Polenin Arı Ekmeğine Dönüşüm Süreci: Arı Ekmeği Mikrobiyolojisi

The Process of Pollen Transformation Into the Bee Bread: Microbiology of Bee Bread

Atiye DEĞİRMENCİ[a],
Oktay YILDIZ[b]

[a]Karadeniz Teknik Üniversitesi
Maçka Meslek Yüksekokulu,
Gıda İşleme Bölümü,
Trabzon, TÜRKİYE
[b]Karadeniz Teknik Üniversitesi
Eczacılık Fakültesi,
Temel Eczacılık Bölümü,
Trabzon, TÜRKİYE

Yazışma Adresi/*Correspondence:*
Atiye DEĞİRMENCİ
Karadeniz Teknik Üniversitesi
Maçka Meslek Yüksekokulu,
Gıda İşleme Bölümü,
Trabzon, TÜRKİYE
atiyeyaygaz@ktu.edu.tr

Bu çalışma, 1st Joint International Apitherapy Congress, 20-26 Mayıs 2021'de çevrimiçi sözel bildiri olarak sunulmuştur.

ÖZET Arıların polen, bal ve sindirim sistemlerinde bulunan çeşitli enzimlerin etkisi ile petek gözlerinde ürettikleri fermente ürün arı ekmeği (perga) olarak adlandırılmaktadır. Polen arıların bitkilerden kendi ihtiyaçlarını karşılamak üzere topladıkları ve arka bacaklarında topaklar haline getirmeleri ile oluşturdukları bir üründür. Arı ekmeği düşük pH (3.8-4.3) ve antimikrobiyal bileşiklerin varlığından dolayı arıların beslenmesi için daha stabil bir gıda oluşturmaktadır. Arı ekmeği en az bilinen arı ürünü olmasının yanı sıra literatürde de diğer arı ürünlerine kıyasla oldukça az yer bulmuştur. Son yıllarda araştırmacılar bu ürünün kompozisyonuna ve apiterapötik özellikleri üzerine yoğunlaşmış, bu ürünün fonksiyonel bir gıda olduğunu ifade etmiştir. Bu derlemede polenin arı ekmeğine dönüşüm sürecinde literatürde sözü edilen olası fermantasyon mekanizmaları ve bu süreçte etkili mikroorganizma grupları özetlenmiştir. Ek olarak fermantasyonun bu ürünlerin sindirilebilirliklerine yönelik etkisi derlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Polen; arı ekmeği; fermantasyon

ABSTRACT The fermented product produced by bees in the honeycomb cells with pollen, honey and effect of various enzymes in their digestive systems is called bee bread (perga). Pollen is a product that bees collect from plants to meet their needs and form lumps on their hind legs. Bee bread is more stable food for feeding of bees due to the low pH (3.8-4.3) and the presence of antimicrobial compounds. In addition to being the least known bee product, bee bread has found relatively small area in the literature compared to other bee products. In recent years, researchers have focused on the composition and apitherapeutic properties and stated that this is a functional food. In this review, the possible fermentation mechanisms mentioned in the literature microorganism groups effective in this process are summarized in the process of pollen transformation into bee bread. In addition, the effect of fermentation on the digestibility of those products has been reviewed.

Keywords: Pollen; bee bread; fermentation

Etimolojik olarak bitkilerin döllenme aracı olan toz anlamına gelen polen, tohumlu bitkilerin erkek üreme hücresidir. Bal arıları kolonilerini beslemek ve korumak için bitkilerden polen ve nektar toplamaktadır.[1] Nektar bal arıları için karbohidrat sağlarken polen protein, lipid ve vitamin sağlamaktadır. Kovanlarda arıların nadiren taze polen tükettiği bilinmektedir. Taze polen bal arısı sekresyonları, farklı enzimler, mikroorganizmalar, nem ve sıcaklığın (35-36 °C) etkisiyle bir takım biyokimyasal değişikliklere uğramaktadır. Arı ekmeğinin petek gözlerinde üretiminde mükemmel bir tasarım söz konusudur.[2] Bir arı ekmeği paketi petek gözünden çıkarıldığında etrafının balmumu ile kaplandığı ve havaya temas eden yüzünün ise bal ile doldurulduğu görülür. Bu işlem fermantasyonda mikroorganizmaların oksijen kullanıp/kullanmamalarını sınırlandırdığı gibi arı ekmeğinin nem içeriğini de muhafaza ederek polenden farklı bir ürüne dönüşme sürecini kontrol altına almaktadır. Arı ekmeği aynı zamanda perga olarak bilinir ve arı larvalarına veya arı sütü üretecek olan genç işçi arılara yedirilir. Taze polen (% 6.7-20.6) yüksek nem içeriği ve buna karşılık gelen su aktivitesi

KAYNAK GÖSTERMEK İÇİN:
Değirmenci A, Yıldız O. Polenin arı ekmeğine dönüşüm süreci: Arı ekmeği mikrobiyolojisi. Atayoğlu AT, editör. Apiterapi. 1. Baskı. Ankara: Türkiye Klinikleri; 2021. p.86-9.

(0.3-0.7) nedeniyle küf gelişimine uygun bir üründür.[3-5] Polen fermantasyonu ile varılan ürün olan arı ekmeği ise düşük pH (3.8-4.3) ve antimikrobiyal bileşiklerin varlığından dolayı daha stabil bir gıda oluşturmaktadır. Arı ekmeği yaklaşık % 20-22 protein, % 24-35 karbohidrat, % 1.6 lipid ve % 3.5 laktik asit içeriğine sahiptir.[6,7]

Literatür çalışmalarında polenin arı ekmeğine dönüşümüyle meydana gelen biyokimyasal değişiklikler bakteri ve mayaların neden olduğu fermantasyon ile açıklanmıştır. Del Risco tarafından iki muhtemel mekanizma rapor edilmiştir.[8] İlk mekanizmada Pseudomonas cinsi bakterilerin anaerobik ortam oluşturduğu ve ekzin tabakasının degradasyonunda rol aldığı, Lactobacillus cinsinin ise laktik asit fermantasyonu gerçekleştirdiği belirtilmiştir. İkinci muhtemel mekanizmada ise Pseudomonas cinsi bakterilerin var olan oksijeni kullandığı ve böylece Lactobacillus cinsinin anaerobik fermantasyon gerçekleştirmesini sağladığı belirtilmiş, Lactobacillus cinsinin şekerleri parçalayarak laktik asit ürettiği ve son aşamada Saccharomyces tarafından kalan şekerlerin parçalanarak prosesin tamamlandığı bildirilmiştir. Gilliam tarafından önerilen mekanizmada ise petek gözlerinde polenin arı ekmeğine dönüşümünün ilk aşaması 12 saat sürmekte ve mayaların da dahil olduğu heterofermantatif fermantasyon gerçekleşmektedir. İkinci aşamada anaerobik laktik asit bakterilerinin (*Streptococcus*) gelişimiyle pH düşüşü meydana gelmektedir. Üçüncü aşamada *Lactobacillus* cinsi bakteriler gelişmektedir. 7 günün sonunda başlayan son aşamada ise laktik asit oluşumuna bağlı olarak laktik asit bakterileri ve mayaların inaktivasyonu söz konusu olmaktadır.[9,10] Loper ve ark. tarafından polende bulunan aerobik bakterilerin polenin hücre içeriğinin serbest bırakılmasına yardımcı olduğu, ardından Lactobacillus cinsi bakterilerin pH 4'e ulaşıncaya kadar laktik asit ürettiği ve son olarak laktik asit kullanılarak ön sindirime uğratılmış arı ekmeği elde edildiği belirtilmiştir.[11]

Laktik asit bakterileri karbohidrat fermantasyonu ile son ürün olarak laktik asit oluşturan, çubuk ya da kok şeklinde, spor oluşturmayan, katalaz negatif ve gram-pozitif mikroorganizmalardır. Endüstriyel uygulamalar dahilinde genellikle yararlı ve patojen olmayan altı anahtar genus kullanılmaktadır: *Lactococcus* (süt ürünlerinde), *Lactobacillus* (sebzeler, tahıl, süt ve et ürünleri), *Leuconostoc* (sebzeler ve süt ürünleri), *Pediococcus* (sebzeler ve et ürünleri), *Oenococcus* (şarap) ve *Streptococcus* (süt ürünleri).[12] Laktik asit bakterilerinin laktik asit, asetik asit, propiyonik asit gibi organik asitlerin üretimiyle pH düşüşüne neden olduğu ve gıda güvenliğini arttırmaya yardımcı oldukları bildirilmiştir.[13]

Ergin arının sindirim sistemi kursak (bal midesi), orta bağırsak, ileum (ince bağırsağın alt ucu) ve rektum (kalın bağırsak) olmak üzere dört bölümden oluşmaktadır.[14] *Lactobacillus* cinsinin arının bal midesinde bulunan en baskın mikroorganizmalar olduğu ve balda (%90.9), polende (%74.6), arı ekmeğinde (%83.9), arı sütünde (%93.3) dominant mikroflorayı oluşturduğu tespit edilmiştir.[15,16] Tablo 1'de polenin arı ekmeğine dönüşüm sürecinde etkili olan bazı mikroorganizmalar verilmiştir.

Probiyotikler yeterli sayıda alındıklarında sindirim sistemindeki mikrobiyal dengeyi düzenleyen ve konakçının sindirim sistemine olumlu etkileri olan canlı mikroorganizmalar olarak tanımlanmaktadır. Probiyotik olarak *Lactobacillus,* arıların patojenlere karşı bağışıklık sistemini güçlendirmektedir. Son yıllarda yapılan çalışmalarda bal arılarının bağırsaklarından *Lactobacillus kunkeei* izole edilmiştir.[18-20] Ülkemizde yapılan bir çalışmada Yığılca-Düzce'de bulunan bal arıları incelenmiş ve bu bölgedeki arıların bal midelerinde bulunan mikroorganizmaların izolasyonu, tanımlanması ve probiyotik özelliklerinin karakterizasyonu yapılmıştır.[21] Söz konusu çalışmada arıların bal midesinden probiyotik özellikli laktik asit bakterilerinin izole edilmesi, bu bakterilerin arılarda hastalık etmeni patojenlere karşı etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. *L. kunkeei* izolatının, pH'ın 2 ve 3 olduğu pepsin içeren ortamda ve pankreatin içeren ortamda (pH 8) oldukça dirençli olduğu tespit edilmiştir. Bu konudaki en güncel çalışmada bal arıları için önemli bitkilerden biri olan orman sarmaşığı (*Hedera helix* L.), bitkisinden toplanmış arı poleni, 15 ve 30 gün petek gözünde depolanmış arı ekmeği örneklerinde bu-

TABLO 1: Polenin arı ekmeğine dönüşüm sürecinde etkili bazı mikroorganizmalar.[9,17]

Bacilli	**Lactobacilli**	**Mayalar**	
■ *B. subtilis*	■ *L. kunkeii*	■ *Candida parapsilosis*	■ *Torulopsis globosa*
■ *B. megaterium*	■ *L. jensenii*	■ *Candida reukaufii*	■ *Torulopsis incospicua*
■ *B. licheniformis*	■ *L. fructosus*	■ *Candida tenuis*	■ *Torulopsis magnoliae*
■ *B. circulans*	■ *L. lantarum*	■ *Torulopsis candida*	■ *Torulopsis sake*
■ *B. pumilus*		■ *Torulopsis etchellsii*	■ *Torulopsis stellata*
		■ *Torulopsis famata*	

lunan laktik asit bakterilerinin identifikasyonu yapılmıştır.[22] Orman sarmaşığında dominant florayı *Lactococcus lactis* oluştururken, arı poleni örneğinde *Fructobacillus fructosus*, *Lactobacillus kunkeei* ve *Lactobacillus curvatus*'un oluşturduğu tespit edilmiştir. 15 günlük arı ekmeği örneğinde *Lactobacillus plantarum*, *L. kunkeei*, *F. fructosus*, *Lc. lactis*, *Leuconostoc citreum* ve *L. curvatus* bulunmuştur. 30 günlük arı ekmeği örneğinde ise *L. kunkeei* ve *F. fructosus* belirlenmiştir. Bu çalışmada gelişim, aside dayanıklılık ve antimikrobiyal aktivite bakımından en önemli suşların *L. kunkeei* PF12, PL13 ve PF15 olduğu tespit edilmiştir. Ortam pH'sının düşmesi ile fermantasyon sonucu organik asitlerin oluşması probiyotik mikroorganizmaların canlılığını kaybetmesine neden olan faktörlerdir. Bağırsak mikroflorasını olumlu yönde değiştirerek insan ya da hayvan sağlığı üzerinde yararlı etkiler yaratan mikrobiyal gıda kaynakları olan probiyotiklerin bağırsağa ulaşması için midenin asidik ortamını geçmeleri zorunludur. Ayrıca en az 10^6 kob/g seviyesinde olması gerektiği bilinmektedir.[23] Vasquez ve Olofsson tarafından yapılan çalışmada arının bal midesinde mevcut olan laktik asit bakteri florasının iki haftalık arı ekmeği örneğinde canlı formda olduğu tespit edilmiş ancak iki aylık arı ekmeği örneğinde laktik asit bakterisi izole edilememiştir. Bu durum fermantasyon sonucunda meydana gelen laktik asit ve antimikrobiyal maddelerin artışı ile açıklanmıştır.[7]

Arı ürünlerinin kompleks yapısı besin öğelerinin sindirilebilirliğini olumsuz etkileyebilmektedir. Sindirilebilirlik ve biyoyararlılık bu ürünlerin sağlığa yararlarını belirlemede önemli iki faktördür. Biyoyararlılık, alınan besinin normal fizyolojik fonksiyonlarda kullanılmak ve depolanmak için erişilebilir durumdaki kısmıdır. Besin öğesinin formuna ve konsantrasyonuna, söz konusu bileşenin bulunduğu gıdanın kompozisyonuna, gıda işleme ve hazırlama sırasındaki proseslere, sindirim hareketine bağlı olarak değişiklik gösterir. Diğer faktörler ise hamilelik, laktasyon, yaş, cinsiyet gibi bireysel fizyolojik özelikler ve kişinin sağlık durumudur. Biyoerişilebilirlik (bioaccessibility) ise tüketilen gıdanın sindirildikten sonra, gıdanın matriksinden çıkabilen ve ince bağırsakta emilim için hazır olan miktarı olarak tanımlanır.[24] Polen tanesini çevreleyen ekzin tabakası oldukça güçlü bir kimyasal yapıdır ve sporopolleninden oluşmaktadır. Sporopollenin asit ve alkali hidrolizine, enzimatik degradasyona oldukça dayanıklı bir biyopolimerdir.[25] Polen duvarının parçalanmasının hücre içi biyoaktif bileşiklerin sindirilebilirliğini ve biyoyararlanımını etkili bir şekilde artırabileceği belirtilmektedir.[26] Polen duvarının kesme kuvveti kullanılarak parçalanması oldukça basit ve kullanılan ekipman bakımından düşük maliyetli bir yöntemdir. Ancak kesme kuvveti kullanımı ile oluşan ısı, ısıya duyarlı bileşenlerde kayba neden olmaktadır. Literatürde protamex hidrolizi ve ultrasonikasyon süperkritik karbondioksit ekstraksiyonu gibi işlemlerle de ekzin tabakasının parçalanmasına yönelik çalışmalar yapılmıştır.[27,28] Ancak bu proseslerin ekzin tabakasının tamamen parçalanmasında önemli eksiklikleri olduğu bildirilmiştir.[29] Polenin sindirilebilirliğini artırmak amacıyla öğütme veya ılık suda bekletme gibi uygulamalardan da yararlanılmakta fakat bu işlemde de önemli miktarda bileşen kaybı söz konusu olmaktadır. Fermantasyonda ise organik bileşikler oksijen kullanılmadan enzimler yardımıyla küçük moleküllere parçalanırlar. Arı ekmeğinin sindirilebilirliğinin polenden daha fazla olmasının bir sebebi de budur. İnsan sindirim sisteminin simülasyonu ile yapılan in vitro sindirim çalışmaları polenin sindirilebilirliğinin %48 ile %59 arasında değiştiğini ortaya koymuştur.[30] Fermantasyon gıda materyallerinin tekstürel özelliklerinin değiştirilmesinde, gıdanın besleyici özelliğinin geliştirilmesinde ve raf ömrünün uzatılmasında etkili bir yöntemdir.[31] Polenin ekzin tabakasının parçalanmasında etkili bir yöntem olarak değerlendirilen fermantasyon polen matriksinden bileşiklerin serbest bırakılmasını kolaylaştırmakta ve sindirim sırasında emilen fraksiyonun artmasına katkıda bulunmaktadır.[32]

SONUÇ

Arı ekmeğinin tüketimi geleneksel olarak yaygın denilebilecek düzeydedir. Kas gücünün ve hacminin artırılması, hafızanın kuvvetlendirilmesi, kansızlık, karaciğer rahatsızlıkları, kabızlık ve yüksek tansiyon tedavisinde geleneksel olarak kullanılıyor olmasına rağmen arı ekmeği ile ilgili çalışmalar diğer arı ürünlerine göre nispeten azdır. Sahip olduğu su aktivitesi nedeniyle soğuk zincire ihtiyaç duyulan polene kıyasla mikrobiyolojik olarak daha stabil bir gıda olan arı ekmeği, biyoerişilebilirlik bakımından da polenden üstündür. Üretimi kovanın zarar görmesi nedeniyle oldukça sınırlı olan arı ekmeğinin ticari karşılığı olan bir ürüne dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu kapsamda polenin arı ekmeğine dönüşüm sürecinin net olarak aydınlatılması, fermantasyon mekanizmasının ortaya konulması arı ekmeğinin endüstriyel üretiminin gerçekleştirilmesinde anahtar nokta olarak karşımıza çıkmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Mayda N, Özkök A, Bayram NE, Gerçek YC, Sorkun K. Bee bread and bee pollen of different plant sources: determination of phenolic content, antioxidant activity, fatty acid and element profiles. J Food Meas Charac. 2020; 14:1795-1809.
2. Mutsaers M, Blitterswijk H, Leven L, Kerkvliet J, Waerdt J. Bee products properties, processing and marketing. 1st ed. Wageningen: Agromisa. 2005, p. 94.
3. Medina Á, González G, Sáez JM, Mateo R, Jiménez M. Bee pollen, a substrate that stimulates ochratoxin A production by Aspergillus ochraceus Wilh. Syst Appl Microbiol. 2004;27(2):261-7.
4. González G, Hinojo MJ, Mateo R, Medina A, Jiménez M. Occurrence of mycotoxin producing fungi in bee pollen. Int J Food Microbiol. 2005;105(1):1-9.
5. Nardoni S, D'Ascenzi C, Rocchigiani G, Moretti V, Mancianti F. Occurrence of moulds from bee pollen in Central Italy-A preliminary study. Ann Agric Environ Med. 2016;23(1):103-5.
6. Čeksterytė V, Račys J, Kaškonienė V, Venskutonis PR. Fatty acid composition in beebread. Biologija. 2008;54(4):253-7.
7. Vásquez A, Olofsson, TC. The lactic acid bacteria involved in the production of bee pollen and bee bread. Journal of Apicultural Research. 2009;48:189-95.
8. Del Risco RCA. Polen-Pan de Abejas: Composicio´n, Nutricio´n, Accio´n en la Salud. Humana y Microbiologia. 2004;13.
9. Gilliam M. Microbiology of pollen and bee bread: The yeasts. Apidologie. 1979;10:43-53.
10. Khalifa SA, Elashal M, Kieliszek M, Ghazala NE, Farag MA, Saeed A, et al. Recent insights into chemical and pharmacological studies of bee bread. Trends Food Science Technol. 2019;97:300-316.
11. Loper GM, Standifer LN, Thompson MJ, Gilliam M. Biochemistry and microbiology of bee-collected almond (Prunus dulcis) pollen and bee bread. Apidologie. 1980;11:63-73.
12. Kıran F, Osmanağaoğlu Ö. Laktik asit bakterilerinin (LAB) identifikasyonunda/tiplendirmesinde kullanılan moleküler yöntemler. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi. 2011;27(1):62-74.
13. Salvucci E, LeBlanc JG, Pérez G. Technological properties of lactic acid bacteria isolated from raw cereal material. LWT-Food Science and Technology. 2016;70:185-191.
14. Rangberg A, Mathiesen G, Amdam GV, Diep B. The paratransgenic potential of Lactobacillus kunkeei in the honey bee Apis mellifera. Benef Microbes. 2015;6(4):513-523.
15. Olofsson TC, Vásquez A. Detection and identification of a novel lactic acid bacterial flora within the honey stomach of the honeybee Apis mellifera. Curr Microbiol. 2008;57(4):356-63.
16. Asama T, Arima TH, Gomi T, et al. Lactobacillus kunkeei YB38 from honeybee products enhances IgA production in healthy adults. J Appl Microbiol. 2015;119(3):818-26.
17. Zuluaga-Dominguez CM, Quicazan M. Effect of Fermentation on Structural Characteristics and Bioactive Compounds of Bee-Pollen Based Food. Journal of Apicultural Science. 2019;63(2):209-22.
18. Corby-Harris V, Maes P, Anderson KE. The bacterial communities associated with honey bee (Apis mellifera) foragers. PLoS One. 2014;9(4):e95056.
19. McFrederick QS, Wcislo WT, Hout MC, Mueller UG. Host species and developmental stage, but not host social structure, affects bacterial community structure in socially polymorphic bees. FEMS Microbiol Ecol. 2014;88(2):398-406.
20. Asenjo F, Olmos A, Henríquez-Piskulich P, et al. Genome sequencing and analysis of the first complete genome of Lactobacillus kunkeei strain MP2, an Apis mellifera gut isolate. PeerJ. 2016;4:e1950.
21. Uğraş S. Isolation, identification and characterization of probiotic properties of bacterium from the honey stomachs of Yigilca honeybees in Turkey. Türkiye Entomoloji Dergisi. 2017;41(3):253-261.
22. Di Cagno R, Filannino P, Cantatore V, Gobbetti M. Novel solid-state fermentation of bee-collected pollen emulating the natural fermentation process of bee bread. Food Microbiol. 2019;82:218-230.
23. Rivera-Espinoza Y, Gallardo-Navarro Y. Non-dairy probiotic products. Food Microbiol. 2010;27(1):1-11.
24. Millward DJ, Layman DK, Tomé D, Schaafsma G. Protein quality assessment: impact of expanding understanding of protein and amino acid needs for optimal health. Am J Clin Nutr. 2008;87(5):1576S-1581S.
25. Wiermann R, Ahlers F, Schmitz‐Thom I. Sporopollenin. In: Hofrichter M, Steinbüchel A, eds. Biopolymers Online. 1st ed. Wiley‐VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. 2005. p. 209-227.
26. Campos M, Frigerio C, Lopes J, Bogdanov S. What is the future of Bee-Pollen?. Journal of ApiProduct and ApiMedical Science. 2010;2(4):131-144.
27. Dong J, Gao K, Wang K, Xu X, Zhang H. Cell Wall Disruption of Rape Bee Pollen Treated with Combination of Protamex Hydrolysis and Ultrasonication. Food Res Int. 2015;75:123-30.
28. Xu L, Sun I, Dong L, Zhang H. Breaking the cells of rape bee pollen and consecutive extraction of functional oil with supercritical carbon dioxide. Innov Food Sci Emerg Technol. 2009;10:42-46.
29. Yan S, Li Q, Xue X, Wang K, Zhao L, Wu L. Analysis of improved nutritional composition of bee pollen (Brassica campestris L.) after different fermentation treatments. Int J Food Sci Technol. 2019;54(6):2169-81.
30. Urcan AC, Criste AD, Dezmirean DS, Mărgăoan R, Caeiro A, Graça Campos M. Similarity of Data from Bee Bread with the Same Taxa Collected in India and Romania. Molecules. 2018;23(10):2491.
31. Zhao HM, Guo XN, Zhu KX. Impact of solid state fermentation on nutritional, physical and flavor properties of wheat bran. Food Chem. 2017;217:28-36.
32. Zhang Z, Cao H, Chen C, Chen X, Wei Q, Zhao F. Effects of fermentation by Ganoderma lucidum and Saccharomyces cerevisiae on rape pollen morphology and its wall. J Food Sci Technol. 2017;54(12):4026-34.