



Methane Emissions, Reduction Strategies and Measurement Methods in Ruminants

Özlem Boran^{1,a,*}, Uğur Serbest^{2,b}

¹Department of Animal Production and Technologies, Faculty of Agricultural Sciences and Technologies, Niğde Ömer Halisdemir University, 51240 Niğde, Turkey

²Department of Animal Science, Faculty of Agriculture Çukurova University, 01330 Adana, Turkey

*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Review Article</i></p> <p>Received : 30/12/2021 Accepted : 19/04/2022</p> <p>Keywords: Ruminant Methane release Reduction strategy Measurement methods Livestock sector</p>	<p>The livestock sector plays an important role in climate change by contributing to anthropogenic greenhouse gas emissions. Studies to reduce greenhouse gas emissions in production systems of ruminant animals are of particular interest all over the world. Methane gas is formed as a result of microbial fermentation of hydrolyzed carbohydrates such as cellulose, hemicellulose, pectin and starch in the rumen. Ruminants contribute approximately 16% of global greenhouse gas emissions and 33% of global anthropogenic methane emissions. Considering its radioactive effect and global warming potential, it is estimated that the life of methane in the atmosphere, which is an important factor, will reach its half point in 12.4 years. With the increase in the world's population, the demand for animal products for nutritional purposes will need more animals and therefore total methane emissions will increase. Reducing methane emissions without reducing animal production is of critical value. In this review, methane release from ruminant animals, its reduction ways and measurement methods were examined.</p>

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 10(5): 853-860, 2022

Ruminantlarda Metan Salınımı, Azaltma Stratejileri ve Ölçüm Yöntemleri

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p><i>Derleme Makale</i></p> <p>Geliş : 30/12/2021 Kabul : 19/04/2022</p> <p>Anahtar Kelimeler: Ruminant Metan Salınımı Azaltma Stratejisi Ölçüm Yöntemleri Hayvancılık sektörü</p>	<p>Hayvancılık sektörü, antropojenik sera gazı emisyonlarına katkıda bulunarak iklim değişikliğinde önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle ruminant hayvanlarının üretim sistemlerinde sera gazı salınımının azaltılmasına yönelik çalışmalar küresel çapta büyük ilgi görmektedir. Metan gazı selüloz, hemiselüloz, pektin ve nişasta gibi hidrolize olmuş karbonhidratların rumende mikrobiyal fermentasyona uğraması sonucunda oluşmaktadır. Ruminantlar küresel sera gazı emisyonlarının yaklaşık %16'sına, küresel antropojenik metan emisyonlarının da %33'üne katkıda bulunmaktadır. Atmosferdeki metanın yarılanma ömrünün 12,4 yıl olduğu tahmin edilmekte olup radyoaktif etkisi ve küresel ısınma potansiyeli dikkate alındığında bu süre önemlidir. Dünya nüfusunun artması ile birlikte beslenmek için hayvansal ürünlere olan talep yükselecek ve daha fazla hayvansal üretime gereksinim duyulacak, bunun sonucunda metan emisyonunda yükselecektir. Hayvansal üretimi düşürmeden metan emisyonunun azaltılması önem kazanmaktadır. Bu derlemede, ruminant hayvanlardan kaynaklı metan salınımı, azaltma yolları ve ölçüm yöntemleri incelenmiştir.</p>

^a ozlemboran95@gmail.com

^b <http://orcid.org/0000-0002-8415-8408> | ugurserbest@gmail.com

^b <http://orcid.org/0000-0002-2457-8494>



Giriş

Hayvancılık sektörü tarımın diğer alanlarında ve ülke ekonomisinde gelişmeyi destekleyici etkisi nedeniyle dikkatleri üzerine çekmektedir. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde insan nüfusundaki artış, kentleşme ve gelirlerdeki yükseliş ile birlikte hayvansal ürünlere olan talep hızlı bir şekilde artmaktadır. Hayvansal üretimin dünya üzerinde buzullarla kaplı olmayan alanların yaklaşık olarak %30'una yayıldığı tahmin edilmektedir (Steinfeld ve ark., 2006). Hayvansal ürünler insanlar için protein ve mikro besin maddelerinin önemli tedarikçileri olup dünya üzerinde protein tüketimine %33, kilokaloriye yaklaşık olarak %17 oranında katkı sağlamaktadır (Thornton, 2010). Hayvancılık sistemi içerisinde önemli bir yeri olan ruminant hayvanlar insanlar için büyük değere sahiptir, insanlar tarafından sindirilemeyen bitki biyokütle polimerlerinde depolanan enerjiyi süt ve et formunda sindirilebilir ürünlere dönüştürürler (Kamra ve ark., 2012). Hızla büyüyen hayvancılık sektörünün negatif etkileri de bulunmaktadır. Küresel ekim alanlarının 1/3'ünü kullanmasın yanı sıra besin olarak kullanılan taze su kaynaklarında 1/3'ünü tüketmektedirler. Ayrıca toprakların bozulması ve hava kirliliği gibi birçok çevre problemlerine de sebep olabilmektedir (Steinfeld ve ark., 2006).

Ruminantlar küresel sera gazı ve antropojenik metan emisyonlarına sırasıyla %16 ve 33 oranında katkıda bulunmaktadır. 2004 yılında sığırlar tarafından yaklaşık 75 milyon ton, koyun ve keçi gibi küçük ruminant hayvanlar tarafından ise 9 milyon ton enterik metan üretilmiştir (McMichael ve ark., 2007). Küçükbaş hayvanlar 475 milyon ton CO₂ eq (eşdeğer emisyon) ile sera gazı emisyonlarının %6,5'ini oluşturmaktadır. Bu miktarın 299 milyon tonu et üretimi, 130 milyon tonu ise süt üretimi sonucunda ortaya çıkmaktadır. Gübreden kaynaklanan emisyonlar doğada bozulmaya uğradıkları için çok düşük düzeydedir. (Gerber ve ark., 2013). Koyun ve keçilerde süt üretimi sonucunda oluşan emisyon miktarı benzer düzeydedir; ancak koyunlardan et üretimi sonucunda oluşan emisyon miktarı keçilerinkinden daha yüksektir. Küresel ölçekte, küçükbaş hayvanların süt üretim karbon ayak izi inek ve mandalar ile kıyaslandığında (sırasıyla 6,5'e karşı 2,8 ve 3,4 CO₂ eq/kg) yaklaşık 2 katı oranında daha yüksek olduğu görülmektedir. Aynı şekilde küçükbaş hayvanların et üretimi sonucundaki karbon ayak izleri 23,8, inek ve mandalarda ise sırasıyla 46,2 ve 53,4 kg CO₂ eq/kg karkas ağırlığıdır (Opio ve ark., 2013). Bu farklılıkların nedeni; küçükbaş hayvanlardaki yüksek döl verim özellikleri ve üreme döngüleri ile ortalama büyüme oranlarının kasaplık sığırlardan daha yüksek olması sayılabilir (Marino ve ark., 2016). Ancak küçükbaş hayvanlar için sera gazı emisyon tahminleri farklı yöntemlere ve varsayımlara dayanmaktadır, karşılaştırılması zordur. Özellikle süt sektöründe veri eksikliği nedeniyle pratikte zorluklar ile karşılaşılmaktadır (Marino ve ark., 2016). Metanın küresel ısınma potansiyeli karbondioksitin (CO₂) yaklaşık olarak yirmi beş katıdır. (Zhou ve ark., 2011). Metan salınımı yem enerji kullanım etkinliğinin azalmasına da yol açmaktadır (Bradford, 1999; Thornton ve Herrero, 2010). Bu kayıp ırk, yem tüketimi ve rasyon kompozisyonuna bağlı olarak yemle alınan

enerjinin %2-12'sine tekabül etmektedir (Johnson ve Johnson, 1995).

Metan, ruminant hayvanların rumenlerinde besin maddelerinin (selüloz, hemiselüloz, pektin ve nişasta) anaerobik fermantasyona uğraması sonucunda oluşan CO₂ ve H₂'nin, metanojen bakterler tarafından CH₄'e indirgenmesi ile ortaya çıkmaktadır (Kebreab ve ark., 2006). Hayvanlar tarafından üretilen metan gazının miktarı rasyonda kullanılan karbonhidratın tipi, hayvanın yem tüketim seviyesi, verim düzeyi, yemden yararlanma oranı, yem sindirim kanalından geçiş hızı, rasyonda kullanılan yağın doymunluk seviyesi ve sıcaklık tarafından etkilenmektedir (McAllister ve ark., 1996; Nkrumah ve ark., 2006). Rasyon içeriği rumen metabolizması üzerinde doğrudan etkilidir. Rasyonda kaba/kesif yem oranının düşmesi rumende propionik asit üretimini artırmaktadır. Yetişkin bir sığırın rumeninde 500-1500 l/gün gaz oluşmaktadır. Bu gazın %50-60'ı CO₂, %30-40'ı ise CH₄'tür (Öztürk, 2007).

Ruminantlar Tarafından Enterik Metan Üretiminin Önemi

Metan atmosferde en bol bulunan organik gazdır, küresel ısı bütçesi ve ulusal sera gazı envanterleri üzerine önemli bir etkiye sahiptir (Moss ve ark., 2000, Beauchemin ve ark., 2008). Atmosferdeki metanın yarılanma ömrünün 12,4 yıl olduğu tahmin edilmekte, radyoaktif etkisi ve küresel ısınma potansiyeli dikkate alındığında bu önemli bir faktördür (Cottle ve ark., 2011). Metan aynı zamanda hayvancılıkta besinin ürüne dönüştürülmesi ile ilgili olduğu için tarımsal verimlilikte önemli bir göstergedir (Hill ve ark., 2016). CH₄ troposferdeki hidroksil radikaliyle reaksiyona girer. Hidroksil (OH-) tarafından metanın oksidasyonu formalaldehit, karbonmonoksit ve yeterli nitrojen oksit ile ozonun oluşumuna yol açar (Lelieveld ve ark., 2008). Metanojenesis ruminantlarda enerji metabolizmasının önemli bir parçası olup üretiminin ölçülmesi ruminant hayvanların verimliliğini anlamada kritik öneme sahiptir. Bununla birlikte bugüne kadar hayvansal verimlilikteki iyileştirmeler, CH₄ emisyon bilgilerinin dahil edilmesi yoluyla değil, çoğunlukla bağırsak mikrobiyolojisi, beslenme, genetik ve konakçı hayvanın sağlığındaki ilerlemeler yoluyla sağlanmıştır (Zhou ve ark., 2009; Jami ve Mizrahi, 2012). Birincil enterik fermantasyon uçucu yağ asitleri (asetat, propionat ve bütirat), fermantasyon asitleri (laktat), alkoller (örneğin etanol), süksinat ve diğer dallı zincirli uçucu yağ asitlerini üretir. Ek olarak CO₂, H₂ ve NH₃ gazları üretilir. Metan üretimi fermantasyondan H₂ uzaklaştırmak için ana yoldur (Janssen, 2010).

CH₄'ün büyük bir kısmı rumenden geçirme yolu ile dış ortama aktarılır. Solunum ve gaz yolu ile yaklaşık olarak %10-15'lik kısmı yayılır (Huhtanen ve ark., 2015). Hayvandan yayılan CH₄ sindirilebilir enerji olarak tahmin edilirse, metabolize edilebilir enerjinin %2 ila %12'si kadar kayba neden olur (Morgavi ve ark., 2010). Ruminantlar, bir dizi selüloz ve hemiseloz sindiren enzimi sentezleyebilen bağırsak mikrobiyomları ile simbiyotik bir ilişki geliştirmiştir (Knapp ve ark., 2014). Bu ilişki, hayvanın bitkisel organizmaları kullanarak besin elde etmesini

sağlar. Ruminantlarda, yemin sindirimi iki aşamalı bir işlemdir, ilki rumende bir dizi monomerin (şekerler, aminoasitler, gliserol ve yağ asitleri) salınmasıyla yem kaynaklarının enzimatik bozunması ve ikincisi ise bu bileşiklerin rumen mikrobiyotası (bakteriler, metanojenik arkea, protozoa ve mantarlar) tarafından fermentasyona uğrama aşamasıdır (McAllister ve Newbold, 2008; Hristov ve ark., 2013; Krause ve ark., 2013).

Retikülo-rumen-omasal kompleksi ortamındaki selüloza zengin yemlerin mide öncesi fermentasyonu, sıkı bir şekilde düzenlenir. Uçucu yağ asitleri rumen ve omasal duvarlar boyunca taşınır ve hayvan tarafından kullanılırken, CO₂ rumen boşluğuna salınır ve geçirme yoluyla kaybolur veya dolaşım yoluyla akciğerlere taşınır ve solunur. Metabolik H₂'nin temizlenmesi ya uçucu yağ asiti üretimi ya da ağırlıklı olarak CH₄'e dönüşüm yoluyla olur. Bu son işlem metanojenik arkealar tarafından kolaylaştırılır.

Rumen Mikroorganizmaları ve Metan Salınım İlişkileri

Metan üretimi rumendeki mikrobiyal topluluk tarafından besinlerin fermentasyonunun biyokimsal bir sonucudur. Düşük yem verimliliği ile yakın ilişkisi nedeniyle, yem verimliliğinde ruminantların mikrobiyal topluluklarının karakterizasyonu için gittikçe artan bir şekilde önem kazanmıştır. Metan üretiminde ya da besin maddelerinin verimliliğinde farklı hayvanlarda farklı mikrobiyal topluluklar bulunmuştur (Zhou ve ark., 2009; Jami ve ark., 2014; Kittelmann ve ark., 2014). Bakteriler 10¹⁰-10¹¹ hücre/ml ile rumende mikrobiyal biyokütleinin en büyük bileşenleridir. Rumendeki bakteri çeşitliliğinin %30'u hala belirlenememiştir (McSweeney ve Mackie, 2012; Patra ve Yu, 2012). Önceki çalışmalarda rumenden protozoaların elemine edilmesi sonucunda metan üretiminin %9-37 oranında azaldığı gözlenirken (Hook ve ark., 2010; Morgavi ve ark., 2010), bazı çalışmalarda da protozoaların ortadan kaldırılmasının metan üretimi üzerindeki etkilerinin dikkate değer olmadığı ortaya konulmuştur (Kreuzer ve ark., 1986; Ranilla ve ark., 2007; Bird ve ark., 2008; Hegarty ve ark., 2008).

Metanojenik Arkea

Rumendeki metanojenik arkeaların miktarı ve çeşitliliği nispeten sınırlıdır (Sharp ve ark., 1998). Rumende belirlenen metanojenik arkeaların çoğu (%92,3) cins düzeylerinde üç grup içinde değerlendirilerek; ilk grup *Methanobrevibacter* (%61,6), ikinci grup *Methanomicrobium* (%14,9) ve diğer grup ise Rumen Cluster C (RCC) (%15,8) kültüre edilmemiş ruminal arkeaların büyük bir grubu olarak adlandırılmıştır (Janssen ve Kirs, 2008). Birçok çalışmada *Methanobrevibacter* spp.'nin baskın ruminal metanojen olduğu belirtilmiştir (Yanagita ve ark., 2000; Wright ve ark., 2007).

Ruminal metanojenler ya serbest yaşayabilirler ya da protozoa ve mantarlarla ilişkili olabilirler. *Methanobacterium* ve *Methanosphaera* serbest yaşayan metanojenlerdir, protozoa ve mantarlar ile keşfedilmiş hiçbir uyum bulunmamıştır (Belanche ve ark., 2014). Ruminal metanojenlerin yaklaşık %9-25'i protozoalar (Newbold ve ark., 1995) olup ruminantlardan üretilen metanın yaklaşık %37'sine katkıda bulunmaktadır (Finlay

ve ark., 1994). Bazı metanojenler mantarlarla da ilişkilendirilebilir; ancak mantarlarla ilgili bilgiler kısıtlı, metanojenlerin ve mantarların herhangi bir fiziksel ilişkilerinin olup olmadığı açık değildir (Jin ve ark., 2014; Wei ve ark., 2016). Zhou ve ark. (2011) tarafından Hu koyunları ile yürütülen bir çalışmada çay tohumu saponinlerinin metan üretimini azalttığı bulunmuş, metanojen popülasyonunda azalma olduğu gözlemlenmiştir.

Silli Protozoa

Protozoalar rumendeki kütleinin %50'si kadarında bulunabilir; ama mikrobiyal ekosistemdeki diğer rolleri belirsiz kalmaktadır (Karnati ve ark., 2003; Sylvester ve ark., 2004; Skillman ve ark., 2006). Farklı tür ve cins seviyelerinde kayda değer protozoal çeşitlilik bulunmuş ve baskın cinsin *Entodinium* olduğu düşünülmektedir. Mevcut bilgilere göre ruminal siliat protozoaların metan sentezleme yeteneklerinin olmamasına rağmen, metan üretimi ile ilişkili adaylardır. Özellikle hidrojenozomlarında yüksek miktarda H₂ üretim yetenekleri sayesinde, epi veya endo simbiyotik metanojenleri barındırma ve onları oksijen toksisitesinden koruma yetenekleri vardır (Fenchel ve Finlay, 2006; Belanche ve ark., 2014). Lif içeriği rumendeki protozoal topluluğun belirlenmesinde önemli bir faktördür. *Ophryoscolex* ve *Polyplastron* gibi bazı türler tahılların yüksek olduğu koşullarda ortaya çıkmakta, metan üretimini azaltma konusunda daha fazla dikkate alınmayı hak etmektedirler (Tymensen ve ark., 2012). Ruminal mantarlarının çoğu anaerobiktir ve metabolik ürünler olarak CO₂, format ve asetat ile birlikte büyük miktarlarda H₂ üretirler (Gruninger ve ark., 2014). Propionat oluşturan, nitrat/nitrit ve sülfat azaltan bakteriler ile homoasetojenlerin H₂ kullanımını içeren metan azaltma potansiyelleri vardır.

Metan Salınımına Karşı Alınabilecek Önlemler

Rasyon Kaba Yem/Konsantre Yem Oranı

Metan salınımının azaltılmasında rasyon kompozisyonu ile ilgili yapılan değişiklikler içerisinde ilk olarak kaba yem/konsantre yem oranı düzenlemesi gelmektedir. Konsantre yem oranının yükseltilmesi ile propionat üretiminin arttığı, rumen pH'sının azaldığı, yemin sindirim sisteminden geçiş hızının artması sonucunda fermentasyon süresinin azalmasına bağlı olarak da metan üretiminin azaltıldığı bildirilmiştir (Arslan ve Çelebi, 2017).

Mısır, arpaya göre metan salınımını azaltma konusunda daha etkili bir karbonhidrat kaynağıdır (Yurtseven ve Öztürk, 2009). Bu durumun nedeni mısırın rumende daha yavaş yıkıma uğraması ve rumen pH'ında düşüşe neden olmasıdır. Rumen pH'sının 6'nın altına düşmesi metanojenik bakteriler için toksik etki oluşturmaktadır (Beauchemin ve McGinn, 2005). Metan üretimi baklagil kaba yemleri ile beslenen hayvanlarda buğdaygil kaba yemleri ile beslenen hayvanlardan daha düşüktür (Boadi ve ark., 2004). Baklagil kaba yemleri yapısal karbonhidrat miktarının daha düşük, rumen geçiş hızı ve propionat üretiminde daha yüksek olması nedeniyle bu etkiyi yapmaktadır. Karbonhidrat formlarından metan üretimini en çok baskılayan asit deterjan lignin (ADL) olduğu

bildirilmiştir (Meral ve Biricik, 2013). Rasyonda ADL miktarının artışı, organik madde sindirilebilirliğinin azalmasına neden olmakta ve bunun sonucunda metan üretimi azalmaktadır.

Yağ Kullanımı

Karbon sayısı sekiz ve on altı arasında olan yağ asitlerinin yağın doymamışlığı ile orantılı olarak süt sığırlarında metan üretimini azalttığı belirlenmiştir (Giger-Reverdin ve ark., 2003). Metan üretiminin rasyona doymamış yağ eklenerek düşürülmesi; doymamış yağın rumendeki H₂ miktarını azaltıcı etkisi ile gerçekleştiği bildirilmiştir.

Rasyona yağ ilavesi metan salınımını azaltmada dikkat çekici besleme stratejisidir. Ancak, süt verimi ve kompozisyonunun yağ ilave edilen rasyona cevabı oldukça karmaşıktır. Metan salınımını azaltmada etkili diğer faktörler arasında laktasyon dönemi, yağın doymuşluk düzeyi, bazal rasyonun yağ içeriği ve tüketim şekli gösterilmektedir. Yağ ile beslemenin pratik sınırlarında metan üretimi ile rasyondaki yağ asit konsantrasyonu arasındaki ilişki; eklenen yağın formundan, yapısındaki yağ asitlerinden (C12:0 ve C:14, C18:1, C18:2 ve C18:3) ve yağ kaynağından etkilenmektedir (Kocaoğlu Güçlü ve Kara, 2010).

Patra (2014) tarafından yürütülen bir çalışmada, koyunlarda metan üretimi, sindirilebilirlik ve rumen fermantasyonu üzerine rasyon yağının etkisini araştırmak amacıyla on bilimsel çalışmanın rasyon kompozisyonu, metan salınımı, sindirilebilirlik ve rumen fermantasyon özelliklerinin yer aldığı veri seti oluşturularak meta-analize tabi tutulmuş, sığır ve koyunlar arasında bu sonuçları karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Yağ ilavesi metan üretimini doğrusal bir şekilde düşürmüş, kuru madde alımını etkilememiş; ancak kuru madde ve nötr deterjan lif sindirilebilirliği yağ konsantrasyonunun yükselmesi ile doğrusal şekilde azalmıştır. Rumen sıvısındaki toplam uçucu yağ asitleri ve asetat yüzdesi rasyon yağ ilavesi sonucunda değişmemiştir. Yükselen yağ konsantrasyonları ile birlikte rumen sıvısında bütirat yüzdesi, asetatın propionata oranı ve amonyak konsantrasyonu doğrusal bir şekilde azalırken, propionat yüzdesi doğrusal bir şekilde yükselmiştir. Sonuç olarak, rasyondaki düşük yağ konsantrasyonlarının rumen fermantasyonuna olumsuz yönde etki etmeden metan emisyonunu düşürebileceği; ancak yüksek konsantrasyonlarda lif sindirilebilirliğinin azalabileceği bildirilmiştir.

Nişasta Düzeyi

Beslemenin yönetiminde, besinlerin yararıyla ilgili ve hayvanın performansını yükseltmek için alınan bütün önlemler genellikle CH₄ üretimini azaltma ile ilişkilendirilir (Hegarty, 1999). Rumende daha az sindirime uğrayan nişastanın kullanımı gibi besleme stratejileri, besin alımını yükseltmekte ve ruminal fermantasyonda azalmaya neden olmakta, rumen sonrası sindirimin boyutunu artırıp CH₄ emisyonunu düşürmektedir. Yüksek nişastalı rasyonlarda içeren diğer besleme stratejileri ve bazı besin takviyeleri ruminant hayvanların performansını geliştirirken aynı zamanda emisyonların azaltılmasında etki göstermektedir. Yüksek

oranda kesif yem içeriğine sahip rasyon ile beslenen sığırların, düşük oranda kesif yem içeriğine sahip rasyonlar ile beslenenlere göre daha az metan ürettiği bildirilmiştir (Lovett ve ark., 2003).

Rasyonda konsantrasyonun yüksekliği ya da ana yem olarak mısır silajının kullanımı rumen pH'nı ve rumende propionat üretimini yükseltir (Patra, 2012). Silajın rumende fermantasyonu esnasında daha az asetik asit oluşur. Ayrıca mısır silajı daha yüksek miktarda nişasta içerir buda metan üretimini azaltıcı etki gösterir. Belirli bir yem türünün seçimi ruminal CH₄ üretimini etkileyebilir. Fabaceae familyasına ait özellikle sıcak iklim türü yemler, çimlerle kıyaslandığında düşük rumen CH₄ emisyonu ile karakterize olabilmektedir (Archimede ve ark., 2011). Bu durum yüksek tanen içerikleri, metanojenesis baskılaması ve yüksek rumen sindirilebilirliği ile ilişkilidir.

Tanenler ve diğer polifenolik bileşikler

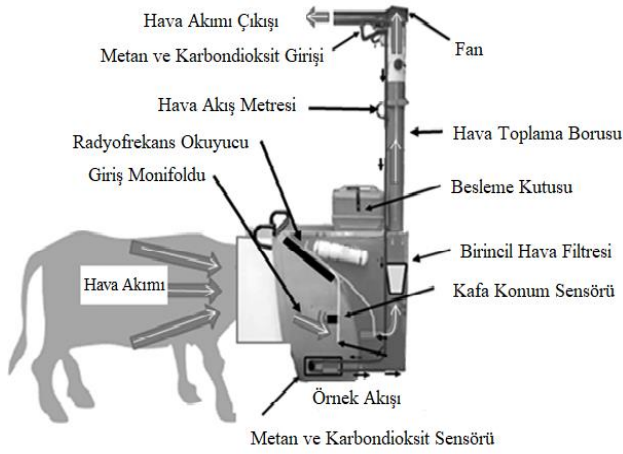
Birçok araştırmacı rasyona tanen, saponin ve uçucu yağ ilavesinin rumen fermantasyonunu değiştirdiğini bildirmiştir. Bu değişiklikler besin enerjisinin kaybını azaltmayı, hayvansal verimliliği geliştirmeyi ve hayvansal üretim süresince salınan metan ve karbondioksiti azaltmayı amaçlamıştır.

Bueno ve ark. (2015); farklı ruminant türlerini (süt sığırları, kasaplık sığır, manda, koyun ve keçi) benzer rasyonlar ile beslemişler ve bu türler arasında metan üretimi üzerine kondanse tanenlerin etkilerini karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Bozulmuş organik madde bazında ölçüldüğünde, türler arasındaki anatomik, fizyolojik ve rumendeki mikrobiyal farklılıklara bağlı olarak sığırlarda küçük geviş getiren hayvanlardan fazla metan salınmıştır. Kondanse tanenler fermantasyonu inhibe ederek rumen metan emisyonunu hafifletmiş; ancak mikrobiyal ayrışma etkinliğini yükseltmemiştir. Kondanse tanenlerin büyük ruminantlarda küçük ruminantlardan daha fazla etkiye sahip olduğunu bildirmişlerdir. Metanın radyoaktif kuvveti karbondioksitten önemli ölçüde daha yüksek ve ruminant hayvanların enterik üretimi sera gazı emisyonları için kaynak oluşturmaktadır.

Enterik Metanın Farklı Ölçüm ve Tahmin Yöntemleri

Solunum ve Biriktirme Odaları

Direk ölçüm teknikleri hayvanların tamamen ya da kısmen kapatılmasını içerir (örneğin; solunum odaları, kafa veya yüz maskeleri gibi) (Storm ve ark., 2012). Bunlar ruminantlarda metan salınımını ölçmek için en yaygın kullanılan iki teknik arasındadır. Uzun yıllar boyunca hayvanlarda sıcaklık dengesi ve gaz değişimini belirlemek için altın standart olarak görülen açık devre direk kalorimetri ya da respirasyon odaları kullanılmıştır. Bu ölçümler modeller geliştirmek ve ulusal sera gazı envanterleri için ruminant hayvanların emisyonlarını tahmin etme amacıyla denklemlerde kullanılmaktadır. Bu yöntemler metan üretiminin eksiksiz ölçümlerini, gaz değişimlerini (oksijen tüketimi ve karbondioksit üretimi), diğer iz gazların değerlendirilmesini ve aynı anda meydana gelen ısı üretiminin miktarının belirlenmesini sağlar, böylece tüm vücutta metabolik hızın tahmin edilmesi sağlanmış olur (Kaiyala ve Ramsay, 2011). Son zamanlarda ruminant hayvanlarda metan ve karbondioksit emisyonlarını izleme amacıyla kullanılan GreenFeed sistemi Şekil 1'de belirtilmiştir.



Şekil 1. GreenFeed Sistem Düzeni (Huhtanen ve ark., 2015)

Figure 1. Layout of the GreenFeed System (Huhtanen et al., 2015)

Solunum odalarında tasarım aynı zamanda bilinen miktarlardaki yemlerden elde edilen net enerjiyi belirleme fırsatı sağlayarak, gaz değişimi ölçümleriyle eşzamanlı yapılarak toplam sindirilebilirliği ve toplam idrar ölçümlerini de mümkün kılmaktadır. Bu yaklaşımın, hayvanın genellikle beslenmesi, ölçümlerin kısa periyotlarda (1saat ila 3 günden fazla olmamak üzere) yapılması ve hayvanın yem tüketme davranışının serbest yetiştirme modelini yansıtmaması nedeniyle eleştirilmektedir (Storm ve ark., 2012). Bununla birlikte, rumendeki kararlı durum koşulları, yutulan besinin rumene gelişinin etkileri ve mikrobiyal süreçler üzerindeki su tüketimi kalıpları hakkında bilgi eksikliği, bu tür ölçümlerin kullanılabilirliğini tehlikeye atmaktadır. Ayrıca, besleme protokollerinin otlayan hayvaninkileri yansıtmayabileceği ve ayrıca günler arasında %4 ila %7 arasında değişen varyasyon katsayısının oluşumuna neden olan yapay bir ortam ile de sonuçlanabilmektedir (Pinares-Patino ve ark., 2012).

In Situ Gaz Ölçümü: İzleyiciler

Bu yöntemlerin geliştirilmesine büyük ilgi gösterilmiştir; bu yöntem hayvan serbestçe otlarken kullanılabilir, davranışsal süreçler bir oda tarafından kısıtlanmamaktadır. Yöntem genellikle kükürt heksaflorür (SF_6) (Johnson ve ark., 1994; Johnson ve Johnson, 1995; Boadi ve Wittenberg, 2002) ve döteryumlu CH_4 ($^{13}CH_3D$) gazlarının işkembede sürekli salımına dayanmaktadır. Teoride $^{13}CH_3D$ ideal işaretçidir. Bu durumun nedeni CH_4 'ün rumen sıvı fraksiyonundaki, rumen baş boşluğundaki ve geçirme sırasındaki davranışını taklit eden kolayca izlenebilir bir gösterge olmasıdır. Aynı zamanda mikrobiyal olmayan metanojenesis, müdahale ederek oluşan ve mikrobiyal işlemler yoluyla üretilen CH_4 arasında ayırım yapmak için önemli bir izleyici gazdır. Ancak pahalı oluşu yaygın olarak kullanımını engellemiştir. İklim ile ilgili hayvancılık araştırmalarının artışı ile, SF_6 metodu otlayan hayvanların metan salımının tahminlenmesinde giderek daha fazla kullanılan yaklaşım haline gelmektedir (Lassey ve ark., 2011). SF_6 düşük konsantrasyonlarda kolayca ölçülebilen ve izlenebilir bir gazdır. SF_6 gazı, işkembeye yerleştirilen

bir geçirgenlik tüpü aracılığıyla verilmekte, hayvanın nefesindeki CH_4 'ün SF_6 'ya oranı şeklinde ölçülmekte ve arka plan konsantrasyonuna göre düzeltilmektedir. Bu tekniğin pratikte kullanımı zordur; ancak standart işletim prosedürleri oluşturulmuştur (Laubach ve ark., 2014).

In Situ Gaz Ölçümü: Gaz Sensör Kapsülleri

İklimle ilgili araştırmalarda ruminant hayvanların CH_4 , H_2 ve CO_2 konsantrasyonlarını gözlemlemek için gaz sensör kapsülleri geliştirilmiştir. Bu tür gaz sensör kapsülleri, gaz geçirgen zarlar içermekte, gaz sensörleri çalıştırmak, sinyalleri sayısallaştırmak, saklamak ve kodlamak için bir mikro denetleyici, verici, anten ve güç kaynağı yer almaktadır. CH_4 , CO_2 ve H_2 konsantrasyonlarını aynı anda ölçebilmektedir, ancak akışı (emisyon) ölçülemez. Faydalılığını geliştirmek amacıyla, rumen iç basıncı, rumen büyüklüğü ve geçirme paterninin ölçümleri dahil edilebilmektedir. Rumen ve nefesde CO_2 ve CH_4 konsantrasyonlarının eş zamanlı ölçümü, işaretleyici gaz olarak CO_2 'nin kullanımının uygunluğunu test etmek için avantaj sağlamaktadır (Madsen ve ark., 2010).

In Vitro Ölçümler

Bu yöntemin; olası yapay inkübasyon periyotları, organik madde bozunmasını hesaplamak için kullanılan tek bir son noktanın olması, uçucu yağ asit ürünleri, gaz üretimi (inkübasyonun pH'ında değişiklik yoluyla) ve sabit olma olasılığı dahil olmak üzere birçok önemli kısıtlaması vardır. Rumende kararlı durum koşulu, dinamik bir sistemin bölümleri (örneğin rumen) içindeki sindirim önemli ölçüde değişmemesi olarak tanımlanır. Son zamanlarda beslenme özelliklerini, yemlerin sindirilebilirliğini, ayrıca fermente edilebilirliği ve CH_4 üretimini ölçmek için IVGPT (in vitro gaz üretim tekniği) ile bağlantılı olarak yakın kızılötesi yansıtma spektroskopisi (NIRS) yem değerlendirme yöntemlerinin geliştirilmesinde ilgi konusu olmuştur (Kneebone ve Dryden, 2015). Teoride IVGPT'ler (in vitro gaz üretim teknikleri) ruminantlardan salınan metanın tahmini için hızlı ve ucuz yaklaşım olacaktır. Bununla birlikte yemlerin in vivo organik madde bozulması, beslenme seviyesi ve yemin kendisinin fizikokimyasal yapısı tarafından etkilenmektedir (Mould ve ark., 2005). Bir besinin bozulmasının boyutu besin alımı ile sabit değildir. Bu nedenle metan üretiminde, in vivo ve in vitro değerlendirmeler arasında önemli derecede farklılıklar olabilmektedir.

Sonuç

Ruminant hayvanlar sadece insan beslenmesinde hayvansal proteinlerin en yüksek düzeydeki üretimi için değil aynı zamanda insan gıdası olarak kullanılmayan lifli yemleri kullanabilme yetenekleri sayesinde benzersiz bir avantaj sağlamasına rağmen, tükettikleri enerjinin %2 ila %12'lik kısmını rumende sindirim esnasında enterik CH_4 'e dönüştürmekte ve bu durum antropojenik sera gazı miktarına artış olarak yansımaktadır. Hayvansal ürünlere talebin artması sonucunda metan emisyonları gelecekte artmaya devam edecektir. Ruminant hayvanlardan kaynaklanan metan emisyonunun azaltılması; sektörün göstermiş olduğu büyümeden, azaltma önlemlerinin

maliyetinden, uygulamaya aktarılacak azaltma stratejilerinde karşılaşılabilecek zorluklardan, hayvan performansı üzerinde tutarsız etkilerin ortaya çıkması gibi sorunlardan etkilenmektedir. Bu nedenle ruminant hayvanların ürünlerine olan tüketici talebini karşılarken, emisyonların azaltmasını uygun maliyetli yollar ile çözmek gereklidir. Metan salınımının azaltılmasında birçok çözüm önerisi mevcuttur. Ruminant hayvanları daha fazla nişasta ve daha az lif içeren rasyonlar ile besleyerek, kaba yemleri yüksek kaliteli ve rasyonlara stratejik takviye olarak kullanımı ile daha az metan üretiminin, daha yüksek yem alımının ve hayvan başına daha yüksek verimliliğin temeli oluşturulmalıdır. Bu durum ilk ve sürdürülebilir metan azaltma yaklaşımı olarak görülmelidir. İklimdeki değişim oranı şu anda, son 1000 yılda yaşanan değişimlerden daha hızlı gerçekleşmektedir. IPCC raporunda, gelecek 90 yılda küresel sıcaklıkların ortalama 1.8 ile 4°C arasında artış göstereceği bildirilmiştir (Yatoo ve ark., 2012). Bu değişikliğin insan ve hayvan sağlığının yanı sıra hayvan yetiştirme sistemleri üzerine doğrudan ve dolaylı etkisi olacaktır. Sığırların neden olduğu sera gazı emisyonu hayvancılık sektöründen kaynaklanan toplam emisyonun yaklaşık olarak %65'ini oluşturduğu göz önüne alınırsa, küçükbaş hayvanların performanslarının geliştirilmesi, sığırlardan kaynaklanan metan salınımının çevreye olan etkilerinin azaltılmasında alternatif bir yol olarak önerilebilir. Ayrıca ruminantlarda metan salınımının ölçülmesinde mevcut yaklaşımlara kıyasla daha doğru ve nispeten daha düşük maliyetli yeni teknolojilerde hızla gelişim gösterecektir.

Kaynaklar

- Archimede H, Eugène M, Magdeleine CM, Boval M, Martin C, Morgavi DP, Lecomte P, Doreau M. 2011. Comparison of methane production between C3 and C4 grasses and legumes. *Animal Feed Science and Technology*, doi: <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2011.04.003>
- Arslan C, Çelebi E. 2017. Ruminantlarda rumende oluşan metan üretimini azaltmaya yönelik çalışmalar, Atatürk Üniversitesi Veteriner Bilimleri Dergisi, doi: <https://doi.org/10.17094/ataunivbd.368903>
- Bradford GE. 1999. Contributions of animal agriculture to meeting global human food demand. *Livestock Production Science*, doi: [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(99\)00019-6](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(99)00019-6)
- Belanche A, Fuente GDL, Newbold CJ. 2014. Study of methanogen communities associated with different rumen protozoal populations. *FEMS Microbiology Ecology*, doi: <https://doi.org/10.1111/1574-6941.12423>
- Beauchemin KA, McGinn SM. 2005. Methane emissions from feedlot cattle fed barley or corn diets. *Journal of Animal Science*, doi: <https://doi.org/10.2527/2005.833653x>
- Beauchemin KA, Kreuzer M, O'Mara F, McAllister. 2008. Nutritional management for enteric methane abatement: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, DOI: <https://doi.org/10.1071/EA07199>
- Bird SH, Hegarty RS, Woodgate R. 2008. Persistence of defaunation effects on digestion and methane production in ewes. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 48(2) 152-155. <https://doi.org/10.1071/EA07298>
- Boadi DA, Wittenberg KM. 2002. Methane production from dairy and beef heifers fed forages differing in nutrient density using the sulphur hexafluoride (SF₆) tracer gas technique. *Canadian Journal of Animal Science*, doi: <https://doi.org/10.4141/A01-017>
- Boadi D, Benchaar C, Chiquette J, Masse D. 2004. Mitigation strategies to reduce enteric methane emissions from dairy cows: Update review. *Canadian Journal of Animal Science*, doi: <https://doi.org/10.4141/A03-109>
- Bueno ICS, Brandi RA, Franzolin R, Benetel G, Fagundes GM, Abdalla AL, Louvandini H, Muir JP. 2015. In vitro methane production and tolerance to condensed tannins in five ruminant species. *Animal Feed Science and Technology*, doi: <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2015.03.008>
- Cottle DJ, Nolan JV, Wiedemann SG. 2011. Ruminant enteric methane mitigation: a review. *Animal Production Science*, doi: <https://doi.org/10.1071/AN10163>
- Fenchel T, Finlay BJ, 2006. The diversity of microbes: resurgence of the phenotype. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.*, 361(1475): 1965–1973. doi: 10.1098/rstb.2006.1924
- Finlay BJ, Esteban G, Clarke KJ, Williams AG, Embley TM, Hirt RP. 1994. Some rumen ciliates have endosymbiotic methanogens. *FEMS Microbiology Letters*, doi: <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.1994.tb06758.x>
- Gerber PJ, Steinfeld H, Henderson B, Mottet A, Opio C, Dijkman J, Falcucci A, Tempio G. 2013. Tackling Climate Change Through Livestock. A Global Assessment of Emissions and Mitigation Opportunities. FAO, Rome. ISBN 978-92-5-107920-1 (print).
- Giger-Reverdin S, Morand-Fehr P, Tran G. 2003. Literature Survey of The Influence of Dietary Fat Composition on Methane Production in Dairy Cattle. *Livestock Production Science*, doi: [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(03\)00002-2](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(03)00002-2)
- Gruninger RJ, Puniya AK, Callaghan TM, Edwards JE, Youssef N, Dagar SS, Fliegerova K, Griffith GW, Forster R, Tsang A, McAllister T, Elshahed MS. 2014. Anaerobic fungi (phylum neocallimastigomycota): advances in understanding their taxonomy, life cycle, ecology, role and biotechnological potential. *FEMS Microbiol. Ecol.*, doi: <https://doi.org/10.1111/1574-6941.12383>
- Hegarty RS. 1999. Mechanisms for competitively reducing ruminal methanogenesis. *Australian Journal of Agricultural Research*, 50(8): 1299–1305. <https://doi.org/10.1071/AR99007>
- Hegarty RS, Bird SH, Vanselow BA, Woodgate R. 2008. Effects of the absence of protozoa from birth or from weaning on the growth and methane production of lambs. *Br. J. Nutr.*, 100(6): 1220–1227. doi: 10.1017/S0007114508981435.
- Hill J, McSweeney C, Wright ADG, Bishop-Hurley G, Kalantar-Zadeh K. 2016. Measuring methane production from ruminants. *Trends in Biotechnology*, doi: <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2015.10.004>
- Hook SE, Wright A, McBride BW. 2010. Methanogens: methane producers of the rumen and mitigation strategies. *Archaea*, 2010: 1-11. doi:10.1155/2010/945785
- Hristov AN, Ott T, Tricarico J, Rotz A, Waghorn G, Adesogan A, Dijkstra J, Montes F, Oh J, Kebreab E, Oosting SJ, Gerber PJ, Henderson B, Makkar HPS, Firkins JL. 2013. Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: III. A review of animal management mitigation options. *Journal of Animal Science*, doi: <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6585>
- Huhtanen P, Cabezas-Garcia EH, Utsumi S, Zimmerman S. 2015. Comparison of methods to determine methane emissions from dairy cows in farm conditions. *Journal of Dairy Science*, doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2014-9118>
- Jami E, Mizrahi I. 2012. Composition and similarity of bovine rumen microbiota across individual animals. *Plos One*, doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0033306>
- Jami E, White BA, Mizrahi I. 2014. Potential role of the bovine rumen microbiome in modulating milk composition and feed efficiency. *Plos One*, 9(1): e85423, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0085423>
- Janssen PH, Kirs M. 2008. Structure of the Archeal Community of the Rumen. *Applied and Environmental Microbiology*, doi: <https://doi.org/10.1128/AEM.02812-07>

- Janssen PH. 2010. Influence of hydrogen on rumen methane formation and fermentation balances through microbial growth kinetics and fermentation thermodynamics. *Animal Feed Science and Technology*, doi: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2010.07.002>
- Jin W, Cheng YF, Mao SY, Zhu WY. 2014. Discovery of a novel rumenmethanogen in the anaerobic fungal culture and its distribution in the rumen as revealed by realtime PCR. *BMC Microbiology*, doi:10.1186/1471-2180-14-104
- Johnson K, Huyler M, Westberg H, Lamb B, Zimmerman P. 1994. Measurement of methane emissions from ruminant livestock using a sulfur hexafluoride tracer technique. *Environ. Sci. Technol.*, doi: <https://doi.org/10.1021/es00051a025>
- Johnson KA, Johnson DE. 1995. Methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science*, 73(8): 2483–2492. <https://doi.org/10.2527/1995.7382483x>
- Kaiyala KJ, Ramsay DS. 2011. Direct animal calorimetry, the underused gold standard for quantifying the fire of life. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2010.04.013>
- Kamra DN, Pawar M, Singh B. 2012. Effect of Plant Secondary Metabolites on Rumen Methanogens and Methane Emissions by Ruminants. Springer Netherlands, pp. 351–370.
- Karnati SKR, Yu Z, Sylvester JT, Dehority BA, Morrison M, Firkins JL. 2003. Technical note: specific PCR amplification of protozoal 18s rDNA sequences from DNA extracted from ruminal samples of cows. *Journal of Animal Science*, 81(3): 812–815. <https://doi.org/10.2527/2003.813812x>
- Kebreab E, Clark K, Wagner-Riddle C, France J. 2006. Methane and nitrous oxide emissions from Canadian animal agriculture: A review. *Canadian Journal of Animal Science*, 2004, 86(2): 135-158.
- Kittelmann S, Pinares-Patino CS, Seedorf H, Kirk MR, Ganesh S, Mcewan JC, Janssen PH. 2014. Two different bacterial community types are linked with the low-methane emission trait in sheep. *Plos One*, 9(7): e103171. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0103171>
- Knapp JR, Laur GL, Vadas PA, Weiss WP, Tricarico JM. 2014. Enteric methane in dairy cattle production: quantifying the opportunities and impact of reducing emissions. *Journal of Dairy Science*, doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7234>
- Kneebone DG, Dryden GML. 2015. Prediction of diet quality for sheep from faecal characteristics: comparison of near-infrared spectroscopy and conventional chemistry predictive models. *Animal Production Science*, doi: <https://doi.org/10.1071/AN13252>
- Kocaoğlu Güçlü B, Kara K. 2010. Ruminant beslemede alternatif yem katkı maddelerinin kullanımı: 2. organik asit, yağ asiti, adsorban. *Erciyes Univ Vet Fak Derg*, 7(1):43-52
- Kreuzer M, Kirchgessner M, Muller HL. 1986. Effect of defaunation on the loss of energy in wethers fed different quantities of cellulose and normal or steamflaked maize starch. *Animal Feed Science and Technology*, doi: [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(86\)90114-8](https://doi.org/10.1016/0377-8401(86)90114-8)
- Krause DO, Nagaraja TG, Wright ADG, Callaway TR. 2013. Rumen microbiology: leading the way in microbial ecology. *Journal of Animal Science*, doi: <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5567>
- Lassey KR, Pinares-Patino CS, Martin RJ, Molano G, McMillan AMS. 2011. Enteric methane emission rates determined by the SF₆ tracer technique: temporal patterns and averaging periods. *Animal Feed Science and Technology*, doi: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.066>
- Laubach J, Grover SPP, Pinares-Patino CS, Molano G. 2014. A micrometeorological technique for detecting small differences in methane emissions from two groups of cattle. *Atmospheric Environment*, doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.09.036>
- Lelieveld J, Butler TM, Crowley JN, Dillon TJ, Fischr H, Ganzeveld L, Harder H, Lawrence MG, Martinez M, Taraborrelli D, Williams J. 2008. Atmospheric oxidation capacity sustained by a tropical forest. *Nature*, 452(7188): 737–740. doi: 10.1038/nature06870
- Lovett D, Lovell S, Stack L, Callan J, Finlay M, Conolly J, O'Mara FP. 2003. Effect of forage/concentrate ratio and dietary coconut oil level on methane output and performance of finishing beef heifers. *Livestock Production Science*, doi: <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2003.09.010>
- Madsen J, Bjerg BS, Hvelplund T, Weisbjerg MR, Lund P. 2010. Methane and carbon dioxide ratio in excreted air for quantification of the methane production from ruminants. *Livestock Science*, doi: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.01.001>
- Marino R, Atzori AS, D'Andrea M, Iovane G, Trabalza-Marinucci M, Rinaldi L. 2016. Climate change: Production performance, health issues, greenhouse gas emissions and mitigation strategies in sheep and goat farming. *Small Ruminant Research*, <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2015.12.012>
- McAllister TA, Cheng KJ, Okine EK, Mathison GW. 1996. Dietary, environmental and microbiological aspects of methane production in ruminants. *Canadian Journal of Animal Science*, 76: 231–243. <https://doi.org/10.4141/cjas96-035>
- McAllister TA, Newbold CJ. 2008. Redirecting rumen fermentation to reduce methanogenesis. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, doi: <https://doi.org/10.1071/EA07218>
- McMichael AJ, Powles JW, Butler CD, Uauy R. 2007. Food, livestock production, energy, climate change, and health. *Lancet*, 370(9594): 1253-63. doi:10.1016/S0140-6736(07)61256-2
- McSweeney C, Mackie R. 2012. Commission on genetic resources for food and agriculture. Micro-organisms and ruminant digestion: state of knowledge, trends and future prospects. Background Study Paper, 61. FAO. pp. 1–62.
- Meral Y, Biricik H. 2013. Ruminantlarda metan emisyonunu azaltmak için kullanılan besleme yöntemleri. VII. Ulusal Hayvan Besleme Kongresi (Uluslararası Katılımlı), Ankara, 26-27 Eylül 2013, pp. 310-316.
- Morgavi DP, Forano E, Martin C, Newbold CJ. 2010. Microbial ecosystem and methanogenesis in ruminants. *Animal*, 4(7): 1024-36. doi: 10.1017/S1751731110000546.
- Moss AR, Jouany JP, Newbold J. 2000. Methane production by ruminants: its contribution to global warming. *Ann. Zootech.*, doi: <https://doi.org/10.1051/animres:2000119>
- Mould FL, Kliem KE, Morgan R, Mauricio RM. 2005. In vitro microbial inoculum: a review of its function and properties. *Animal Feed Science and Technology*, doi: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.04.028>
- Newbold CJ, Lassalas B, Jouany JP. 1995. The importance of methanogens associated with ciliate protozoa in ruminal methane production in vitro. *Letters Applied Microbiology*, doi: <https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.1995.tb01048.x>
- Nkrumah JD, Okine EK, Mathison GW, Schmid K, Li C, Basarab JA, Price MA, Wang Z, Moore SS. 2006. Relationships of feedlot feed efficiency, performance, and feeding behavior with metabolic rate, methane production and energy partitioning in beef cattle. *Journal of Animal Science*, 84(1): 145–153. doi: 10.2527/2006.841145x.
- Opio C, Gerber P, Mottet A, Falcucci A, Tempio G, MacLeod M, Vellinga T, Henderson B, Steinfeld, H. 2013. Greenhouse Gas Emissions from Ruminant Supply Chains. A Global Life Cycle Assessment. FAO, Rome. E-ISBN 978-92-5-107945-4 (PDF).
- Öztürk H. 2007. Küresel ısınmada ruminantların rolü. *Veteriner Hekimler Derneği Dergisi*; 78(1):17-22.
- Patra AK. 2012. Enteric methane mitigation technologies for ruminant livestock: a synthesis of current research and future directions. *Environmental Monitoring Assessment*, 184(4): 1929–1952. doi: 10.1007/s10661-011-2090-y

- Patra AK, Yu Z. 2012. Effects of essential oils on methane production and fermentation by, and abundance and diversity of, rumen microbial populations. *Applied and Environmental Microbiology*, 78(12): 4271–4280. doi:10.1128/AEM.00309-12
- Patra AK, 2014. A meta-analysis of the effect of dietary fat on enteric methane production, digestibility and rumen fermentation in sheep, and a comparison of these responses between cattle and sheep. *Livestock Science*, doi: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.01.007>
- Pinares-Patiño C, Gere J, Williams K, Gratton R, Juliarena P, Molano G, MacLean S, Sandoval E, Taylor G, Koolaard J. 2012. Extending the collection duration of breath samples for enteric methane emission estimation using the SF6 tracer technique. *Animals*, doi: <https://doi.org/10.3390/ani2020275>
- Ranilla MJ, Jouany JP, Morgavi DP. 2007. Methane production and substrate degradation by rumen microbial communities containing single protozoal species in vitro. *Lett. Appl. Microbiol.* 45(6):675-80. doi: 10.1111/j.1472-765X.2007.02251.x.
- Sharp R, Ziemer CJ, Stern MD, Stahl DA. 1998. Taxon-specific associations between protozoal and methanogen populations in the rumen and a model rumen system. *FEMS Microbiology Ecology*, 26(1): 71–78. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.1998.tb01563.x>
- Skillman LC, Toovey AF, Williams AJ, Wright ADG. 2006. Development and validation of a real-time PCR method to quantify rumen protozoa and examination of variability between entodinium populations in sheep offered a hay-based diet. *Applied and Environmental Microbiology*, 72(1): 200–206. doi: 10.1128/AEM.72.1.200-206.2006
- Sylvester JT, Karnati SKR, Yu Z, Morrison M, Firkins JL. 2004. Development of an assay to quantify rumen ciliate protozoal biomass in cows using real-time PCR. *The Journal of Nutrition*, 134(12): 3378–3384. doi: 10.1093/jn/134.12.3378
- Steinfeld H, Gerber P, Wassenaar T, Castel V, Rosales M, Haan CD. 2006. *Livestock's Long Shadow: Environmental Issues and Options*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome. ISBN 978-92-5-105571-7.
- Storm IMLD, Hellwing ALF, Nielsen NI, Madsen I. 2012. Methods for measuring and estimating methane emission from ruminants. *Animals*, doi: <https://doi.org/10.3390/ani2020160>
- Thornton PK. 2010. Livestock production: recent trends, future prospects. *Philosophical Transactions of the Royal Society B Biological Sciences*, 365(1554): 2853–2867. doi: 10.1098/rstb.2010.0134
- Thornton PK, Herrero M. 2010. Potential for reduced methane and carbon dioxide emissions from livestock and pasture management in the tropics. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(46): 19667-72. <https://doi.org/10.1073/pnas.0912890107>
- Tymensen L, Barkley C, McAllister TA. 2012. Relative diversity and community structure analysis of rumen protozoa according to T-RFLP and microscopic methods. *Journal of Microbiological Methods*, doi: <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2011.09.005>
- Wei YQ, Long RJ, Yang H, Yang HJ, Shen XH, Shi RF, Wang ZY, Du JG, Qi XJ, Ye QH. 2016. Fiber degradation potential of natural co-cultures of neocallimastix frontalis and methanobrevibacter ruminantium isolated from yaks (bos grunniens) grazing on the Qinghai tibetan plateau. *Anaerobe*, doi: <https://doi.org/10.1016/j.anaerobe.2016.03.005>
- Wright ADG, Auckland CH, Lynn HD. 2007. Molecular diversity of methanogens in feedlot cattle from Ontario and Prince Edward Island, Canada. *Applied and Environmental Microbiology*, doi: <https://doi.org/10.1128/AEM.00103-07>
- Yanagita K, Kamagata Y, Kawaharasaki M, Suzuki T, Nakamura Y, Minato H. 2000. Phylogenetic analysis of methanogens in sheep rumen ecosystem and detection of methanomicrobium mobile by fluorescence in situ hybridization. *Bioscience Biotechnology Biochemistry*, 64(8): 1737–1742. doi: 10.1271/bbb.64.1737
- Yatoo MI, Kumar P, Dimri U, Sharma MC. 2012. Effects of climate change on animal health and diseases. *International Journal of Livestock Research*, 2(3): 15-24. doi: <http://dx.doi.org/10.5455/ijlr.20120930051739>
- Yurtseven S, Ozturk I. 2009. Influence of two sources of cereals (corn or barley), in free choice feeding on diet selection, milk production indices and gaseous products (CH₄ and CO₂) in lactating sheep. *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances*, doi: 10.3923/ajava.2009.76.85
- Zhou M, Hernandez-Sanabria E, Guan LL. 2009. Assessment of the microbial ecology of ruminal methanogens in cattle with different feed efficiencies. *Applied and Environmental Microbiology*, doi: 10.1128/AEM.02815-08
- Zhou YY, Mao HL, Jiang F, Wang JK, Liu JX, Mcsweeney CS. 2011. Inhibition of rumen methanogenesis by tea saponins with reference to fermentation pattern and microbial communities in Hu sheep. *Animal Feed Science and Technology*, doi: <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2011.04.007>