Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology, 11(3): 587-602, 2023
DOI: https://doi.org/10.24925/turjaf.v11i3.587-602.5642

Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology

Available online, ISSN: 2148-127X | www.agrifoodscience.com | Turkish Science and Technology Publishing (TURSTEP)

An Overview of Plant-based Milk Alternatives

Gamze Nil Yazıcı[1,a,*], Tansu Taşpınar[1,b], Mehmet Güven[1,c], Mehmet Sertaç Özer[1,d]

[1]*Department of Food Engineering, Faculty of Engineering, Cukurova University, 01330 Sarıcam, Adana, Türkiye*
[*]*Corresponding author*

ARTICLE INFO

Review Article

Received : 24-08-2022
Accepted : 24-03-2023

Keywords:
Plant-based beverage
Lactose intolerance
Cow's milk allergy
Innovative technology
Sustainability

ABSTRACT

In recent years, consumers are making changes in their diets due to their complaints such as allergies, intolerances and sensitivities to some foods and/or components or different dietary preferences. In this regard, consumers who have some health related problems, such as cow's milk allergy and lactose intolerance, or adopted a diet/lifestyle such as vegan/vegetarian, tend to replace cow's milk with plant-based milk alternatives. On the other hand, due to the increase in the world population and the consequent decrease in natural resources and their relationship with sustainability, there is a tendency from animal sources to plant sources. For this reason, plant-based milk alternatives have a very important place in meeting all these needs and/or demands of consumers. Therefore, the interest in plant-based milk alternatives obtained from different sources especially soy, coconut, almond and oat has increased in recent years. On the other hand, it is important to increase the nutritional value of plant-based milk alternatives, as well as their sensorial properties and storage stability. For this reason, recent studies have focused on the processing of plant-based milk alternatives with non-thermal innovative technologies.

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 11(3): 587-602, 2023

Bitkisel Esaslı Süt Alternatiflerine Genel Bir Bakış

MAKALE BİLGİSİ

Derleme Makalesi

Geliş : 24-08-2022
Kabul : 24-03-2023

Anahtar Kelimeler:
Bitkisel esaslı içecek
Laktoz intoleransı
İnek sütü alerjisi
Yenilikçi teknoloji
Sürdürülebilirlik

ÖZ

Son yıllarda tüketiciler, bazı gıda ve/veya bileşenlerine karşı oluşan alerji, intolerans ve hassasiyet gibi şikayetleri doğrultusunda veya farklı beslenme tercihleri sebebiyle, diyetlerinde değişikliğe gitmektedir. Bu bağlamda, inek sütü alerjisi ve laktoz intoleransı başta olmak üzere sağlıkla ilgili problemleri olan veya vegan/vejetaryen gibi beslenme/hayat tarzını benimsemiş tüketiciler, inek sütünü bitkisel esaslı süt alternatifleri ile ikame etme eğilimi göstermektedir. Öte yandan, dünya nüfusundaki artış ve buna bağlı olarak doğal kaynaklarda meydana gelen azalma kaynaklı olmak üzere sürdürülebilirlikle olan ilişkisinden dolayı hayvansal kaynaklardan bitkisel kaynaklara bir yönelim söz konusudur. Bu nedenle bitkisel esaslı süt alternatifleri, tüketicilerin bu ihtiyaç ve/veya taleplerinin karşılanması açısından oldukça önemli bir yere sahiptir. Son yıllarda, soya, hindistan cevizi, badem ve yulaf başta olmak üzere farklı kaynaklardan elde edilen bitkisel esaslı süt alternatiflerine olan ilgi artış göstermektedir. Öte yandan, bitkisel süt alternatiflerinin besleyici değerinin yanı sıra duyusal özelliklerinin ve depolama stabilitesinin arttırılması önem arz etmektedir. Bu nedenle son yıllarda yapılan çalışmalar özellikle bitkisel esaslı süt alternatiflerinin termal olmayan yenilikçi teknolojiler ile işlenmesi üzerine yoğunlaşmaktadır.

[a] gnboran@cu.edu.tr https://orcid.org/0000-0001-9958-9668
[b] ttaspinar@cu.edu.tr https://orcid.org/0000-0001-9791-4703
[c] mguven@cu.edu.tr https://orcid.org/0000-0001-7587-195X
[d] msozer@cu.edu.tr https://orcid.org/0000-0002-5882-119X

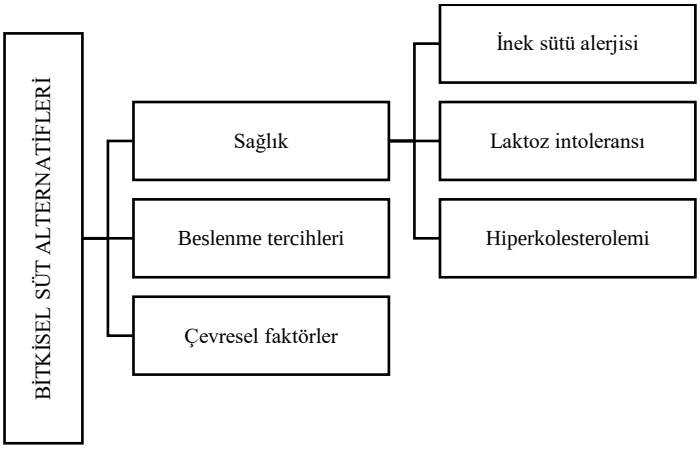
This work is licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International License

Giriş

Artan dünya nüfusunun beslenme ihtiyaçlarını karşılamak için sürdürülebilir ve besleyici alternatif gıda kaynaklarına ihtiyaç duyulmaktadır (Jeske ve ark., 2018). Öte yandan son yıllarda bazı tüketiciler sağlık, etik ve çevresel faktörler sebebiyle de inek sütü gibi bazı hayvansal ürünlerin tüketimini tercih etmemektedir (McClements ve ark., 2019). Bu nedenle, özellikle son yirmi yıllık süreçte, genellikle baklagiller, tahıllar veya sert kabuklu yemişlerden elde edilen, "bitkisel süt" olarak bilinen ancak süt ürünü olmayan, bitkisel esaslı süt alternatiflerinin (BSA) tüketimi önemli ölçüde artış göstermektedir (Munekata ve ark., 2020). Bu doğrultuda, BSA pazarı da hızla büyümekte ve tüm dünyada daha popüler hale gelmektedir (Jeske ve ark., 2018). BSA pazarının tahmini büyümesinin 2018 yılına kadar %15 olduğu ve 14 milyar dolarlık bir değere ulaştığı (Munekata ve ark., 2020), 2023 yılına kadar ise 26 milyar doları aşacağı bildirilmektedir (Tangyu ve ark., 2019). BSA üretiminde en çok kullanılan ham madde soya olmasına rağmen, farklı bitkisel kaynaklardan elde edilen diğer BSA'lara olan talep de gün geçtikçe artış göstermektedir (Jeske ve ark., 2018). Bu bağlamda, soya fasülyesi dışında tahıl ve tohum esaslı süt alternatiflerinin toplam tüketiminin 2022 yılına kadar yaklaşık 3 katına çıkacağı öngörülmektedir (Penha ve ark., 2021).

BSA, bitkisel kökenli ham maddelerden (baklagiller, tahıllar, yalancı tahıllar ve yağlı tohumlar) elde edilen (Silva ve ark., 2020a), kolloidal süspansiyon veya emülsiyonlardır (Reyes-Jurado ve ark., 2021). Ancak gıda etiketlemesine ilişkin ulusal mevzuat ülkeden ülkeye değişiklik gösterdiğinden, BSA'nın sınıflandırılmasındaki temel terminoloji uluslararası düzeyde tartışılmaktadır. Çünkü ilgili mevzuat ve etiketleme yönetmeliklerine göre, ürünün tüketiciyi yanıltmayacak şekilde bileşimine ve ülkenin yasalarına uygun olarak isimlendirilmesi gerekmektedir (Sethi ve ark., 2016). Bu nedenle bu ürünler, genellikle "süt" yerine bitkisel esaslı/bazlı içecekler, süt alternatifleri veya süt ikameleri gibi farklı adlarla anılmaktadır (McClements ve ark., 2019). Süt ürünleri terimlerinin kullanımına ilişkin Codex Genel Standardı da (CODEX STAN 206) "soya fasulyesi sütü" teriminin kullanılmasını önlemekte ve "soya fasulyesi esaslı içecekler" teriminin kullanılmasını önermektedir (Sethi ve ark., 2016). Ancak, Avrupa Birliği ülkeleri dışında bir örnek olarak Avustralya'da "soya sütü" teriminin kullanımına izin verilmektedir (Alcorta ve ark., 2021). Öte yandan, sadece hindistancevizi sütü ve badem sütü, Avrupa Birliği'nde süt olarak etiketlenmesine izin verilen BSA'lardır (Jeske ve ark., 2018).

BSA'nın tüketim nedenleri, sağlık ile ilgili sorunlar ve/veya endişeler, farklı beslenme tercihleri, çevresel faktörler ve sürdürülebilirlik ile ilişkisi olmak üzere 3 ana başlık altında incelenebilmektedir (Şekil 1). Buna göre, inek sütü alerjisi, başta kazein ile β-laktoglobulin majör alerjenler olmak üzere sütte bulunan proteinlere karşı immünolojik reaksiyon sonucu gerçekleşmektedir (Kavas ve ark., 2006). Dünya Alerji Organizasyonu'na göre, çocuklarda daha sık görülmekle birlikte inek sütü alerjisi prevelansının yaklaşık %0,25-5 aralığında olduğu bildirilmektedir (Motala ve Fiocchi, 2012). İnek sütü alerjisinde, gastrointestinal, dermatolojik ve solunum yolları ile ilgili semptomların yanı sıra anafilaksi gibi bulgular da bildirilmektedir (Günaydın, 2019). İnek sütü alerjisi olanlar, diğer memeli türlerinden elde edilen sütlerde de benzer proteinlerin bulunması nedeniyle, çoğu sütlere karşı reaksiyon gösterebilmektedir. Bu nedenle inek sütü alerjisi olan tüketiciler, genellikle BSA tüketimini tercih etmektedir (Silva ve ark., 2020a). Diğer taraftan, Storhaug ve ark. (2017), dünya nüfusunun yaklaşık %68'inin laktoz emilim bozukluğuna sahip olduğunu bildirmektedir. Laktoz emilim bozukluğu veya diğer bir ifadeyle laktoz intoleransı, laktaz enziminin vücutta yeterli miktarda sentezlenmemesi sonucu, laktozun bağırsak sisteminde parçalanmaması ve emilememesi ile birlikte diyare, kramp ve gaz sancısı gibi birçok sindirim sistemi bozuklukları ile karakterize edilmektedir (Bayhan ve Yentür, 1993). Laktoz intoleransı için belirtilen tedavi yöntemi ise laktozsuz diyet uygulaması olup, bu tüketiciler diyetlerindeki inek sütünü, laktozsuz inek sütü veya BSA ile ikame etmektedir (Silva ve ark., 2020a). Öte yandan, vejeteryan ve vegan olmak üzere farklı beslenme tercihlerine sahip tüketicilerin diyetlerinde özellikle bitkisel bazlı süt alternatifleri ve bu sütlere probiyotikler ilave edilerek elde edilen fermente içecekler önemli bir yere sahiptir (Erk ve ark., 2019).



Şekil 1. Bitisel süt alernatifleri tüketiminde rol oynayan faktörler

Figure 1. The factors behind the reasons of consumption the plant-based milk alternatives

Çizelge 1. Bazı bitkisel esaslı süt alternatiflerinin besin içeriği (1 porsiyon~240 mL)*
Table 1. The composition of some plant-based milk alternatives (per serving ~240 mL)

Bitkisel Esaslı Süt Alternatifi	Protein (g)	Toplam Yağ (g)	Toplam Karbonhidrat (g)	Enerji (kcal)
Soya	7	4	4	80
Hindistancevizi	<1	5	7	80
Badem	1	3	2	40
Fındık	1,4	6	14	124
Yulaf	2,5	4	-	80
Pirinç	1	2	27	130
Kinoa	4,5	6	9	104
Susam	1,5	6	16.5	140
Kenevir	2	6	1	70

*(Sethi ve ark., 2016; Munekata ve ark., 2020)

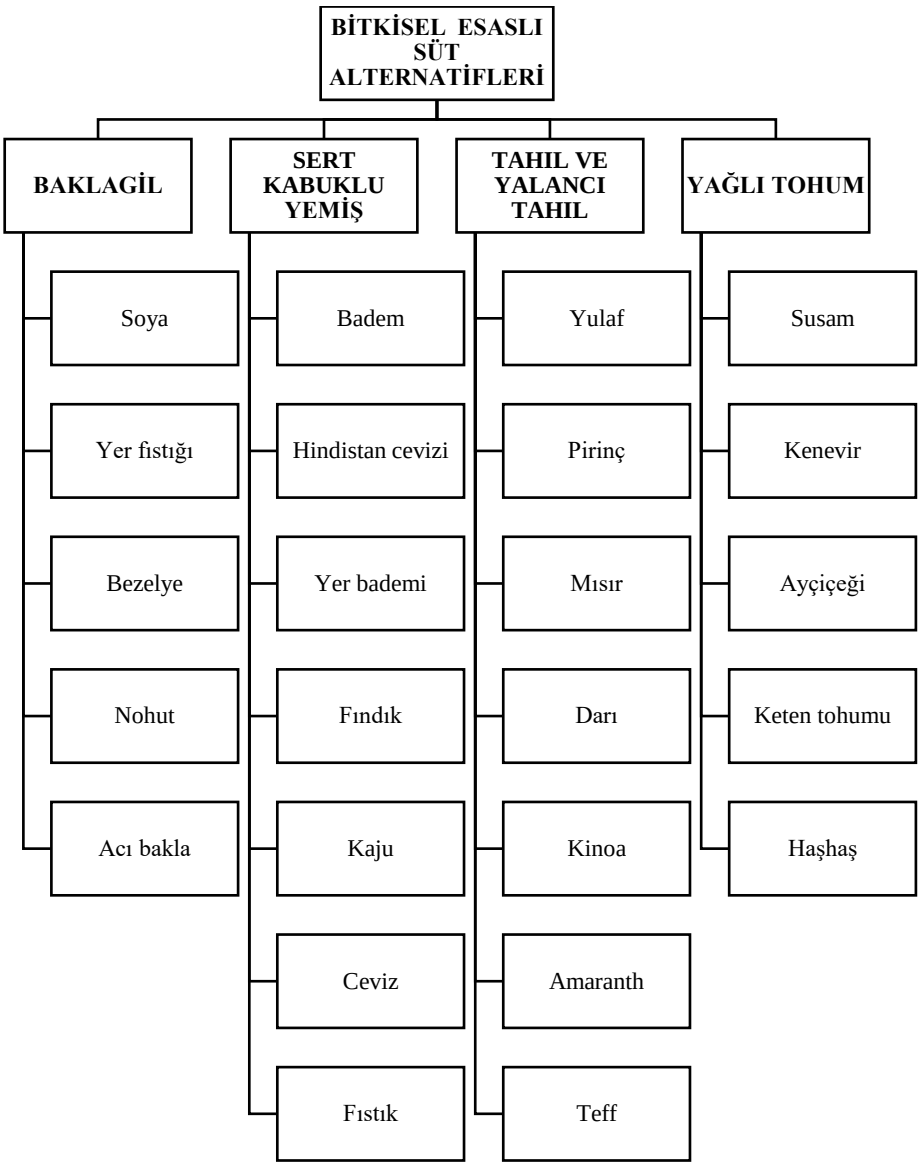
Diğer bir taraftan son yıllarda bazı tüketiciler, sağlıklı yaşam tarzı ve çevre bilinci gibi çeşitli nedenlerle de bitkisel esaslı diyete yönelmektedir (Silva ve ark., 2020a). Çünkü, hayvansal kaynaklı gıdaların yoğun tüketimi yüksek kolesterol ve kardiyovasküler hastalıklar ile ilişkilendirilirken; BSA üretiminde ham madde olarak kullanılan tahıllar, baklagiller, tohumlar ve kuruyemişler gibi bitkisel kökenli gıdaların, diyet lifi, vitaminler, mineraller (Silva ve ark., 2020a), fitosteroller ve izoflavonlar gibi biyoaktif bileşikler, fenolik bileşikler ve doymamış yağ asitleri açısından zengin kaynaklar olduğu kaydedilmektedir (Aydar ve ark., 2020). BSA'nın yüksek antioksidan içeriği sayesinde serbest radikal süpürücü özelliğe sahip olduğu, bağışıklık sisteminin iyileştirilmesi ve/veya yönetilmesinde rol oynadığı, kardiyovasküler ve gastrointestinal hastalık riskini azaltmaya yardımcı olduğu bildirilmektedir (Paul ve ark., 2020). Buna göre farklı bitkisel kaynaklardan elde edilen bazı süt alternatiflerinin besin niteliği Çizelge 1'de özetlenmiştir.

BSA'nın en büyük dezavantajı ise inek sütü ile karşılaştırıldığında daha düşük protein içeriğine sahip olmasıdır. Bazı BSA'ların protein kalitesi de, inek sütü proteinlerine kıyasla daha düşüktür. Buna göre inek sütünün protein sindirilebilirliği düzeltilmiş amino asit skoru (DAAS) 121 iken BSA'lardan badem, kaju ve soya proteinleri için bu değer sırasıyla 23, 90 ve 91 olarak belirlenmiştir (Jeske ve ark., 2018). Öte yandan, BSA'nın vitamin ve mineral biyoyararlılığı da daha düşüktür (Aydar ve ark., 2020). Bu sebeple, inek sütünün diyette BSA ile ikame edilmesi başta çocuklarda olmak üzere yetersiz beslenme ile ilişkilendirilebileceğinden, tüketici bilinci oldukça önemlidir (Jeske ve ark., 2018). Bu nedenle piyasada bulunan BSA'nın çoğu genellikle esansiyel aminoasitler, vitaminler ve minerallerce zenginleştirilmektedir (Silva ve ark., 2020a). BSA'lardaki düşük biyoyararlılık, genellikle tahıllar, baklagiller ve kabuklu yemişler gibi pişmemiş tohumlarda daha yüksek konsantrasyonlarda bulunan antinütrientler (fitik asitler, saponinler, tanenler, lektinler ve oksalatlar α-amiloz inhibitörleri, tripsin inhibitörleri, ve proteaz inhibitörleri vd.) olarak bilinen bazı besin ögelerinin alımını/kullanımını azaltan/engelleyen bileşikler ile ilişkilendirilmektedir. Antinütrientler, tohumlardan kabuk ayırma, suda bekletme, fermentasyon ve pişirme başta olmak üzere ısıl işlemler yoluyla azaltılabilmektedir. Bu yöntemlerin birlikte uygulanmasının antinütrientleri azaltmada ve/veya ortadan kaldırmada daha etkili olduğu bildirilmektedir. Diğer bir taraftan ohmik ısıtma, yüksek hidrostatik basınç, mikrodalga destekli ekstraksiyon gibi termal işlemlere alternatif gelişmekte olan teknolojiler, besin niteliklerine daha az zarar vererek ve/veya zarar vermeden antinütrient inaktivasyonu gerçekleştirilmesine olanak sağlamaktadır (Reyes-Jurado ve ark., 2021).

Öte yandan, süt ve süt ürünleri tarımda en fazla sera gazı üreten gıdalar arasında yer almaktadır (Reyes-Jurado ve ark., 2021). Konu hakkında yapılan çalışmalarda inek sütünün, litre bazında tüm bitkisel esaslı süt alternatiflerinden daha yüksek sera gazı emisyonları, ötrofikasyon, arazi ve su kullanımına sahip olduğu kanıtlanmıştır. Diğer bir taraftan inek sütünden sonra en yüksek sera gazı emisyonları ve ötrofikasyon; pirinç bazlı süt alternatifi, en yüksek arazi ve su kullanımı ise sırasıyla yulaf ve badem bazlı süt alternatifleri üretiminde kaydedilmiştir. Bu nedenle, BSA'nın önemli çevresel faydaları olduğu, ancak ilgili faydaların kapsamının bitkisel süt alternatifinin türüne bağlı olarak değişkenlik gösterdiği vurgulanmıştır (McClements ve ark., 2019). İnek sütü ile soya ve bademden elde edilen BSA'nın karbon ayak izinin sırasıyla ortalama 1,39 CO_2 eş/kg, 0,88 CO_2 eş/kg ve 0,42 CO_2 eş/kg olduğu belirlenmiştir (Reyes-Jurado ve ark., 2021). Yaşam döngüsü analizi (YDA) sonuçlarına göre, badem ve soya esaslı süt alternatiflerinin kümülatif enerji talebi ve küresel ısınma potansiyelinin inek sütünden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, BSA'nın daha düşük satış hacmine bağlı olarak perakende mağazaların soğutucularında daha uzun süre kalması ile ilişkilendirilmiştir (McClements ve ark., 2019). Buna rağmen, BSA'nın tüketiminin inek sütünden daha sürdürülebilir olduğu ifade edilmektedir (Reyes-Jurado ve ark., 2021). Ancak, BSA'nın uzun vadeli tüketimi sonucunda ilgili çevresel etkilerinin gözlenmesi ve konu üzerinde daha çok araştırma yapılması gerekmektedir.

Bitkisel Esaslı Süt Alternatif Türleri

Uluslararası düzeyde BSA'nın tanımı ve sınıflandırmasına ilişkin ortak bir kabul henüz bulunmamakla birlikte, elde edildikleri ham maddelere göre baklagiller (soya fasulyesi, yer fıstığı, bezelye, nohut, acı bakla vd.), sert kabuklu yemişler (badem, hindistan cevizi, yer bademi, fındık, kaju, ceviz, fıstık vd.), tahıllar (yulaf, pirinç, mısır, darı vd.) ile yalancı tahıllar (kinoa, teff, amarant) ve yağlı tohumlar (susam, kenevir, ayçiçeği, keten tohumu, haşhaş vd.) olmak üzere Şekil 2'de verildiği gibi beş ana kategoride incelenebilmektedir (Sethi ve ark., 2016).



Şekil 2. Bitkisel esaslı süt alternatiflerinin sınıflandırılması
Figure 2. The classification of plant-based milk alternatives

İnek sütü, düşük viskozite, karakteristik bir tat ve kremsi beyaz bir görünüme sahip olduğundan tüketiciler genellikle BSA'nın da benzer fiziksel ve duyusal özelliklere sahip olmasını beklemektedir. Ancak BSA, üretiminde kullanılan farklı ham maddeler sebebiyle genellikle inek sütünden farklı görünüm, tat ve aromaya sahiptir. Bunlardan baklagil esaslı süt alternatiflerinin çoğunun renk ve viskozite açısından inek sütüne benzer olduğu, ancak tat ve aroma açısından farklılaştığı bildirilmektedir. Bununla birlikte, endüstriyel BSA üretiminde, çözünmeyen büyük partiküllerin neden olduğu ağızda tebeşirimsi hissin yanı sıra lipoksigenaz aktivitesi nedeniyle "baklagilimsi" aroma sorunu ile karşılaşılmaktadır. Bu durum, özellikle lipid oksidasyonu sonucu oluşan hekzanal ve hekzanol bileşikleri ile ilişkilendirilmektedir (Reyes-Jurado ve ark., 2021). Ancak, baklagil esaslı ürünlerde bulunan ve arzu edilmeyen bu baklagilimsi aroma; kavurma, ağartma ve alkaliye daldırma gibi bazı yöntemlerle azaltılabilmektedir (Silva ve ark., 2020a). Bu nedenle, BSA'nın lezzeti, tüketicilerin tercihlerine cevap verecek, ancak sağlık yararlarını da koruyacak şekilde geliştirilmelidir (Aydar ve ark., 2020).

Baklagil Esaslı Süt Alternatifleri

Soya esaslı süt alternatifi (SESA), ilk olarak yaklaşık 2000 yıl önce Çin'de tüketilmeye başlandığı kaydedilen ve süt arzının yetersiz olduğu durumlarda, tüketicilerin besinsel ihtiyaçlarını karşıladığı bilinen ilk BSA'dır (Sethi ve ark., 2016). SESA'nın karbonhidrat, protein ve yağ içeriği ile toplam kalori değerlerinin sırasıyla yaklaşık %3-8, %7-12, %2,5-6 ve 80-120 kcal aralığında olduğu bildirilmektedir (Vanga ve Raghavan, 2018). SESA aspartik asit ve glutamik asit gibi amino asitler, özellikle A vitamini ve B9 vitamini gibi vitaminler, kalsiyum, fosfor, demir gibi mineraller bakımından zengindir (Mollakhalili-Meybodi ve Arab, 2021). SESA'nın kardiyovasküler sağlık üzerinde olumlu etkileri bulunan tekli ve çoklu doymamış yağ asitlerince de zengin olduğu bilinmektedir. Ayrıca, ham madde olarak kullanılan soya fasulyesinde en fazla bulunan ve biyolojik olarak en aktif olan bileşik, bir izoflavon olan genistein'dir. Fonksiyonel olarak aktif bileşenler olan bu izoflavonların da kardiyovasküler hastalıkların yanı sıra kansere ve osteoporoza karşı koruyucu etkileri olduğu kaydedilmiştir. İzoflavonların yanı sıra soya proteinlerinin de çeşitli hastalıklara karşı

koruyucu ve tedavi edici faydalar sağladığı; fitosteroller gibi fitokimyasalların da kolesterol düşürücü etkileri olduğu bildirilmektedir (Sethi ve ark., 2016). Ancak fitoöstrojen veya izoflavonların, zayıf östrojen gibi davranarak üreme sistemini olumsuz yönde etkileyebileceği de ifade edilmektedir. Ayrıca, insan bağırsak sisteminde α-galaktosidaz enziminin bulunmaması sebebiyle stakiyoz ve rafinoz gibi oligosakkaritler sindirilememekte ve gastointestinal sistemdeki mikrobiyota ile etkileşime girerek gaz oluşumuna yol açmaktadır. Bu nedenle soya fasulyesinin özellikle de biyoaktif bileşenlerinin sağlık üzerindeki etkileriyle ilgili daha fazla sistematik çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır (Paul ve ark., 2020). Öte yandan, soya fasulyesinde bulunan alerjenler, antinütrientler ve biyojen aminler gibi bileşikler, SESA'da doğal olarak bulunmakta veya üretim aşaması sırasında ortaya çıkmaktadır. Soya fasulyesinde bulunan Gly m 5 ve Gly m 6 gibi başlıca alerjenler, ısıl işlem, fermantasyon veya bunların kombine bir biçimde uygulanması sonucunda inaktive edilebilmektedir. Antinütrientler, baklagillerin suda bekletme ve uygun termal işlemlerin tek başlarına veya birlikte uygulanması sonucu en aza indirilebilmektedir. Fermentasyon sıcaklığının düşürülmesi, NaCl içeriğinin arttırılması ve biyojen aminleri parçalayan uygun suşların kullanılması ise biyojen amin içeriğinin azaltılmasında rol oynamaktadır (Mollakhalili-Meybodi ve Arab, 2021).

Yer fıstığı, dünya çapında 40 milyon tondan fazla üretim hacmine sahiptir (Jia ve ark., 2021). Önemli bir bitkisel protein kaynağı olup (Sanika ve ark., 2021), yaklaşık %22-30 oranında protein içeriğine sahiptir (Zaaboul ve ark., 2019). Ayrıca yaklaşık %44-56 oranında yağ içeriğine sahip olup, esansiyel yağ asitleri (linoleik asit ve oleik asit), mineraller ve p-kumarik asit gibi antioksidanlarca zengindir (Zaaboul ve ark., 2019). Bu nedenle, yer fıstığı esaslı süt alternatifi (YFESA) de esansiyel amino asitler, doymamış yağ asitleri, vitaminler gibi besin maddelerince zengindir (Diarra ve ark., 2005) ve enerji değeri yüksektir (Chawafambira ve ark., 2022). Ancak YFESA, proteinler, bitkisel yağlar, lesitin ve diğer bileşenlerden oluşan kararsız yapıda kompleks bir emülsiyon olup, protein bileşimindeki herhangi bir değişiklik, yapısal özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir (Jia ve ark., 2021). Öte yandan, yapılan çalışmalarda YFESA'nın arzu edilmeyen aromadan sorumlu bileşiklerden biri olan hekzanal içeriğine sahip olduğu, ancak bu bileşiğin fermentasyon işlemi ile tamamen ortadan kaldırılabildiği tespit edilmiştir (Diarra ve ark., 2005). Bezelye esaslı süt alternatiflerinin üretiminde ise hekzanal, hekzanol ve nonanal bileşiklerinin istenmeyen aroma gelişiminden sorumlu olduğu belirlenmiştir. Bu uçucu bileşiklerin, bezelyenin kendisinden kaynaklı olduğu veya çoklu doymamış yağ asitlerinin otooksidasyonu, β-oksidasyonu veya yağ asitlerinin enzimatik olarak reaksiyona girmesi sonucu ortaya çıktığı ifade edilmiştir (Bi ve ark., 2022).

Nohut, diğer baklagillerle karşılaştırıldığında toplam kuru tohum ağırlığının yaklaşık %80'ini oluşturan iyi bir protein ve karbonhidrat kaynağıdır. Ayrıca diyet lif, bakır, kalsiyum, magnezyum gibi mineraller ve vitaminler açısından da zengindir (Zhang ve ark., 2021). Nohut esaslı süt alternatifi ise yüksek protein, yüksek dirençli nişasta, düşük lipid içeriğine sahip besleyici bir içecek türüdür. Öte yandan, inek sütüne kıyasla daha koyu ve sarımsı bir renge (Rincon ve ark., 2020) ve kısmen "baklagilimsi" aromaya sahip olmakla birlikte, kabul edilebilir hafif hoş bir tada sahiptir (Rincon ve ark., 2020; Tuncel ve ark., 2021). Diğer bir taraftan, yüksek besinsel içeriğinin yanı sıra alerjiye sebebiyet verecek bileşenleri içermemesi sebebiyle özellikle soya esaslı içeceklere alternatif olarak kabul edilmekte ve tüketimine yönelik talep giderek artmaktadır (Zhang ve ark., 2021).

Acı bakla, gıda endüstrisinde önemli bir yere sahip olan, yüksek lif ve protein içeriğine sahip, insan sağlığı üzerinde faydaları bulunan bir baklagildir (Al-Saedi ve ark., 2020; Al-Saedi ve ark., 2021). Bu bağlamda, kan basıncı, kolesterol ve glikozun düşürülmesinde, tokluk hissi sağlayarak iştahın kontrol edilmesinde rol oynamaktadır (Al-Saedi, ve ark., 2020). Acı baklagilden elde edilen BSA, yüksek protein ve düşük nişasta içeriği nedeniyle, soya sütüne benzer bir profile sahiptir (Vogelsang-O'Dwyer ve ark., 2021a).

Sert Kabuklu Yemiş Esaslı Süt Alternatifleri

Badem esaslı süt alternatifi

Son yıllarda badem esaslı süt alternatifi (BESA), Avrupa Birliği, Kuzey Amerika ve Avustralya içecek pazarlarında en popüler BSA'dan biri haline gelmiştir. Özellikle inek sütü alerjisi ve laktoz intoleransı gibi sağlık sorunları olan kişilere alternatif bir ürün olmasının yanı sıra, badem tüketiminin sağlık üzerindeki yararları, tüketicilerin BESA'ya yönelik talebini arttıran diğer faktörlerdendir (Vanga ve Raghavan, 2018). Karyojenik sorunları olan kişilerin de, soya esaslı süt alternatifi yerine sakkaroz ile tatlandırılanlar hariç olmak üzere badem sütü tüketmeleri tavsiye edilmektedir (Paul ve ark., 2020).

BESA yüksek kaliteli proteinler, düşük glisemik indeks içeriğine sahip karbonhidratlar, tekli ve çoklu doymamış yağ asitleri (çoğunlukla, temel olarak oleik asit-C18:1 ve linoleik asit-C18:2), vitaminler (E vitamini ve riboflavin), mineraller (magnezyum, potasyum, bakır, fosfor ve kalsiyum), diyet lifi, fenolik asitler ve flavonoidler (β-sitosterol, stigmasterol, kampesterol, sitostanol ve kampestanol) açısından zengindir (Yilmaz-Ersan ve Topcuoglu, 2022). Buna göre, BESA'nın karbonhidrat ve protein içeriği ile toplam kalori değerinin sırasıyla yaklaşık %0,25-3 %1-5 ve 30-50 kcal aralığında değiştiği bildirilmektedir. Öte yandan; E vitamini içeriğinin bir yetişkinin ortalama günlük ihtiyacının yaklaşık %10-50'sini karşıladığı tespit edilmiştir (Vanga ve Raghavan, 2018).

Hindistan cevizi esaslı süt alternatifi

Taze hindistan cevizi esaslı süt alternatifi (HESA), özellikle Asya ve Güney Amerika'nın bazı bölgelerinde yaygın olarak tüketilen, yüksek protein ve çoğunlukla laurik asit olmak üzere orta zincirli trigliseritlerden oluşan zengin bir besin içeriğine sahiptir (Vanga ve Raghavan, 2018; Ruengdech ve Siripatrawan, 2021). Demir, kalsiyum, potasyum, fosfor, magnezyum ve çinko gibi mineraller ile C vitamini, E vitamini ve B kompleks vitaminleri açısından da zengindir (Sethi ve ark., 2016). HESA tüketiminin, kan dolaşımındaki düşük yoğunluklu lipoprotein (LDL) düzeyinde azalma; yüksek yoğunluklu lipoprotein (HDL) düzeyinde ise artmaya yardımcı olduğu ve bunun laurik asit içeriği ile ilişkili olduğu belirtilmiştir (Vanga ve Raghavan, 2018).

HESA, hindistan cevizinin sulu ekstraktından elde edilen, suda yağ emülsiyonudur (Vanga ve Raghavan, 2018; Ruengdech ve Siripatrawan, 2021). Bu nedenle, çoğu emülsiyon gibi kararsız bir yapıya sahiptir. Bu durum, tekrarlanan homojenizasyon işleminden sonra dahi ürünün depolanması sürecinde birden çok katman ortaya çıkarak fiziksel bir kusur olarak kabul edilmektedir. Hindistan cevizi proteini, özellikle de globulin sınırlı bir emülsifikasyon niteliğine sahip olmasından dolayı, hindistancevizi yağının topaklanmasının önlenmesi ve nihai ürün stabilitesinin sağlanmasında yeterli değildir. Ayrıca, HESA proteinlerinin 80ºC'nin üzerindeki sıcaklıklarda denatürasyona uğraması, nihai ürün stabilitesini etkileyen önemli faktörlerden biridir. Bu nedenle, sterilizasyon sırasında da emülsiyonun stabilitesini korumak oldukça güçtür. Öte yandan, yağ partikül boyutunun ve homojenizasyon parametrelerinin HESA'nın stabilitesi üzerinde önemli etkileri olduğu bildirilmektedir (Sun ve ark., 2022; Lu ve ark., 2019). Bu nedenle, hindistan cevizi esaslı emülsiyonların stabilitesini arttırmak için ticari ürünlere genellikle emülgatör ilavesi gerçekleştirilmektedir (Ariyaprakai, 2022).

Yer bademi esaslı süt alternatifi

Yer bademi esaslı süt alternatifi (YBESA) özellikle Kuzey Nijerya ve İspanya'da yaygın olan, üretildiği bölgeye göre farklı isimlerle adlandırılan bir içecektir (da Costa Neto ve ark., 2019). YBESA yaklaşık %12-17 karbonhidrat, %2-2,5 yağ içeriğine sahip olup düşük protein (<%1) içeriği ile karakterize edilir. Toplam yağ içeriğinin yakşık %75'i oleik asit ve %10'u linoleik asitlerden oluşmak üzere doymamış yağ asitleri bakımından da zengindir. Bileşiminde fosfor, kalsiyum, magnezyum ve demir mineralleri ile C vitamini ve E vitamini de yer almaktadır (Codina Torrella ve ark., 2017; Codina Torrella ve ark., 2018). Bununla birlikte, kazein, laktoz ve gluten içermediğinden dolayı (Rebezov ve ark., 2021) laktoz intoleransı olan ve/veya çölyak hastaları için uygun olduğu belirtilmektedir (Codina Torrella ve ark., 2018).

YBESA, besleyici ve sağlığa faydalı özellikleri nedeniyle başlangıçta çok ilgi görmesine rağmen, yüksek nişasta içeriğine sahip olmasından dolayı nişasta jelatinizasyonu ile birlikte istenmeyen organoleptik özelliklere yol açabileceği belirtilmiştir (Kizzie-Hayford ve ark., 2015). YBESA 72ºC'nin üzerinde bir ısıl işleme tabi tutulamamaktadır. Bu nedenle, mikrobiyal açıdan sınırlı bir raf ömrüne sahiptir. Yüksek sıcaklık uygulandığı zaman ise üründe meydana gelen bu değişiklikler nedeniyle YBESA üretiminde kullanılmak üzere henüz endüstriyel ölçekte standart ve optimize edilmiş bir prosedür bulunmamaktadır (da Costa Neto ve ark., 2019; Rubert ve ark., 2017). Son zamanlarda, daha uzun raf ömrüne sahip, fizikokimyasal ve mikrobiyolojik açıdan kararlı ürünler elde etmek için ısıl işlemlere alternatif olarak termal olmayan teknolojiler değerlendirilmektedir (Corrales ve ark., 2012). Ürünün duyusal niteliklerini geliştirmek için tatlandırıcı ilavesi gibi yöntemler de uygulanabileceğinden bahsedilmiştir. Ayrıca meyvelerin doğal aroma maddeleri olarak kullanılmasının nihai ürünün fiziksel ve besinsel özelliklerini iyileştirebileceği üzerinde durulmuştur (Swelam ve ark., 2021). YBESA'nın laktik asit bakterileri ile fermente edilerek, tekstürel ve duyusal özellikleri geliştirilmiş, fermente bir ürün üretimine dair çalışmalar da yer almaktadır. Ancak YBESA'nın protein içeriği düşük olduğu için fermente üründe arzu edilen tekstürel yapı oluşmamaktadır. Bu nedenle, süt proteinleri ilavesi ardından fermantasyon işleminin gerçekleştirilmesi önerilmektedir (Kizzie-Hayford ve ark., 2017).

Diğer

Fındık, dünyada üretiminin yaklaşık %75'inin Türkiye'den karşılandığı, besin içeriği ve sağlık üzerindeki olumlu etkileri göz önüne alındığında, fındık esaslı üst alternatifi (FESA) üretimi için önemli bir ham maddedir. Öte yandan soğuk sıkım fındık yağı üretiminin bir yan ürünü olan fındık küspesi kullanılarak da FESA üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Fındık, protein, karbonhidrat, biyoaktif bileşikler, doymamış yağ asitleri, diyet lifler, vitaminler, mineraller, tokoferoller ve fitosteroller açısından zengindir (Atalar ve ark., 2021). BSA üretiminde ham madde olarak taze fındığın kullanılması, kendine özgü tat ve aroma sağlarken, kavurma işlemi de farklı tat ve aromalar elde etmek için uygulanabilmektedir. Homojenizasyon işlemi ile nihai ürünün stabilitesini olumsuz yönde etkileyen sedimantasyon değeri azalmakta ve bu durum özellikle daha yüksek basınçlı homojenizasyon işlemi uygulanarak gerçekleştirilebilmektedir. Ayrıca, yüksek basınçla muamele edilen FESA'nın, termal işlem ile muamele edilenlere kıyasla fizikokimyasal özelliklerini ve amino asit içeriğini daha fazla koruduğu bildirilmektedir (Silva ve ark., 2020a).

Kaju esaslı süt alternatifi (KESA), ilgili ham maddenin yaş öğütülmeye tabi tutulması sonucu elde edilen, küresel ölçekteki üretimi 2016 yılında yaklaşık 5 tona ulaştığı bildirilen BSA'dır. KESA'nın yüksek düzeyde protein (~%23), karbonhidrat (~%29), esansiyel yağ asitleri (~%44), doymamış yağlar (~%82) ve mineraller (kalsiyum, potasyum, demir, magnezyum ve fosfor) içerdiği tespit edilmiştir. KESA'nın içerdiği lipidlerin %70'inin tekli doymamış ve çoklu doymamış yağlardan oluştuğu ve bu sayede LDL düzeylerinde azalışa, HDL düzeylerinde ise artışa yardımcı olduğu bilinmektedir (Shori ve ark., 2022). Yapılan bir çalışmada, FESA'da 7 günlük bir depolamadan sonra faz ayrımının gerçekleştiği ve kararlı bir nihai ürün eldesi için stabilizatöre ihtiyaç duyduğu, sterilizasyon işlemine tabi tutulmuş KESA'nın ise oda sıcaklığında (28ºC) en az 160 günlük depolama süresince fizikokimyasal ve mikrobiyolojik stabilitesini koruduğu ve duyusal özelliklerinin de kabul edilir düzeyde olduğu belirtilmiştir (Silva ve ark., 2020a).

Ceviz, karbonhidrat, yağ ve protein içeriği sebebiyle yüksek enerji değerine sahiptir (Bekiroglu ve ark., 2022). Ayrıca ve vitamin ile mineral içeriği açısından zengin ve doymamış yağ asitleri ile polifenol içeriği sayesinde de yüksek antioksidan kapasitesine sahiptir (Liu ve ark., 2022). Ceviz esaslı süt alternatifi (CESA) de antioksidanlar, çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA), esansiyel amino asitler, E vitamini ve B kompleks vitaminleri (tiamin, riboflavin, piridoksin, folik ve pantotenik asitler), açısından zengin bir bileşime ve bu sayede yüksek besinsel niteliklere sahiptir (Bekiroglu ve ark., 2022). Stabil CESA'nın stabilizatör ilavesi sonrası homojenize edildikten sonra elde edilebileceği ve fermantasyon işleminin duyusal niteliklerini iyileştirebileceği belirtilmektedir (Liu ve ark., 2022).

Fıstık esaslı süt alternatifi genellikle yağ, protein ve sulu fazın birleşiminden oluşan su içinde yağ emülsiyonudur. Yüksek yağ içeriği sebebiyle termodinamik olarak kararsız bir sistem olup, ürün formülasyonu ile depolama sırasındaki fizikokimyasal stabilitesi ve raf ömrü açısından daha çok araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır (Pakzadeh ve ark., 2021).

Tahıl ve Yalancı Tahıl Esaslı Süt Alternatifleri

Yulaf esaslı süt alternatifi

Yulaf esaslı süt alternatifi (YESA), kendine has tadı ve yüksek besin içeriği sayesinde en sık tercih edilen BSA'lardan biri haline gelmiştir (Wang ve ark., 2022). YESA, fenolik bileşikler, avenantramidler, saponinler fitik asit ve steroller gibi bileşenleri içeriği nedeniyle antioksidanlarca zengindir (Paul ve ark., 2020). Ayrıca yulaf ve yulaf ürünleri, iyi bir çözünür diyet lif (β-glukan) kaynağıdır (Deswal ve ark., 2014). Sağlıklı bireylerde ve hiperkolesterolemi teşhisi konulan yetişkinlerde günlük yulaf esaslı süt alternatifi tüketiminin, serum kolesterol ve LDL kolesterol düzeylerini düşürdüğü bildirilmiş (Demir ve ark., 2021) ve bu duruma başka çalışmalarda da değinilmiş olup, meydana gelen düşüş çözünür diyet lif içeriği ile açıklanmıştır (Deswal ve ark., 2014). Ancak yulaf, düşük kalsiyum içeriğine sahip olması sebebiyle BSA olarak tüketilmesi için ilgili mineralce takviye edilmesi gerekmektedir (Sethi ve ark., 2016). Öte yandan, yaklaşık %60 oranında olmak üzere yüksek miktarda nişasta içerdiğinden, su ve yulaf karışımı ısıl işleme tabi tutulduğunda mevcut nişasta jelatinleşmeye ve yüksek viskoziteye sahip bir jel oluşturmaya başlamaktadır. Bu durum ürünün tüketiciler tarafından kabul edilebilirliğini düşürdüğünden, jelatinizasyonu önlemek ve akışkanlığı korumak amacıyla hidrolizasyon işlemi uygulanabilmektedir (Silva ve ark., 2020a). Optimize edilen enzimatik hidrolizasyon işlemlerinin, suda çözünür ekstrakt üretiminde artışa, viskozitede ise azalmaya neden olduğu ve bu sayede filtrasyon aşamasını kolaylaştığı bildirilmektedir (Paul ve ark., 2020).

Pirinç esaslı süt alternatifi

Pirinç esaslı süt alternatifi (PESA), diğer BSA'lar gibi laktoz içermemesinin yanı sıra soya veya badem gibi gıdalara alerjisi olan kişiler için de iyi bir alternatif olarak değerlendirilmektedir (Silva ve ark., 2020a). Pirincin, diyette zengin bir karbonhidrat kaynağı olduğu ve benzer şekilde PESA'nın da yüksek şeker içeriğine sahip olduğu belirlenmiştir (Le ve Le, 2021). PESA üretimi esnasında karbonhidratların basit şekerlere parçalanması ile ürüne şeker ilave edilmeksizin karakteristik bir tat kazandırmasının yanı sıra düşük yağ içeriğine rağmen yüksek enerji içeriğine sahip bir nihai ürün elde edilebilmektedir (Silva ve ark., 2020a; Le ve Le, 2021). Pirinç ve pirinçten elde edilen ürünlerin, gama-aminobütirik asit (GABA), dirençli nişasta, γ-orizanol ve tokotrienol gibi birden fazla fonksiyonel bileşik içerdiği (Koyama ve Kitamura, 2014) ve önemli bir B vitamini kaynağı olduğu belirtilmektedir (Lalić ve ark., 2014). Ancak demir başta olmak üzere mineraller özellikle pirincin süt alternatifi olarak işlenmesi sırasında uzaklaştırılan kepek kısmında bulunduğundan, PESA'nın bu minerallerce takviye edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, gıda endüstrisi son zamanlarda yüksek besinsel nitelikleri nedeniyle pirinç kepeği esaslı süt alternatifi üretimine odaklanmaktadır (Paul ve ark., 2020).

PESA, genellikle beyaz veya kahverengi pirincin α-amilaz enzimi içeren sulu bir ortamda sıvılaştırılması ve ardından glukozidaz ve/veya β-amilaz enzimi varlığında sakkarifikasyon işlemine tabi tutulmasıyla elde edilmektedir. Ayrıca, herhangi bir enzim ilavesi gerçekleştirilmeden öğütülmüş kahverengi pirincin sıcak su ile ekstrakte edilmesiyle de üretilebilmektedir. PESA, yüksek nişasta içeriğine sahip olması nedeniyle zayıf bir emülsiyon stabilitesine sahip olup, nişastanın α-amilaz, β-amilaz ve glukozidaz gibi enzimler kullanılarak enzimatik hidrolize tabi tutulması ile bu sorun çözülebilmektedir. Öte yandan, PESA'da bulunan hidrofilik proteinlerin varlığı ve lipidlerle kompleks oluşturmasının PESA'nın kolloidal stabilitesinde önemli olduğu vurgulanmıştır (Silva ve ark., 2020a). Yağ globüllerinin boyutunu küçültmek amacıyla gerçekleştirilen homojenizasyon işleminin ise, emülsiyon stabilitesini korumak için ısıl işlemden önce gerçekleştirilmesi gerektiği belirtilmektedir. Ayrıca, uygulanan ısıl işlem sıcaklığının da PESA'nın stabilitesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir (Thuy ve ark., 2020).

Diğer

Kinoa esaslı süt alternatifi diğer süt alternatiflerine kıyasla bazı avantajlara sahip olmasına rağmen, yüksek lipid içeriği ve düşük duyusal kabul edilebilirliği gibi bazı sorunlar mevcuttur. Kinoa esaslı süt alternatifinin viskozitesi, diğer BSA'lara göre yüksek olup nihai üründeki büyük partiküllerin çökelmesinde gecikmeye yol açmaktadır. Yapılan bir çalışmaya göre, iyonik kuvvet ve pH kombinasyonun protein çözünürlüğünü arttırdığı ve kinoa esaslı süt alternatifinde en yüksek protein içeriğinin pH 5'te asitlendirilmiş 0,03 mol/L NaCl tuzlu su çözeltisi ile elde edildiği ve saponinlerin uzaklaştırılmasında olumlu etkileri olduğu belirlenmiştir (Pineli ve ark., 2015).

Mısır esaslı süt alternatifi (MESA) hoş bir tada ve dengeli bir besin içeriğine sahiptir (Ateteallah ve ark., 2022). Özellikle Asya ülkelerinde, içerdiğinde bulunan diyet lif, antioksidanlar, vitaminler (A, B1, B2, B3, B6 ve C vitamini) ve mineraller (çinko, magnezyum, bakır, demir ve manganez), ayrıca düşük doymuş yağ içeriği ve kolesterol oranı ile sağlığa faydalı bir içecek olarak kabul edilmektedir (Supavititpatana ve ark., 2008). MESA, yoğurt ve benzeri ürünlerin üretiminde de iyi bir alternatif olarak kabul edilmektedir (Yasni ve Maulidya, 2014). MESA üretiminde ultra yüksek sıcaklıkta ısıl işlem uygulanmasının, ürünün renk, tekstür ve özellikle lezzetinde kayıplara yol açtığı bildirilmiştir. Bu nedenle, besinsel nitelikleri ile renk ve lezzet bileşenlerinin korunması amacıyla ultra yüksek basınç teknolojisi gibi alternatif teknolojilerin, geleneksel ısıl işlemin yerini alacağı öngörülmektedir (Sangkam ve ark., 2019).

Darı esaslı süt alternatifi, diğer bitkisel süt alternatiflerine kıyasla yüksek protein oranına sahip olması gibi bazı avantajlara sahiptir. Ancak konu hakkında yapılan çalışmalar oldukça sınırlı olup, darı esaslı süt alternatifinin farklı sıcaklıklarda ve farklı işleme koşullarında eldesi ile farklı gıda türlerine uygulanabilirliği konularında çalışmaların yapılması gerekmektedir (Nair ve ark., 2019). Kavuzlu buğday, teff ve amarant da BSA üretiminde ham madde olarak kullanılabilmekte olup konu ile ilgili sınırlı sayıda çalışma mevcuttur (Adeyanju ve ark., 2019).

Yağlı Tohum Esaslı Süt Alternatifleri

Susam esaslı süt alternatifi

Susamda bulunan proteinlerin, suda çözünürlüklerinin düşük ve ısıl işleme duyarlı olduğu belirtilmektedir. Bu nedenle yapılan bir çalışmada susam esaslı süt alternatifinin pastörizasyon sıcaklığını tolere edebildiği ancak sterilizasyon sıcaklığını tolere edemeyerek termal denatürasyona uğradığı bildirilmiştir. Diğer bir taraftan, susam esaslı süt alternatifinin stabilitesi, ham madde olarak kullanılan susam tohumların kavurma ve ağartma işlemlerine tabi tutulması sonucu proteinlerin denatürasyona uğraması sebebiyle azalmaktadır. Ancak susam sütünün stabilitesinin, ham madde olarak kullanılan tohumların $NaHCO_3$ içeren suya daldırılmasıyla arttığı bildirilmiştir. Bu durum, yüksek pH değerlerinde protein ve lipidler arasındaki hidrofilik komplekslerin gelişiminin artması ve dolayısıyla proteinlerin sudaki çözünürlüğünün de artması şeklinde açıklanmıştır. Ayrıca, tohumların susam esaslı süt alternatifine işlenmeden önce kavurma ve alkali suda bekletme işlemlerine tabi tutulması sonucunda, nihai üründe acılık ve kireçimsi yapının azaltılabildiği ve bu sayede ürünün genel kabul edilebilirliğinin artacağı belirtilmektedir (Silva ve ark., 2020a).

Diğer

Kenevir tohumu esaslı süt alternatifi, laktoz içermemesi ve alerjenitesinin düşük olması nedeniyle inek, soya ve fındık sütlerine iyi bir alternatif olarak kabul edilmektedir (Wang ve ark., 2018). Düşük doymuş yağ içeriği, yüksek çoklu doymamış yağ asitleri içeriği ve yağda çözünen biyoaktif bileşiklerin doğal emülsiyonu olup yüksek besin içeriğine sahiptir. Ancak kenevir tohumu esaslı süt alternatifi su içinde yağ emülsiyonu özelliğinde olduğundan kararsız yapıdadır. Bu nedenle, birleşme ve topaklanma eğilimi göstermektedir. Bu durum da kalite kaybına ve raf ömrü süresinin kısalmasına neden olduğundan endüstriyel üretimde sınırlayıcı bir faktör olarak kabul edilmektedir (Leahu ve ark., 2022; Paul ve ark., 2020). Bu sorunu çözmek amacıyla ürün formülasyonunda genellikle emülgatörler ve/veya stabilizatörler kullanılabilmektedir. Ancak bu girdilerin üretim maliyetini arttırdığı, bu sebeple ekonomik olmadığı belirtilmektedir. Alternatif bir çözüm yöntemi olarak, yüksek basınçlı homojenizasyon işlemi ile proteinlerin lipid damlacık yüzeylerinde adsorbe edilebileceği ve böylece üründe ransiditenin azaltılabileceği belirtilmektedir (Paul ve ark., 2020).

Bitkisel Esaslı Süt Alternatiflerinin Üretimi

BSA üretim süreci, ham maddeye ve nihai ürünün kullanım amacına göre değişiklik göstermekle birlikte bazı adımlar ortaktır (Penha ve ark., 2021). Buna göre, modern endüstriyel ölçekli BSA üretim süreci esas olarak, bitkisel ham maddenin suda bekletilmesi ve kuru veya yaş öğütülmesi sonucu elde edilen süt alternatifindeki çözünmeyen bileşenleri ve/veya öğütme işlemi sonrası bazı bileşenleri uzaklaştırmak üzere filtrasyon işleminden geçirilmesi, istenilen ürünün özelliklerine bağlı olarak diğer bileşenlerin (yağ, şeker ve/veya tatlandırıcı, stabilizör vb.) ilavesi ve homojenizasyon işlemi sonrasında mikrobiyel stabiliteyi sağlamak amacıyla pastörizasyon veya ultra yüksek sıcaklık (UHT) olmak üzere ısıl işleme tabi tutulması aşamalarından oluşmaktadır (Jeske ve ark., 2018). Isıl işlem sonrası aseptik dolum işlemi gerçekleştirilerek ürün paketlenip soğukta depolanmaktadır (Aydar ve ark., 2020). Ancak, konvansiyonel olarak yüksek sıcaklıkta işleme, bazı bileşiklerin bozunmasına sebep olduğundan BSA'nın besin niteliklerini korumak ve raf ömrünü iyileştirmek amacıyla yüksek hidrostatik basınç, yüksek basınçlı homojenizasyon, ultrason ve vurgulu elektrik alan gibi alternatif işleme teknolojileri önerilmektedir (Muneketa ve ark., 2020).

BSA'nın stabilitesini arttırmak, kalite özellikleri ve besinsel niteliklerini geliştirmek amacıyla çeşitli katkı maddeleri de ilave edilmektedir (McClements ve ark., 2019). Bunlardan vitamin ve minerallerin yanı sıra tuz, yağlar, tatlandırıcılar, aroma vericiler ve stabilizatörler ürün formülasyonunu geliştirmek amacı ile kullanılmaktadır. Süspansiyon stabilitesi BSA için önemli bir sorun olduğundan, sürekli fazın viskozitesini arttırmak için hidrokolloidlerin kullanımı dikkat çekmektedir (Mäkinen ve ark., 2016). Bu nedenle, sulu fazın viskozitesini arttırmak, ürünün tekstür ve/veya ağızda oluşturduğu hissi modifiye etmek, yağ damlacıklarının veya protein agregatları gibi çözünmeyen bileşenlerin sebep olabileceği serum ayrılmasını geciktirmek için nişasta, pektin, keçiboynuzu gamı, ksantan gam, guar gam, karragenan, aljinat ve ksantan gam olmak üzere çok çeşitli doğal biyopolimerler, kıvam arttırıcı ajan olarak kullanılabilmektedir (McClements ve ark., 2019).

Ürünün arzu edilen besin içeriğine sahip olması için de BSA'ya bazı besin maddelerinin ilave edilmesi gerekmektedir (Mäkinen ve ark., 2016). Çoğu baklagil düşük yağ içeriğine sahip olduğu için, inek veya soya sütüne benzer bir ürün elde etmek için formülasyona genellikle dışarıdan yağ kaynağı ilavesi gerçekleştirilmektedir (Vogelsang-O'dwyer ve ark., 2021b). Ayrıca, kullanılan bileşenlerin stabil olması ve biyoyararlığının yüksek olması oldukça önemlidir (Mäkinen ve ark., 2016).

Ön işlem

BSA üretiminde, ham maddeler ekstraksiyon işlemine olanak sağlamak ve/veya ekstraksiyon işlemini kolaylaştırmak, besin kalitesini arttırmak, duyusal nitelikleri iyileştirmek gibi amaçlarla bazı ön işlemlere tabi tutulmaktadır. Ön işlemler, kabuk soyma sonrası bazı ham maddelerin (soya, yulaf, susam, nohut, kaju) suda 3-18 saat veya bazılarının (soya, yer bademi, yer fıstığı) başta baklagilimsi olmak üzere arzu edilmeyen aromaları uzaklaştırmak amacıyla sodyum bikarbonat içeren alkali çözeltilerde (%0,2-2,0) ıslatma işlemine tabi tutulmasından oluşmaktadır. Suda bekletme işlemi tahılların ve sert kabuklu yemişlerin yapılarına su alarak şişmesini ve bu sayede yumuşamasını sağlamaktdır (Penha ve ark., 2021). Diğer bir taraftan soya ve yer fıstığı gibi ham maddelerden elde edilen bitkisel süt alternatiflerinde tripsin inhibitörlerini ve lipoksigenaz aktivitesini inhibe ederek istenmeyen aroma bileşiklerini uzaklaştırmak ve badem gibi ham maddelere ait kabuk yapının uzaklaştırılması için haşlama işlemi (blanching) de uygulanabilmektedir (Reyes-Jurado ve ark., 2021). Haşlama işleminin diğer avantajları arasında, lipaz enziminin inaktivasyonu ve mikrobiyel yükün azaltılması yer almaktadır (Penha ve

ark., 2021). Diğer bir taraftan, yer fıstığında basınç altında haşlama işlemi suda bekletme öncesi gerçekleştirildiğinde, bekleme süresinde yaklaşık %66 oranında azalma kaydedilmiştir (Reyes-Jurado ve ark., 2021). Haşlama işlemi yerine, toplam katı madde ve protein verimini artıran buharlama (steaming) işlemi de kullanılabilmektedir (Aydar ve ark., 2020). Bunun yanı sıra, susam gibi ham maddelerden elde edilecek BSA'da tat ve aromayı geliştirmek için kavurma, bazı bitkisel kaynaklardan (soya, badem, pirinç, yulaf ve baklagiller) elde edilen süt alternatiflerinde besinsel nitelikleri geliştirmek için fermantasyon gibi bazı ön işlemler de uygulanabilmektedir (Reyes-Jurado ve ark., 2021).

İki veya daha fazla mikroorganizma ile gerçekleştirilen fermantasyon sonucunda bitkisel proteinlerin çözünürlüğü, amino asit bileşimi ve etkinliğinin iyileştirilebildiği belirtilmektedir (Alcorta ve ark., 2021). Yapılan bir çalışmada, soya sütünün, *Bifidobacterium infantil* ve *Bifidobacterium longum* ile 48 saatlik fermantasyona tabi tutulması sonucunda, protein ve B kompleks vitaminlerinin içeriğinde artış tespit edilmiştir (Penha ve ark., 2021). Bitkisel esaslı fermente ürünlerin biyoaktif bileşik konsantrasyonunda ve antioksidan kapasitesinde de artış gözlenmiştir. Yapılan bir diğer çalışmada soya sütünde, konjuge izoflavonları aglikon formlarına dönüştürmek için β-glukozidaz enzimi üreten laktik asit bakterisi kullanılmış ve aglikon formlarının daha kolay absorbe edilmesinden dolayı daha yüksek biyoyararlılığa sahip olduğu bildirilmiştir. Badem esaslı süt alternatifinin üç laktik asit bakteri izolatı ile 37ºC'de 24 saat inkübe edilmesi sonucu antioksidan kapasitesi artmıştır. Diğer bir çalışmada ise benzer bir şekilde soya sütünün *Lactobacillus rhamnosus* tarafından 24 saat fermantasyona tabi tutulması sonucu aglikon oluşumu nedeniyle antioksidan kapasitesinde artış tespit edilmiştir. Ayrıca, fermantasyon işlemi ile bitkisel esaslı gıdalardaki, tanenler, fitatlar ve tripsin inhibitörleri gibi antinütrientlerin seviyesi de azaltılabilmektedir (Penha ve ark., 2021). Öte yandan, BSA'nın fermantasyona tabi tutulmasının, ham madde kökenli baklagilimsi aromayı azalttığı ve arzu edilen uçucu aroma bileşikleri sağlayarak duyusal niteliklerini geliştirdiği bildirilmektedir (Alcorta ve ark., 2021).

Ekstraksiyon

Ekstraksiyon işlemi nihai ürün olan BSA'nın bileşimi üzerinde en etkili proseslerden biridir. Protein ekstrakte edilebilirliğini arttırmak için çoğu zaman alkali bir ortam gerekli olup bunu bir nötralizasyon işlemi takip edebilmektedir. Bu nedenle ekstraksiyon verimi, NaOH veya bikarbonat kullanılarak pH artışına bağlı olarak artış göstermektedir. Bunun yanı sıra, sıcaklık artışı veya enzim uygulamalarıyla da ekstraksiyon verimi arttırılabilmektedir. Diğer bir taraftan, yulaf, pirinç ve kinoa esaslı süt alternatifinin hazırlanmasında, enzimatik hidroliz aşaması oldukça önemlidir. İlgili ham maddelerin ana bileşeni olan nişasta, yaş öğütme sırasında viskoz bir jel oluşturmak üzere jelatinizasyona tabi tutulur ve α-amilaz enzim uygulamasının ardından glukozidaz ve/veya β-amilaz varlığında sakkarifikasyon işlemi gerçekleştirilir. Proteinlerin ve polisakkaritlerin kısmen enzimatik hidrolize tabi tutulmasının, ekstraksiyon verimini arttırmak için alternatif bir yöntem olduğu bildirilmektedir. Bu kapsamda, protein ve/veya toplam katı madde ekstraksiyonunda papain, proteaz, β-glukanaz, pektinaz ve selülaz gibi enzimlerin kullanımı sonucu soya ve yer fıstığı esaslı süt alternatiflerinin verimlerinin önemli ölçüde arttığı tespit edilmiştir (Reyes-Jurado ve ark., 2021).

Filtrasyon

BSA üretiminde, ekstraksiyon adımından sonra, süzme ve santrifüjleme gibi işlemler uygulanarak üründeki kaba partiküller uzaklaştırılmaktadır (Reyes-Jurado ve ark., 2021). Filtrasyon aşamasında uzaklaştırılan filtrat miktarı, ham maddeye bağlı olarak değişmekle birlikte genellikle çözünmeyen katı maddelerden ve süzüntü kısmına tam olarak difüze olmamış makro besin ögelerinden oluşmaktadır (Penha ve ark., 2021).

Fındık, susam ve mısır esaslı bitkisel süt alternatifi üretiminde ultrafiltrasyon işlemi de uygulanabilmektedir. Soya esaslı süt alternatifi üretimi için kullanılan 1 kg soya fasulyesinden yaklaşık olarak 1,1 kg "okara" adı verilen yüksek miktarda diyet lif ve proteinin yanı sıra mineraller, vitaminler ve izoflavonlar içeren taze filtrat elde edilmektedir. Susam tohumlarının süt alternatifi olarak işlenmesi sonucunda kendi ağırlığının yaklaşık %15-18'lik bir kayba karşılık gelen kepeğin hayvan yemi olmak üzere sınırlı bir kullanımı bulunmaktadır. Pirincin süt alternatifi olarak işlenmesi sonucunda ise yüksek kaliteli protein ve lif açısından zengin kabuğun yaklaşık %20'sini ve kepeğin %10'unu oluşturan yan ürünler elde edilmektedir. Bu nedenle, BSA üretiminde filtrat azaltılması, daha az miktarda atık üretileceği/atılacağı için çevresel etkiyi azaltma anlamında oldukça önemli bir yere sahiptir (Penha ve ark., 2021).

Homojenizasyon

Bitkisel bazlı süt alternatifleri, protein, nişasta, lif ve diğer selülozik materyaller gibi çözünmez partiküller içermekte olup bunlar nihai ürünün stabilizasyonunu olumsuz yönde etkilemektedir (Reyes-Jurado ve ark., 2021). Bu nedenle homojenizasyon, inek sütü üretiminde de benzer şekilde olduğu gibi yağ tabakasının yüzeyde kümeleşmesini önleyerek, stabilizasyonun sağlanması açısından BSA üretiminde de kritik bir adımdır (Vogelsang-O'dwyer ve ark., 2021b). Bu nedenle, yüksek hızlı parçalayıcılar, kolloid değirmenleri ve yüksek basınçlı homojenizatörler gibi cihazlarla mekanik olarak homojenizasyon işlemi gerçekleştirilerek partikül boyutu küçültülmekte ve bu sayede süspansiyon çözünürlüğü ve stabilitesi iyileştirilmektedir (Reyes-Jurado ve ark., 2021). Yüksek hızda homojenizasyon emülsiyon oluşturmada etkili olmasına rağmen, daha uzun süreli bir stabilizasyon için gerekli olan küçük boyutlu yağ damlacıklarını üretmek için yeterli olmayabilir. Çünkü, faz ayrılma hızı, damlacık çapından etkilenmektedir. Bu nedenle, ön işlem olarak emülsiyon hazırlanması için önemli bir prosestir (Vogelsang-O'dwyer ve ark., 2021b). Günümüzde gıda endüstrisinde homojenizasyon işleminde en yüksek sıklıkla tercih edilen yüksek basınçlı homojenizatörler, daha küçük emülsiyon damlacıkları üreterek, nihai üründe daha uzun süreli bir stabilizasyon sağlamaktadır (McClements ve ark., 2019). Yüksek basınçlı homojenizasyon ise, iyi bir stabiliteye sahip

emülsiyonların üretilmesinde yaygın bir şekilde kullanılan teknolojidir. Bu bağlamda, tek aşamalı ve/veya iki aşamalı homojenizatörler kullanılmakta olup ikinci aşamada, birinci aşamadan sonra oluşan agregatların ayrılması gerçekleşmektedir (Vogelsang-O'dwyer ve ark., 2021b). Homojenizasyon işlemi düşük, yüksek ve ultra yüksek basınç altında gerçekleştirilebilmektedir. Uygulanan homojenizasyon basıncı arttıkça bitkisel bazlı süt alternatiflerinin stabilitesi, berraklığı ve beyazlık indeksinde artış gözlenmektedir (Aydar ve ark., 2020). Diğer taraftan, hidrokolloidler ve emülgatörlerin kullanımı yoluyla da süspansiyon stabilitesi arttırılabilmektedir (Reyes-Jurado ve ark., 2021). Ancak, bezelye ve bakla gibi birçok bitkisel bazlı emülgatör türüyle kaplanmış yağ damlacıkları, termal denatürasyon sıcaklığının üzerine ısıtıldıklarında topaklaşma eğilimi göstermektedir. Bu nedenle, bu tür problemlerin önüne geçmek için emülgatör seçimi oldukça önemlidir (McClements ve ark., 2019).

Işıl İşlem

Süt ve süt alternatifleri gibi ürünlerde, ürünün raf ömrü boyunca güvenliğini sağlamak ve bozulmasını önlemek için ısıl işlem uygulanması gerekmektedir (Vogelsang-O'dwyer ve ark., 2021b). Bu bağlamda ticari BES'in raf ömrünü uzatmak için pastörizasyon veya ultra yüksek sıcaklık (UHT) uygulaması gerçekleştirilmektedir. Yeterli sıcaklık ve sürede BSA'ya uygulanan ısıl işlem, yağ kaplanmış damlacıkların agregasyonunu engelleyerek, mikrobiyal yükü azaltmakta ve süspansiyonda bulunabilecek enzimleri inaktive etmektedir (Reyes-Jurado ve ark., 2021). Ancak, özellikle baklagil proteini emülsiyonlarında olduğu gibi, globüler proteinler ısıl işlem sırasında denatüre olup topaklaşarak düşük kararlılıkta bir ürün elde edileceğinden, ısıl stabilitesi önemli bir husustur. Öte yandan, yüksek ısıl işlem, çözünmeyen protein agregatlarının oluşumu veya yağ damlacıklarının flokülasyonu nedeniyle sedimentasyona neden olabilmektedir. Bu nedenle, protein türünün yanı sıra ısıl işlem süresi ve/veya sıcaklığı ile çevresel faktörler gibi parametreler oldukça önemlidir. Düşük yağ emülsiyonlarında yağ damlacıkları, sürekli fazda adsorbe edilmemiş proteinin varlığından dolayı, ısıl işlem sırasında agregasyon ve flokülasyona daha duyarlı olabilmektedir. Adsorbe edilmemiş bu protein, yağ/su ara yüzünde adsorbe edilmiş protein ile etkileşime girerek agregasyonu teşvik edebilmektedir. Öte yandan, ısıl işlemin de bazı durumlarda stabiliteyi iyileştirdiği gözlenmiştir. Yapılan bir çalışmada, UHT işlemine (2 sn, 140ºC) tabi tutulan ve lesitin içeren yüksek basıncı homojenizatörde muamele edilmiş bezelye proteini emülsiyonlarında, ısıl işlem gerçekleştirilmeyen örneklere kıyasla daha düşük düzeyde krema oluşumu gerçekleşmiştir. Diğer bir çalışmada, pastörizasyon ve UHT işlemine tabi tutulmuş ve 24 saatlik depolanmış acı bakla esaslı süt alternatiflerinin, herhangi bir ısıl işlem uygulanmamış örneklere kıyasla ortalama partikül boyutlarının daha küçük olduğu tespit edilmiştir (Vogelsang-O'dwyer ve ark., 2021b).

Paketleme ve Depolama

BSA'nın raf ömrünü ve stabilitesini arttırmak amacıyla, aseptik paketleme ve soğuk depolama gerekli olup depolama sıcaklığının +4ºC olması gerektiği belirtilmektedir (Aydar ve ark., 2020).

Bitkisel Esaslı Süt Alternatiflerinin Üretiminde Kullanılan Yenilikçi Teknolojiler

BSA üretiminde nihai üründe arzu edilen fiziksel stabilitenin sağlanması, hidrokolloidler ve emülgatörler gibi katkı maddelerine olan ihtiyacın en aza indirilmesi ve verimin arttırılması amacıyla en uygun işleme yönteminin seçilmesi oldukça önemlidir (Bernat ve ark., 2015). BSA üretiminde karşılaşılan ve giderilmesi gereken ana zorluklar; arzu edilmeyen tadın ortadan kaldırılması, antinütrientlerin (fitatlar, tanenler, tripsin inhibitörleri, lektinler ve bazı oligosakkaritler) etkisizleştirilmesi/uzaklaştırılması ve raf ömrünün uzatılmasıdır. Bu kapsamda konvansiyonel prosesler ile genellikle arzu edilen sonuçlar elde edilemediğinden, optimum niteliklere sahip bir ürün geliştirmek için alternatif teknolojilerin kullanılması özellikle son yıllarda dikkat çeken bir konu haline gelmiştir (Paul ve ark., 2020). Yenilikçi teknolojilerin ticari ölçekte kullanımının, ısıl işlemin zararlı bir etkiye sahip olduğu durumlarda BSA üretiminde iyi bir alternatif olacağı öngörülmektedir.

Termal Yenilikçi Teknolojiler

Mikrodalga ısıtma

BSA üretilmesinde kullanılan yenilikçi termal teknolojilerden mikrodalga ısıtma, mikrobiyal yükü azaltmayı ve ürünün raf ömrünü arttırmayı sağlayan yüksek verimliliğe sahip bir yöntemdir. Mikrodalga ısıtma, BSA gibi gıda matrislerinin kısa sürede ısıtılmasını sağlar. Bu yöntemde moleküller arası bağlara zarar verilmediğinden, ürünün organoleptik özellikleri korunmaktadır (Bocker ve Silva, 2022). Vagadia ve ark. (2018) tripsin inhibitörlerinin inaktivasyonu ile maksimum sindirilebilirliğe sahip SESA elde etmek amacıyla deneysel koşulları (zaman ve sıcaklık) cevap yüzey yöntemi ile optimize ederek mikrodalga ısıtma yöntemini kullanmıştır. Sindirilebilirliğin mikrodalga yöntemi ile %7, geleneksel yöntem ile %11 oranında arttığı, ham madde olarak kullanılan soya fasülyesinde %10 değerinde olan tripsin inhibitör aktivitesinin, mikrodalga ısıtma yöntemi %1 ve geleneksel ısıl işlemde %3 değerine düştüğü tespit edilmiştir. Varghese ve Pare (2019), mikrodalga destekli ekstraksiyon yönteminin SESA üretiminde kullanılma potansiyelini araştırmıştır. Geleneksel yöntemle elde edilen örneğe kıyasla mikrodalga destekli ekstraksiyon yönteminde ekstraksiyon veriminde %24 ve protein içeriğinde ise yaklaşık %44 oranında artış olduğu gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra mikrodalga destekli ekstraksiyon yöntemi kullanılarak elde edilen SESA'nın protein çözünürlüğü ve protein sindirilebilirliği gibi protein karakteristiklerinin de önemli derecede arttığı tespit edilmiştir.

Ohmik ısıtma

Ohmik ısıtma, ambalajlı veya ambalajsız BSA üretiminde uygulanan, gelişmekte olan ve sürdürülebilir bir termal teknolojidir. Bu yöntemde, termal enerjiyi serbest bırakan gıda matrisine 50-60 Hz değerinde bir elektrik akımı uygulanmaktadır. Ohmik ısıtma ile üründe mekanik hasara neden olmadan patojenik ve mikrobiyel yük azaltılır, enzimler denatüre edilir ve enzimatik inaktivasyon gerçekleşir. Ohmik ısıtma ekipmanının kullanımı kolay ve bakım maliyeti düşüktür. Ancak, bu ekipmanın endüstriyel ölçekte kullanımının başlangıç

maliyeti yüksektir. Ayrıca ohmik ısıtma uygulanan BSA'da protein agregasyonu, duyusal ve besinsel niteliklerde bazı değişiklikler meydana gelebilmektedir (Bocker ve Silva, 2022). Li ve ark. (2015) ohmik ısıtmanın SESA'nın üreaz aktivitesi üzerindeki etkisini araştırmıştır. Ohmik ısıtma uygulanan örneğin üreaz aktivitesinin, geleneksel yöntemle ısıl işlem uygulanan örneğe kıyasla önemli düzeyde düşük olduğu tespit edilmiştir. Lu ve ark. (2015) ise ohmik ısıtmanın (220 V, 50 Hz) SESA'da tripsin ve kimotripsin inhibitör aktivitesinin inaktivasyonu üzerindeki etkisini incelemiştir. Voltaj gradyanındaki artış ile inaktivasyonun hızlandığı, protein agregasyonunun arttığı ve bu kapsamda uygulanan diğer teknolojilere kıyasla enerji verimliliğinin daha yüksek olduğu belirtilmiştir.

Termal Olmayan Yenilikçi Teknolojiler

Ultrason

Ultrason, insan işitme limitinin üzerindeki frekanslarda (>16 kHz) yayılan ses dalgası olup (Soria ve Villamiel, 2010), daha kısa ekstraksiyon süresi, daha düşük organik solvent tüketimi, düşük sıcaklık koşullarında çalışma ve düşük maliyet gibi birçok avantaja sahip çevre dostu bir yöntemdir (Penha ve ark., 2021). BSA üretiminde ultrason uygulaması sonucu nihai üründe meydana gelen besin kaybı değeri düşüktür. Ayrıca endojen enzimlerin ve patojenik mikroorganizmaların inaktivasyonu sağlanmaktadır (Bocker ve Silva, 2022). Morales-de Peña ve ark. (2018) yaptıkları çalışmada, SESA üretiminde ön işlem olarak ultrason uygulamış ve yüksek izoflavon içeriğine sahip SESA elde etmek amacıyla uygulanabilecek yüksek potansiyele sahip bir teknoloji olduğunu belirtmiştir. Benzer bir şekilde Falcão ve ark. (2018) da ultrasonu SESA üretiminde ön işlem olarak uygulamış ve optimum koşullar 55ºC, 5 dk ve 19,5 Wcm^{-2} olarak belirlenmiştir. Ultrason işleminin, suda bekletme süresini yaklaşık 2 saat olmak üzere kısalttığı tespit edilmiştir. Maghsoudlou ve ark. (2016), ise BESA üretiminde ultrason teknolojisini kullanmış ve bu yöntemin nihai ürünün fiziksel özellikleri üzerinde önemli etkisi olduğunu ve partikül boyutunda meydana getirdiği azalma sebebi ile ürün stabilitesini arttırdığını belirtmiştir. Diğer bir çalışmada benzer bir şekilde ultrason işlemi uygulanan HESA'nın, partikül büyüklüğünün azaldığı ve daha homojen bir dağılıma sahip olduğu belirtilmiş ve HESA stabilitesinin, ultrason yöntemi ile geliştirilebileceği şeklinde yorumlanmıştır (Lu ve ark., 2019).

Yüksek basınçlı homojenizasyon

Yüksek basınçlı homojenizasyon, gıdaların 100 ile 1000 MPa arasında değişen basınca tabi tutulduğu termal olmayan bir tekniktir. Besin niteliklerini en az düzeyde etkilemesinin yanı sıra ürün stabilitesi ve fizikokimyasal özelliklerini geliştirmek üzere sıvı ve/veya kolloidal gıda sistemlerinde yaygın olarak kullanılan bir teknolojidir (Penha ve ark., 2021). Yüksek basınçlı homojenizasyon işleminin BSA üretiminde kullanımının, protein yapısında değişiklikler meydana getiremesinin yanı sıra emülsiyon viskozitesi ve stabilitesini arttırması, enzim ve mikroorganizmaların inaktivasyonunu sağlaması, duyusal özellikler ve besin niteliklerini koruması gibi birçok avantaja sahip olduğu belirtilmiştir (Munekata ve ark., 2020). Zhang ve ark. (2005), SESA üretiminde yüksek basınçlı homojenizasyon işleminin soya proteinleri üzerindeki etkisini araştırmıştır. Buna göre, soya proteininin bir kısmının çözünmez hale geldiği ve daha fazla hidrofobik bölgeye sahip olduğu belirtilmiştir. Cruz ve ark. (2007), ultra yüksek basınçlı homojenizasyonun SESA üzerindeki etkisini incelemiştir. 200 MPa ve 300 MPa basınç değerlerinde uygulanan homojenizasyonun, mikrobiyel yükü, bakteri sporlarını ve partikül büyüklüğünü azalttığı ve nihai ürünün depolama süresince daha stabil olduğu belirtilmiştir. Diğer bir taraftan, farklı basınç değerlerinin proteinlerin denatürasyonu üzerinde eşit derecede etkili olduğu tespit edilmiştir. Poliseli-Scopel ve ark. (2012), SESA üretiminde ultra yüksek basınç homojenizasyon (300 MPa) ile ısıl işlemin (75ºC) kombine bir biçimde uygulanması sonucu sterilizasyonun sağlandığı belirtilmiştir. Diğer bir çalışmada benzer bir biçimde ultra yüksek basınçlı homojenizasyon işlemi uygulanan BESA üretiminde, optimum proses parametreleri 300 MPa değerinde uygulanan basıncın, 65ºC veya 75ºC'de gerçekleştirilen ısıl işlem ile kombine bir biçimde uygulanması sonucu elde edildiği bildirilmiştir (Valencia-Flores ve ark. 2013). Diğer taraftan, BESA'nın 350 MPa ve 85ºC'de kombine bir biçimde ultra yüksek basınçlı homojenizasyon ve ısıl işleme tabi turulmasının, nihai ürünün ortalama partikül büyüklüğünü yaklaşık 3 kat arttırdığı tespit edilmiştir (Briviba ve ark., 2016). Toro-Funes ve ark. (2014), SESA üretiminde ultra yüksek basınç homojenizasyonu uygulamasının, biyoaktif bileşikler üzerindeki etkisini değerlendirmiştir. Bu bağlamda, toplam fitosterol ve izoflavon içeriği artarken, toplam tokoferol içeriğinin azaldığı, biyojenik aminin ise oluşmadığı tespit edilmiştir. Poliseli-Scopel ve ark. (2014) aseptik olarak paketlenmiş SESA üretiminde ultra yüksek basınçlı homojenizasyon işlemi uygulanmış ve oda sıcaklığında 6 ay süren depolama boyunca nihai ürünün oksidasyon ve fiziksel özelliklerinin korunduğu, mikrobiyel yükünde artış ve duyusal özelliklerinde azalış meydana gelmediği bildirilmiştir. Sidhu ve Singh (2016), ultra yüksek basınç ile işlenen SESA üretiminde, 4ºC'de 28 gün süren depolama boyunca nihai ürünün pH değerinin düştüğünü, partikül boyutunun azaldığını ve ticari ürünlere kıyasla duyusal özelliklerinde olumsuz yönde bir değişim meydana gelmediğini belirtmiştir. Codina-Torrella ve ark. (2017) ve Codina-Torrella ve ark. (2018) yaptıkları çalışmada, ultra yüksek basınçlı homojenizasyon uygulanan YBESA örneğinin ısıl işlem uygulanan örneğe kıyasla partikül büyüklüğünde azalış, kolloidal stabilitesinde ise artış gözlendiği bildirilmiştir. Nihai ürünün raf ömrünün, 200 MPa ve 300 MPa basınç değerlerinde uygulanan ultra yüksek basınçlı homojenizasyon uygulaması ile sırasıyla 25-30 ve 57 gün olduğu belirlenmiştir. FESA üretiminde yüksek basınçlı homojenizasyon işlemi uygulamasının ise nihai ürün partikül büyüklüğü ile konsistensini ve proses işleme sırasında gerekli olan enerjiyi önemli ölçüde azalttığı ifade edilmiştir (Gul ve ark., 2017).

Vurgulu elektrik alan

Vurgulu elektrik alan teknolojisi, BSA da dahil olmak üzere sıvı gıdaların mikrobiyel ve enzimatik inaktivasyonu amacıyla kullanılmaktadır. Bu teknoloji, gıda matrislerinin termal degradasyonunu önlemek üzere düşük sıcaklık değerlerinde uygulanmakta ve bu sayede gıdaların besinsel nitelikleri korunmaktadır (Bocker ve Silva, 2022). Vurgulu elektrik alan proseslerinde, gıda matrisi çok kısa bir süre

yüksek bir elektrik akımına tabi tutulur (Barba ve ark., 2015; Martínez ve ark., 2020). Bu yöntemin nihai ürünün mikroorganizma yükünde azalmayı sağlamasının yanı sıra yüksek enzim inhibisyonu sağladığı gözlenmiş ve bu nedenle duyusal nitelikler korunarak geleneksel ısıl işlemin yerini alabilecek potansiyelde olduğu ifade edilmiştir. Ancak bu teknoloji bakteri sporlarını etkisiz hale getirememektedir (Li ve ark., 2008). Li ve ark. (2008) SESA üretiminde ham madde kaynaklı lipoksigenaz enziminin vurgulu elektrik alan ile inaktivasyonunu incelemiştir. Tüm vurgulu elektrik alan parametrelerinin (süre, elektrik alan kuvveti, frekans ve vurgu genişliği) lipoksigenaz inaktivasyonunda önemli bir role sahip olduğu ve maksimum inaktivasyon değerinin %88 olduğu belirlenmiştir. Morales-de la Peña ve ark. (2010), 800 µs uygulanan vurgulu elektrik alan uygulamasının, 31 gün boyunca SESA'nın mikrobiyel stabilitesinin korunmasında etkili olduğunu belirtmiştir. Vurgulu elektrik alan uygulama süresinin 1400 µs'ye çıkarılmasıyla nihai ürünün daha uzun bir raf ömrüne (56 gün) sahip olduğu tespit edilmiştir. SESA'nın peroksidaz ve lipoksigenaz aktivitesi ısıl işlem uygulaması ile sırasıyla %100 ve %51 oranında inaktive edilirken; vurgulu elektrik alan uygulamsı ile bu değerler sırasıyla %17,5-29 ve %34-39 olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak SESA'nın mikrobiyolojik stabilitesini sağlamak ve besin değerini korumak amacıyla vurgulu elektrik alan uygulamasının, ısıl işleme iyi bir alternatif olabileceği öne sürülmüştür. Morales-de la Peña ve ark. (2011) vurgulu elektrik alan uygulamasının SESA'nın yağ asidi ve mineral profili üzerindeki etkilerini 4ºC depolama sıcaklığında 56 gün süren depolama süresinde değerlendirmiştir. Vurgulu elektrik alan uygulamasının çoğu yağ asidi ve mineral konsantrasyonunu etkilemezken; elaidik ve linoleik asit konsantrasyonunu azalttığı, demir ve çinko içeriğini ise önemli ölçüde arttırdığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte, vurgulu elektrik alan uygulanan örneğin ısıl işlem uygulanan örneğe kıyasla daha yüksek konsantrasyonda yağ asitleri ve mineral içeriğine sahip olduğu belirtilmiştir. Xiang ve ark. (2011), vurgulu elektrik alan uygulamasının SESA'nın reolojik ve renk özellikleri üzerinde önemli düzeyde etkili olduğunu belirtmiştir.

Süper kritik karbondioksit

Süper kritik akışkan teknolojisi, BSA üretiminde uygulanabilen, termal olmayan bir teknolojidir. En çok kullanılan akışkan, toksik, yanıcı ve aşındırıcı olmayan, inert, ve uzaklaştırılması kolay olan karbondioksittir (Silva ve ark., 2020b). Süper kritik karbondioksit, BSA üretiminde gıda güvenliğini ve raf ömrünü arttıran yenilikçi bir teknoloji olarak değerlendirilmektedir (Bocker ve Silva, 2022). Ancak karbondioksitin düşük maliyeti ve etkinliğine rağmen, süper kritik teknolojinin endüstriyel ölçekte uygulanması ekipmanın kurulumunun yüksek maliyeti ve zorluğu sebebiyle güçleşmektedir (Bertolini ve ark., 2020). Bu teknoloji, üründe bulunan patojen mikroorganizmaları ve endojen enzimlerin aktivitelerini azaltmaktadır (Bocker ve Silva, 2022).

Ultraviyole radyasyon

Ultraviyole (UV) radyasyon, BSA üretiminde uygulanan yeni ve alternatif bir yöntem olarak ön plana çıkmaktadır. UV radyasyon teknolojisi erişilebilir, kurulumu diğer yenilikçi teknolojilere kıyasla daha az maliyete sahip, toksik atık üretmeyen, işlem süresi kısa ve sürdürülebilir bir teknolojidir (Bocker ve Silva, 2022). Bandla ve ark. (2012) yaptıkları çalışmada, SESA üretiminde ultraviyole radyasyon ile nihai ürünün kalitesini olumsuz yönde etkilemeksizin, *Bacillus cereus* sporları ve *Escherichia coli* patojenini azaltmanın mümkün olduğunu tespit etmiştir. Corrales ve ark. (2012) YBESA'nın fizikokimyasal ve mikrobiyolojik stabilitesini sağlamak amacıyla ultraviyole radyasyon teknolojisini kullanmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, ürün fizikokimyasal kalite özellikleri üzerinde minimum etki göstererek, mikroorganizmalar (mayalar ve küfler, mezofilik ve psikrotrofik bakteriler) yüksek oranda inaktive edilmiştir. Possas ve ark. (2018) SESA'da *Salmonella enteritidis* inaktivasyonu için UV radyasyon teknolojisinin etkin bir biçimde kullanılabileceğini göstermiştir. Endüstriyel ölçekte uygulamadan önce ise validasyon çalışması yapılması gerektiği belirtilmiştir.

Sonuç

En yaygın bitkisel süt alternatifleri soya, hindistan cevizi, badem ve yulaf gibi ham maddelerden elde edilmekte olup diğer sert kabuklu yemişler (antep fıstığı, ceviz), baklagiller (acı bakla, nohut), yalancı tahıllar (kinoa, amaranth), yağlı tohumlar (susam, ayçiçeği) veya mısır, buğday ve teff gibi farklı kökenli ham maddelerden bitkisel süt üretimine yönelik araştırmalar hız kazanmalıdır. Daha geniş bir tüketici kitlesi hedef alınarak, kabul edilebilirliği daha yüksek ticari ürünlerin geliştirilebilmesi için farklı kaynaklardan elde edilen bu BSA'nın fizikokimyasal ve fonksiyonel özelliklerinin belirlenerek, düşük çevresel etkiye sahip olacak şekilde BSA üretimi oldukça önemlidir. Konu kapsamında farklı BSA'nın besinsel nitelikleri ve çevresel etkileri esas alınarak avantaj ve dezavantajlarının karşılaştırılabilmesi için daha çok çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır**.** Sonuç olarak bitkisel bazlı süt alternatifleri uygun fiyatlı, arzu edilir organoleptik özelliklere sahip, besleyici ve sürdürülebilir olmalıdır. Bu nedenle başta BSA'nın kalitesini ve kabul edilebilirliğini artırmak için kolloidal ürün stabilitesinin iyileştirilmesi, kötü aromaların azaltılması ve/veya uzaklaştırılması, inhibitörlerin inaktivasyonu, raf ömrünün uzatılması, besin değerinin arttırılması ve duyusal niteliklerinin iyileştirmesi önem arz etmektedir. Bu bağlamda hali hazırda, gıda endüstrisinde yaygın bir biçimde kullanılan fermentasyonun yanı sıra farklı ısıl olmayan teknolojilerin uygulanması ve proses parametrelerinin optimize edilerek endüstriye adapta edilmesi gerekmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından, FBA-2022-14656 nolu proje ile desteklenmiştir. Çalışmamıza destek sağlayan Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkür ederiz.

Kaynaklar

Adeyanju AA, Kruger J, Taylor JRN, Duodu KG. 2019. Effects of different souring methods on the protein quality and iron and zinc bioaccessibilities of non-alcoholic beverages from sorghum and amaranth. International Journal of Food Science and Technology, 54(3): 798–809. https://doi.org/10.1111/ijfs.13998

Alcorta A, Porta A, Tárrega A, Alvarez MD, Pilar Vaquero, M. 2021. Foods for plant-based diets: Challenges and innovations. Foods, 10(2): 1–23. https://doi.org/10.3390/foods10020293

Al-Saedi N, Agarwal M, Ma W, Islam S, Ren Y. 2020. Proteomic characterisation of lupin (*Lupinus angustifolius*) milk as influenced by extraction techniques, seed coat and cultivars. Molecules, 25: 1782. https://doi.org/10.3390/molecules25081782

Al-Saedi N, Agarwal M, Islam S, Ren YL. 2021. Study on the correlation between the protein profile of lupin milk and its cheese production compared with cow's milk. Molecules, 26(8): 1–15. https://doi.org/10.3390/molecules26082395

Ariyaprakai S. 2022. Freeze thaw stability and heat stability of coconut oil-in-water emulsions and coconut milk emulsions stabilized by enzyme-modified soy lecithin. Food Biophysics, https://doi.org/10.1007/s11483-021-09711-w

Atalar I, Kurt A, Gul O, Yazici F. 2021. Improved physicochemical, rheological and bioactive properties of ice cream: Enrichment with high pressure homogenized hazelnut milk . International Journal of Gastronomy and Food Science, 24: 100358. https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100358

Ateteallah AH, Elkot WF, Abd-Alla AEA. 2022. Physicochemical, antioxidant, microstructure, textural, and organoleptic characteristics of soft cheese incorporated corn milk. Journal of Food Processing and Preservation, 46(7): 1–7. https://doi.org/10.1111/jfpp.16694

Aydar Feyza E, Tutuncu S, Ozcelik B. 2020. Plant-based milk substitutes: Bioactive compounds, conventional and novel processes, bioavailability studies, and health effects. Journal of Functional Foods, 70: 103975. https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.103975

Bandla S, Choudhary R, Watson DG, Haddock J. 2012. UV-C treatment of soymilk in coiled tube UV reactors for inactivation of *Escherichia coli* W1485 and *Bacillus cereus* endospores. LWT - Food Science and Technology, 46(1): 71–76. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.10.024

Barba FJ, Parniakov O, Pereira SA, Wiktor A, Grimi N, Boussetta N, Saraiva JA, Raso J, Martin-Belloso O, Witrowa-Rajchert D, Lebovka N, Vorobiev E. 2015. Current applications and new opportunities for the use of pulsed electric fields in food science and industry. Food Research International, 77: 773–798. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.09.015

Bayhan A, Yentür G. 1993. Laktoz intoleransı. GIDA, 18(6): 385–388.

Bekiroglu H, Goktas H, Karaibrahim D, Bozkurt F, Sagdic O. 2022. Determination of rheological, melting and sensorial properties and volatile compounds of vegan ice cream produced with fresh and dried walnut milk. International Journal of Gastronomy and Food Science, 28(3): 100521. https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2022.100521

Bernat N, Cháfer M, Chiralt A, González-Martínez C. 2015. Development of a non-dairy probiotic fermented product based on almond milk and inulin. Food Science and Technology International, 21(6): 440–453. https://doi.org/10.1177/1082013214543705

Bertolini FM, Morbiato G, Facco P, Marszałek K, Pérez-Esteve É, Benedito J, Zambon A, Spilimbergo S. 2020. Optimization of the supercritical CO_2 pasteurization process for the preservation of high nutritional value of pomegranate juice. Journal of Supercritical Fluids, 164: 1–11. https://doi.org/10.1016/j.supflu.2020.104914

Bi S, Lao F, Pan X, Shen Q, Liu Y, Wu J. 2022. Flavor formation and regulation of peas (*Pisum sativum* L.) seed milk via enzyme activity inhibition and off-flavor compounds control release. Food Chemistry, 380:132203. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132203

Bocker R, Silva EK. 2022. Innovative technologies for manufacturing plant-based non-dairy alternative milk and their impact on nutritional, sensory and safety aspects. Future Foods, 5: 100098. https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100098

Briviba K, Gräf V, Walz E, Guamis B, Butz P. 2016. Ultra high pressure homogenization of almond milk: Physico-chemical and physiological effects. Food Chemistry, 192: 82–89. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.06.063

Chawafambira A, Jombo TZ, Mkungunugwa T. 2022. Effect of *Lacticaseibacillus rhamnosus* Yoba fermentation on physicochemical properties, amino acids, and antioxidant activity of cowpea-peanut milk. Journal of Food Quality. https://doi.org/10.1155/2022/3192061

Codina-Torrella I, Guamis B, Ferragut V, Trujillo AJ. 2017. Potential application of ultra-high pressure homogenization in the physico-chemical stabilization of Tiger nuts' milk beverage. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 40: 42–51. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.06.023

Codina-Torrella I, Guamis B, Zamora A, Quevedo JM, Trujillo AJ. 2018. Microbiological stabilization of Tiger nuts' milk beverage using ultra-high pressure homogenization. A preliminary study on microbial shelf-life extension. Food Microbiology, 69: 143–150. https://doi.org/10.1016/j.fm.2017.08.002

Corrales M, De Souza PM, Stahl MR, Fernández A. 2012. Effects of the decontamination of a fresh Tiger nuts' milk beverage (horchata) with short wave ultraviolet treatments (UV-C) on quality attributes. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 13: 163–168. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2011.07.015

Cruz N, Capellas M, Hernández M, Trujillo AJ, Guamis B, Ferragut V. 2007. Ultra high pressure homogenization of soymilk: Microbiological, physicochemical and microstructural characteristics. Food Research International, 40(6): 725–732. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.01.003

da Costa Neto JJG, Gomes TLM, Justo TF, Pereira KS, Amaral PFF, Rocha Leão MHM, Fontes Sant'Ana GC. 2019. Microencapsulation of tiger nut milk by lyophilization: Morphological characteristics, shelf life and microbiological stability. Food Chemistry, 284: 133–139. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.110

Demir H, Simsek M, Yıldırım G. 2021. Effect of oat milk pasteurization type on the characteristics of yogurt. LWT - Food Science and Technology, 135:110271. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110271

Deswal A, Deora NS, Mishra HN. 2014. Effect of concentration and temperature on the rheological properties of oat milk. Food and Bioprocess Technology, 7(8): 2451–2459. https://doi.org/10.1007/s11947-014-1332-8

Diarra K, Nong ZG, Jie C. 2005. Peanut milk and peanut milk based products production: A review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 45(5): 405–423. https://doi.org/10.1080/10408390590967685

Erk G, Seven A, Akpınar A. 2019. Vegan ve vejetaryan beslenmede probiyotik bitkisel bazlı süt ürünlerinin yeri. GIDA, 44(3): 453–462. https://doi.org/10.15237/gida.gd18083

Falcão HG, Handa CL, Silva MBR, de Camargo AC, Shahidi F, Kurozawa LE, Ida EI. 2018. Soybean ultrasound pre-treatment prior to soaking affects β-glucosidase activity, isoflavone profile and soaking time. Food Chemistry, 269: 404–412. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.028

Gul, O, Saricaoglu FT, Mortas M, Atalar I, Yazici F. 2017. Effect of high pressure homogenization (HPH) on microstructure and rheological properties of hazelnut milk. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 41: 411–420. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.05.002

Günaydın CN. 2019. İnek sütü alerjisine güncel yaklaşım. Namık Kemal Tıp Dergisi, 7: 146–155.

Jeske S, Zannini E, Arendt EK. 2018. Past, present and future: The strength of plant-based dairy substitutes based on gluten-free raw material. Food Research International, 110: 42–51. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.03.045

Jia C, Lu X, Gao J, Wang R, Sun Q, Huang J. 2021. TMT-labeled quantitative proteomic analysis to identify proteins associated with the stability of peanut milk. Journal of the Science of Food and Agriculture, 101(15): 6424–6433. https://doi.org/10.1002/jsfa.11313

Kavas G, Çelikel N, Kınık Ö, Gönç S. 2006. İnek sütü proteinlerine bağlı alerji olgusu. 24-26 Mayıs, Türkiye 9. Gıda Kongresi, Bolu, pp. 19-22.

Kizzie-Hayford N, Jaros D, Rohm H. 2017. Enrichment of tiger nut milk with microbial transglutaminase cross-linked protein improves the physico-chemical properties of the fermented system. LWT - Food Science and Technology, 81: 226–232. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.03.046

Kizzie-Hayford N, Jaros D, Schneider Y, Rohm H. 2015. Characteristics of tiger nut milk: Effects of milling. International Journal of Food Science and Technology, 50(2): 381–388. https://doi.org/10.1111/ijfs.12649

Koyama M, Kitamura Y. 2014. Development of a new rice beverage by improving the physical stability of rice slurry. Journal of Food Engineering, 131: 89–95. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.01.030

Lalić J, Denić M, Sunarić S, Kocić G, Trutić N, Mitić S, Jovanović T. 2014. Assessment of thiamine content in some dairy products and rice milk. CYTA - Journal of Food, 12(3): 203–209. https://doi.org/10.1080/19476337.2013.814713

Le TQ, Le NQ. 2021. Effects of microwave roasting time on physico-chemical properties and sensory evaluation of germinated red brown rice milk. Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences, 11(2): 1–6. https://doi.org/10.15414/jmbfs.1306

Leahu A, Ropciuc S, Ghinea C. 2022. Plant-based milks: Alternatives to the manufacture and characterization of ice cream. Applied Sciences, 12(3): 1754 https://doi.org/10.3390/app12031754

Li Fa-De, Chen C, Ren J, Wang R, Wu P. 2015. Effect of ohmic heating of soymilk on urease İnactivation and kinetic analysis in holding time. Journal of Food Science, 80(2): E307–E315. https://doi.org/10.1111/1750-3841.12738

Li YQ, Chen Q, Liu XH, Chen ZX. 2008. Inactivation of soybean lipoxygenase in soymilk by pulsed electric fields. Food Chemistry, 109(2): 408–414. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.01.001

Liu W, Pu X, Sun J, Shi X, Cheng W, Wang B. 2022. Effect of *Lactobacillus plantarum* on functional characteristics and flavor profile of fermented walnut milk. LWT - Food Science and Technology, 160: 113254. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113254

Lu L, Zhao L, Zhang C, Kong X, Hua Y, Chen Y. 2015. Comparative effects of ohmic, induction cooker, and electric stove heating on soymilk trypsin inhibitor inactivation. Journal of Food Science, 80(3): C495–C503. https://doi.org/10.1111/1750-3841.12773

Lu X, Chen J, Zheng M, Guo J, Qi J, Chen Y, Miao S, Zheng B. 2019. Effect of high-intensity ultrasound irradiation on the stability and structural features of coconut-grain milk composite systems utilizing maize kernels and starch with different amylose contents. Ultrasonics Sonochemistry, 55: 135–148. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.03.003

Maghsoudlou Y, Alami M, Mashkour M, Shahraki MH. 2016. Optimization of ultrasound-assisted stabilization and formulation of almond milk. Journal of Food Processing and Preservation, 40(5): 828–839. https://doi.org/10.1111/ jfpp.12661

Mäkinen OE, Wanhalinna V, Zannini E, Arendt EK. 2016. Foods for special dietary needs: non-dairy plant-based milk substitutes and fermented dairy-type products. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 56(3): 339–349. https://doi.org/10.1080/10408398.2012.761950

Martínez JM, Delso C, Álvarez I, Raso J. 2020. Pulsed electric field-assisted extraction of valuable compounds from microorganisms. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 19(2): 530–552. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12512

McClements DJ, Newman E, McClements IF. 2019. Plant-based milks: A review of the science underpinning their design, fabrication, and performance. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 18(6): 2047–2067. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12505

Mollakhalili-Meybodi N, Arab M. 2021. Harmful compounds of soy milk : characterization and reduction strategies. Journal of Food Science and Technology. https://doi.org/10.1007/s13197-021-05249-4

Morales-de la Peña M, Martín-Belloso O, Welti-Chanes J. 2018. High-power ultrasound as pre-treatment in different stages of soymilk manufacturing process to increase the isoflavone content. Ultrasonics Sonochemistry, 49: 154–160. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.07.044

Morales-de la Peña M, Salvia-Trujillo L, Rojas-Graü MA, Martín-Belloso O. 2010. Impact of high intensity pulsed electric field on antioxidant properties and quality parameters of a fruit juice-soymilk beverage in chilled storage. LWT - Food Science and Technology, 43(6): 872–881. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.01.015

Morales-de la Peña M, Salvia-Trujillo L, Rojas-Graü MA., Martín-Belloso O. 2011. Impact of high intensity pulsed electric fields or heat treatments on the fatty acid and mineral profiles of a fruit juice-soymilk beverage during storage. Food Control, 22(12): 1975–1983. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2011.05.015

Motala C, Fiocchi A. 2012. WAO. Cow's milk allergy in children. https://www.worldallergy.org/education-and-programs/education/allergic-disease-resource-center/professionals/cows-milk-allergy-in-children [Erişim tarihi: 12 Ağustos 2022]

Munekata PES, Domínguez R, Budaraju S, Roselló-Soto E, Barba FJ, Mallikarjunan K, Roohinejad S, Lorenzo JM. 2020. Effect of innovative food processing technologies on the physicochemical and nutritional properties and quality of non-dairy plant-based beverages. Foods, 9(3): 1–16. https://doi.org/10.3390/foods9030288

Nair UKA, Hema V, Sinija VR, Hariharan S. 2020. Millet milk: A comparative study on the changes in nutritional quality of dairy and nondairy milks during processing and malting. Journal of Food Process Engineering, 43(3): 1–7. https://doi.org/10.1111/jfpe.13324

Pakzadeh R, Goli SAH, Abdollahi M, Varshosaz J. 2021. Formulation optimization and impact of environmental and storage conditions on physicochemical stability of pistachio milk. Journal of Food Measurement and Characterization, 15(5): 4037–4050. https://doi.org/10.1007/s11694-021-00963-1

Paul AA, Kumar S, Kumar V, Sharma R. 2020. Milk Analog: Plant based alternatives to conventional milk, production, potential and health concerns. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 60(18): 3005-3023. https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1674243

Penha CB, Santos VDP, Speranza P, Kurozawa LE. 2021. Plant-based beverages: Ecofriendly technologies in the production process. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 72(4): 102760. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102760

Pineli LLO, Botelho RBA, Zandonadi RP, Solorzano JL, de Oliveira GT, Reis CEG, Teixeira DS. 2015. Low glycemic index and increased protein content in a novel quinoa milk. LWT - Food Science and Technology, 63(2): 1261–1267. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.094

Poliseli-Scopel FH, Hernández-Herrero M, Guamis B, Ferragut V. 2012. Comparison of ultra high pressure homogenization and conventional thermal treatments on the microbiological, physical and chemical quality of soymilk. LWT - Food Science and Technology, 46(1): 42–48. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.11.004

Poliseli-Scopel FH, Hernández-Herrero M, Guamis B, Ferragut V. 2014. Sterilization and aseptic packaging of soymilk treated by ultra high pressure homogenization. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 22: 81–88. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2014.01.001

Possas A, Valero A, García-Gimeno RM, Pérez-Rodríguez F, de Souza PM. 2018. Influence of temperature on the inactivation kinetics of Salmonella Enteritidis by the application of UV-C technology in soymilk. Food Control, 94: 132–139. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.06.033

Rebezov M, Usman Khan M, Bouyahya A, Imran M, Tufail T, Loretts O, Zengin G, Shariati MA. 2021. Nutritional and technical aspect of tiger nut and its micro-constituents: An overview. Food Reviews International. https://doi.org/10.1080/87559129.2021.2011910

Reyes-Jurado F, Soto-Reyes N, Dávila-Rodríguez M, Lorenzo-Leal AC, Jiménez-Munguía MT, Mani-López E, López-Malo A. 2021. Plant-Based Milk Alternatives: Types, Processes, Benefits, and Characteristics. Food Reviews International. https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1952421

Rincon L, Braz Assunção Botelho R, de Alencar ER. 2020. Development of novel plant-based milk based on chickpea and coconut. LWT - Food Science and Technology, 128: 109479. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109479

Rubert J, Monforte A, Hurkova K, Pérez-Martínez G, Blesa J, Navarro JL, Stranka M, Hajslova J. 2017. Untargeted metabolomics of fresh and heat treatment Tiger nut (*Cyperus esculentus* L.) milks reveals further insight into food quality and nutrition. Journal of Chromatography A, 1514: 80–87. https://doi.org/10.1016/j.chroma.2017.07.071

Ruengdech A, Siripatrawan U. 2021. Application of catechin nanoencapsulation with enhanced antioxidant activity in high pressure processed catechin-fortified coconut milk. LWT - Food Science and Technology, 140(6): 110594. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110594

Sangkam J, Apichartsrangkoon A, Baipong S, Sriwattana S, Tiampakdee A, Sintuya P. 2019. Pre-blanching corn and pressurization effects on the physicochemical and microbiological qualities of corn milk. Food Bioscience, 31(1): 100446. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2019.100446

Sanika B, Poojitha P, Gurumoorthi P, Athmaselvi KA. 2021. Drying kinetics and quality of tray dried peanut milk residue. Food Research, 5(2): 106–112. https://doi.org/10.26656/fr.2017.5(2).424

Sethi S, Tgayi SK, Anurag RK. 2016. Plant-based milk alternatives an emerging segment of functional beverages: A review. Journal of Food Science and Technology, 53(9): 3408–3423. https://doi.org/10.1007/s13197-016-2328-3

Shori AB, Aljohani GS, Al-zahrani AJ, Al-sulbi OS, Baba AS. 2022. Viability of probiotics and antioxidant activity of cashew milk-based yogurt fermented with selected strains of probiotic *Lactobacillus* spp. LWT - Food Science and Technology, 153: 112482. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112482

Sidhu JS, Singh RK. 2016. Ultra high pressure homogenization of soy milk: Effect on quality attributes during storage. Beverages, 2(2): 1-17 https://doi.org/10.3390/beverages2020015

Silva ARA, Silva MMN, Ribeiro BD. 2020a. Health issues and technological aspects of plant-based alternative milk. Food Research International, 131(1): 108972. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108972

Silva EK, Meireles MAA, Saldaña MDA. 2020b. Supercritical carbon dioxide technology: A promising technique for the non-thermal processing of freshly fruit and vegetable juices. Trends in Food Science and Technology, 97: 381–390. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.01.025

Soria AC, Villamiel M. 2010. Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: A review. Trends in Food Science and Technology, 21(7): 323–331. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2010.04.003

Storhaug CL, Fosse SK, Fadnes LT. 2017. Country, regional, and global estimates for lactose malabsorption in adults: a systematic review and meta-analysis. The Lancet Gastroenterology and Hepatology, 2(10): 738–746. https://doi.org/10.1016/S2468-1253(17)30154-1

Sun Y, Chen H, Chen W, Zhong Q, Zhang M, Shen Y. 2022. Effects of ultrasound combined with preheating treatment to ımprove the thermal stability of coconut milk by modifying the physicochemical properties of coconut protein. Foods, 11(7). https://doi.org/10.3390/foods11071042

Supavititpatana P, Wirjantoro TI, Apichartsrangkoon A, Raviyan P. 2008. Addition of gelatin enhanced gelation of corn-milk yogurt. Food Chemistry, 106(1): 211–216. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.05.058

Swelam S, Zommara MA, Abd El-Aziz AEAM, Elgammal NA, Baty RS, Elmahallawy EK. 2021. Insights into Chufa milk frozen yoghurt as cheap functional frozen yoghurt with high nutritional value. Fermentation, 7(4): 1–12. https://doi.org/10.3390/fermentation7040255

Tangyu M, Muller J, Bolten CJ, Wittmann C. 2019. Fermentation of plant-based milk alternatives for improved flavour and nutritional value. Applied Microbiology and Biotechnology, 103(23–24): 9263–9275. https://doi.org/10.1007/s00253-019-10175-9

Thuy NM, Banyavongsa A, Tai NV. 2020. The effect of homogenization and sterilization on the stability and nutritional evaluation of vietnamese purple rice milk supplemented with sesame, soybean and water caltrop. Food Research, 4(6): 2289–2295. https://doi.org/10.26656/fr.2017.4(6).379

Toro-Funes N, Bosch-Fusté J, Veciana-Nogués MT, Vidal-Carou MC. 2014. Effect of ultra high pressure homogenization treatment on the bioactive compounds of soya milk. Food Chemistry, 152: 597–602. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.12.015

Tuncel NY, Korkmaz F, Polat H, Tuncel NB. 2021. Monitoring starch hydrolysis with micro visco-amylo-graph for the production of chickpea milk and optimization of the parameters with response surface methodology. Journal of Food Science and Technology. 59: 3448–3457. https://doi.org/10.1007/s13197-021-05332-w

Vagadia BH, Vanga SK, Singh A, Gariepy Y, Raghavan V. 2018. Comparison of conventional and microwave treatment on soymilk for inactivation of trypsin inhibitors and in vitro protein digestibility. Foods, 7(1): 1–14. https://doi.org/10.3390/foods7010006

Valencia-Flores DC, Hernández-Herrero M, Guamis B, Ferragut V. 2013. Comparing the effects of ultra-high-pressure homogenization and conventional thermal treatments on the microbiological, physical, and chemical quality of almond beverages. Journal of Food Science, 78(2): E199-E205. https://doi.org/10.1111/1750-3841.12029

Vanga SK, Raghavan V. 2018. How well do plant based alternatives fare nutritionally compared to cow's milk ? Journal of Food Science and Technology, 55(1): 10–20. https://doi.org/10.1007/s13197-017-2915-y

Varghese T, Pare A. 2019. Effect of microwave assisted extraction on yield and protein characteristics of soymilk. Journal of Food Engineering, 262: 92–99. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.05.020

Vogelsang-O'Dwyer M, Sahin AW, Zannini E, Arendt EK. 2021a. Physicochemical and nutritional properties of high protein emulsion-type lupin-based model milk alternatives: effect of protein source and homogenization pressure. Journal of the Science of Food and Agriculture, 102(12): 5086-5097. https://doi.org/10.1002/jsfa.11230

Vogelsang-O'Dwyer M, Zannini E, Arendt EK. 2021b. Production of pulse protein ingredients and their application in plant-based milk alternatives. Trends in Food Science & Technology, 110: 364–374. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.090

Wang Q, Jiang J, Xiong YL. 2018. High pressure homogenization combined with pH shift treatment: A process to produce physically and oxidatively stable hemp milk. Food Research International, 106: 487–494. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.01.021

Wang X, Ye A, Dave A, Singh H. 2022. Structural changes in oat milk and an oat milk–bovine skim milk blend during dynamic in vitro gastric digestion. Food Hydrocolloids, 124(PB): 107311. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107311

Xiang BY, Simpson MV, Ngadi MO, Simpson BK. 2011. Effect of pulsed electric field on the rheological and colour properties of soy milk. International Journal of Food Sciences and Nutrition, 62(8): 787–793. https://doi.org/ 10.3109 /09637486.2011.584860

Yasni S, Mauldiya A. 2014. Development of corn milk yoghurt using mixed culture of *Lactobacillus delbruekii*, *Streptococcus salivarus*, and *Lactobacillus casei*. Journal of Biosciences, 21(1): 1–7. https://doi.org/10.4308/hjb.21.1.1

Yilmaz-Ersan L, Topcuoglu E. 2022. Evaluation of instrumental and sensory measurements using multivariate analysis in probiotic yogurt enriched with almond milk. Journal of Food Science and Technology, 59(1): 133–143. https://doi.org/10.1007/s13197-021-04994-w

Zaaboul F, Raza H, Cao C, Yuanfa L. 2019. The impact of roasting, high pressure homogenization and sterilization on peanut milk and its oil bodies. Food Chemistry, 280: 270–277. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.12.047

Zhang H, Li L, Tatsumi E, Isobe S. 2005. High-pressure treatment effects on proteins in soy milk. LWT - Food Science and Technology, 38(1): 7–14. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.04.007

Zhang X, Zhang S, Xie B, Sun Z. 2021. Influence of lactic acid bacteria fermentation on physicochemical properties and antioxidant activity of chickpea yam milk. Hindawi Journal of Food Quality, 2021, 1-9. doi: https://doi.org/10.1155/2021/5523356