

Hayvan Beslemede Sürdürülebilir ve Yenilikçi Yaklaşımlar

Editör

MEHMET YARDIMCI



BİDGE Yayınları

Hayvan Beslemede Sürdürülebilir ve Yenilikçi Yaklaşımlar

Editör: MEHMET YARDIMCI

ISBN: 978-625-372-959-2

1. Baskı

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

Yayınlama Tarihi: 2025-12-25

BİDGE Yayınları

Bu eserin bütün hakları saklıdır. Kaynak gösterilerek tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının ve editörün yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Sertifika No: 71374

Yayın hakları © BİDGE Yayınları

www.bidgeyayinlari.com.tr - bidgeyayinlari@gmail.com

Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.

Güzeltepe Mahallesi Abidin Daver Sokak Sefer Apartmanı No: 7/9 Çankaya /
Ankara



ÖNSÖZ

Hayvansal üretimde verimlilik, sağlık ve sürdürülebilirliğin eş zamanlı olarak sağlanması, günümüzde hayvan besleme biliminin temel önceliklerinden biri hâline gelmiştir.

Geleneksel besleme yaklaşımlarının yerini giderek daha bütüncül, mekanizma temelli ve biyolojik süreçleri merkeze alan stratejiler almaktadır. Bu dönüşüm, özellikle sindirim sistemi mikrobiyotası, rumen fermantasyonu, alternatif yem kaynakları ve gen–besin etkileşimleri gibi alanlarda yürütülen çalışmalarla ivme kazanmaktadır. Bu bağlamda hayvan besleme, yalnızca rasyon formülasyonu ile sınırlı bir uygulama alanı olmaktan çıkarak, moleküler biyoloji, mikrobiyoloji ve genetik bilimleriyle güçlü biçimde etkileşen disiplinler arası bir yapıya dönüşmüştür.

Bu kitapta yer alan çalışmalar, söz konusu dönüşümün farklı boyutlarını ele alarak hayvan beslemede çağdaş yaklaşımlara bilimsel bir perspektif sunmayı amaçlamaktadır. Buzağı besleme stratejileri bağlamında gastrointestinal sistem mikrobiyotası ve rumen fermantasyonunun değerlendirilmesi, erken yaşam döneminde sindirim sistemi gelişiminin ve mikrobiyal dengenin hayvan sağlığı ve performansı üzerindeki belirleyici rolünü ortaya koymaktadır. Alglerin besin kaynağı ve fonksiyonel yem katkısı olarak ele alındığı bölüm, alternatif protein ve biyoaktif bileşen kaynaklarının hem hayvan besleme hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından taşıdığı potansiyele dikkat çekmektedir. Nutrisyonel genetik ve gen–rasyon etkileşimlerini irdeleyen çalışma ise, beslenmenin gen ekspresyonu ve fenotip üzerindeki etkilerini moleküler düzeyde ele alarak, hassas ve bireye özgü besleme stratejilerinin bilimsel temelini açıklamaktadır.

Bu çalışmaların ortak paydası, hayvan beslemede tek yönlü verim odaklı yaklaşımlar yerine sindirim fizyolojisi, mikrobiyal ekosistemler, genetik altyapı ve çevresel sürdürülebilirliği birlikte değerlendiren bir bakış açısını benimsemeleridir. Bu yönüyle kitap hem akademik araştırmacılar hem de uygulayıcılar için güncel bilimsel bilgiyi derli toplu bir çerçevede sunmayı hedeflemektedir. Sunulan bilgilerin gelecekte geliştirilecek besleme stratejileri ve araştırma konuları için yol gösterici olması dileğiyle...

Doç. Dr. MEHMET YARDIMCI
TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ

İÇİNDEKİLER

HAYVAN BESLEMEDE ALGLER: BESİN KAYNAĞI, FONKSİYONEL ETKİLER VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK	1
---	---

ŞERMİN TOP

CURRENT APPROACHES TO GASTROINTESTINAL TRACT MICROBIOTA AND RUMEN FERMENTATION IN CALF FEEDING STRATEGIES	30
---	----

ASLIHAN SUR, MUHİTTİN ZENGİN

NUTRİSYONEL GENETİK: HAYVANLARDA GEN-RASYON ETKİLEŞİMLERİNİ ANLAMAK	66
--	----

NAZLICAN DERE, MURAD GÜRSES

HAYVAN BESLEMEDE YAYGIN OLARAK KULLANILAN TERİMLER	89
---	----

SAİD BİLGİNTURAN

BÖLÜM 1

HAYVAN BESLEMEDE ALGLER: BESİN KAYNAĞI, FONKSİYONEL ETKİLER VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

ŞERMİN TOP¹

Giriş

Küresel ölçekte artan nüfus, kentleşme ve gelir düzeyindeki yükselişe paralel olarak hem bitkisel hem de hayvansal ürünleri kapsayan toplam gıda talebinin 2050 yılına kadar 2010 seviyelerine kıyasla %35–56 oranında artacağı; iklim değişikliğinin mevcut ve öngörülen etkileri dikkate alındığında ise bu artışın %62'ye kadar ulaşabileceği tahmin edilmektedir (van Dijk ve ark., 2021). Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından da vurgulandığı üzere, bu artışın temel itici güçleri nüfus artışı ile birlikte hayvansal kaynaklı gıdaların tüketimindeki belirgin yükseliştir (FAO, 2017). Bu eğilim, hayvancılık sektöründe yem talebinin nicelik ve nitelik açısından artmasına yol açmakta ve mevcut yem üretim sistemlerinin sürdürülebilirliğini tartışmaya açmaktadır.

Hayvancılık üretim zincirlerinde sürdürülebilirliğin sağlanmasındaki en önemli güçlüklerden biri, yem üretimine bağlı

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Harran Üniversitesi Veteriner Fakültesi, Hayvan Besleme ve Beslenme Hastalıkları Ana Bilin Dalı, Orcid: 0000-0003-2684-7798

çevresel baskıların azaltılmasıdır. Arazi kullanımındaki değişimler, sera gazı (GHG) emisyonları, su kaynaklarının aşırı kullanımı, ötrofikasyon ve asitlenme süreçleri ile biyolojik çeşitlilik kaybı, yem üretiminin çevresel ayak izini belirleyen temel unsurlar arasında yer almaktadır. Bu sorunlar, FAO'nun 2006 yılında yayımladığı "Hayvancılığın Uzun Gölgesi: Çevresel Sorunlar ve Seçenekler" başlıklı rapor ile birlikte küresel ölçekte geniş bir farkındalık kazanmıştır (FAO, 2006). Son yıllarda ise bu çerçeve, yem–gıda rekabeti (Makkar, 2018; Manceron ve ark., 2014) ve hayvancılıkta antimikrobiyal kullanımına bağlı olarak gelişen antimikrobiyal direnç (Ibeagha-Awemu ve ark., 2025) gibi ilave sürdürülebilirlik başlıklarını da kapsayacak şekilde genişlemiştir. Buna karşılık, hassas hayvancılık uygulamaları ve yenilikçi üretim teknolojileri, çevresel ve sosyal sürdürülebilirliğin desteklenmesinde tamamlayıcı araçlar olarak önem kazanmaktadır (Tullo ve ark., 2019).

Bu küresel dinamikler içerisinde, özellikle yüksek proteinli yem hammaddelerine olan bağımlılık, alternatif ve sürdürülebilir yem kaynaklarına duyulan gereksinimi daha da belirgin hâle getirmektedir. Avrupa Birliği'nde (AB) hayvancılık sektörü, %30–50 düzeyinde protein içeren yem bileşenlerinde, özellikle yağlı tohum küspelerinde, yalnızca %28 oranında kendi kendine yeterli durumdadır (FEFAC, 2025). Bu durum, hayvansal üretimin büyük ölçüde ithal soya küspesine bağımlı olmasına yol açmakta; sektörün küresel piyasalardaki fiyat dalgalanmalarına ve tedarik risklerine karşı kırılganlığını artırmaktadır. Ayrıca, soya fasulyesi üretiminin başlıca ihracatçı ülkelerde ormansızlaşma ve doğal ekosistemlerin dönüştürülmesi yoluyla genişlemesi, çevresel sürdürülebilirlik açısından ciddi endişeleri beraberinde getirmektedir (Jia ve ark., 2020; Prudêncio da Silva ve ark., 2010). Bu tablo, özellikle organik hayvancılık sistemlerinde kullanımı yasak olan genetiği değiştirilmiş (GD) soya fasulyesinin küresel ölçekte yaygınlığı ile daha da karmaşık hâle gelmektedir. Nitekim GD soya fasulyesi,

2017 yılı itibarıyla yaklaşık 105 milyon hektarlık bir ekim alanına ulaşmış ve küresel soya üretiminin yaklaşık %80'ini oluşturmuştur (Kleter ve ark., 2018; Xu ve ark., 2022).

Tüm bu gelişmeler, hayvan beslemede çevresel etkileri daha düşük, yerel olarak temin edilebilen ve yem–gıda rekabetini azaltan alternatif protein kaynaklarının belirlenmesi ve değerlendirilmesinin önemini açıkça ortaya koymaktadır. Bu gereksinim, organik hayvancılığın payının giderek arttığı AB ülkelerinde daha da belirginleşmektedir. Örneğin, AB’de organik olarak yetiştirilen sığırların toplam sürü içindeki payı 2018 yılında %5,5 iken, bu oran 2022 yılında %7,2’ye yükselmiştir (EUROSTAT, 2025). Bu eğilim, hayvan beslemede alternatif ve sürdürülebilir yem kaynaklarına yönelik araştırmaların ve uygulamaların önümüzdeki dönemde daha da önem kazanacağını göstermektedir.

Algler, insanlık tarihi boyunca hem gıda hem de tarımsal üretim sistemlerinde çeşitli amaçlarla kullanılmış, ancak hayvan beslemede sistematik olarak değerlendirilmesi görece yeni bir yaklaşım olarak öne çıkmıştır. Tarihsel olarak, alglerin gıda ve yem olarak kullanımına ilişkin en eski kayıtlar Doğu Asya’ya uzanmakta; özellikle Çin ve Japonya’da makroalglerin (deniz yosunlarının) hem insan beslenmesinde hem de hayvan yemi olarak değerlendirildiği bilinmektedir (Becker, 2007). Benzer şekilde, Orta Amerika’da Aztek uygarlığının *Spirulina* (*Arthrospira spp.*) gibi mikroalgleri besin kaynağı olarak kullandığına dair bulgular mevcuttur (Habib ve ark., 2008).

Modern anlamda alglerin hayvan beslemede kullanımı ise 20. yüzyılın ortalarından itibaren, özellikle II. Dünya Savaşı sonrasında artan protein açığına çözüm arayışları kapsamında gündeme gelmiştir. Mikroalglerin yüksek protein içeriği, hızlı büyüme kapasiteleri ve tarım arazisine doğrudan bağımlı olmadan üretilebilmeleri, bu organizmaları alternatif yem hammaddeleri

açısından dikkat çekici kılmıştır (Becker, 2007; Spolaore ve ark., 2006). Bu dönemde yapılan çalışmalar, *Chlorella*, *Spirulina* ve *Scenedesmus* gibi mikroalglerin yem rasyonlarına dâhil edilmesinin teknik olarak mümkün olduğunu ve hayvan performansı üzerinde olumlu etkiler gösterebileceğini ortaya koymuştur (Pluz ve Gross, 2004).

Günümüzde algler, hayvan beslemede yalnızca bir protein kaynağı olarak değil, aynı zamanda fonksiyonel bileşenler sağlayan stratejik yem hammadde olarak değerlendirilmektedir. Özellikle mikroalgler; yüksek kaliteli proteinlerin yanı sıra uzun zincirli çoklu doymamış yağ asitleri (Eikosapentaenoik Asit (EPA) ve Dokosaheksaenoik Asit (DHA), pigmentler, vitaminler, mineraller ve biyolojik olarak aktif bileşikler içermeleri nedeniyle yoğun ilgi görmektedir (Gouveia ve ark., 2008; Madeira ve ark., 2017). Makroalgler ise mineral içerikleri, prebiyotik polisakkaritleri ve rumen fermantasyonu üzerindeki düzenleyici etkileri nedeniyle özellikle ruminant beslemede araştırma konusu olmaktadır (Kinley et al, 2016).

Son yıllarda alglerin hayvan beslemede kullanımına yönelik ilginin artmasında, sürdürülebilirlik hedefleri belirleyici bir rol oynamaktadır. Alg üretiminin görece düşük arazi kullanımı gerektirmesi, atık su veya deniz suyu gibi alternatif su kaynaklarıyla gerçekleştirilebilmesi ve karbon yakalama potansiyeline sahip olması, bu organizmaları çevresel açıdan cazip kılmaktadır (Chisti, 2007). Ayrıca, alg bazlı yem bileşenlerinin yem-gıda rekabetini azaltma potansiyeli ve yerel üretim olanakları, algleri hayvan beslemede alternatif ve sürdürülebilir yem kaynakları arasında ön plana çıkarmaktadır (Sarker ve ark., 2016).

Bu bölümde, hayvan beslemede alglerin potansiyeli; besin madde içeriği, fonksiyonel etkileri ve sürdürülebilirlik perspektifi çerçevesinde bütüncül bir yaklaşımla ele alınmaktadır. Bu

kapsamda, mikroalg ve makroalglerin protein, lipit, vitamin, mineral ve biyoaktif bileşenler açısından besleme değerleri değerlendirilecek; söz konusu özelliklerin hayvan performansı, sağlık durumu ve hayvansal ürün kalitesi üzerindeki etkileri güncel literatür ışığında tartışılacaktır. Ayrıca, alg bazlı yem hammaddelerinin yem–gıda rekabetinin azaltılması, çevresel ayak izinin düşürülmesi ve yerel üretim olanaklarının geliştirilmesi gibi sürdürülebilir hayvancılık hedeflerine katkısı irdelenecektir. Bu doğrultuda bölüm, alglerin konvansiyonel protein kaynaklarına alternatif veya tamamlayıcı yem bileşenleri olarak hayvan besleme sistemlerine entegrasyonuna ilişkin bilimsel temelli bir değerlendirme sunmayı amaçlamaktadır.

Alglerin Sınıflandırılması ve Genel Özellikleri

Algler, fotosentetik özellik gösteren ve çoğunlukla sucul ortamlarda yaşayan, besinsel ve biyolojik açıdan zengin içerikleri nedeniyle hem insan hem de hayvan beslenmesinde uzun süredir ilgi odağı olan organizmalardır (Dillehay ve ark., 2008). Tarihsel süreçte farklı kültürlerde gıda, yem ve tıbbi amaçlarla kullanılan algler; protein, lipit, vitamin, mineral ve çeşitli biyoaktif bileşiklerce zengin olmaları sayesinde günümüzde alternatif ve doğal yem kaynakları arasında değerlendirilmektedir (Munda, 1977; Sanchez-Machado ve ark., 2004). Yapısal ve fonksiyonel özelliklerine bağlı olarak algler genel olarak mikroalgler ve makroalgler (deniz yosunları) olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır (Singh ve ark., 2005). Mikroalgler mikroskobik yapıda olup yüksek protein ve biyolojik değeri yüksek besin maddeleri içermeleriyle öne çıkarken; makroalgler ise mineral içerikleri, polisakkarit yapıları ve fonksiyonel etkileri ile dikkat çekmektedir (Brown ve ark., 1997; Cohen, 1997; Fleurence, 1999). Alglerin bu çeşitliliği, hayvan beslemede farklı türler ve üretim sistemleri için geniş bir kullanım potansiyeli sunmakta; özellikle sürdürülebilir yem kaynaklarına yönelik arayışların arttığı günümüzde önemlerini daha da artırmaktadır (Seyidoğlu, 2017).

Mikroalgler

Mikroalgler, mikroskobik boyutlarda, çoğunlukla tek hücreli veya koloni hâlinde yaşayan fotosentetik organizmalardır. Yüksek protein içerikleri, biyolojik değeri yüksek amino asit profilleri, uzun zincirli çoklu doymamış yağ asitleri ve çeşitli biyoaktif bileşenler içermeleri nedeniyle hayvan beslemede en fazla ilgi gören alg grubunu oluşturmaktadırlar (Becker, 2004; Becker, 2007). Ayrıca hızlı büyüme kapasiteleri ve tarım arazisine doğrudan bağımlı olmadan üretilibilmeleri, mikroalgleri sürdürülebilir yem kaynakları açısından cazip kılmaktadır (Pulz ve Gross, 2004).

Spirulina (Arthrospira spp.), hayvan beslemede en yaygın kullanılan mikroalg türlerinden biridir. Yüksek ham protein içeriği (%60–70), zengin vitamin (özellikle B grubu vitaminler) ve mineral bileşimi ile dikkat çekmektedir. Ayrıca fikosiyanın gibi pigmentler ve polisakkarit yapılar içermesi, *Spirulina*'nın bağışıklık sistemi ve performans üzerine potansiyel olumlu etkilerinin araştırılmasına yol açmıştır. Sindirilebilirliğinin yüksek olması, bu mikroalgin farklı hayvan türlerinde yem katkı maddesi olarak kullanımını desteklemektedir (Becker, 2004; Madeira ve ark., 2017; Pulz ve Gross, 2004).

Chlorella spp., klorofil içeriği yüksek, yeşil renkli mikroalgler olup protein, vitamin ve mineraller açısından zengin bir yapıya sahiptir. Hücre duvar yapısı nedeniyle sindirilebilirliği *Spirulina*'ya kıyasla daha sınırlı olmakla birlikte, uygun işleme yöntemleriyle bu dezavantaj büyük ölçüde giderilebilmektedir. *Chlorella* türleri, özellikle bağışıklık sistemi üzerine etkileri ve antioksidan potansiyelleri nedeniyle hayvan beslemede değerlendirilmektedir (Madeira ve ark., 2017; Pulz ve Gross, 2004).

Nannochloropsis spp., özellikle yüksek eikosapentaenoik asit (EPA) içeriği ile öne çıkan mikroalglerdir. Bu özellikleri nedeniyle daha çok akuakültür yemlerinde kullanılmakta; balık ve

kabuklu türlerde büyüme performansı ve ürün kalitesi üzerine etkileri araştırılmaktadır. Aynı zamanda antioksidan bileşikler içermeleri, fonksiyonel yem bileşeni olarak potansiyellerini artırmaktadır (Madeira ve ark., 2017; Sarker ve ark., 2016).

Schizochytrium spp., ise heterotrofik mikroalgler arasında yer almakta ve özellikle dokosahekzaenoik asit (DHA) bakımından zengin içeriğiyle dikkat çekmektedir. Bu mikroalgler, hayvansal ürünlerin yağ asidi profilinin iyileştirilmesi amacıyla ruminant ve monogastrik hayvan rasyonlarında alternatif bir lipid kaynağı olarak değerlendirilmektedir (Madeira ve ark., 2017; Sarker ve ark., 2016).

Makroalgler (Deniz Yosunları)

Makroalgler, genellikle denizel ortamlarda yaşayan, makroskobik yapıda ve çok hücreli alglerdir. Yüksek mineral içerikleri, kompleks polisakkarit yapıları ve bazı türlerde bulunan biyoaktif bileşikler nedeniyle hayvan beslemede fonksiyonel katkı maddeleri olarak önem kazanmaktadır (Fleurence, 1999; Holdt ve Kraan, 2011). Makroalgler, pigment yapılarına göre üç ana grupta sınıflandırılmaktadır.

Kahverengi algler (*Phaeophyceae*), fukoksantin pigmenti ile karakterize edilmekte olup alginat, laminarin ve mannitol gibi polisakkaritler açısından zengindir. Bu bileşenler, sindirim sistemi üzerinde düzenleyici etkilere sahip olup özellikle ruminant beslemede rumen fermentasyonu ve metan üretimi üzerindeki potansiyel etkileri nedeniyle araştırılmaktadır (Holdt ve Kraan, 2011; Kinley ve ark., 2016).

Kırmızı algler (*Rhodophyceae*), karragenan ve agar gibi yapısal polisakkaritler içermeleriyle öne çıkmaktadır. Bu maddeler gıda ve yem teknolojisinde bağlayıcı ve stabilizatör olarak kullanılmakta; ayrıca kırmızı alglerin mineral ve protein içerikleri

hayvan besleme açısından dikkat çekmektedir (Fleurence, 1999; Holdt ve Kraan, 2011).

Yeşil algler (*Chlorophyceae*) ise klorofil bakımından zengin olup protein ve bazı vitaminler açısından önemli bir kaynak oluşturmaktadır. Besinsel içerikleri türlere göre değişkenlik göstermekle birlikte, özellikle lif ve mineral katkısı açısından hayvan beslemede değerlendirilebilmektedirler (Holdt ve Kraan, 2011).

Alglerin Yetiştiriciliği ve Üretim Yöntemleri

Alglerin hayvan beslemede etkin ve güvenli bir şekilde kullanılabilmesi, üretim yöntemleri ve elde edilen biyokütlenin kalitesi ile yakından ilişkilidir. Alg üretimi genel olarak açık sistemler ve kapalı fotobiyoreaktörler olmak üzere iki ana yöntemle gerçekleştirilmektedir. Açık sistemler, düşük yatırım maliyetleri ve geniş ölçekli üretime uygun olmaları nedeniyle yaygın olarak kullanılmakta; ancak çevresel koşullara bağlı değişkenlik ve kontaminasyon riski gibi sınırlılıkları bulunmaktadır (Chisti, 2007).

Kapalı fotobiyoreaktörler ise daha kontrollü üretim koşulları sunmakta, yüksek kalite ve standardizasyon sağlamakla birlikte daha yüksek üretim maliyetleri gerektirmektedir (Chisti, 2007; Spolaore ve ark., 2006). Üretim yöntemi, alglerin besin madde içeriği, biyoaktif bileşen profili ve dolayısıyla hayvan beslemedeki etkinliği üzerinde doğrudan etkili olmaktadır. Bu nedenle, alglerin yem hammaddesi olarak değerlendirilmesinde üretim maliyeti ile elde edilen ürün kalitesi arasındaki dengenin gözetilmesi büyük önem taşımaktadır (Spolaore ve ark., 2006).

Alglerin Besin Madde İçeriği ve Besleme Değeri

Algler, türlerine ve yetiştirme koşullarına bağlı olarak değişmekle birlikte, hayvan besleme açısından yüksek besinsel değere sahip yem hammaddeleri arasında yer almaktadır. Mikroalg

ve makroalgler; protein, lipit, karbonhidrat, vitamin, mineral ve çeşitli biyoaktif bileşenler bakımından zengin içerikleri sayesinde yalnızca temel besin maddesi kaynağı olarak değil, aynı zamanda fonksiyonel yem bileşeni olarak da değerlendirilmektedir (Becker, 2004; Seyidoğlu, 2017).

Mikroalgler, özellikle yüksek ham protein içerikleri ile dikkat çekmektedir. *Spirulina* ve *Chlorella* gibi türlerde protein oranının %50–70 düzeylerine ulaşabildiği, bu proteinlerin esansiyel amino asitler bakımından dengeli bir profile sahip olduğu bildirilmektedir (Becker, 2004; Becker, 2007). Mikroalg proteinlerinin biyolojik değerinin yüksek olması, hayvan performansı ve yemden yararlanma açısından önemli bir avantaj sağlamaktadır (Pulz ve Gross, 2004). Bununla birlikte, bazı türlerde hücre duvar yapısının sindirilebilirliği sınırlayabildiği, bu durumun uygun işleme teknikleriyle iyileştirilebildiği belirtilmektedir (Madeira ve ark., 2017).

Alglerin lipit fraksiyonu, özellikle uzun zincirli çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA) açısından önem taşımaktadır. *Nannochloropsis spp.* ve *Schizochytrium spp.* gibi mikroalgler, sırasıyla eikosapentaenoik asit (EPA) ve dokosahekzaenoik asit (DHA) bakımından zengin olup, bu özellikleri sayesinde hayvansal ürünlerin yağ asidi kompozisyonunun iyileştirilmesinde kullanılmaktadır (Gouveia, 2008; Sarker ve ark., 2016). Alg kaynaklı bu yağ asitlerinin, et, süt ve yumurta gibi ürünlerin besinsel kalitesini artırabileceği bildirilmektedir (Madeira ve ark., 2017).

Karbonhidrat içeriği bakımından algler, özellikle yapısal polisakkaritler yönünden zengindir. Makroalglerde bulunan alginat, laminarin, fukoidan ve karragenan gibi bileşikler, sindirim sistemi fonksiyonları üzerinde etkili olabilmekte ve prebiyotik özellikler gösterebilmektedir (Fleurence, 1999; Holdt ve Kraan, 2011). Bu bileşiklerin, rumen fermentasyonu ve bağırsak mikrobiyotası

üzerinde düzenleyici etkilere sahip olabileceği ifade edilmektedir (Holdt ve Kraan, 2011; Kinley ve ark., 2016).

Algler ayrıca vitamin ve mineral içeriği açısından da dikkat çekmektedir. Özellikle B grubu vitaminler, A, D, E ve K vitaminleri ile iyot, demir, kalsiyum, magnezyum ve çinko gibi mineraller bakımından zengin olmaları, alglerin hayvan rasyonlarında tamamlayıcı bir besin kaynağı olarak kullanılmasına olanak sağlamaktadır (Fleurence, 1999; Seyidoğlu, 2017). Ancak, bazı makroalg türlerinde iyot gibi minerallerin yüksek düzeylerde bulunabilmesi, kullanım miktarlarının dikkatle belirlenmesini gerekli kılmaktadır (Holdt ve Kraan, 2011).

Bunun yanı sıra algler; pigmentler (fikosiyanin, klorofil, karotenoidler), polifenoller ve antioksidan bileşikler gibi biyoaktif maddeler içermektedir. Bu bileşenlerin oksidatif stresin azaltılması, bağışıklık sisteminin desteklenmesi ve hayvan sağlığının iyileştirilmesi yönünde olumlu etkiler gösterebileceği bildirilmektedir (Madeira ve ark., 2017; Pulz ve Gross, 2004). Bu özellikler, alglerin yalnızca besin maddesi sağlayan yem hammaddeleri değil, aynı zamanda fonksiyonel yem katkıları olarak da değerlendirilmesini mümkün kılmaktadır.

Genel olarak alglerin besin madde içeriği ve besleme değeri; alg türü, yetiştirme ortamı, hasat zamanı ve uygulanan işleme yöntemlerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle, hayvan beslemede alglerin etkin ve güvenli bir şekilde kullanılabilmesi için besin madde kompozisyonlarının iyi tanımlanması ve uygun rasyon formülasyonlarının yapılması büyük önem taşımaktadır (Becker, 2004; Spolaore, 2006).

Alg Kaynaklarının (Makro ve Mikroalgler) Hayvan Beslemede Performans, Sağlık ve Ürün Kalitesi Üzerine Etkileri

Algler (makroalgler ve mikroalgler), içerdği yüksek kaliteli protein, fonksiyonel polisakkaritler, çoklu doymamış yağ asitleri, vitaminler, mineraller ve biyoaktif bileşikler sayesinde hayvan beslemede alternatif ve sürdürülebilir yem kaynakları olarak dikkat çekmektedir. Alglerin performans, sağlık ve ürün kalitesi üzerindeki etkileri; alg türü, rasyona katılma düzeyi, hayvanın sindirim fizyolojisi ve üretim dönemi gibi faktörlere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

Performans Üzerine Etkileri

Alglerin büyüme ve verim performansı üzerindeki etkileri, ruminant ve monogastrik hayvanlar arasında belirgin farklılıklar göstermektedir. Bu farklılık, alg hücre duvarı yapısının ve içerdği kompleks bileşiklerin sindirim sistemlerinde farklı şekillerde değerlendirilmesiyle ilişkilidir (Makkar ve ark., 2016).

Ruminantlarda Performans Üzerine Etkiler

Ruminant hayvanlarda makroalgler genellikle yem katkısı veya fonksiyonel ekstrakt formunda kullanılırken, mikroalgler daha çok protein ve lipid kaynağı olarak değerlendirilmiştir. Kahverengi makroalglerde bulunan alginat, laminarin ve fukoidan gibi polisakkaritler ile mikroalglerde yer alan antioksidan pigmentler, rumen fonksiyonunu dolaylı olarak etkileyebilmektedir.

Çeşitli çalışmalarda, düşük düzeylerde makroalg veya mikroalg ilavesinin ruminantlarda canlı ağırlık artışı ve yemden yararlanma üzerinde sınırlı fakat olumlu etkiler oluşturabildiği bildirilmiştir. Bu etki özellikle çevresel veya biyotik stres koşullarında daha belirgin hâle gelmektedir. Ancak yüksek düzeylerde alg kullanımı, rumen fermentasyonunu baskılayarak yem tüketimini azaltabilmekte ve performansı olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Makkar ve ark., 2016).

Mikroalglerin yüksek çoklu doymamış yağ asidi içeriği (özellikle *Schizochytrium spp.*) rumen mikrobiyal aktivitesini sınırlandırabilmekte, bu nedenle ruminant rasyonlarında dikkatli düzeylerde kullanılması önerilmektedir.

Monogastrik Hayvanlarda (Kanatlılar ve Domuzlar) Performans Üzerine Etkiler

Monogastrik hayvanlarda alglerin performans üzerindeki etkileri daha belirgin ve tutarlıdır. Mikroalgler (*Arthrospira*, *Chlorella*, *Schizochytrium spp.*) yüksek kaliteli protein, esansiyel amino asitler ve fonksiyonel lipidler bakımından zengin olmaları nedeniyle canlı ağırlık artışı ve yemden yararlanma üzerinde olumlu etkiler gösterebilmektedir.

Makroalg ve mikroalg kökenli prebiyotik bileşikler, bağırsak mikrobiyotasını düzenleyerek sindirim etkinliğini artırmakta, özellikle sütten kesim sonrası dönemde yemden yararlanma oranını iyileştirebilmektedir (O'Doherty ve ark., 2010; Ruiz ve ark., 2018). Ancak alglerin yüksek lif ve kül içeriği nedeniyle rasyona aşırı düzeylerde katılması, yem tüketimini sınırlandırarak performansı baskılayabilmektedir.

Kanatlılarda, düşük ve orta düzeylerde alg kullanımı canlı ağırlık artışı ve yemden yararlanma oranı (YYO) üzerinde olumlu etkiler oluştururken, yüksek düzeylerde tam alg kullanımı performansı olumsuz etkileyebilmektedir.

Sağlık ve Bağışıklık Sistemi Üzerine Etkileri

Alglerin hayvan sağlığı üzerindeki en önemli etkileri, antioksidan kapasite ve bağışıklık sistemi modülasyonu yoluyla ortaya çıkmaktadır. Bu özellikler hem makroalgleri hem de mikroalgleri fonksiyonel yem katkıları açısından değerli hâle getirmektedir.

Antioksidan Etkiler

Makroalglerde bulunan florotaninler ve polifenoller ile mikroalglerde yer alan karotenoidler (β -karoten, astaksantin) ve vitaminler, güçlü antioksidan etki göstermektedir. Bu bileşikler oksidatif stresi azaltarak hücresel bütünlüğü korumakta ve metabolik verimliliği desteklemektedir (Makkar ve ark., 2016).

Antioksidan etkinin özellikle sıcaklık stresi, yüksek verim dönemi ve bağışıklık baskısı altındaki hayvanlarda daha belirgin olduğu bildirilmektedir.

İmmün Modülasyon ve Antimikrobiyal Etkiler

Makroalg ve mikroalg kökenli biyolojik olarak aktif polisakkaritler, bağışıklık sistemini uyarıcı etki göstermektedir. Laminarin ve fukoidan gibi bileşiklerin, immünoglobulin düzeylerini artırarak humoral bağışıklık yanıtını güçlendirdiği ve inflamatuvar yanıtı dengelediği bildirilmektedir (Bouwhuis ve ark., 2017; Corino ve ark., 2019; Walsh ve ark., 2013).

Ayrıca alg ilavesinin bağırsak mikrobiyotasını düzenleyerek patojen bakterilerin (*Escherichia coli*, *Salmonella* spp.) baskılanmasına ve faydalı bakteri popülasyonlarının artmasına katkı sağladığı gösterilmiştir (O'Doherty ve ark., 2010; Ruiz ve ark., 2018). Bu özellik, antibiyotik kullanımına alternatif stratejiler açısından önem taşımaktadır.

Ürün Kalitesi Üzerine Etkileri

Alglerin hayvansal ürün kalitesi üzerindeki etkileri, içerdiği fonksiyonel bileşenlerin et, süt ve yumurta bileşimine yansısıyla ilişkilidir.

Et, Süt ve Yumurta Kalitesi

Makroalg ve mikroalglerin rasyona ilavesi; etin oksidatif stabilitesi, sütün mineral ve yağ asidi profili ile yumurta kabuk kalitesi ve ağırlığı üzerinde olumlu etkiler oluşturabilmektedir. Mikroalglerin özellikle DHA ve EPA bakımından zengin olması, hayvansal ürünlerin beslenme değerini artırmaktadır.

Yağ Asidi Profili ve Raf Ömrü

Alglerin içerdiği antioksidanlar ve biyolojik olarak aktif lipidler, et ve süt ürünlerinde oksidatif bozulmayı geciktirerek raf ömrünü uzatmakta ve ürün kalitesini iyileştirmektedir (Meale ve ark., 2014; Makkar ve ark., 2016).

Ruminant Beslemede Alglerin Kullanımı: Performans, Besin Değeri ve Rumen Fonksiyonları

Ruminantlarda alglerin yem rasyonlarına ilavesi, son yıllarda hem beslenme değeri hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından yoğun şekilde araştırılmıştır. Mikroalgler, yüksek kaliteli protein ve özellikle çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA) bakımından zengin olmalarıyla öne çıkmaktadır ve ruminal fermentasyonda özgün etkiler göstermektedir (Abd El-Ghany ve ark., 2024; Zhu ve ark., 2024). *In vitro* çalışmalar, *Nannochloropsis gaditana* ve *Tisochrysis lutea* gibi türlerin, EPA ve DHA gibi uzun zincirli PUFA'ların bir kısmını rumen mikrobiyal hidrojenasyona uğramadan geçirebildiğini, bu sayede sistemik yağ asidi profilini olumlu yönde etkileyebileceğini göstermiştir (Marcos ve ark., 2025).

Alglerin ruminant performansı üzerindeki etkileri, canlı ağırlık artışı ve yemden yararlanma açısından karmaşık bir tablo çizmektedir. Bazı mikroalg türleri, rumen fermentasyon ürünlerinin propiyonat oranını artırarak enerji verimliliğini destekleyebilirken, ADF (asid deterjan fibri) gibi lif parçalanması üzerinde olumsuz etkiler oluşturmaktadır. Ayrıca mikroalglerin metan üretimine etkisi son dönemde önemli bir araştırma alanıdır; örneğin *Dunaliella salina*'nın *in vitro* koşullarda metan üretimini azalttığı rapor edilmiştir (Elghandour ve ark., 2023). Bu, makroalglerin ürettiği biyoaktif bileşiklere benzer biçimde, mikrobiyal metabolizma üzerinde düzenleyici bir etki ortaya koymaktadır.

Makroalgler de ruminantlarda hem performansı hem de çevresel etkiyi hedefleyen besleme stratejileri içinde değerlendirilmektedir. Özellikle bazı makroalg türleri, düşük düzeylerde diyetle verildiğinde rumen fermentasyon profilini daha az metan üretimine doğru değiştirme potansiyeli taşımaktadır, buna karşın lif içeriği yüksek olan türlerin aşırı kullanımı sindirilebilirliği sınırlayabilmektedir. Sonuç olarak, mikro- ve makroalglerin

ruminant beslemedeki kullanımı; potansiyel besinsel ve fonksiyonel avantajlarla birlikte, rumen mikrobiyotası ve fermentasyon süreçlerine etkileri bakımından titiz bir rasyon formülasyonu gerektirir.

Kanatlı Beslemede Algler: Performans, Bağışıklık ve Ürün Kalitesi

Kanatlı hayvanlarda alglerin beslenmede kullanılmasına yönelik araştırmalar hem performans hem de sağlık ve ürün kalitesi üzerinde önemli bulgular ortaya koymaktadır. Mikroalglerin yüksek protein, vitamin, mineral ve biyoaktif bileşen içeriği, kanatlıların büyüme performansı ve antioksidan savunma sistemini desteklemektedir. Çok yeni bir derleme, mikroalg ilavesinin broiler ve yumurtacı tavuklarda IgA, IgM ve IgG düzeylerini artırarak immün fonksiyonu olumlu etkilediğini ve oksidatif stres belirteçlerini azalttığını rapor etmiştir (Van Nerom ve ark., 2024).

Ayrıca mikroalglerin içerdiği omega-3 yağ asitleri, özellikle yumurta sarısı yağ asidi profili üzerine pozitif etkiler oluşturmakta ve ürünün fonksiyonel besin değerini artırabilmektedir. Geniş kapsamlı bir inceleme, mikroalglerin kanatlı diyetlerine eklenmesinin besin bileşimini zenginleştirdiğini ve sağlık-iletişimsel faydalar sağlayabileceğini ortaya koymuştur (Islam ve ark., 2025). Bu etki, geleneksel protein kaynaklarına alternatif arayışları ile örtüşmekte olup, sürdürülebilir kanatlı besleme stratejilerinde alg bazlı bileşenlerin potansiyel bir çözüm olarak değerlendirildiğini göstermektedir.

Sürdürülebilirlik ve Çevresel Etkiler

Hayvancılık sektörü, küresel sera gazı (GHG) emisyonlarının önemli bir kısmını oluşturarak, özellikle metan (CH₄) ve karbondioksit (CO₂) gibi etkili gazların atmosfere salınımında belirgin rol oynamaktadır. Bu durum, artan hayvansal ürün talebi ve çevresel sürdürülebilirlik hedefleri bağlamında kritik bir zorluk teşkil etmektedir. Geleneksel yem hammaddelerinin üretimi; tarım arazilerinin kullanımı, su tüketimi ve karbon ayak izi gibi çevresel baskıları artırırken, alternatif yem kaynaklarının geliştirilmesi

Çevresel etkileri azaltma potansiyeli taşıtmaktadır (Elghandour ve ark., 2023; Mavrommatis ve ark., 2023; Zhu ve ark., 2024).

Alglerin  retimi ve kullanımı, sürdürülebilir hayvancılık perspektifinde çift yönlü çevresel fayda sunar. Bir yandan alger, fotosentez yoluyla CO₂'nin biyokütleye dönüştürülmesi gibi doğal karbon sekestrasyon mekanizmaları sayesinde doğrudan çevresel fayda sağlayabilir; bu, özellikle mikroalglerin yetiştirilmesinde atmosferik karbonun biyolojik birikimini artırma potansiyeli ile ilişkilendirilmiştir (Elghandour ve ark., 2023). Diğer yandan, algerin düşük arazi gereksinimi ve tarım dışı alanlarda  retilabilir olması, geleneksel yem hammaddelerine duyulan bağımlılığı azaltarak çevresel baskıları minimize edebilir (Robles-Jimenez ve ark., 2024; Tahir ve ark., 2024).

Hayvancılıkta metan emisyonlarının azaltılması, sürdürülebilirlik hedefleri açısından özellikle önemlidir. Metan, 100 yıllık küresel ısınma potansiyeli açısından CO₂'den yaklaşık 28 kat daha güçlü bir sera gazıdır ve ruminantların enterik fermantasyonu nedeniyle yoğun miktarda üretilmektedir. Bu bağlamda, mikroalglerin yem katkısı olarak kullanılması, ruminal mikrobiyal fermantasyon süreçlerini modüle ederek metan üretimini doğrudan azaltma potansiyeli taşıtmaktadır;  rneğin *Dunaliella salina* gibi türlerin *in vitro* koşullarda CH₄ üretimini önemli ölçüde düşürdüğü rapor edilmiştir (Elghandour ve ark., 2023). Ayrıca bazı makroalgler ( zellikle *Asparagopsis taxiformis*), bromoform gibi aktif bileşikler aracılığıyla metan oluşumunu %80'e varan oranlarda engelleyebilmektedir, bu da enterik metan emisyonlarında dramatik düşüşler sağlayabilir (Ahmed ve ark., 2023).

Alg bazlı yaklaşımlar döngüsel ekonomi ilkeleriyle de yakından ilişkilidir. Örneğin, mikroalglerin atık su arıtımı ve besin geri kazanımı için kullanılması, su kaynaklarının yükünü azaltırken nitrojen ve fosfor gibi kirleticilerin biyolojik olarak tutulmasına imk n tanır; böylece çevresel kirlilik ve eutrofikasyon riskleri düşürülebilir (Hassan ve ark., 2022). Ayrıca atıksu ve tarımsal yan ürünlerin mikroalg üretiminde hammadde olarak değerlendirilmesi, biyokütle üretimini sürdürülebilir döngüsel sistemlere dönüştürebilir

ve hem ekonomik hem çevresel kazanç sağlayabilir (Yu ve ark., 2024).

Hayvancılık sektörünün karbon ayak izi açısından değerlendirilmesinde, alg temelli yem stratejileri, yem üretiminden dolayı dolaylı emisyonları azaltmayı; enterik metan ve gübreden kaynaklanan doğrudan emisyonları minimize etmeyi amaçlayan bütüncül bir sürdürülebilirlik modelinin parçası olarak görülebilir. Bu yaklaşım, alglerin hem çevresel hem de üretim verimliliği açısından çok boyutlu çözüm sunduğunu göstermektedir.

Kullanım Sınırlılıkları ve Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar

Alglerin hayvan beslemede potansiyel faydalarına rağmen, bu kaynakların yaygın ve ekonomik olarak sürdürülebilir şekilde kullanılmasını kısıtlayan bir dizi teknik, biyolojik ve düzenleyici zorluk bulunmaktadır. Bu sınırlamalar, alglerin ticari yem bileşeni olarak benimsenmesi için gerekli olan kapsamlı araştırma, üretim optimizasyonu ve kalite güvencesi çabalarını zorunlu kılmaktadır.

Yüksek Üretim ve İşletme Maliyetleri

Mikroalg üretiminin ekonomik fizibilitesi halen önemli bir engel teşkil etmektedir. Mikroalglerin kontrollü ortamlarda (örneğin fotobiyoreaktörler) yetiştirilmesi, hasat edilmesi, kurutulması ve son ürün hâline getirilmesi yüksek enerji ve sermaye gerektirmektedir. Bu süreçler, geleneksel yem hammaddelerine göre çok daha yüksek üretim maliyetlerine yol açmakta ve alg bazlı ürünlerin yaygın benimsenmesini sınırlamaktadır. Özellikle fotobiyoreaktör gibi kapalı sistemler, yüksek kontrol imkânı sağlasa da işletme ve enerji maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır ki bu durum üretim maliyetlerini önemli ölçüde yükseltmektedir (Anonim, 2025).

Bu bağlamda mikroalglerin ekonomik olarak rekabet edebilir hâle gelmesi, üretim teknolojilerinin ölçeklenebilirliği, enerji verimliliği ve hasat/sunum süreçlerinin maliyet etkin hale getirilmesi ile doğrudan ilişkilidir. Dolayısıyla, mevcut üretim maliyetleri alglerin geniş ölçekli hayvan yemi uygulamalarını hâlâ kısıtlamaktadır.

Sindirilebilirlik ve Doz Sınırlamaları

Alglerin beslenme değerlerini fiilen sağlayabilmesi, sindirilebilirlik ve biyoyararlanım ile yakından ilişkilidir. Birçok mikroalg ve makroalg türü, hücre duvarlarının özellikle polisakkarit bakımından zengin ve rezistan olması nedeniyle monogastrik hayvanlarda (rneğin kanatlı, domuz) sindirilebilirliği sınırlayabilmektedir. Özellikle sert hücre duvarları yağ, protein ve diğer besin bileşenlerinin erişimini kısıtlayarak sindirilebilirliği düşürebilir ve bu da besin maddesi etkinliğini sınırlayabilir (Ahmad ve ark., 2022). Bu tür sınırlamaların üstesinden gelmek için güncel araştırmalar, karbohidrat aktif enzimler (CAZymes) veya hücre duvarını zayıflatan ön işlem stratejileri gibi biyoteknik yaklaşımları değerlendirmektedir. Bu yöntemler, mikroalglerin içerdiği besin maddelerine erişimi artırarak performans ve yem verimliliğini iyileştirme potansiyeli taşır ancak üretim ve uygulama süreçlerini daha karmaşık hâle getirir (Coelho ve ark., 2019; Mavrommatis ve ark., 2023; Mishra ve ark., 2023).

Alglerin rasyona ilavesi için optimal doz aralığının belirlenmesi, sindirilebilirlik, hayvan türü, yaş ve fizyolojik durum gibi faktörlere bağlıdır. Yüksek oranlarda alg içeriği, özellikle bazı türlerde sindirilebilirliği ve yem tüketimini olumsuz etkileyebilmekte; bu nedenle alglerin rasyonlarda fonksiyonel katkı seviyelerinde (<1–5 % KM) kullanılması yaygın bir stratejidir (Cabrita ve ark., 2023).

Ağır Metal ve Toksin Riski

Algler doğal olarak çevresel bileşenleri absorbe edebilme yeteneğine sahip olduklarından, yetiştirildikleri ortamdan ağır metal ve çevresel kirleticileri bünyelerine alabilirler. Çinko, kurşun, kadmiyum ve arsenik gibi metallerin birikmesi, algler aracılığıyla hayvan diyetine geçebilir ve bunun sonucunda hem hayvan sağlığı hem de hayvansal ürünlerin güvenliği açısından riskler ortaya çıkabilir (Prates, 2025).

Ayrıca bazı mikroalg türleri (zellikle belirli siyanobakteriler) mikrotoksin gibi zararlı bileşikler üretme kapasitesine sahiptir; bu toksinler karaciğer gibi organlara zarar verebilir. Bu nedenle alg üretimi ve yem hammaddesi olarak kullanımı sırasında kaynak suyu ve kültür ortamı

kontaminasyonunun önlenmesi, kalite kontrol protokollerinin uygulanması ve yetiştirme ortamlarının özenle seçilmesi hayati öneme sahiptir (Prates, 2025).

Standardizasyon ve Mevzuat Sorunları

Alg bazlı yem hammaddeleri için küresel düzeyde standartlaştırılmış kalite ve güvenlik kriterleri henüz tam olarak oluşturulmamıştır. Bu durum, üreticiler ve yem formülatörleri açısından tüketicilere güvenilir ve stabil ürün sunma konusunda güçlükler yaratmaktadır. Farklı üretim koşullarının besin profili ve potansiyel toksin içeriği üzerinde önemli etkileri olduğundan, alg ürünlerinin güvenli şekilde kullanılması için uluslararası standartlar, analiz yöntemleri ve regülasyonlar geliştirilmelidir (Martínez-Ruiz ve ark., 2025).

Yönetmeliklerin farklı ülkelerde değişkenlik göstermesi ve yeni yem bileşenlerine yönelik onay süreçlerinin karmaşık olması da alg bazlı yemlerin ticari kabulünü yavaşlatan bir başka önemli faktördür. Ayrıca alg bazlı ürünlerin bazı ülkelerde ‘yeni yem hammaddesi (novel feed ingredient)’ kapsamında sınıflandırılması, ek risk değerlendirmeleri ve resmi onay süreçlerini gerekli kılmakta; bu durum söz konusu ürünlerin piyasaya giriş süresinin uzamasına neden olabilmektedir (Jimoh ve ark., 2025).

Sonuç ve Öneriler

Algler, hayvan beslemede alternatif ve sürdürülebilir yem kaynakları arayışında giderek daha fazla ilgi gören biyokütleler arasında yer almaktadır. Gerek mikroalgler gerekse makroalgler; yüksek kaliteli protein, esansiyel amino asitler, uzun zincirli çoklu doymamış yağ asitleri (özellikle DHA ve EPA), vitaminler, mineraller ve çeşitli biyoaktif bileşenler bakımından zengin içerikleriyle dikkat çekmektedir. Bu özellikleriyle algler, yalnızca konvansiyonel yem hammaddelerine bir alternatif olmakla kalmamakta, aynı zamanda hayvan sağlığı ve performansını destekleyen fonksiyonel yem bileşenleri olarak da değerlendirilmektedir.

Literatürdeki bulgular, alglerin hayvan türüne, alg kaynağına (mikroalg–makroalg), işleme yöntemine ve rasyona dahil edilme düzeyine bağlı olarak büyüme performansı, yemden yararlanma, bağışıklık yanıtı, ürün kalitesi ve çevresel etki göstergeleri üzerinde farklı düzeylerde etkiler oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Ruminantlarda alglerin özellikle rumen fermantasyonu, metan üretiminin azaltılması ve protein kullanım etkinliği açısından potansiyel sunduğu; monogastrik hayvanlarda ise bağırsak sağlığı, antioksidan kapasite ve immunomodülasyon yoluyla performansı destekleyebildiği bildirilmektedir. Bununla birlikte, yüksek lif içeriği ve kompleks hücre duvarı yapısına sahip bazı alg türlerinde sindirilebilirlik sınırlamaları ve yüksek dahil edilme düzeylerinde performans üzerindeki olası olumsuz etkiler dikkatle değerlendirilmelidir.

Pratik uygulamalar açısından değerlendirildiğinde, alglerin hayvan rasyonlarına düşük–orta düzeylerde (çoğunlukla %0,5–5 KM aralığında) ve fonksiyonel katkı amacıyla dahil edilmesi, mevcut koşullarda daha uygun bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca alg biyokütlesinin kurutma, öğütme, ekstraksiyon veya enzimatik ön işlem gibi teknolojilerle işlenmesi; besin maddelerinin biyoyararlanımını artırarak yem değerini iyileştirebilir. Ancak bu işlemlerin üretim maliyetlerine etkisi göz önünde bulundurulmalı ve ekonomik sürdürülebilirlik mutlaka dikkate alınmalıdır. Aynı zamanda, ağır metal birikimi ve olası toksik bileşikler açısından alg kaynaklarının kalite kontrolü ve mevzuata uygunluğu, güvenli kullanımın temel koşulları arasında yer almaktadır.

Gelecekte yapılacak araştırmalarda; farklı alg türlerinin hayvan türüne özgü besleme stratejileri kapsamında değerlendirilmesi, uzun dönemli performans ve ürün kalitesi üzerindeki etkilerinin ortaya konulması ve alglerin yem–gıda–çevre etkileşimi bağlamında bütüncül olarak incelenmesi gerekmektedir. Özellikle son yıllarda öne çıkan sera gazı emisyonlarının azaltılması,

antibiyotik kullanımının sınırlandırılması ve yerel protein kaynaklarının geliştirilmesi hedefleri doğrultusunda, alglerin hayvansal üretim sistemlerindeki rolü daha derinlemesine ele alınmalıdır. Bunun yanında, üretim teknolojilerinin ölçeklenebilirliğini artırmaya yönelik biyoteknolojik yaklaşımlar ve ekonomik analizler, alglerin ticari yem sektöründe daha yaygın kullanımını mümkün kılacak kritik araştırma alanları olarak değerlendirilmektedir.

Sonuç olarak, algler hayvan beslemede besleyici değerleri, fonksiyonel etkileri ve çevresel sürdürülebilirliğe katkıları ile yüksek potansiyele sahip biyolojik kaynaklardır. Ancak bu potansiyelin pratik ve yaygın uygulamalara dönüştürülebilmesi, disiplinler arası araştırmalar, standartlaştırılmış üretim süreçleri ve bilimsel temelli besleme stratejilerinin geliştirilmesi ile mümkün olacaktır.

Kaynakça

- Abd El-Ghany, M. N., Shahat, F. M., & Hassan, M. M. (2024). Nanomaterials from Waste and Their Application for Wastewater Treatment. In *Circular Economy* (pp. 230-255). CRC Press.
- Ahmad, A., W. Hassan, S., & Banat, F. (2022). An overview of microalgae biomass as a sustainable aquaculture feed ingredient: food security and circular economy. *Bioengineered*, 13(4), 9521-9547. DOI: <https://doi.org/10.1080/21655979.2022.2061148>
- Ahmed, E., Suzuki, K., & Nishida, T. (2023). Micro-and macro-algae combination as a novel alternative ruminant feed with methane-mitigation potential. *Animals*, 13(5), 796. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani13050796>
- Anonim.2025.
<https://www.24chemicalresearch.com/reports/297081/microalgae-for-animal-feed-market> (Erişim tarihi: 18/12/2025).
- Becker, E. W. (2004). Microalgae in human and animal nutrition. In A. Richmond (Ed.), *Handbook of Microalgal Culture* (pp. 312–351). Oxford: Blackwell Publishing. DOI: <https://doi.org/10.1002/9780470995280>
- Becker, E. W. (2007). Micro-algae as a source of protein. *Biotechnology advances*, 25(2), 207-210. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2006.11.002>
- Bouwhuis, M. A., Sweeney, T., Mukhopadhyaya, A., McDonnell, M. J., & O'Doherty, J. V. (2017). Maternal laminarin supplementation decreases Salmonella Typhimurium shedding and improves intestinal health in piglets following an experimental challenge with S. Typhimurium post-weaning. *Animal Feed Science and Technology*, 223, 156-168. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.11.007>
- Brown, M. R., Jeffrey, S. W., Volkman, J. K., & Dunstan, G. A. (1997). Nutritional properties of microalgae for

- mariculture. *Aquaculture*, 151(1-4), 315-331. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(96\)01501-3](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(96)01501-3)
- Cabrita, A. R., Guilherme-Fernandes, J., Spínola, M., Maia, M. R., Yergaliyev, T., Camarinha-Silva, A., & Fonseca, A. J. (2023). Effects of microalgae as dietary supplement on palatability, digestibility, fecal metabolites, and microbiota in healthy dogs. *Frontiers in Veterinary Science*, 10, 1245790 DOI: <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1245790>
- Chisti, Y. (2007). Biodiesel from microalgae. *Biotechnology advances*, 25(3), 294-306. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2007.02.001>
- Coelho, D., Lopes, P. A., Cardoso, V., Ponte, P., Brás, J., Madeira, M. S., ... & Prates, J. A. (2019). Novel combination of feed enzymes to improve the degradation of *Chlorella vulgaris* recalcitrant cell wall. *Scientific Reports*, 9(1), 5382 DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41775-0>
- Cohen, Z. (1997). The chemicals of *Spirulina*. In *Spirulina Platensis Arthrospira* (pp. 193-222). CRC Press.
- Corino, C., Modina, S. C., Di Giancamillo, A., Chiapparini, S., & Rossi, R. (2019). Seaweeds in pig nutrition. *Animals*, 9(12), 1126. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani9121126>
- Dillehay, T. D., Ramírez, C., Pino, M., Collins, M. B., Rossen, J., & Pino-Navarro, J. D. (2008). Monte Verde: seaweed, food, medicine, and the peopling of South America. *science*, 320(5877), 784-786. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1156533>
- Elghandour, M. M. M. Y., Maggiolino, A., Alvarado-Ramírez, E. R., Hernández-Meléndez, J., Rivas-Cacerese, R. R., Hernández-Ruiz, P. E., ... & Salem, A. Z. M. (2023). Marine microalgae as a nutritive tool to mitigate ruminal greenhouse gas production: in vitro fermentation characteristics of fresh and ensiled maize (*Zea mays* L.) forage. *Veterinary Sciences*, 10(9), 556. DOI: <https://doi.org/10.3390/vetsci10090556>

- European Feed Manufacturers' Federation (FEFAC). (2025). Available online: <https://fefac.eu/> (Erişim Tarihi: 1 15 Aralık 2025).
- EUROSTAT. Available online: <https://ec.europa.eu> (Erişim tarihi 15 Aralık 2025).
- Fleurence, J., Moranaais, M., & Dumay, J. (2018). Seaweed proteins. In *Proteins in food processing* (pp. 245-262). Woodhead Publishing
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2006). *Livestock's Long Shadow: Environmental Issues and Options*; FAO: Rome, Italy, ISBN 978-92-5-105571-7.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2017). *The Future of Food and Agriculture: Trends and Challenges*; FAO: Rome, Italy, ISBN 978-92-5-109551-5.
- Gouveia, L., Batista, A. P., Sousa, I., Raymundo, A., & Bandarra, N. M. (2008). Microalgae in novel food products. *Food Chemistry Research Developments*, 2, 75–112.
- Habib, M. A. B., Parvin, M., Huntington, T. C., & Hasan, M. R. (2008). A review on culture, production and use of spirulina as food for humans and feeds for domestic animals and fish. *FAO Fisheries and Aquaculture Circular* No. 1034. Rome: FAO.
- Hassan, R. I., Refaie, M. S., El-Shoukary, R. D., Rehan, I. F., Zigo, F., Karaffová, V., & Amer, H. Y. (2022). Effect of dietary microalgae (*Spirulina platensis*) on growth performance, ingestive behavior, hemato-biochemical parameters, and economic efficiency of Fayoumi broilers. *Life*, 12(11), 1892 DOI: <https://doi.org/10.3390/life12111892>
- Holdt, S. L., & Kraan, S. (2011). Bioactive compounds in seaweed: functional food applications and legislation. *Journal of applied phycology*, 23(3), 543-597. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10811-010-9632-5>

- Ibeagha-Awemu, E. M., Omonijo, F. A., Piché, L., & Vincent, A. T. (2025). Alternatives to antibiotics for sustainable livestock production in the context of the One-Health-Approach: Tackling a common foe. *Frontiers in Veterinary Science*, 12, 1605215. DOI: <https://doi.org/10.3389/fvets.2025.1605215>
- Islam, R., Bhakta, S., Khatun, A., Feroz, T., & Siddique, M. P. (2025). Microalgal diversity, nutritional profiles, and applications in poultry nutrition: A comprehensive review. *Animal Nutrition*, 22, 426-441. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2025.02.010>
- Jia, F., Peng, S., Green, J., Koh, L., & Chen, X. (2020). Soybean supply chain management and sustainability: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 255, 120254.
- Jimoh, T. S., Falakin, T. O., & Mensah, E. K. (2025). Advancing Sustainable US Aquaculture: Microalgae as a Fishmeal Alternative for Rainbow Trout. *Journal of Agriculture, Aquaculture, and Animal Science*, 2(2), 112-120 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120254>
- Kinley, R. D., de Nys, R., Vucko, M. J., Machado, L., & Tomkins, N. W. (2016). The red macroalgae *Asparagopsis taxiformis* is a potent natural antimethanogenic that reduces methane production during in vitro fermentation. *Animal Production Science*, 56, 282–289. DOI: <https://doi.org/10.1071/AN15576>
- Kleter, G., McFarland, S., Bach, A., Bernabucci, U., Bikker, P., Busani, L., ... & Einspanier, R. (2018). Surveying selected European feed and livestock production chains for features enabling the case-specific post-market monitoring of livestock for intake and potential health impacts of animal feeds derived from genetically modified crops. *Food and Chemical Toxicology*, 117, 66-78. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2017.10.004>
- Madeira, M. S., Cardoso, C., Lopes, P. A., Coelho, D., Afonso, C., Bandarra, N. M., & Prates, J. A. M. (2017). Microalgae as feed ingredients for livestock production and meat quality: A review.

- Livestock Science*, 205, 111–121. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2017.09.020>
- Makkar, H. P., Tran, G., Heuzé, V., Giger-Reverdin, S., Lessire, M., Lebas, F., & Ankers, P. (2016). Seaweeds for livestock diets: A review. *Animal Feed Science and Technology*, 212, 1–17. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.09.018>
- Makkar, H. P. S. (2018). Feed demand landscape and implications of food–not feed strategy for food security and climate change. *Animal*, 12(8), 1744–1754. DOI: <https://doi.org/10.1017/S175173111700324X>
- Manceron, S., Ben-Ari, T., & Dumas, P. (2014). Feeding proteins to livestock: Global land use and food vs. feed competition. *OCL Oilseeds and fats crops and lipids*, 21(4), 10. DOI: <https://dx.doi.org/10.1051/ocl/2014020>
- Martínez-Ruiz, F. E., Andrade-Bustamante, G., Holguín-Peña, R. J., Renganathan, P., Gaysina, L. A., Sukhanova, N. V., & Puente, E. O. R. (2025). Microalgae as Functional Food Ingredients: Nutritional Benefits, Challenges, and Regulatory Considerations for Safe Consumption. *Biomass*, 5(2), 25 DOI: <https://doi.org/10.3390/biomass5020025>
- Mavrommatis, A., Tsiplakou, E., Zerva, A., Pantiora, P. D., Georgakis, N. D., Tsintzou, G. P., ... & Labrou, N. E. (2023). Microalgae as a sustainable source of antioxidants in animal nutrition, health and livestock development. *Antioxidants*, 12(10), 1882 DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox12101882>
- Meale, S. J., Chaves, A. V., He, M. L., & McAllister, T. A. (2014). Dose–response of supplementing marine algae (*Schizochytrium* spp.) on production performance, fatty acid profiles, and wool parameters of growing lambs. *Journal of animal science*, 92(5), 2202–2213. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2013-7024>
- Mishra, P., Das, R., Chaudhary, A., Mishra, B., & Jha, R. (2023). Effects of microalgae, with or without xylanase supplementation, on

- growth performance, organs development, and gut health parameters of broiler chickens. *Poultry science*, 102(11), 103056 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.103056>
- Munda, I. M. (1977). Differences in amino acid composition of estuarine and marine fucoids. *Aquatic Botany*, 3, 273-280 DOI: [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(77\)90029-8](https://doi.org/10.1016/0304-3770(77)90029-8)
- Marcos, C. N., Heras-Molina, A., de Evan, T., Carro, M. D., Gómez-Serrano, C., Terré, M., ... & Astiz Blanco, S. (2025). In vitro evaluation of microalgae as a source of polyunsaturated fatty acids for ruminants. *Journal of Applied Phycology*, 1-7. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10811-025-03579-w>
- O'doherty, J. V., Dillon, S., Figat, S., Callan, J. J., & Sweeney, T. (2010). The effects of lactose inclusion and seaweed extract derived from *Laminaria* spp. on performance, digestibility of diet components and microbial populations in newly weaned pigs. *Animal feed science and technology*, 157(3-4), 173-180. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2010.03.004>
- Prates, J. A. (2025). The role of microalgae in providing essential minerals for sustainable swine nutrition. *Frontiers in Animal Science*, 6, 1526433 DOI: <https://doi.org/10.3389/fanim.2025.1526433>
- Pulz, O., & Gross, W. (2004). Valuable products from biotechnology of microalgae. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 65, 635–648. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00253-004-1647-x>
- Prudêncio Da Silva, V. P., van der Werf, H. M., Spies, A., & Soares, S. R. (2010). Variability in environmental impacts of Brazilian soybean according to crop production and transport scenarios. *Journal of environmental management*, 91(9), 1831-1839. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.04.001>
- Robles-Jimenez, L. E., Ghavipanje, N., Ulloa, A., Rivero, A., Gallardo, P., & Gonzalez Ronquillo, M. (2024). Sub-Antarctic Macroalgae as Feed Ingredients for Sustainable Ruminant Production: In Vitro

- Total Gas and Methane Production. *Methane*, 3(3), 456-465 DOI: <https://doi.org/10.3390/methane3030026>
- Ruiz, Á. R., Gadické, P., Andrades, S. M., & Cubillos, R. (2018). Supplementing nursery pig feed with seaweed extracts increases final body weight of pigs. *Austral journal of veterinary sciences*, 50(2), 83-87 DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0719-81322018000200083>
- Sánchez-Machado, D. I., López-Cervantes, J., Lopez-Hernandez, J., & Paseiro-Losada, P. (2004). Fatty acids, total lipid, protein and ash contents of processed edible seaweeds. *Food chemistry*, 85(3), 439-444. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.08.001>
- Sarker, P. K., Kapuscinski, A. R., Lanois, A. J., Livesey, E. D., Bernhard, K. P., & Coley, M. L. (2016). Towards sustainable aquafeeds: Complete substitution of fish oil with microalgal oil. *Scientific Reports*, 6, 20784. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156684>
- Seyidoğlu, N. (2017). Algler. *Turkiye Klinikleri Animal Nutrition and Nutritional Diseases-Special Topics*, 3(1), 1-7.
- Singh, S., Kate, B. N., & Banerjee, U. C. (2005). Bioactive compounds from cyanobacteria and microalgae: an overview. *Critical reviews in biotechnology*, 25(3), 73-95. DOI: <https://doi.org/10.1080/07388550500248498>
- Spolaore, P., Joannis-Cassan, C., Duran, E., & Isambert, A. (2006). Commercial applications of microalgae. *Journal of bioscience and bioengineering*, 101(2), 87-96. DOI: <https://doi.org/10.1263/jbb.101.87>
- Tahir, F., Ashfaq, H., Khan, A. Z., Amin, M., Akbar, I., Malik, H. A., ... & Malik, S. (2024). Emerging trends in algae farming on non-arable lands for resource reclamation, recycling, and mitigation of climate change-driven food security challenges. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 23(3), 869-896. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11157-024-09697-0>

- Tullo, E., Finzi, A., & Guarino, M. (2019). Environmental impact of livestock farming and Precision Livestock Farming as a mitigation strategy. *Science of the total environment*, 650, 2751-2760. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.018>
- Van Dijk, M., Morley, T., Rau, M. L., & Saghai, Y. (2021). A meta-analysis of projected global food demand and population at risk of hunger for the period 2010–2050. *Nature food*, 2(7), 494-501. DOI: <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00322-9>
- Van Nerom, S., Coleman, B., De Baets, R., Van Immerseel, F., Robbens, J., & Delezie, E. (2024). Microalgae as feed additives in poultry: a review on the health-promoting effects. *Algal Research*, 83, 103733. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.algal.2024.103733>
- Walsh, A. M., Sweeney, T., O'shea, C. J., Doyle, D. N., & O'doherty, J. V. (2013). Effect of dietary laminarin and fucoidan on selected microbiota, intestinal morphology and immune status of the newly weaned pig. *British Journal of Nutrition*, 110(9), 1630-1638. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0007114513000834>
- Xu, H., Guo, Y., Qiu, L., & Ran, Y. (2022). Progress in soybean genetic transformation over the last decade. *Frontiers in plant science*, 13, 900318. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.900318>
- Yu, B. S., Pyo, S., Lee, J., & Han, K. (2024). Microalgae: a multifaceted catalyst for sustainable solutions in renewable energy, food security, and environmental management. *Microbial Cell Factories*, 23(1), 308. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12934-024-02588-7>
- Zhu, M., Singer, S. D., Guan, L. L., & Chen, G. (2024). Emerging microalgal feed additives for ruminant production and sustainability. *Advanced Biotechnology*, 2(2), 17 DOI: <https://doi.org/10.1007/s44307-024-00024-w>

BÖLÜM 2

CURRENT APPROACHES TO GASTROINTESTINAL TRACT MICROBIOTA AND RUMEN FERMENTATION IN CALF FEEDING STRATEGIES

**ASLIHAN SUR¹
MUHITTİN ZENGİN²**

Introduction

It is great important that calves, which will build the future of farms and have the most important impact on ensuring sustainability, are cared for and fed in the most sensitive and healthy way during this period. Calves can be exposed to many stress factors after birth, including changes in their environment. Especially exposure to natural conditions after the sterile uterine environment, as well as differences in feeding form between the period when the calf is breastfed by its mother and the period when it can digest its feed, may cause changes in the calf's life. Young calves can be

¹ Doç. Dr., Balıkesir Üniversitesi, Kepsut Meslek Yüksekokulu, Veterinerlik Bölümü, Orcid: [0000-0002-3692-5510](https://orcid.org/0000-0002-3692-5510)

² Dr. Öğr.Üyesi., Balıkesir Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Hayvan Besleme ve Beslenme Hast. Anabilim Dalı, Orchid: [0000-0003-4596-9061](https://orcid.org/0000-0003-4596-9061)

greatly affected by conditions such as diarrhea, growth retardation and respiratory system diseases due to external environmental conditions or changes in nutrition because their immune system is weak and undeveloped digestive system (Diao et al., 2017; Diao et al., 2019).

Gastrointestinal microbiota is a factor affecting the health and development of ruminants and is also very important for the development of calves (Malmuthuge et al., 2017; Du et al., 2023). The gut microbiome of calves may gradually change with the development of the gastrointestinal tract (GIT), especially during the weaning period (Du et al., 2023). Since these changes in the gut microbiome can affect host metabolism as well as nutrition and immune functions, understanding the factors that may be effective in the development of GIT is important in optimizing the health and productivity of ruminants. The development of the intestinal microbiome may be controlled by factors such as diet, feed additive, age and genotype of the calf (Xie et al., 2020; Du et al., 2023). However, digestive illnesses such as diarrhea and intestinal inflammation may occur due to disruption of the microbiome structure.

The rumen microbiome of calves begins to develop rapidly after birth. Because rumen is a crucial digestive organ for ruminant growth, productivity and health, supporting rumen development is main goal in calf nutrition. Early feeding regimens and nutrition have impacts on rumen development and microbiota. These effects are long-lasting and may affect the performance and health of adult ruminants throughout their lives. As the most sensitive approach to controlling rumen development is in the postpartum and weaning period it is important to research the early feeding regime and nutritional strategies of calves (Diao et al., 2019). This section examined changes in the digestive system microbiota and rumen fermentation in calves according to their feeding strategies.

Importance of Rumen Development and GIT Microbiota in Calves

Rumen Development

Ruminants have a distinctive and function due to their proventriculus which leads to differences in digestion and physiology unlike monogastric animals. When a calf is born, the rumen is undeveloped and changes occur during the calf's growth process, including the development of the rumen and rumen epithelium and the establishment of the rumen microbiota before digesting dry feed. When calves are given easily fermentable carbohydrates such as starter feeds, it increases the level of volatile fatty acids necessary to stimulate the development of the rumen epithelium (Diao et al., 2019).

Solid feed consumption, on the other hand, accelerates fermentation in the rumen and significantly changes the intestinal microbial components. During the weaning period, feeding calves with roughage causes a decrease in ruminal acidosis and alteration in rumen bacterial diversity and abundance (Kim et al., 2016). Weaning is the most stressful and important transition in a calf's life. During this period, more than one microorganism can adhere to the feed and colonize the calf's gastrointestinal tract. The developing gut of calves before weaning may contain similar dominant phyla (*Bacteroidetes*, *Firmicutes* and *Proteobacteria*) (Meale et al., 2016).

The physical form and particle size of the ration also have important effects on the anatomical and microbial development of the rumen (Pazoki et al., 2017; Diao et al., 2019; Âmin & Seifert, 2021). For example, calves fed a ground diet develop shorter papillae with a smaller surface area than those fed an unground diet. Moreover, rumen pH and cellulolytic bacteria decrease, amylolytic bacteria increase in calves fed a ground diet (Diao et al., 2019; Amin & Seifert, 2021). These findings strongly suggest the potential role of

fiber for modification of the rumen environment as well as the connected microbial community composition (Âmin & Seifert, 2021).

As a feed additive probiotics are known as live and helpful microorganisms that provide the microbial balance of the gastrointestinal tract and enhance development of the rumen. Besides, probiotic addition facilitates the development of the rumen bacterial community and the transition from liquid feed to dry and roughage in calves throughout the weaning period (Diao et al., 2019). *Saccharomyces cerevisiae* may positively affect rumen microbiota and improve rumen morphology (Xiao et al., 2016). It has also been reported that the addition of *Bacillus subtilis natto* to the starter feed promotes the development of rumen bacterial communities by stimulating the development of cellulolytic bacteria in calves after weaning (Diao et al., 2019).

GIT microbiota

The gastrointestinal tract of neonatal ruminants is largely lacking microorganisms, and inoculation occurs primarily through exposure to adult animals, the environment, or both. Age is one of the main factors determining the structure of the ruminal microbiota (Cao et al., 2020). Bacterial colonization in the gastrointestinal tract of newborns varies depending on the microbes acquired by the mother and the environment throughout the fetal period and after birth (Maynard et al., 2012; Stinson et al., 2017).

The gastrointestinal tract, considered sterile at birth, can be colonized by microorganisms such as bacteria, archaea, viruses, protozoa, and fungi during adulthood. Fibrolytic bacteria and methanogens begin to become visible in the rumen within 20 minutes after birth (Guzman et al., 2015). One-day-old calves and three-day-old calves may have varied bacterial populations. Recent studies report that ruminants exhibit intestinal microbiota from the

fetal period and at the 5th month of pregnancy microbiota exhibit in the rumen, cecum, meconium and amniotic fluid (Guzman et al., 2020; Bi et al., 2021).

The intestinal bacteria of calves consist mainly of *Firmicutes*, *Proteobacteria*, *Bacteroidetes* and small amounts of *Actinomycetes*. Studies have shown that the proportion of *Proteobacteria* is high immediately after birth but gradually decreases with the increase in *Firmicutes* and *Bacteroidetes*. This may be due to the fact that most proteobacteria are facultative anaerobes while *Firmicutes* and *Bacteroidetes* are strict anaerobes. It was reported that approximately 8 hours after birth, *E. coli* and *Streptococci* colonized all gastrointestinal tract of the calf (stomach, small intestine and cecum) and later *Lactobacillus* and *Clostridium perfringens* were exhibited in the cecum, but no colonization was exhibited in other parts of the intestine 18 hours after birth (Du et al., 2023).

It has been reported that bacteria were observed only in the cecum and feces on the 2nd day after birth, and *Lactobacillus* was dominant in the gastrointestinal tract in the 1st week. Although *Faecalibacterium* has the highest content in one-week-old calves, their content decreases with increasing age of the calf. *Bacteroides*, *Prevotella*, *Coccus-Useriella* and *Faebacillus* were dominant in the fecal microbiota of 3-week-old calves (Uyeno et al., 2010; Du et al., 2023) and *Bacteroides*, *Prevotella* and *Faecalibacterium* were exhibited in the colon during the same period (Malmuthuge et al., 2014). While *Lactococcus favius* and cellulolytic bacteria were detected only 5 weeks after birth, *Streptococcus* and *Lactococcus* could not be detected (Uyeno et al., 2010; Du et al., 2023). *Bacteroides prevotella*, *Clostridium coccoides* and *Eubacterium rectale* constitute the main part of the microbiota within 3 months after birth. Beneficial bacterias such as *Bifidobacteria* and *Lactobacilli* pass from the stomach to the small intestine more easily

than *E. coli* and are present in higher concentrations in the gastrointestinal tract in 20-week-old calves (Du et al., 2023).

The primary colonization of microbiota may be related maternal origin in the hindgut. This is important for a newborn calf to be able to use the nutrients in milk (Yang et al., 2021). The dominant microbial phyla of the hindgut are *Firmicutes*, *Bacteroidetes* and *Proteobacteria*. A transition could be seen from facultatively anaerobic and aerotolerant microorganisms to anaerobic microorganisms strictly. The abundance of cellulolytic bacteria is highly correlated with the levels of volatile fatty acids during the post-weaning period. Propionate is one of the major fermentation products obtained from carbohydrates by many rumen microorganisms and is also the main substrate for gluconeogenesis (Cao et al., 2020).

It becomes difficult to perennially control or alter the rumen ecosystem because of the microbial adaptation and resistance to external factors and the host genome's influence on the microbiome after the development of the rumen and microbiome is complete (Abbas et al., 2020). Therefore, a well rumen ecosystem development during the weaning period is crucial for better growth performance and health later in life. Another strategy to increase efficiency in feed is to strengthen the rumen microorganisms of calves in the early phase of life (Arshad et al., 2021).

Intestinal microbiota is necessary for very important functional activities such as intestinal development in farm animals, digestion of consumed feed, feed efficiency and immune response. Changes in the intestinal microbial colonization of farm animals in the early phase of life can often cause consistent effects on the formation of the rumen microbiota and ultimately have definitive effects on the host phenotype (Guo et al., 2020; Furman et al., 2020). Rumen microorganisms are anaerobic and produce diverse compounds that are used directly by the host or other

microorganisms throughout rumen fermentation (Hassan et al., 2020; Arshad et al., 2021). Interventions that made in early life determine the initial microbial communities and hence fermentation parameters. However, these effects are less persistent in later life, and post-weaning factors may have a greater impact on microbial communities and yield in adults (Newbold et al., 2020).

The formation of the archaeal community in the calf's gastrointestinal tract is an important factor for the necessary hydrogen balance throughout bacterial fermentation. Dietary changes have significant effects. Calves fed milk and starter feed have been reported to have higher *Methanosphaera* abundance and lower *Methanobrevibacter* abundance in their rumen before weaning compared to calves fed milk (Dias et al., 2017). It has also been reported that calf starter feeds increased the abundance of *Methanomicrobiales mobile* in the abomasum, cecum and feces also *Methanobrevibacter* in the cecum and feces but decreased the abundance of *Methanococcales votae* of 20-day old calves (Guzman et al., 2016).

Effects of Feeding Strategies on GIT Microbiota and Rumen Fermentation in Calves

The Effects of Nutrition Before and After Weaning

Different bacterial species have been determined in the rumen of newborn calves for at least 24 hours after birth. Most of the rumen microbiota transitions from aerobes or facultative anaerobes to obligate anaerobes within a few days after birth (Koike et al., 2021). It has been reported that after colostrum intake in 2-day-old lambs, an increase in *Lactococcus* abundance was observed with low rumen pH (less than 4) (Wang, 2019).

Colostrum stimulates *Clostridium* and *Bifidobacterium* colonization while inhibiting *E. Coli* is reported (Song et al., 2019; Arshad et al., 2021). It has been shown that the proportion of

Bifidobacteria adhering to the small intestinal mucosa of calves which receive colostrum within one hour of birth was significantly increased at 12 hours after birth compared to calves which did not receive (Malmuthuge et al., 2015). Fischer et al. (2018) reported that calves which did not receive colostrum within 12 hours after birth may have a lower prevalence of colon-mucosa-associated *Bifidobacteria spp.* and *Lactobacillus spp.* than those of receiving colostrum immediately after birth.

Similarly, Ma et al. (2019) investigating whether late administration of colostrum affected the microbiota associated with the ileum and colon mucosa in calves or not. For this aim they gave colostrum at 45 minutes, 6 hours and 12 hours after birth. The relative abundance of *Enterococcus* and *Streptococcus* associated with the ileal mucosa was increased in calves given colostrum 12 hours after birth, while the relative abundance of *Lactobacillus* was found to be lower than in calves given colostrum within 45 minutes and 6 hours. It was observed that those receiving colostrum immediately after birth had less *Faecalibacterium* than those receiving it 6 and 12 hours later, respectively. As a result, it has been reported that late administration of colostrum may have long-term impacts on the intestinal health of calves and may affect the formation of bacteria associated with the ileum and colon mucosa.

Lactose may be suitable for increasing butyrate in the rumen and its inclusion in diet or ruminal dose of lactose (Oba et al., 2015) may increase butyrate concentration in the rumen of mature cows have been reported (DeFrain et al., 2004; DeFrain et al., 2006). Lactose increases the abundance of acetate-producing bacteria such as *Coriobacteriaceae*, *Mitsuokella spp.* and *Pseudoramibacter-Eubacterium* in the rumen of calves (Koike et al., 2021).

Dias et al. (2017) reported that the rumen microbiota in calves fed starter feed was more diverse and possesses more starch-utilizing microorganisms including *Sharpea spp.*, *Succinivibrio spp.*

and *Megasphaera* spp. than those not fed starter feed. Recent studies have examined the effects of adding forage to the diet of weaned calves. In most of these studies, forage was added to the diet at a rate between 5% and 25% of the total solid feed. Forage added to the ration of young ruminants is reported to positively affect the morphology of the rumen wall and reduce plaque formation by enhancing the thickness of the muscle layer and supporting the development of healthy rumen mucosa (Spina et al., 2024).

Steviol glycosides (STE) are recent natural sweetener derived from the herbal stevia plant. They are a zero-calorie sweetener that is 470 times sweeter than sucrose. STE has positive effects on maintaining blood lipid levels associated with its immunomodulatory, anti-inflammatory, antioxidant and antibacterial activities have been discovered. As the biological activity of STE is explored, attention in its use in animal production is increasing (Wang et al., 2024). STE has shown potential impact as a bioactive substance on digestion rate and rumen fermentation in goats in animal experiments (Xu et al., 2021).

Wang et al. (2024) reported that the supplementation of 0.2% STE to the basal ration of weaned calves increases rumen weight, papilla length and papilla surface area significantly compared to the group without STE. In addition, STE supplementation increases in propionate, butyrate and total volatile fatty acid concentration in the rumen of calves. STE supplementation affected the rumen microbiota structure in weaned calves by significantly increasing the relative abundance of *Firmicutes* and *Actinobacteriota*, significantly decreasing the abundance of *Proteobacteria* and *Spirochaetota* at the phylum level, significantly increasing the abundance of *Succinivibrionaceae*, *Lachnospiraceae_NK3A20_group* and *Olsenella* at the genus level, and significantly decreasing the relative abundance of *Acinetobacter*. It is probable to increase fermentation by changing the structure of bacterial communities to improve

rumen development in weaned calves thus STE may be a useful feed additive to improve rumen development in weaned calves have been reported by Wang et al. (2024).

Weaning stress is a condition that impacts the health of calves, inhibits growth and may disrupt gastrointestinal function. Benzoic acid is identified to support growth and intestinal health. The benzoic acid supplementation in animal feeds can reduce the acid-binding capacity of feeds, inhibit the growth of pathogenic bacteria, improve nutrient digestion and enhance intestinal enzyme activities (Dai et al., 2024). Dai et al. (2024) investigated the impacts of benzoic acid added to the basal diet at doses of 0.25%, 0.50% and 0.75% on dry matter basis on rumen fermentation and microbiota in weaned calves. Benzoic acid supplementation improved rumen fermentation in weaned calves and increased the composition and function of the rumen microbiota. Increasing dose of it supported rumen fermentation by linearly increasing the production of butyrate and isobutyrate and the acetate/propionate ratio. The relative abundance of *Bifidobacterium* increased but the abundance of harmful bacteria including *unclassified Gastranaerophilales* and *Oscillospiraceae* UCG decreased in the rumen. As a result, the addition of 0.50% benzoic acid in the diet can be used as a potent method for the effective breeding of weaned calves.

Liu et al. (2023) researched the impacts of two different feeding regimes on rumen fermentation and microbiota in calves fed with milk and milk replacer. They reported that the total volatile fatty acid concentration and the molar ratio of butyric acid to lactic acid increased in the milk replacer group but the isovaleric acid level was higher in the milk-fed group and *Firmicutes* and *Bacteroidetes* were the most dominant phyla in the breastfeeding and milk replacer-fed groups, respectively. Additionally, in the milk replacer group, *Bacteroidetes*, *prevotellaceae*, *Bacteroidia*, *Bacteroidetes* and *Prevotella_1* constituted the dominant flora in the rumen. The

relative abundances of various taxa were found to be related to rumen parameters. The relative abundance of *Quinella* and iso-butyrate levels were positively correlated ($r = 0.57$) and the relative abundances of *Christensenellaceae_R-7_group* and acetic acid / propionic acid were positively correlated ($r = 0.57$). Finally, milk replacer feeds may contribute to the development of rumen microflora in calves.

Plant essential oils could alter rumen fermentation and the levels of volatile fatty acids formed because of fermentation by changing ruminal microbial communities (Zhou et al., 2020). In addition, essential oils have been reported to enhance beneficial bacteria, inhibit the growth of *E. coli* in the intestine, and increase calf starter feed consumption, feed utilization, and live weight (Santos et al., 2015). Thyme essential oil supplementation is reported to increase the relative abundance of *Prevotella* and *Dialister*, which have the potential to manipulate rumen fermentation and diminish methane emissions (Zhou et al., 2020; Arshad et al., 2021). It has been reported that essential oil supplementation to calves throughout the weaning period can improve fatty acid production and the growth of specific rumen bacterial groups. Increased propionate concentration and ruminal communities (*Bacterioidetes*) have been reported in essential oil supplemented calves, mainly attributed to higher abundance of *Prevotellaceae* (Poudel et al., 2019).

The Effects of Drinking Water

Providing drinking water to perinatal calves from the first day after birth can increase the abundance of *Faecalibacterium prausnitzii* and *Bifidobacterium breve*. Water may cause early bacterial colonization in the intestines (Wickramasinghe et al., 2020). Besides, the high digestibility of acid detergent fibre in relation to *Faecalibacterium* suggests that providing drinking water

from birth has a positive impact on the ability to efficiently digest a solid diet, even after weaning (Arshad et al., 2021).

It is reported that cattle performance is lower in winter and the negative impact of cold enhances mortality rate and reduces meat quality and immunity (Dennis et al., 2020; Liu et al., 2023). Since calves have weaker digestive systems and lower immunity than adult cattle, they are susceptible to digestive diseases such as diarrhea during the cold season. Different approaches to mitigate the hazards of cold conditions for calves and supplying heated drinking water appears economically viable (Liu et al., 2023). Grossi et al. (2021) reported that drinking heated water can increase production efficiency because it improves the rumen environment and reduces energy loss.

Liu et al. (2023) researched the impact of heated water on fermentation in yak calves. Heated water can increase total volatile fatty acids, acetic acid and propionic acid and decrease the acetic acid/propionic acid ratio compared to cold water. Drinking water heated at 20°C may increase performance by increasing nutrient digestibility and ruminal fermentation function has been reported.

The Effects of Starter Feed

Changes in diet and feeding strategies before weaning are reported to have significant and lasting effects on the structure of the gastrointestinal microbiome of young ruminants (Du et al., 2023). Therefore, pre-weaning dietary management is an important condition for young ruminants in terms of the formation of the microbiota and the development of the fermentation capacity of the rumen microbiome (Lin et al., 2018). Calves feeding with solid feeds throughout the pre-weaning period increase performance, microbial development and rumen development, and facilitates weaning (Malmuthuge et al., 2019; Yuste et al., 2020).

The effect of solid feed on the formation of rumen microbiota is important because milk passes through the rumen and enters the abomasum. Therefore, pre-weaning nutritional management is significant for the microbial composition of the rumen throughout the weaning period. Fermentable carbohydrates have promising effects concerning the composition and activity of the native microbiota of the GIT. It is important to feed newly weaned calves' fermentable carbohydrates to quickly stabilize the microbial community and bacterial diversity (Arshad et al., 2021). This is attributed to the requirement of specific fermentation substrates in the gut to provide the energy needed for the different dominant phyla to proliferate and colonize (Li et al., 2012).

The critical transition period that enables the formation of a fully functional rumen also begins with the consumption of solid feed, which begins at approximately two to three weeks of life. This situation is characterized by the provision of concentration and ad libitum hay, usually given in unchanged or gradual amounts, in addition to milk feeding. In general, it is known that during this feeding period, the abundance of amylolytic and fibrolytic bacteria including *Succinovibrionaceae*, *Fibrobacteraceae* and *Prevotellaceae* increases in the rumen microbiome (Åmin & seifert, 2021).

Zhang et al. (2023) investigated the effects of corn silage supplementation in starter feed or total mixed ration (TMR) on growth, blood metabolites, ruminal fermentation, and microbial communities in pre-weaned calves. Forty-five healthy dairy calves were divided into three experimental groups: 100% calf starter, 85% calf starter + 15% corn silage (dry matter (DM) basis) and 100% corn silage-based lactation TMR. Compared with the 15% corn silage trial group, the 100% corn silage trial group reported higher rumen pH and total volatile fatty acid, propionate and isovalerate levels, but lower acetate: propionate ratio. In the 100% corn silage-

based lactation TMR experimental group, the relative abundance of some cellulolytic bacteria (*Rikenellaceae RC9 intestinal group*, *Christensenellaceae R7*, *Ruminococcaceae NK4A214*, *Ruminococcaceae UCG*, *Ruminococcus* and *Erysipelotrichaceae UCG*) was higher in the rumen, which may be useful for the early acquisition of specific adult-associated microorganisms also have been reported.

Spina et al. (2024) investigated the impact of starter feed restriction and inclusion of ad libitum TMR on feed consumption, growth performance, rumination time and health status in Holstein calves throughout weaning period. TMR may partially replace calf starter feed because it provides better rumen development and possibly better rumen fermentation in the post-weaning period with TMR inclusion (with or without concentrate restriction) does not disrupt growth performance or health status.

The Effects of Probiotics and Prebiotics

Probiotics can generally be used to improve rumen fermentation in calves and prevent pathogen colonization. Probiotic supplements establishment of a beneficial intestinal microbiota in calves, maintain stability microbiota and prevent the growth of pathogens. These effects are important before weaning because probiotic supplements may be more effective in the gastrointestinal environment of newborn calves. Also, it has been reported that probiotic supplements administered before weaning prevent *E. coli* O157:H7 from colonizing the intestines of calves. Active dry yeast has been shown to increase the abundance of *Vibrio* spp and cause an increase in butyrate concentration in the rumen during the first 28 days of life of calves (Du et al., 2023). The inclusion of yeast cultures also increases the bacterial diversity of the rumen in calves, and this effect is particularly important in high-fiber diets (Sousa et al., 2018).

Prebiotics are functional feed additives that increase growth and encourage health by influencing the structure of the gastrointestinal microbiota (Cangiano et al., 2020; Lopes et al., 2021; Chang et al., 2022). The best-known prebiotics are indigestible oligosaccharides, such as galacto-oligosaccharides (GOS), fructo-oligosaccharides (FOS), and mannan oligosaccharides (MOS), which are added not only to human food but also to feed, particularly for monogastric animals (Chang et al., 2022). Lately, prebiotics have been shown to promote ruminal epithelial development, nutrient absorption and growth in calves (Costa et al., 2019; Lopes et al., 2021; Chang et al., 2022). *In-vitro* studies have shown that oligosaccharides can be an effective way to manipulate rumen fermentation by enhancing the levels of volatile fatty acids and bacterial proteins and decreasing the concentration of ammonia nitrogen (NH₃-N) (Li et al., 2011; Li et al., 2018). Additionally, oligosaccharides have been indicated to promote rumen fermentation by specifically promoting the proliferation of certain bacterial species (Li et al., 2011).

Prebiotics and probiotics have important effects on the health of calves. Galactooligosaccharide supplementation is reported to increase the relative abundance of *Lactobacillus* and *Bifidobacterium* in two-week-old calves (Marquez, 2014). *E. coli* and total coliforms, on the other hand, decreased and the relative abundance of lactobacilli increased in calves given probiotic *Bifidobacteri* (Geigerová et al., 2016). Fermentation products of *S. cerevisiae* stimulate the colonization of *Lachnospiraceae* and *Ruminococcaceae* in the rumen and large intestine, respectively (Xiao et al., 2019). It has been reported that feeding yeast from birth to 60 days of age affects the uniformity and diversity of rumen bacteria at weaning, reduces the number of *Proteobacteria*, but does not affect archaea (Newbold et al., 2020).

GOS supplementation increases average daily live weight and live weight during weaning, reduces diarrhea cases, and improves rumen microbial structure. GOS has persistent effects that improved rumen fermentation by enhancing the relative abundance of *Bacteroidetes* and *Prevotella* and decreasing the abundance of harmful bacteria. Also, early dietary interventions with GOS may help establish a healthy microbial ecosystem in the rumen, thus potentially increasing the efficiency of rumen fermentation and supporting the growth performance of pre-weaning calves (Chang et al., 2022). Inclusion yeast in ration is considered a widespread practice in modern dairy farming due to the positive effects of yeast on production, health and immune performance in ruminants.

Last studies (Marrero et al., 2011; Marrero et al., 2015) have shown potential benefits of supplementing *Candida tropicalis* by improving digestion of fiber and antioxidant function and increasing microbial activities within the rumen. Unlike *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida tropicalis* is an opportunistic pathogen that causes disease. However, studies have shown that *C. tropicalis* is mostly determined in the gastrointestinal tract of healthy humans (Moran et al., 2012; Hallen-Adams et al., 2015) and has no detrimental impacts on animal health (Zhang et al., 2007.) *C. tropicalis* supplementation has potential benefits by enhancing fibrous material digestion and antioxidant function and increasing microbial activities in the rumen (Kong et al., 2019).

The Effects of Forage

The composition of the rumen microbiom can be manipulated through feeding management in early life and productivity can be increased through the concept of rumen programming is suggested (Kodithuwakku et al., 2022). Rumen fermentation improves by manipulating the microbiota formation through interventions in the nutrition of weaned calves, based on the

rumen function and microbiota are underdeveloped. Rumen fermentation can be reached to the desired state by manipulating microbiota formation through interventions in the nutrition of weaned calves, based on the fact that the rumen function and microbiota are underdeveloped (Ohara et al., 2020; Kodithuwakku et al., 2022).

Different feeding strategies may cause different microbial populations in the rumen of young ruminants (Imani et al., 2017). It has been reported that continuous consumption of forage stabilizes rumen pH and increases rumen muscle development by positively impacting rumen microbiota and fermentation (Lin et al., 2018; Arshad et al., 2021). It is widely known that the fibers in the feed are broken down by rumen microorganisms and converted into volatile fatty acids, which can meet 70-80% of the body's energy needs, and the main components of the volatile fatty acids in the rumen fluid are acetic acid, propionic acid and butyric acid (Liu et al., 2023). It is reported that propionic acid may produce glucose through gluconeogenesis, and a decrease in the acetic acid/propionic acid ratio can improve ruminant performance (Li et al., 2021). A study indicated that the relative abundance of *Bacteroidales*, *Ruminobacter* and *Selenomonas* increased in lambs allowed to graze with sheep after 14 days of age (Wang et al., 2019). With roughage-based feeding, an increase was observed in acetate levels in the rumen and in the growth of cellulose-degrading microbes (*R. albus*) (Arshad et al., 2021). Similarly, the relative abundance of *Prevotella* and cellulolytic bacteria (*R. flavefaciens* and *R. albus*) was reported to be high in calves fed roughage (Kim et al., 2016). It has been reported that oat hay does not change the diversity of rumen microorganisms in calves but changes the proportion of different microbial populations and indirectly affects rumen pH (Lin et al., 2018).

Solid feed intake, such as starter feed and forage increases in calves older than 3 weeks and stimulating the production of short-chain fatty acids that facilitate microbial proliferation and rumen development (Pazoki et al., 2017; Kodithuwakku et al., 2022). Thus the morphological and functional development of the rumen may accelerate after 4-6 weeks of age in normal nutritional status (Castro et al., 2016).

Major fibrolytic bacterial species including *Fibrobacter succinogenes* and *Ruminococcus favefaciens* are determined in the rumen of calves within the first 3 days after birth (Guzman et al., 2015). According to these findings, it is reported that solid feeds can potentially be digested in the rumen of calves in their early lives and that an increase in solid feed intake from the first week of life could lead to early rumen development by stimulating microorganisms already colonized in the rumen (Kodithuwakku et al., 2022). Although studies have shown that increasing the amount of forage facilitates the colonization of rumen bacteria, mainly cellulolytic bacteria (Kim et al., 2016; Dill-Macfarland et al., 2019), this situation can be based on the voluntary feed consumption of calves (Kodithuwakku et al., 2022). Rumen microbiota should be manipulated in calves with early dietary interventions 3 weeks of age, when rumen microbiota and voluntary solid feed intake are not yet evident (O'Hara et al., 2020).

Yáñez-Ruiz et al. (2010) reported that feeding lambs hay and concentrate instead of hay alone resulted in a difference in both bacterial and archaeal populations at weaning, and the effect persisted even 4 months after the end of the treatment. It has been reported that feeding silage to calves' results in a diminishing rumen bacterial diversity and an increase in rumen archaeal diversity and fungal richness (Dill-Macfarland et al., 2019).

Feeding with hay increases the diversity of the rumen microbiota and the abundance of fibrolytic bacteria, including

Ruminococcus albus and *R. flavefaciens* (Kim et al., 2016). Besides, calves fed with silage have been reported to develop more bacterial species common to adult cattle than those fed starter feed or a mixture of silage and starter feed (Dill-McFarland et al., 2019).

The Effects of Volatile Fatty Acids

Rumen is a unique and vital organ for ruminants because it converts indigestible carbohydrates into volatile fatty acids, which are used as the main energy source for the growth and maintenance of ruminants. Rumen in newborn ruminants have underdeveloped and nonfunctional, obtaining their nutrients mostly from milk or milk powder. The development of the rumen before weaning plays a crucial role in the performance and productivity of animals. Breeders use different approaches to increase digestion in calves and accelerate rumen development to reduce feeding costs (Cao et al., 2020).

Volatile fatty acids, especially propionate and butyrate, provide ruminants with energy and stimulate the growth of the rumen epithelium (Bach Knudsen et al., 2018). It has been reported that intestinal development and growth and when butyrate is given to newborn calves. Sodium butyrate addition to the starter feed may also directly stimulate rumen development (Górka et al., 2011). Studies focusing on the effect of calcium propionate (CaP) on the early growth performance of calves have shown that CaP is beneficial for rumen development (Zhang et al., 2018) and calf growth (Zhang et al., 2017).

CaP is used as a common antifungal in silage (Cao et al., 2020) and as a supplement to improve the growth performance of calves (Zhang et al., 2018). Cao et al. (2020) reported that calcium propionate inclusion increased the body weight and rumen weight of calves and reduced the $\text{NH}_3\text{-N}$ concentration in the rumen. Furthermore, CaP supplementation reduces the relative abundance

of the *Bacteroidetes* phylum but tend to increase the abundance of *Proteobacteria*. CaP reduces the diversity of bacteria and archaea in the rumen compared to calves fed a diet without supplementation.

Colonization the rumen of calves by bacteria is also important for the functional and anatomical development of the rumen. When calves start to consume solid feed, the rumen wall is physically stimulated, and the weight and volume of the rumen increases. Only physical stimulation may not be sufficient to promote the formation of rumen papillae responsible for the absorption of volatile fatty acids (Koike et al., 2021).

Volatile fatty acids produced through microbial fermentation are necessary for the optimum development of the rumen epithelium. Particularly, butyrate has been noticed to contribute to the development of the rumen epithelium more than acetate or propionate. Therefore, the development of rumen epithelium, which improves the growth of calves, may be facilitated by increasing butyrate production by rumen bacteria in calves (Koike et al., 2021). It is well known that volatile fatty acid production by rumen fermentation of grains stimulates the development of rumen papillae (Chai et al., 2021). However, ruminal fermentation of carbohydrates, especially starch, has been shown to lower rumen pH, which has adverse effects on animal health and productivity. Also decreased rumen pH by ruminal fermentation of carbohydrates, particularly starch may negative effects on animal health and productivity has been reported (Terler et al., 2022).

The Effects of Proteins

As consumed feed is broken down in the rumen, a number of metabolites are produced and released, including nitrogenous compounds, which are absorbed through the rumen epithelium or in the lower gastrointestinal tract and then enter the bloodstream for host utilization. $\text{NH}_3\text{-N}$ is the major product of dietary protein and

non-protein nitrogen breakdown and is the form of nitrogen required by most bacteria in the rumen (Clemmons et al., 2019). Therefore, rumen fermentation parameters can be used as an indicator of nitrogen metabolism in the rumen (Zhang et al., 2024). Dietary crude protein is metabolized in the rumen and is often used for microbial synthesis. The nitrogen use efficiency of cattle may be affected by the activity of rumen microorganisms that degrade crude protein in the feed. Bacteria are the most abundant microorganisms in the rumen of ruminants. Members of *Aminobacterium*, *Thermovirga*, *Aminivibrio* and *Clostridium hydroxybenzoicum* are among the bacteria involved in the degradation of amino acids (Baba et al., 2019).

Oscillation of crude protein concentration in the diet may be a way to increase the nitrogen utilization efficiency of ruminants. One suggested method for improving nitrogen retention is to oscillate the concentration of dietary crude protein (Zhang et al., 2024). It has been reported that oscillation of dietary crude protein concentration at 2-day intervals may increase the nitrogen utilization efficiency of ruminant and the amount of nitrogen needed to achieve optimum performance and the release of nitrogen into the environment may be reduced (Doranalli et al., 2011). Oscillating dietary crude protein concentration may improve nitrogen utilization efficiency in ruminants and a 2-day interval oscillating diet improved the efficiency of nitrogen use of calves compared to a static diet has been reported by Zhang et al. (2021) and Zhang et al. (2022).

Zhang et al. (2024) feed 6 calves with a diet containing high protein diet and low protein diet at 2-day intervals for investigating the effects on rumen fermentation parameters, plasma urea-N concentration and rumen bacterial diversity during the oscillation period. Volatile fatty acids, $\text{NH}_3\text{-N}$ and rumen plasma urea-N concentrations were significantly altered by the diet. The abundance of *Prevotella_1*, *Selenomonadales*, *Succiniclasicum*, *Clostridiales*,

Ruminococcaceae, *Lachnospiraceae*, and *Rikenellaceae*_RC9_gut_group showed significant changes with the diet and *Prevotella*_1 being positively correlated and *Lachnospiraceae*_AC2044_group and Saccharofermentans being negatively correlated with NH₃-N. In conclusion, oscillation of protein affected fermentation parameters and NH₃-N which was associated with a change in bacterial diversity. Rumen bacteria may be more effective in utilizing dietary protein and recycled nitrogen during the release period have been reported.

REFERENCES

Abbas, W., Howard, J.T., Paz, H.A., Hales, K.E., Wells, J.E., Kuehn, L.A., Erickson, G.E., Spangler, M.L., & Fernando, S.C. (2020). Influence of host genetics in shaping the rumen bacterial community in beef cattle. *Sci Rep*, 10:1e4. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72011-9>.

Amin, Nida., & Seifert, J. (2021). Dynamic progression of the calf's microbiome and its influence on host health. *Computational and Structural Biotechnology Journal* 19, 989–1001. <https://doi.org/10.1016/j.csbj.2021.01.035>.

Arshad, MA., Hassan, F., Rehman, MS., Huws, S.A., Cheng, Y., & Din, A.U. (2021). Gut microbiome colonization and development in neonatal ruminants: Strategies, prospects, and opportunities. *Animal Nutrition*, 7 (3), 883-895. <https://doi:10.1016/j.aninu.2021.03.004>.

Baba, Y., Matsuki, Y., Takizawa, S., Suyama, Y., Tada, C., Fukuda, Y., Saito, M., & Nakai, Y. (2019). Pretreatment of lignocellulosic biomass with cattle rumen fluid for methane production: Fate of added rumen microbes and indigenous microbes of methane seed sludge. *Microbes Environ*, 34 (4), 421–428. <https://doi:10.1264/jsme2.ME19113>.

Bach Knudsen, K.E., Laerke, H. N., Hedemann, M. S., Nielsen, T. S., Ingerslev A. K., Nielsen, D. S. G., Theil, P. K., Purup, S., Hald, S., Schioldan, A.G., Marco, M.L., Gregersen, S., & Hermansen, K. (2018). Impact of diet-modulated butyrate production on intestinal barrier function and inflammation. *Nutrients*, 10 (10),1499. <https://doi.org/10.3390/nu10101499>.

Bi, Y.L., Tu, Y., Zhang, N.F., Wang, S.Q., Zhang, F., Suen, G., Shao, D., Li, S., & Diao, Q. (2021). Multiomics analysis reveals

the presence of a microbiome in the gut of fetal lambs. *Gut*, 70(5), 853–64. [https://doi: 10.1136/gutjnl-2020-320951](https://doi.org/10.1136/gutjnl-2020-320951)

Cangiano, L.R., Yohe, T.T., Steele, M.A., & Renaud, D.L. (2020). Invited review: strategic use of microbial-based probiotics and prebiotics in dairy calf rearing. *Appl Anim Sci*, 36, 630–651. <https://doi.org/10.15232/aas.2020-02049>.

Cao, N., Wu, H., Zhang, X.Z., Meng, Q.X., & Zhou, Z.M. (2020). Calcium propionate supplementation alters the ruminal bacterial and archaeal communities in pre- and postweaning calves. *Journal of Dairy Science*, 103 (4), 3204–3218. [https://doi: 10.3168/jds.2019-16964](https://doi.org/10.3168/jds.2019-16964).

Castro, J.J., Gomez, A., White, B., Loftén, J. R. & Drackley, J. K. (2016). Changes in the intestinal bacterial community, short-chain fatty acid profile, and intestinal development of preweaned Holstein calves. 2. Effects of gastrointestinal site and age. *J Dairy Sci*, 99 (12), 9703–9715. [https://doi: 10.3168/jds.2016-11007](https://doi.org/10.3168/jds.2016-11007).

Chai, J., Lv, X., Diao, Q., Usdrowski, H., Zhuang, Huang, W., Cui, K., & Zhang, N. (2021). Solid Diet Manipulates Rumen Epithelial Microbiota and Its Interactions with Host Transcriptomic in Young Ruminants. *Environ Microbiol*, 23 (11), 6557–6568. [https://doi:10.1111/1462-2920.15757](https://doi.org/10.1111/1462-2920.15757).

Chang, M., Wang, F., Ma, F., Jin, Y., & Sun, P. (2022). Supplementation with galacto-oligosaccharides in early life persistently facilitates the microbial colonization of the rumen and promotes growth of preweaning Holstein dairy calves. *Animal Nutrition*, 10, 223–233. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2022.04.009>.

Clemmons, B.A., Voy, B.H., & Myer, P.R. (2019). Altering the gut microbiome of cattle: Considerations of host-microbiome interactions for persistent microbiome manipulation. *Microb Eco*, 77, 523–536. <https://doi.org/10.1007/s00248-018-1234-9>.

Costa, N.A., Pansani, A.P., de Castro, C.H., Colugnati, D.B., Xaxier., CH., Guimaraes, K..C, Rabelo, L.A., Nunes-Souza, V., Caixeta, L.F.S., & Ferreira, RN. (2019). Milk restriction or oligosaccharide supplementation in calves improves compensatory gain and digestive tract development without changing hormone levels. *PLoS One*, 14(3), e0214626. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214626>.

Dai, H., Huang, Q., Li, S., Du, D., Yu, W., Guo, J., Zhao, Yu, X., Ma, F., & Sun, P. (2024). Effect of Dietary Benzoic Acid Supplementation on Growth Performance, Rumen Fermentation, and Rumen Microbiota in Weaned Holstein Dairy Calves. *Animals*, 14(19), 2823. <https://doi.org/10.3390/ani14192823>.

DeFrain, J. M., Hippen, A. R., Kalscheur, K. F. & Schingoethe, D. J. (2004). Feeding lactose increases ruminal butyrate and plasma beta hydroxybutyrate in lactating dairy cows. *J Dairy Sci*, 87 (8), 2486–2494. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73373-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73373-1).

DeFrain, J. M., Hippen, A. R., Kalscheur, K. F. & Schingoethe, D. J. (2006). Feeding lactose to increase ruminal butyrate and the metabolic status of transition dairy cows. *J Dairy Sci* 89 (1), 267–276. [https://doi: 10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72091-4](https://doi: 10.3168/jds.S0022-0302(06)72091-4).

Dennis, E.J., Schroeder, T.C., & Renter, D.G. (2020). Net return distributions when metaphylaxis is used to control bovine respiratory disease in high-risk cattle. *Transl Anim Sci*, 4 (2), txaa20. <https://doi: 10.1093/tas/txaa020>.

Diao, Q., Zhang, R., & Fu, T. (2019). Review of Strategies to Promote Rumen Development in Calves. *Animals*, 9 (8), 490. <https://doi: 10.3390/ani9080490>.

Dias, J., Marcondes, M.I., Noronha, M.F., Resende, R.T., Machado, F.S., Mantovani, H.C., Dill-McFarland, K.A., & Suen, G. (2017). Effect of pre-weaning diet on the ruminal archaeal, bacterial, and fungal communities of dairy calves. *Front Microbiol*, 8:1553. [https://doi: 10.3389/fmicb.2017.01553](https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01553).

Dill-McFarland, K. A., Weimer, P. J., Breaker, J.D., & Suen, G. (2019). Diet influences early microbiota development in dairy calves without long-term impacts on milk production. *Appl Environ Microbiol*, 85 (2), e02141-18. [https://doi: 10.1128/AEM.02141-18](https://doi.org/10.1128/AEM.02141-18).

Doranalli, K., Penner, G.B., & Mutsvangwa, T. (2011). Feeding oscillating dietary crude protein concentrations increases nitrogen utilization in growing lambs and this response is partly attributable to increased urea transfer to the rumen. *J Nutr*, 141, 560–567. <https://doi.org/10.3945/jn.110.133876>.

Du, Y., Gao, Y., Hu, M., Hou, J., Yang, L., Wang, X., Du, W., Liu, J., & Xu, Q. (2023). Colonization and development of the gut microbiome in calves. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 14:46. <https://doi.org/10.1186/s40104-023-00856-x>.

Fischer, A. J., Song, Y., He, Z., Haines, D.M., Guan, L.L., & Steele, M.A. (2018). Effect of delaying colostrum feeding on passive transfer and intestinal bacterial colonization in neonatal male Holstein calves. *J Dairy Sci*, 101(4), 3099–3109. [https://doi: 10.3168/jds.2017-13397](https://doi.org/10.3168/jds.2017-13397).

Furman, O., Shenhav, L., Sasson, G., Kokou, F., Honig, H., Jacoby, S., Hertz, T., Cordero, O.X., Halperin, E., & Mizrahi, I. (2020). Stochasticity constrained by deterministic effects of diet and age drive rumen microbiome assembly dynamics. *Nat Commun*, 11:1904 <https://doi.org/10.1038/s41467-020-15652-8>.

Geigerová, M., Vlková, E., Bunešová, V., & Rada, V. (2016). Persistence of bifidobacteria in the intestines of calves after

administration in freeze-dried form or in fermented milk. *Czech J Anim Sci*, 61(2),49-57. [https://doi: 10.17221/8727-CJAS](https://doi.org/10.17221/8727-CJAS).

Górka, P., Kowalski, Z. M., Pietrzak, P., Kotunia, A., Jagusiak, W., Holst, J. J., Guilloteau, P., & Zabielski, R. (2011). Effect of method of delivery of sodium butyrate on rumen development in newborn calves. *J Dairy Sci*, 94 (11), 5578–5588. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4166>.

Grossi, S., Rossi, L., Dell’Anno, M., Biffani, S., & Rossi, C.A.S. (2021). Effects of Heated Drinking Water on the Growth Performance and Rumen Functionality of Fattening Charolaise Beef Cattle in Winter. *Animals*, 11(8), 2218. <https://doi.org/10.3390/ani11082218>.

Gu, C.Y., Ji, S.K., Yan, H., Wang, Y.J., Liu, J.J., Cao, Z.J., Yang, H.J., Zhang, W.J., & Li, S.L. (2020). Dynamic change of the gastrointestinal bacterial ecology in cows from birth to adulthood. *Microbiol Open*, 9 (11), e1119. [https://doi: 10.1002/mbo3.1119](https://doi.org/10.1002/mbo3.1119).

Guzman, C.E., Bereza-Malcolm, L.T., De Groef, B., & Franks, A.E. (2015). Presence of selected methanogens, fibrolytic bacteria, and proteobacteria in the gastrointestinal tract of neonatal dairy calves from birth to 72 hours. *PloS One*, 10(7): e0133048. [https://doi: 10.1371/journal.pone.0133048](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0133048).

Guzman, C.E., Bereza-Malcolm, L.T., De Groef, B., & Franks, A.E. (2016). Uptake of milk with and without solid feed during the monogastric phase: effect on fibrolytic and methanogenic microorganisms in the gastrointestinal tract of calves. *Anim Sci J*, 87 (3), 378–388. [https://doi: 10.1111/asj.12429](https://doi.org/10.1111/asj.12429).

Guzman, C.E., Wood, J.L., Egidi, E., White-Monsant, A.C., Semenec, L., Grommen, S.V.H., Hill-Yardin, E.L., De Groef, B., & Franks, A.E. (2020). A pioneer calf foetus microbiome. *Sci Rep*, 10(1):17712. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-74677-7>.

Hallen-Adams, H.E., Kachman, S.D., Kim, J., Legge, R.M., & Martinez, I. (2015). Fungi inhabiting the healthy human gastrointestinal tract: A diverse and dynamic community. *Fungal Ecol*, 15, 9–17. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2015.01.006>.

Hang, B.P.T. (2019). Colostrum quality, intestinal microbiota and implications for health in young dairy calves. Doctoral thesis. Swedish University of Agricultural Sciences.

Hassan, F.U., Arshad, M.A., Ebeid, H.M., Rehman, M.S., Khan, M.S., Shahid, S., & Yang, C. (2020). Phytogetic additives can modulate rumen microbiome to mediate fermentation kinetics and methanogenesis through exploiting diet-microbe interaction. *Front Vet Sci*, 7:575801. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.575801>.

Imani, M., Mirzaei, M., Baghbanzadeh-Nobari, B., & Ghaffari, M.H. (2017). Effects of forage provision to dairy calves on growth performance and rumen fermentation: a meta-analysis and meta-regression. *J Dairy Sci*, 100 (2), 1136–1150. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11561>.

Kim, Y.H., Nagata, R., Ohtani, N., Ichijo, T., Ikuta, K., & Sato, S. (2016). Effects of Dietary Forage and Calf Starter Diet on Ruminal pH and Bacteria in Holstein Calves during Weaning Transition. *Front Microbiol*, 7:1575. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01575>.

Kodithuwakku, H., Maruyama, D., Owada, H., Watabe, Y., Miura, H., Suzuki, Y., Hirano, K., Kobayashi, Y., & Koike, S. (2022). Alterations in rumen microbiota via oral fiber administration during early life in dairy cows. *Scientific Reports*, 12, 10798. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-15155-0>

Koike, S., Ueno, M., Miura, H., Saegusa, A., Inouchi, K., Inabu, Y., Sugino, T., Guan, L.L., Oba, M., & Kobayashi, Y. (2021). Rumen microbiota and its relation to fermentation in lactose-fed

calves. *J Dairy Sci*, 104 (10), 10744–10752. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20225>.

Kong, L., Yang, C., Dong, L., Diao, Q., Si, B., Ma, J., & Tu, Y. (2019). Rumen Fermentation Characteristics in Pre- and Post-Weaning Calves upon Feeding with Mulberry Leaf Flavonoids and *Candida tropicalis* Individually or in Combination as a Supplement. *Animals*, 9 (11), 90. [https://doi: 10.3390/ani9110990](https://doi.org/10.3390/ani9110990).

Li, G.H., Ling, B., Qu, M., You, J., M., & Song, X. (2011). Effects of several oligosaccharides on ruminal fermentation in sheep: an in vitro experiment. *Rev Med Vet*, 162: 192e7.

Li, R.W., Connor, E.E., Li, C., Baldwin Vi, R.L., & Sparks, M.E. (2012). Characterization of the rumen microbiota of pre-ruminant calves using metagenomic tools. *Environ Microbiol*, 14(1), 129-139. [https://doi: 10.1111/j.1462-2920.2011.02543.x](https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2011.02543.x).

Li, Z., Bai, H., Zheng, L., Jiang, H., Cui, H., Cao, Y., & Yao, J. (2018). Bioactive polysaccharides and oligosaccharides as possible feed additives to manipulate rumen fermentation in Rusitec fermenters. *Int J Biol Macromol*, 109, 1088-1094. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.11.098>.

Li, Z., Lei, X., Chen, X., Yin, Q., Shen, J., & Yao, J. (2021). Long-term and combined effects of N-[2-(nitrooxy) ethyl]-3-pyridinecarboxamide and fumaric acid on methane production, rumen fermentation, and lactation performance in dairy goats. *J Anim Sci Biotechnol*, 12, 125. <https://doi.org/10.1186/s40104-021-00645-4>.

Lin, X., Wang, J., Hou, Q., Wang, Y., Hu, Z., Shi, K., Yan, Z., & Wang, Z. (2018). Effect of hay supplementation timing on rumen microbiota in suckling calves. *Microbiologyopen*, 7 (1),: e00430. [https://doi: 10.1002/mbo3.430](https://doi.org/10.1002/mbo3.430).

Liu, T., Gao, C., Long, S., Wang, Q., He, T., Wu, Z., & Chen, Z. (2023). Drinking Heated Water Improves Performance via Increasing Nutrient Digestibility and Ruminal Fermentation Function in Yak Calves. *Animals*, 13 (13), 2073. <https://doi.org/10.3390/ani13132073>.

Lopes, R.B., Bernal-Cordoba, C., Fausak, E.D., & Silva-del-Río, N. (2021). Effect of prebiotics on growth and health of dairy calves: a protocol for a systematic review and meta-analysis. *PLoS One*, 16(6): e0253379. <https://doi: 10.1371/journal.pone.0253379>.

Ma, T., O'Hara, E., Song, Y., Fischer, A.J., He, Z., Steele, M.A., & Guan, L.L. (2019). Altered mucosa-associated microbiota in the ileum and colon of neonatal calves in response to delayed first colostrum feeding. *J Dairy Sci*, 102 (8), 7073–7086. <https:// doi: 10.3168/jds.2018-16130>.

Malmuthuge, N., & Guan, L.L. (2017). Understanding the gut microbiome of dairy calves: Opportunities to improve early-life gut health. *J Dairy Sci*, 100 (7), 5996–6005. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12239>.

Malmuthuge, N., Chen, Y., Liang, G., G., Goonewardene, L.A., & Guan, L.L. (2015). Heat-treated colostrum feeding promotes beneficial bacteria colonization in the small intestine of neonatal calves. *J Dairy Sci*, 98(11), 8044–8053. <https:// doi: 10.3168/jds.2015-9607>.

Malmuthuge, N., Griebel, P.J., & Guan, L.L. (2014). Taxonomic identification of commensal bacteria associated with the mucosa and digesta throughout the gastrointestinal tracts of preweaned calves. *Appl Environ Microbiol*, 80 (6), 2021–2028. <https://doi: 10.1128/AEM.03864-13>.

Malmuthuge, N., Liang, G., & Guan, L.L. (2019). Regulation of rumen development in neonatal ruminants through microbial

metagenomes and host transcriptomes. *Genome Biology*, 20,172. <https://doi.org/10.1186/s13059-019>.

Marquez, J.C. (2014). Calf intestinal health: assessment and dietary interventions for its improvement. Doctoral dissertation, University of Illinois at Urbana-Champaign.

Marrero, Y., Castillo, Y., Burrola-Barraza, M.E., Lobaina, T., Rosa, C.A., Ruiz, O., Gonzalez-Rodriguez, E., & Basso, L.C. (2011). Morphological, biochemical and molecular identification of the yeast Levica 25: A Potential Ruminant Microbial Additive. *Glob Vet*, 7, 60–85.

Marrero, Y., Castillo, Y., Ruiz, O., Burrola, E., & Angulo, C. (2015). Feeding of yeast (*Candida* spp.) improves in vitro ruminal fermentation of fibrous substrates. *J Integr Agric*, 14(3), 514–519. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(14\)60830-3](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(14)60830-3).

Maynard, C.L., Elson, C.O., Hatton, R.D., & Weaver, C.T. (2012). Reciprocal interactions of the intestinal microbiota and immune system. *Nature*, 489, 231-241. <https://doi:10.1038/nature11551>.

Meale, S.J., Li, S., Azevedo, P., Derakhshani, H., Plaizier, J.C., Khafipour, E., & Steele, M.A. (2016). Development of ruminal and fecal microbiomes are affected by weaning but not weaning strategy in dairy calves. *Front Microbiol*, 7,582. <https://doi:10.3389/fmicb.2016.00582>.

Moran, G., Coleman, D., Sullivan, D. (2012). An Introduction to the Medically Important *Candida* Species, 2nd ed.; ASM Press: Washington, DC, USA, pp. 11–25. <https://doi.org/10.1128/9781555817176.ch2>.

Newbold, C.J., & Ramos-Morales, E. (2020). Review: Ruminant microbiome and microbial metabolome: effects of diet and

ruminant host. *Animal*, 14 (S1), 78-86.
<https://doi.org/10.1017/S1751731119003252>.

O'Hara, E., Kenny, D. A., McGovern, E., Byrne, C. J., McCabe, M. S., Guan, L. L., & Waters, S. M. (2020). Investigating temporal microbial dynamics in the rumen of beef calves raised on two farms during early life. *FEMS Microbiol. Ecol* 96 (2), fiz203.
<https://doi.org/10.1093/femsec/fiz203>.

Oba, M., Mewis, J. L., & Zhining, Z. (2015). Effects of ruminal doses of sucrose, lactose, and corn starch on ruminal fermentation and expression of genes in ruminal epithelial cells. *J Dairy Sci*, 98 (1), 586-94. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8697> 586-594.

Pazoki, A., Ghorbani, G.R., Kargar, S., Sadeghi-Sefidmazgi, A., Drackley, J.K., & Ghaffari, M.H. (2017). Growth performance, nutrient digestibility, ruminal fermentation, and rumen development of calves during transition from liquid to solid feed: Effects of physical form of starter feed and forage provision. *Anim Feed Sci Tech*, 234, 173–185.
<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.06.004>.

Poudel, P., Froehlich, K., Casper, D.P., & St-Pierre, B. (2019). Feeding essential oils to neonatal Holstein dairy calves results in increased ruminal Prevotellaceae abundance and propionate concentrations. *Microorganisms*, 7 (5), 120. <https://doi.org/10.3390/microorganisms7050120>.

Santos, F.H.R., De Paula, M.R., Lezier, D., Silva, J.T., Santos, G., & Bittar, C. M. M. (2015). Essential oils for dairy calves: effects on performance, scours, rumen fermentation and intestinal fauna. *Animal*, 9 (6), 958-965.
<https://doi.org/10.1017/S175173111500018X>.

Song, Y., Malmuthuge, N., Li, F., & Guan, L.L. (2019). Colostrum feeding shapes the hindgut microbiota of dairy calves during the first 12 h of life. *FEMS Microbiol Ecol*, 95 (1), [https://doi: 10.1093/femsec/fiy203](https://doi.org/10.1093/femsec/fiy203).

Sousa, D.O., Oliveira, C.A., Velasquez, A.V., Souza, J.M., Chevaux, E., Mari, L.J., & Silva, L.F.P. (2018). Live yeast supplementation improves rumen fibre degradation in cattle grazing tropical pastures throughout the year. *Anim Feed Sci Technol*, 236, 149–158. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.12.015>.

Spina, A.A., Lopreiato, V., Britti, D., Minuti, A., Trevisi, E., Tilocca, B., Perri, A., & Morittu, V.M. (2024). The Effect of Feeding a Total Mixed Ration with an ad libitum or Restricted Pelleted Starter on Growth Performance, Rumination Behavior, Blood Metabolites, and Rumen Fermentation in Weaning Holstein Dairy Calves. *Animals*, 14 (1), 81. [https://doi: 10.3390/ani14010081](https://doi.org/10.3390/ani14010081).

Stinson, L.F., Payne, M.S., & Keelan, J.A. (2017). Planting the seed: origins, composition, and postnatal health significance of the fetal gastrointestinal microbiota. *Crit Rev Microbiol*, 43 (3), 352–369. [https://doi: 10.1080/1040841X.2016.1211088](https://doi.org/10.1080/1040841X.2016.1211088). 352e69.

Terler, G., Poier, G., Klevenhusen, F., & Zebeli, Q. (2022). Replacing Concentrates with High-Quality Hay in the Starter Feed in Dairy Calves: I. Effects on Nutrient Intake, Growth Performance, and Blood Metabolic Profile. *J Dairy Sci*, 105 (3), 2326–2342. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21078>.

Uyeno, Y., Sekiguchi, Y., & Kamagata, Y. (2010). Rrna-based analysis to monitor succession of faecal bacterial communities in holstein calves. *Lett Appl Microbiol*, 51 (5), 570–577. [https://doi: 10.1111/j.1472-765X.2010.02937.x](https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.2010.02937.x).

Wang, K., Jiang, M., Chen, Y., Huang, Y., Cheng, Z., Datsomor, O., Jama, S.M., Zhu, L., Li, Y., Zhao, G., & Lin, M

(2024). Changes in the rumen development, rumen fermentation, and rumen microbiota community in weaned calves during steviol glycosides treatment. *Front Microbiol*, 15,1395665.<https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1395665>

Wang, L., Zhang, K., Zhang, C., Feng, Y., Zhang, X., Wang, X., & Wu, G. (2019). Dynamics and stabilization of the rumen microbiome in yearling Tibetan sheep. *Sci Rep*, 9,19620. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-56206-3>.

Wickramasinghe, H.K.J.P., Anast, J.M., Schmitz-Esser, S., Seroo, N.V.L., & Appuhamy, J.A.D.R.N. (2020). Beginning to offer drinking water at birth increases the species richness and the abundance of *Faecalibacterium* and *Bifidobacterium* in the gut of preweaned dairy calves. *J Dairy Sci*, 103 (5), 4262-4274. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17258>.

Xiao, J., Alugongo, G.M., Ji, S., Wu, Z., Dong, S., Li, S., Yoon, I., Chung, R., & Cao, Z. (2019). Effects of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation products on the microbial community throughout the gastrointestinal tract of calves. *Animal*, 9 (1), <https://doi.org/10.3390/ani9010004>.

Xiao, J.X., Alugongo, G.M., Chung, R., Dong, S.Z., Li, S.L., Yoon, I., Wu, Z.H., & Cao, Z.J. (2016). Effects of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation products on dairy calves: Ruminal fermentation, gastrointestinal morphology, and microbial community. *J Dairy Sci*, 99 (7), 5401–5412. [https://doi: 10.3168/jds.2015-10563](https://doi.org/10.3168/jds.2015-10563).

Xie, B., Huang, W.Q., Zhang, C.X., Diao, Q.Y., Cui, K., Chai, J.M., Wang, S.Q., Lv, X.K., & Zhang, N.F. (2020). Influences of starter ndf level on growth performance and rumen development in lambs fed isocaloric and isonitrogenous diets. *J Anim Sci*, 98 (4), skaa093. [https://doi: 10.1093/jas/skaa093](https://doi.org/10.1093/jas/skaa093) skaa093.

Xu, L., Wei, Y., Wang, J., Tang, S., Zhou, C., Tan, Z., & Han, X. (2021). Effects of the natural sweetener rebaudioside A on intake, nutrient digestion, rumen fermentation, and blood biochemical parameters in adult goats during summer. *Anim Sci J*, 92 (1), e13532 [https://doi: 10.1111/asj.13532](https://doi.org/10.1111/asj.13532).

Yáñez-Ruiz, D.R., Macías, B., Pinloche, E., & Newbold, C.J. (2010). The persistence of ~ bacterial and methanogenic archaeal communities residing in the rumen of young lambs. *FEMS Microbiology Ecology*, 72 (2), 272–278. [https://doi: 10.1111/j.1574-6941.2010.00852.x](https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2010.00852.x).

Yang, M., Zhu, H., Gao, W., & Qu, Y. (2021). Study on maternal transmission characteristics of hindgut microorganism in newborn holstein calves. *Chin J Anim Nutr*, 33 (11), 6445–6451. [https://doi:10.3969/j.issn.1006-267x.2021.11.043](https://doi.org/10.3969/j.issn.1006-267x.2021.11.043).

Yuste, S., Amanzougarene, Z., De Vega, A., Fondevila, M., Blanco, M., & Casasús, I. (2020). Effect of preweaning diet on performance, blood metabolites and rumen fermentation around weaning in calves of two beef breeds. *Anim Prod Sci*, 60 (8), 1018–1027. <https://doi.org/10.1071/AN19152>.

Zhang, J., Shang, J., Hao, Y., Wang, Y., Cao, Z., Yang, H., Wang, W., & Li, S. (2023). Growth Performance, Blood Metabolites, Ruminal Fermentation, and Bacterial Community in Preweaning Dairy Calves Fed Corn Silage-Included Starter and Total Mixed Ration. *J Dairy Sci*, 106 (7), 4545–4558. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22476>.

Zhang, K., Teng, Z., Meng, Q., Liu, S., Yuan, L., Fu, T., Zhang, N., & Gao, T. (2024). Dynamics of Fermentation Parameters and Bacterial Community in Rumen of Calves During Dietary Protein Oscillation. *Microorganisms*, 12 (11), 2123. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12112123>.

Zhang, N., Hu, G., Guo, K., Fu, T., Lian, H., Wang, L., & Gao, T. (2022). Rumen bacteria and epithelial metabolism contribute to improving N utilization efficiency of calves. *Anim Biotechnol*, 33, 1480–1491. <https://doi.org/10.1080/10495398.2021.1909056>.

Zhang, N., Teng, Z., Li, P., Fu, T., Lian, H., Wang, L., & Gao, T. (2021). Oscillating dietary crude protein concentrations increase N retention of calves by affecting urea-N recycling and nitrogen metabolism of rumen bacteria and epithelium. *PLoS ONE*, 16 (9), e0257417. <https://doi: 10.1371/journal.pone.0257417>.

Zhang, W.J., Xu, Z.R., Zhao, S.H., Sun, J.Y., & Yang, X. (2007). Development of a microbial fermentation process for detoxification of gossypol in cottonseed meal. *Anim Feed Sci Technol*, 135 (1-2), 176–186. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.06.003>.

Zhang, X, Wu, X., Chen, W., Zhang, Y., Jiang, Y., Meng, Q., & Zhou, Z. (2017). Growth performance and development of internal organ, and gastrointestinal tract of calf supplementation with calcium propionate at various stages of growth period. *PLoS One* 12, e0179940. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0179940>.

Zhang, X. Z., Chen, W. B., Wu, X., Zhang, Y.W., Jiang, Y.M., Meng, Q.X., & Zhou, Z.M. (2018). Calcium propionate supplementation improves development of rumen epithelium in calves via stimulating G protein-coupled receptors. *Animal*, 12 (11), 2284–2291. <https://doi: 10.1017/S1751731118000289>.

Zhou, R., Wu, J., Lang, X., Liu, L., Casper, D.P., Wang, C., Zhang, L., & Wei, S. (2020). Effects of oregano essential oil on in vitro ruminal fermentation, methane production, and ruminal microbial community. *J Dairy Sci*, 103 (3), 2303-2314. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16611>.

BÖLÜM 3

NUTRİSYONEL GENETİK: HAYVANLARDA BESİN-GEN ETKİLEŞİMLERİNİ ANLAMAK

NAZLİCAN DERE¹
MURAD GÜRSER²

Giriş

Çevre etkileri gen ifadesinde çeşitli değişikliklere sebebiyet verir. Çevresel faktörlerden biri de beslenmedir ve besinler gen ekspresyonunu doğrudan veya dolaylı olarak değiştirebilir (Clarke ve Abraham, 1992; Akanbi ve ark., 2019). Bu nedenle, besinlerin çeşitli fizyolojik yollarla hayvanın üreme, büyüme-gelişme, et-süt-yapağı kalitesi, günlük canlı ağırlık artışı, verim düzeyi ve beslenmeye bağlı bozukluklar üzerindeki gen etkileri araştırılmıştır. Besin-gen etkileşimlerinin incelenmesi, besinlerin gen ekspresyonunu, hücrel biyokimyasal tepkileri ve dolayısıyla fizyolojik süreçleri ve fenotipik özellikleri düzenleyen temel moleküler mekanizmaları aydınlatılabilir (Norheim ve ark., 2012).

¹ Doktor, Balıkesir Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Hayvan Besleme ve Beslenme Hastalıkları Anabilim Dalı, 0000-0001-7419-5478

² Doçent Doktor, Balıkesir Üniversitesi Veteriner Fakültesi, Genetik Anabilim Dalı, 0000-0002-9164-5431

Nutrisyonel genetik alanı, moleküler genetik tekniklerindeki hızlı gelişmelerle birlikte ortaya çıkmış; besinlerin ve bileşenlerinin genom, hücresel, moleküler ve sistemik düzeylerde oluşturduğu etkileşimleri inceleyen yeni disiplinleri kapsamaktadır (Coşkun, 2007; Ordovas & Corella, 2004). Bu disiplinler genel olarak ‘nutrisyonel genomik’ başlığı altında toplanmakta olup, temel olarak nutrigenomik ve nutrigenetik olmak üzere iki ana araştırma alanını içermektedir (Ordovas & Corella, 2004).

Nutrigenetik, bireysel genetik varyasyonların besin bileşenlerine verdiği yanıtları inceleyen bilim dalıdır (Gillies, 2003; Fekete & Brown, 2007; Ahluwalia, 2021). Nutrigenetiğin temel amacı, bireyin genetik yapısını dikkate alarak kişiselleştirilmiş beslenme önerileri sunmaktır (Coşkun, 2007; Ordovas & Corella, 2004; Peña-Romero ve ark., 2018). Nutrigenomik ise besin öğelerinin hücresel gen ekspresyonu üzerindeki etkilerini inceleyerek, sonuçta canlı organizmalarda fenotipik değişikliklere yol açan temel moleküler mekanizmaları aydınlatmayı hedefler (Kore ve ark., 2008; Hasan ve ark., 2019; Nowacka-Woszek, 2020; Ahluwalia, 2021; Alagawany ve ark., 2022). Kronik hastalıklar ve bazı kanser türlerinin beslenme değişikliklerine duyarlı olması nedeniyle, bu hastalıkların önlenmesi ve tedavisinde nutrigenomik bilim önemli potansiyel taşımaktadır (Jansman ve Pas, 2015; Kore ve ark., 2008). Ayrıca, nutrigenomik, hayvanda sentezlenen amino asitler, sindirim enzimleri ve hormonlar gibi önemli besin maddelerinin belirlenmesinde genetik profil ile beslenme arasındaki boşluğu kapatabilir (Akanbi ve ark., 2019).

Tablo 1. *Veteriner nutrigenomik araştırmalarında kullanılan omik teknolojiler*

Omik Teknolojisi	İncelenen Biyolojik Düzey	Sağladığı Bilgi	Kullanılan Temel Teknikler
Genomik	DNA düzeyi	Genetik varyasyonlar (SNP, CNV), ırk farklılıkları	SNP analizleri, WGS, GWAS
Transkriptomik	mRNA düzeyi	Gen ekspresyon profili, beslenme karşı yanıt	RNA-seq, mikroarray
Proteomik	Protein düzeyi	Protein miktarı, modifikasyonlar	LC-MS/MS, 2D-PAGE
Metabolomik	Küçük metabolitler	Metabolik yollar, hastalık biyobelirteçleri	NMR, LC-MS, GC-MS
Epigenetik	DNA/histon modifikasyonları	Gen ifadesinin kalıcı düzenlenmesi	DNA metilasyon analizi, ChIP-seq

Grisart ve ark. (2002); VanRaden (2008); Hayes ve Goddard (2010); Wickramasinghe ve ark. (2010); Loo ve ark. (2013); Ceciliani ve ark. (2014); Klein ve Shearer (2016) kaynaklarından derlenmiştir.

Bu bilim dalı, mikroarray (transkriptomik), proteomik, metabolomik ve epigenetik gibi omik teknolojileri kullanarak uygulanır (Yaman, 2015) (Tablo 1). Bu bölümde nütrisyonel genetiğin temel prensipleri, bu alanda kullanılan "omik" teknolojileri, farklı hayvan türlerinde besin-gen etkileşimlerine yönelik yapılan çalışmalar, bağırsak mikrobiyotasının bu etkileşimdeki rolü ve alanın gelecekteki perspektifleri ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

Omik Teknolojileri ve Nutrigenomik Araçları

Genomik ve SNP Analizi

Genom, bir organizmanın tüm kalıtsal bilgisini içeren DNA dizilerini kapsar ve bu bilgi kromozomlarda yer alır (Başaran ve ark., 2010; Yaman, 2015). Genomik bilim, bu genetik bilginin yapı

ve işlev yönünden tamamını analiz ederek, genlerin birbirleriyle ve çevresel faktörlerle nasıl etkileşime girdiğini sistematik biçimde incelemeyi amaçlar (Başaran ve ark., 2010; Yaman, 2015). Genetik araştırmalar genellikle tek bir genin etkisini değerlendirirken, genomik yaklaşım genlerin toplu olarak nasıl çalıştığını anlamaya odaklanır (Coşkun, 2007). Bu bakış açısı, beslenme biliminde “nutrigenomik” alanının doğmasına yol açmıştır. Nutrigenomik araştırmalar, özellikle bireyler ya da hayvan türleri arasındaki genetik farklılıkların belirlenmesinde genomik analizleri kullanır ve bu analizler çoğunlukla tek nükleotid polimorfizmleri (Single Nucleotide Polymorphisms – SNPs) üzerine yoğunlaşır (Coşkun, 2007). SNP’ler, bireyler arasındaki genetik çeşitliliğin önemli bir bölümünü açıklamakta ve beslenmeye verilen metabolik veya fizyolojik yanıtları etkilemektedir (German ve ark., 2003). Bu nedenle, aynı besin ögesine farklı bireylerin neden farklı tepkiler verdiğini anlamada genomik veriler büyük önem taşır (Peña-Romero ve ark., 2018). Ayrıca SNP belirteçleri, yemden yararlanma, et ve süt kalitesi gibi ekonomik açıdan önemli özelliklerin ıslahında biyolojik göstergeler olarak değerlendirilebilir (Benítez ve ark., 2017). Genomun fiziksel özelliklerini ortaya koymak için genetik, fiziksel ve sitolojik olmak üzere farklı genom haritalama yöntemleri geliştirilmiştir. Genetik haritalar, genetik belirteçlerin bağlantı gruplarındaki göreceli konumu ve rekombinasyon birimi olan santimorgan (cM) cinsinden mesafeyi tanımlar. Fiziksel haritalar DNA dizilerinin bitişik yapısını gösterir ve mesafeyi megabaz (Mb) olarak ifade eder. Sitolojik haritalar ise boyanmış kromozomlardaki bant desenlerini mikroskopik düzeyde tanımlayarak kromozom yapısının belirlenmesine katkı sağlar (Swanson ve ark., 2003).

Nutrisyonel genomik, aşağıda sıralanan ilkeler doğrultusunda ele alınır (Kauwel, 2005; Kussmann ve ark., 2006; Kaput ve ark., 2004; Kaput ve ark., 2005; Coşkun, 2007):

- Besin bileşenleri gen ekspresyonunu değiştirebilir.

- Beslenme hastalık gelişiminde risk oluşturabilir.
- Besinle kontrol edilen genler kronik hastalıkların görülme sıklığı, başlangıcı ve ilerleyişini etkiler.
- Bireyin genetik yapısı, besinin sağlık-hastalık dengesine etkisini belirler.
- Kronik hastalıkların önlenmesi veya hafifletilmesi için bireysel gereksinimler, beslenme alışkanlıkları ve genotip göz önünde bulundurularak bireyselleştirilmiş beslenme tasarlanabilir.

Transkriptomik

Transkriptomik, bir örnekteki mRNA miktarına bağlı olarak genlerin belirli bir kısmının veya tamamının eş zamanlı ifadesini inceleyen bilim dalıdır; diğer bir ifadeyle mRNA transkript düzeylerinin topluca ölçülmesini amaçlar (Başaran ve ark., 2010). mRNA, genotipten fenotipe bilgi taşıyan kritik bir araçtır. Transkripsiyon, besin maddeleri, metabolitler, hormonlar veya kimyasal ajanlar gibi moleküllerin transkripsiyon faktörlerini aktive etmesiyle başlar; bu faktörler hedef genin promotör bölgesine bağlanarak mRNA sentezini başlatabilir veya süreci baskılayabilir (Müller ve ark., 2003). Bir hayvanın farklı hücre ya da dokularında görülen transkriptomik desenler, beslenme müdahaleleri ve diğer çevresel koşullara bağlı olarak değişiklik gösterir ve genetik mesajların hangi sırayla ve düzeyde ifade edileceğini belirler (López ve ark., 2008).

Nutrigenomik araştırmalar, besinlerin hangi genlerin etkinliğini ne ölçüde değiştirdiğini anlamaya odaklanır. Bu amaçla DNA mikroarray ve RNA dizileme (RNA-Seq) gibi transkriptomik analiz teknikleri kullanılarak, farklı beslenme koşullarında hayvanlarda gen ifadesindeki değişimler ayrıntılı biçimde incelenir (Wickramasinghe ve ark., 2010). Bu yaklaşımlar sayesinde, besin

ögelerinin gen düzeyinde oluşturduğu yanıtlar kapsamlı olarak haritalanabilir (Dawson, 2006; Jansman & Pas, 2015; Haq ve ark., 2022). Örneğin, yağ asitlerinin lipit metabolizmasında rol oynayan genlerin aktivasyonunu veya baskılanmasını nasıl etkilediği bu yöntemlerle ortaya konulabilir (Nowacka-Woszek, 2020).

Proteomik Yaklaşımlar

Proteomik, organizmadaki tüm proteinlerin yapısal özelliklerini, hücre ve dokulardaki dağılımlarını, miktarlarını, işlevlerini ve diğer biyomoleküllerle etkileşimlerini inceleyen bir bilim alanıdır (Yaman, 2015; Koç, 2018). Bu yaklaşım, genomun beslenmeye verdiği yanıtın protein düzeyinde nasıl yansıdığını ortaya koyduğu için nutrigenomik araştırmalarda önemli bir yere sahiptir (Katsarou ve ark., 2021). LC-MS/MS gibi ileri analiz yöntemleri kullanılarak, farklı besin bileşenlerinin protein profili üzerindeki etkileri ayrıntılı biçimde değerlendirilebilir (Baykal, 2011; Ceciliani ve ark., 2014). Örneğin, bir besin takviyesinin antioksidan sistemde görevli enzimlerin üretimini nasıl etkilediği proteomik incelemelerle belirlenebilir (Fekete ve Brown, 2007). Kanatlılarda E vitamini ve organik selenyum ilavesinin, GPx ve TrxR gibi antioksidan enzimlerin düzeylerini artırdığı rapor edilmiştir (Surai ve ark., 2018). Benzer şekilde, köpeklerde yüksek yağlı diyetler sonucunda leptin reseptörü ve RBP4 gibi metabolik proteinlerin tespit edilmesi, obeziteyle ilişkili biyobelirteçlerin belirlenmesine yardımcı olmuştur (Mondal ve ark., 2016). Genel olarak proteomik, beslenmenin gen ifadesi ve metabolik süreçler üzerindeki etkilerini çözümlemenin yanı sıra, hastalık riskini tahmin edebilecek biyolojik göstergelerin tanımlanmasına da katkı sağlar (Coşkun, 2007).

Metabolomik Yaklaşımlar

Metabolomik, hücrelerde gerçekleşen biyokimyasal süreçleri anlamaya yönelik bir “omik” yaklaşım olup; lipidler,

karbonhidratlar, vitaminler, hormonlar ve diğerk küçük molekülü metabolitlerin biyolojik örneklerde tanımlanmasını ve miktar analizini hedefler (Giuseppe ve ark., 2013; Wishart, 2007; Johnson ve ark., 2016). Bu yöntem, genetik yapı ile çevresel koşulların metabolik faaliyetler üzerindeki etkilerini inceleyerek kişiye veya türe özgü beslenme modellerinin oluşturulmasına katkı sağlar (Nicholson ve ark., 2005; Scalbert ve ark., 2009). Metabolit profillerindeki değişiklikler yalnızca hastalıkların teşhisinde değil, aynı zamanda bu hastalıkların biyolojik mekanizmalarının anlaşılmasında da önemli bilgiler sunar. Diğerk omik teknolojilerle karşılaştırıldığında metabolomik, besinlerle metabolik tepkiler arasındaki neden-sonuç ilişkilerini daha doğrudan açıklamaya odaklanır (Fiehn, 2002; Dettmer ve ark., 2007). Genomik, transkriptomik ve proteomik yaklaşım “potansiyel olarak neyin gerçekleşebileceğini” gösterirken, metabolomik “gerçekte hangi biyokimyasal değişimlerin olduğunu” ortaya koyar (Coşkun, 2007; Yaman, 2015). Bu nedenle, metabolitlerin nicel ve nitel olarak analiz edilmesi, fenotip üzerindeki etkilerin araştırılmasında güçlü bir araçtır (Yaman, 2015).

Metabolomik analizler, hücre ve dokulardaki küçük moleküllerin (metabolitler) profillenmesini sağlar. Besin kaynaklı değişimlerin kısa zincirli yağ asitleri, homosistein veya lipid metabolitleri üzerindeki etkisi NMR ve LC-MS teknikleriyle incelenebilir (Hasan ve ark., 2019).

Epigenetik Yaklaşımlar

Epigenetik, DNA dizisinde değişiklik olmadan kromatin ve DNA üzerinde geri dönüşümlü moleküler değişikliklerin incelenmesidir (Bird, 2007). Epigenetik değişiklikler; DNA metilasyonu, histon modifikasyonları, kromatin yapısının düzenlenmesi ve RNA temelli mekanizmalar yoluyla gerçekleşir (Bird, 2007; Schones ve ark., 2015; Toparslan ve ark., 2018).

Beslenme yoluyla gen ekspresyonunu doğrudan etkilediği için diyabet, insülin direnci ve obezite gibi hastalıkların araştırılmasında önemli bir rol oynar (Feinberg, 2007; Barres ve Zierath, 2016). Epigenetik varyasyonlar, DNA dizileri aynı olan bireylerde dahi fenotipik farklılıklara sebep olabilmektedir (Toparslan ve ark., 2018).

DNA metilasyonu, genlerin promotör bölgelerinde transkripsiyon faktörlerinin bağlanmasını engelleyerek ya da metil-CpG bağlayıcı proteinlerin bu bölgelere bağlanmasını artırarak gen ifadesini baskılayabilir (Watt ve Molloy, 1988; Boyes ve Bird, 1991; Klose ve Bird, 2006). Bu epigenetik değişiklikler, gen ifadesini artırabilir ya da azaltabilir ve bireyden bireye farklılık gösterebilir (Barres ve Zierath, 2016).

Kraliçe ve işçi arılar genetik olarak aynı olmalarına rağmen, kraliçe arılar “arı sütü” ile beslenirler. Bu zengin besin, kraliçelerin fiziksel ve davranışsal özellikleri ile yaşam sürelerini değiştirir. Bu durum, epigenetik düzenlemelerin çevresel etkilerle fenotipi değiştirebildiğine dair önemli bir örnektir (Lyko ve ark., 2010; Kucharski ve ark., 2008). Yapılan çalışmalarda, kraliçe ve işçi arıların beyinlerindeki DNA metilasyonu örüntülerinde belirgin farklar bulunmuş, 550’den fazla genin metilasyon düzeyleri farklılık göstermiştir (Lyko ve ark., 2010).

DNA metilasyonu, histon modifikasyonları ve miRNA düzeyindeki değişimler, besin öğelerinin kalıtsal olmayan ancak kalıcı etkilerini anlamamıza yardımcı olur. Kanatlılarda metiyonin eksikliği, DNA metiltransferaz (DNMT1) gen ekspresyonu ve global DNA metilasyon düzeylerini azaltmıştır (Khatib, 2015).

Hayvanlarda Nutrigenetik ve Nutrigenomik Yaklaşımlar

Nütrisyonel genomik, hayvan yetiştiriciliğinde verimlilik, sağlık ve ürün kalitesini artırmak için genetik ve beslenme stratejilerini birleştiren güçlü bir araçtır (Urbański ve ark., 2021;

Haq ve ark., 2022). Farklı hayvan türlerinde yapılan çalışmalar, besinlerin gen ekspresyonunu etkileyerek büyüme, üreme, bağışıklık ve metabolizma gibi kritik fizyolojik süreçleri düzenlediğini göstermektedir (Nowacka-Woszuk, 2020).

Sığırlarda Nutrigenetik ve Nutrigenomik Yaklaşımlar

Sığır türü, nutrigenetik uygulamalarda en çok çalışılan hayvan gruplarından biridir. Holştayn, Jersey, Brown Swiss, Montbéliarde ve yerli Anadolu Mandası gibi farklı ırklarda yapılan çalışmalar, besin-gen etkileşimlerinin ırka özgü sonuçlar doğurduğunu göstermektedir. Dirandeh ve arkadaşları (2016), farklı doymamış yağ asitlerinin takviyesinin, somatotropik eksen fonksiyonuyla ilgili genlerin karaciğerdeki ekspresyonunu değiştirerek süt verimi ve süt yağ asitlerini etkilediğini göstermişlerdir. Süt sığırlarının yağ dokusunda, laktasyonun başarılı bir şekilde başlaması ve üreme başarısı için, lipolizin kontrolüyle ilgili hormonlara duyarlı lipaz gibi enzimlerin transkripsiyonunun arttığı belirlenmiştir (Xie, 2015).

Annenin beslenmesi, yavruda mermerleşme (marbling) üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilir (Ladeira ve ark., 2018). Du ve ark. (2015) geç gebelikte (%125 NRC) enerji fazlasının Simental × Hereford buzağılarında intramüsküler yağ hücre sayısını %22 artırdığını, CEBPβ promotöründeki metilasyonu düşürdüğünü göstermiştir.

Domuzlarda Nutrigenetik ve Nutrigenomik Yaklaşımlar

Düşük proteinli besinler, kalp yağ asidi bağlayıcı protein (*H-FABP*) ve peroksizom proliferatörü ile aktive edilen reseptör γ (*PPAR γ*) genlerini düzenleyerek kas içi yağı artırabilir ve et kalitesini iyileştirebilir (Malgwi ve ark., 2022). Glutamin takviyesi, süttten kesilmiş domuz yavrularında bağırsak metabolizması ve fonksiyonu için gerekli genlerin ekspresyonunu modüle eder (Wang ve ark., 2008). Anneden kalıtsal İnsülin Benzeri Büyüme Faktörü 2

(*IGF2*) geni, domuzlarda kas kütlesini ve yağ depolamasını artırmaya katkıda bulunur (Malgwi ve ark., 2022). Ayrıca, Duroc ırkında yüksek IMF (intramüsküler yağ) içeriğine sahip bireylerde SCD ve FABP3 genlerinin ekspresyonunun arttığı bulunmuştur (Benítez ve ark., 2017).

Kanatlılarda Nutrigenetik ve Nutrigenomik Yaklaşımlar

Kanatlılarda nutrigenomik, hassas beslenme stratejilerinin uygulanmasına olanak tanır (Urbański ve ark., 2021). Amino asitler, vitaminler ve prebiyotikler gibi takviyeler, hayvan sağlığı ve bağışıklık sistemi fonksiyonunun iyileştirilmesinde önemli rol oynayan genlerin transkripsiyonunu etkiler (Alagawany ve ark., 2020). Bitkisel kökenli fitokimyasallar fizyoloji ve bağışıklıkla ilgili gen ekspresyonunu kontrol edebilir (Abdelli ve ark., 2021; Nahed ve ark., 2022; Pirgozliev ve ark., 2019). Kanatlılarda erken yaşam beslenme stresi (yem yoksunluğu), DNA metilasyonunun ana düzenleyicilerini modüle eder (Kang ve ark., 2017). Yumurtacı ırklarda E vitamini ve selenyum takviyesi, karaciğerde lipid metabolizmasına ilişkin genlerde düzenleyici etkilere sahiptir (Surai ve ark., 2018).

Köpeklerde Nutrigenetik ve Nutrigenomik Yaklaşımlar

Köpeklerde yapılan nutrigenetik araştırmalar, özellikle obezite, diyabet, yaşlanma ve sindirim sistemi sağlığı ile ilişkilidir. Raffan ve ark. (2016), Labrador Retriever ve Flat-Coated Retriever ırklarında POMC genindeki delesyonun iştah artışı ve obeziteye güçlü genetik yatkınlık sağladığını bildirmiştir. Proteomik analizler obez köpeklerde retinol bağlayıcı protein 4 (RBP4), klusterin öncüsü (CLU) ve α -1 antitripsin (α -AT)'nin obezite ile ilişkili hastalık süreçlerinin potansiyel belirteçleri olabileceğini bildirmiştir (Tvariionaviciute ve ark., 2012).

Köpeklerde yapılan çalışmalar, diyetle verilen nutrasötiklerin (örneğin, Curcuma longa, Echinacea angustifolia,

Vaccinium myrtillus) bağıışıklık sistemi ve enflamasyon üzerindeki etkilerini gen ekspresyonu düzeyinde incelemiştir. Bu bileşenlerin, TNF, CXCL8 ve NFKB1 gibi pro-enflamatuar genlerin ekspresyonunu düşürdüğü ve antioksidan enzimleri (SOD2) yukarı regüle ettiğı belirlenmiştir (Sgorlon ve ark., 2016).

Bağırsak Mikrobiyotası ile Nutrigenomik Yaklaşımlar

Mikrobiyom, belirli bir ortamda (örneğin bağırsakta) bulunan mikroorganizmaların (bakteri, virüs, mantar gibi) tüm genetik materyalini ifade eder (Turnbaugh ve ark., 2007; Varım ve ark., 2017). İnsanların ve diğer memelilerin bağırsakları, 500 ila 1000 bakteri türünden oluşan trilyonlarca mikroorganizmayı içerir (Tatlı Seven ve İflazoğlu Mutlu, 2018). Hayvanların sindirim sisteminde yer alan mikrobiyom, besinlerin sindirimi, metabolik fonksiyonlar, bağıışıklık sistemi gelişimi ve genel sağlık için kritik bir rol oynar (Shreiner ve ark., 2015).

Beslenme, mikrobiyomun yapısını ve işlevini doğrudan etkileyen en önemli çevresel faktörlerden biridir (David ve ark., 2014; Koca ve Dönmez, 2020; Küllük ve Dalğın, 2021). Beslenmedeki bileşenler mikrobiyomun çeşitliliğini ve bileşimini değiştirerek, konak organizmanın metabolizması ve gen ekspresyonu üzerinde sistemik etkiler oluşturabilir (David ve ark., 2014; Dai ve Shen, 2022). Bu durum, nutrigenomik ve mikrobiyomik arasındaki etkileşimin önemini göstermekte; besinlerin gen ifadesini, metabolit üretimini ve mikrobiyal dengeyi yöneten biyolojik sinyaller olarak işlev gördüğünü ortaya koymaktadır (Sukhija ve ark., 2023; Küllük ve Dalğın, 2021).

Metabolik organ olarak tanımlanan bağırsak mikrobiyotası, bağıışıklık sisteminin şekillendirilmesinde temel bir rol üstlenmekte; enerji metabolizmasını ve konak savunma yanıtlarını çeşitli biyolojik yollar aracılığıyla etkilemektedir (Özdemir & Büyüktuncer Demirel, 2017; Varım ve ark., 2017).

Yem bileşiminin rumen mikrobiyal protein sentezi ve epitel adaptasyonu üzerindeki etkileri, sürdürülebilir hayvancılık açısından da kritik öneme sahiptir (Akanbi, 2019). Omik temelli yaklaşımlar bu tür araştırmalarda mikrobiyomun fonksiyonel bütünlüğünün sistem biyolojisi düzeyinde anlaşılmasına katkı sağlamaktadır (Kocakaya ve Kul, 2024).

Gelecek Perspektifleri ve Sonuç

Nütrisyonel genetik, hayvan besleme ve yetiştiriciliği alanında sürekli gelişen ve umut vaat eden bir alandır. Gelecek perspektifleri, özellikle bireyselleştirilmiş beslenme (precision nutrition) ve epigenetik müdahaleler üzerine odaklanmaktadır (Haq ve ark., 2022). Bu çeşitlilik, tek tip beslemenin günümüz hayvancılığında optimum sağlık ve verim hedeflerini karşılamada yetersiz kalabileceğini ortaya koymaktadır (Loor ve ark., 2013). Nutrigenetik ve nutrigenomik araştırmalar, aynı besin bileşeninin farklı genotiplere sahip hayvanlarda süt verimi, et kalitesi, bağışıklık yanıtı ve hastalıklara yatkınlık gibi özellikler üzerinde değişen etkiler oluşturduğunu göstermiştir (Benítez ve ark., 2017). Genotipe dayalı besleme stratejilerinin uygulanması; yemden yararlanmanın artırılması, metabolik hastalıkların azaltılması ve antibiyotik kullanımının düşürülmesi açısından da önemli katkılar sağlamaktadır (Alagawany ve ark., 2020). Bu yönüyle bireyselleştirilmiş besleme, hem hayvan refahını hem de sürdürülebilir üretim hedeflerini destekleyen modern veteriner hekimliğin temel bileşenlerinden biri hâline gelmiştir.

Nutrigenetik bilginin pratik uygulamalara aktarılabilmesi amacıyla yapay zekâ ve makine öğrenimi tabanlı modeller geliştirilmektedir. Ancak bu teknolojilerin sahada uygulanması sırasında veri güvenliği, ekonomik maliyet ve disiplinler arası iletişim gibi unsurlar önemli kısıtlar oluşturmaktadır (Hasan ve ark., 2019). Ayrıca, sahada nutrigenetik belirteçlerin etkin

kullanılabilmesi için geniş genomik veri tabanlarının ve güçlü biyoinformatik altyapıların gerekliliği vurgulanmaktadır (Benítez ve ark., 2017). Özellikle kanatlı yetiştiriciliğinde yüksek analiz maliyetleri, tür bazlı bilgi eksikliği ve üretici eğitimi gibi etmenler nutrigenomik uygulamaların yaygınlaşmasını sınırlamaktadır (Alagawany ve ark., 2020). Tüm bu faktörler, nutrigenetik ve nutrigenomik bulguların sahada etkin biçimde kullanılabilmesi için multidisipliner iş birlikleri ve uluslararası veri paylaşım ağlarının oluşturulmasının önemini göstermektedir. Bu nedenle, bu alanların veteriner hekimliğe uygulanması; koruyucu sağlık uygulamalarını geliştirmeye (örneğin hastalıklara karşı direncin artırılması), verimliliği artırmaya ve hayvansal ürün kalitesini yükseltmeye katkı sağlamaktadır (Toparslan ve ark., 2018). Gelecekte yapılacak araştırmalarla birlikte nutrigenetik ve nutrigenomik, hayvan besleme ve yönetiminde yenilikçi ve bütüncül yaklaşımların önünü açma potansiyeline sahiptir.

Kaynakça

Abdelli, N., Solà-Oriol, D., & Pérez, J. F. (2021). Phytogetic feed additives in poultry: Achievements, prospective and challenges. *Animals*, 11(12), 3471.

Akanbi, O. (2019). Effects of feed composition on rumen microbial protein synthesis and epithelial adaptation. *Animal Feed Science and Technology*, 251, 43–52. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.03.005>

Ahluwalia, M. K. (2021). Nutrigenetics and nutrigenomics—A personalized approach to nutrition. *Advances in Genetics*, 108, 277–340.

Alagawany, M., Farag, M. R., Abd El-Hack, M. E., Taha, A. E., Dhama, K., & El-Saadony, M. T. (2020). Nutrigenomics and its role in stress management and immune modulation in poultry. *Poultry Science*, 99(11), 6017–6025. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.07.022>

Alagawany, M., Elnesr, S. S., Farag, M. R., El-Naggar, K., & Madkour, M. (2022). Nutrigenomics and nutrigenetics in poultry nutrition: An updated review. *World's Poultry Science Journal*, 78(2), 377–396.

Barres, R., & Zierath, J. R. (2016). DNA methylation in metabolic disorders. *American Journal of Clinical Nutrition*, 105(4), 912–920. <https://doi.org/10.3945/ajcn.115.112525>.

Başaran E., Aras S., Cansaran-Duman D., (2010). Genomik, Proteomik, Metabolik Kavramlarına Genel Bakış ve uygulama Alanları. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*. 67(2): 85-96.

Baykal B. (2011). Nörodejeneratif mekanizmaların mitokondriyal disfonksiyon hücre modellerinde proteomik yöntemlerle araştırılması. Yayımlanmamış yüksek lisans tezi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli.

Benítez, R., Fernández, A., Isabel, B., Núñez, Y., De Mercado, E., Gómez-Izquierdo, E., ... & Óvilo, C. (2017). Modulatory effects of breed, feeding status, and diet on adipogenic, lipogenic, and lipolytic gene expression in growing Iberian and Duroc pigs. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(1), 22.

Bird, A. (2007). Perceptions of epigenetics. *Nature*, 447(7143), 396–398.

Boyes, J., & Bird, A. (1991). Repression of genes by DNA methylation depends on CpG density and promoter strength: evidence for involvement of a methyl-CpG binding protein. *EMBO Journal*, 10(8), 3775-3781.

Ceciliani, F., Eckersall, P. D., Burchmore, R., & Lecchi, C. (2014). *Proteomics in veterinary medicine: Applications and challenges*. Veterinary Journal, 199(1), 42–51.

Clarke, S.D. & Abraham, S., (1992). Gene expression: nutrient control of pre- and posttranscriptional events. *FASEB J*. 6:3146–3152.

Coşkun T., (2007). Nütrisyonel Genomik. *Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Dergisi*. 50: 47-66.

Dai, X. & Shen, L. (2022). Advances and Trends in Omics Technology Development. *Frontiers in Medicine*, 9.

David, L. A., Maurice, C. F., Carmody, R. N., Gootenberg, D. B., Button, J. E., Wolfe, B. E., Ling, A. V., Devlin, A. S., Varma, Y., Fischbach, M. A., Biddinger, S. B., Dutton, R. J., & Turnbaugh, P. J. (2014). Diet rapidly and reproducibly alters the human gut microbiome. *Nature*, 505(7484), 559–563.

Dawson, K. A. (2006). Nutrigenomics: Feeding the genes for improved fertility. *Animal reproduction science*, 96(3-4), 312-322.

Dettmer, K., Aronov, P. A., & Hammock, B. D. (2007). Mass spectrometry-based metabolomics. *Mass Spectrometry Reviews*, 26(1), 51–78.

Dirandeh, E., Towhidi, A., Ansari, Z., Zeinoaldini, S., & Ganjkhanelou, M. (2016). Effects of dietary supplementation with different polyunsaturated fatty acids on expression of genes related to somatotrophic axis function in the liver, selected blood indicators, milk yield and milk fatty acids profile in dairy cows. *Ann Anim Sci*, 16, 1045–1058.

Du, M., Tong, J., Zhao, J., et al. (2015). Fetal programming of skeletal muscle development in ruminant animals. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 6, 20.

Feinberg, A. P. (2007). Phenotypic plasticity and the epigenetics of human disease. *Nature*, 447(7143), 433–440.

Fekete, S. G., & Brown, D. L. (2007). Veterinary aspects and perspectives of nutrigenomics: A critical review. *Acta Veterinaria Hungarica*, 55(2), 229-239.

Fiehn, O. (2002). Metabolomics—the link between genotypes and phenotypes. *Plant Molecular Biology*, 48(1-2), 155–171.

German, J. B., Roberts, M. A., & Watkins, S. M. (2003).

Personal metabolomics as a next generation nutritional assessment. *The Journal of nutrition*, 133(12), 4260-4266.

Giuseppe, A. & James L., (2013). An Emerging Role for Metabolomics in Nutrition Science. *J Nutrigenet Nutrigenomics*. 6:181–200.

Grisart, B., Farnir, F., Karim, L., et al. (2002). *Genetic and functional confirmation of the causality of the DGAT1 K232A quantitative trait nucleotide in dairy cattle*. PNAS, 99(14), 9300–9305.

Haq, Z. U., Saleem, A., Khan, A. A., Dar, M. A., Ganaie, A. M., Beigh, Y. A., Hamadani, H., & Ahmad, S. M. (2022). Nutrigenomics in livestock sector and its human-animal interface-a review. *Veterinary and Animal Science*, 17, 100262.

Hasan, M. S., Feugang, J. M., Liao, S. F., (2019). A Nutrigenomics Approach Using RNA Sequencing Technology to Study Nutrient–Gene Interactions in Agricultural Animals. *Current Developments in Nutrition*.

Hayes, B. J., & Goddard, M. E. (2010). *Genome-wide association and genomic selection in animal breeding*. Genome, 53, 876–883.

Jansman, A. J. M. & Pas, M. F. W. (2015). Techniques for evaluating nutri ent status in farm animals. Wageningen UR (University & Research Centre) Livestock Research, Livestock Research Report 846.

Johnson, C. H., Ivanisevic, J., & Siuzdak, G. (2016). Metabolomics: Beyond biomarkers and towards mechanisms. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 17(7), 451–459.

Kang, S. W., Madkour, M., & Kuenzel, W. J. (2017). Tissue-specific expression of DNA methyltransferases involved in early-

life nutritional stress of chicken, *gallus gallus*. *Frontiers in Genetics*, 8, 204.

Kaput, J., & Rodriguez, R. L. (2004). Nutritional genomics: The next frontier in the postgenomic era. *Physiological Genomics*, 16(2), 166-177.

Kaput, J., Ordovas, J. M., Ferguson, L., Van Ommen, B., Rodriguez, R. L., Allen, L., ... & Zucker, J. D. (2005). The case for strategic international alliances to harness nutritional genomics for public and personal health. *British Journal of Nutrition*, 94(5), 623-632.

Katsarou, E. I., Billinis, C., Galamatis, D., Fthenakis, G. C., Tsangaris, G. T., & Katsafadou, A. I. (2021). Applied proteomics in 'One Health. *Proteomes*, 9(3), 31

Kauwell, G. P. (2005). Emerging concepts in nutrigenomics: a preview of what is to come. *Nutrition in Clinical Practice*, 20(1), 75-87.. <https://doi.org/10.1093/jn/135.8.2119>

Khatib, H. (2015). *Molecular and quantitative animal genetics*. John Wiley & Sons.

Klein, M. S., & Shearer, J. (2016). *Metabolomics and type 2 diabetes: Translating basic research into clinical application*. *Metabolomics*, 12, 1–10.

Klose, R. J., & Bird, A. P. (2006). Genomic DNA methylation: The mark and its mediators. *Trends in Biochemical Sciences*, 31(2), 89–97.

Koca, O., & Dönmez, N. (2020). İkinci beyin: Bağırsak. *Atatürk Üniversitesi Veteriner Bilimleri Dergisi*, 15(2), 187-195.

Kocakaya, A., & Kul, B. C. (2024). Yeniçağda omik bilimler

ve hayvan yetiştiriciliği. *Veteriner Farmakoloji ve Toksikoloji Derneği Bülteni*, 15(2), 77-85.

Koç, G., (2018). Nutrigenomik:Genotipten Fenotipe Beslenme Etkisi. *Tıp Fakültesi Klinikleri*. 1 (1): 79 - 92.

Kore, K., Pathak, R., & Yadav, D. (2008). Nutrigenomics and its role in animal health and production. *Veterinary Science Today*, 3(1), 10-17.

Kucharski, R., Maleszka, J., Foret, S., & Maleszka, R. (2008). Nutritional control of reproductive status in honeybees via DNA methylation. *Science*, 319(5871), 1827-1830.

Kussmann M., Raymond F., Affolter M., (2006). OMICS dirven biomarker discovery in nutrition and health. *J Biotechnol*. 124: 758-787.

Küllük, E., & Dalgın, D. (2021). Veteriner sahada güncel mikrobiyota kavramı. *Etlik Veteriner Mikrobiyoloji Dergisi*, 32(1), 77-88.

Ladeira, M. M., Schoonmaker, J. P., Swanson, K. C., Duckett, S. K., Gionbelli, M. P., Rodrigues, L. M., & Teixeira, P. D. (2018). Review: nutrigenomics of marbling and fatty acid profile in ruminant meat. *Animal*, 12, s282–s294.

Loor, J. J., Bionaz, M., & Drackley, J. K. (2013). *Systems physiology in dairy cattle: Nutrigenomics and implications for nutrition*. *Animal*, 7(s1), 5–17.

López-Maury L., Marguerat S., Bähler J., (2008). Tuning gene expression to changing environments: from rapid responses to evolutionary adaptation. *Nat Rev Genet*. 9:583–93.

Lyko, F., Foret, S., Kucharski, R., et al. (2010). The honey bee epigenomes: Differential methylation of brain DNA in queens

and workers. *PLoS Biology*, 8(11), e1000506.

Malgwi, I. H., Halas, V., Grünvald, P., Schiavon, S., & Jócsák, I. (2022). Genes related to fat metabolism in pigs and intramuscular fat content of pork: A focus on Nutrigenetics and Nutrigenomics. *Animals*, 12, 150.

Mondal M., Ghosh MK., (2016). Application of nutrigenomics for enhancement of body growth in ruminants. *Research & Reviews: Journal of Veterinary Science and Technology*. 5(1): 1–6p.

Müller M., Kersten S., (2003). Nutrigenomics: goals and strategies. *Nat Rev Genet*. 4:315–22.

Nahed, A., El-Hack Abd, M. E., Albaqami, N. M., Khafaga, A. F., Taha, A. E., Swelum, A. A., et al. (2022). Phytochemical control of poultry coccidiosis: A review. *Poultry Science*, 101(1), Article 101542.

Nicholson, J. K., Holmes, E., & Wilson, I. D. (2005). Gut microorganisms, mammalian metabolism and personalized health care. *Nature Reviews Microbiology*, 3(5), 431–438. <https://doi.org/10.1038/nrmicro1160>

Norheim, F., Langleite, T. M., Hjørth, M., Holen, T., Kielland, A., Stadheim, H. K., ... & Drevon, C. A. (2012). Molecular nutrition research—the modern way of performing nutritional science. *Journal of Internal Medicine*, 271(2), 111–121.

Nowacka-Woszuik, J. (2020). Nutrigenomics in livestock—recent advances. *Journal of Applied Genetics*, 61(1), 93–103.

Ordovas, J. M., & Corella, D. (2004). Nutritional genomics. *Annu Rev Genomics Hum Genet*, 5, 71–118.

Özdemir, A., & Büyüktuncer Demirel, Z. (2017). Beslenme

ve Mikrobiyota İlişkisi. *Journal of Biotechnology and Strategic Health Research*, 1, 25-33.

Peña-Romero, A. C., Navas-Carrillo, D., Marín, F., & Orenes-Piñero, E. (2018). The future of nutrition: nutrigenomics and nutrigenetics in obesity and cardiovascular diseases. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(17), 3030–3041.

Pirgozliev, V., Mansbridge, S. C., Rose, S. P., Lillehoj, H. S., & Bravo, D. (2019). Immune modulation, growth performance, and nutrient retention in broiler chickens fed a blend of phytogetic feed additives. *Poultry Science*, 98(9), 3443–3449.

Raffan, E., et al. (2016). A deletion in the canine POMC gene is associated with weight and appetite in obesity-prone Labrador Retriever dogs. *Cell Metabolism*, 23(5), 893-900. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2016.04.012>

Scalbert, A., Brennan, L., Manach, C., Andres-Lacueva, C., & Dragsted, L. O. (2009). The food metabolome: A window over dietary exposure. *American Journal of Clinical Nutrition*, 89(5), 1293–1300.

Schones, D. E., Leung, A., & Natarajan, R. (2015). Chromatin modifications associated with diabetes and obesity. *Arteriosclerosis, thrombosis, and vascular biology*, 35(7), 1557-1561.

Sgorlon, S., Stefanon, B., Sandri, M., & Colitti, M. (2016). Nutrigenomic activity of plant derived compounds in health and disease: Results of a dietary intervention study in dog. *Research in Veterinary Science*, 109, 142-148.

Shreiner, A. B., Kao, J. Y., & Young, V. B. (2015). The gut microbiome in health and in disease. *Current Opinion in Gastroenterology*, 31(1), 69–75.

Sukhija, N., Kanaka, K. K., Goli, R. C., Kapoor, P., Sivalingam, J., Verma, A., Sharma, R., Tripathi, S. B. & Malik, A. A. (2023). The flight of chicken genomics and allied omics-a mini review. *Ecological Genetics and Genomics*, 29, 100201.

Surai, P. F., Kochish, I. I., Fisinin, V. I., & Kidd, M. T. (2018). Antioxidant defense systems and oxidative stress in poultry biology: An update. *Poultry Science*, 97(5), 1722-1735.

Swanson, K. S., Schook, L. B., Fahey, G. C. Jr., (2003). Nutritional genomics: implications for companion animals. *American Society for Nutritional Sciences*. 133:3033–40. 46. DOI: 10.1093/jn/133.10.3033.

Tatlı Seven, P., & İflazoğlu Mutlu, S. (2018). Hayvan Besleme ve Mikrobiyota. In P. Tatlı Seven (Ed.), *Hayvan Beslemede Mikroorganizmaların Etkinliği* (pp. 1-8). Türkiye Klinikleri.

Toparslan, E., Mercan, L., & Karabağ, K. (2018). Çiftlik Hayvanlarında Bazı Ekonomik Verim Karakterleri Üzerine Epigenetik Etkiler. *Academia Journal of Engineering and Applied Sciences, ICAE 2018 Special Issue*. ISSN: 2587-1897

Tvarijonaviciute, A., Gutiérrez, A. M., Miller, I., Razzazi-Fazeli, E., Tecles, F., & Ceron, J. J. (2012). A proteomic analysis of serum from dogs before and after a controlled weight-loss program. *Domestic Animal Endocrinology*, 43(4), 271-277.

Turnbaugh, P. J., Ley, R. E., Hamady, M., Fraser-Liggett, C. M., Knight, R., & Gordon, J. I. (2007). The human microbiome project. *Nature*, 449(7164), 804–810.

Urbański, P., Huminiecki, Ł., & Horbańczuk, J. O. (2021). Nutrigenomics in animal improvement for product quality and health. *Journal of Applied Genetics*, 62, 323–341.

VanRaden, P. M. (2008). *Efficient methods to compute*

genomic predictions. Journal of Dairy Science, 91(11), 4414–4423.

Varım, P., Vatan, M. B., & Varım, C. (2017). Kardiyovasküler Hastalıklar ve Mikrobiyota. *Journal of Biotechnology and Strategic Health Research*, 1(Special Issue), 141-147.

Wang, J., Chen, L., Li, P., Li, X., Zhou, H., Wang, F., Li, D., Yin, Y., & Wu, G. (2008). Gene expression is altered in piglet small intestine by weaning and dietary glutamine supplementation. *Journal of Nutrition*, 138, 1025-1032.

Watt, F., & Molloy, P. L. (1988). Cytosine methylation prevents binding to DNA of a HeLa cell transcription factor required for optimal expression of the adenovirus major late promoter. *Genes & Development*, 2(9), 1136-1143.

Wickramasinghe, S., Rincon, G., Islas-Trejo, A., & Medrano, J. F. (2010). *Transcriptional profiling of bovine milk*. BMC Genomics, 11, 114.

Wishart, D. S. (2007). Metabolomics: Applications to food science and nutrition research. *Trends in Food Science & Technology*, 18(9), 482-493.

Xie, G. (2015). Metabolic and endocrine adaptations to heat stress in lactating dairy cows.

Yaman, Ö. (2015). Hekimlikte Metabolomik Çalışmalara Genel Bir Bakış. *Bahri Dağdaş Hayvancılık Araştırma Dergisi*, 3(1), 33-46.

BÖLÜM 4

HAYVAN BESLEMEDE YAYGIN OLARAK KULLANILAN TERİMLER

Said BİLGİNTURAN¹

Giriş

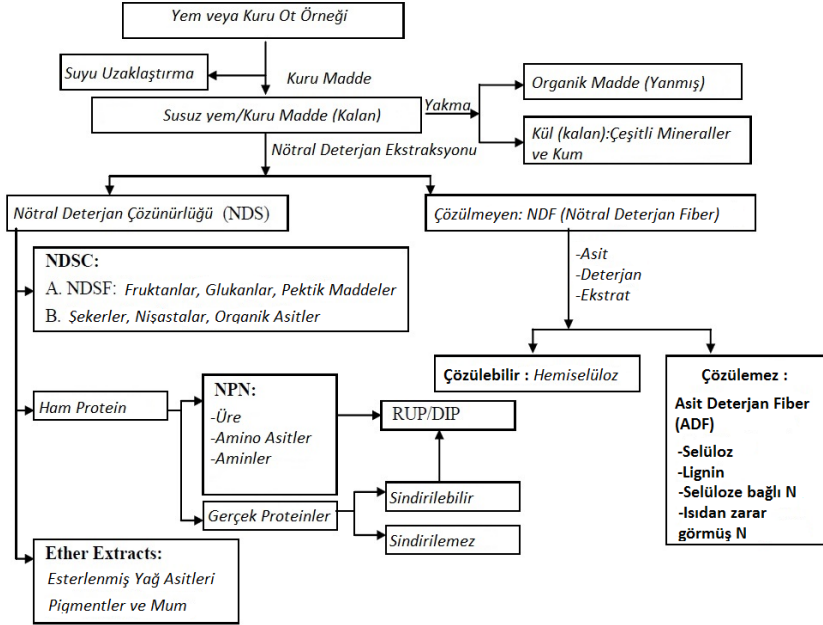
Bir hayvancılık işletmesinde en yüksek işletme maliyeti, yem maliyetleridir. Bu maliyeti düşük tutabilmek için hayvanlara doğru miktarda yem verilmesi gerekir. Aşırı besleme işletme maliyetlerini artırmakla beraber, karlılığı düşürmektedir. Yetersiz beslenme hayvan performansını azaltacak, hastalanma, döl tutma, ayak hastalıklarına yol açacaktır. Bu nedenle, dengeli hayvan besleme ve rasyon, hayvancılık işletmelerinin karlılığı için çok önemlidir.

Yemlerin besin değerlerini öğrenmek için yapılan analizler genellikle numune alınarak laboratuvarlarda yapılmaktadır. Laboratuvar analizleri yem veya yem kompozisyonunun besin değerlerini belirlemek için kullanılır (Şekil 1). Tipik bir yem analizi, besin değerini tanımlamak için kullanılan bazı önemli kalite özelliklerinin veya parametrelerinin (örneğin ham protein, selüloz, sindirilebilirlik vb.) ölçümlerini içerir. Diğer parametreler bazı özel

¹ Dr, Tarım ve Orman Bakanlığı, Isparta İl Müdürlüğü, Orcid: 0000-0002-6073-2735

koşullar altında analiz edilir. Örneğin, asit deterjanda çözünmeyen ham protein (ADICP) genellikle yalnızca yemin ısı hasarından şüphelenildiğinde ölçülür.

Şekil 1. Yem numunesindeki organik ve mineral bileşenlerin



Kısaltmalar: DIP: Rumende parçalanabilir Protein; RUP: Rumende parçalanamayan Protein; NPN: Protein karakterinde olmayan nitrojenler

Laboratuvar raporlarına dahil edilen parametrelerin çoğu, ölçülen yem kalitesi özelliklerinden hesaplanır veya tahmin edilir. Örneğin, sindirilebilir enerji, toplam sindirilebilir besinler ve sindirim potansiyeli, çeşitli selüloz bileşenlerinin konsantrasyonundan ve aralarındaki ilişkiden tahmin edilmektedir.

Asit Deterjan Lif (ADF): Selüloz, yem ve diğer kuru otların en az sindirilebilir kısmını ifade eder. Yemin bu yüksek oranda sindirilemeyen kısmı lignin, selüloz, silika ve çözünmeyen azot

formlarını içerir, ancak hemiselülozu içermez. Yüksek ADF'li yemler sindirilebilir enerjide düşük ADF'li yemlere göre daha düşüktür, bu da ADF seviyesi arttıkça sindirilebilir enerji seviyelerinin azaldığı anlamına gelir. Laboratuvar analizlerinde ADF, yem örneğinin asit deterjan çözeltisinde kaynatıldıktan sonra arta kalan kısmıdır. ADF sıklıkla sindirilebilirliği (Toplam sindirilebilir besin (TDN) veya net enerji laktasyon (NE_l) hesaplamak için kullanılır.

Asit Deterjan Çözünmeyen Ham Protein (ADICP) veya Asit Deterjan Selüloz-Ham Protein (ADFCEP): ADICP (veya ADFCEP), bir yem numunesinin asit deterjan lifi tortusunda kalan çözünmeyen protein fraksiyonudur. ADICP, ruminal parçalanmadan kaçır ve proteinin parçalanamayan ve bu nedenle hayvana ulaşılamayan bölümünü temsil eder. Ayrıca, depolama veya işleme sırasında ısınmadan kaynaklanabilecek ısıya zarar verilmiş herhangi bir protein içerir. Bu durumda, proteinin bir kısmı sindirilemez bir kompleks oluşturmak için karbonhidratlarla (lif) reaksiyona girerek sindirim için kullanılamaz hale getirir. Bu parametre ayrıca asit deterjan çözünmez protein (ADIP), asit deterjan çözünmez azot (ADIN) veya asit deterjan fiber proteini (ADFP) olarak bilinir. Sadece yem kısmında ısıdan zarar görmüş protein olarak ta ifade edilir (Nakamura et al., 1994).

Aflatoksinler: Yemlerde ortaya çıkan mantar ve küf gelişimi çok çeşitli zehirli biyokimyasal madde üretir. Bu grup zehirli maddeler mikotoksinler olarak adlandırılır. Aflatoksinler terimi, *Aspergillus* cinsinin bazı türleri tarafından üretilen belirli bir mikotoksin grubunu ifade eder. B1, B2, G1, G2 adında dört ana aflatoksin ve M1 ve M2 olarak bilinen ve yemlerin doğrudan kirletici maddeleri olarak önem taşıyan iki ek metabolik ürün vardır. Mantar (veya küf) büyümesi ve aflatoksin kontaminasyonu, mantarların, konakçı (yiyecekler veya yemler) ve çevre arasındaki etkileşimlerin sonucudur. Aflatoksin kontaminasyonu, yeşil ürünlerde (Mısır ve

yerfistığı) yüksek sıcaklık, uzun süren kuraklık veya yoğun böcek hareketi ile ortaya çıkmaktadır. Hasattan sonra ise yüksek su içeriği ve yüksek nem aflatoksinlerin oluşmasına neden olmaktadır. Yem maddeleri genellikle aflatoksine karşı analiz edilmez. Ancak kesinlikle analiz yapılması gerekmektedir. Yüksek aflatoksin içeren bir yem maddesi düşük aflatoksin içeren başka bir yem maddesi ile karıştırılarak yemdeki aflatoksin yoğunluğu azaltılabilir.

Amino Asitler: Bir amin grubu, bir karboksilik asit grubu ve farklı amino asitler arasında değişen bir yan zincire sahip azot içeren moleküller sınıfıdır. Amino asitler, vücutta proteinin yapı taşlarıdır. Çeşitli proteinleri oluşturan ve bilinen 20 çeşit amino asit vardır. Aminoasitler besinlerle vücuda alındığında, proteinleri ve diğer biyo molekülleri sentezlemek için kullanılır. Daha sonra üre ve karbondioksit parçalanır. 20 amin asidin 8 tanesi esansiyel, 12 tanesi esansiyel olmayan aminoasitlerdir. Hayvanlar ve insanlar esansiyel amino asitleri vücutlarında sentezleyemez, bunları dışardan besinlerle beraber almak zorundadırlar.

Anti Nutrasyonel Faktörler: Besinler dışındaki yemler, hayvan performansını olumsuz yönde etkileyebilecek, hastalıklara ve hatta ölüme neden olabilecek çeşitli zararlı bileşikler içerebilir. Bu bileşikler, anti nutrasyonel faktörleri olarak adlandırılır ve tanenleri, nitratları, alkaloitleri, siyanoglikositleri, östrojenleri ve mikotoksinleri içerir. Bu faktörlerin oluşumu ve / veya ciddiyeti, mevcut yem ve yabancı ot türlerine, mevsimine, çevresel koşullarına ve hayvanın hassasiyetine bağlıdır. Hayvan beslemede kullanılan yüksek kaliteli yemler zararlı düzeyde anti nutrasyonel bileşenlerden arındırılmalıdır.

Kül: Yem örneklerinde yüksek sıcaklıkla yakmadan sonra kalan inorganik mineral elementler içeren kısımdır.

Yem Tabanlığı: Yem analizleri genellikle yemin doğal durumuna (yani su dahil) ve / veya kuru madde esasına göre

sonuçları gösterir. As-feed basis terimi, analizin kuru madde üzerinden değil de, su dahil doğal durumda olduğunu gösterir. Bu, kurutmadan önce numunenin nem seviyesinden etkilendiği anlamına gelir. Ancak pratikte analizleri karşılaştırırken kuru madde temelinde karşılaştırmak en iyisidir.

Dengelenmiş Rasyon: Belirli bir hayvan türü ve ırkı için, uygun besin maddelerinin tamamını içeren, bakım ve beslenme performansını belirli bir seviyede sağlayabilmek için hazırlanmış tam yem.

By-pass Protein : Alınan proteinlerin bir kısmı rumende yavaş sindirim hızına sahiptir. Bu nedenle yemlerin bir kısmı sindirilmeden rumenden kaçır, alt gastrointestinal (GI) kanalına esasen sağlam bir şekilde ulaşır ve ruminant olmayanlarda olduğu gibi doğrudan ince barsakta sindirilir. Bu, mikrobiyal sindirim ve sentez ile değiştirilmemiş bir amino asit dengesi sağlayabilir. By-pass proteini ayrıca parçalanamayan alım proteini (UIP), rumen parçalanamayan protein (RUP) veya by-pass proteini olarak da bilinir.

Karbonhidratlar: Karbonhidratlar yalnızca karbon, hidrojen ve oksijen elementlerinden oluşan biyokimyasal bileşiklerdir ve hayvanlar için ana enerji kaynağıdır. Hayvanlar, ihtiyaç duydukları enerjinin çoğunu yemlerdeki karbonhidratlardan alırlar. Karbonhidratlar, glukoz (en bol bulunan), fruktoz, galaktoz, vb. gibi temel şeker birimlerinden yapılan polimerlerdir. Bitkilerde iki ana karbonhidrat sınıfı yapısal olmayan ve yapısal olarak bilinir. Depolama ve enerji olarak görev yapan ve enerji sağlamak için daha hızlı metabolizmaya müsait olanlar (örneğin, şekerler, nişasta ve pektin) yapısal olmayan karbonhidratlar olarak adlandırılır. Enerji depolanması için kullanılmayan ve sert ve su taşınması için selüloz ve anatomik özellikler sağlayan bu karbonhidrat fraksiyonları, yapısal karbonhidratlar (örneğin, selüloz ve hemi-selüloz) olarak

bilinir. Yapısal olmayan karbonhidratlar, enerji metabolizması için yapısal karbonhidratlardan daha fazla bulunur.

Selüloz: Selüloz, bitki hücre duvarlarında bulunan başlıca yapısal karbonhidrattır. Selüloz, P-1,4 bağlarıyla birbirine bağlanmış 7.000 ila 15.000 glikoz molekülünün bağlı bir zinciridir. Selüloz, yemlerde hücre yapısını oluşturan en büyük parçasıdır ve rumendeki mikroorganizmalar tarafından kullanılabilir. Van Soest metoduna göre, hücrede selülozu aşağıdaki gibi tahmin edilir:

Selüloz = ADF - (ADL + Kül), (burada ADF asit deterjan fiber ve ADL asit deterjan ligninidir.)

Konsantreler: Konsantreler, enerji veya protein bakımından zengin fakat mısır, soya unu, yulaf, buğday, melas, vb. Gibi lif bakımından düşük hayvansal yemleri ifade eder.

Ham Yağ (HY): Ham yağ, yemlerin toplam yağ içeriğinin bir tahminidir. Ham yağ, eter ekstraksiyonu kullanılarak tahmin edilir. Ham yağ, alkoller, balmumları, terpenler, steroidler, pigmentler, ester, aldehytler ve diğer lipidlerin yanı sıra gerçek yağ (trigliseritler) içerir.

Ham Selüloz(HS) :Bu eski tahmin metodu, karbonhidratları sindirilebilir ve sindirilemeyen kısımlarını ayırmak için kullanılırdı. Ham selüloz içeriği daha yüksek olduğunda, yemin enerji içeriği daha düşüktür çünkü ham selülozun sindirilemez olarak kabul edilirdi. Ham selülozu ölçmek, yem maddelerindeki “sindirilebilir” fraksiyonu analiz etmenin özgün bir parçasıydı. Bu yöntem ardışık asit ve alkali ekstraktları kullanır. Henneberg ve Sttohmman tarafından 1860'larda Almanya'daki Weende Deney İstasyonunda geliştirildi ve genellikle Weende Analiz Sistemi olarak anılır. Ham selüloz analizi yemlerdeki karbonhidratların sindirilemeyen kısımlarını tanımlamak için standart bir analiz olarak kullanılmıştır. Bununla birlikte, bu maddelerin bazıları rumendeki mikro organizmalar tarafından kısmen sindirilebilir. Ham selüloz,

selülozun büyük bir kısmını oluşturur, Bunun dışında lignin diğer bir bölümünü oluşturur ve kül içermez. Bu nedenle gerçek selüloz küçük ve asit deterjan lifinden (ADF) daha azdır. Bu nedenle, ham selüloz ruminant hayvanlarda sindirilebilirliğinin iyi bir göstergesi değildir. Bu parametrenin ruminant yem analizlerinde kullanımı düşmektedir. Ham selüloz, lignin içeriğinin önemli olduğu selüloz miktarını ölçmek için çok yararlı bir parametre olmasa da, ham selüloz, düşük lignin içeriği nedeniyle, tahıllardaki selülozun iyi bir tahminidir. Bu nedenle, yine de, ruminant olmayan veya monogastrik hayvanlar için yem analizlerinde hala yaygın olarak kullanılmaktadır. Ham selüloz, günümüzde tahıllardaki ve işlenmiş yemlerdeki selülozun yasal ölçümü olarak kullanılmaktadır.

Ham Protein (HP):Proteinler, amino asit adı verilen yapı taşlarından oluşan organik bileşiklerdir. Bunlar hayati organların, dokuların, kasların, saçların, derinin, sütün ve enzimlerin önemli bir bileşenidir. Protein günlük yaşam, laktasyon, büyüme ve üreme için gereklidir. Bir yem numunesinin ham protein içeriği, sadece gerçek protein değil aynı zamanda protein olmayan azotu (örneğin, bir yemde üre ve amonyak; nitrat, protein olmayan azot içine dahil edilmez) içeren yem içindeki toplam azotu (N) temsil eder.). Azot, herhangi bir amino asidin ayrılmaz bir parçası olduğu için, protein olmayan azot, rumen mikroorganizmaları tarafından protein sentezi için kullanılma potansiyeline sahiptir. laboratuvar analizinde, bir yem numunesinde bulunan toplam azot önce belirlenir ve daha sonra toplam N miktarı bir faktör(6.25) ile çarpılarak toplam protein miktarı hesaplanır. Bu faktör yemler için 6.25'tir, çünkü yaprak ve kök doku proteinleri genellikle %16 nitrojen veya 6.25 kısım protein azotu içerir. Hayvan yemlerinde kullanılan, silajların veya tahılların protein içeriği bazen hayvan sınıfının ihtiyaçlarını karşılamak için yetersiz olduğunda, protein takviyeleri esastır. Sonuç olarak, bir yem numunesindeki toplam protein veya ham protein analizi önemlidir. Yemlerdeki ham protein, ruminantlarda, rumendeki parçalanma

hızlarına bağılı olarak daha da küçük parçalara ayrılabilir. Hiç şüphe yok ki, ham protein, yem maddelerinin protein içeriğinin önemli bir göstergesidir ve hatta protein olmayan azotun tahmininde bile, besin değerini belirlemede önemlidir. Ancak, proteinin her zaman hayvanın beslenmesinde sınırlayıcı besin maddesi olduğu ve ham proteinin yem kalitesinin esas ölçüsü olduğu yanlış bir algıdır. Aslında, yemlerin enerji değeri çoğu zaman, bir hayvanın gereksinimlerini karşılamak için en sınırlayıcı değerdir. Ham protein ve enerji beraber değerlendirilmesi gereken iki faktördür. Ayrıca, ham protein sadece azot içeriği tahminidir ve bitki olgunluğu, türler ve diğer birçok özellik bağlamında değişiklik gösterir.

Rumende Sindirilebilir Protein: Rumen Parçalanabilir Protein (RDP), işlenmemiş ham protein (HP)'nin, rumen içindeki amonyak ve amino asitlere mikroplar tarafından parçalanabilen veya parçalanmış kısmını temsil eder. Ham proteinin bu kısmı protein niteliğinde olmayan protein (silajda kullanılan üre ve amonyak gibi) çözünebilen gerçek proteinler ve ara ruminal bozunabilirliğe sahip olanlardır. Rumende mikrobiyal protein sentezlemek için kullanılırlar. Hesaplamada RDP, ham proteinin bir yüzdesi olarak hesap edilir.

Deterjan Selüloz Analizi: Ham selüloz (HS) 'nin hayvan performansı ile yeterli bir düzeyde ilişki olduğu tespit edildiğinden, ruminant beslenmesinde sınırlı bir önemi vardır. Laboratuvarlarda Van Soest ham selüloz tayin metodu kullanılır. Bitki dokularının sindirilebilir ve sindirilemeyen kısımlarını ayırmak için deterjan kullanma tekniği ilk olarak 1963'te Van Soest tarafından geliştirilmiştir. Deterjan selüloz analizinin amacı, bitki hücre maddelerinin daha az sindirilebilir hücre duvarlarına (hemiselüloz, selüloz ve ligninden yapılmış) ve yüksek oranda sindirilebilir hücre içeriğine (nişasta ve şekerler içeren) ayrılabilmesidir. Bu analizler sonucunda NDF ve ADF içerikleri ortaya çıkartılır.

$$\text{NDF} = \text{Hemiselluloz} + \text{Selüloz} + \text{Lignin} + \text{Kül}$$

$$\text{ADF} = \text{Selüloz} + \text{Lignin} + \text{Kül}$$

Hemiselüloz, selüloz ve lignin, tek midelilerde sindirilemezken hemiselüloz ve selüloz, ruminantlarda kısmen sindirilebilir (Van Soest, 1963b; Van Soest and Wine, 1967).

Sindirilebilirlik: Sindirilebilirlik, bir hayvanın sindirim kanalından geçerken bir hayvanın vücudunda ne kadar emildiği anlamına gelir. Beslenme türü ve hayvan türü ile büyük ölçüde değişir.

Sindirilebilir Kuru Madde veya Kuru Madde Sindirilebilirliği (DDM/DMD): DDM (veya DMD), bir yem maddesindeki kuru maddenin, hayvanlar tarafından sindirilen bölümüdür. DDM / DMD ölçümü için doğrudan laboratuvar yöntemi yoktur. Genellikle in vitro veya in situ sindirilebilirliği ölçülerek tahmin edilir. Bu analizlerin her ikisi de oldukça pahalı ve zahmetlidir. Bu nedenle, in vitro sindirilebilirlik sıklıkla kızılötesi yansıma (NIR) analizi ile veya asit deterjan selüloz ile tahmin edilir.

Sindirilebilir Enerji: Sindirilebilir enerji, bir yemden elde edilen ve hayvanın kullanabileceği gerçek enerji miktarını gösterir. Dışkıda (fekaal enerji veya FE) kaybedilen enerjiyi, brüt enerjisinden (GE), (yani, $DE = GE - FE$) çıkarmak suretiyle hesaplanmaktadır. Sindirilebilir enerji, kümes hayvanlarını ve at yemlerini değerlendirmek için yaygın olarak kullanılır. Kanatlı yemleri için sindirilebilir enerji, yem kalitesinin uygun bir ölçütü olarak kabul edilir, çünkü dışkı enerjisi, sindirim sırasında neredeyse tek enerji kaybıdır. Bununla birlikte, atların, dışkı enerjisi, kayıplarını (idrar ve gazlar yoluyla da önemli kayıplar meydana geldiği gibi) kısmen hesaba katması durumunda, yüksek kaliteli yemlere göre düşük kaliteli yemleri daha iyi tahmin edebilir.

Sindirilebilir Nötral Deterjan Selüloz (NDFD): Nötr Deterjan Fiberinin (NDF) 48 saatlik in vitro sindirilebilir fraksiyonu, bir yem numunesinin kuru madde içeriğinin yüzdesi olarak ifade edilir. Nötr Deterjan Fiber Sindirilebilirliği (NDFD) ile zıttır.

Nötr Deterjan Çözünürlüğü (NDS): NDS, nötr bir deterjan çözeltisinde çözünür olan bir yem numunesindeki tüm bileşen formlarını temsil eder. Bu, NDF olmayan her şeyi temsil ettiği anlamına gelir. Genellikle NDS'nin yüzde 98'inin sindirilebilir olduğu varsayılır.

Nitrat: Yemlerdeki ve diğer yemlerdeki nitrat konsantrasyonları genellikle düşüktür. Bitki tarafından topraktan nitrat alım oranı (örneğin günlük alım), proteine dönüşüm oranını aştığında, nitratlar bitkilerde birikecektir. Nitratlar, aşırı azot gübrelemesi ve aşırı nem stresi veya büyümeyi sınırlayan diğer faktörler nedeniyle yem bitkisinde birikebilir. Hayvanın yemindeki aşırı nitrat konsantrasyonları, hayvanda nitrat toksikozunu başlatabilir. (örneğin, kilo alımında azalma, yeniden üremede başarısızlık, halsizlik, şaşırtıcı ve ciddi vakalarda ölüm). Toksik kabul edilen nitrat konsantrasyonu, bir hayvan sınıfından diğerine önemli ölçüde değişir.

Azot içermeyen Nötral Deterjan Selülozu (NDFn):

Azot içermeyen NDF (NDFn) şu şekilde tahmin edilir:

- $NDFn = NDF - NDFICP$ (Nötr Deterjan selülozda Çözünmeyen Ham Protein)

- Ayrıca $NDFn = NDF \times 0,93$ olarak tahmin edilir.

Selüloz içermeyen Karbonhidrat (NFC) veya Nötr Deterjan Çözünür Karbonhidratlar (NDSC): NFC veya NDSC, bir yem örneğini nötr deterjan çözeltisinde kaynattıktan sonra çözülen tüm sindirilebilir karbonhidrat formlarını temsil eder.

Bunların hepsi hücre duvarı olmayan karbonhidratların formlarıdır ve sindirilebilir olan ve hayvan için enerji kaynakları olarak işlev gören nişasta, şeker, pektin ve fermantasyon asitlerini içerir. NFC, NSC'ye dahil edilen nişasta ve şekerlere ek olarak başka sindirilebilir bileşikler içerdiğinden, NFC genellikle yem analiz raporunda yapısal olmayan karbonhidrattan (NSC) daha yüksek bir değer gösterir.

Protein Olmayan Karbonhidratlar (NPN): NPN, protein formunda olmayan ancak amino asitleri ve proteinleri sentezlemek için rumen veya gastro-intestinal kanaldaki mikrobiyal popülasyon tarafından kullanılabilen azot anlamına gelir. NPN'nin yaygın formları üre ve amonyaktır.

Yapısal Olmayan Karbonhidratlar (NSC): NSC'ler, hücre içinde depolanan ve hayvan tarafından hızlı ve kolay bir şekilde sindirilebilen nişastalar ve şekerler gibi basit karbonhidratlardır. Bu nedenle, NSC'nin hazır bir enerji kaynağı olduğu düşünülebilir.

Besin: Besinler, hayvan beslenmesi ve performansı için gerekli olan ve / veya kullanılan elementler, bileşikler veya bileşikler grubudur. Yaygın olarak kullanılan hayvan besin grupları şunlardır: karbonhidratlar (veya enerji), proteinler, yağlar, mineraller, vitaminler ve su. Selüloz fraksiyonlarının doğrudan besin maddelerinin ölçüsü olarak nitelendirilmez. Bununla birlikte, sindirilebilirlik ve enerji ile ilişkilidir, bu nedenle dolaylı besin değeri vardır.

Besin Madde İhtiyaçları: Besin maddesi gereksinimi, bir hayvanın bakım, büyüme, üreme, emzirme veya iş için gerçek ihtiyaçlarını karşılamak için gerekli olan minimum besin miktarlarını (enerji, protein, yağ, mineraller ve vitaminler) ifade eder.

Besin Değeri (NV): Besin değeri, bir yemin proteini, mineral ve enerji bileşimi, enerjinin kullanılabilirliği ve enerji kullanımının verimliliğini ifade eder.

Lezzet: Lezzetlilik, yemlerin bir hayvana çekici gelmesini ve kabul edilebilirliğini ifade eder. Lezzetlilik yemin kokusu, dokusu, nemi, fiziksel formu ve sıcaklığından etkilenir. Bir yemin “yüksek kalite” olarak kabul edilebilmesi için, oldukça lezzetli olması gerekir, çünkü kalite, alım miktarını içerir ve yüksek alım seviyeleri için Lezzetlilik gereklidir. Lezzetlilik, hayvanın seçici bir şekilde besleme fırsatı olduğunda ölçülebilen bir bitki özelliğidir.

Partikül Büyüklüğü: Partikül büyüklüğü, tanecikli besleme malzemelerinin çapını (ör., Taneler, peletler, mineral tanecikleri) ve / veya kaba yem veya yem fragmanlarının uzunluğunu ve bazen genişliğini ifade eder. Partikül boyutu yem içeriğinin karışmasını ve sindirim hızını etkileyebilir.

Milyonda Bir (PPM): PPM, bir yemdeki az miktarda bulunan belirli besin maddesinin, bileşiklerin veya elementlerin konsantrasyonunu belirtmek için kullanılan bir ölçüm birimidir.

PH: pH, asitlik veya alkalitenin bir ölçüsüdür. Değerler 0 (en asidik) ila 14 (en alkali veya bazik) arasındadır. 7.0'ın pH değeri nötrdür. pH değerleri hidrojen iyonu konsantrasyonunun negatif logunu verir.

Pektin: Pektin, hücresel yapıyı bir arada tutma işlevi gören bir hücreler arası polisakkarittir (karbonhidrat). Yapısal olmayan karbonhidratlar gibi rumende de kolayca bozunur. Bununla birlikte, NSC'lerin aksine, rumen pH'ını düşürmez (yani rumendeki asidik durum).

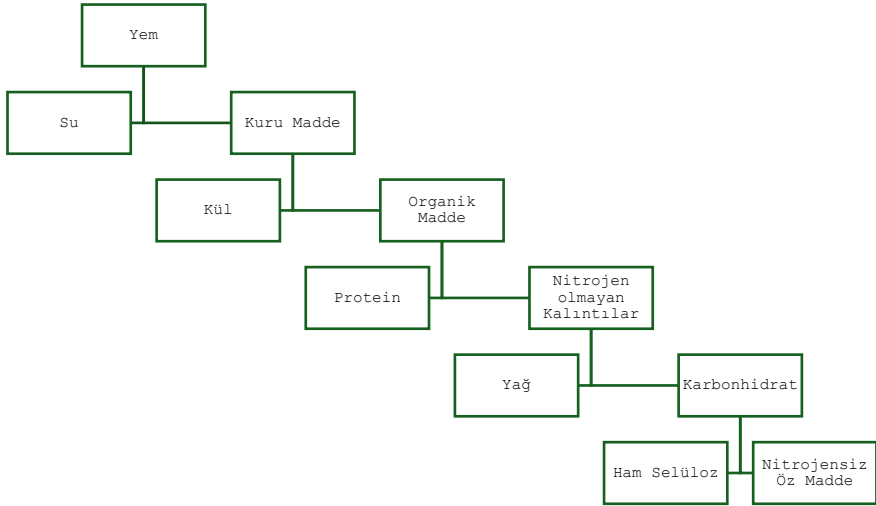
Protein: Protein önemli bir besindir. Proteinler, çeşitli amino asitlerin uzun zincirlerinden oluşur. Hayvanlar protein ihtiyaçlarını

(rumende oluşan) bitki ve mikrobiyal proteini paralayıarak ve hayvan proteinleri olarak yeniden birleştirerek karşırlarlar.

Kimyasal Analiz: Kimyasal analiz, bir karışımdaki başlıca bileşik kategorilerini ayıran, tanımlayan ve ölçen kimyasal bir nicel analiz yöntemidir. Bu analiz hem besin maddelerinin hem de besin olmayan maddelerin ortak kimyasal özelliklere dayanan kategorilere ayrılması işlemidir. Sistem, ardışık analitik ayırma adımlarından ve altı bileşen kategorisinin belirlenmesinden ve bir yem numunesinde mevcut olan her birinin yüzdesini ifade etmekten oluşur. Hayvan yemlerinin rutin analizi için sistem 19. yüzyılın ortalarında Almanya'daki Weende Deney İstasyonunda (Henneberg ve Stohmann, 1860, 1864) tasarlandı ve analiz Weende Sistemi (ya da basitçe, Weende analizi) diye adlandırıldı. Sistem, altı bileşen kategorisinin analitik ayırma ve belirleme işlemlerinin ardışık adımlarından oluşur ve bir yem numunesinde bulunan her birinin yüzdesini ifade eder (şekil 2):

- Su / nem (veya kuru madde)
- Kül (mineraller)
- Toplam veya ham protein (toplam azot * 6.25)
- Toplam veya ham yağ (veya eter z)
- Ham selüloz (tamamen sindirilmemiş karbonhidratlar)
- Azot içermeyen ekstrakt (kolayca sindirilebilir karbonhidrat)

Şekil 2. Kimyasal analizin çeşitli bileşenlerini tanımlayan tablo



Bu sistem, çoğu yem ve gıda bileşeninin kimyasının sadece kısmen anlaşıldığı ve beslenme bilimlerinin büyümesinin ilk aşamalarında olduğu bir zamanda geliştirilmiştir. Kimyasal analiz sisteminde tarihsel olarak kullanılan yöntemlerin bazıları artık yem analizi (örneğin ham selüloz) için önerilmemektedir. Bununla birlikte, kavramlar modern yem analizlerinin temelini oluşturmuştur. Ayrıca, orijinal metodoloji de dahil olmak üzere yakın analiz hala birçok ülkede gıda ve yem düzenlemeleri için yaygın olarak kullanılmaktadır.

Rasyon: Bir hayvanın yaşama ve verim payı ihtiyaçlarını bir gün süresince karşılamak amacı ile verilen yem miktarıdır.

Nispi Yem Değeri (RFV): Nispi yem değeri, yemleri, genel besin değerlerine göre sıralamak için kullanılan bir yem kalitesi terimidir. Bu sıralama, tam çiçeklenme yonca samanının tipik besleyici değerine göre yapılır. Kuru madde bazında yüzde 41 ADF

ve yüzde 53 NDF içeren tam çiçeklenme evresinde yonca samanının RFV'si 100'dür ve ortalama puanı verdiği kabul edilir. RFV'nin birimi olmamasına rağmen, iki veya daha fazla benzer yem potansiyelini enerji alımı temelinde karşılaştırır. Bu nedenle, yem partilerini karşılaştırmak için yem kalitesinin bir indeksi olarak kullanılır.

Nispi Yem Kalitesi (RFQ): RFQ, yemlerin göreceli besin değerlerine göre sıralamak için kullanıldığı için RFV'ye benzer bir yem kalitesi terimidir. RFV' ye benzer bir indeks sıralama sistemi olup, pazarlamada önemlidir.

Kaba Yem: Kaba yem, selüloz bakımından yüksek (yüzde 18'den daha fazla ham selüloz) hacimli yem anlamına gelir, ancak çoğu konsantreden daha düşük enerji içerir. Örneğin, saman, silaj ve haylage kaba yem olarak adlandırılır.

Rumen: Rumen, sığır, koyun ve keçi gibi geviş getiren hayvanların ön mideleridir. Rumen, geviş getiren hayvanlarda meydana gelen selüloz sindiriminin yapıldığı büyük hacimli organdır. Bu sindirim büyük ölçüde rumende yaşayan mikroorganizmalar (bakteri, protozoa ve mantarlar) tarafından gerçekleştirilir.

Ruminal Mikroorganizmalar: Ruminal mikroorganizmalar, geviş getiren hayvanların rumeninde bulunan tüm mikroorganizma topluluğunu içerir. Yemin sindirimini veya fermentasyonunu gerçekleştirirler. Rumen içeriğinde çay kaşığı başına tahmini 150 milyar mikroorganizma bulunur. Bu mikrobik topluluk bakteri, protozoa ve mantarlardan oluşur.

Ruminantlar (Çok Mideliler): Ruminantlar, selüloz sindirimi yapabilmek için gelişmiş dört kademeli bir sindirim sistemine sahip hayvan sınıfıdır. Sindirim sistemi retikulumdan başlar, rumen, omasum ve abomasum olarak kısımlandırılır.

Rumende Sindirilebilir Protein (RDP): Rumen içerisinde sindirilebilir protein kısmını oluşturan yapıdır.

Rumende Sindirilemeyen Protein (RUP): RUP, by-pass proteininin, kaçış proteininin veya parçalanamayan alım proteininin (UIP) başka bir adıdır. Daha fazla ayrıntı için By-pass Protein'e bakın.

Silaj: Silaj, içinde laktik asit ve uçucu yağ asitlerinin (fermantasyon ile üretilen) yem maddesinin pH'sını düşürdüğü anaerobik bir fermentasyon işlemi ile korunan yem anlamına gelir.

Silaj Katkıları: Silaj katkı maddeleri, laktik asit üretimini veya yemin pH'sındaki hızlı bir düşüşü arttırmak için sağlama işlemi sırasında eklenen maddelerdir.

Çözünebilir Protein (SIP): SIP, protein olmayan azotu ve gerçek proteinlerin rumende amonyağa kolayca ayrıştırılan kısmını içerir. Rumen içindeki mikrobiyal proteini sentezlemek için kullanılırlar.

Nişasta: Nişasta, esas olarak bitkilerin tahıl veya tohum ve / veya kök kısımlarında bulunan hücre içi (hücreler içinde bulunur) karbonhidrattır. Nişasta hazır bir enerji kaynağıdır.

Yapısal Karbonhidratlar: Yapısal karbonhidratlar, bitki hücre duvarını oluşturan ve selüloz, hemiselüloz, lignin ve pektini içeren karmaşık karbonhidratlardır. Tipik olarak laboratuvarla nötr deterjan lifi (NDF) olarak ölçülürler.

Katkı Maddeleri: Baz yemdeki besin maddelerini tamamlayan rasyonun besin değerini artırmak için bir takviye yem veya yem karışımı kullanılır. Bir takviye bir veya daha fazla protein, enerji, vitamin veya mineral bakımından zengindir ve baz yemlerle birlikte daha eksiksiz bir yem üretir.

Toplam Sindirilebilir Besin Öğeleri (TDN): TDN, bir yemdeki enerji değerinin bir ölçüsüdür. TDN terimi, kaynaklarda

mevcut enerjiyi ölçen daha eski bir sistemde köken alır ve doğrudan ölçülmesi çok zordur. Günümüzde, hesaplanan TDN değerleri ölçülen değerler olmayıp hesap yöntemi ile bulunmaktadır. TDN'yi hesaplamak için formüller başlangıçta ADF'ye dayanıyordu ve sıklıkla ülkeye ve hesaplamayı yapan beslenme uzmanına göre değişiyordu. Ulusal Araştırma Konseyi (NRC), TDN tahmininde yalnızca ADF'ye dayananlardan daha doğru ve sağlam bir prosedür önerdi (NRC, 2001). Bu hesaplama, yem sınıflarının (baklagiller, serin mevsim otları, sıcak mevsim otları, vb.) Daha düzgün ve öngörülebilir sindirim katsayılarına sahip olduğu varsayımına dayanmaktadır.

TDN, yaygın olarak kullanılan bir enerji ölçüsü olmasına rağmen, zayıflıkları vardır. TDN ile ilgili en önemli husus, ilave enerji kayıplarını, özellikle ısı artışını ve bir dereceye kadar özellikle geniş getiren sistemlerle ilgili gaz kayıplarını hesaba katmamasıdır. Sonuç olarak, TDN'nin kaba yemlerin tahıllara kıyasla enerji değerini fazla tahmin ettiği bilinmektedir.

Toplam Rasyon (TMR): Toplam karışık rasyon, tipik olarak tüm yem maddelerini birleştiren ve hayvan performansını optimize etmek için kullanılan mekanik olarak karıştırılmış rasyon bileşenlerinin homojen bir karışımıdır. TMR'ler genellikle büyük süt veya besi işletmelerinde kullanılır.

Toksisite: Toksisite, bir maddenin hayvanlar üzerinde ne kadar zehirli bir etki yapabileceği anlamına gelir.

Vitaminler: Vitaminler tipik olarak birçok metabolik fonksiyon için gerekli olan enzim sistemlerinin bir parçası olarak işlev gören organik bileşiklerdir.

Suda Çözünebilir Karbonhidratlar (WSC): WSC'ler suda çözülebilen ve ekstrakte edilebilen karbonhidratlardır. WSC'ler, monokakarları, disakkaritleri ve bazı uzun zincir karbonhidrat olan başlıca fruktanlar ile bazı kısa zincirli polisakkaritleri içerir.

Kaynakça/Referances

Common Terms Used in Animal Feeding and Nutrition.(2010). University of Georgia Cooperative Extension Bulletin, 1367. Georgia.

Henneberg, W. & F. Stohmann. (1860). Beitrage zur Begründung einer rationellen Fütterung der Wiederkauer, Vol.I. Schwetschte u. Sohn, Braunschweig, p. 4.

Henneberg, W. & F. Stohmann. (1864). Beitrage zur Begründung einer rationellen Fütterung der Wiederkauer, Vol.II. Schwetschte u. Sohn, Braunschweig, p. 324.

Moore, J.E. & D. J. Undersander. (2002a). Relative forage quality: A proposal for replacement for Relative Feed Value. 2002 Proceedings National Forage Testing Association.

Moore, J. E. & D. J. Undersander, (2002b). Relative forage quality: An alternative to relative feed value and quality index. p. 16-31 In: Proc. Florida Ruminant Nutrition Symposium, January 10-11, University of Florida, Gaines- ville.

Moore, J.E., & W.E. Kunkle. (1999). Evaluation of equations for estimating voluntary intake of forages and forage- based diets. J. Animal Sci. (Suppl. 1):204. DOI: [10.2527/1999.77suppl_2122x](https://doi.org/10.2527/1999.77suppl_2122x)

Nakamura, T., T.J. Klopfenstein & R.A. Britton. (1994). Evaluation of acid detergent insoluble nitrogen as an indi- cator of protein quality in nonforage proteins. J. Animal Sci. (72):1043-1048. DOI: [10.2527/1994.7241043x](https://doi.org/10.2527/1994.7241043x)

NRC (National Research Council). 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. 7th rev. ed. Natl. Acad. Sci., Wash- ington D.C. 381p.

Van Soest P. J. (1963a). Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. I. Preparation of fiber residues of low nitrogen content. J. Assoc. Off. Anal. Chem. (46):825-829

Van Soest P. J. (1963b). Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. II. A rapid method for the determination of fiber and lignin. J. Assoc. Off. Anal. Chem. (46):829-835.
<https://doi.org/10.1093/jaoac/73.4.491>

Van Soest, P.J., J. B. Robertson, & B. A. Lewis. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. J. Dairy Sci. (74): 3583-3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)

