Uşak Üniversitesi Fen ve Doğa Bilimleri Dergisi
Usak University Journal of Science and Natural Sciences

http://dergipark.gov.tr/usufedbid
https://doi.org/10.47137/usufedbid.1988852



Derleme Makalesi (Review Article)

Probiyotik *Bacillus* Suşlarının Güvenliği, Dayanıklılığı ve Endüstriyel Uygulamaları

Tesnim ATAKİ[1], Abdullah DİKİCİ[2]*

[1]Gedik Piliç Ar-Ge Merkezi, Eşme, Uşak, Türkiye
[2] Zootekni Bölümü, Ziraat Fakültesi, Uşak Üniversitesi, Uşak, Türkiye

Geliş: 7 Temmuz 2026 *Revizyon: 31 Temmuz 2026* *Kabul: 10 Ağustos 2026*
Received: 7 July 2026 *Revised: 31 July 2026* *Accepted: 10 August 2026*

Özet

Tüketicilerin sağlık bilincindeki artış, gıda endüstrisinde fonksiyonel ürünlere olan ilgiyi hızla artırmıştır. Geleneksel probiyotik mikroorganizmaların yüksek sıcaklık, basınç, dehidrasyon ve gastrointestinal sistemin asidik koşulları karşısında canlılıklarını sınırlı düzeyde koruyabilmesi, alternatif probiyotik kaynaklara yönelimi hızlandırmıştır. Bu bağlamda spor oluşturan *Bacillus* türleri, endospor yapılarının sağladığı yüksek direnç nedeniyle fonksiyonel gıda geliştirmede stratejik bir bileşen olarak öne çıkmaktadır. Bu derlemede, gıda ve klinik uygulamalarda önemli yere sahip *Bacillus coagulans*, *Bacillus subtilis* ve *Bacillus clausii* suşlarının spor yapısı, hücresel mekanizmaları, proses dayanıklılığı, suş-spesifik güvenlik profilleri ve modern gıda matrislerindeki uygulamaları bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmiştir. Mevcut bulgular, bu suşların koruyucu spor mimarileri sayesinde mikroenkapsülasyon tekniklerine veya soğuk zincir lojistiğine çoğu durumda ek bir gereksinim duymadan kararlılık gösterebildiğini ve fırıncılık ürünlerinden fermente içeceklere kadar geniş bir gıda yelpazesinde biyolojik etkinliklerini sürdürebildiğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, *Bacillus* cinsinin heterojen yapısı nedeniyle endüstriyel suş seçiminde fenotipik ve genotipik güvenlik kriterleri, virülans genlerinin dışlanması, biyojenik amin potansiyeli ve yatay gen transferi riski taşıyan kazanılmış antibiyotik direnç profilleri kritik önem taşımaktadır. Sonuç olarak, bilimsel temelli güvenlik analizleri ve moleküler taksonomik sınıflandırmalarla desteklenen sporlu probiyotik kullanımı, yüksek işleme ve raf ömrü stabilitesine sahip yenilikçi fonksiyonel gıdaların geliştirilmesinde yüksek ticari ve biyoteknolojik potansiyel sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: *Bacillus* spp., endospor, proses dayanıklılığı, biyogüvenlik, fonksiyonel gıda.

Safety, Stability, and Industrial Applications of Probiotic *Bacillus* Strains

Abstract

The growing health awareness among consumers has rapidly increased interest in functional foods within the food industry. The limited ability of conventional probiotic microorganisms to maintain viability under high temperatures, pressure, dehydration, and the acidic conditions of the gastrointestinal tract has accelerated the search for alternative probiotic sources. In this context, spore-forming *Bacillus* species have

*Corresponding author-E-mail: a.dikici@usak.edu.tr (ORCID ID: 0000-0001-7302-8766)
E-mail: tesnim.ataki98@gmail.com (ORCID ID: 0009-0002-9592-1496)

©2026 Usak University all rights reserved.

emerged as strategic ingredients in functional food development owing to the exceptional resistance conferred by their endospore structures. This review comprehensively evaluates the endospore structure, cellular mechanisms, processing tolerance, strain-specific safety profiles, and applications in modern food matrices of *Bacillus coagulans*, *Bacillus subtilis*, and *Bacillus clausii*, which have gained considerable importance in both food and clinical applications. Current evidence indicates that, due to their robust endospore architecture, these strains can maintain stability without requiring additional microencapsulation techniques or cold-chain logistics in most applications while preserving their biological efficacy across a wide range of food products, from bakery products to fermented beverages. Nevertheless, given the heterogeneous nature of the genus *Bacillus*, phenotypic and genotypic safety assessments, the exclusion of virulence genes, evaluation of biogenic amine production potential, and screening for acquired antibiotic resistance profiles associated with the risk of horizontal gene transfer are critical considerations in industrial strain selection. In conclusion, the use of spore-forming probiotics, supported by science-based safety assessments and molecular taxonomic classification, offers considerable commercial and biotechnological potential for the development of innovative functional foods with enhanced processing resilience and shelf-life stability.

Keywords: *Bacillus* spp., endospore, processing tolerance, biosafety, functional food.

©2026 Uşak University all rights reserved.

1. Giriş

Gıda endüstrisinde son yıllarda tüketici beklentileri, yalnızca temel beslenme gereksinimlerini karşılayan ürünlerden ziyade, sağlık üzerinde ilave yararlar sağlayabilen fonksiyonel gıdalara yönelmiştir (1). Bu eğilim doğrultusunda probiyotik içeren ürünler; bağışıklık sistemini destekleme, sindirim sistemi fonksiyonlarını iyileştirme ve bağırsak mikrobiyotasının dengesinin korunmasına katkı sağlama potansiyelleri nedeniyle giderek daha fazla önem kazanmaktadır (2). Probiyotik pazarının önümüzdeki yıllarda da büyümesini sürdürmesi beklenmekte olup, bu gelişme bağırsak mikrobiyotasının insan sağlığı üzerindeki rolüne ilişkin bilimsel kanıtların giderek artmasıyla ilişkilendirilmektedir (3,4). Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) ile Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından probiyotikler, "yeterli miktarda uygulandığında konakçı üzerinde sağlık yararı sağlayan canlı mikroorganizmalar" olarak tanımlanmaktadır (5). Bu mikroorganizmaların sağlık üzerine olumlu etkilerini gösterebilmeleri için tüketim anında canlılıklarını korumaları ve gastrointestinal sistem boyunca biyolojik aktivitelerini sürdürebilmeleri gerekmektedir. Probiyotikler; bağırsak bariyer fonksiyonunun güçlendirilmesi, yararlı metabolitlerin üretilmesi ve bağışıklık yanıtının düzenlenmesi gibi birçok fizyolojik süreçte rol oynamaktadır. Geleneksel olarak süt ve süt ürünleri probiyotiklerin başlıca taşıyıcıları olarak kabul edilmekle birlikte, günümüzde fermente sebzeler, meyve suları ve fırıncılık ürünleri gibi farklı gıda matrislerinde de yaygın olarak kullanılmaktadırlar (6,7). Bununla birlikte, probiyotik gıda geliştirme süreçlerinde en önemli zorluklardan biri, özellikle *Lactobacillus* ve *Bifidobacterium* gibi geleneksel laktik asit bakterilerinin çevresel stres faktörlerine duyarlılığıdır (8,9). Yüksek sıcaklık, düşük pH, oksijen maruziyeti ve düşük su aktivitesi gibi koşullar bu bakterilerin canlılığını azaltabilmektedir (10). Mikroenkapsülasyon ve soğuk zincir yönetimi gibi çözümler geliştirilmiş olsa da bu yaklaşımlar maliyet ve uygulama zorlukları doğurmaktadır (11). Bu durum, başta *Bacillus* türleri olmak üzere *Clostridium* cinsi gibi spor oluşturan bakterilerin fonksiyonel gıda geliştirmede dikkat çekmesine yol açmıştır (3,12). Probiyotik potansiyeli taşıyan *Clostridia* arasında özellikle *Clostridium butyricum* ve *Faecalibacterium prausnitzii* (diğer adıyla *Clostridium cluster* IV) gibi türler, bütirat üretimi ve bağışıklık sistemini düzenleme yetenekleri sayesinde bağırsak homeostazının sürdürülmesinde kritik roller

üstlenmektedir (13). Bu bakteriler, bağırsak bariyerini güçlendirerek ve iltihap önleyici etkiler göstererek sağlık üzerinde olumlu sonuçlara neden olmaktadır (14). Buna karşın, araştırmaların ve endüstriyel ilginin daha çok Bacillus türlerine yoğunlaşmasının başlıca nedeni, *Clostridium* cinsinin *Clostridium perfringens*, *Clostridium difficile* ve *Clostridium botulinum* gibi tehlikeli toksinler üreten patojenik üyelerle olan yakın ilişkisidir (15). Bazı *Clostridium* suşlarının botulizm ve nekrotizan enterokolit gibi ciddi hastalıklarla ilişkilendirilmiş olması, bu cinsin probiyotik olarak kullanımında ciddi güvenlik endişeleri ve şüpheler doğurmaktadır (16). Ayrıca, bu bakterilerin çoğunun zorunlu anaerob olması ve sporlanma ile çimlenme (germinasyon) mekanizmalarının, taksonomik ve güvenlik bakımından çok daha iyi bilinen *Bacillus subtilis* gibi türlere kıyasla henüz tam olarak aydınlatılamamış olması, uygulama aşamasında teknik zorluklar yaratmaktadır (15,17). Bu durum, araştırmacıları ve gıda endüstrisini, biyolojik süreçleri daha iyi anlaşılan ve genel olarak güvenli kabul edilen *Bacillus* suşlarını kullanmaya teşvik etmektedir. *Bacillus* türlerinin en önemli avantajı, olumsuz çevre koşullarına karşı endospor oluşturabilmeleridir. Bu yapılar, yüksek sıcaklık, basınç, dehidrasyon ve diğer fiziksel streslere karşı güçlü bir koruma sağlar. Spor formundaki bakteriler mide asidi ve safra tuzlarını hasar görmeden geçerek bağırsakta yeniden aktif hale gelebilir (18,19). Bu doğal dayanıklılık, spor oluşturan probiyotikleri endüstriyel gıda işleme süreçleri için uygun adaylar haline getirmekte ve lojistik açıdan ek avantajlar sunmaktadır (20). Spor oluşturan probiyotikler arasında özellikle *Bacillus coagulans*, *Bacillus subtilis* ve *Bacillus clausii* hem sağlık literatüründe hem de gıda uygulamalarında öne çıkmaktadır (21). *B. coagulans*, spor oluşturma kapasitesi ile laktik asit üretme yeteneğini birleştiren özgün özellikler sergiler ve özellikle işleme dayanımı yüksek gıda ürünleri için dikkat çekici bir adaydır (1). B. subtilis, geleneksel fermente gıdalardaki kullanımı ve ürettiği enzimler ile antimikrobiyal bileşikler sayesinde gıda biyoyararlanımına katkı sağlayabilir (22). *B. clausii* ise özellikle antibiyotik ilişkili sindirim bozuklukları ve bağışıklık sistemi üzerindeki etkileri ile klinik literatürde önemli bir yer tutmaktadır (23,24). Sporlu probiyotiklerin proses dayanıklılığı ile fonksiyonel gıda matrisleri arasındaki ilişki, bu mikroorganizmaların modern gıda teknolojisindeki başarısının temelini oluşturmaktadır. İşleme sırasında maruz kalınan termal ve mekanik etkiler geleneksel probiyotiklerin canlılığını azaltırken, spor formundaki bakteriler bu süreçleri daha az kayıpla atlatabilmektedir (25,26). Gıda matrisinin su aktivitesi, yağ içeriği ve pH gibi özellikleri stabiliteyi etkileyebilse de spor yapısı çoğu zaman ek koruyucu yöntemlere ihtiyaç duymadan uygulanabilmektedir (3). Bu teknolojik avantaj, spor oluşturan probiyotiklerin raf ömrü stabil ürünlerin geliştirilmesinde ve fonksiyonel ürünlerin güvenilirliğinin artırılmasında önemli bir potansiyel taşıdığını göstermektedir. Bununla birlikte, bu bakterilerin endüstriyel süreçlerdeki genel durumu, güvenlik sınırları ve gıdalardaki kullanım alanlarının bütüncül biçimde değerlendirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu doğrultuda hazırlanan bu derleme, spor oluşturan probiyotiklerin proses dayanıklılığı, güvenlik profilleri ve fonksiyonel gıda uygulamalarını değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

2. Spor Oluşturan Probiyotiklerin Temel Özellikleri ve Spor Yapısı

Probiyotik *Bacillus* suşları, gıda endüstrisinde ve klinik uygulamalarda sergiledikleri yüksek teknolojik uyumluluk nedeniyle, spor oluşturan mikrobiyal gruplar arasında önemli bir yer edinmiştir. Gram-pozitif, çubuk şeklinde, genellikle aerobik veya fakültatif anaerobik karakter sergileyen bu mikroorganizmaları geleneksel probiyotiklerden ayıran temel yapısal fark, uygun koşullarda vejetatif formda çoğalabilmeleri, olumsuz koşullarda ise endospor adı verilen son derece dirençli yapılar oluşturabilmeleridir (27). Klasik laktik asit bakterilerinin aksine, uygun olmayan koşullarda her hücre içinde bir adet oval endospor oluşumu gerçekleşmekte ve bu durum bakterinin çevresel stres faktörlerine karşı hayatta kalma stratejisinin temelini oluşturmaktadır. Bu özellik, bakterilerin dış

ortamdan konakçıya güvenle taşınmasını ve gastrointestinal sistemde geçici ama etkili bir kolonizasyon süreci geçirmesini mümkün kılmaktadır (18,28,29). *Bacillus* suşlarının spor morfolojisi türler arasında farklılıklar göstermektedir; örneğin *Bacillus coagulans* sporları terminal yerleşimi ile karakteristik bir yapı sunarken, *Bacillus subtilis* sporları genellikle merkezi veya subterminal konumlanmakta ve hücre yapısını deforme etmemektedir (1,30).

Endospor yapısı, bakteri çekirdeğini fiziksel ve kimyasal streslerden koruyan çok katmanlı bir organizasyona sahiptir. En dışta bulunan protein bazlı kılıf, büyük moleküllerin ve enzimlerin içeri sızmasını engelleyen bir bariyer görevi görürken; kalın peptidoglikan tabakasından oluşan korteks, spor çekirdeğinin dehidre kalmasını sağlayarak termal direnci desteklemektedir (31–33). Endospor yapısı, durağan halde ve metabolik olarak çoğalmayan bir form olup, besin maddelerinin yokluğunda dahi canlılığın çok uzun süre korunmasını sağlamaktadır. Bu direnç kapasitesi, çekirdekteki düşük su içeriği, kalsiyum ile kompleks oluşturan yüksek dipikolinik asit seviyeleri ve DNA'yı stabilize eden küçük, asitte çözünür spor proteinleri sayesinde elde edilmektedir (19). *Bacillus clausii* gibi alkali toleransı yüksek türlerde endospor çekirdeğinin iyonik dengesi, vejetatif hücrelere kıyasla daha kompleks bir H+ homeostazı ile korunmaktadır. Söz konusu bu proteinler DNA'ya sıkıca bağlanarak genetik materyali ekstrem sıcaklık, radyasyon, dehidrasyon ve yüksek basınç gibi vejetatif hücreler için öldürücü olan etkilerden korumaktadır (34–36).

Tüketim sonrasında mide asidinin düşük pH seviyelerini ve ince bağırsaktaki safra tuzlarını hasar görmeden geçen sporlar, bağırsaktaki uygun besin ve nem koşullarıyla karşılaştıklarında hızla çimlenme sürecine girmektedir (37). *B. subtilis* suşları, muropeptidler gibi spesifik sinyal moleküllerini algılayan germinant reseptörleri sayesinde çimlenme sürecini dakikalar içinde başlatabilmektedir (38). Çimlenme ile birlikte metabolik olarak aktif vejetatif hücrelere dönüşen bakteriler, hedef bölgede kolonize olarak enzim ve antimikrobiyal bileşik üretimi gibi fonksiyonel görevlerini yerine getirmeye başlamaktadır (28). Örneğin *B. clausii* suşları çimlenme aşamasında antimikrobiyal özellikli clausin peptitlerini sentezleyerek patojenlerle rekabet etmektedir (39,40). Sporlu probiyotiklerin sunduğu bu doğal dayanıklılık, fonksiyonel gıda üretiminde geleneksel probiyotiklerin ihtiyaç duyduğu maliyetli mikroenkapsülasyon tekniklerine veya hassas soğuk zincir yönetimine olan gereksinimi ortadan kaldırmaktadır (41).

Sporlar, dehidre formda oda sıcaklığında yıllarca stabilitelerini koruyabildikleri gibi; fırınlama, pastörizasyon veya kurutma gibi yüksek termal enerji gerektiren endüstriyel operasyonları minimum canlılık kaybıyla atlatabilmektedir (42). *B. coagulans* suşları, dondurularak kurutulmuş formda ve meyve suyu gibi asidik matrislerde 180 güne varan depolama süreçlerinde genetik stabilitesini ve yüzde 98'in üzerinde canlılığını koruma başarısı göstermiştir (43). Fırınlanmış ürünlerden içeceklere kadar geniş bir matris yelpazesinde probiyotik entegrasyonuna imkân tanıyan bu teknolojik uyum, ürünlerin raf ömrü boyunca hedeflenen canlı hücre popülasyonunun korunmasını da kolaylaştırmaktadır. *B. subtilis* ve *B. coagulans* gibi suşların bisküvi ve kraker gibi ürünlerde 235°C'ye varan fırınlama sıcaklıklarına direnç gösterdiği literatürde kanıtlanmıştır (44). Söz konusu yapısal üstünlükler *Bacillus* suşlarını endüstriyel açıdan cazip bir seçenek haline getirmektedir. Bununla birlikte, bu mikroorganizmaların gıda sistemlerinde güvenle uygulanabilmesi suş-spesifik güvenlik kriterlerinin ve antibiyotik direnç profillerinin kapsamlı biçimde değerlendirilmesini gerektirmektedir (3,42).

3. Güvenlik Profilleri

Bacillus cinsi, içinde hem yararlı hem de patojen türler barındıran heterojen bir yapıya sahiptir. Bu nedenle probiyotik *Bacillus*'ların güvenlik profilleri, suş bazlı bir yaklaşımla ele alınmalıdır (45,46). *Bacillus cereus* grubu bu cins içindeki risk sınırlarını çizen temel patojen örneğidir. Bu grup gıda kaynaklı hastalıklara yol açan emetik toksin ve enterotoksik yapılar üretmektedir. Enterotoksik kompleksler arasında hemolizin [Hbl], non-hemolitik enterotoksin [Nhe] ve sitotoksin K [CytK] öne çıkmaktadır (47,48). Patojen suşlar doku hasarına yol açan proteaz ve fosfolipaz genleri de taşıyabilmektedir. Bu virülans faktörlerinin genomik varlığı, bir suşun probiyotik olarak sınıflandırılmasını engelleyen en temel kriterdir.

B. subtilis ve *B. coagulans* probiyotik gıda endüstrisinde yüksek ticari ve biyoteknolojik değere sahip, güvenli mikroorganizmalardır. Bu izolatların güvenliği için fenotipik olarak hemolitik aktivite ve lesitinaz üretimi sergilemedikleri deneysel olarak doğrulanmalıdır (30). Genotipik olarak suşların kimliği 16S rRNA dizileme ve MALDI-TOF kütle spektrometresi gibi gelişmiş yöntemlerle netleştirilmelidir (49). B. coagulans GBI-30, 6086 suşu üzerinde yürütülen toksisite çalışmaları bu mikroorganizmanın güvenilirliğini pekiştirmiştir. Bu spesifik suşun bakteriyel geri mutasyon, kromozomal anormallik ve mikronükleus testleri sonucunda mutajenik veya genotoksik etki barındırmadığı doğrulanmıştır (50,51). Yapılan 90 günlük subkronik tekrarlayan toksisite analizleri sonucunda suşun insan tüketimi için uygun ve emniyetli olduğu bildirilmiştir (50).

Antibiyotik direnç profilleri sporlu probiyotiklerin gıda ve klinik kullanım standartlarına uygunluğunda belirleyici bir parametredir (52). *B. clausii* suşları, özellikle UBBC07 veya Enterogermina® içeriğindekiler, direnç güvenilirliği adına somut kanıtlar sunmaktadır. Bu suşların doğası gereği barındırdığı kromozomal direnç mekanizmaları gıda güvenliği açısından bir risk oluşturmamaktadır (53–55). Genomik analizler *B. clausii* suşlarındaki makrolid, aminoglikozid ve kloramfenikol dirençlerinin kromozomal DNA üzerinde yer aldığını ve hareketli genetik elementlerle ilişkili olmadığını kanıtlamıştır (56–58). Bu direnç mekanizmaları probiyotiğin klinik antibiyotik tedavileriyle eş zamanlı kullanılmasına imkân tanır. Bu süreçte probiyotik suşlar hayatta kalarak bağırsak mikrobiyotasının yeniden dengelenmesine katkı sunmaktadır (54). Buna karşılık plazmidler üzerinde taşınan kazanılmış dirençler, patojen bakterilere yatay gen transferi yoluyla geçme ihtimali nedeniyle gıda zinciri için teknik bir risk teşkil etmektedir (46). Bu teknik risk, direnç genlerinin gıda zinciri üzerinden yayılma potansiyeli nedeniyle endüstriyel suş seçiminde en kritik eleme kriterlerinden biri olarak tanımlanmakta ve bu genlerin aktarılabilir olup olmadığına dair teknik kanıtların sunulması beklenmektedir (52,59,60).

Tüm genom dizileme çalışmaları virülans genlerinin ve biyojenik amin üretimi gibi istenmeyen metabolik özelliklerin dışlanması adına temel bir araçtır (52). Özellikle *B. subtilis* ve *B. coagulans* gibi suşların amino asit dekarboksilasyonu yoluyla histamin veya tiramin gibi bileşikler üretme potansiyeli genom düzeyinde incelenmelidir (47,61). Moleküler ölçütler kullanılarak yürütülen bu suş spesifik analizler dekarboksilaz aktivitesinin bulunmadığını doğrulamak için zorunludur (62). Ayrıca, taksonomisi güncellenerek *Heyndrickxia coagulans* (eski adıyla *B. coagulans*) veya *Alkalihalobacillus clausii* (eski adıyla *B. clausii*) gibi yeni isimler alan suşların doğru sınıflandırılması endüstriyel süreçlerdeki stabilitelerinin ve fonksiyonel güvenilirliklerinin teyit edilmesi açısından kritik önemdedir (63–65). Moleküler ve biyokimyasal verilere dayanan bu bütünsel yaklaşım, suşların konakçı üzerindeki biyolojik etkilerinin öngörülebilirliğini artırmaktadır (3,8). Bu doğrultuda, endüstriyel boyutta güvenle kullanılan suşların belirlenmesi amacıyla suş bazlı biyoteknolojik kriterlerin ve taksonomik sınıflandırma süreçlerinin ayrıntılı ve kapsamlı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir.

4. Proses Dayanıklılığı ve Fonksiyonel Gıda Uygulamaları

Spor oluşturmayan probiyotiklerin aksine, probiyotik *Bacillus* türleri, sporları sayesinde çeşitli proses koşullarına karşı yüksek direnç gösterebilir (46). Bu yapı, pastörizasyon, püskürtmeli kurutma, dondurma ve rehidrasyon gibi aşamalarda hücrelerin hayatta kalma oranını artırır (3). Örneğin, *B. coagulans* MTCC 5856 suşu 90°C'de 35,7 dakikalık bir D-değeri sergileyerek olağanüstü bir termal stabilite kanıtlarken, *B. subtilis* suşları 235°C ila 260°C gibi aşırı fırınlama sıcaklıklarını minimum canlılık kaybıyla atlatabilmektedir (66,67). Benzer şekilde *B. clausii* sporları da endüstriyel basınç ve yüksek sıcaklık uygulamalarında trehaloz gibi koruyucu şekerlerle desteklendiğinde yüksek geri kazanım oranları sunarak dayanıklılık profilini tamamlamaktadır (68). Endospor yapısının sağladığı metabolik uyku hali, bu mikroorganizmaların ürün raf ömrü boyunca teknolojik ve genetik stabilitelerini muhafaza etmesini sağlar (69). *Bacillus* sporları, oda sıcaklığında ve düşük nem koşullarında zarar görmeden yıllarca canlı kalabilir; bu durum onları soğuk zincir gerektirmeyen ürünler için ideal bir seçenek kılar (46,70). *B. coagulans* BCP92 suşunun meyve suyu ve enerji içeceği gibi matrislerde 180 günlük depolama sonunda bile yüksek canlılık koruduğu bildirilmiştir (43). Aynı şekilde, *B. subtilis* UBBS-14 suşunun Nabat adlı İran geleneksel şekerleme ürünlerinde altı aylık raf ömrü sonunda canlılık başarısı %89 olarak kaydedilmiştir (42). *B. clausii* suşları da liyofilize formda oda sıcaklığındaki uzun süreli depolamalarda bile hedef hücre sayısını muhafaza ederek sürdürülebilir bir raf ömrü sunmaktadır. Zorlu çevre koşullarına rağmen genetik yapısını koruyan bu suşlar, fonksiyonel gıdaların etkinliğini tüketim anına kadar sürdürür (8,71).

Sporlu probiyotiklerin farklı gıda matrislerine uyum yeteneği, fırıncılık ürünlerinden fermente analoglara kadar geniş bir uygulama alanı yaratmaktadır (1,72). Bu mikroorganizmalar, ilave edildikleri gıdanın duyusal, tekstürel ve fizikokimyasal yapısını bozmadan fonksiyonel değerini artırma yeteneğine sahiptir (73). *B. coagulans* GBI-30 6086'ın jöle şekerleme matrisine ilave edildiğinde, 90 günlük depolama sonunda sağkalım oranının yüksek seviyede korunduğu belirlenmiştir. Bu süreçte bu suşun varlığının, ürünün temel fizikokimyasal özellikleri, toplam antosiyanin içeriği ve antioksidan kapasitesi üzerinde herhangi bir olumsuz etki yaratmadığı rapor edilmiştir (74). Hem fırıncılık ürünlerinde [ekmek, makarna] hem de düşük su aktivitesine sahip lipid matrislerinde [çikolata] performansı incelenen *B. coagulans* GBI-30, 6086 suşu, yüksek işleme direnci sergilemiştir. Agresif termal proseslere ve depolama koşullarına rağmen ürün kalitesinde bozulmaya yol açmaksızın hedef biyoyararlılık dozunda kalabilmiştir (10,25). *B. subtilis* DG101 gibi suşlar geleneksel fermente soya gıdalarında olduğu gibi fırınlanmış bisküvi yapılarında da yüksek başarıyla konumlandırılmaktadır (22,44). Ayrıca *B. clausii* sporlarının kaju bazlı analog yoğurtlarda veya probiyotik tofu üretiminde kullanılması, bitki bazlı ve fermente ürünlerde duyusal bütünlüğün korunmasına ve mikrobiyotayı destekleyen fonksiyonel alternatiflerin geliştirilmesine olanak tanır (75,76). Bu bütünsel uyum, spor oluşturan bakterilerin modern gıda endüstrisindeki stratejik konumunu güçlendirmektedir (46).

Son yıllarda gıda pazarında fonksiyonel ürünlere olan talebin artması, sporlu probiyotiklerin teknolojik üstünlüklerinin daha derinlemesine araştırılmasına zemin hazırlamıştır. Bu doğrultuda *Bacillus* suşlarının fırıncılık ürünlerinden et ürünlerine, fermente içeceklerden yağ ve karbonhidrat bazlı matrislere kadar oldukça geniş ve zorlu bir yelpazede fonksiyonel ürün geliştirmek amacıyla başarıyla entegre edildiği görülmektedir. Farklı probiyotik *Bacillus* tür ve suşlarının çeşitli gıda matrislerindeki kullanımına dair yapılan güncel çalışmaların bazıları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1 Fonksiyonel Ürün Geliştirmeye Yönelik Sporlu Probiyotik [*Bacillus* spp.] İçeren Bazı Güncel Çalışmalar

Tür/Suş	Ürün / Gıda Matrisi	Temel Bulgular	Referans
B. clausii	Havuç tozu ile zenginleştirilmiş yoğurt	Yoğurt matrisinde *B. clausii* canlılığının başarıyla korunduğu; havuç tozu ilavesinin ürünün besinsel, reolojik ve mikro-yapısal özelliklerini optimize ederek genel kaliteyi ve duyusal kabul edilebilirliği artırdığı saptanmıştır.	(77)
B. clausii OHRC1	Hazır gıdalar	Suşun in vitro gastrik asit ve safra ortamlarında yüksek sağkalım oranı gösterdiği; hemolitik aktivite barındırmayarak biyolojik güvenlik standartlarını karşıladığı belirlenmiştir.	(78)
B. clausii UBBC07	Sıcak/soğuk içecekler, takviyeler, şekerleme vb.	Üretim prosesleri ve depolama periyotlarında yüksek stabilite gösteren suşun, in vitro protein sindirilebilirliğini ve gıdaların besinsel kalitesini artırdığı saptanmıştır.	(79)
B. coagulans	Soya sütü	Optimizasyonu sağlanan fermantasyon koşullarında yüksek hücre canlılığına ulaşılmış; elde edilen ürünün duyusal nitelikler açısından yüksek kabul edilebilirliğe sahip fonksiyonel bir içecek olduğu belirlenmiştir.	(80)
B. coagulans GBI-30, 6086	Yoğurt / Fermente süt	Suşun asitlik gelişimini ve proteolizi teşvik ederek depolama sürecinde canlılığını koruduğu; bu yönüyle yeni fonksiyonel süt ürünlerinin formülasyonuna uygunluğu gösterilmiştir.	(81)
B. coagulans LBSC DSM 17654	Karbonhidrat bazlı gıdalar	İlgili suşun, farklı gıda matrislerinde üretim ve depolama süreçleri boyunca yüksek stabilite sergilediği; in vitro ve in vivo biyogüvenlik kriterlerini karşılayarak fonksiyonel gıda bileşeni niteliği taşıdığı doğrulanmıştır.	(82)

B. coagulans LMG S-31876	Fermente pirinç	Yüksek asit ve safra toleransı sergileyen suşun, üstün teknolojik ve fenotipik özellikleri ile biyogüvenlik kriterlerini karşıladığı ve fonksiyonel gıdalar için güçlü bir probiyotik aday olduğu kanıtlanmıştır.	(83)
B. coagulans X26	Melas ve maya ekstraktı...	Fermantasyon verimliliği ile spor veriminin optimize edildiği; suşun zorlu endüstriyel proses şartlarına yüksek adaptasyon kapasitesine sahip olduğu ortaya konmuştur.	(84)
B. subtilis KU3	Siyah pirinç kepeği	24 saatlik fermantasyon boyunca suşun fenolik bileşik profilini zenginleştirdiği ve antioksidan aktivitede belirgin bir artış sağlayarak fonksiyonel gıda üretiminde kullanılabilirliği gösterilmiştir.	(85)
B. subtilis MKHJ 1-1	Kore kökenli fermente soya fasulyesi	Suşun yüksek asit ve safra tuzları toleransına sahip olduğu, antioksidan aktivite sergilediği ve l-asparaginaz üretimi yoluyla gıda güvenliğine katkı sunabilecek potansiyel bir probiyotik aday olduğu tespit edilmiştir.	(86)
B. subtilis natto	Natto	Soya fermantasyonu sürecinde proteolitik aktivitenin ve nattokinaz enzim sentezinin optimize edildiği; ürünün antioksidan ve fonksiyonel kalitesinin belirgin şekilde artırıldığı rapor edilmiştir.	(87)
B. subtilis YH91-2	Geleneksel Çin kökenli fermente ürünler	İzolatın biyogüvenlik kriterlerini eksiksiz karşıladığı, güçlü bakteriyosin sentezleyerek gıda koruma sistemlerinde doğal bir koruyucu olarak konumlandırılabileceği doğrulanmıştır.	(88)
B. coagulans VHProbi C08 ve *B. coagulans* GBI-30, 6086	Kahve, çay, hazır noodle, unlu mamuller	Isıl işlem kinetiği modelleri aracılığıyla suşların termal inaktivasyon dirençleri (*D* ve *z* değerleri) hesaplanmış ve yüksek sıcaklık içeren endüstriyel proseslerdeki kararlılıkları matematiksel olarak kanıtlanmıştır.	(89)

B. coagulans ve *B. clausii*	Isıl işlem görmüş et ürünleri	Sporların ısıl işlem ve soğuk depolamada yüksek sağkalım gösterdiği; simüle sindirim koşullarına direnç sergileyen suşların fonksiyonel et ürünlerinde güvenle kullanılabileceği kanıtlanmıştır	(90)
B. coagulans ve *B. clausii*	Tahıl barları	Ürünün depolama periyodu boyunca yüksek probiyotik canlılığının korunduğu, duyusal parametrelerde olumsuz bir sapma yaşanmadığı ve in vitro biyoerişilebilirliğin arttığı tespit edilmiştir.	(91)

5. Sonuç ve Öneriler

Bu derlemede, spor oluşturan probiyotiklerin özellikle *B. coagulans*, *B. subtilis* ve *B. clausii* suşları üzerinden fonksiyonel gıda geliştirme açısından taşıdığı potansiyel değerlendirilmiştir. Bu mikroorganizmaların klasik probiyotiklere kıyasla daha yüksek proses dayanıklılığı, daha uzun raf ömrü kararlılığı ve farklı gıda matrislerine daha iyi uyum gösterdiğini ortaya koymaktadır. Endospor oluşturma yetenekleri sayesinde yüksek sıcaklık, düşük pH, kurutma ve depolama koşullarında canlılıklarını büyük ölçüde koruyabilmeleri, onları fonksiyonel gıda formülasyonlarında özellikle cazip hale getirmektedir. Ayrıca bu suşların yalnızca canlılık açısından değil, aynı zamanda ürünün duyusal, fizikokimyasal ve besinsel özellikleri üzerinde de olumlu etkiler oluşturabildiği görülmüştür. Bununla birlikte, sporlu probiyotiklerin endüstriyel kullanımı suş-spesifik güvenlik değerlendirmeleriyle desteklenmelidir. Özellikle virülans genleri, biyojenik amin üretim potansiyeli, antibiyotik direnç profili ve yatay gen transferi riski gibi parametreler, ürün geliştirme aşamasında sistematik biçimde incelenmelidir. Taksonomik değişiklikler nedeniyle bazı suşların güncel isimlendirme altında doğru şekilde sınıflandırılması da önem taşımaktadır. Bu nedenle, tüm genom dizileme, fenotipik güvenlik testleri ve uzun dönem toksisite analizleri, sporlu probiyotiklerin gıda uygulamalarında güvenilirliğinin artırılması açısından temel araçlar olarak değerlendirilmelidir.

Gelecekte yapılacak çalışmaların, spor oluşturan probiyotiklerin farklı gıda sistemlerindeki davranışlarını daha ayrıntılı biçimde incelemesi önemlidir. Özellikle fırıncılık ürünleri, içecekler, et ürünleri, tahıl bazlı atıştırmalıklar ve bitki temelli alternatif gıdalarda canlılık kaybı, metabolik aktivite, duyusal kabul ve biyoerişilebilirlik ilişkisi daha kapsamlı olarak araştırılmalıdır. Endüstriyel ölçekte uygulanabilirlik açısından, maliyet-etkin üretim süreçleri ve ölçek büyütme stratejileri de gelecekteki araştırmaların önemli bir parçası olmalıdır.

Sonuç olarak, spor oluşturan probiyotikler modern gıda teknolojisinde yalnızca bir probiyotik alternatifi değil, aynı zamanda raf ömrü stabil, güvenli ve biyolojik açıdan etkin fonksiyonel ürünlerin geliştirilmesinde stratejik bir bileşen olarak öne çıkmaktadır. Bu mikroorganizmaların bilimsel temelli güvenlik değerlendirmeleriyle desteklenen suş bazlı kullanımı, fonksiyonel gıda sektöründe yenilikçi ürünlerin geliştirilmesine önemli katkı sağlayacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma, Tesnim Ataki'nin yüksek lisans tez çalışmasının bir bölümünden üretilmiştir.

Çıkar Çatışması

Yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Katkı Oranı

Yazarlar çalışmaya eşit oranda katkı sağlamıştır.

Etik Kurul Beyanı

Bu çalışma bir derleme niteliğinde olup insan veya hayvan denekler üzerinde herhangi bir araştırma içermediğinden etik kurul izni gerektirmemektedir.

Kaynaklar

1. Konuray G, Erginkaya Z. Potential Use of Bacillus Coagulans in the Food Industry. Foods. 13 Haziran 2018;7(6):92. doi:10.3390/foods7060092
2. Awulachew MT. Probiotics and thermal processing: A review of challenges and protective strategies. Lett Food Res. 06 Eylül 2025;1(4). doi:10.26656/lifr.1.e25057
3. Payne J, Bellmer D, Jadeja R, Muriana P. The Potential of Bacillus Species as Probiotics in the Food Industry: A Review. Foods. 02 Ağustos 2024;13(15):2444. doi:10.3390/foods13152444
4. Belkaid Y, Hand TW. Role of the Microbiota in Immunity and Inflammation. Cell. Mart 2014;157(1):121-41. doi:10.1016/j.cell.2014.03.011
5. FAO/WHO. Guidelines for the Evaluation of Probiotics in Food. 2002.
6. Chugh B, Kamal-Eldin A. Bioactive compounds produced by probiotics in food products. Curr Opin Food Sci. Nisan 2020;32:76-82. doi:10.1016/j.cofs.2020.02.003
7. Hill C, Guarner F, Reid G, Gibson GR, Merenstein DJ, Pot B, vd. The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic. Nat Rev Gastroenterol Hepatol. Ağustos 2014;11(8):506-14. doi:10.1038/nrgastro.2014.66
8. Elshaghabee FMF, Rokana N, Gulhane RD, Sharma C, Panwar H. Bacillus As Potential Probiotics: Status, Concerns, and Future Perspectives. Front Microbiol. 10 Ağustos 2017;8:1490. doi:10.3389/fmicb.2017.01490
9. Madoramae H, Bhoopong P, Lertcanawanichakul M. Spore-forming lactic acid bacteria: Stability, health benefits, and applications. Food Humanity. Aralık 2025;5:100946. doi:10.1016/j.foohum.2025.100946
10. Mani-López E, Ramírez-Corona N, López-Malo A. Advances in probiotic incorporation into cereal-based baked foods: Strategies, viability, and effects–A review. Appl Food Res. Aralık 2023;3(2):100330. doi:10.1016/j.afres.2023.100330

11. Burgain J, Gaiani C, Linder M, Scher J. Encapsulation of probiotic living cells: From laboratory scale to industrial applications. J Food Eng. Haziran 2011;104(4):467-83. doi:10.1016/j.jfoodeng.2010.12.031
12. Nicolas GM. Secondary Metabolites from Bacillus spp. probiotics as potential treatments for multidrug-resistant pathogens: A comprehensive review. Curr Res Microb Sci. 2025;8:100392. doi:10.1016/j.crmicr.2025.100392
13. Luo H, Yang R, Zhao Y, Wang Z, Liu Z, Huang M, vd. Recent advances and strategies in process and strain engineering for the production of butyric acid by microbial fermentation. Bioresour Technol. Nisan 2018;253:343-54. doi:10.1016/j.biortech.2018.01.007
14. Miao R, Zhu X, Wan C, Wang Z, Wen Y, Li Y. Effect of Clostridium butyricum supplementation on the development of intestinal flora and the immune system of neonatal mice. Exp Ther Med. 07 Kasım 2017. doi:10.3892/etm.2017.5461
15. Guo P, Zhang K, Ma X, He P. Clostridium species as probiotics: potentials and challenges. J Anim Sci Biotechnol. Aralık 2020;11(1):24. doi:10.1186/s40104-019-0402-1
16. Grenda T, Grenda A, Domaradzki P, Krawczyk P, Kwiatek K. Probiotic Potential of Clostridium spp.—Advantages and Doubts. Curr Issues Mol Biol. 07 Temmuz 2022;44(7):3118-30. doi:10.3390/cimb44070215
17. Paredes-Sabja D, Shen A, Sorg JA. Clostridium difficile spore biology: sporulation, germination, and spore structural proteins. Trends Microbiol. Temmuz 2014;22(7):406-16. doi:10.1016/j.tim.2014.04.003
18. Cutting SM. Bacillus probiotics. Food Microbiol. Nisan 2011;28(2):214-20. doi:10.1016/j.fm.2010.03.007
19. Setlow P. Spore Resistance Properties. Eichenberger P, Driks A, editörler. Microbiol Spectr. 19 Eylül 2014;2(5):2.5.11. doi:10.1128/microbiolspec.TBS-0003-2012
20. Foligné B, Daniel C, Pot B. Probiotics from research to market: the possibilities, risks and challenges. Curr Opin Microbiol. Haziran 2013;16(3):284-92. doi:10.1016/j.mib.2013.06.008
21. Raman J, Noh JS, Kim JS, Cho G, Kim DH, Song J, vd. Role of Bacillus Species in Food Industry: Advantages and Limitations. J Microbiol Biotechnol. 22 Ekim 2025;35:e2507043. doi:10.4014/jmb.2507.07043
22. Leñini C, Rodriguez Ayala F, Goñi AJ, Rateni L, Nakamura A, Grau RR. Probiotic properties of Bacillus subtilis DG101 isolated from the traditional Japanese fermented food nattō. Front Microbiol. 28 Eylül 2023;14:1253480. doi:10.3389/fmicb.2023.1253480
23. De Castro JA, Kesavelu D, Lahiri KR, Chaijitraruch N, Chongsrisawat V, Jog PP, vd. Recommendations for the adjuvant use of the poly-antibiotic–resistant probiotic Bacillus clausii (O/C, SIN, N/R, T) in acute, chronic, and antibiotic-associated diarrhea in children: consensus from Asian experts. Trop Dis Travel Med Vaccines. Aralık 2020;6(1):21. doi:10.1186/s40794-020-00120-4
24. De Castro JAA, Guno MJVR, Perez MO. Bacillus clausii as adjunctive treatment for acute community-acquired diarrhea among Filipino children: a large-scale, multicenter, open-label study (CODDLE). Trop Dis Travel Med Vaccines. Aralık 2019;5(1):14. doi:10.1186/s40794-019-0089-5
25. Almada-Érix CN, Almada CN, Souza Pedrosa GT, Paulo Biachi J, Bonatto MS, Schmiele M, vd. Bread as probiotic carriers: Resistance of Bacillus coagulans GBI-30 6086 spores through processing steps. Food Res Int. Mayıs 2022;155:111040. doi:10.1016/j.foodres.2022.111040
26. Soares MB, Martinez RCR, Pereira EPR, Balthazar CF, Cruz AG, Ranadheera CS, vd. The resistance of Bacillus, Bifidobacterium, and Lactobacillus strains with

claimed probiotic properties in different food matrices exposed to simulated gastrointestinal tract conditions. Food Res Int. Kasım 2019;125:108542. doi:10.1016/j.foodres.2019.108542

27. Boone DR, Castenholz RW, Garrity GM, editörler. Bergey's manual of systematic bacteriology. 2. bs. C. 1. New York: Springer; 2001.
28. Bernardeau M, Lehtinen MJ, Forssten SD, Nurminen P. Importance of the gastrointestinal life cycle of Bacillus for probiotic functionality. J Food Sci Technol. Temmuz 2017;54(8):2570-84. doi:10.1007/s13197-017-2688-3
29. Davis C. Enumeration of probiotic strains: Review of culture-dependent and alternative techniques to quantify viable bacteria. J Microbiol Methods. Ağustos 2014;103:9-17. doi:10.1016/j.mimet.2014.04.012
30. Soares MB, Almada CN, Pereira EPR, Ferreira BM, Balthazar CF, Khorshidian N, vd. Review - Sporeforming probiotic bacteria: Characteristics, health benefits, and technological aspects for their applications in foods and beverages. Trends Food Sci Technol. Ağustos 2023;138:453-69. doi:10.1016/j.tifs.2023.06.029
31. Driks A. Overview: development in bacteria: spore formation in Bacillus subtilis. Cell Mol Life Sci CMLS. 01 Mart 2002;59(3):389-91. doi:10.1007/s00018-002-8430-x
32. Riesenman PJ, Nicholson WL. Role of the Spore Coat Layers in Bacillus subtilis Spore Resistance to Hydrogen Peroxide, Artificial UV-C, UV-B, and Solar UV Radiation. Appl Environ Microbiol. Şubat 2000;66(2):620-6. doi:10.1128/AEM.66.2.620-626.2000
33. Setlow P. Spores of Bacillus subtilis: their resistance to and killing by radiation, heat and chemicals. J Appl Microbiol. Eylül 2006;101(3):514-25. doi:10.1111/j.1365-2672.2005.02736.x
34. Cenci G, Trotta F, Caldini G. Tolerance to challenges miming gastrointestinal transit by spores and vegetative cells of Bacillus clausii. J Appl Microbiol. Aralık 2006;101(6):1208-15. doi:10.1111/j.1365-2672.2006.03042.x
35. Khatri I, Sharma G, Subramanian S. Composite genome sequence of Bacillus clausii, a probiotic commercially available as Enterogermina®, and insights into its probiotic properties. BMC Microbiol. Aralık 2019;19(1):307. doi:10.1186/s12866-019-1680-7
36. Mazzantini D, Calvigioni M, Celandroni F, Saba A, Ghelardi E. In Vitro Analysis of an Alkalihalobacillus clausii Spore-Based Probiotic Formulation Clarifies the Mechanisms Underlying Its Beneficial Properties. Biomolecules. 08 Eylül 2025;15(9):1294. doi:10.3390/biom15091294
37. Lu S, Liao X, Zhang L, Fang Y, Xiang M, Guo X. Nutrient L-Alanine-Induced Germination of Bacillus Improves Proliferation of Spores and Exerts Probiotic Effects in vitro and in vivo. Front Microbiol. 02 Aralık 2021;12:796158. doi:10.3389/fmicb.2021.796158
38. Paidhungat M, Ragkousi K, Setlow P. Genetic Requirements for Induction of Germination of Spores of Bacillus subtilis by Ca2+ -Dipicolinate. J Bacteriol. 15 Ağustos 2001;183(16):4886-93. doi:10.1128/JB.183.16.4886-4893.2001
39. Abriouel H, Franz CMAP, Omar NB, Gálvez A. Diversity and applications of Bacillus bacteriocins. FEMS Microbiol Rev. Ocak 2011;35(1):201-32. doi:10.1111/j.1574-6976.2010.00244.x
40. Cutting SM, Ricca E. Bacterial spore-formers: friends and foes. FEMS Microbiol Lett. Eylül 2014;358(2):107-9. doi:10.1111/1574-6968.12572
41. Rehamnia B, Lee NM, Kuktaite R, Kacem Chaouche N. Screening of Spore-Forming Bacteria with Probiotic Potential in Pristine Algerian Caves. Tang X, editör. Microbiol Spectr. 26 Ekim 2022;10(5):e00248-22. doi:10.1128/spectrum.00248-22

42. Adibpour N, Hosseininezhad M, Pahlevanlo A. Application of spore-forming probiotic Bacillus in the production of Nabat - A new functional sweetener. LWT. Ekim 2019;113:108277. doi:10.1016/j.lwt.2019.108277
43. Shaikh SS, Joshi C, Malek F, Malik A, Gandhi M. Food Storage, Processing and Genetic Stability Studies of Bacillus (Heyndrickxia) coagulans BCP92 (MTCC 25460). Appl Food Biotechnol. 24 Haziran 2024;11(1):e22. doi:10.22037/afb.v11i1.44919
44. Payne J, Bellmer D, Jadeja R. Determining the viability and stability of Bacillus in baked products. LWT. Şubat 2025;218:117519. doi:10.1016/j.lwt.2025.117519
45. Spencer RC. Bacillus anthracis. J Clin Pathol. Mart 2003;56(3):182-7. doi:10.1136/jcp.56.3.182
46. Todorov SD, Ivanova IV, Popov I, Weeks R, Chikindas ML. Bacillus spore-forming probiotics: benefits with concerns? Crit Rev Microbiol. 04 Temmuz 2022;48(4):513-30. doi:10.1080/1040841X.2021.1983517
47. Lee NK, Kim WS, Paik HD. Bacillus strains as human probiotics: characterization, safety, microbiome, and probiotic carrier. Food Sci Biotechnol. Ekim 2019;28(5):1297-305. doi:10.1007/s10068-019-00691-9
48. Stenfors Arnesen LP, Fagerlund A, Granum PE. From soil to gut: Bacillus cereus and its food poisoning toxins. FEMS Microbiol Rev. Temmuz 2008;32(4):579-606. doi:10.1111/j.1574-6976.2008.00112.x
49. Jeżewska-Frąckowiak J, Seroczyńska K, Banaszczyk J, Woźniak D, Żylicz-Stachula A, Skowron PM. The promises and risks of probiotic Bacillus species. Acta Biochim Pol. 06 Aralık 2018. doi:10.18388/abp.2018_2652
50. Endres JR, Clewell A, Jade KA, Farber T, Hauswirth J, Schauss AG. Safety assessment of a proprietary preparation of a novel Probiotic, Bacillus coagulans, as a food ingredient. Food Chem Toxicol. Haziran 2009;47(6):1231-8. doi:10.1016/j.fct.2009.02.018
51. Fares C, Menga V, Martina A, Pellegrini N, Scazzina F, Torriani S. Nutritional profile and cooking quality of a new functional pasta naturally enriched in phenolic acids, added with β-glucan and Bacillus coagulans GBI-30, 6086. J Cereal Sci. Eylül 2015;65:260-6. doi:10.1016/j.jcs.2015.07.017
52. Saarela MH. Safety aspects of next generation probiotics. Curr Opin Food Sci. Aralık 2019;30:8-13. doi:10.1016/j.cofs.2018.09.001
53. Celandroni F, Vecchione A, Cara A, Mazzantini D, Lupetti A, Ghelardi E. Identification of Bacillus species: Implication on the quality of probiotic formulations. Sharma V, editör. PLOS ONE. 20 Mayıs 2019;14(5):e0217021. doi:10.1371/journal.pone.0217021
54. Green DH, Wakeley PR, Page A, Barnes A, Baccigalupi L, Ricca E, vd. Characterization of Two Bacillus Probiotics. Appl Environ Microbiol. Eylül 1999;65(9):4288-91. doi:10.1128/AEM.65.9.4288-4291.1999
55. Lakshmi SG, Jayanthi N, Saravanan M, Ratna MS. Safety assesment of Bacillus clausii UBBC07, a spore forming probiotic. Toxicol Rep. 2017;4:62-71. doi:10.1016/j.toxrep.2016.12.004
56. Bozdogan B, Galopin S, Gerbaud G, Courvalin P, Leclercq R. Chromosomal aadD2 Encodes an Aminoglycoside Nucleotidyltransferase in Bacillus clausii. Antimicrob Agents Chemother. Nisan 2003;47(4):1343-6. doi:10.1128/AAC.47.4.1343-1346.2003
57. Bozdogan B, Galopin S, Leclercq R. Characterization of a New erm -Related Macrolide Resistance Gene Present in Probiotic Strains of Bacillus clausii. Appl Environ Microbiol. Ocak 2004;70(1):280-4. doi:10.1128/AEM.70.1.280-284.2004

58. Galopin S, Cattoir V, Leclercq R. A chromosomal chloramphenicol acetyltransferase determinant from a probiotic strain of Bacillus clausii. FEMS Microbiol Lett. Temmuz 2009;296(2):185-9. doi:10.1111/j.1574-6968.2009.01633.x
59. Anadón A, Rosa Martínez-Larrañaga M, Aranzazu Martínez M. Probiotics for animal nutrition in the European Union. Regulation and safety assessment. Regul Toxicol Pharmacol. Haziran 2006;45(1):91-5. doi:10.1016/j.yrtph.2006.02.004
60. Li P, Tian W, Jiang Z, Liang Z, Wu X, Du B. Genomic Characterization and Probiotic Potency of Bacillus sp. DU-106, a Highly Effective Producer of L-Lactic Acid Isolated From Fermented Yogurt. Front Microbiol. 20 Eylül 2018;9:2216. doi:10.3389/fmicb.2018.02216
61. Do Prado FG, Pagnoncelli MGB, De Melo Pereira GV, Karp SG, Soccol CR. Fermented Soy Products and Their Potential Health Benefits: A Review. Microorganisms. 09 Ağustos 2022;10(8):1606. doi:10.3390/microorganisms10081606
62. Mah JH, Park Y, Jin Y, Lee JH, Hwang HJ. Bacterial Production and Control of Biogenic Amines in Asian Fermented Soybean Foods. Foods. 25 Şubat 2019;8(2):85. doi:10.3390/foods8020085
63. Bader J, Albin A, Stahl U. Spore-forming bacteria and their utilisation as probiotics. Benef Microbes. 01 Mart 2012;3(1):67-75. doi:10.3920/BM2011.0039
64. Li L, Liu B, Cao J, Zhang H, Tian F, Yu L, vd. Different effects of Bacillus coagulans vegetative cells and spore isolates on constipation-induced gut microbiota dysbiosis in mice. Food Funct. 2022;13(18):9645-57. doi:10.1039/D2FO01668K
65. Tarik M, Ramakrishnan L, Bhatia N, Goswami R, Kandasamy D, Roy A, vd. The effect of Bacillus coagulans Unique IS-2 supplementation on plasma amino acid levels and muscle strength in resistance trained males consuming whey protein: a double-blind, placebo-controlled study. Eur J Nutr. Ağustos 2022;61(5):2673-85. doi:10.1007/s00394-022-02844-9
66. Côté J, Dion J, Burguière P, Casavant L, Van Eijk J. Probiotics in Bread and Baked Products: A New Product Category. Cereal Foods World. Kasım 2013;58(6):293-6. doi:10.1094/CFW-58-6-0293
67. Majeed M, Majeed S, Arumugam S, Ali F, Beede K. Comparative evaluation for thermostability and gastrointestinal survival of probiotic Bacillus coagulans MTCC 5856. Biosci Biotechnol Biochem. 24 Mart 2021;85(4):962-71. doi:10.1093/bbb/zbaa116
68. Caccamo MT, Magazù S. An FT-IR Based Investigation of Trehalose Mediated Thermal Stabilisation of Bacillus clausii. Curr Nutr Food Sci. 09 Haziran 2021;17(6):566-71. doi:10.2174/1573401317666210210130042
69. Mingmongkolchai S, Panbangred W. Bacillus probiotics: an alternative to antibiotics for livestock production. J Appl Microbiol. Haziran 2018;124(6):1334-46. doi:10.1111/jam.13690
70. Urdaci MC, Bressollier P, Pinchuk I. Bacillus clausii Probiotic Strains: Antimicrobial and Immunomodulatory Activities. J Clin Gastroenterol. Temmuz 2004;38(Supplement 2):S86-90. doi:10.1097/01.mcg.0000128925.06662.69
71. Sanders ME, Morelli L, Tompkins TA. Sporeformers as Human Probiotics: Bacillus, Sporolactobacillus , and Brevibacillus. Compr Rev Food Sci Food Saf. Temmuz 2003;2(3):101-10. doi:10.1111/j.1541-4337.2003.tb00017.x
72. Gomes Da Cruz A, Alonso Buriti FC, Batista De Souza CH, Fonseca Faria JA, Isay Saad SM. Probiotic cheese: Health benefits, technological and stability aspects. Trends Food Sci Technol. Ağustos 2009;20(8):344-54. doi:10.1016/j.tifs.2009.05.001

73. Guimarães JT, Balthazar CF, Silva R, Rocha RS, Graça JS, Esmerino EA, vd. Impact of probiotics and prebiotics on food texture. Curr Opin Food Sci. Haziran 2020;33:38-44. doi:10.1016/j.cofs.2019.12.002
74. Miranda JS, Costa BV, De Oliveira IV, De Lima DCN, Martins EMF, De Castro Leite Júnior BR, vd. Probiotic jelly candies enriched with native Atlantic Forest fruits and Bacillus coagulans GBI-30 6086. LWT. Mayıs 2020;126:109275. doi:10.1016/j.lwt.2020.109275
75. Ramos GD, Dias SLDS, Ferreira IM, Silva AMOE, Carvalho MGD. Cashew yogurt shelf life with Bacillus clausii: chemical, physicochemical and microbiological evaluation. Rev Bras Hig E Sanidade Anim. 2019;13(4). doi:10.5935/1981-2965.20190033
76. Zeybekoğlu N, Özhan H, Boyacioğlu O. Probiotic Tofu with Bacillus clausii Spores to Support Gastrointestinal Microflora. Adnan Menderes Üniversitesi Sağlık Bilim Fakültesi Derg. 30 Eylül 2021;5(3):534-45. doi:10.46237/amusbfd.929382
77. Refaey MM, Al-Amir EM, Zalma SA. Development of a Novel Multifunctional Probiotic Yogurt Fortified with Bacillus clausii and Carrot Powder with Enhanced Nutritional, Sensory, Rheological and Ultrastructural Properties. J Food Dairy Sci. 07 Mart 2026;0(0):35-49. doi:10.21608/jfds.2026.468571.1228
78. Chelliah R, Kim NH, Rubab M, Yeon SJ, Barathikannan K, Vijayalakshmi S, vd. Robust and safe: Unveiling Bacillus clausii OHRC1's potential as a versatile probiotic for enhanced food quality and safety. LWT. Temmuz 2024;203:116291. doi:10.1016/j.lwt.2024.116291
79. Maity C, Bagkar P, Dixit Y, Tiwari A. Alkalihalobacillus clausii 088AE as a functional and medical food ingredient: assessment of in vitro protein digestibility and food calorie reduction. Int J Food Sci Technol. Haziran 2022;57(6):3440-55. doi:10.1111/ijfs.15668
80. Joyce ONC, Chinweike OF, Godswill CC, Ifeanyi OO, Vivian IN, Christian SO. Production of Fermented Soymilk Drink Containing Probiotic Bacillus coagulans. Eur J Nutr Food Saf. 08 Kasım 2021;51-61. doi:10.9734/ejnfs/2021/v13i730436
81. Cao J, Yu Z, Zhang Q, Yu L, Zhao J, Zhang H, vd. Effects of Bacillus coagulans GBI-30, 6086 as an adjunct starter culture on the production of yogurt. Food Res Int. Ekim 2022;160:111398. doi:10.1016/j.foodres.2022.111398
82. Maity C, Bagkar P, Dixit Y, Tiwari A, Gupta AK. Process and Storage Stability of Bacillus coagulans LBSC in Food Matrices and Appraisal of Calorific Restriction: B. coagulans LBSC stability and calorie restriction. Appl Food Biotechnol. 29 Aralık 2020;8(1):57-69. doi:10.22037/afb.v8i1.31212
83. Sreenadh M, Kumar KR, Nath S. In Vitro Evaluation of Weizmannia coagulans Strain LMG S-31876 Isolated from Fermented Rice for Potential Probiotic Properties, Safety Assessment and Technological Properties. Life. 06 Eylül 2022;12(9):1388. doi:10.3390/life12091388
84. Xu L, Zhan ZC, Du S, Wang S, Zhang Q, Wang C, vd. Isolation, functional evaluation, and fermentation process optimization of probiotic Bacillus coagulans. El Basuini MF, editör. PLOS ONE. 03 Kasım 2023;18(11):e0286944. doi:10.1371/journal.pone.0286944
85. Yoon HJ, Lee KA, Lee NK, Jang HJ, Paik HD. Isolation of Bacillus spp. from Korean fermented foods and their application in black rice bran fermentation. Food Eng Prog. Kasım 2024;28(4):289-95. doi:10.13050/foodengprog.2024.28.4.289
86. Lim H, Oh S, Yu S, Kim M. Isolation and Characterization of Probiotic Bacillus subtilis MKHJ 1-1 Possessing L-Asparaginase Activity. Appl Sci. 14 Mayıs 2021;11(10):4466. doi:10.3390/app11104466
87. Feng Y, Gao Y, Cui L, Feng J, Fan Y, Zhang Y, vd. Enhancing natto quality by co-fermentation with Pediococcus pentosaceus PP04 and Bacillus velezensis BV702:

Nattokinase activity, nutritional profile, and flavor characteristics. Food Chem X. Ocak 2026;33:103430. doi:10.1016/j.fochx.2025.103430

88. Hu M, Jiao R, Zhang X, Li H, Ren Y, Wang Y, vd. Isolation and safety evaluation of food-derived potential probiotic Bacillus with antimicrobial properties. Microb Pathog. Nisan 2025;201:107338. doi:10.1016/j.micpath.2025.107338
89. Peng S, Guo C, Zhang X, Bu X, Li X, Cui H, vd. Kinetic study of the thermal inactivation of Weizmannia coagulans during food thermal processing. Heliyon. Eylül 2024;10(17):e36977. doi:10.1016/j.heliyon.2024.e36977
90. Can K, Bozatlı SB, Dikici A. Survival of two probiotic Bacillaceae during processing, storage, and digestion of meat products. Npj Sci Food. 21 Mayıs 2026. doi:10.1038/s41538-026-00883-8
91. De Paula Antunes DJ, De Almeida Costa N, Martins ML, Benevenuto WCADN, Talma SV, Campos ANDR, vd. Healthy cereal bar enriched with probiotic Bacillus : bromatological characterization, probiotic viability, consumer acceptance, and gastrointestinal resistance in vitro. Int J Food Sci Technol. 06 Ocak 2025;60(1):vvae070. doi:10.1093/ijfood/vvae070