparticles and anthocyanin-rich black plum peel extract. *Food Hydrocolloids*, 94, 80–92. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.03.009>