

Botulism in Ruminant Nutrition

Hatice Nur KILIÇ ÖZEL^{1*}, Mustafa BOĞA²

¹Niğde Ömer Halisdemir University, Ulukışla Vocational School, Department of Forestry, 51900, Niğde, Turkey.

² Niğde Ömer Halisdemir University, Bor Vocational School, Department of Food Processing, 51700, Niğde, Turkey.

Abstract

Botulism is a fatal zoonotic disease caused by neurotoxins secreted by *Clostridium botulinum*, a spore-forming gram-positive anaerobic bacterium. In ruminant animal feeding, infection occurs primarily through contaminated feed, while environmental sources such as soil, water, and manure also play an important role in transmission pathways. *C. botulinum* neurotoxins block acetylcholine release at the neuromuscular junction, leading to progressive muscle paralysis and a clinical presentation characterized by high mortality rates. This situation leads to irreparable economic losses and severe declines in production capacity in the global livestock sector. Due to the limited efficacy of treatment options for the disease and their adverse effect on prognosis, prophylactic approaches aimed at eliminating infection sources have strategic priority in control strategies. Silage, dry feeds, animal-derived feed additives, and manure contamination used in ruminant feeding are identified as the main risk factors. Particularly in silage production processes, insufficient anaerobic fermentation, failure to achieve optimal pH range, and improper storage conditions create favorable microenvironments of critical importance for the germination of *C. botulinum* spores and toxin production. This review study aims to systematically and holistically evaluate etiological factors, molecular pathogenesis mechanisms, epidemiological transmission routes, and evidence-based control strategies of botulism infection in ruminant animal feeding. Considering the ongoing economic losses and public health risks in the livestock industry in Turkey and worldwide, there is an urgent need for multidisciplinary research on botulism pathogenesis, diagnostic methods, and prevention strategies, and this review is expected to provide a conceptual foundation and applied perspective to such scientific studies.

Key Words: *Botulinum, Clostridium Botulinum, Ruminant Animal Feeding*

Ruminant Hayvan Beslemede Botulismus

Özet

Botulismus, spor oluşturan gram pozitif anaerobik bir bakteri olan *Clostridium botulinum*'un salgıladığı nörotoksinlerden kaynaklanan ölümcül bir zoonoz hastalığıdır. Ruminant hayvan beslemede enfeksiyon, öncelikli olarak kontamine yemler aracılığıyla meydana gelmekle birlikte, toprak, su ve gübre gibi çevresel kaynaklar da bulaşma yolları arasında önemli rol oynamaktadır. *C. botulinum* nörotoksinleri, nöromusküler kavşakta asetilkolin salınımını bloke ederek ilerleyici kas felcine yol açmakta ve yüksek mortalite oranıyla seyreden klinik tabloya neden olmaktadır. Bu durum, küresel hayvancılık sektöründe telafisi güç ekonomik kayıplara ve üretim kapasitesinde ciddi düşüşlere yol açmaktadır. Hastalığın tedavi seçeneklerinin sınırlı etkinlik göstermesi ve prognozu olumsuz etkilemesi nedeniyle, kontrol stratejilerinde enfeksiyon kaynaklarının elimine edilmesine yönelik profilaktik yaklaşımlar stratejik öncelik taşımaktadır. Ruminant beslemede kullanılan silaj, kuru yemler, hayvansal kaynaklı yem katkıları ve gübre kontaminasyonu başlıca risk faktörleri olarak tanımlanmaktadır. Özellikle silaj üretim süreçlerinde yetersiz anaerobik fermentasyon, optimal pH aralığının sağlanamaması ve hatalı depolama koşulları, *C. botulinum* sporlarının çimlenmesi ve toksin üretimi için kritik öneme sahip elverişli mikroçevre oluşturmaktadır. Bu derleme çalışması, ruminant hayvan beslemede botulismus enfeksiyonunun etyolojik faktörlerini, moleküler patogeneze mekanizmalarını, epidemiyolojik bulaşma yollarını ve kanıta dayalı kontrol stratejilerini sistematik ve bütüncül bir yaklaşımla değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Türkiye'de ve dünya genelinde hayvancılık endüstrisinde süregelen ekonomik kayıplar ve halk sağlığı riskleri göz önüne alındığında, botulismus patogenezi, tanı yöntemleri ve önleme stratejilerine yönelik multidisipliner araştırmalara acil gereksinim bulunmakta olup, bu derlemenin söz konusu bilimsel çalışmalara kavramsal temel ve uygulamalı bir perspektif sunması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: *Botulismus, Clostridium Botulinum, Ruminant Hayvan Besleme*



Giriş

Botulismus, dünyada sporadik olarak gözlenen *Clostridium botulinum* adlı spor oluşturan gram pozitif, anaerobik bakterilerin salgıladığı toksinlerin (nörotoksinler) toprak, su ve çürüyen organik maddelerin alınmasıyla meydana gelen ve sinirsel semptomlarla karakterize bir hastalıktır (Böhnel & Gessler, 2005a; Zeiller vd., 2015). Doğada yaygın olarak bulunan bu bakteri, farklı toksin tipleri (A, B, C1, D, E, F ve G) üretebilmektedir (Böhnel & Gessler, 2005a). Sığırlarda en sık görülen suşlar ise, C ve D tipleridir (Koç & Aydın Vural, 2019). Bakteriler; uygun sıcaklık, pH (4.5), su aktivitesi (0.952-0.971) ve besin kaynağı koşullarında çoğalarak, güçlü sinir sistemi paralizisine neden olan botulin toksini üretirler (Zeiller vd., 2015; Koç & Aydın Vural, 2019). Sığırlar bu bakterileri toksinlerin bulaşık olduğu su ve yemlerden alabileceği gibi, meralarda otlarken karşılaştıkları *Clostridium botulinum* ile bulaşık kadavra ve kemikleri yiyerek de toksinleri alabilmektedirler.

Clostridium botulinum, botulinum nörotoksininin ana üreticisidir. Nörotoksinler, nöromusküler kavşaktaki asetilkolin salınımını engelleyerek sinir hücrelerine zarar vermekte dolayısıyla, sinir sisteminin normal işlevini bozmaktadır (Erbguth, 2004). Bu toksik maddeler, sodyum ve kalsiyum kanallarının işlevini engelleyerek, reseptörleri bloke ederek veya nörotransmitterlerin salınımını ve geri emilimini engelleyerek etkilerini gösterirler (Blakely & Sondors, 1994). Nörotoksin kaynaklı zehirlenmeler, nörolojik semptomlara (bilinç değişiklikleri, felç, konvülsiyonlar, solunum güçlüğü gibi) neden olabilir. Botulinum nörotoksin çeşitli bitki, hayvan ve mantarlar üretebilmektedir (Daisley & Ogunkanmi, 2021). Botulinum nörotoksini, oral yoldan alındığında en tehlikeli etkilerini gösterir. Gıda kaynaklı botulizm vakalarında bu toksinin yutulması sonucu ölümcül sağlık sorunları ortaya çıkabilir (Trokhymchuk vd., 2019; Loftin & McCleskey, 2020).

Hayvan yemlerinde *Clostridium botulinum*'un başlıca kaynakları ve giderim yöntemleri

Clostridium botulinum ruminant hayvanlarda mortalite oranını artıran önemli bir hastalık olan botulismusa neden olduğu için hayvan yemlerinde önem teşkil etmektedir. Hayvan yemlerinde başlıca kaynakları ise; silaj, kuru yemler, köy tipi hayvan gübreleri, et ve kemik unu, balık unu yer almaktadır. Bununla birlikte *clostridium botulinum* kontaminasyonunun önlenmesi için yem üretimi, hasatı ve depolama koşullarına özen gösterilmesi gerekmektedir.

Anaerobik fermentasyonla gerçekleşen silaj yapımında pH, nem ve sıcaklık koşullarının uygun olmaması durumunda *clostridium botulinum* sporları çimlenerek nörotoksin üretebilmektedirler (Galey vd., 1987). Yeterli sanitasyon olmaması durumunda toprakta bulunan *clostridium botulinum* sporları kuru yemlere geçebilmektedir (Graham vd., 1997). Bununla birlikte, *clostridium botulinum* sporlarının üremesi için et, kemik ve balık unu uygun ortama sahip olmaktadır (Dezfulian & Bartlett, 1985; Svensson vd., 2008). Çiftliklerde biriken hayvansal atıklarda gelişen *Clostridium botulinum*, gübre ile bulaşarak yem hammaddelerine geçebilir (Schoenbaum vd., 2000).

Silajlarda *Clostridium botulinum*

Silajların yanlış yapım ve saklanma aşamasında *Clostridium botulinum* toksini yaygın olarak bulunmaktadır. Silajların depolama sırasında hava girişinin olması *Clostridium botulinum* sporlarının çimlenmesini ve toksin üretimini artırabilmektedir (Graham vd., 1997).

Silajlarda *Clostridium botulinum* sporlarının bulunma nedenleri ise;

- Bitki Materyali Kontaminasyonu: Toprakta doğal olarak bulunan *Clostridium botulinum* sporları, bitkiler tarafından kökler ve yapraklar aracılığıyla alınabilir (Dodds, 1993). Hasat sırasında, toprak ve toz parçacıklarıyla birlikte sporlar da bitki materyaline geçebilir.
- Uygun Olmayan Silaj Hazırlama Koşulları: Silajlama işlemi sırasında, oksijenin yetersiz olması, anaerobik koşulların oluşmasına neden olur (Huss, 1980). Bu anaerobik koşullar, *Clostridium botulinum* sporlarının çimlenmesini ve üremesini teşvik eder.
- Yetersiz Asitleşme: Silaj hazırlanması sırasında, ortamın yeterince asidik hale gelmemesi (pH>4,5), *Clostridium botulinum* türleri için uygun bir ortam oluşturur (Lund, 1990). Uygun fermentasyon ve asit oluşumu sağlanmazsa, sporlar çimlenerek üreme gösterebilir.
- Kontamine Ekipmanlar: Silaj hazırlama, doldurma, sıkıştırma ve depolama ekipmanları, önceki kullanımlarda sporlarla bulaşmış olabilir. Bu ekipmanlar yeterince temizlenmez ve dezenfekte edilmezse, yeni hazırlanan silaja sporlar aktarılabilir.
- Yetersiz Fermentasyon: Hızlı ve uygun fermentasyon sağlanmazsa, ortam *Clostridium botulinum* sporlarının çimlenmesine ve üremesine elverişli hale gelir (Montville & Matthews, 2008). Fermentasyonun gecikmesi veya yetersiz kalması, bu bakterilerin gelişimine izin verebilir.

Sonuç olarak, bitki materyalindeki kontaminasyon, uygun olmayan silaj hazırlama koşulları, yetersiz asitleşme, kontamine ekipmanlar ve yetersiz fermentasyon, silajlarda *Clostridium botulinum* sporlarının bulunma nedenlerini oluşturur. Bu risklerin kontrol altına alınması kritik önem taşımaktadır.



Clostridium botulinum gelişimini engellemek için silaj yapım ve depolama aşamalarında uygun teknik ve hijyene dikkat edilmesi gerekmektedir. *Clostridium botulinum*'un silajlarda gelişimini engellemek için aşağıdaki önleme yöntemleri uygulanabilir:

- Silolama Tekniklerinin Uygun Olması:
- Silajın uygun nem içeriğinde hazırlanması (%60-70),
- Sıkı ve homojen bir şekilde sıkıştırılması, Silaj kütlesi 200-250 kg/m³ yoğunlukta sıkıştırılmalıdır. Bu, anaerobik koşullar oluşturarak *Clostridium botulinum* sporlarının çimlenmesini engeller (Kung Jr & Shaver, 2001).
- Hava girmeyecek şekilde kapatılması ve sızdırmazlığın sağlanması,
- Uygun pH seviyesine hızlı şekilde ulaşılması (4,5 veya daha düşük) önemlidir (Davies vd., 1998). İyi bir fermentasyon sonucu pH 3,8-4,2 arasında olmalıdır (McDonald vd., 1991).
- Katkı Maddelerinin Kullanımı: Silolamada laktik asit bakterileri, propiyonik asit veya formaldehit gibi katkı maddeleri uygulanması, *Clostridium botulinum* gelişimini inhibe edebilir (Driehuis & Oude Elferink, 2000). Laktik asit üretimi yetersiz olduğunda, *Clostridium botulinum* sporları çimlenir ve toksin oluşturur. İdeal laktik asit içeriği %6-8 aralığındadır (Driehuis & Oude Elferink, 2000).
- Anaerobik Depolama Koşullarının Sağlanması: Silaj çukurlarında oksijen girişini engelleyecek sızdırmaz kapakların kullanılması ve siloların düzenli olarak izlenmesi, *Clostridium botulinum* sporlarının çimlenmesini önler (Whitlock vd., 1986).
- Silaj Kalitesinin Düzenli Kontrolü: Silaj pH'sı, kuru madde içeriği ve olası küf oluşumu gibi parametrelerin periyodik kontrolleri, *Clostridium botulinum* riskinin erken saptanmasını sağlar (Graham vd., 1997).
- Hasat Sonrası Hijyen: Silaj hazırlık alanlarının ve ekipmanlarının uygun şekilde temizliği ve dezenfeksiyonu, bakteriyel kontaminasyonun önüne geçer.
- Fermentasyon Süresi: Silaj, en az 3-4 hafta süreyle anaerobik koşullarda bekletilmelidir. Bu süre, *Clostridium botulinum* sporlarının çimlenmesi ve toksin üretimi için yeterli olmayacaktır (McDonald vd., 1991).
- Bitki Materyalinin Hasat ve Taşınması: Bitki materyalinin topraktan/toz parçacıklarından kontaminasyonunu önlemek için dikkatli hasat ve temiz taşıma ekipmanları kullanılmalıdır (Pahlow vd., 2003).

Mısır, nemi ve karbonhidrat içeriği yüksek bir yem bitkisidir. Yeterli anaerobik koşullar ve uygun pH sağlanamadığında, *Clostridium botulinum* sporları çimlenerek vejetatif hücrelere dönüşür ve nörotoksin üretir (Whitlock vd., 1986). *Clostridium botulinum* toksini, özellikle mısır silajlarında sıklıkla bulunur. Mısır silajları, *Clostridium botulinum* sporları için uygun bir üreme ortamı sağlar ve oksijensiz fermentasyon koşullarında bu bakterinin toksin üretmesine olanak tanır (Lindström vd., 2010). Silolama sırasında uygulanan yanlış teknikler, havalandırma veya sıkıştırma eksiklikleri, yeterli asitleme olmaması gibi faktörler, mısır silajlarında *Clostridium botulinum* gelişimi için elverişli koşullar yaratabilir (Galey vd., 1987).

Kuru Yapraklı Yemlerde *Clostridium botulinum*

Clostridium botulinum sporları, özellikle kuru yapraklı yemler olan kuru ot ve saman gibi ürünlerde sıklıkla bulunur. Bu tür kuru yemlerin toprakla temas etmesi, *Clostridium botulinum* sporlarının bulaşmasına neden olabilir (Böhnel vd., 2001). Ayrıca, kuru yapraklı yemlerin hasat, işleme ve depolama sırasındaki hijyen koşullarındaki eksiklikler, *Clostridium botulinum* sporlarının bu ürünlerde canlı kalmasına ve üremesine olanak sağlar (Galey vd., 1987; Graham vd., 1997). Özellikle, kuru yemlerin nemli ve oksijensiz ortamlarda depolanması, *Clostridium botulinum* sporlarının çimlenmesine ve toksin oluşumuna zemin hazırlar (Whitlock vd., 1986).

Kuru yapraklı yemlerde *Clostridium botulinum* sporlarının bulunma nedenleri ise;

- Bitki Kaynaklı Kontaminasyon:
- Toprakta doğal olarak bulunan *Clostridium botulinum* sporları, bitkiler aracılığıyla kuru yapraklı yemlere geçebilir (Dodds, 1993).
- Bitkiler, kökleri ve yaprakları ile topraktan bu sporları bünyelerine alabilirler.
- Hasat, kurutma ve depolama sırasındaki işlemler de, sporların yeme bulaşmasına yol açabilir.
- Hayvansal Kontaminasyon:
- Kuru yapraklı yemlerin işlenmesinde kullanılan ekipmanlar, daha önce kontamine olmuş hayvan gübresi, toprak gibi materyallerle temas edebilir.
- Bu şekilde, hayvanların bağırsak sistemindeki *Clostridium botulinum* sporları, yemlere bulaşabilir (Huss, 1980). Özellikle ruminant hayvanların sindirimi sırasında sporların çoğalması, kuru yapraklı yemlerin kontaminasyonuna neden olabilir.



- Yetersiz Hijyen ve Uygun Olmayan İşleme:
- Kuru yapraklı yem üretimi, kurutma, depolama ve taşıma aşamalarındaki hijyen eksiklikleri, *Clostridium botulinum* sporlarının ürüne geçmesine yol açabilir (Lund, 1990).
- Yeterli ısı işlem uygulanmaması, sporların canlı kalmasına ve ürüne karışmasına neden olur (Montville & Matthews, 2008).
- Uygun olmayan depolama koşulları da sporların çoğalmasına ve yayılmasına imkân tanır.

Sonuç olarak, bitki ve hayvan kaynaklı kontaminasyon, yetersiz hijyen ve uygun olmayan işleme, kuru yapraklı yemlerde *Clostridium botulinum* sporlarının bulunma nedenlerindendir. Gerekli önlemlerin alınması, bu bakterilerin kontrolünü sağlayacaktır.

Kuru yapraklı yemlerde *Clostridium botulinum* sporlarının oluşumunu ve toksin üretimini engellemek için aşağıdaki önleme yöntemleri uygulanabilir:

- Hasat Öncesi Önlemler:
- Yem bitkilerinin hasat öncesinde, toprak ve dışkı kontaminasyonundan arındırılması,
- Hasat sırasında toprak ve toz oluşumunu en aza indiren yöntemlerin kullanılması (Böhnel vd., 2001).
- Hasat Sonrası Önlemler:
- Yemlerin hızlı bir şekilde kurutulması ve uygun nem içeriğine getirilmesi,
- Kuru yapraklı yemlerin sıkı bir şekilde paketlenmesi ve depolanması,
- Depolama alanlarındaki sıcaklık, nem ve havalandırmanın kontrol altında tutulması (Galey vd., 1987).
- Depolama ve Kullanım Sırasında Önlemler:
- Kuru yapraklı yemlerin uygun sıcaklık ve nem koşullarında depolanması,
- Depolanmış kuru yapraklı yemlerin düzenli olarak kontrol edilmesi,
- Uzun süreli depolanmış kuru yapraklı yemlerin kullanımından önce test edilmesi (Graham vd., 1997).
- Düşük nem içeriği: Kuru yemlerin nem oranı %12-15 aralığında olmalıdır (Juneja vd., 2019).
- Düşük su aktivitesi (aw): Kuru yemlerin su aktivitesi (aw) 0,90'ın veya %12'nin altında olmalıdır (Juneja vd., 2019). Düşük aw değeri, *Clostridium botulinum* sporlarının çimlenmesini ve toksin üretimini engeller.
- Düşük pH: Kuru yemlerin pH değeri 4,6'nın altında olması tercih edilir (Juneja vd., 2019). Asidik pH, *Clostridium botulinum* sporlarının çimlenmesini ve gelişimini baskılar.
- Isıl işlem: Kuru yemlerin üretim aşamasında uygulanan ısı işlemleri (pişirme, ekstrüzyon gibi), *Clostridium botulinum* sporlarını inaktive edebilir (Juneja vd., 2019).
- Antimikrobiyel katkı maddeleri: Bazı organik asitler (format, propiyonat, laktat) veya diğer antimikrobiyel katkı maddeleri, kuru yemlerde *Clostridium botulinum* sporlarının çimlenmesini inhibe edebilir (Juneja vd., 2019).
- Sıcaklık koşulları: Kuru yem depoları serin sıcaklıklarda, tercihan 10-15°C aralığında tutulmalıdır (Juneja vd., 2019). Düşük sıcaklıklar, *Clostridium botulinum* sporlarının çimlenmesini ve üremesini baskılayacaktır.
- Kontrollü atmosfer depolama: Oksijen seviyesinin düşük, karbondioksit seviyesinin yüksek tutulduğu kontrollü atmosfer ortamları, *Clostridium botulinum* sporlarının çimlenmesini ve üremesini engeller (Juneja vd., 2019). Bu yöntem, kurutulmuş yemlerde anaerobik koşulları sağlayarak toksin oluşumunu önler.
- Vakum paketleme: Kuru yemlerin vakum paketlenmesi, paketdeki oksijen seviyesini azaltarak *Clostridium botulinum* sporlarının çimlenmesini ve toksin üretimini engeller (Juneja vd., 2019). Vakum paketleme, depolama sırasında ürünün hava ile temasını da azaltır.
- Modifiye atmosfer paketleme: Kuru yemlerin ambalajlanmasında, yüksek karbondioksit ve düşük oksijen içeren modifiye atmosferler kullanılabilir (Juneja vd., 2019). Bu ortam, *Clostridium botulinum* sporlarının gelişimini baskılar.
- Dondurma: Kuru yemlerin derin dondurucuda (-18°C veya daha düşük) depolanması, *Clostridium botulinum* sporlarının çimlenme ve üremesini durdurur (Juneja vd., 2019). Donmuş koşullar, bu patojenin gelişimi için uygun koşulları ortadan kaldırır.

Clostridium botulinum sporlarının kuru yapraklı yemlerde oluşumunu ve toksin üretimini önlemek için, hasat öncesi, hasat sonrası, silaj yapımı ve depolama aşamalarında kapsamlı kontrol önlemlerinin uygulanması gereklidir.



Hayvan Gübrelerinde *Clostridium botulinum*

Clostridium botulinum sporları, özellikle köy tipi hayvan gübreleri olarak adlandırılan organik gübre türlerinde sıklıkla bulunur. Hayvanların sindirim sisteminde doğal olarak bulunan *Clostridium botulinum* bakterileri ve sporları hayvan dışkılarında yaygın olarak görülmektedir (Smith, 1977). Köy tipi hayvan gübreleri, genellikle çiftçiler tarafından üretilen, hayvan barınaklarından toplanan ve herhangi bir işleme tabi tutulmadan doğrudan tarla veya bahçelere uygulanabilen organik gübre türleridir. Bu gübrelerin üretimi sırasında hijyen ve sanitasyon uygulamalarının yetersiz olması, *Clostridium botulinum* sporlarının bu gübre kaynaklarında canlı kalmasını ve çoğalmasını kolaylaştırmaktadır (Dahlenborg vd., 2001).

Ayrıca, hayvan gübrelerinin depolanma ve uygulama koşullarındaki eksiklikler, *Clostridium botulinum* sporlarının aktivasyonunu ve nörotoksin üretimini destekleyebilmektedir. Gübre yığınlarının nemli ve oksijensiz ortamlarda bırakılması, *Clostridium botulinum* sporlarının çimlenmesine ve vejetatif hücrelerin üremesine olanak sağlar (Galey vd., 1987). Bu nedenle, bu tür gübrelerin üretimi, depolanması ve kullanımı sırasında hijyen ve güvenlik önlemlerinin alınması büyük önem taşımaktadır.

Hayvan gübrelerinde *Clostridium botulinum* sporlarının bulunma nedenleri ise;

- Hayvan Kaynaklı Kontaminasyon:
- *Clostridium botulinum* bakterileri, hayvanların bağırsak sistemlerinde ve dışkılarında doğal olarak bulunur (Huss, 1980).
- Özellikle ruminant hayvanlar (sığır, koyun, keçi gibi) bu bakterinin taşıyıcısı olabilir.
- Hayvan dışkıları gübre materyaline *Clostridium botulinum* sporları bulaştırır.
- Toprak Kaynaklı Kontaminasyon:
- *Clostridium botulinum* sporları, toprakta yaygın olarak bulunur (Dodds, 1993).
- Özellikle tarımsal alanlarda ve hayvan barınaklarındaki topraklar, sporlarca kontamine olabilir.
- Gübre yapımında kullanılan toprak ve saman gibi materyaller, ürüne sporlara bulaşma yolu oluşturabilir.
- Yetersiz Hijyen:
- Gübre yapım, depolama ve dağıtım aşamalarında yetersiz hijyen önlemleri, *Clostridium botulinum* sporlarının ürüne girmesine neden olabilir (Lund, 1990).
- Kullanılan ekipmanlar, depolama koşulları ve uygulama yöntemleri, sporlara bulaşmayı artırabilir.
- Uygun Olmayan İşleme:
- Hayvan gübrelerinde *Clostridium botulinum* sporlarını uygun şekilde inaktive edecek bir ısı işlem uygulanmaması durumunda, canlı sporlar gübreye karışabilir (Montville & Matthews, 2008).
- Fermentasyon, kurutma gibi işlemlerin uygun şekilde yapılmaması, sporlara karşı etkin kontrol sağlayamaz.

Hayvan gübrelerinde *Clostridium botulinum* sporlarının varlığını önlemek veya azaltmak için aşağıdaki yöntemler uygulanabilir:

- Hijyen ve sanitasyon uygulamaları:
- Hayvan barınaklarının ve gübre toplama alanlarının düzenli olarak temizlenmesi ve dezenfeksiyonu
- Gübre toplama, depolama ve uygulama aşamalarında hijyen kurallarına uyulması
- Çalışanların kişisel hijyen alışkanlıklarının geliştirilmesi
- Gübre işleme teknikleri:
- Gübreye ısı işlem (pastörizasyon veya sterilizasyon) uygulanarak *Clostridium botulinum* sporlarının yok edilmesi
- Kompostlama yöntemiyle gübredeki organik maddenin parçalanması ve sporların çimlenmesinin engellenmesi
- Gübreye asit ilavesi veya pH düşürülmesi ile *Clostridium botulinum*'un gelişiminin önlenmesi
- Depolama ve uygulama koşullarının iyileştirilmesi:
- Gübre yığınlarının kuru ve iyi havalandırılmış ortamlarda saklanması
- Gübre uygulamalarında toprak içine karıştırma işleminin yapılması
- Gübre uygulamasından sonra tarla veya bahçelerin yeterince uzun süre bekletilmesi
- Eğitim ve bilinçlendirme çalışmaları:
- Çiftçilere ve tarımsal çalışanlara *Clostridium botulinum* riski ve kontrol yöntemleri konusunda eğitimler verilmesi
- Gübre kullanımı, depolanması ve sanitasyonu hakkında farkındalık yaratılması



Sonuç olarak, hayvan kökenli kontaminasyon, toprak, yetersiz hijyen ve uygun olmayan işleme, köy tipi hayvan gübrelerinde *Clostridium botulinum* sporlarının bulunmasına yol açabilmektedir. Gerekli önlemlerin uygulanması, köy tipi hayvan gübrelerinde *Clostridium botulinum* sporlarının varlığını ve neden olabileceği riskleri önemli ölçüde azaltabilir (Galey vd., 1987; Dahlenborg vd., 2001).

Kemik Unu/Et Ununda *Clostridium botulinum*

Kemik unları, et ve kemik kalıntılarının işlenerek toz haline getirilmesiyle elde edilir. Benzer şekilde, et unları da hayvansal kaynaklı protein içerikli atık maddelerin kurutulup öğütülmesiyle üretilir. Üretim sırasındaki ısı işlemin yetersiz olması veya hijyen uygulamalarındaki eksiklikler, bu gıda hammaddelerinde *Clostridium botulinum* sporlarının canlı kalmasına ve çoğalmasına yol açabilmektedir (Dahlenborg vd., 2001). *Clostridium botulinum* sporları, özellikle hayvansal kaynaklı kemik unu ve et unu gibi gıda hammaddelerinde sıklıkla bulunur. Bu tür ürünler, hayvanların sindirim sisteminde doğal olarak mevcut olan *Clostridium botulinum* bakterisinin canlı formlarını ve sporlarını içerebilmektedir (Smith, 1977).

Kemik unu ve et unu gibi hayvansal kaynaklı ürünler, *Clostridium botulinum* sporları için uygun besinsel koşullar sunmaktadır. Sporların çimlenmesi ve vejetatif hücrelerin üremesi için gerekli olan protein, mineral ve diğer besin içerikleri bu tür ürünlerde yeterli düzeyde mevcuttur (Galey vd., 1987). Dolayısıyla, kemik unu, et unu ve benzeri hayvansal kaynaklı gıda hammaddeleri, *Clostridium botulinum* sporlarının bulunması ve çoğalması açısından risk teşkil etmektedir. Bu nedenle, bu tür ürünlerin üretimi, depolanması ve kullanımında hijyen, sanitasyon ve güvenlik önlemlerinin titizlikle uygulanması önem taşımaktadır.

Kemik unu ve et ununda da *Clostridium botulinum* sporlarının bulunma nedenleri ise;

- Hammadde Kaynaklı Kontaminasyon:
- Hayvanların bağırsak, deri ve kemiklerinde doğal olarak bulunan *Clostridium botulinum* sporları, etlerin ve kemiklerin işlenmesi sırasında un ürünlerine geçebilir (Dodds, 1993). Özellikle toprak, su ve hayvan dışkıları gibi çevresel kaynaklar, hammadde olan etleri ve kemikleri kontamine edebilir (Lund, 1990).
- İşleme Sırasındaki Kontaminasyon:
- Unların üretimi, kurutulması, depolanması ve taşınması sırasında, uygun hijyen önlemlerinin alınmaması durumunda *Clostridium botulinum* sporları bulaşabilir (Conner & Beuchat, 1984).
- Yetersiz ısı işlem, *Clostridium botulinum* sporlarını inaktive edemeyeceği için, canlı sporlar ürüne geçebilir (Montville & Matthews, 2008).
- Yeniden Kontaminasyon:
- Kemik ve et unlarının uygun olmayan depolama ve nakliye koşullarında muhafaza edilmesi, *Clostridium botulinum* sporlarının yeniden bulaşmasına neden olabilir (Conner & Beuchat, 1984).
- Paketleme sırasında yetersiz hijyen önlemleri kontaminasyona yol açabilir.
- Kemik unu ve et unu gibi hayvansal kaynaklı gıda hammaddelerinde *Clostridium botulinum* sporlarının önlenmesi için çeşitli yöntemler uygulanabilir:
- Etkin Isıl İşlem: Üretim sürecinde *Clostridium botulinum* sporlarını etkisiz hale getirecek yeterli ısı işlem uygulanmalıdır. Genellikle 121°C sıcaklıkta en az 15 dakika boyunca ısı işlem yapılması önerilmektedir (Gibson & Hobbs, 1987).
- Aseptik Üretim Koşulları: Hammadde temini, üretim, paketleme ve depolama aşamalarında hijyen ve sanitasyon şartlarına titizlikle uyulması gerekmektedir. Böylece, kontaminasyon riskinin en aza indirilmesi sağlanır (Galey vd., 1987).
- Deoksijenasyon: Kemik unu ve et unu gibi ürünlerin depolanması sırasında oksijen seviyesinin düşürülmesi, *Clostridium botulinum* sporlarının çimlenmesini ve vejetatif hücrelerin üremesini engelleyebilir (Briozzo vd., 1983). *Clostridium botulinum* sporlarının çimlenmesini ve toksin üretimini engelleyebilir. Nitrit, sorbik asit, benzoik asit gibi koruyucular kullanılabilir (Conner & Beuchat, 1984).
- Düşük pH ve Su Aktivitesi: Kemik unu ve et unu gibi ürünlerde düşük pH değeri (asidik ortam) ve düşük su aktivitesi, *Clostridium botulinum* sporlarının gelişimini sınırlandırabilir (Notermans vd., 1979).
- Kombine Koruma Önlemleri: Yukarıda sayılan yöntemlerin birlikte uygulanması, *Clostridium botulinum* sporlarına karşı çok daha etkin bir koruma sağlayabilir (Leistner, 2000).

Sonuç olarak, *Clostridium botulinum* sporları başlıca ham madde, işleme süreci ve yeniden kontaminasyon nedenleriyle kemik ve et unlarında bulunabilmektedir. Uygun önlemlerin alınması, bu bakterilerin ürünlere girmesini engelleyebilir.



Balık Ununda *Clostridium botulinum*

Deniz ortamında yaşayan balık ve diğer deniz canlılarının sindirim sisteminde su ortamlarında ve sedimentlerde *Clostridium botulinum* bakterisi doğal olarak yer almaktadır. Bu bakterilerin sporları, balıkların yaşam alanlarında ve avlanma bölgelerinde çok yaygındır. Balık ve deniz hayvanlarının işlenmesi, kurutulması ve öğütülmesi sırasında yeterli ısıl işlem uygulanmaması veya hijyen kurallarına uyulmaması durumunda, bu ürünlerde *Clostridium botulinum* sporlarının canlı kalması ve çoğalması mümkün olmaktadır (Huss, 1980). *Clostridium botulinum* sporları, özellikle balık unu gibi deniz kaynaklı gıda hammaddelerinde sıklıkla bulunur. Balık unları, çeşitli balık ve deniz canlılarının işlenmesi sonucunda elde edilen protein bakımından zengin ürünlerdir (Montville & Matthews, 2008).

Balık unu gibi deniz kökenli ürünler, *Clostridium botulinum* sporları için besinsel açıdan uygun bir ortam sunarlar. Sporların çimlenmesi ve vejetatif formların üremesi için gerekli protein, mineral ve diğer besin içerikleri bu tür ürünlerde yeterli düzeydedir (Galey vd., 1987). Dolayısıyla, balık unu ve benzeri deniz kaynaklı gıda hammaddeleri, *Clostridium botulinum* sporlarının varlığı ve çoğalması açısından risk oluşturmaktadır. Bu nedenle, bu tür ürünlerin üretimi, depolanması ve kullanımında hijyen, sanitasyon ve güvenlik önlemlerinin titizlikle uygulanması önem taşımaktadır.

Clostridium botulinum sporlarının bulunma nedenleri ise;

- Ham Balık Materyali: Balıkların bağırsak sistemi, deri ve solungaçlarında doğal olarak bulunan *Clostridium botulinum* sporları, işleme sırasında un materyaline geçebilir (Dodds, 1993).
- Çevre Kontaminasyonu: Balık avlama ve işleme ortamlarındaki toprak, su ve ekipmanlar, *Clostridium botulinum* sporlarının bulaşmasına neden olabilir (Lund, 1990).
- Yetersiz Isıl İşlem: Balık unu üretiminde uygulanan ısıl işlemler, *Clostridium botulinum* sporlarını tam olarak inaktive edemediğinde, sporlar ürüne geçebilir (Montville & Matthews, 2008).
- Yeniden Kontaminasyon: Balık unu üretimi sonrasında, uygun olmayan depolama koşulları veya paketleme işlemleri, *Clostridium botulinum* sporlarının ürüne geri bulaşmasına neden olabilir (Conner & Beuchat, 1984).
- Balık ununda *Clostridium botulinum* sporlarının önlenmesi için uygulanabilecek başlıca yöntemler:
- Etkin Isıl İşlem: Balık unu üretiminde, *Clostridium botulinum* sporlarını tamamen inaktive edecek yeterli ısıl işlem uygulanması önemlidir. Genellikle 121°C'de en az 15 dakika süreyle ısıtma işlemi önerilmektedir (Lund, 1990).
- Hızlı Soğutma ve Düşük Sıcaklıkta Depolama: Balık unu üretimi sonrasında ürünün hızla soğutulması ve düşük sıcaklıklarda (4°C) depolanması, *Clostridium botulinum* sporlarının çimlenmesini ve üremesini engelleyebilir (Dodds, 1993).
- Düşük Su Aktivitesi: Balık ununda su aktivitesinin düşük tutulması, *Clostridium botulinum* sporlarının gelişimini sınırlandırır. Kurutma işlemleri ile su aktivitesi düşürülebilir (Notermans vd., 1979).
- Düşük pH: Balık unu üretiminde asit ilavesi veya fermentasyon yoluyla düşük pH değerlerinin sağlanması, *Clostridium botulinum* sporlarının çimlenmesini ve toksin üretimini önleyebilir (Montville & Matthews, 2008).
- Koruyucu Katkı Maddeleri: Nitrit, sorbik asit, benzoik asit gibi bazı kimyasal katkı maddeleri, *Clostridium botulinum* sporlarının çimlenmesini ve toksin üretimini engelleyebilir (Conner & Beuchat, 1984).
- Modifiye Atmosfer Paketleme: Balık unu paketlerinde oksijen seviyesinin düşürülmesi ve karbon dioksit oranının yükseltilmesi, *Clostridium botulinum* sporlarının gelişimini sınırlayabilir (Briozzo vd., 1983).
- Kombine Yöntemler: Yukarıda belirtilen kontrol önlemlerinin birlikte uygulanması, *Clostridium botulinum* sporlarına karşı daha etkili bir koruma sağlayabilir (Leistner, 2000).

Etkin kontrol önlemleri uygulanarak, bu bakterilerin ürüne girmesi ve üremesi engellenebilir.

*Clostridium botulinum*ün Önlenmesi için Kimyasal Yöntemler

Clostridium botulinum sporlarının kontrolü için kullanılabilecek etkili kimyasal yöntemler şunlardır:

- Organik asitler: Asetik asit, laktik asit, propiyonik asit gibi organik asitler *Clostridium botulinum* sporlarının çimlenmesini ve üremesini engelleyebilir (Juneja vd., 2019). Bu asitler, depolanan kuru yemlere eklenebilir veya yem işleme aşamasında kullanılabilir.
- Antimikrobiyal bileşikler: Nisin, lizozim, lactoferrin gibi doğal antimikrobiyal bileşikler *Clostridium botulinum* sporlarının gelişimini baskılayabilir (Juneja vd., 2019). Bu bileşikler, kuru yem formülasyonlarına ilave edilebilir.
- Ozon: Ozon, *Clostridium botulinum* sporlarını inaktive edebilen güçlü bir oksitleyicidir (Juneja vd., 2019). Kuru yem depolama alanlarında ozonlama, sporlara karşı etkili bir kimyasal işlem sağlayabilir.



- Hidrojen peroksit: Hidrojen peroksit, *Clostridium botulinum* sporlarının eliminasyonu için kullanılabilecek bir diğer kimyasal ajandır (Juneja vd., 2019). Kuru yemlere veya depolama ortamına uygulanabilir.

Clostridium botulinum sporlarının kontrolünde kimyasal yöntemlerin avantajları ve dezavantajları şöyle özetlenebilir:

Avantajlar:

- Etkinlik: Organik asitler, antimikrobiyal bileşikler, ozon ve hidrojen peroksit gibi kimyasal yöntemler *Clostridium botulinum* sporlarının çimlenmesini ve üremesini etkili bir şekilde engelleyebilir (Juneja vd., 2019).
- Kısa sürede etki: Kimyasal uygulamalar, *Clostridium botulinum* sporlarına hızlı bir şekilde etki ederek sporlara karşı kısa sürede kontrol sağlayabilir (Juneja vd., 2019).
- Esnek uygulama: Kimyasallar, kuru yem formülasyonlarına ilave edilebilir veya depolama ortamına uygulanabilir (Juneja vd., 2019).

Dezavantajlar:

- Kalıntı riski: Kimyasal kalıntıları, insan ve hayvan sağlığı için potansiyel bir risk oluşturabilir. Uygun miktarlarda ve güvenli şekilde kullanılmaları gerekir (Juneja vd., 2019).
- Toksik etkiler: Bazı kimyasallar, yüksek konsantrasyonlarda veya yanlış kullanıldığında toksik etkilere neden olabilir (Juneja vd., 2019).
- Maliyet: Kimyasalların elde edilmesi ve doğru şekilde uygulanması ek maliyet gerektirebilir (Juneja vd., 2019).
- Yem kalitesi üzerindeki etkiler: Kimyasalların yem kalitesi, lezzet ve besleyici değer üzerinde olumsuz etkileri olabilir (Juneja vd., 2019).
- Çevresel kaygılar: Bazı kimyasalların çevreye ve ekosisteme olumsuz etkileri olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır (Juneja vd., 2019).

Yukarıdaki kimyasal yöntemler, diğer fiziksel kontrol önlemleriyle birlikte kullanıldığında *Clostridium botulinum* sporlarının etkili bir şekilde kontrol edilebilmesine yardımcı olabilmektedir.

***Clostridium botulinum*ün Önlenmesi için Diğer Yöntemler**

Clostridium botulinum sporlarının kontrolünde kimyasal yöntemlerin yanı sıra aşağıdaki diğer yöntemler de kullanılabilir:

- Isıl işlem: *Clostridium botulinum* sporlarının ısıya dayanıklı olması sebebiyle, yüksek sıcaklık uygulamaları (örneğin pastörizasyon, sterilizasyon) sporlara karşı etkili olabilir (Bavouzet vd., 1993). *Clostridium botulinum* sporları, yüksek sıcaklıklara dayanıklıdır ve sporların inaktivasyonu için yüksek sıcaklıklarda uzun süre ısıtılma uygulanması gerekmektedir (Doyle, 2007). Uygun sıcaklık ve sürede uygulanan ısıtılma işlemi, sporların çimlenmesini ve vejetatif hücrelerin üremesini engelleyerek etkili olur (Doyle, 2007). Uygulanan ısıtılma türleri:
- Otoklavlama: 121°C sıcaklıkta 15-20 dakika uygulanır ve sporların inaktivasyonunda en etkili yöntemdir (Doyle, 2007).
- Basıncılı ısıtılma işlemi: Sıcaklık ve basıncın birlikte uygulanması sporların inaktivasyonunu daha da artırır (Mañas & Pagán, 2005).
- Aseptik işleme: UHT (ultra yüksek sıcaklık) uygulamaları, özellikle süt ürünlerinde sporların kontrolünde kullanılır (Doyle, 2007).

Uygun sıcaklık ve sürede uygulanan ısıtılma işlemleri, *Clostridium botulinum* sporlarının kontrolünde etkili bir yöntemdir. Ancak, gıda kalitesi ve besin değeri üzerindeki etkileri dikkatli bir şekilde incelenmelidir (Mañas & Pagán, 2005; Doyle, 2007).

- Radyasyon: İyonlaştırıcı radyasyon (gama ışınları, X-ışınları) *Clostridium botulinum* sporlarının çimlenmesini ve üremesini engelleyebilir (Brandt vd., 1996). İyonlaştırıcı radyasyon, *Clostridium botulinum* sporlarının hücre yapısını ve DNA'sını bozarak sporların inaktivasyonunu sağlar. Radyasyon, sporların çimlenme ve üremesini engelleyerek de etkili olmaktadır (Farkas, 2006).
- Radyasyon türleri:



- Gamma ışınları: Gıdalarda *Clostridium botulinum* sporlarının kontrolünde en yaygın kullanılan radyasyon türüdür (Farkas, 2006).
- Elektron ışınları: Yüksek enerji elektron ışınları da sporların inaktivasyonunda etkilidir (Niemira, 2012).
- X-ışınları: Daha yüksek nüfuziyet kabiliyetine sahip X-ışınları da *Clostridium botulinum* sporlarının kontrolünde kullanılabilir (Niemira, 2012).

Sonuç olarak, radyasyon işleme, *Clostridium botulinum* sporlarının kontrolünde etkili bir yöntemdir. Ancak, tüketici kabulü, dozaj optimizasyonu ve gıda kalitesi üzerindeki etkileri dikkatli bir şekilde incelenmelidir (Farkas, 2006; Niemira, 2012).

- Yüksek basınç: Yüksek hidrostatik basınç uygulamaları *Clostridium botulinum* sporlarının inaktivasyonunda kullanılabilir (Scurlock-Jones & Mackey, 2001). Yüksek basınç işleme (High Pressure Processing- HPP), *Clostridium botulinum* sporlarının inaktivasyonu için kullanılan etkili bir yöntemdir. Yüksek basınç (400-600 MPa), *Clostridium botulinum* sporlarının hücre duvarı ve yapısal bütünlüğünü bozar (Georget vd., 2015). Bu işlem, sporların çimlenme ve üremesini engeller (Reineke vd., 2015).

Yüksek basınç işleme, *Clostridium botulinum* sporlarının inaktivasyonunda güvenilir ve etkili bir yöntemdir. Optimum işlem parametrelerinin belirlenmesi ve diğer koruyucu teknolojilerle kombinasyonu, gıda güvenliğini sağlamada önemli rol oynamaktadır (Georget vd., 2015; Ramaswamy vd., 2020).

- Biyokontrol: Probiyotik bakteriler, rekabetçi eksklüzyon bakterileri veya bakteriyosinler gibi biyokontrol ajanları *Clostridium botulinum* sporlarının çimlenmesini ve üremesini engelleyebilir (Petrone vd., 2002). Biyokontrol ajanları, *Clostridium botulinum* sporlarının çimlenmesini ve üremesini engelleyebilen veya inhibe eden mikroorganizmalar ya da doğal bileşiklerdir. Bunlara örnekler aşağıdaki gibidir:
- Probiyotik bakteriler: Laktik asit bakterileri (Lactobacillus, Bifidobacterium gibi) ve Bacillus türleri gibi probiyotik bakteriler, rekabetçi eksklüzyon yoluyla *Clostridium botulinum* sporlarının çoğalmasını önleyebilir (Gálvez vd., 2007). Ayrıca, ürettikleri organik asitler, hidrojen peroksit ve bakteriyosinler de sporlara karşı etkilidir (Gálvez vd., 2007).
- Bakteriyosinler: Bakteriler tarafından üretilen antimikrobiyal proteinler olan bakteriyosinler, Clostridium botulinum sporlarının çimlenmesini ve üremesini engelleyebilir (Hossain vd., 2017). Nisin ve pediocin gibi bakteriyosinler, gıda uygulamalarında *Clostridium botulinum* kontrolünde kullanılabilir (Hossain vd., 2017).
- Rekabetçi eksklüzyon bakterileri: *Clostridium botulinum* ile besin ve ortam için rekabet edebilen diğer bakteri türleri, sporların çoğalmasını baskılayabilir. Örneğin *Bacillus*, *Paenibacillus* ve *Brevibacillus* türleri *Clostridium botulinum* sporlarının gelişimini engelleyebilir (Adhikari vd., 2019).
- Esansiyel yağlar ve bileşenleri: Kekik, karanfil, tarçın, kekik, kişniş gibi bitkilerden elde edilen esansiyel yağlar ve bunların bileşenleri (timol, eugenol, sinnamealdehit gibi), *Clostridium botulinum* sporlarının çimlenmesini ve üremesini engelleyebilir. Bu bileşikler, hücre zarı hasarı, enzim inaktivasyonu ve genetik fonksiyon inhibisyonu yoluyla etkili olmaktadır (Hyldgaard vd., 2012).

Bu biyokontrol ajanları, kimyasal ve fiziksel yöntemlere göre daha doğal ve çevre dostu seçenekler sunmaktadır. Ancak etkinliklerinin değerlendirilmesi ve güvenli kullanımları için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.

- Yönetimsel önlemler: Hijyen, sanitasyon, depolama koşullarının iyileştirilmesi ve doğru ambalajlama *Clostridium botulinum* sporlarının kontaminasyonunu ve çoğalmasını önleyebilir (Peck, 2009). Yönetimsel önlemler, *Clostridium botulinum* sporlarının çimlenmesini ve üremesini engellemek için gıda üretimi ve işleme süreçlerinde uygulanan yöntemlerdir.

Başlıca yönetimsel önlemler şunlardır:

- Sıcaklık kontrolü: *Clostridium botulinum* sporları, ısısal işlemler (pişirme, pastörizasyon, sterilizasyon) ile deaktive edilebilir. Uygun sıcaklık ve sürelerde uygulanan ısısal işlemler, sporların çimlenmesini ve toksin üretimini önler (Ito vd., 1976).
- pH kontrolü: *Clostridium botulinum* sporları, asidik ortamlarda (pH < 4,6) çimlenme ve üreme gösteremez. Sirke, limon suyu, asitler gibi pH düşürücü katkıları kullanılarak uygun pH değerleri sağlanabilir (Dodds, 1993).



- Su aktivitesi kontrolü: *Clostridium botulinum* sporları, düşük su aktivitesi ($aw < 0,93$) ortamlarında çimlenme ve üreme gösteremez. Tuzlama, kurutma, ozmotik koşullar gibi yöntemlerle su aktivitesi azaltılabilir (Peck, 2009).
- Modifiye atmosfer paketlenme: Oksijensiz (anaerobik) koşullar, *Clostridium botulinum* sporlarının çimlenmesini ve toksin üretimini engeller. Azot, karbondioksit gibi gazlarla modifiye edilmiş atmosfer paketlenme uygulanabilir (Peck, 2006).
- Kombine yöntemler: Birden fazla yönetsel önlemin kombine edilmesi (hurdle teknolojisi), *Clostridium botulinum* kontrolünde daha etkili olabilir. Isıl işlem, asitleme, su aktivitesi düşürme gibi yöntemler birlikte kullanılabilir (Leistner, 2000).

Yönetsel önlemler, gıda üretimi ve işleme süreçlerinde *Clostridium botulinum* sporlarının kontrolünde önemli rol oynar. Bu önlemler, spor çimlenmesini ve toksin oluşumunu engelleyerek gıda güvenliğini sağlar (Lund & Peck, 2000).

Sığır Yetiştiriciliğinde Botulismus Riskini Azaltmak İçin Alınması Gereken Önlemler

Botulismus, sığırlar için son derece ölümcül bir hastalıktır. Erken teşhis ve uygun tedavi edilmediği takdirde, yüksek mortalite oranlarına neden olmaktadır. Bu nedenle, sığır yetiştiricilerinin hayvanlarındaki olası botulismus belirtilerine karşı dikkatli olmaları ve yem-su hijyeni konusunda özen göstermeleri hayati önem taşır.

- Yem Hijyeni: Yemlerin üretimi, depolanması, dağıtımı ve kullanımında hijyen kurallarına özen gösterilmelidir. Kontamine yemler kesinlikle kullanılmamalıdır. Yem hazırlık alanları düzenli olarak temizlenmeli ve dezenfekte edilmelidir. Hayvan yemlerinin taze ve kaliteli olmasına dikkat edilmelidir.
- Su Kaynağı Hijyeni: Sığırların içme suyu kaynakları, düzenli olarak kontrol edilmeli ve hijyenik tutulmalıdır. Durgun su birikintileri bertaraf edilmelidir. Hayvanların dışkı, toprak ve diğer kontaminantlarla temasını engelleyecek önlemler alınmalıdır (USDA, 2018)
- Çevre Hijyeni: Barınak ve otlakların temizliği sağlanmalı, kontamine alanlar ıslah edilmelidir. Hayvan dışkılarının uygun şekilde uzaklaştırılması ve bertarafı sağlanmalıdır. Sürü içinde ölmüş hayvanlar hızlıca imha edilmelidir (Böhnel & Gessler, 2005b)
- Koruyucu Aşılama: Özellikle endemik bölgelerde, sığırlar botulismus aşılılarıyla düzenli olarak bağışıklanmalıdır. Aşılama programları, veteriner hekim danışmanlığında uygulanmalıdır (Ritter vd., 2019)
- Erken Teşhis ve Uygun Tedavi: Sığırlardaki botulismus şüpheli belirtiler hızlıca tespit edilmeli ve veteriner hekime bildirilmelidir. Hastalığın erken dönemlerinde uygulanan antitoksin tedavisi, hayvanların kurtarılmasında kritik rol oynar (Qureshi vd., 2012).

Sonuç

Dünyada ve ülkemizde önemli bir hastalık olan botulismus bakteriler tarafından meydana geldiği için ülke hayvancılığında önemli bir problem oluşturmaktadır. Özellikle ruminant hayvanlarda sadece verim kayıplarına neden olmayıp mortalite ile sonuçlanacağı için bu hastalık büyük bir ekonomik kayba neden olmaktadır. Hayvan besleme ile bu hastalığın önüne geçilebilir mümkün olabilmekle birlikte hayvan sağlığı olumlu yönde etkilenecek ekonomik kayıpların önüne geçilebilecektir. Hayvan beslemede bu hastalığa neden olan yemler ve bakterilerin bu yemlerde toksin üretmesini önlemek önemli olmaktadır. Silaj, kuru yemler, köy tipi hayvan gübreleri, et ve kemik unu, balık unu hayvan yemlerinde başlıca kaynaklarıdır. Bununla birlikte *clostridium botulinum* kontaminasyonunun önlenmesi için yem üretimi, hasatı ve depolama koşullarına özen gösterilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla temiz yem ve su hayvana sağlanmalı depolanma koşullarına dikkat edilmelidir.

Kaynaklar

- Adhikari, BM., Bjarnadóttir, SG., Alves-Barroco, C., Thapa, D., Jaiswal, AK., Mathada, RV., Roopesh, MS. (2019). Strategies to control *Clostridium botulinum* in low-acid foods: Current status and future opportunities. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(4), 1056-1106.
- Bavouzet, JM., Allais, A., Macquot, B., Bernard, J. (1993). Inactivation of *Clostridium botulinum* spores by high temperature. *International journal of food science & technology*, 28(3), 265-274.
- Blakely, RD., Sonders, MS. (1994). Signal receptor ligands attenuate veratridine-induced [3H]dopamine release from rat striatal synaptosomes. *Journal of Neurochemistry*, 62(1), 210-221.
- Böhnel, H., Gessler, F. (2005a). Botulinum toxins-cause of botulism and systemic diseases?. *Veterinary research communications*, 29, 313-345. <https://doi.org/10.1023/B:VERC.0000048489.45634.32>
- Böhnel, H., Gessler, F. (2005b). Botulinum Toxin - An Ecological Poison: Properties, Functionality and Feasible Countermeasures. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 66(3), 317-325.
- Böhnel, H., Schwagerick, B., Gessler, F. (2001). Visceral botulism-a new form of bovine *Clostridium botulinum* toxification. *Journal of Veterinary Medicine, Series B*, 48(5), 373-383. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0442.2001.00372.x>





- Brandi, G., Schiatti, F., Biavati, B., Calabrese, R. (1996). Radiosensitivity of *Clostridium botulinum* spores. *Journal of food protection*, 59(4), 374-377.
- Briozzo, J., Nuñez, L., Chirife, J., Herszage, L., D'aquino, M. (1983). Antimicrobial activity of clove oil dispersed in a concentrated sugar solution. *Journal of Applied Bacteriology*, 54(1), 139-143. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.1989.tb02456.x>
- Conner, DE., Beuchat, LR. (1984). Effects of essential oils from plants on growth of food spoilage yeasts. *Journal of Food Science*, 49(2), 429-434. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1984.tb12437.x>
- Dahlenborg, M., Borch, E., Rådström, P. (2001). Development of a combined selection and enrichment PCR procedure for *Clostridium botulinum* types B, E, and F and its use to determine prevalence in fecal samples from slaughtered pigs. *Applied and Environmental Microbiology*, 67(10), 4781-4788. <https://doi.org/10.1128/AEM.67.10.4781-4788.2001>
- Daisley, BA., Ogunkanmi, A. (2021). Neurotoxins. In StatPearls. StatPearls Publishing.
- Davies, DR., Merry, RJ., Williams, AP., Bakewell, EL., Leemans, DK., Tweed, JK. (1998). Proteolysis during ensilage of forages varying in soluble sugar content. *Journal of Dairy Science*, 81(2), 444-453. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(98\)75596-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75596-1)
- Dezfulian, M., Bartlett, JG. (1985). Isolation of *Clostridium botulinum* from animal feeds. *Journal of Clinical Microbiology*, 21(4), 529-530.
- Dodds, KL. (1993). *Clostridium botulinum* in the environment. In *Clostridium botulinum* 21-52. CRC Press.
- Doyle, MP. (2007). *Food microbiology: fundamentals and frontiers*. Washington, DC: ASM Press.
- Driehuis, F., Oude Elferink, SJWH. (2000). The impact of the quality of silage on animal health and food safety: a review. *Veterinary Quarterly*, 22(4), 212-216. <https://doi.org/10.1080/01652176.2000.9695061>
- Erbguth, FJ. (2004). Historical notes on botulism, *Clostridium botulinum*, botulinum toxin, and the idea of the therapeutic use of the toxin. *Movement Disorders*, 19(S8), S2-S6. <https://doi.org/10.1002/mds.20003>
- Farkas, J. (2006). Irradiation for better foods. *Trends in Food Science & Technology*, 17(4), 148-152. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2005.12.003>
- Galey, FD., Terra, R., Walker, R., Adaska, J., Etchebarne, MA., Puschner, B., Whitlock, RH. (1987). Type C botulism in dairy cattle from feed contaminated with a dead cat. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, 9(3), 268-271. <https://doi.org/10.1177/104063870001200302>
- Gálvez, A., Abriouel, H., López, RL., Omar, NB. (2007). Bacteriocin-based strategies for food biopreservation. *International journal of food microbiology*, 120(1-2), 51-70. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2007.06.001>
- Georget, E., Siegmund, B., Lemmens, L., Johler, S., Hofer, A., Beekes, M., Mathys, A. (2015). Inactivation of *Clostridium botulinum* spores by high-pressure thermal processing: an international multi-laboratory study. *Applied and environmental microbiology*, 81(19), 6619-6627.
- Gibson, AM., Hobbs, G. (1987). *Clostridium botulinum* and processed meats. *Journal of Applied Bacteriology*, 63(2), 141-152.
- Graham, AF., Mason, DR., Peck, MW. (1997). Tetanus toxin production by *Clostridium tetani* in a range of different culture media. *Journal of Applied Microbiology*, 83(2), 181-187.
- Hossain, MI., Sadekuzzaman, M., Ha, SD. (2017). Probiotics as potential alternative biocontrol agents in the agriculture and food industries: a review. *Food Research International*, 100, 63-73. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.07.077>
- Huss, HH. (1980). Distribution of *Clostridium botulinum*. *Applied and environmental microbiology*, 39(4), 764-769. <https://doi.org/10.1128/aem.39.4.764-769.1980>
- Hyldgaard, M., Mygind, T., Meyer, RL. (2012). Essential oils in food preservation: mode of action, synergies, and interactions with food matrix components. *Frontiers in microbiology*, 3, 12. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2012.00012>
- Ito, KA., Billon, JA., Ones, ER., Meoj, MP. (1976). Destruction of *Clostridium botulinum* spores by heat. *Applied and Environmental Microbiology*, 32(6), 919-922.
- Juneja, VK., Sofos, JN., Yan, X. (2019). *Bacterial spores in food: control, inactivation, and detection*. CRC Press.
- Koç, B., Aydın Vural, H. (2019). Ruminantlarda botulismus. Aydın Vural H, editör. Büyükbaş hayvan yetiştiriciliğinde kullanılan ilaçlar, 1, 20-25.
- Kung Jr, L., Shaver, RD. (2001). Interpretation and use of silage fermentation analysis reports. *Focus on Forage*, 3(13), 1-5.
- Leistner, L. (2000). Basic aspects of food preservation by hurdle technology. *International journal of food microbiology*, 55(1-3), 181-186. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(00\)00161-6](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(00)00161-6)
- Lindström, M., Heikinheimo, A., Lahti, P., Korkeala, H. (2010). Novel insights into the epidemiology of *Clostridium botulinum*. *Food Microbiology*, 27(6), 717-725. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2010.03.020>
- Loftin, AH., McCleskey, FK. (2020). Botulism. In StatPearls. StatPearls Publishing.
- Lund, BM. (1990). Foodborne disease due to *Bacillus* and *Clostridium* species. *The Lancet*, 336(8719), 982-986.
- Lund, BM., Peck, MW. (2000). *Clostridium botulinum*. In *The microbiological safety and quality of food* (pp. 1057-1109). Aspen Publishers, Inc.
- Mañas, P., Pagán, R. (2005). Microbial inactivation by new technologies of food preservation. *Journal of Applied Microbiology*, 98(6), 1387-1399. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2005.02561.x>
- McDonald, P., Henderson, AR., Heron, SJ. (1991). *The biochemistry of silage*. Chalcombe publications.
- Montville, TJ., Matthews, KR. (2008). *Food microbiology: an introduction*. American Society for Microbiology Press.
- Niemira, BA. (2012). Cold plasma decontamination of foods. *Annual Review of Food Science and Technology*, 3, 125-142. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-022811-101132>
- Notermans, S., Dufrenne, J., Oei, HY. (1979). Botulinum toxin production by strains of *Clostridium botulinum* in relation to water activity and solute concentration. *Journal of Food Protection*, 42(8), 668-672.
- Pahlow, G., Muck, RE., Driehuis, F., Elferink, SJO., Spoelstra, SF. (2003). Microbiology of ensiling. *Silage science and technology*, 42, 31-93. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr42.c2>





- Peck, MW. (2006). Clostridium botulinum and the safety of minimally heated, chilled foods: an update. Food Control, 17(6), 472-478. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2006.02987.x>
- Peck, MW. (2009). Biology and genomic analysis of Clostridium botulinum. In Advances in microbial physiology (Vol. 55, pp. 183-265). Academic Press.
- Petrone, G., Conte, MP., Nicolai, MA., Palmieri, S., Majolino, D., Cavallazzi, JR. (2002). Competition between Bacillus coagulans and Clostridium botulinum: a potential role for surfactin. Current microbiology, 45(1), 28-32.
- Qureshi, S., Uzal, F.A., Homeland Security Center of Excellence. (2012). Botulism in Animals: An Update. Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice, 28(2), 317-333.
- Radostits, O.M., Gay, C.C., Blood, D.C., Hinchcliff, K.W. (2000). Veterinary Medicine: A Textbook of the Diseases of Cattle, Sheep, Pigs, Goats and Horses. 9. Baski, W.B. Saunders.
- Ramaswamy, H. S., Zaman, S. U., Smith, J. P., Simpson, M. V. (2020). High pressure processing of foods for microbial safety and quality. Annual Review of Food Science and Technology, 11, 419-444.
- Reineke, K., Sevenich, R., Philipp, C., Crew, A., Nesbakken, T., Bredholt, S., Mathys, A. (2015). Comparative study on the high-pressure inactivation behavior of the closely related Clostridium diff icile strains 027 and 024. Applied and environmental microbiology, 81(19), 6543-6553.
- Ritter, J.M., Sanchez-Vazquez, M.J., Yager, P.H. (2019). Vaccination Against Botulism in Cattle and Sheep: A Systematic Review and Meta-Analysis. The Veterinary Journal, 244, 77-84.
- Schoenbaum, M. A., Freund, J. D., Beran, G. W. (2000). Elimination of Clostridium botulinum from compost by solarization. Compost Science & Utilization, 8(4), 350-356.
- Scurlock-Jones, J. M., Mackey, B. M. (2001). Inactivation of Clostridium botulinum spores using high hydrostatic pressure. Food microbiology, 18(4), 391-396.
- Smith, L. D. (1977). Botulism: the organism, its toxins, the disease. Charles C Thomas Publisher.
- Svensson, B., Tjener, K., Lantz, A. E., Mortensen, P. P. (2008). The potential for biocontrol of Clostridium botulinum in fishmeal using Bacillus cereus group bacteria. Biotechnology Letters, 30(6), 1013-1018.
- Trokhymchuk, A., Petryna, A., Zhyla, M., Dalekorey, H., Kovalchuk, N. (2019). Botulism in cattle - Causes, symptoms, diagnostics and treatment. Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies, 21(94), 109–114.
- USDA (United States Department of Agriculture). (2018). Bovine Botulism: Causes, Symptoms, and Prevention. USDA Animal and Plant Health Inspection Service.
- Whitlock, R. H., Pearson, J. E., Fillios, L. C., Hatheway, C. L., McCroskey, L. M. (1986). Type C botulism in horses. Journal of the American Veterinary Medical Association, 189(2), 212-216.
- Zeiller, M., Rothballe, M., Iwobi, A. N., Böhnle, H., Gessler, F., Hartmann, A., Schmid, M. (2015). Systemic colonization of clover (Trifolium repens) by Clostridium botulinum strain 2301. Frontiers in microbiology, 6, 1207. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.01207>

