खण्ड-9, अंक-1, वर्ष-2021, मु0प्र0 24-29
D.O.I.: https://doi.org/10.22445/avsp.v9i1.5
SJIF (2021) : 7.247

शोध पत्र

डेयरी उद्योग में झिल्ली पृथक्करण प्रौद्योगिकी

आफरीन अन्सारी[1], मुहम्मद अयूब अन्सारी[2] एवं रमेश कुमार प्रजापति[3]
[1]रसायन विज्ञान विभाग, एस0एम0एस0 शासकीय आदर्श विज्ञान महाविद्यालय, ग्वालियर–474 009, म0प्र0, भारत
[2]रसायन विज्ञान विभाग, बिपिन बिहारी महाविद्यालय, झाँसी–284 001, उ0प्र0, भारत
[3]रसायन विज्ञान विभाग, दिगम्बर जैन महाविद्यालय, बड़ौत, बागपत–250 611, उ0प्र0, भारत
drayub67@gmail.com

प्राप्त तिथि–31.08.2021, स्वीकृत तिथि–26.10.2021

सार– झिल्ली पृथक्करण प्रौद्योगिकी डेयरी उद्योग को मजबूत, विश्वसनीय एवं सुरक्षित प्रक्रिया प्रदान करती है। डेयरी उद्योग को एक महत्वपूर्ण खाद्य उद्योग माना जाता है जो सभी आयु समूहों के लिए विभिन्न प्रकार के पोषक तत्वों से भरपूर डेयरी उत्पाद प्रदान करता है। डेयरी उद्योग में विभिन्न प्रकार की झिल्लियों का उपयोग किया जाता है। पनीर उद्योग में, झिल्ली पनीर के उत्पादन एवं गुणवत्ता को बढ़ाती है तथा पनीर के दूध को सांद्रित करके मट्ठा की मात्रा को नियंत्रित करती है। झिल्ली प्रक्रियाओं में नई तकनीक की प्रगति के साथ, मट्ठा से विकास कारक को पुर्नप्राप्त करना संभव है। बेहतर गुणवत्ता वाली झिल्लियों के साथ–साथ नई तकनीक की उत्पत्ति के साथ, झिल्लियों की प्रमुख सीमा, दूषण या रुकावट को अधिकाधिक स्तर तक दूर कर लिया गया है।

बीज शब्द– झिल्ली पृथक्करण, झिल्ली निस्पंदन, विलवणीकरण, सान्द्रण, अंशीकरण, दूध शोधन

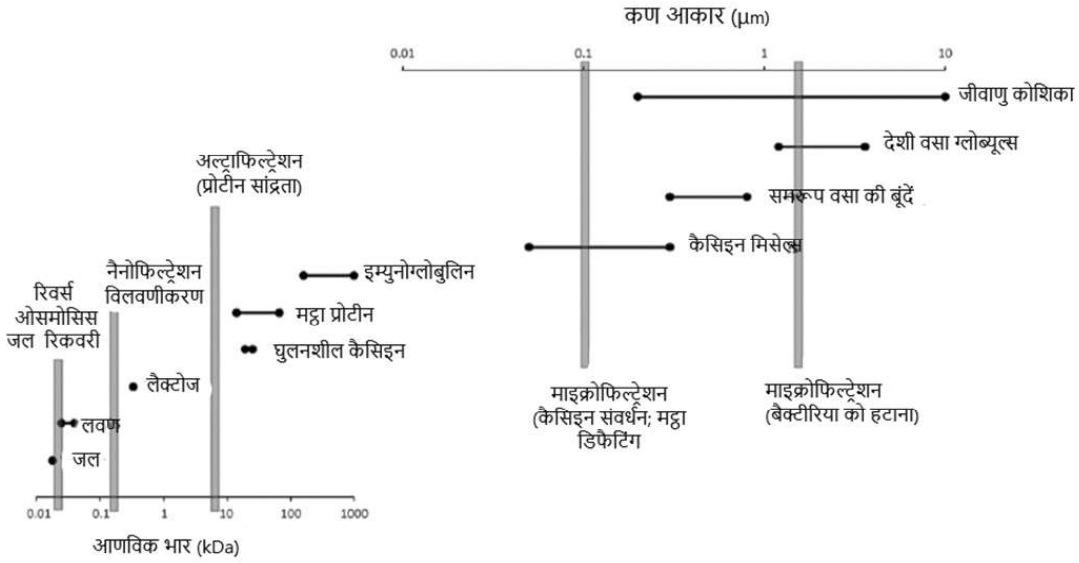
Membrane Separation Technology in the Dairy Industry

Afren Ansari[1], Mohd. AyubAnsari[2] and Ramesh Kumar Prajapati[3]
[1]Department of Chemistry, S.M.S. Govt. Model Science College, Gwalior-474 009, M.P., India
[2]Department of Chemistry, Bipin Bihari College, Jhansi-284 001, U.P., India
[3]Department of Chemistry, Digamber Jain College, Baraut, Baghpat-250 611, U.P., India
drayub67@gmail.com

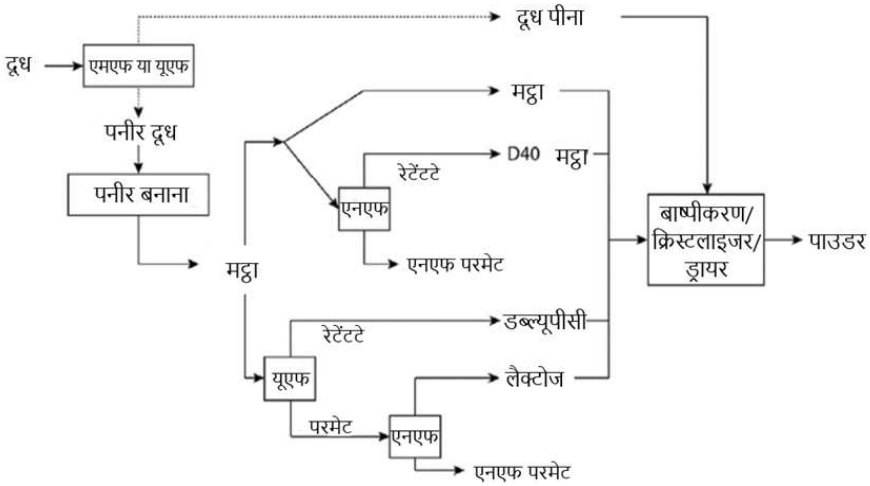
Abstract- Membrane separation technology provides the dairy industry with robust, reliable, and safe processes. Dairy industry is considered as an important food industry that provides different kinds of nutritionally rich dairy products for all age groups. Different types of membranes are used in dairy industry. In the cheese industry, membranes increase the yield and quality of cheese and control the whey volume, by concentrating the cheese milk. With the advancement of newer technology in membrane processes, it is possible to recover growth factor from whey. With the introduction of superior quality membranes as well as newer technology, the major limitation of membranes, fouling or blockage has been overcome to a greater extent.

Key words- Membrane Separation, Membrane Filtration, Demineralization, Concentrating, Fractionation, Milk Purification

1. **परिचय–** डेयरी उद्योग ने फार्म पर कच्चे दूध की सांद्रता से लेकर दूध प्रौद्योगिकी एवं अपशिष्ट उपचार तक विभिन्न विनिर्माण चरणों में झिल्ली प्रौद्योगिकियों को सफलतापूर्वक सम्मिलित किया है। दूध में क्रियात्मक अणुओं की एक बड़ी श्रृंखला होती है जिसे अलग से उपयोग में लाया जा सकता है। दूध एक जटिल कोलाइडल द्रव है, इसमें 3.3% प्रोटीन पायी जाती है। प्रोटीन के अलावा इसमें आयन एवं बड़े वसा वाले ग्लोब्यूल्स उपस्थित होते हैं। जैसा कि **चित्र–1** एवं **चित्र–2** में दिखाया गया है।



चित्र–1: डेयरी उद्योग में झिल्ली प्रक्रियाओं के अनुप्रयोगों के उदाहरण
[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128150566000085]



चित्र–2: डेयरी उद्योग में दूध और मट्ठा व्युत्पन्न के पाउडर उत्पादन के लिए झिल्ली निस्पंदन प्रक्रियाओं के व्यावसायिक अनुप्रयोगों के कुछ उदाहरण। D40, 40% खनिज हटाने के साथ विखनिजीकृत मट्ठा; एमएफ, माइक्रोफिल्ट्रेशन; एनएफ, नैनोफिल्ट्रेशन; यूएफ अल्ट्राफिल्ट्रेशन; डब्ल्यूपीसी, मट्ठा प्रोटीन सांद्रित।
[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128150566000085]

यह झिल्ली पृथक्करण को दूध में उपस्थित विभिन्न क्रियात्मक घटकों के अंशीकरण एवं सांद्रण के लिए विशेष रूप से उपयुक्त तकनीक बनाता है। उदाहरण के लिए, दूध में एक सुसंगत प्रोटीन संरचना सुनिश्चित करने से संसाधित उपभोक्ता उत्पादों (पनीर और दही) की उच्च गुणवत्ता और स्थिरता प्राप्त होती है। विशिष्ट दूध घटकों को पुर्नप्राप्त करने की क्षमता वांछित कार्यात्मकताओं (जैसे, बायोएक्टिव पेप्टाइड्स और खाद्य कोटिंग्स) के साथ नए उत्पादों के विकास को संभव बनाती है। सर्वाधिक उपयोग की जाने वाली झिल्ली पृथक्करण तकनीकें माइक्रोफिल्ट्रेशन, अल्ट्राफिल्ट्रेशन, नैनोफिल्ट्रेशन, रिवर्स ऑस्मोसिस एवं इलेक्ट्रोडायलिसिस हैं। उनकी विशेषताओं एवं अनुप्रयोगों को **तालिका–1** में दिखाया गया है।

तालिका–1
डेयरी उद्योग में सामान्यतः उपयोग की जाने वाली झिल्ली तकनीक

प्रकार	छिद्र आकार	आणविक भार	दाब एवं सिद्धांत	यौगिक एवं प्रतिधारण	डेयरी उद्योग में अनुप्रयोग
माइक्रोफिल्ट्रेशन	0.2.2μm	>200 kDa	कम दाब (2 बार से नीचे) संचालित झिल्ली प्रक्रिया	कम प्रतिशोध, प्रोटीन, बैक्टीरिया और अन्य कणों का पृथक्करण	1. दूध से मलाई निकालना एवं पनीर 2. डेक्स्ट्रोज 3. स्पष्टीकरण 4. बैक्टीरिया 5. हटाना
अल्ट्राफिल्ट्रेशन	1.500 μm	1.200 kDa	चिपचिपाहट को दूर करने के लिए मध्यम दाब(1–10 बार) दाब संचालित प्रक्रिया	कैसिइन मिसेल, वसा ग्लोब्यूल्स, कोलाइडल खनिज, बैक्टीरिया और दैहिक कोशिकाओं के साथ बड़े प्रतिशोधी	1. दूध का मानकीकरण, कैल्शियम एवं लैक्टोज की कमी 2. प्रोटीन, मट्ठा, दूध सांद्रता
नैनोफिल्ट्रेशन	0.5–2 nm	300–1.00 kDa	मध्यम से उच्च दाब(5–40 बार), आकार अपवर्जन एवं इलेक्ट्रोस्टैटिक इंटरैक्शन द्वारा बड़े पैमाने पर स्थानांतरण घटना	कम उत्पादकता, अलग मोनोवैलेंट नमक और पानी	मट्ठा का विलवणीकरण, लैक्टोज मुक्त दूध, मात्रा में कमी
रिवर्स ऑस्मोसिस	कोई छिद्र नहीं	100 kDa	उच्च दाब(10–100 बार)	घुलनशीलता के सिद्धांत पर आधारित, कम उत्पादकता	मट्ठा में कमी, कुल ठोस एवं जल की रिकवरी

माइक्रोफिल्ट्रेशन झिल्ली 0.05–10μm की सीमा में कोलाइडल एवं निलंबित कणों को हटाने में सक्षम हैं। जबकि इससे छोटे घुलनशील प्रोटीन, लैक्टोज एवं लवण साधारणतया निकल जाता है। अल्ट्राफिल्ट्रेशन डेयरी में सबसे अधिक उपयोग आने वाली झिल्ली है, मुख्य रूप से इसका उपयोग दूध एवं मट्ठा में उपस्थित प्रोटीन स्तर को समायोजित एवं मानकीकृत करने के लिए किया जाता है। अल्ट्राफिल्ट्रेशन लगभग 8000 Da (जैसे–वसा ग्लोब्यूल्स एवं सभी प्रोटीन) से अधिक आणविक भार के निलंबित ठोस एवं विलय को बनाये रख सकता है, जबकि लैक्टोज एवं घुलनशील लवणों को हटा देता है (जैसा कि **चित्र–1** में दिखाया गया है) इसके बाद माइक्रोफिल्ट्रेशन होता है। जिसका उपयोग दूध से सूक्ष्मजीव हटाने हेतु किया जाता है।[1,2]

डेयरी उद्योग में नैनोफिल्ट्रेशन झिल्ली का उपयोग मट्ठा विलवणीकरण के लिए किया जाता है। नैनोफिल्ट्रेशन झिल्ली 100–500 Da से अधिक आणविक भार वाले अणुओं को बनाये रखता है। आणविक आकार के अतिरिक्त, घटकों को आयन के आधार पर नैनोफिल्ट्रेशन झिल्ली द्वारा अलग किया जाता है। उदाहरण के लिए एकसंयोजक आयनों को आसानी से हटाया जा सकता हैं।[3,4] कैल्शियम एवं मैग्नीशियम, जोकि दूध/मट्ठा में सबसे महत्वपूर्ण आयन हैं। इसलिए रिटेंटेट में प्रभावी रूप से बनाये रखा जा सकता है। रिवर्स ऑस्मोसिस झिल्ली केवल जल में उपस्थित अणुओं को आरपार होने की अनुमति देता है, जिससे यह वाष्पीकरण एवं सुखाने से पहले दूध और मट्ठा को सांद्रित करने के लिए एक आदर्श उम्मीदवार बन जाता है, जिससे ऊर्जा का व्यय कम हो जाता है। डेयरी उद्योग में झिल्ली अनुप्रयोगों के कुछ उदाहरण **चित्र–2** में प्रस्तुत किए गए हैं।

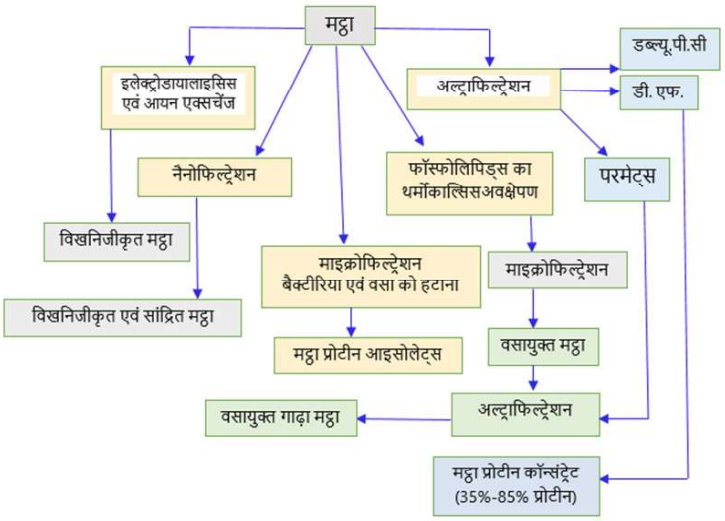
इलेक्ट्रोडायलिसिस का उपयोग आयनिक जातियों (जैसे, कार्बनिक अम्ल और लवण) को दूध एवं मट्ठा से निकालने के लिए आयन एक्सचेंज झिल्ली में एक विद्युत ड्राइविंग बल का उपयोग करके किया जा सकता है। अणु अपने आवेश और आणविक आकार के आधार पर

इन झिल्लियों के माध्यम से पलायन करते हैं। आयन एक्सचेंज झिल्ली द्वारा प्रोटीन को पूरी तरह से निरस्त कर दिया जाता है, जिससे इलेक्ट्रोडायलिसिस विलवणीकरण के लिए एक प्रभावी वैकल्पिक तकनीक बन जाती है। इन सभी पृथक्करण तकनीकों का एक अच्छा आर्थिक कार्य है एवं पर्यावरण के अनुकूल और उपयोग करने के लिए सरल हैं, वे डेयरी उद्योग में सूक्ष्मजीव को हटाने, सांद्रता, घटक पृथक्करण और अपशिष्ट जल उपचार के लिए व्यापक रूप से उपयोग किए जाते हैं।

2. **डेयरी उद्योग में झिल्ली पृथक्करण प्रौद्योगिकी के अनुप्रयोग**– विभिन्न गुणों वाली विभिन्न प्रकार के झिल्ली फिल्टर बाजार में उपलब्ध हैं (**तालिका–1**) एवं सामान्यतः डेयरी उद्योग में उपयोग की जाती हैं। दूध की आयु, मट्ठा प्रक्रम (प्रोसेसिंग), पनीर उद्योग, दूध प्रोटीन प्रोसेसिंग, दूध वसा का अंश एवं विलवणीकरण या विखनिजीकरण सहित डेयरी प्रौद्योगिकी के विभिन्न क्षेत्रों में झिल्ली को लागू किया गया है।

2.1. **दूध का समय बढ़ाने में झिल्लियों का उपयोग**– दुग्ध उत्पाद ऐसे उत्पाद होते हैं जिनका उपचार इस तरह से किया जाता है कि सामान्य पाश्चुरीकरण से परे सूक्ष्मजीव को कम किया जा सके, अत्यधिक स्वच्छ परिस्थितियों में पैक किया गया हो, एवं प्रशीतित परिस्थितियों में लंबे समय तक चले।[5,6] माइक्रोफिल्ट्रेशन सूक्ष्मजीव की उपस्थिति को कम करने और स्वाद को संरक्षित करते हुए डेयरी उत्पादों की सूक्ष्मजीव विज्ञानी सुरक्षा में सुधार करने के लिए ताप उपचार के विकल्प का गठन करता है।[7] यह दूध, मट्ठा और पनीर से बैक्टीरिया एवं बीजाणुओं को हटाने की एक गैर–तापीय विधि है।[8]

2.2. **मट्ठा प्रौद्योगिकी में झिल्ली का अनुप्रयोग**– मट्ठा एक डेयरी उप–उत्पाद है जो दूध उत्पादों की प्रक्रिया अवधि में प्राप्त किया जाता है। जैसे पनीर, पनीर एवं कैसिइन। पनीर एक भारतीय डेयरी उत्पाद है जो साइट्रिक एसिड, लैक्टिक एसिड या टार्टरिक एसिड[9,10] के साथ कैसिइन को जमा करके तैयार किए गए नरम पनीर के समान होता है। विकासशील देशों में मट्ठा आसानी से निकाला जाता है। विभिन्न झिल्ली निस्पंदन प्रौद्योगिकी के उपयोग से, मट्ठा में पोषक तत्व सांद्रित, भिन्नात्मक या मूल्यवान उत्पादों जैसे मट्ठा प्रोटीन सांद्रित/आइसोलेट्स, α–लैटलबुमिन, β–लैक्टोग्लोबुलिन, लैक्टोज एवं लवण में शुद्ध होते हैं जैसा कि **चित्र–3** में दिखाया गया है।



चित्र–3: मट्ठा प्रौद्योगिकी में झिल्ली के उपयोग का आरेखीय प्रतिनिधित्व

सूक्ष्मजीव एवं बीजाणुओं के झिल्ली पृथक्करण से उच्च गुणवत्ता वाले मट्ठा प्रोटीन कॉन्संट्रेट एवं मट्ठा प्रोटीन आइसोलेट्स का उत्पादन होता है, जिसमें मट्ठा से निहित क्रियात्मक गुण होते हैं क्योंकि यह मट्ठा या सीरम प्रोटीन के विकृतीकरण से बचते हैं।[11]

वर्तमान में अल्ट्राफिल्ट्रेशन का उपयोग करके औद्योगिक पैमाने पर डब्ल्यूपीसी तैयार किया जाता है, हालांकि झिल्ली का खराब होना अभी भी एक चिंता का विषय है। अल्ट्राफिल्ट्रेशन एवं आर.ओ. का उपयोग मट्ठा उत्पादन में किया जाता है।[12]

2.3. **पनीर उद्योग में झिल्लियों का अनुप्रयोग**– झिल्ली निस्पंदन तकनीक के पनीर उद्योग में कई अनुप्रयोग हैं जैसे–पोषक गुणवत्ता में

सुधार, बेहतर संरचना नियंत्रण और कुल ठोस पदार्थ को बढ़ाकर पनीर की उपज बढ़ाना, पनीर की तैयारी के दौरान मट्ठा का उपयोग, रेनेट और स्टार्टर कल्चर की आवश्यकता को तुलनात्मक रूप से कम करना। पनीर बनाने से पहले दूध को सांद्रित करने से पनीर उद्योग में एक नया क्षेत्र खुल जाता है जिससे लागत कम हो जाती है और साथ ही पनीर बनाने की पूरी प्रक्रिया तेज हो जाती है।[13] पनीर उद्योग में यू. एफ. और एम.एफ. का सबसे अधिक उपयोग किया जाता है।

2.4. **दूध प्रोटीन प्रौद्योगिकी में झिल्लियों का अनुप्रयोग**– दूध प्रोटीन विशेष रूप से कैसिइन दूध में उपस्थित और चिपचिपाहट में महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं। अल्ट्राफिल्ट्रेशन के प्रयोग से दूध में प्रोटीन की मात्रा का स्तर पानी को हटाकर बिना किसी बाहरी प्रोटीन स्रोत को जोड़े समायोजित किया जाता है। यह आनुवंशिक और साथ ही पर्यावरणीय कारकों[14] के कारण भिन्नता के बावजूद दूध की संरचना, पोषक मूल्य, भौतिक रासायनिक गुणों और संवेदी विशेषताओं के रखरखाव का कारण बनता है।

3. **विलवणीकरण या विखनिजीकरण में झिल्लियों की भूमिका**– मट्ठे से खनिजों को हटाने पर इसका मूल्य बढ़ जाता है। पनीर मट्ठा नमक और एसिड से भरपूर होता है एवं इसके उपयोग से पहले और पर्यावरणीय खतरों को कम करने के लिए मट्ठे की कमी या विखनिजीकरण आवश्यक है। डेरी उद्योग में खनिजों की 60% तक कमी प्राप्त करने के लिए विखनिजीकरण इलेक्ट्रोडायलिसिस एवं आयन एक्सचेंज प्रक्रिया द्वारा किया जाता है।[15] रिवर्स ऑसमोसिस या वाष्पीकरण द्वारा 20% तक शुष्क पदार्थ को पूर्व–सांद्रित करके इलेक्ट्रोडायलिसिस की दक्षता को बढ़ाया जा सकता है। आयन एक्सचेंज द्वारा, मट्ठे को आयन एक्सचेंज कॉलम के ऊपर से गुजारा जाता है एवं आयनों को हटाने की दर कॉलम में प्रयुक्त राल के साथ–साथ आयनों के प्रकार पर निर्भर करती है। रेजिन के पुनर्जनन के लिए ढेर सारे जल और रसायनों की आवश्यकता इस तकनीक की प्रमुख सीमाएँ हैं।

4. **निष्कर्ष**– झिल्ली पृथक्करण तकनीक डेयरी उद्योग को मजबूत, विश्वसनीय और सुरक्षित प्रक्रियाएं प्रदान करती है। वे पारंपरिक वाष्पीकरणीय संचालन के विकल्प प्रदान करती हैं, एवं उत्पादकता और उत्पाद की गुणवत्ता में वृद्धि करती हैं। विभिन्न प्रकार की झिल्ली प्रक्रियाओं का उपयोग करते हुए, दूध में प्राकृतिक घटकों को अलग किया जा सकता है एवं मूल्य वर्धित उत्पादों का उत्पादन करने के लिए शुद्ध किया जा सकता है जिनमें बड़ी व्यावसायिक क्षमता होती है। झिल्ली तकनीक का उपयोग वांछित विशेषताओं के साथ अत्यधिक क्रियात्मक पदार्थ एवं न्यूट्रास्यूटिकल उत्पादों को बनाने के लिए किया जा सकता है। डेयरी उद्योग में झिल्ली पृथक्करण प्रौद्योगिकी के इन सभी अनुप्रयोगों पर चर्चा की गई है। उत्तम झिल्लियों के विकास के सतत् प्रयासों का डेयरी प्रौद्योगिकी में झिल्लियों की महत्वपूर्ण भूमिका है।

सन्दर्भ

1. ब्रान्स, जी0 एवं अन्य (2004) दूध का झिल्ली अंशः कला और चुनौतियों की स्थिति, जे ऑफ मेम. साइंस, खण्ड–243 (1), मु०पृ० 263–272।
2. जॉर्ज, क्यू0 चेन; थॉमस; एस0 एच0; लिओंग, सैंड्रा ई0 केंटिश; मुथुपंडियन, अशोक कुमार एवं ग्रेगरी जे0 ओ0 मार्टिन, डेयरी उद्योग में झिल्ली पृथक्करण, सेप० ऑफ फंक्शनल मॉलीक्युल्स इन फूड बाई मेम० टेक०, डीओआईः https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815056-6.00008-5।
3. नाथ, के0(2008) झिल्ली पृथक्करण विधियाँ, पी0एच0आई0 लर्निंग प्रा0 लिमिटेड, नई दिल्ली।
4. ओटले–रेडक्लिफ, डी0 एल0 एवं अन्य (2017) नैनोफिल्ट्रेशन झिल्ली और प्रक्रियाएंः पिछले दशक में अनुसंधान प्रवृत्तियों की समीक्षा, ज0ऑफ जल प्रक्रिया अभियांत्रिकी, खण्ड–19 (सप्ल. सी), मु०पृ०164–171।
5. रिस्स्टैड, आर0 एवं कोलस्टैड, जे0 (2006) विस्तारित शेल्फ लाइफ दूध–प्रौद्योगिकी , अंतरराष्ट्रीय ज0 ऑफ डायरी टेक्नोलॉजी, खण्ड–49 , मु०पृ० 85–96।
6. कुमार, पवन; शर्मा, नीलेश, राजीव रंजन, राजीव; कुमार, सुनील; भट,जेड0 एफ0 एवं जीओंग, डोंग की0 (2013) डेयरी उद्योग में झिल्ली प्रौद्योगिकी के परिप्रेक्ष्यः एक समीक्षा, एशियाई आस्ट्रेलिया ज0 ऑफ एनिम0 साइंस, खण्ड–26, अंक–9, मु0पृ0 1347–1358। DOI: http://dx.doi.org/10.5713/ajas.2013.13082
7. पफिलियास, आई0; चेरियन, एम0; महैब, एम0 ए0 एवं सगलम, एन0 (1996) चीनी मिट्टी की झिल्लियों के साथ दूध का माइक्रोफिल्ट्रेशन, फूड रेस0 इंटरनेशनल, खण्ड–29, मु0पृ0 141–146।
8. मीरसन, एम0 (1989) बैक्टोकैच के साथ नाइट्रेट मुक्त पनीर बनाना, नॉर्थ यूरो0 फूड डेयरी ज0, खण्ड–55, मु0पृ0108–113।
9. कुमार, एस0, राय, डी0 सी0; निरंजन, के0 एवं भट, जेड0 एफ0 (2011) पनीर–एक भारतीय नरम पनीर संस्करणः एक समीक्षा, ज0 ऑफ फूड साइंस टेक0। DOI: 10.1007 s13197-011-0567-xA
10. कुमार, एस0, राय, डी0 सी0 एवं वर्मा, डी0 एन0 (2008) भैंस के दूध से पनीर के भौतिक–रासायनिक एवं संवेदी गुणों पर लैक्टिक

एसिड के विभिन्न स्तरों का प्रभाव, भारतीय ज0 ऑफ एनिम0 रेस0, खण्ड–42, मु0पृ0205–208।

11. लीपनीजकी, एफ0 (2010) खाद्य उद्योग में क्रॉस–फ्लो झिल्ली अनुप्रयोग। इनः मेम्ब्रेन टेक्नोलॉजी, खाद्य अनुप्रयोगों के लिए झिल्ली (एडी0 क्लॉस–विक्टर पेइनमैन, सुजाना परेरा नून्स, और लिडिएटा गियोर्नो), खण्ड–3।
12. सिएनकिविक्ज, टी0 एवं रिडेल, सी0 एल0(1990) मट्ठा एवं मट्ठा का उपयोग, दूसरा संस्करण, वेरलाग टी0 एच0, मान, गेल्सेंकिर्चेन–बुएर, जर्मनी।
13. हेनिंग, डी0 आर0; बेयर, आर0 जे0; हसन, ए0 एन0 एवं दवे, आर0 (2006) केंद्रित और सूखे दूध उत्पादों, पनीर एवं दूध वसा आधारित अवधारणाओं में प्रमुख प्रगति, ज0 ऑफ डायरी साइंस, खण्ड–89, मु0पृ01179–1188।
14. पुहान, जेड0 (1992) झिल्ली प्रक्रियाओं के नए अनुप्रयोग, आई0डी0एफ0 विशेष अंक–9201, ब्रूसेल्स, बेल्जियम, पृ0स0 23–32।
15. ग्रीटर, एम0; नोवालिन, एस0; वेंडलैंड, एम.; कुल्बे, के0 डी0 एवं फिशर, जे0 (2002) इलेक्ट्रोडायलिसिस और आयन एक्सचेंज रेजिन द्वारा मट्ठा का विलवणीकरणः उनकी संचयी ऊर्जा मांग की गणना करके स्थिरता के संबंध में दोनों प्रक्रियाओं का विश्लेषण, ज0 ऑफ मेम्ब0साइंस, खण्ड–210, मु0पृ0 91–102।