

Atf İçin: Eren, O., Yücel, T. ve Şakiroğlu, H. (2025). Selüloz Enzimi ve Gıda Teknolojisinde Kullanımı. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 15(2), 556-567.

To Cite: Eren, O., Yücel, T. & Şakiroğlu, H. (2025). Cellulase Enzyme and Its Use in Food Technology. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 15(2), 556-567.

Selüloz Enzimi ve Gıda Teknolojisinde Kullanımı

Osman EREN^{1*}, Tahir YÜCEL², Halis ŞAKİROĞLU¹

Öne Çıkanlar:

- Yağ Teknolojisi,
- Meyve Sebze Teknolojisi,
- Fırıncılık Ürünleri

Anahtar Kelimeler:

- Selüloz
- Zeytinyağı
- Meyve Suyu
- Biyoaktiflik
- Gıda Boyası

ÖZET:

Selüloz, glukoz ünitelerinden ibaret olan düz zincirli bir polisakkarittir ve biyosferin en büyük kütleli organik yapısıdır. Bu yapı birden fazla enzimi içeren kompleks yapıli selüloz enzimi tarafından parçalanmaktadır ve selüloz miktar olarak Dünya’da en çok kullanılan üçüncü enzimdir. Hidrolazlar grubuna ait hidrolitik bir enzim olan selüloz, tekstil, deterjan, kâğıt, yem ve gıda gibi birçok alanda kullanılmakta olup gıda alanında ise yağ teknolojisinden meyve sebze alanına; hatta fırıncılık alanında bile kullanılma potansiyeline sahiptir. Yapılan araştırmaların sonucunda selüloz’ın gıda alanında kullanılması neticesinde daha fazla yağ elde etme, daha kaliteli yağ bileşenleri elde etme, meyve suyu üretim verimini artırma, hamurun reolojik özelliklerini geliştirme gibi olumlu özellikler sağladığı bildirilmiştir. Selüloz ayrıca gıda atıklarından çeşitli biyoaktif bileşikler ve boyar maddelerin elde edilmesinde de kullanılabilir.

Cellulase Enzyme and Its Use in Food Technology

ABSTRACT:

Cellulose is a straight-chain polysaccharide consisting of glucose units and is the most abundant organic compound in the biosphere. This structure is degraded by the enzyme complex known as cellulase, which consists of multiple enzyme components. Cellulase is the third most widely used enzyme globally and belongs to the hydrolase group of hydrolytic enzymes. It is utilized in various fields, including textiles, detergents, paper, animal feed, and food industries. In the food sector, cellulase shows potential for applications in oil processing, fruit and vegetable products, and even baking. Research has indicated that cellulase offers benefits such as increased oil yield, improved oil quality, enhanced fruit juice production efficiency, and better rheological properties of dough when used in food production. Additionally, cellulase can be employed to extract bioactive compounds and colorants from food wastes.

Highlights:

- Oil technology
- Fruit and vegetable technology
- Bakery Products

Keywords:

- Cellulase
- Olive oil
- Fruit Juice
- Bioactivity
- Food Coloring

¹ Osman EREN ([Orcid ID: 0000-0002-2016-7671](https://orcid.org/0000-0002-2016-7671)), Halis ŞAKİROĞLU ([Orcid ID: 0000-0002-2964-4497](https://orcid.org/0000-0002-2964-4497)), Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Ağrı, Türkiye

² Tahir YÜCEL ([Orcid ID: 0000-0003-0688-9499](https://orcid.org/0000-0003-0688-9499)), Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Van, Türkiye

***Sorumlu Yazar/Corresponding Author:** Osman EREN, e-mail: osmaneren2@gmail.com

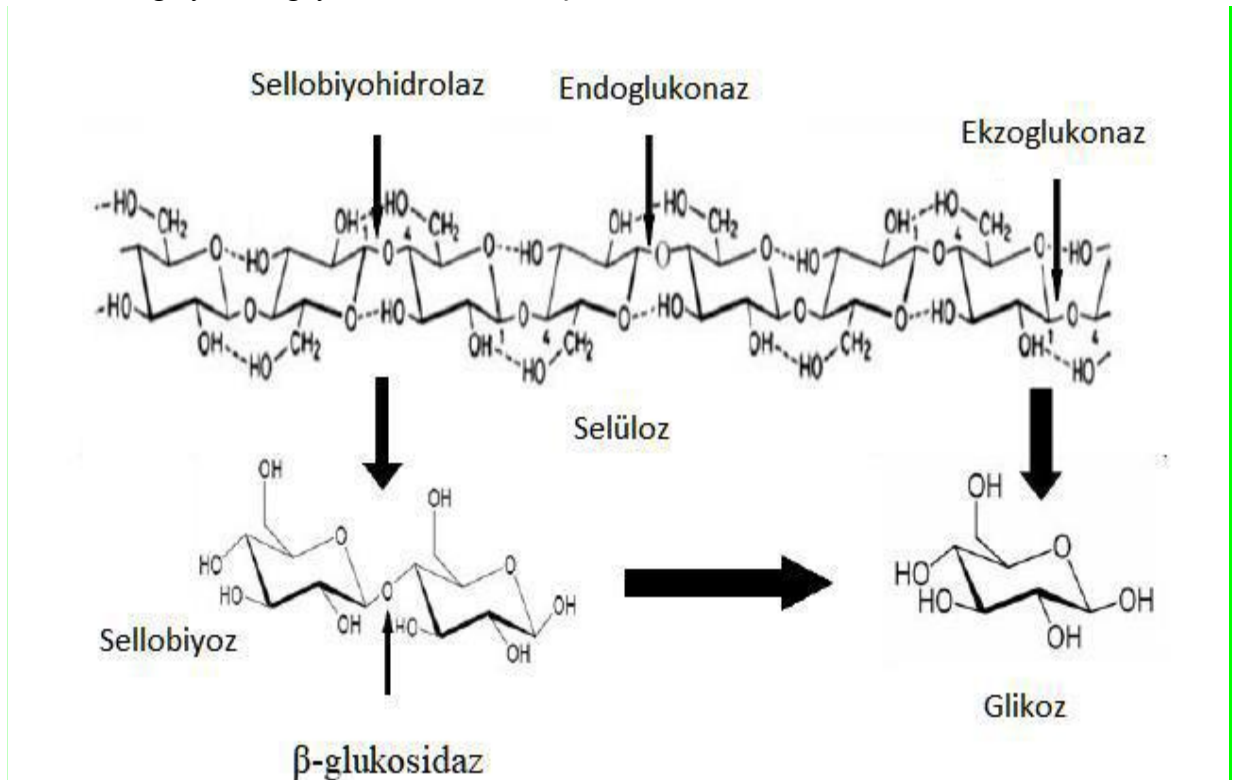
GİRİŞ

Selüloz, hidrolaz enzim grubuna ait olup selülozu parçalayan, yapı ve işlev yönünden bağımsız bir enzim kompleksidir. Selüloz, esasında bir eter bağı olan β -1,4 glikozit bağı ile birbirine bağlı glukoz zincirlerinden ibaret biyosferdeki en büyük kütleye sahiptir ve polisakkarit yapıda bir polimerdir. Selüloz enzimi bu bağları hidrolize eder ve nihai ürün olarak glukoz, sellobiyoz ve selo oligosakkaritleri meydana getirir (Şekil 1.1). Selüloz grubunu oluşturan enzimler genelde substrat spesifikliğı üzerinden sınıflandırılır (Aygan ve ark., 2008; Caf 2012; Hürtaş Tatlı 2013).

Substrat pesifikliğıne göre enzimler: (Saddler ve ark., 1986)

- Ekzoglukanazlar (EC 3.2.1.74) ve Sellobiyohidrolazlar (EC 3.2.1.91)
- Endoglukanazlar (EC 3.2.1.4),
- Sellobiyazlar (EC 3.2.1.21).

Ekzoglukanazlar ve Sellobiyohidrolazlar, selüloz yapısının indirgen ve indirgen olmayan uçlarından hidroliz yaparlar. Glukanohidrolaz bir glukoz molekülünü serbest bırakırken sellobiyohidrolaz ise sellobiyoz'u oluşturur. Sellobiyoz ise glukozidaz yani sellobiyaz tarafından parçalanır ve glukoz molekülü oluşur. Glukoz, aynı zamanda sellobiyazın inhibitörüdür. Endoglukanaz denilen polipeptit ise selülozun iç kısmını rastgele parçalayarak oligosakkaritleri meydana getirir. Selüloz yapısını oluşturan enzimler sinerjik etkiye sahip olup ve hem aktif bölgeyi hem de substrat bağlayan bölgeyi modüler olarak içerir.



Şekil 1.1. Selüloz Enzimlerinin Hidroliz Etme Şekli (Beguin and Aubert 1994)

Selüloz Enziminin Gelecekteki Potansiyeli ve Gıda Teknolojisindeki Avantajları

Günümüzde dünya nüfusu yaklaşık 8 milyar olup 2050 yılında 9.7 milyar olması beklenmektedir. Bu durumda dünya nüfusuna yeterli seviyede gıda üretebilmek ve çevresel sürdürülebilirlik hayati önem kazanmaktadır. Özellikle insan faaliyetleri sonucu çevre sorunları oluşmakta ve kimyasal kullanımı çevre problemine olumsuz olarak etki etmektedir. Selüloz endüstride yüksek ısı ve asit ile parçalanmakta ve bu durum da doğal olarak hem kirliliğe hem de enerji sarfiyatına neden olmaktadır. Kimyasal kullanımı ve enerji üretimi için sarfedilen maddeler aynı

zamanda sera gazı oluşumunu arttırmakta ve küresel ısınmaya etki etmektedir. Kimyasal dönüşümlerin kimyasal katalizörlerden ziyade enzimlerce yapılması çevre kirliliği, sera gazı oluşumu, su kirliliği gibi çeşitli problemlerin çözümü için olumlu bir etki yapacaktır (Radley ve ark., 2023). Selüloz veya türev ürünlerinin birçok farklı alanda kullanılmasından dolayı, degradasyonu birçok sektör için önemlidir. Selülaaz küresel anlamda çok önemli bir enzim olup biyoyakıt üretiminden hayvansal yemlere, deterjan endüstrisinden gıda ve içecek sanayisine, tekstil endüstrisinden kâğıt üretimine kadar hemen her alanda kullanılan ve bu sebeple kendisine yüksek düzeyde ihtiyaç duyulan bir enzimdir (Hu ve ark., 2008; Lavanya ve ark., 2011). Selülaaz, dünyada en çok kullanılan üçüncü enzimdir ve yayınlanan raporlara göre 2025 yılının sonuna kadar selülaaz'ın dünyada 230 milyon dolar ticari hacme sahip olacağı ön görülmektedir (Jayasekara ve Ratnayake 2019). Selüloz bitkilerin temel yapılarından biri olup özellikle sebze ve meyve atıkları selüloz liflerince zengindir ve bu liflerin parçalanması farklı alanlar için önemli katkılar sağlar. Öncelikle atıkların değerlendirilmesi çevre kirliliği yönünden önemlidir. Ayrıca bu atıkların içinde sağlık yönünden oldukça faydalı olan biyoaktif bileşenler ile doğal gıda boyar maddeleri de elde edilebilir. Buna ilaveten enzim kullanımı, elde edilen ürünlerin (zeytinyağı, meyve suyu gibi) kalitelerini ve verimlerini arttırmaktadır. Tüm bu ve benzer sebeplerden ötürü selülaaz enziminin kullanımı hem ticari olarak hem de diğer yönlerden önem arz etmektedir (Vilarino ve ark., 2017; Motuk, 2020; Pradhan ve ark., 2021; Mashhaddi ve ark., 2023).

SELÜLAZIN GIDA TEKNOLOJİSİNDE KULLANIMI

Yağ Teknolojisinde Selülaaz Kullanımı

Selülaaz enziminin zeytinyağının soğuk pres yöntem ile elde edilmesindeki etkisinin araştırıldığı bir çalışmada araştırmacı genel olarak enzim kullanımının pozitif yönde etki ettiğini rapor etmiştir. Çalışmanın neticesine göre zeytinyağının faydalı bileşiklerinden olan tokoferol 'un miktar olarak arttığı bildirilmiş olup Ayvalık Zeytini çeşidinde yapılan bu çalışmada oleik, linoleik ve araşidonik asit kompozisyonlarının da değiştiği belirlenmiştir (Motuk, 2020).

Hadj-Taieb ve ark. (2012), selülaaz'ın da içinde bulunduğu bir enzim kombinasyonunu kullanarak zeytinyağı üretiminde yağ verimini arttırdıklarını bildirmişlerdir. Çalışmada ayrıca enzim sayesinde hem yeşil zeytinden hem de siyah zeytinden elde edilen yağın, kontrol grubuna göre daha fazla miktarda fenolik madde, klorofil ve β -karoten içerdiği de rapor edilmiştir.

Huang ve ark. (2022), selülaaz ve pektinaz enzimlerinin zeytin hamuruna ilave edilmesiyle viskozitenin azaldığını, pektik depolimerizasyonun arttığını ve bu sayede yağ veriminin %7.15'ten %11.68'e çıktığını bildirmişlerdir.

Uçucu yağlar çok az miktarda oluştuklarından elde edilmesi oldukça zordur. *Cinnamomum camphora chvar*. bitkisinden uçucu yağın elde edilmesi işleminde araştırmacılar selülaaz destekli bir damıtma metodu kullanmışlardır ve yapılan çalışma neticesinde nötral selülaaz destekli bu metodun klasik distilasyon metoduna göre %58 daha verimli olduğu rapor edilmiştir (Yu ve ark., 2019).

Selülaaz enziminin kullanımı sadece zeytinyağının elde edilmesinde değil; farklı yağların elde edilmesinde de verimli etkilere sahiptir. Selülaaz ve pektinaz enzimlerinin 1:1 oranında kullanıldığı bir çalışmada araştırmacılar yer fıstığından yağ elde edilme verimini %90.7 oranında arttırdıklarını bildirmişlerdir (Niu ve ark., 2021).

Wang ve ark. (2019), yaptıkları bir çalışmada alkalaz ve selülaaz enzimlerini 1:1 oranında kullanmış olup yapılan araştırma neticesinde enzim kombinasyonunun pirinç yağının elde edilme verimini 5 saat ve 50°C inkübasyon koşullarında %22.27 oranında arttırdıklarını rapor etmişlerdir.

Çörek otu tohumu içerdiği biyoaktif bileşenleri ve yağı ile önemli bir tohumdur. Yağ verimi ve içeriğinin araştırıldığı bir çalışmada araştırmacılar selülaaz kullanımı sonucu kontrol grubuna göre daha

yüksek miktarda yağ elde etmişlerdir. Araştırmacılar selülaaz kullanımının bir biyoaktif bileşik olan timokinin'in elde edilme miktarını arttırdığını ve ayrıca yağın daha yüksek fenolik ve flavonoid miktarına ve antioksidan aktiviteye sahip olduğunu da belirtmişlerdir (Mashhadi ve ark., 2023).

Wei ve ark. (2021), bir tür şakayık bitkisinin tohumundan yağ elde etmek için selülaaz destekli bir ekstraksiyon yöntemi kullanmışlardır. Araştırmacılar selülaaz ve hemiselülaaz enzimlerini 1:1 oranında kullanmış olup kontrol grubuna göre %37.4 oranında daha yüksek yağ verimi elde etmişlerdir. Bu çalışmada ideal pH'nın 5.1, sıcaklığın 50°C ve enzimoliz süresinin 68 dakika olduğu rapor edilmiştir.

Nar çekirdeklerinde yapılan bir araştırmaya göre selülaaz enzimi kullanılarak elde edilen yağın, veriminin ve kalite göstergelerinin daha iyi olduğu belirlenmiştir. Yapılan çalışmada yağ veriminin yanı sıra kırılma indeksi, sarılık indeksi, peroksit değeri, p-anisidin değeri, toplam oksidasyon değeri, toplam karotenoid içeriği, toplam fenolik bileşikler, radikal süpürücü kapasitesi, ferrik indirgeyici antioksidan gücü, fitosterol bileşimi gibi farklı parametrelerde incelenmiştir. Araştırmacılar, yağ veriminin, peroksit değerinin, toplam fenolik bileşik miktarının ve radikal temizleme kapasitesinin arttığını, sarılık indeksinin azaldığını; fakat diğer bileşenlerin etkilenmediğini rapor etmişlerdir. Bildirilen sonuca göre bu enzim nar çekirdeğinden yağ elde edilme miktarını, bazı kalite göstergelerini ve antioksidan özellikleri olumlu yönde etkilemiştir (Kaseke ve ark., 2021).

Zhao ve ark. (2022), önemli bir çoklu doymamış yağ asidi olan eikosapentaenoik asit'i (EPA) mikroalglerden elde etmek için selülaaz ve lakkaz enzimlerini kullanmışlardır. Araştırmanın sonucuna göre lipit verimi %66.29 ve lipit EPA içeriği %42.63 artarak enzimlerin önemli bir etki gösterdiği belirlenmiştir. Lakkaz ve selülaaz enzimlerinin kombine edilmesi ayrı ayrı kullanılmalarından daha fazla etki göstermiş olup araştırmacılar birlikte kullanılmasını önermişlerdir

Balkabağı çekirdeği yağı çeşitli biyoaktif bileşenler yönünden zengin bir çekirdektir. Pektinaz, selülaaz ve proteaz'dan ibaret bir enzim kombinasyonu kullanılarak bu çekirdekten elde edilen yağın antioksidan içeriğinin daha yüksek olduğu ve yaşlanma etkeni olan enzimleri daha güçlü şekilde inhibe ettiği belirlenmiştir. Araştırmacılar, bu çalışmanın daha ileri farmakolojik araştırmaların yapılmasına katkı sağladığını ve çekirdek yağının cilt için faydalı olacağını bildirmişlerdir (Prommaban ve ark., 2021).

Günümüzde bitkisel yağlara alternatif olarak mikrobiyal yağ veya diğer ismiyle tekli hücre yağı da gittikçe önemli hale gelmektedir. Mikrobiyal yağ, gıda sanayi başta olmak üzere çok farklı alanlarda kullanıma potansiyeline sahiptir. Selülaaz sadece bitkisel yağların elde edilmesinde değil; mikrobiyal yağların üretimi için fermentasyon ortamındaki şeker miktarını ve dolayısıyla bakteri üremesini arttırarak da katkı sağlar (Darcan ve Sarıgül 2015).

Zhao ve ark. (2017), yaptıkları araştırmada mikrobiyal yağ üretimi için fermentasyon ortamına selülaaz ilavesinin daha yüksek verim sağladığını belirtmişlerdir.

Meyve-sebze teknolojisinde selülaaz enziminin kullanımı

Günümüzde sürdürülebilir gıda üretimi, döngüsel ekonomiye ve ekolojik dengenin bozulmamasına katkı sağlar. Sürdürülebilir bir gıda üretimi için ise gıda atıklarının değerlendirilmesi önem arz etmektedir. Gıda atıklarından biyoaktif bileşiklerin geri kazanımı; çevre kirliliğinin azaltılması, sera gazı üretimini düşürmesi, bu bileşiklerin sağlığa olan faydaları ve ekonomik yönüyle önemlidir. Selülaaz başta olmak üzere farklı enzimler biyoaktif bileşiklerin atıklardan elde edilme işlemlerinde kullanılabilir. (Wadhwa ve Bakshi 2013; Vilarino ve ark., 2017; Springmann ve ark., 2018). Diyet lifleri, fenoller, flavonoidler, organik asitler, vitaminler gibi bileşikler önemli biyoaktif bileşenlerdir (Kumar ve ark., 2017).

Selülaaz enzimini de içeren bir enzim karışımının kayısı, şeftali gibi çekirdekleri sert olan meyvelerin kabuklarının soyulma işleminde selülaaz kullanılmayan kontrol grubuna göre daha iyi sonuçlar verdiği rapor edilmiştir (Sharma ve ark., 2013; Toughik ve ark., 2017).

Araştırmacılar limon, portakal ve greyfurt gibi turunçgil ailesine mensup meyvelerde selülaaz'ın da içinde bulunduğu bir enzim kompleksini kullanarak kabuk soyma verimliliğini incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre kabuk soyma etkinliğinde enzim kullanımı kontrol grubuna göre daha iyi sonuçlar vermiştir (Pagan ve ark., 2010, 2011; Sanchez-Bel ve ark., 2012). Sadece kabuk soyma değil; enzimlerin kabuk soyma işleminden sonra elde edilen mayşeye dahil edilmesiyle çökeltme ve filtrasyon gibi işlemlerde de daha iyi sonuçların elde edildiği rapor edilmiştir (Toughik ve ark., 2017).

Uzakdoğu'da yetişen Chironji meyvesinden meyve suyu elde edilme verimliliğinin araştırıldığı bir çalışmada araştırmacılar meyve suyu hamuruna ilave edilen selülaaz miktarının arttıkça meyve suyu elde edilme miktarının da arttığını belirlemişlerdir. Çalışmada süre ve selülaaz ilişkisi de incelenmiş olup maksimum verimin 100 dakika boyunca hamura selülaaz'ın muamele edilmesi sonucu bulunduğu rapor edilmiştir (Pradhan ve ark., 2021).

Srivastava ve Taygi (2013), pH 4.0'da ve 50°C şartlarında 50 g elma pulpundan yaklaşık olarak 26 mL elma suyu elde ettiklerini rapor etmişlerdir. Ayrıca enzim ilave edilen meyve suyunun kontrol grubundan daha berrak olduğu da bildirilmiştir.

Mayşeye enzim ilavesi viskoziteyi azaltır ve jel yapının parçalanmasını sağlarken bu sayede meyve suyu işlemlerinden olan filtrasyonun daha iyi düzeyde olmasına da katkı da bulunur (Cheryan ve Alvarez, 1995; Singh ve ark., 2012). Yüksek viskozite, ürünün reolojik özelliklerini etkilediği gibi içilebilirliğini de düşürür ve meyve suyundan çok meyve püresi tadının gelmesine neden olur. O sebeple yüksek viskoziteli ürün istenmez. Enzim ilavesi, hidrolitik etkileşimlerden dolayı viskoziteyi düşürür (Cheryan ve Alvarez, 1995; Will ve ark., 2008).

Farklı enzimlerin muz suyu elde edilmesindeki etkilerini araştıran Bora ve ark. (2017), verim yönünden pektinaz ilavesinin selülaza göre daha iyi olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca çalışmada selülaaz ilavesinin viskoziteyi ve pH'yı azalttığı da rapor edilmiştir.

Hint dutu olarak da bilinen noni meyvesinden meyve suyu elde edilme işleminde farklı enzim ve uygulamaların meyve suyu verimini ve kalitesini nasıl etkilediğinin araştırıldığı bir çalışmada araştırmacılar pektinaz ve selülaaz ilavesinin verimi yüksek düzeyde arttırdığını belirlemişlerdir. Bu araştırmadan elde edilen sonuçlara göre meyve suyundaki fenoller, flavonoidler ve diğer biyoaktif bileşenler korunmuştur. Bu bileşiklerin sağlığa faydalı olduğu bilinmektedir. Bu kombinasyonun bulanıklık ve viskoziteyi azalttığı ayrıca yapılan FTIR analizi neticesinde meyve suyunun kimyasal yapısının ve fonksiyonel gruplarının önemli bir değişime uğramadığı belirlenmiştir (Wang ve ark., 2023).

Araştırmacılar, elma, armut ve üzüm sularının berraklaştırılmasında selülaaz'ın da içinde bulunduğu bir enzim kombinasyonunu dört farklı yöntem ile immobilize ederek kullanmışlardır. Bildirilen sonuca göre selülaaz, pektinaz ve amilaz enzimlerinin immobilize edilerek kullanılmasında en etkin sonuç silika jel üzerine yapılan kovalent immobilizasyon ile elde edilmiş olup immobilizasyon meyve suyunun berraklığını pozitif şekilde etkilemiştir. Ayrıca antioksidan aktivitede de değişimler gözlenirken enzim ilavesinin viskozite üzerinde ise herhangi bir etkisinin olmadığı rapor edilmiştir (Özyılmaz ve Günay 2023).

Yapılan bir araştırmada selülaaz enziminin de içinde bulunduğu bir enzim kompleksi alüminyum oksit peletleri (3mm) üzerine immobilize edilmiş ve meyve suyunun berraklaştırılması için kullanılmıştır. Immobilize edilmiş enzim grubunun, elma, kivi, portakal ve şeftali sularının

berraklaştırılmasında ve indirgenmiş şeker içeriğinin arttırılmasında iyi sonuçlar verdiği rapor edilmiştir (Suryawanshi ve ark., 2019).

Beta glukozidaz selülaz enzim grubuna ait enzimlerden biridir, Araştırmacılar β -glukozidaz'ı Monoaminoetil-N-etil-agaroz (MANAE-agaroz), Concanavalin-A Sefaroz 4B ve CNBr-Sefaroz ile immobilize etmişlerdir. Bu çalışma neticesinde enzim ilavesinin üzüm suyunun berraklığını arttırdığı rapor edilmiştir (Monteiro ve ark., 2019).

Lombardelli ve ark. (2021), atık durumunda olan kırmızı pancardan, doğal bir boyar madde olan, betalain elde etmek için selülazın da dahil olduğu bir enzim kombinasyonu kullanmışlardır. Selülaz (%37), ksilanaz (%35) ve pektinaz (%28) enzimlerinin kullanıldığı bu çalışmada daha düşük sıcaklıkta daha yüksek miktarda ve daha kaliteli betalain elde edilmiştir. Enzim desteği olmadan yapılan ekstraksiyon 45°C'de yapılırken, enzim kullanılarak yapılan işlem 25°C'de gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın neticesinde araştırmacılar, enzim metodunun hem gıda israfının önlenmesi hem döngüsel ekonomiye katkısı bakımından daha iyi olduğunu belirtmişlerdir.

Pomelo, genelde Güneydoğu Asya'da yetişen ve oldukça iri yapılı turunçgil ailesine mensup bir meyvedir. Bu meyvenin kabuğundan çözünmeyen diyet lifleri elde edilir ve bu lifler emülgatör olarak da kullanılır. Araştırmacılar farklı metotlarla bu lifin emülsifiye edici özelliklerini geliştirmişlerdir. Selülaz enziminin de içinde olduğu bir metot ile elde edilen lifin, emülsifiye edici özelliklerinin daha iyi olduğu belirlenmiştir (Yang ve ark., 2024).

Gıda sanayisinde selülaz, sektörün birçok alt alanında kullanılır. Alkollü içecek endüstrisinde glukanaazlar glukana'nın hidrolizi, viskozite problemlerinin çözümü, filtrasyon kalitesinin arttırılması gibi durumlar için kullanılır (Bayer ve ark., 2007).

Selülaz'ın fırıncılık teknolojisinde kullanımı

Fırıncılık endüstrisinde hamurun reolojik özelliklerinin araştırılması ve anlaşılması gereklidir; çünkü hamur reolojisi ürünün kalitesini ve yapısını doğrudan etkiler. α -amilaz, ksilanaz ve selülaz kombinasyonun kullanıldığı bir çalışmada yulaf kepeği ile zenginleştirilmiş hamurun reolojik özelliklerinin pozitif yönde geliştiği araştırmacılar tarafından rapor edilmiştir (Liu ve ark., 2023).

Hmad ve ark. (2024), ekmek hamuruna *Stachybotrys microspora* mantarından elde ettikleri enzimatik bir kombinasyonun (α -amilazlar, ksilanazlar ve selülazlar) eklenmesinin uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Araştırmacılar bu enzim karışımının ilave edilmesi ile Hamur Dayanıklılığı/Hamur Uzayabilirliği oranının düştüğünü, ekmek kabuğunun daha da kahverengileştiğini ve 5 günlük depolama süresi boyunca kontrol grubuna göre ekmek sertliğinin azaldığını rapor etmişlerdir. Bu sonuçlar neticesinde araştırmacılar bu enzim kombinasyonun hamurun reolojik özelliklerini iyileştirdiğini belirtmişlerdir.

Altinel ve Ünal'ın (2017) yaptığı çalışmada, on binde 3 ile 5 oranında eklenen selülaz'ın hamurun reolojik özelliklerine katkı yapmadığı bildirilirken başka bir çalışmada ise selülaz ve selülaz-ksilanaz kompleksi ilavesinin hamurun reolojik özelliklerine pozitif yönde katkıda bulunduğu belirtilmiştir (Lewko ve ark., 2024).

Selülaz ile muamele edilmiş kepeğin kullanıldığı kurabiyelerde çözünmeyen lif oranının daha düşük olduğu, sertliğinin %14 daha az olduğu ve genel kabul edilebilirlik oranının %

13 daha yüksek olduğu rapor edilmiştir. Buğday kepeğinde çözünebilir lif oranının artması sağlık yönünden daha iyi etkilere sahiptir (Nguyen ve ark., 2021).

Vo ve ark. (2022), yaptıkları çalışmada selülaz içeren enzim preparatı kullanmışlardır. Yapılan çalışma neticesinde araştırmacılar, yağı alınmış Hindistan cevizi kek tozunun kurabiyelerde belirli

oranda buğday unu yerine kullanılmasının çözünmeyen lif oranı/çözünen lif oranını azalttığını bildirerek sağlık yönünden daha iyi sonuçlar verebileceğini belirtmişlerdir.

Bacillus licheniformis'ten elde edilen termo-asido stabil karakterli selülaaz enziminin amilaz ile kombine edilerek buğday unundan yapılan ekmeğin fiziksel, besinsel ve duyuusal yönlerine etkisi incelenmiştir. Araştırmacılar çalışmanın neticesinde selülaaz-amilaz kombinasyonunun hamurun, hacim, renk, tat koku gibi birçok kalite göstergesine olumlu yönde etki ettiğini rapor etmişlerdir (Chauhan ve ark., 2023).

Ananas posası içerdiği zengin diyet lifi sayesinde gıdaların lif içeriğinin artırılmasında önemli bir potansiyele sahiptir. Fakat ananas posasının çözünabilir diyet lif oranı düşüktür. Araştırmacılar, bisküvi formülüne ananas posasını selülaaz ile muamele ederek ilave etmiş ve sonuçta antioksidan kapasitesi, lif oranı gibi sağlık yönünden pozitif etkilere sahip öğelerin kontrol grubundan yüksek olduğunu rapor etmişlerdir (Nguyen ve ark., 2024).

Selülaaz'ın gıda endüstrisinin diğer alanlarında kullanımı

Araştırmacılar karnabahar atıklarından önemli biyoaktif bileşikleri elde etmek için selülaaz enzimi kullanmışlardır. Araştırmada selülaaz enzim miktarı ile geri kazanılan biyoaktif bileşik miktarı arasında pozitif bir korelasyon olduğu rapor edilmiştir. Geri kazanılan bu biyoaktif bileşikler içinde epikateşin, epikateşingallat, çeşitli polifenoller ve izotiyosiyanat gibi önemli bileşiklerin olduğu bildirilmiştir (Doria ve ark., 2022).

Selülaazın karotenoid gibi sağlık yönünde yararlı olan çeşitli biyoaktif bileşiklerin elde edilmesinde de kullanıldığı bildirilmiştir. Karotenoidler bitkilerin sarıdan kırmızıya kadar birçok farklı renkte görünmesini sağlayan yani renk veren pigmentlerdir. Ticari yönden ise karotenoidlerin kullanımı da gün geçtikçe artmaktadır. Karotenoidlerin elde edilmesi için pektik ve selülotik aktiviteye sahip enzimler genelde beraber kullanılır. Yapılan bir araştırmada araştırmacılar domatesten gıda ve içecek endüstrisinde renklendirme maddesi olarak kullanılabilecek karotenoidleri saflaştırdıklarını belirtmişlerdir. Yine yapılan farklı bir çalışmada pektinaz ve selülaaz enzimlerinin beraberce kullanılmaları sonucu havuç, tatlı patates ve portakal kabuklarından karotenoid pigmentlerinin elde edildiği belirlenmiştir (Çınar, 2005; Neagu ve ark., 2011).

Polifenoller, çeşitli bitkilerden elde edilebilen ve kanser başta olmak üzere kardiyovasküler riski dahi azaltabilen biyoaktif yapılardır. Selülotik enzimler, üzüm posasından ve çay yapraklarından fenolik maddelerin elde edilme işlemlerinde başarılı bir şekilde kullanılmışlardır. Araştırmacılar çay yapraklarından polifenollerin elde edilme veriminin selülaaz enzimi kullanımı ile beraber artacağını rapor etmişlerdir (Kabir ve ark., 2015; Hai ve ark., 2016).

Selülaazın yukarıdaki kullanım alanları gün geçtikçe artmakta ve bilinmektedir; ancak dondurulmuş gıda ürünlerinde kullanımı nispeten pek bilinmeyen ve yeni bir uygulama alanıdır. Dondurulmuş gıdalarda selülaazın kullanılma nedenlerinden biri yaşlı ve bebekler için gıdayı daha kolay çiğnenebilir hale getirmektir. Ayrıca bu enzimin kontrollü şekilde kullanılması dokuyu koruduğu gibi sindirilebilirliği de arttırmaktadır. Bunun yanında selülaazın süksinik asit gibi, şeker gibi gıda sanayisinde yardımcı madde olarak kullanılabilen ürünlerin üretiminde kullanılabileceğine dair çalışmalar da mevcuttur (Sawisit ve ark., 2018 ; Hua arh., 2018 Eom ve ark., 2018)

Yapılan araştırmalar neticesinde β -glukozidazın bir bitki kökü olan gingseng'den, Asya kıtasında çok tüketilen bir ürün olan soya fasulyesinden sağlık yönünden oldukça faydalı olan çeşitli glikozitlerin elde edilmesinde oldukça işlevsel olduğu belirlenmiştir (Godse ve ark., 2021).

Selülaaz sadece insan gıdasında kullanılmaz, yapılan araştırmalar neticesinde hayvan yemlerine; selülaaz ilavesinin pozitif sonuçlar sağladığı da belirlenmiştir. Yapılan çalışmalarda selülaazın çeşitli

oligosakkaritleri, β -glukan, pektinler, lignin, inülin, dekstrinler, selüloz ve arabinoksilanlar gibi çeşitli besin öğelerini parçaladığı ve nihai olarak hayvan yeminin besin değerini arttırdığı ve hayvan sağlığına olumlu yönde katkıda bulunduğu rapor edilmiştir. Yine tarımsal silajın ön işleminde kullanılan selülaazın yemi pozitif yönde geliştirdiği rapor edilmiştir (Rastogi ve ark.,2010; Kuhađ ve ark.,2011; Asmare, 2014; Mori ve ark.,2014). Sadece karasal hayvanların değil; selülaaz'ın balık yemlerine belirli düzeyde ilave edilmesinin de balık büyümesine pozitif yönde etki ettiği, yem sindirebilirliğini arttırdığı belirlenmiştir (Liang ve ark., 2022).

SONUÇ

Selülaaz enziminin farklı bitki ve tohumlardan zeytinyağı başta olmak üzere çeşitli yağların elde edilmesinde tohum ve hücre çeperinin selülozik kısmını hidrolize ederek daha fazla miktarda yağ elde edildiğini ve elde edilen yağın kalite ve sağlık göstergeleri olan fenolik bileşiklerin, antioksidanların, aromatik bileşiklerin ve diğer farklı yararlı öğelerin daha yüksek düzeyde olduğunu çeşitli araştırmalar göstermektedir. Selülaaz sadece yağ teknolojisinde değil; aynı zamanda meyve sebze teknolojisi ve fırıncılık alanlarında da kullanılma potansiyeline sahiptir. Sebze ve meyvelerin içindeki besin öğeleri onları sağlığını için önemli bir konuma getirir. Sebze ve meyvelerden hem daha yüksek miktarda su elde edilmesi, hem de sağlık yönünden yararlı olan besin öğelerinin daha yüksek miktarda elde edilmesi için selülaaz enzimi kullanılabilir. Buna ilaveten gıda atıklarının değerlendirilmesi ve döngüsel ekonomiye katkı sağlaması bakımından atık gıda ürünlerinden sağlığa oldukça faydalı karotenoidler, polifenoller gibi biyoaktif bileşenler ve doğal gıda boya maddeleri de selülaaz enzimi yardımı ile daha fazla miktarda elde edilebilir. Selülaaz'ın hamur ve fırıncılık ürünlerinde kullanımı da enzimin pozitif katkı sağladığı alanlardan biridir. Hamur reolojisinin geliştirilmesi, çözünebilir lif oranının artırılması gibi etkileri sayesinde selülaaz bu alanda da oldukça yararlı olabilir.

Selülaaz sadece tüketime hazır gıda ürünlerinde değil; aynı zamanda balık gibi, yenilebilir hayvan gibi basit işlemlerle tüketime hazır hale gelen çeşitli hayvanların beslenmesinde de yem katkı maddesi olarak kullanılabilir.

Özetle, gıda sanayisinde selülaaz kullanılması gelecek açısından önem arz etmektedir ve bu alanda daha ileri düzey araştırmalara ihtiyaç olduğu gibi bu araştırmaların multidisipliner olması da ayrıca önemlidir. Bu sayede sadece işin gıda kimyası yönüyle değil; aynı zamanda sağlığınıza olan etkilerinin de belirlenmesi sağlanmış olur.

TEŞEKKÜR

Uzman Gıda Mühendisi Ferhan YAPAR'a katkılarından dolayı teşekkür ederiz

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

KAYNAKLAR

- Altinel, B., and Ünal, S. S. (2017). The effects of certain enzymes on the rheology of dough and the quality characteristics of bread prepared from wheat meal. *Journal of food science and technology*, 54, 1628-1637.
- Asmare, B. (2014). Biotechnological advances for animal nutrition and feed improvement. *World Journal of Agricultural Research*, 2(3), 115-118.
- Aygan, A., Karcioğlu, L., and Arıkan, B. (2011). Alkaline Thermostable and Halophilic endoglucanase from *bacilluslicheniformis*108. *African journal of biotechnology*. 10(5):789-796.

- Bayer, E.A., Lamed R., Himmel M.E. (2007). The Potential of Cellulases and Cellulosomes for Cellulosic Waste Management. *Current Opinion Biotechnology*, 18,237-245
- Beguin, P., Aubert, J.P., 1994. The biological degradation of Cellulose. *Fems Microbiology review*, 13, 25-58.
- Bora, S. J., Handique, J., & Sit, N. (2017). Effect of ultrasound and enzymatic pre-treatment on yield and properties of banana juice. *Ultrasonics Sonochemistry*, 37, 445–451. <https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2017.01.039>
- Caf, Y. (2012). *Thermofil Bacillus sp.'den Alkalın, Termofilik, Oksidant Dirençli Selülaz Üretimi ve Karakterizasyonu*. (Yüksek Lisans Tezi). Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana
- Chauhan, J., Shukla, R., Bishoyi, A. K., Goyal, S., & Sanghvi, G. (2023). Investigation of physical, nutritional and sensory properties of wheat bread treated with purified thermostable cellulase and alpha amylase. *Cogent Food & Agriculture*, 9(1), 2261839
- Cheryan, M., & Alvarez, J. R. (1995). Chapter 9 Food and beverage industry applications. *Membrane Science and Technology*, 2(C), 415–465. [https://doi.org/10.1016/S0927-5193\(06\)80011-2](https://doi.org/10.1016/S0927-5193(06)80011-2)
- Çınar, I. (2005). Effects of cellulase and pectinase concentrations on the colour yield of enzyme extracted plant carotenoids. *Process Biochemistry*, 40(2), 945-949.
- Darcan, S., ve Sarıgül, N. (2015). Mikroorganizmalardan tek hücre yağları üretimi. *Türk Mikrobiyal Cem Derg*, 45, 55-67.
- Doria, E., Buonocore, D., Marra, A., Bontà, V., Gazzola, A., Dossena, M., Verri, M., & Calvio, C. (2022). Bacterial-Assisted Extraction of Bioactive Compounds from Cauliflower. *Plants (Basel, Switzerland)*, 11(6). <https://doi.org/10.3390/PLANTS11060816>
- Eom, S. H., Chun, Y. G., Park, C. E., Kim, B. K., Lee, S. H., & Park, D. J. (2018). Application of freeze–thaw enzyme impregnation to produce softened root vegetable foods for elderly consumers. *Journal of texture studies*, 49(4), 404-414.
- Godse, R., Bawane, H., Tripathi, J., and Kulkarni, R. (2021). Unconventional β -glucosidases: a promising biocatalyst for industrial biotechnology. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 193, 2993-3016.
- Hai, T. C., Nam, N. D., Hong Anh, L. T., Vu, T. A., and Man, P. V. (2016). Enzyme assisted extraction of polyphenols from the old tea leaves. *J Nutr Health Sci*, 3(4), 404-410.
- Hadj-Taieb, N. (2012). Optimisation of olive oil extraction and minor compounds content of Tunisian olive oil using enzymatic formulations during malaxation. *Biochemical Engineering Journal*, 62, 79-85
- Hmad, I. B., Ghribi, A. M., Bouassida, M., Ayadi, W., Besbes, S., Chaabouni, S. E., & Gargouri, A. (2024). Combined effects of α -amylase, xylanase, and cellulase coproduced by *Stachybotrys microspora* on dough properties and bread quality as a bread improver. *International Journal of Biological Macromolecules*, 277, 134391.
- Hu, Y., Zhang, G., Li, A., Chen, J., and Ma, L. 2008. Cloning and enzymatic characterization of a xylanase gene from a soil-derived metagenomic library with an efficient approach. *Applied microbiology and biotechnology*, 80, 823-830.
- Hua, C., Li, W., Han, W., Wang, Q., Bi, P., Han, C., and Zhu, L. (2018). Characterization of a novel thermostable GH7 endoglucanase from *Chaetomium thermophilum* capable of xylan hydrolysis. *International journal of biological macromolecules*, 117, 342-349.
- Huang, M., Huang, S., Wang, Q., Hayat, K., Ahmad, M., Ying, R., and Hussain, S. (2022). Mixed pretreatment based on pectinase and cellulase accelerates the oil droplet coalescence and oil yield from olive paste. *Food Chemistry*, 369, 130915.
- Hürtaş Tatlı, İ.S. (2013). *Termohalofil Bacillus Sp.'Den (Asidik, Alkali ve Nötral) Selülaz Enzimi Üretimi ve Karakterizasyonu*, (Doktora Tezi). Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Adana
- Jayasekara, S., and Ratnayake, R. (2019). Microbial cellulases: an overview and applications. *Cellulose*, 22, 92.
- Juturu, V., and Wu, J. C. (2014). Microbial cellulases: Engineering, production and applications. *Renewable and sustainable energy reviews*, 33, 188-203.

- Kabir, F., Sultana, M. S., and Kurnianta, H. (2015). Polyphenolic contents and antioxidant activities of underutilized grape (*Vitis vinifera* L.) pomace extracts. *Preventive Nutrition and Food Science*, 20(3), 210.
- Kaseke, T., Opara, U. L., and Fawole, O. A. (2021). Effects of enzymatic pretreatment of seeds on the physicochemical properties, bioactive compounds, and antioxidant activity of pomegranate seed oil. *Molecules*, 26(15), 4575.
- Kuhad, R. C., Gupta, R., and Singh, A. (2011). Microbial cellulases and their industrial applications. *Enzyme research*, 2011(1), 280696.
- Kumar, K., Yadav, A. N., Kumar, V., Vyas, P., and Dhaliwal, H. S. (2017). Food waste: a potential bioresource for extraction of nutraceuticals and bioactive compounds. *Bioresources and Bioprocessing*, 4(1), 1–14. <https://doi.org/10.1186/S40643-017-0148-6/METRICS>
- Lavanya, D. K. P. K., Kulkarni, P. K., Dixit, M., Raavi, P. K., and Krishna, L. N. V. 2011. Sources of cellulose and their applications. *International Journal of Drug Formulation and Research*, 2(6), 19-38.
- Lewko, P., Wójtowicz, A., and Kamiński, D. M. (2024). The Influence of Processing Using Conventional and Hybrid Methods on the Composition, Polysaccharide Profiles and Selected Properties of Wheat Flour Enriched with Baking Enzymes. *Foods*, 13(18).
- Liang, Q., Yuan, M., Xu, L., Lio, E., Zhang, F., Mou, H., & Secundo, F. (2022). Application of enzymes as a feed additive in aquaculture. *Marine Life Science & Technology*, 4(2), 208-221.
- Liu, W., Brennan, M., Tu, D., & Brennan, C. (2023). Influence of α -amylase, xylanase and cellulase on the rheological properties of bread dough enriched with oat bran. *Scientific Reports*, 13(1), 4534.
- Lombardelli, C., Benucci, I., Mazzocchi, C., & Esti, M. (2021). A novel process for the recovery of betalains from unsold red beets by low-temperature enzyme-assisted extraction. *Foods*, 10(2), 236.
- Mashhadi Abolghasem, F., Kim, R. H., Park, S. Y., Lim, T., Lee, H., Hwang, K. T., & Kim, J. (2023). Effects of roasting and ultrasound-assisted enzymatic treatment of *Nigella sativa* L. seeds on thymoquinone in the oil and antioxidant activity of defatted seed meal. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 103(13), 6208-6218.
- Monteiro, L. M. O., Pereira, M. G., Vici, A. C., Heinen, P. R., Buckeridge, M. S., and de Moraes, M. D. L. T. (2019). Efficient hydrolysis of wine and grape juice anthocyanins by *Malbranchea pulchella* β -glucosidase immobilized on Manae-agarose and ConA-Sepharose supports. *International journal of biological macromolecules*, 136, 1133-1141.
- Mori, T., Kamei, I., Hirai, H., & Kondo, R. (2014). Identification of novel glycosyl hydrolases with cellulolytic activity against crystalline cellulose from metagenomic libraries constructed from bacterial enrichment cultures. *Springerplus*, 3, 1-7.
- Motuk, F. (2020). *Farklı Zeytin Çeşitlerinden Soğuk Preslenmiş Zeytinyağlarının Biyoaktif Bileşenleri Üzerine Selülaz ve Papain Enzimlerinin Etkisi*. (Yüksek Lisans Tezi). Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Konya.
- Neagu, D., Leopold, L. F., Thonart, P., Destain, J., & Socaciu, C. (2014). Enzyme-assisted extraction of carotenoids and phenolic derivatives from tomatoes.
- Nguyen, S. N., Vien, M. D., Le, T. T. T., Tran, T. T. T., Ton, N. M. N., and Le, V. V. M. (2021). Effects of enzymatic treatment conditions on dietary fibre content of wheat bran and use of cellulase-treated bran in cookie. *International Journal of Food Science & Technology*, 56(8), 4017-4025.
- Nguyen, T. T. A., Nguyen, H. H., Ton, N. M. N., and Tran, T. T. T. (2024). Enzymatic treatment of pineapple pomace and its application into fiber-rich biscuit making. *Journal of Agriculture and Food Research*, 15, 100936.
- Rastogi, G., Bhalla, A., Adhikari, A., Bischoff, K. M., Hughes, S. R., Christopher, L. P., and Sani, R. K. (2010). Characterization of thermostable cellulases produced by *Bacillus* and *Geobacillus* strains. *Bioresource technology*, 101(22), 8798-8806.
- Niu, R., Chen, F., Liu, C., & Duan, X. (2021). Composition and rheological properties of peanut oil bodies from aqueous enzymatic extraction. *Journal of oleo science*, 70(3), 375-383.

- Ozyilmaz, G., Günay, E. (2023). Clarification of apple, grape and pear juices by co-immobilized amylase, pectinase and cellulase. *Food Chemistry*, 398, 133900.
- Pagan, A., Conde, J., Ibarz, A., & Pagana, J. (2010). Albedo hydrolysis modelling and digestion with reused effluents in the enzymatic peeling process of grapefruits. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(14), 2433–2439. <https://doi.org/10.1002/JSFA.4103>
- Pagan, A., Conde, J., Pagan, J., & Ibarz, A. (2011). Lemon peel degradation modeling in the enzymatic peeling process. *Journal of Food Process Engineering*, 34(2), 383–397. <https://doi.org/10.1111/J.1745-4530.2009.00363.X>
- Pradhan, D., Abdullah, S., & Pradhan, R. C. (2021). Chironji (*Buchanania lanzan*) fruit juice extraction using cellulase enzyme: modelling and optimization of process by artificial neural network and response surface methodology. *Journal of Food Science and Technology*, 58(3), 1051–1060. <https://doi.org/10.1007/S13197-020-04619-8>
- Prommaban, A., Kuanchoom, R., Seepuan, N., and Chaiyana, W. (2021). Evaluation of fatty acid compositions, antioxidant, and pharmacological activities of pumpkin (*Cucurbita moschata*) seed oil from aqueous enzymatic extraction. *Plants*, 10(8), 1582.
- Radley, E., Davidson, J., Foster, J., Obexer, R., Bell, E. L., and Green, A. P. (2023). Engineering enzymes for environmental sustainability. *Angewandte Chemie International Edition*, 62(52), e202309305.
- Saddler, J.N., (1986). Factors Limiting the Efficiency of Cellulase Enzymes. *Microbiology Science*, 3:84-7
- Sanchez-Bel, P., Egea, I., Serrano, M., Romojaro, A., and Pretel, M. T. (2012). Obtaining and storage of ready-to-use segments from traditional orange obtained by enzymatic peeling. *Food Science and Technology International = Ciencia y Tecnologia de Los Alimentos Internacional*, 18(1), 63–72. <https://doi.org/10.1177/1082013211414208>
- Sawisit, A., Jampatesh, S., Jantama, S. S., & Jantama, K. (2018). Optimization of sodium hydroxide pretreatment and enzyme loading for efficient hydrolysis of rice straw to improve succinate production by metabolically engineered *Escherichia coli* KJ122 under simultaneous saccharification and fermentation. *Bioresource technology*, 260, 348-356.
- Sharma, A., Shrivastava, A., Sharma, S., Gupta, R., and Kuhad, R. C. (2013). Microbial pectinases and their applications. *Biotechnology for Environmental Management and Resource Recovery*, 107–124. https://doi.org/10.1007/978-81-322-0876-1_7/Cover
- Singh, A., Kumar, S., and Sharma, H. K. (2012). Effect of enzymatic hydrolysis on the juice yield from bael fruit (*Aegle marmelos* Correa) pulp. *American Journal of Food Technology*, 7(2), 62–72. <https://doi.org/10.3923/AJFT.2012.62.72>
- Springmann, M., Clark, M., Mason-D'Croz, D., Wiebe, K., Bodirsky, B. L., Lassaletta, L., de Vries, W., Vermeulen, S. J., Herrero, M., Carlson, K. M., Jonell, M., Troell, M., DeClerck, F., Gordon, L. J., Zurayk, R., Scarborough, P., Rayner, M., Loken, B., Fanzo, J., ... Willett, W. (2018). Options for keeping the food system within environmental limits. *Nature*, 562(7728), 519–525. <https://doi.org/10.1038/S41586-018-0594-0>
- Srivastava, S., and Tyagi, S. K. (2013). Effect of Enzymatic Hydrolysis on the Juice Yield from Apple Fruit (*Malus Domestica*) Pulp. *International Journal of Biotechnology and Bioengineering Research*, 4(4), 299–306. <http://www.ripublication.com/ijbbr.htm>
- Suryawanshi, R. K., Jana, U. K., Prajapati, B. P., and Kango, N. (2019). Immobilization of *Aspergillus quadrilineatus* RSNK-1 multi-enzymatic system for fruit juice treatment and mannooligosaccharide generation. *Food chemistry*, 289, 95-102.
- Toushik, S. H., Lee, K. T., Lee, J. S., and Kim, K. S. (2017). Functional Applications of Lignocellulolytic Enzymes in the Fruit and Vegetable Processing Industries. *Journal of Food Science*, 82(3), 585–593. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13636>
- Vilarino, M. V., Franco, C., and Quarrington, C. (2017). Food loss and waste reduction as an integral part of a circular economy. *Frontiers in Environmental Science*, 5(MAY), 257971. <https://doi.org/10.3389/FENV.2017.00021/BIBTEX>

- Vo, T. P., Duong, N. H. N., Phan, T. H., Mai, T. P., and Nguyen, D. Q. (2022). Optimized cellulase-hydrolyzed deoiled coconut cake powder as wheat flour substitute in cookies. *Foods*, 11(17), 2709.
- Wadhwa, M., and Bakshi, M. P. S. (2013). *Utilization of fruit and vegetable wastes as livestock feed and as substrates for generation of other value-added products*. www.fao.org/
- Wang, H., Geng, H., Tang, H., Wang, L., Yu, D., Wang, J., & Song, Y. (2019). Enzyme-assisted aqueous extraction of oil from rice germ and its physicochemical properties and antioxidant activity. *Journal of Oleo Science*, 68(9), 881-891.
- Wang, S., Liu, Z., Zhao, S., Zhang, L., Li, C., & Liu, S. (2023). Effect of combined ultrasonic and enzymatic extraction technique on the quality of noni (*Morinda citrifolia* L.) juice. *Ultrasonics Sonochemistry*, 92, 106231. <https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2022.106231>
- Wei, G., Zhang, Z., Fu, D., Zhang, Y., Zhang, W., Zu, Y., Zhang, Z. (2021). Enzyme-assisted solvent extraction of high-yield *Paeonia suffruticosa* Andr. Seed oil and fatty acid composition and anti-alzheimer's disease activity. *Journal of Oleo Science*, 70(8), 1133-1146.
- Will, F., Roth, M., Olk, M., Ludwig, M., and Dietrich, H. (2008). Processing and analytical characterisation of pulp-enriched cloudy apple juices. *LWT*, 41(10), 2057–2063. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2008.01.004>
- Yang, K., Yao, J., Shi, K., Yang, C., Xu, Y., Zhang, P., & Pan, S. (2024). Emulsification Characteristics of Insoluble Dietary Fibers from Pomelo Peel: Effects of Acetylation, Enzymatic Hydrolysis, and Wet Ball Milling. *Foods*, 13(4), 624.
- Yu, H., Ren, X., Liu, Y., Xie, Y., Guo, Y., Cheng, Y., and Yao, W. (2019). Extraction of *Cinnamomum camphora* chvar. Borneol essential oil using neutral cellulase assisted-steam distillation: optimization of extraction, and analysis of chemical constituents. *Industrial Crops and Products*, 141, 111794.
- Zhao, C., Fang, H., & Chen, S. (2017). Single cell oil production by *Trichosporon cutaneum* from steam-exploded corn stover and its upgradation for production of long-chain α , ω -dicarboxylic acids. *Biotechnology for biofuels*, 10(1), 1-16.
- Zhao, K., Zhang, M., Tian, H., Lei, F., He, D., Zheng, J., & Zhang, L. (2022). Effects of structural and compositional changes of *Nanochloropsis oceanica* after enzyme treatment on EPA-rich lipids extraction. *Marine Drugs*, 20(3), 160.