



Use of Yeast Cells as Biocarrier in the Encapsulation Process

Gamze Hatip^{1,a}, Şeyda Türkyay^{1,b}, Kevser Karaman^{1,c,*}

¹Department of Agricultural Biotechnology, Faculty of Agriculture, Erciyes University, 38039 Kayseri, Türkiye

*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Review Article</i></p> <p>Received : 29/01/2022 Accepted : 02/09/2022</p> <p>Keywords: Yeast cell Encapsulation Bioactive compound Aroma Controlled release</p>	<p>Yeast cells are carriers with great potential for encapsulation of both hydrophobic and hydrophilic compounds, due to protection from external environmental influences, controlled release, biocompatibility and biodegradability. The promising research results on the encapsulation of bioactive substances in the recent past promise a bright future in many fields such as agriculture, medicine and cosmetics, including functional food. The significant decrease in the stability of many bioactive compounds due to environmental conditions (heat, humidity, oxygen, etc.) has revealed the necessity of preserving the stability of these types of compounds by encapsulation process. After the recognition of yeast cells as suitable carriers for water-soluble flavor encapsulation, the possibilities of using various yeasts, especially <i>Saccharomyces cerevisiae</i>, in the encapsulation of various oils, vitamins, flavors and some phenolic compounds have been the subject of various scientific studies. The fact that the encapsulation process using yeast cells offers some advantages compared to other encapsulation methods has made the use of yeast cells in the encapsulation process very popular and there has been an increase in studies conducted in recent years. In this study, various scientific studies on the possibilities and effectiveness of the use of yeast cells in the encapsulation of various structures, especially various bioactive compounds, have been reviewed.</p>

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 10(11): 2125-2131, 2022

Enkapsülasyon Prosesinde Biyotaşıyıcı Olarak Maya Hücrelerinin Kullanımı

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p><i>Derleme Makalesi</i></p> <p>Geliş : 29/01/2022 Kabul : 02/09/2022</p> <p>Anahtar Kelimeler: Maya hücresi Enkapsülasyon Biyoaktif bileşik Aroma Kontrollü salım</p>	<p>Maya hücreleri hem hidrofobik hem de hidrofilik bileşiklerin enkapsülasyonunda, dış çevresel etkilerden koruma, kontrollü salınım, biyoyumumluluk ve biyolojik bozunabilirlik nedeniyle ortaya çıkan ve büyük potansiyele sahip taşıyıcılardır. Yakın geçmişte biyoaktif maddelerin enkapsülasyonuna ilişkin umut verici araştırma sonuçları, fonksiyonel gıdayı da barındıran ziraat, ilaç ve kozmetik gibi birçok alanda parlak bir gelecek vaat etmektedir. Birçok biyoaktif özellikli bileşiğin çevresel şartlar (ısı, nem, oksijen, vb.) nedeniyle stabilitesinde önemli seviyelerde azalmalar meydana gelmesi, bu tip bileşiklerin enkapsülasyon prosesi ile muhafaza altına alınarak stabilitesini koruma gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Maya hücrelerinin suda çözünür aroma maddelerinin kapsülasyonu için uygun taşıyıcı olarak tanınmasından sonra, özellikle <i>Saccharomyces cerevisiae</i> başta olmak üzere çeşitli mayaların yaygın bir şekilde çeşitli yağ, vitamin, aroma ve bazı fenolik bileşiklerin enkapsülasyonunda kullanım olanakları bilimsel çalışmaların konusu olmuştur. Maya hücreleri kullanılarak yapılan enkapsülasyon işleminin diğer enkapsülasyon yöntemlerine nazaran bazı avantajlar sunması, maya hücrelerinin enkapsülasyon işleminde kullanımını oldukça popüler hale getirmiş ve son yıllarda yapılan çalışmalarda da bir artış meydana gelmiştir. Bu çalışmada maya hücrelerinin başta çeşitli biyoaktif bileşikler olmak üzere çeşitli yapıların enkapsülasyonunda kullanım olanaklarını ve etkinliğini konu alan bilimsel çalışmalar derlenmiştir.</p>

^a gamze.hatip@hotmail.com

^{ib} <https://orcid.org/0000-0002-1377-9397>

^b seydaturkay95@gmail.com

^{id} <https://orcid.org/0000-0002-6605-0989>

^c kevserkaraman@erciyes.edu.tr

^{id} <https://orcid.org/0000-0003-0729-6185>



Giriş

Biyoaktif bileşikler, metabolik süreçleri modüle edebilen ve sağlığın geliştirilmesinde aktif rol alma potansiyeli olan, gıdalarda bulunan besin dışı bileşenlerdir. Biyoaktif bileşikler, enzimlerin inhibisyonu (obez hastalarda pankreatik lipazlar gibi), serbest radikal temizleme ve kanser hücrelerinin oluşumunu önleme potansiyeli gibi sağlığı geliştirici etki gösterebilirler (Bamidele ve Emmambux, 2021). Bununla birlikte birçok biyoaktif bileşiğin kullanımını sınırlayan bazı durumlar bulunabilmektedir. Acı ve keskin tat bunlardan biridir ve genellikle gıda maddelerinde bulunan fitosteroller ve polifenoller bazı biyoaktif bileşiklerin duyuusal özelliklerinde etkin ve belirleyici rol alabilmektedir. Uçuculuk, termal kararsızlık, ışıkla bozunabilme, düşük biyoyararlanım ve biyoerişilebilirlik diğer bazı sınırlayıcı faktörlerdendir (Capelezzo ve ark., 2018).

Biyoaktif bileşikler, işleme ve depolama sırasında aktivitelerini korumak ve gastrointestinal kanaldan geçerken stabilitelerini artırmak için enkapsülasyona tabi tutulabilir (Dima ve ark., 2015). Enkapsülasyon, mikrometre veya nanometre ölçeğinde kapsüller veya mikrokapsüller oluşturmak için biyoaktif bileşiklerin (aktif ajanların) taşıyıcı (duvar malzemesi veya kapsülleyici) ile kaplandığı bir işlemdir. Biyoaktif bileşikler (aktif madde veya ligandlar) ayrıca çekirdek, dolgu veya iç faz olarak adlandırılırken, duvar malzemeleri (kaplama veya taşıyıcı malzeme) zar, kapsül, kabuk, matris veya dış faz olarak bilinir. Kapsülleme işlemi, gıda ve ilaç endüstrilerinde, ışık, oksijen, pH, nem, ısı veya diğer aşırı koşullara karşı koruyucu bariyerler oluşturarak polifenoller, mikro besinler, enzimler ve antioksidanlar gibi biyoaktif bileşikler muhafaza etmek için kullanılmıştır (Devi ve ark., 2017).

İnsan gıdalarında maya hücrelerinin (*Saccharomyces cerevisiae*) kullanılması yeni bir uygulama olmamakla birlikte özellikle fırıncılık ve fermentasyon işlemlerinde kullanımı oldukça yaygındır. Bununla birlikte, mayalar ilk olarak Serozym Laboratories (1973) tarafından suda çözünür aroma maddelerinin kapsüllemesi için uygun bir taşıyıcı olarak tanınmıştır. Özellikle yüksek lipid içeriğine (>%40) sahip olan ve yağda çözünen bileşikler daha sonra Swift ve Company (1977) tarafından kapsüllemiştir. Dunlop Ltd. (1982), lipid uzantılı maddeler kullanarak kapsülleme işleminin patentini alırken, AD2 Ltd. (1987) normal lipid mayası (<%5) içeren kapsülleme prosesini patentlemiştir (Sultana ve ark., 2017).

Maya hücrelerinin enkapsülasyon işleminde kaplama ajanı olarak kullanımının oldukça düşük maliyet içermesi, basit bir prosesinin olması ve aynı zamanda maya hücrelerinin bir lipozom gibi davranarak etkin bir salınım ve hücre içine geçiş sağlaması gibi özellikleri sayesinde hem hidrofilik hem de hidrofobik karakterdeki moleküllerin etkili bir şekilde enkapsülasyonunda kullanılabilmesi rapor edilmiştir. *S. cerevisiae* en yaygın kullanılan maya olsa da, *Torulopsis lipofera*, *Saccharomyces bayanus*, *Endomyces vernalis*, *Candida utilis* ve *Kluyveromyces lactis* gibi mayaların da enkapsülasyonda kullanılabilmesi bildirilmiştir (Paramera ve ark., 2014).

Maya hücreleri kullanılarak gerçekleştirilen enkapsülasyon prosesinde öncelikle maya hücreleri bazı ön

işlemlere tabi tutularak prosese hazır hale getirilir. Bu amaçla maya hücreleri bazı kimyasallar ile muamele edilerek otolize tabi tutulur ve bu şekilde hücre içi materyalin boşaltılması sağlanır. Hem plazmoliz hem de plazmolize olmamış maya hücreleri ile enkapsülasyon gerçekleştirilebilmektedir. Daha sonra işlem görmüş maya hücresi belirli bir solvent ortamında (su, etanol vb.) ve belirli şartlar altında hedef biyoaktif bileşik ile muamele edilmekte ve hedef ürünün maya hücrelerine tutunması sağlanmaktadır. Daha sonra mikrokapsüller kurutularak maya hücreleri enkapsül haline getirilmektedir (Karaman, 2020b, 2021).

Son zamanlarda, araştırmacılar yapısı ve besinsel yararları nedeniyle kapsülleme alanında yeni taşıyıcı materyal olarak maya hücrelerini kullanmakla ilgilenmektedir. Bu araştırmacılar enkapsülasyonda maya hücrelerinin kullanılmasının farklı avantajlarını vurgulamışlardır. Bu çalışma kapsamında ise farklı bileşenlere ait uygulamalar derlenmiştir.

Aroma Maddeleri

Errenst ve ark. (2021) tarafından yapılan bir çalışmada limonenin *S. cerevisiae* maya hücreleri ile düşük sıcaklıklar ve inert gaz atmosferi gibi koşullar altında kapsüllenebildiği bildirilmiştir. Sultana ve ark. (2017) tarafından yapılan benzer bir çalışmada d-limonene ve ethyl hexanoate aroma verici maddelerin püskürtmeli kurutma yöntemi ile *S. cerevisiae* maya hücreleri kullanılarak enkapsüle edilebilirliğini araştırmışlardır. Bu çalışmada %25 oranında maya hücresi, aroma ve su karışımı oluşturulmuş ve maya hücreleri ile aroma 2:1 ve 4:1 oranları olacak şekilde karıştırılmıştır. Karışım 0-8 saat süreyle inkübatörde 250 rpm sallama hızında 20, 30, 40 ve 50°C'de çalkalanarak inkübe edilmiştir. Püskürterek kurutma yönteminde başlangıçta hava giriş sıcaklığı 140-200°C, besleme akış hızı 10 mL/dk, basınçlı hava akış hızı ise 35 m³/h ve çıkış sıcaklığı 64-95°C olarak belirlenmiştir. Ethyl hexanoate kapsüllemesi sırasında 140-200°C'de hava giriş sıcaklıklarında aroma içeriğinde değişim görülmezken, d-limonene için başlangıç sıcaklığının artması ile aroma içeriğinde de kademeli olarak artış olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak püskürtmeli kurutma yönteminin başarılı olduğu ve d-limonene ile ethyl hexanoate için 40°C inkübasyon sürecinin diğer inkübasyon sürelerine kıyasla daha verimli olduğu bildirilmiştir.

Pham-Hoang ve ark. (2016) tarafından yapılan bir çalışmada karboksilik asit, etil ester, lakton, alkol ve keton homologik serileri *Yarrowia lipolytica* maya hücreleri ile enkapsüle edilmiştir. Bu çalışmada hücre yüzeyi proteinlerini hedefleyen yöntem olarak β-merkaptotanol ve proteaz kullanılmıştır. β-merkaptotanol ve proteaz uygulanan örnekler ile uygulanmayan örnekler karşılaştırıldığında aralarında önemli derecede bir fark olmadığı tespit edilmiştir.

Gong ve ark. (2020) tarafından yapılan bir çalışmada ise tarçın aromasının ısıtılırken buharlaşmaması için *S. cerevisiae* maya hücreleri ile ultrasonik yöntem kullanılarak enkapsüle edilmiştir. Mikrokapsülleme için polimer olarak kitosan ve pektin kullanılmış ve hidrofobik

tarçın aromasını içerebilen mikrokapsül oluşturmak için bu polimerlerin uygun olduğu tespit edilmiştir. Araştırmacılar mikrokapsüllerin 150 ve 250°C sıcaklıkta daha verimli olduğunu tespit etmişlerdir.

Karaman (2020a) tarafından yapılan bir çalışmada gıda, ziraat ve ilaç endüstrisinde kullanımı olan karvakrolün maya hücreleri ile enkapsüle edilmesi ve karakterizasyonu amaçlanmıştır. Maya hücrelerine ön işlem olarak plazmoliz işlemi uygulanmış ve hem plazmoliz olmuş hem de olmamış hücreler ile karvakrol enkapsüle edilmiştir. Plazmolize olmuş ve olmamış maya hücrelerinde tutulan karvakrol oranları sırasıyla %80,79 ve %90,43 olarak tespit edilmiştir. Enkapsüllerin toplam fenolik madde miktarları plazmolize olmuş ve olmamış hücre enkapsülleri için sırasıyla 138,1 ve 146,8 mg GAE/g olarak belirlenmiş ve maya enkapsülleri içerisinde plazmoliz olmamış enkapsül (POE), plazmolize enkapsüle (PE) kıyasla daha yüksek antiradikal aktivite sergilemiştir.

Esansiyel Yağlar

Dimopoulos ve ark. (2021) tarafından yapılan çalışmada kekik esansiyel yağı *S. cerevisiae* maya hücreleri ile enkapsüle edilmiştir. Kapsülleme, maya hücrelerinin kekik esansiyel yağı ile temas ederek 30, 37, 45 ve 65°C sıcaklıklarda 48 saate kadar inkübe edilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma otoliz, vurgulu elektrik alan uygulaması ve yüksek basınçlı homojenizasyon olmak üzere üç şekilde gerçekleştirilmiş ve kekik esansiyel yağının kapsüllemesi için başarılı olduğu tespit edilmiştir. Difüzyon katsayıları karşılaştırıldığında, en etkin enkapsülasyonun homojenize hücreler, ardından 24 saat ve 8 saat otolize edilen hücreler, son olarak da vurgulu elektrik alan uygulanan hücrelerde olduğu belirtilmiştir.

Liu ve ark. (2021) tarafından yapılan diğer bir çalışmada Mänuka (*Leptospermum scoparium*) bitkisinin esansiyel yağının maya hücreleri ile kapsüllenebilme durumu araştırılmıştır. Örneklerin maya hücrelerine kapsüllemesini kolaylaştırmak için hızlı ve termal olmayan bir vakum infüzyon yöntemi kullanılmıştır. Kapsüllememiş ve kapsüllemiş örneklerin *B. cereus* hücrelerine karşı inaktivasyon etkinliği, enkapsüllerin ortamdaki oksijen türleriyle spesifik olmayan reaksiyonlardan nasıl koruduğunu aydınlatmak için karşılaştırılmıştır. Maya mikrotasıyıcılar, esansiyel yağ örneklerinin termal bozunumuna karşı önemli bir koruyucu özellik sağlamış ve yüksek kesme stresi ile sulu bir ortamda kontrollü bir esansiyel yağ salınımını sürdürmüştür. Sonuç olarak, kapsüllemiş örneğin 4 log kob/mL bakteriyi inaktive edebileceğini, eşdeğer konsantrasyonda kapsüllememiş örneğin ise sadece 1 log'dan daha az inaktivasyon sergilediğini bildirmişlerdir.

Kavetsou ve ark. (2019) *Mentha pulegium* bitkisinin esansiyel yağının maya hücreleri ile kapsüllemesi ve bunun böcek zararlısı *Myzus persicae* karşı pestisit olarak değerlendirilmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Kuru maya hücrelerinin plazmolizi için kütle oranı 1:2 olan maya hücreleri, %2'lik NaCl çözeltisi ile karıştırılmış ve dispersiyon hücre enzimlerini inaktivite etmek için 170 rpm'de ve 40°C'de 48 saat ve daha sonra 85°C'de 15 dakika karıştırılmıştır. Süpernatantlar çok net görünene kadar bu işlem tekrarlanmış ve hücreler 48 saat süreyle dondurularak kurutulmuştur. Çalışma sonunda

araştırmacılar kapsüllemiş esansiyel yağların uygulamadan 72 saat sonra kapsüllememiş yağa oranla daha güçlü insektisidal etkiye sahip olduğunu belirlemişler ve kapsülleme metodunun esansiyel yağın biyoaktivitesini önemli ölçüde genişletebileceğini göstermişlerdir.

Moghadam ve ark. (2020) tarafından yapılan başka bir çalışmada ise *Zataria multiflora* bitkisinin esansiyel yağı maya hücreleri ile kapsüllemişdir. *Z. multiflora* bitkisi timol ve karvakrol gibi fenolik bileşikler açısından önemli olması nedeni ile antioksidan, antibakteriyel ve antifungal aktiviteye sahiptir. Araştırmacılar *Z. multiflora* bitkisinin esansiyel yağının antibakteriyel aktivitesini ve *Saccharomyces cerevisiae* ile kapsülleyerek elde ettikleri mikrokapsülün gıda kaynaklı patojen olan *Escherichia coli* O157: H7 ve *Listeria monocytogenes*'e karşı göstereceği antimikrobiyal aktiviteyi karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak *Z. multiflora* bitkisinin esansiyel yağının kapsüllemesi ile kültür ortamındaki patojenik bakterilere (*E. coli* ve *L. monocytogenes*) karşı antibakteriyel etkinliğin önemli derecede arttığı ve *E. coli*'nin gıdadaki organoleptik etkilerini azalttığını tespit etmişlerdir.

Bishop ve ark. (1998) tarafından portakal kabuğu yağının kapsülleme çalışması yapılmıştır. Araştırmacılar, kapsülleme işleminin gerçekleştiği mekanizmaları belirleyip, maya hücrelerinin bir mikrokapsül olarak hareket etme kabiliyetini değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak 40 ile 50°C arasında kapsülleme oranında önemli derecede artış tespit etmişlerdir. Portakal kabuğu yağı ile maya hücresiyle kapsüllemiş portakal kabuğu yağının altı ana bileşeni incelendiğinde, hücreye nüfuz etme sırasındaki oranlarda önemli ölçüde değişim görülmediği belirtilmiştir.

Workman ve ark. (2020) tarafından yapılan diğer bir çalışmada *S. cerevisiae* içinde larvisidal etkisi bulunan *Citrus sinensis* esansiyel yağının enkapsüllemesi gerçekleştirilmiştir. Maya mikropartiküllerinden ekstrakte edilen kapsüllemiş portakal yağı bileşimi analiz edildiğinde kapsüllememiş örneğe kıyasla farklı olmadığı belirtilmiştir.

Şengül (2021) tarafından yapılan çalışmada ise Okaliptus (*Eucalyptus camaldulensis* Dehn.) ağaç yapraklarından elde edilen uçucu yağın, doğal bir kabuk materyal olan ve çevresel koşullara dayanıklı, ısıl stabilitesi yüksek *Saccharomyces cerevisiae* ile enkapsüle edilmesi ve elde edilen enkapsüllerin tekstil materyaline uygulanarak, antibakteriyel özellik kazandırılması amaçlanmıştır. Okaliptus uçucu yağının ve uçucu yağ yüklenmiş mikrokapsüllerin yapılan testler sonucunda antibakteriyel etkiye sahip olduğu, uçucu yağ içeren mikrokapsül yüklenmiş kumaşların ise beklenen oranda antibakteriyel etkiye sahip olmadığı belirlenmiştir

Sabit Yağlar

Karaman (2020b) tarafından yapılan bir çalışmada çörek otu yağı hem plazmolize edilmiş hem de plazmolize edilmemiş *S. cerevisiae* maya hücreleri ile enkapsüle edilmiştir. Sonuç olarak plazmoliz prosesinin maya hücrelerinin yağ absorbe kapasitesini ve kapsüllemiş maddenin uygun olmayan koşullara karşı stabilitesini artırması için önemli bir ön işlem olduğu tespit edilmiştir. Maya hücresi mikrokapsülleri kullanılarak, ısı ve ışık gibi çevresel parametrelere karşı timokinon degradasyonunu önleyeceği belirtilmiştir.

Kavosi ve ark. (2017) omega-3 yağ asitlerince zengin ve dolayısıyla oksidasyon hassasiyeti yüksek olan semizotu tohum yağını hem plazmolize olmuş hem de olmamış maya hücresi (*S. cerevisiae*) ile enkapsüle etmişler ve enkapsülasyon etkinliğini %53-65 aralığında bulmuşlardır. Ayrıca enkapsüle edilmemiş tohum yağında oksidasyon ilerlerken (28,15 meq O₂/kg yağ), plazmolize maya hücresi ile enkapsüle edilmiş yağ örneklerinin oksidasyon seviyelerinin daha düşük olduğu (16,73 meq O₂/kg yağ) rapor edilmiştir. Diğer bir çalışmada da Ringa balık yağının maya hücresi ile enkapsülasyonu neticesinde oksidatif stabilitesinde önemli derecede iyileşme kaydedildiği bildirilmiştir (Czerniak ve ark., 2015).

Çetinkaya (2012) gerçekleştirdiği bir çalışmada *S. cerevisiae* maya hücrelerinin plazmolize edilmiş, plazmolize edilmemiş ve canlı formlarını kullanarak ruşeym yağı enkapsülasyonunu amaçlamıştır. Formülasyonlar arasında en yüksek enkapsülasyon etkinliği kabuk materyal olarak plazmolize maya hücresinin kullanıldığı, 0,25 kütle oranında ve üretim ortamı olarak suyun kullanıldığı formülasyonda belirlenmiştir. İnsan sindirim sisteminin (ağız, yemek borusu-mide, on iki parmak bağırsağı ve ince bağırsak) taklit edildiği ortamlardaki *in vitro* salınım profilinde, plazmolize enkapsüllerinin ruşeym yağını gastrointestinal sistem boyunca bağırsaklara taşımak için uygun duvar materyali olarak kullanılabilceği, ayrıca plazmolize edilen maya hücrelerinin olumsuz koşullarda ruşeym yağını oksidasyona karşı koruduğu saptanmıştır.

Vitaminler

Marson ve ark. (2020) hidroliz edilmiş ve Maillard reaksiyonuna tabi tutulmuş *Saccharomyces pastorianus* maya hücresi kullanarak püskürtmeli kurutma yöntemi ile askorbik asit enkapsülasyonu gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında hidroliz edilmiş maya hücresinin Maillard reaksiyonu sonrası karakterizasyonunu ve mikroenkapsülasyon materyali olarak kullanım potansiyelini belirlemeyi amaçlamışlardır. Çalışma sonucunda maya bazlı Maillard reaksiyon ürünlerinin yüksek enkapsülasyon verimi, düşük su aktivitesi, düşük nem içeriği ve düşük higroskopiklik değerleri ile askorbik asit enkapsülasyonu için uygun olduğu ifade edilmiştir.

Salon ve ark. (2016) *Saccharomyces cerevisiae* maya türü ve glukan parçacıkları kullanarak B12 vitamini, sığır serum albumini ve kafeinin enkapsülasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında farklı sıcaklık ve pH değerlerinde suda çözünür biyoaktif molekülün difüzyon hızını ölçerek salınım kinetiğini tanımlayan uygun bir matematiksel model ortaya koymayı ve difüzyon özellikleri ile glukan duvarının yapısı (örneğin cam geçişi) arasında herhangi bir korelasyon olup olmadığını tespit etmeyi amaçlamışlardır. B12 vitamini için glukan partikülleri yükleme verimi 1 mg/mL ve 4 mg/mL yükleme solüsyonu konsantrasyonlarında sırasıyla 11,4 ± 0,3 mg/g ve 35,4 ± 0,5 mg/g (kuru bazda) olarak belirtilmiştir. B12 vitamini için salınım kinetiği farklı sıcaklıklarda ölçülmüş ve serbest kalan asimptomatik miktarın sıcaklıktan bağımsız olduğu belirtilirken salınım oranının artan sıcaklıkla beraber arttığı ve en yüksek sıcaklıkta (60°C) en hızlı olduğu ifade edilmiştir.

Dadkhodazade ve ark. (2018) plazmolize uğramış ve uğramamış *Saccharomyces cerevisiae* maya hücreleri kullanarak püskürtmeli ve dondurarak kurutma yöntemleri ile kolekalsiferol (D vitamini) enkapsülasyonu gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında maya hücrelerinin ön işleme ve kurutma yönteminin kolekalsiferol yüklü mikrokapsüllerin fizikokimyasal özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmayı amaçlamışlardır. Araştırma sonucunda kolekalsiferol yüklü maya mikrokapsüllerinin enkapsülasyon verimi %31,20 ± 0,42 ile %76,10 ± 6,92 arasında değişim göstermiş ve en yüksek verim değerinin (%76,10 ± 6,92) püskürtülerek kurutulmuş ve plazmolize uğramış mikrokapsüllerde gözlemlendiği belirtilmiştir.

Probiyotikler

Mokhtari ve ark. (2017) *Saccharomyces cerevisiae* hücre duvarı bileşiği kullanarak iç katılaştırma yöntemi ile daha büyük boyutlu *Lactobacillus acidophilus* ve *Bifidobacterium bifidum* probiyotik bakterilerin enkapsülasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında probiyotikler için yeni bir kaplama malzemesi olarak maya hücre duvarı bileşiğinin fizibilitesini değerlendirmeyi ve probiyotik bakterilerin gastrointestinal sistemde *in vitro* canlılığını geliştirmeyi amaçlamışlardır. Probiyotik bakterilerin ilk olarak emülsiyon metoduyla kalsiyum aljinat ile enkapsülasyonundan sonra maya hücre duvarıyla enkapsülasyonu gerçekleştirilmiş ardından üzeri tekrar kalsiyum aljinat ile kaplanmıştır. Çalışmaları sonucunda 3 katmanlı mikrokapsüllerin ortalama çapları 103,66 ± 13,33 µm olarak ifade edilmiştir. Enkapsülasyon verimi ise %88,33 olarak belirtilmiştir. Maya hücre duvarı bileşiği ile enkapsülasyonun gastrointestinal sistem denemesinde daha yüksek seviyede canlı bakteri hücresinin kolona geçişinde etkili olduğu ifade edilmiştir. *S. cerevisiae* hücre duvarı, nispeten aside dirençli bir bakteri olan *L. acidophilus*'un asit toleransını güçlendirmede etkili olurken hassas bir probiyotik olan *B. bifidum* için direnç sağlayamadığı görülmüştür.

Mokhtari ve ark. (2017) parçalanmış maya hücre duvarı ile gerçekleştirilen probiyotik enkapsülasyonu sonrası mikrokapsüllerin üzüm suyundaki +4°C'de 60 gün süren inkübasyonu sonucu duysal ve fizikokimyasal özelliklerini değerlendirmişlerdir. *L. acidophilus* mikrokapsülleri için maya hücre duvarı katmanının hayatta kalma oranını önemli ölçüde arttırdığı ancak *B. bifidum* için bir etki göstermediği raporlanmıştır. Probiyotik içeren üzüm suyu depolaması sırasında Brix, pH ve renk değerlerinde düşüş, asitlik ve bulanıklık değerlerinde ise artış olduğu ve maya duvar tabakasının varlığının renk ve bulanıklık özellikleri üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı belirtilmiştir. Duysal kabul değerlendirmesinde maya hücre duvarı ile kaplanmış mikrokapsüller içeren üzüm sularının sadece aljinat ile kaplanmış mikrokapsüller içerenlere kıyasla daha düşük puan aldığı belirtilmiştir.

Pigmentler

Young ve ark. (2017) *Saccharomyces cerevisiae* maya hücreleri ve maya hücre duvarı partikülleri kullanarak vakum infüzyon metodu ve pasif difüzyon yöntemleri ile kurkumin ve fisetin enkapsülasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında vakum infüzyon ve

pasif difüzyon metotlarının enkapsülasyon üzerindeki etkisini karşılaştırmayı amaçlamışlardır. Çalışmaları sonucunda değişik konsantrasyonlardaki etanol (%5, %35, %50) ve farklı vakum infüzyon değerleri (%50, %75, %99) ile en yüksek verim, fisetin ve kurkumin için sırasıyla $65,6 \pm 3,0$, $110,4 \pm 6,0$ olarak %35 etanol konsantrasyonu kullanarak vakum infüzyon yöntemi ile elde edilmiştir. Difüzyon yöntemi ile karşılaştırıldığında, vakum infüzyonu yönteminin maya mikro taşıyıcısına üç kat daha fazla kurkumin ve iki kat daha fazla fisetin kapsülleyebildiği belirtilmiştir.

Pham-Hoang ve ark. (2018) *Yarrowia lipolytica* maya hücreleri ile kloroform, etanol, aseton ve heksan gibi farklı çözücüler kullanarak inkübasyon metodu ve ultrason muamelesi ile beta-karoten enkapsülasyonu gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında büyük ve hidrofobik bir molekül olan beta karotenin maya hücresi ile enkapsülasyon verimini yükseltmeyi amaçlamışlardır. Karoten çözünürlüğünü yükseltmek ve hücre duvar yapısını değiştirmek için kullandıkları farklı çözücülerle en yüksek verimi 220 mg/g ıslak hücre ağırlığı ile kloroform kullanarak elde etmişlerdir. Ultrason muamelesinin 852 mg/g ıslak hücre ağırlığı sonucu ile kapsüllenmeyi önemli ölçüde etkilediği belirtilmiştir.

Paramera ve ark. (2011) *S. cerevisiae* maya hücreleri, beta-siklodekstrin (β -CD) ve modifiye nişasta kullanarak kurkumin enkapsülasyonu gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında ışık, nem ve ısı gibi çevresel faktörler açısından kurkuminin farklı enkapsülantlardaki stabilitesini karşılaştırmayı amaçlamışlardır. Çalışma sonucunda tüm kapsülleme formlarının kurkuminin simüle edilmiş mide sıvısı çözünürlüğünü büyük ölçüde arttırdığını ve bu ortamda β -siklodekstrin ve modifiye nişasta mikrokapsülleri için hızlı bir kurkumin çözünmesi gözlemlenirken, maya mikrokapsüllerinde pankreas sıvısı ortamında düşük bozunma hızı ile birlikte yavaş ve uzun süreli bir salınım meydana geldiği belirtilmiştir. β -siklodekstrin ve modifiye nişastanın aksine, maya hücrelerinin kurkumini ışığın zararlı etkilerinden ve ayrıca yüksek nispi nem değerlerinde (>%75) (bağlı nem) oksidatif bozunmaya karşı önemli ölçüde koruduğu raporlanmıştır.

Nguyen ve ark. (2018) yaş aktif *Saccharomyces cerevisiae* maya hücreleri kullanarak ısı işlem görmüş ve görmemiş maya hücreleri ile *Hibiscus sabdariffa* enkapsülasyonu gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında *Hibiscus sabdariffa*'dan elde edilen antosiyaninlerle yüklü aktif mayaların renk koruma potansiyelini değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Çalışma sonucunda 208 μ g/100 mg hücrelik bir kapsülleme verimi ve %27'lik bir kapsülleme verimliliği elde edildiği belirtilmiştir. 37°C'de sudaki renk kaybı yüzdesi, ısı işlem görmüş maya mikropartikülleri için %2,5 ve işlem görmemiş maya mikropartikülleri için %36,5 olarak raporlanmıştır.

Enzimler

Shi ve ark. (2014) çalışmalarında dondurarak kurutulmuş *Saccharomyces cerevisiae* maya sporları kullanarak alfa-galaktosidaz enziminin enkapsülasyonunu gerçekleştirerek galaktosidaz aktivitesini test etmişlerdir. Yapılan pH denemesinde ise kapsüllenmiş enzimin pH 7'de

çözünür galaktosidazdan daha yüksek bir aktiviteye sahip olduğunu raporlamışlardır.

Chow ve Palecek (2004) farklı yöntemlerle geçirgenliğini (permeabilite) arttırdıkları *Saccharomyces cerevisiae* maya hücreleri ile α -galaktosidaz, adenilat kinaz ve piruvat kinaz enzimlerinin enkapsülasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada lipid katmanlarını çıkarmak için dondurma-çözme döngüleri, alkol muamelesi, ozmotik şok ve deterjan muamelesi geçirgenleştirme yöntemleri denenmiş ve %70 etanol hariç hepsi enzim aktivitesi üzerinde etkili olurken en yüksek aktiviteyi deterjanın sağladığı belirtilmiştir. Kapsüllenmiş hücrelerdeki enzim aktivitesinin serbest çözeltideki aynı enzim konsantrasyonuna kıyasla azaldığı ancak kapsüllenmiş enzimin önemli aktivite kaybı olmaksızın geri kazanılabilir ve yeniden kullanılabilir olduğu belirtilmiştir. Geçirgenliği artırılmış maya hücreleri ile enzim enkapsülasyonunun, ticari uygulamalarda rekombinant proteinlerin toplanması ve yeniden kullanılması için pahalı olmayan bir yöntem sunduğu belirtilmiştir.

Ekstraktlar

Cvetkovic ve ark. (2020) plazmoliz olmuş, plazmoliz olmamış ve canlı *Saccharomyces cerevisiae* maya hücreleri kullanarak ve dondurarak kurutma yöntemi uygulaması ile şeftali atığı özütü enkapsülasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında şeftali atığı ekstraktında bulunan fitokimyasallar için bir kapsülleme taşıyıcısı olarak *Saccharomyces cerevisiae* hücrelerinin fizibilitesini değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Çalışmaları sonucunda plazmoliz olmuş, plazmoliz olmamış ve canlı maya hücrelerinin hepsinde başarılı bir şekilde enkapsülasyon gerçekleştiğini rapor etmişlerdir. Çalışmalarında HPLC analizi sonucunda şeftali atığında β -karoten'in en bol bulunan karotenoid olduğunu, epikateşin ve kateşinin ise en bol bulunan fenolikler olduğunu tespit ederek karotenoidlerde %86,59 ve fenoliklerde %66,98 verim ile en yüksek enkapsülasyon verimini dondurarak kurutulmuş ve plazmoliz olmamış maya hücreleri ile elde ettiklerini belirtmişlerdir.

Fenolik Bileşikler

Karaman (2021) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, en yaygın fenoliklerden biri olan gallik asit (GA), maya hücresi (*S. cerevisiae*) kullanılarak kapsüllenmiş ve plazmoliz işleminin ve çözücü tipi kapsülleme ortamının (H_2O veya EtOH: H_2O) kapsülleme performansı üzerine etkileri, simüle edilmiş mide ve bağırsak ortamında (pH 1,2 ve 6,8) salınım davranışı, morfolojik-konformasyonel ve biyoaktif özellikleri araştırılmıştır. Kapsülleme etkinliğinin, H_2O ile muamele edilmiş plazmolize olmayan maya hücrelerinde önemli ölçüde daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Mikrokapsüllerin gallik asit konsantrasyonu, 6,48 ve 94,76 mg GAE/g değerleri arasında değişmiştir ve mikrokapsüller, antioksidan ve antiradikal aktivite göstermiştir.

Shi ve ark. (2007) resveratrolü maya hücresi ile enkapsüle etmişler ve elde edilen maya kapsüllü resveratrolün simüle edilmiş mide sıvısında salınım özelliği ve depolama stabilitesi 25°C/%75 bağlı nem,

25°C/%90 bağıl nem ve 60°C'de laboratuvar floresan aydınlatma koşulları altında veya karanlıkta araştırılmıştır. Ayrıca maya ile kapsüllenmiş resveratrolün DPPH radikali üzerindeki süpürme kapasitesi, kapsüllenmemiş resveratrolün DPPH radikali üzerindeki süpürme kapasitesi ile karşılaştırılmıştır. Kapsülleme sırasında hiçbir kimyasal değişikliği meydana gelmediği açıkça gösterilmiş ve kapsüllemeye sonra DPPH radikal temizleme aktivitesi artış göstermiştir. Diğer taraftan maya ile kapsüllenmiş resveratrol iyi bir stabilite sergilemiş ve biyoyararlanımı artırılmıştır.

Başka bir çalışmada ise klorojenik asitin enkapsülasyonunda maya hücrelerinin kullanımı denenmiş ve kapsülleme verimliliği, maya hücrelerinin kapsüllemeye önce plazmolizör ile işlenmesiyle önemli ölçüde artırılmıştır. Ayrıca, elde edilen maya kapsüllü klorojenik asidin salınım özellikleri ve depolama stabilitesi 25°C/%75 bağıl nem, 25°C/%90 bağıl nem ve 60°C'de araştırılmıştır. Kapsülleme sırasında hiçbir kimyasal değişikliği meydana gelmediği ve maya ile kapsüllenmiş klorojenik asidin iyi bir stabilite sergilediği belirlenmiştir (Shi ve ark., 2008).

Sonuç

Maya hücrelerine dayalı biyoenkapsülasyon sistemlerinin kullanımı, fonksiyonel gıdalar, tarım ve ilaç endüstrisi gibi birçok alanda gelişen bir uygulamadır. Ancak maya hücrelerinin uygulanması genellikle düşük yüklem kapasiteleri ve zaman alıcı yüklem prosedürleri nedeniyle sınırlı kalabilmektedir. Bu sorunların üstesinden gelmek için, maya hücreleri genellikle plazmoliz, asit/alkali hidroliz, enzimatik hidroliz, ozmoporasyon, darbeli elektrik alanı, ultrasonikasyon ve yüksek basınçlı homojenizasyon dahil olmak üzere kimyasal ve fiziksel yöntemlerle ön işleme tabi tutulabilmektedir. Bu ön işlemler, yalnızca maya hücrelerinin geçirgenliğini arttırmakla kalmaz, aynı zamanda hücrelerden sitoplazmik içerikleri çıkarır, böylece biyoaktif madde yüklemesi için daha fazla alan sağlar. Diğer taraftan maya hücresi bazı taşıyıcılar kullanılarak biyoaktif maddelerin enkapsülasyonunda en yüksek potansiyele hala tam olarak ulaşılamamıştır ve diğer yöntemler ile kombine enkapsülasyon sistemleri denenmeye açıktır.

Kaynaklar

Bamidele OP, Emmambux MN. 2021. Encapsulation of bioactive compounds by "extrusion" technologies: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(18): 3100-3118.

Bishop JRP, Nelson G, Lamb J. 1998. Microencapsulation in yeast cells. *Journal of Microencapsulation*, 15(6): 761-773.

Capelezzo AP, Mohr LC, Dalcanton F, de Mello JMM, Fiori MA. 2018. β -Cyclodextrins as encapsulating agents of essential oils. In *Cyclodextrin: A versatile ingredient*, 169-200. London, UK: InTech Open.

Chow CK, Palecek SP. 2004. Enzyme encapsulation in permeabilized *Saccharomyces cerevisiae* cells. *Biotechnology Progress*, 20(2): 449-456.

Cvetković DD, Ranitović AS, Šeregelj VN, Šovljanski OL, Vulić JJ, Jović BD, Pavlović VB. 2021. Encapsulation of peach waste extract in *Saccharomyces cerevisiae* cells. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 86(4): 367-380.

Czerniak A, Kubiak P, Białas W, Jankowski T. 2015. Improvement of oxidative stability of menhaden fish oil by microencapsulation within biocapsules formed of yeast cells. *Journal of Food Engineering*, 167: 2-11.

Çetinkaya N. 2021. Ruşeym yağının *Saccharomyces cerevisiae* hücresi ile biyokapsülasyonu ve biyokapsüllerin karakterizasyonu. İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi

Dadkhodazade E, Mohammadi A, Shojaee-Aliabadi S, Mortazavian AM, Mirmoghtadaie L, Hosseini SM. 2018. Yeast cell microcapsules as a novel carrier for cholecalciferol encapsulation: Development, characterization and release properties. *Food Biophysics*, 13(4): 404-411.

Dima Ş, Dima C, Iordăchescu, G. 2015. Encapsulation of functional lipophilic food and drug biocomponents. *Food Engineering Reviews*, 7(4): 417-38.

Dimopoulos G, Katsimichas A, Tsimogiannis D, Oreopoulou V, Taoukis P. 2021. Cell permeabilization processes for improved encapsulation of oregano essential oil in yeast cells. *Journal of Food Engineering*, 294: 110408.

Devi N, Sarmah M, Khatun B, Maji TK. 2017. Encapsulation of active ingredients in polysaccharide-protein complex coacervates. *Advances in Colloid and Interface Science* 239: 136-45.

Errenst C, Petermann M, Kilzer A. 2021. Encapsulation of limonene in yeast cells using the concentrated powder form technology. *The Journal of Supercritical Fluids*, 168: 105076.

Gong C, Lee MC, Godec M, Zhang Z, Abbaspourrad A. 2020. Ultrasonic encapsulation of cinnamon flavor to impart heat stability for baking applications. *Food Hydrocolloids*, 99: 105316.

Kavetsou E, Koutsoukos S, Daferera D, Polissiou MG, Karagiannis D, Perdakis DC, Detsi A. 2019. Encapsulation of *Mentha pulegium* essential oil in yeast cell microcarriers: an approach to environmentally friendly pesticides. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(17): 4746-4753.

Karaman K. 2020a. Maya hücreleri (*Saccharomyces cerevisiae*) ile enkapsüle edilen karvakrolün yapısal, konformasyonel ve antiradikal özelliklerinin belirlenmesi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 124-135.

Karaman K. 2020b. Characterization of *Saccharomyces cerevisiae* based microcarriers for encapsulation of black cumin seed oil: Stability of thymoquinone and bioactive properties. *Food Chemistry*, 313: 126129.

Karaman K. 2021. Fabrication of gallic acid loaded yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) microcapsules: Effect of plasmolysis treatment and solvent type on bioactivity and release kinetics. *LWT-Food Science and Technology*, 148: 111640.

Kavosi M, Mohammadi A, Shojaee-Aliabadi S, Khaksar R, Hosseini SM. 2018. Characterization and oxidative stability of purslane seed oil microencapsulated in yeast cells biocapsules. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(7): 2490-2497.

Liu S, Tao M, Huang K. 2021. Encapsulation of mānuka essential oil in yeast microcarriers for enhanced thermal stability and antimicrobial activity. *Food and Bioprocess Technology*, 14(12): 2195-2206.

Marson GV, Saturno RP, Comunian TA, Consoli L, da Costa Machado MT, Hubinger MD. 2020. Maillard conjugates from spent brewer's yeast by-product as an innovative encapsulating material. *Food Research International*, 136: 109365.

Mokhtari S, Jafari SM, Khomeiri M, Maghsoudlou Y, Ghorbani M. 2017. The cell wall compound of *Saccharomyces cerevisiae* as a novel wall material for encapsulation of probiotics. *Food Research International*, 96: 19-26.

Mokhtari S, Khomeiri M, Jafari SM, Maghsoudlou Y, Ghorbani M. 2017. Descriptive analysis of bacterial profile, physicochemical and sensory characteristics of grape juice containing *Saccharomyces cerevisiae* cell wall-coated probiotic microcapsules during storage. *International Journal of Food Science and Technology*, 52(4): 1042-1048.

- Nakhaee Moghadam M, Movaffagh J, Fazli Bazzaz BS, Azizzadeh M, Jamshidi A. 2020. Encapsulation of Zataria multiflora essential oil in Saccharomyces cerevisiae: sensory evaluation and antibacterial activity in commercial soup. Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering, 39(2): 233-242.
- Nguyen TT, Phan-Thi H, Pham-Hoang BN, Ho PT, Tran TTT, Waché, Y. 2018. Encapsulation of Hibiscus sabdariffa L. anthocyanins as natural colours in yeast. Food Research International, 107: 275-280.
- Paramera EI, Konteles SJ, Karathanos VT. 2011. Stability and release properties of curcumin encapsulated in Saccharomyces cerevisiae, β -cyclodextrin and modified starch. Food Chemistry, 125(3): 913-922.
- Paramera EI, Karathanos VT, Konteles SJ. 2014. Yeast cells and yeast-based materials for microencapsulation. In Microencapsulation in the Food Industry (pp. 267-281). Academic Press.
- Pham-Hoang BN, Voilley A, Waché Y. 2016. Molecule structural factors influencing the loading of flavoring compounds in a natural-preformed capsule: Yeast cells. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 148: 220-228.
- Pham-Hoang BN, Romero-Guido C, Phan-Thi H, Waché Y. 2018. Strategies to improve carotene entry into cells of Yarrowia lipolytica in a goal of encapsulation. Journal of Food Engineering, 224: 88-94.
- Saloň I, Hanuš J, Ulbrich P, Štěpánek F. 2016. Suspension stability and diffusion properties of yeast glucan microparticles. Food and Bioproducts Processing, 99: 128-135.
- Shi G, Rao L, Yu H, Xiang H, Pen G, Long S, Yang C. 2007. Yeast-cell-based microencapsulation of chlorogenic acid as a water-soluble antioxidant. Journal of Food Engineering, 80(4): 1060-1067.
- Shi L, Li Z, Tachikawa H, Gao XD, Nakanishi H. 2014. Use of yeast spores for microencapsulation of enzymes. Applied and Environmental Microbiology, 80(15): 4502-4510.
- Shi G, Rao L, Yu H, Xiang H, Yang H, Ji R. 2008. Stabilization and encapsulation of photosensitive resveratrol within yeast cell. International Journal of Pharmaceutics, 349(1-2): 83-93.
- Sultana A, Miyamoto A, Hy QL, Tanaka Y, Fushimi Y, Yoshii H. 2017. Microencapsulation of flavors by spray drying using Saccharomyces cerevisiae. Journal of Food Engineering, 199: 36-41.
- Şengül BE. 2021 Okaliptus uçucu yağının Saccharomyces cerevisiae ile enkapsülasyonu ve tekstil materyaline uygulanarak antibakteriyel özellik kazandırılmasının araştırılması. İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Yüksek Lisans tezi.
- Workman MJ, Gomes B, Weng JL, Ista LK, Jesus CP, David MR, Hurwitz I. 2020. Yeast-encapsulated essential oils: a new perspective as an environmentally friendly larvicide. Parasites and Vectors, 13(1): 1-9.
- Young S, Dea S, Nitin N. 2017. Vacuum facilitated infusion of bioactives into yeast microcarriers: Evaluation of a novel encapsulation approach. Food Research International, 100: 100-112.