



Reducing Methane Emissions with Animal Feeding Strategies

Hatice Nur Kılıç^{1,a}, Mustafa Boğa^{2,b,*}

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

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

*Corresponding author

ARTICLE INFO

Review Article

Received : 13/05/2021

Accepted : 17/08/2021

Keywords:

Ruminant
Enteric methane
Nitrogen loss
Energy loss
Methane release

ABSTRACT

The methods applied for yield increases per unit animal are also progressing rapidly, along with the rapid progress of agricultural and animal production in parallel with the rapidly developing population and the food demand. The increase in animal products increases the environmental impacts per unit of animal product. With the increase in animal wastes in recent years, greenhouse gas emissions have increased even more, thus negatively affecting the environment and animal health. In order to prevent this negative effect, sustainable methods and strategic measures related to animal feeding and care are important in order to reduce the emission of harmful greenhouse gases. Methane, which is the second most important greenhouse gas, is found in large amounts in the atmosphere as a molecule, the accumulation of this gas in the atmosphere more than CO₂ increases the interest in this subject. Different practices related to the nutrition of ruminant animals (use of feed additives, feeding strategies) in order to optimize rumen conditions and increase productivity per unit animal is a developing area. Sharing this information with animal breeders will also benefit the environment, and therefore human and animal health, in terms of reducing both methane and nitrogen emissions. In ruminant animals, it can cause a loss of 2-12% of the gross energy taken with the feed so that the methane gas can be removed from the body. There are many studies on feeding to reduce nitrogen losses in faeces and urine, which cause methane emissions for ruminants, and many of these studies still do not reach a permanent conclusion. The reduction in enteric CH₄ emissions to be made must be tailored to the specific needs of farmers and livestock, and to be cost-effective. In our study, it is aimed to compile animal feeding strategies and reduction of methane emissions under different conditions.

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 9(9): 1700-1713, 2021

Hayvan Besleme Stratejileri ile Metan Emisyonunun Azaltılması

MAKALE BİLGİSİ

ÖZ

Derleme Makalesi

Geliş : 13/05/2021

Kabul : 17/08/2021

Anahtar Kelimeler:

Ruminant
Enterik metan
Nirojen kaybı
Enerji kaybı
Metan salınımı

Hızla gelişmekte nüfusla birlikte gıda talebine paralel olarak tarımsal ve hayvansal üretimin hızla ilerlemesinin yanında birim hayvan başına verim artışları için uygulanan yöntemler de hızla ilerlemektedir. Hayvansal ürünlerdeki artış birim hayvansal ürün başına çevresel etkileri artırmaktadır. Son yıllarda hayvansal atıkların da artmasıyla sera gazı emisyonu daha da yükselmektedir, bundan dolayı çevre ve hayvan sağlığı olumsuz etkilenmektedir. Bu olumsuz etkinin önlenmesi amacıyla sürdürülebilir yöntemler ve zararlı sera gazlarının emisyonunu azaltmak için işletmede hayvan besleme ve bakımla ilgili stratejik önlemler önem taşımaktadır. En önemli ikinci sera gazı olan metan, bir molekül olarak atmosferde büyük miktarlarda bulunmaktadır, bu gazın atmosferde birikmesi CO₂'den fazla olması bu konuya olan ilgiyi artırmaktadır. Rumen koşullarının optimizasyonu ve birim hayvan başına verimliliğini artırmak için ruminant hayvanların beslenmesi ile ilgili farklı uygulamalar (yem katkı maddelerinin kullanımı, yemleme stratejileri) gelişmekte olan bir alandır. Bu bilginin hayvan yetiştiricileri ile paylaşılması ve hem metan hem de azot emisyonlarının azaltılması açısından çevreye ve dolayısıyla insan ve hayvan sağlığına da fayda sağlayacaktır. Ruminant hayvanlarda, metan gazının vücuttan atılabilmesi için yemle alınan brüt enerjinin %2-12 aralığında kaybına sebep olabilmektedir. Ruminantlar için metan emisyonlarına neden olan dışkı ve idrardaki nitrojen kayıplarını azaltmaya yönelik besleme konusunda birçok sayıda araştırma yapılmakta olup bu araştırmaların birçoğu halen kalcı bir sonuca ulaşamamaktadır. Yapılacak olan enterik CH₄ emisyonundaki azaltma, yöntemleri çiftçilerin ve hayvanların özel ihtiyaçlarına ve uygun maliyetli olmasına göre uyarlanmalıdır. Çalışmamızda, farklı koşullarda, hayvan besleme stratejileri ile metan emisyonunun azaltılmasının derlenmesi amaçlanmıştır.

^a hknurkic@gmail.com

^{id} <https://orcid.org/0000-0001-9131-4010>

^b mboğa@nigde.edu.tr

^{id} <https://orcid.org/0000-0002-2845-4528>



Giriş

Metan, atmosferde en fazla bulunan organik iz elementlerden birisi olmakla birlikte, normal sıcaklık ve basınçta gaz halinde olup, kimyasal formülü CH_4 olan ve küresel ısınmaya neden olan sera gazlarından biridir (Wuebbles ve Hayhoe, 2002). Metan (CH_4) en basit doymuş hidrokarbondur. Gaz halde bulunduğu gibi renksiz, kokusuz, yanıcı ve havada bulunması durumunda patlayıcı özelliği de vardır. Metan molekülü dört yüzlü bir şekle sahiptir ve bağlar çok zayıf bir şekilde polarize edilmiştir, bu da serbest elektron çiftleri olmadığı için kimyasal stabiliteye neden olduğu gibi atmosferde de yılda %1 oranında birikmektedir (Moumen ve ark., 2016) Metan havadan daha hafiftir ve 1 atm basınçta oda sıcaklığında yoğunluğu $0,657 \text{ kg m}^3$ olduğundan dolayı atmosferde birikimi fazla olmaktadır (Nosalewiczve ark., 2011).

Organik maddelerin oksijensiz ortamda ayrışması sonucu metan oluşmaktadır. Ayrıca doğal ve antropojenik (insan kaynaklı) kaynaklardan da emisyon olmaktadır. Küresel metan emisyonlarının %40'ı doğal kaynaklardan oluşurken, %60'ı antropojenik kaynaklardan meydana gelmektedir (Karakurtve ark., 2012). Antropojenik emisyon, tarım, hayvancılık enterik fermantasyon atığı (sığır yetiştiriciliği), insan atığı (çöplükler ve kanalizasyon arıtma tesisleri), pirinç tarlaları ve biyokütle yakma dahil olmak üzere çeşitli biyojenik kaynaklardan meydana gelmektedir (Nosalewiczve ark., 2011).

Son yıllarda dünya nüfusundaki artış endüstri, enerji gereksinimini artırmakla birlikte tarım ve hayvancılık uygulamalarının da tüketim durumuna bağlı olarak artmasıyla metan miktarındaki değişimi etkileyerek, hayvansal atık miktarının ve sera gazının etkisini artırdığı için küresel ısınma problemiyle karşı karşıya kalmamıza neden olmuştur. Artan arz talep dengesini sağlamak için yapılan yetiştiricilik verime yönelik olup günümüzde 20 milyardan fazla hayvan bulunduğu tahmin edilmektedir.

Küresel ısınma sanayi devrimi ile birlikte başlamış olup 20.yy itibarıyla dünya nüfusundaki artışı, bilinçsizce yapılan tarım ve hayvancılık uygulamalarından dolayı CO_2 , CH_4 ve N_2O gibi sera gazlarının emisyonunun artması ile karşı karşıya kalınmıştır. (Doğan, 2005).

Enterik fermantasyon; hayvanlarda sindirim sistemindeki mikroorganizmalar tarafından tüketilen yemin fermentasyonu olarak tanımlanmaktadır (Moss ve ark., 2000). Enterik fermantasyon, metan emisyonlarının %59,84'ünü oluşturur ve bunu pirinç yetiştirme gibi diğer tarımsal faaliyetler ve gübre yönetimi ile ilgili emisyonlar izlemektedir (Karakurt ve ark., 2012).

Genellikle hayvan beslemede yapılan hatalardan biri olan süt ineklerinin rasyonunda kalitesiz kaba yem kullanımıyla hayvanın verimini olumsuz yönde etkilediği ve bu yöntemin metan emisyonlarını artırdığı bilinmektedir. Bu olumsuz etkilerden dolayı, besin içeriği açısından iyileştirilmiş yemler veya biyo-kimyasal olarak işlenmiş saman gibi alternatif kaba yem kullanılması, süt verimini olumlu yönde etkileyerek, rasyonda nitrojen kullanımı ve süt ineklerinden enterik metan emisyonunu azaltmak için çok önemlidir. Besin içeriği açısından iyileştirilmiş yemler veya biyo-kimyasal olarak işlenmiş alternatif kaba yemlerle beslenen ineklerde, idrardan dışkıya nitrojen atılım yolunu değiştirmenin yanı sıra günlük süt verimi başına metan üretiminin azalmasına neden olarak metan emisyonunu azalttığı bilinmektedir (Mekuriaw ve ark., 2020).

Metan oluşturan mikroorganizmalar çok düşük (>%50) düzeyde oksijen içeriğine, yüksek nem ve nötr veya hafif alkali ortama ihtiyaç duymaktadırlar (Stępniewska ve ark., 2004). Metanojenler (metan oluşturan mikroorganizmalar) için en yaygın yaşam alanları sulak alanlar, pirinç tarlaları, sıvı gübre, önemli miktarda organik madde içeren topraklar ve geviş getirenlerin gastrointestinal sistemleridir (Nosalewicz ve ark., 2011). Hayvancılık sektörünün küresel antropojenik sera gazı emisyonlarının %18'inden sorumlu olduğu tahmin edilmektedir. Metan kayıpları, hayvancılık üretiminden kaynaklanan toplam sera gazının %30-50'sini temsil eder ve geviş getirenlerin katkısı yaklaşık %80 olduğu bildirilmiştir (Bayat ve Shingfield, 2012). Metan emisyonu sığır, koyun ve keçileri için çoğunlukla brüt enerji alımının %5,5-6,5'ini ifade ettiğini belirtmişlerdir (Johnson ve Ward, 1996).

Rumendeki mikroorganizmaların salgıladığı enzimler sayesinde, yemlerle alınan besin maddeleri fermente olarak et ve süt gibi hayvansal gıdalara dönüşmektedir. Başka bir ifadeyle, tüketilen karbonhidrat kaynakları rumende fermante olarak uçucu yağ asitleri, hidrojen ve karbondioksit açığa çıkmaktadır. Uçucu yağ asitleri hayvanların enerji ihtiyacını karşılamak üzere kullanılırken hidrojen ve karbondioksit metanojenik mikroorganizmalarca metan gazı üretiminde kullanılmaktadır (Van Zijderveld ve ark., 2010).

Ruminant çiftlik hayvanları günde 250-500 l metan üretebilir. Ruminantların ürettiği yıllık metan gazının küresel ısınmadaki payı, CO_2 'ye göre 21-25 kat daha fazla olduğu birçok çalışmada belirtilmiştir. Bu üretim seviyesi, sığırların küresel ısınma problemiyle önümüzdeki 50-100 yıl içinde meydana gelebilecek katkının %2'den az olacağı tahmin edilmektedir (Leng, 1993).

Metan emisyonunu etkileyen başlıca faktörler; yem tüketim düzeyi, rasyondaki karbonhidrat türü, yemin işlenmesi, rasyona lipit veya iyonofor eklenmesi ve rumen mikroflorasındaki değişiklikler olarak söylenebilmektedir. Faktörlerin manipüle edilmesi ile sığırlardan gelen metan emisyonları azaltılabilmektedir. Ayrıca bireysel veya hayvan gruplarından kaynaklanan metan emisyonlarını ölçmek için birçok teknik mevcuttur. Metan üretimini tahmin etmek için fermentasyon dengesi veya yem özelliklerine dayalı tahmin denklemleri kullanılabilir (Johnson ve Johnson, 1995). Hayvan gruplarından metan üretimi, kütle dengesi, mikrometeorolojik veya izleyici yöntemlerle ölçülebilir. Bu teknikler, kapalı veya açık alanlarda bulunan hayvanlardan gelen metan emisyonlarını ölçebilmekte, sığırların neden olduğu metan emisyonunu azaltmak için kullanılabilir (Johnson ve Johnson, 1995; Mohajan, 2011). Doğadaki metan salınımının doğru tahmini ruminant hayvan sayısına ve yapılan besleme yöntemine, hayvanların türüne, canlı ağırlığına ve verim düzeyine bağlı olarak yapılabilir. Verimli hayvanlar ortalamadan daha az kaba yem tüketir buna bağlı olarak daha az miktarda CH_4 ve N_2O üretimi tahmin edilmektedir. Başka bir ifadeyle, hayvan başına kaba yem yem tüketiminin oransal olarak rasyonda düşürülmesiyle CH_4 emisyonunun azalacağı tahmin edilebilmektedir. Kaba yem tüketiminin istenmeyen bir hayvansal ürün olan enterik CH_4 'a (geviş getiren hayvanlarda metan emisyonu) dönüştürülmesinin etkinliğinin önemli bir husus olarak ortaya çıktığı görülmüştür (Molano ve Clark, 2008; Waghorn ve Hegarty, 2011).

Metan Emisyonunun Etkileri

Metanın Çevre Üzerinde Etkisi

Metan, küresel ısınmaya neden olan ikinci büyük sera gazı olarak yer almaktadır. Karbondioksit (CO₂), metan (CH₄), azot oksit (NO₂) ve kloroflorokarbon (CFC) gazları başlıca sera gazlarıdır (Aksayve ark., 2005; Aydın, 2008; Aydınve ark., 2011). Bu sera gazlarına karbondioksitin türevleri de denilmektedir. Sera gazındaki artış küresel ısınmayı etkilemekte böylece ozon tabakasının incelmeye neden olmaktadır. Ayrıca antropojenik sera gazı emisyonlarının yaklaşık %16'sını metan oluşturmaktadır. Antropojenik metan emisyonları; tarım, enerji, atık ve sanayi sektörlerinde gözlenmektedir (Aydın ve ark., 2011).

Metan hem troposferik hem de stratosferik kimya için önemlidir ve ozon, su buharı, hidroksil radikali ile birçok bileşiğin seviyelerini önemli ölçüde etkiler. Metan stratosferdeki su buharı ve ozon konsantrasyonlarını da etkilemekte ve stratosferde reaktif klorun daha az reaktif HCl'ye dönüşmesinde önemli derecede rol oynamaktadır. Sıcaklık ile doğru orantılı olduğu için, atmosferdeki CH₄ oranının artması ile sıcaklığın artmasından dolayı küresel ısınma gözlenerek, buzulların erimesi hızlanmakta böylece deniz seviyesinde ani yükselmelere neden olmaktadır (Petit ve ark., 1999; Wuebbles ve Hayhoe, 2002).

Atmosferdeki CH₄ emisyonu önümüzdeki on yıl içinde küresel sıcaklıkta yaklaşık 1-2°C artışa neden olabileceği bildirilmektedir (Dickens ve ark., 1997). Atmosferde bulunan CH₄ miktarı, CO₂ miktarından daha düşük olmasına rağmen ısıyı hapseden miktarının daha fazla olmasından dolayı daha zararlıdır Her bir sera gazı farklı miktarlarda ısıyı hapseder ve farklı süreler boyunca atmosferde kalır. Bu nedenle, gazlar arasında karşılaştırma yapmak için küresel ısınma potansiyeli (GWP) ölçülerine ihtiyaç duyulmaktadır (Mohajan, 2011).

Son yıllarda atmosferdeki sera gazı olan metan oranının artmasına neden olan fosil yakıtların kullanımı, enerjinin üretimi, taşınması, dönüşümü ve kullanımı, endüstriyel faaliyetler ve arazi kullanımındaki değişikliklerden kaynaklanarak atmosferde birikmekte ve uzun süre sonra atmosferin kimyası ile iklim yapısını değiştirerek küresel ısınmaya neden olmakta ve ozon tabakasına zarar vermektedir (Wuebbles ve Hayhoe, 2002; Aydın ve ark., 2011). Bu artışa tepki olarak atmosferik metan konsantrasyonları 2-3 kat artmıştır ve halen yükselmeye devam etmektedir. İklim değişikliği sonuçlarından bazıları kuraklığın, yağışlı bölgelerde ani ve yoğun yağışın ve mevsime bağlı olayların artacağı ifade edilmektedir (Koyuncu, 2017).

Metanın olumsuz özellikleri bulunduğu gibi olumlu özellikleri de bulunmaktadır. Bunlardan biri ise; kızılötesi radyasyonu absorbe ettiği için çevrenin korunmasında önemli rol oynamaktadır (Stern ve ark., 2007).

Metanın Hayvancılık Üzerinde Etkisi

Hayvancılıkta üretilen CH₄ emisyonu geviş getirenlerde %80 oranında olduğu tahmin edilmekle birlikte, geviş getirmeyen hayvanlarda (tavuk, domuz vb.) %8-9 oranında olmaktadır (Gerber ve ark., 2013; Opio ve ark., 2013). Hayvancılıkta üretilen başlıca sera gazları karbondioksit (CO₂), metan (CH₄) ve azot oksit (N₂O)'tir (Haque, 2018). Ruminant hayvanlar ise; dünya çapında

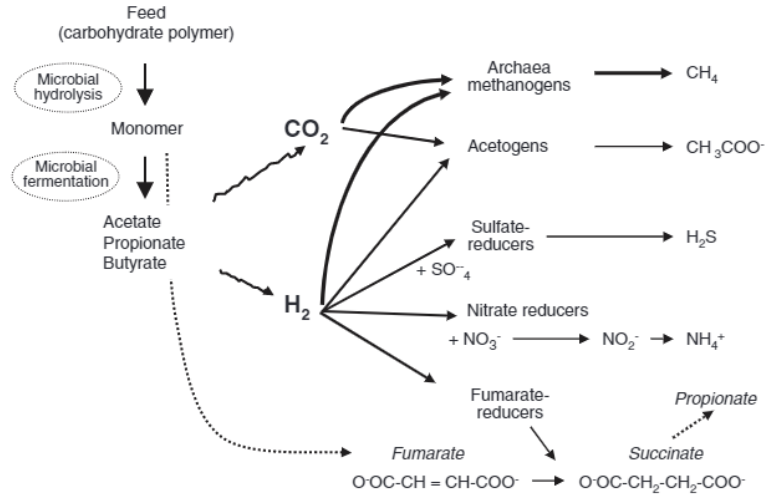
enterik metan emisyonlarının en önemli kaynağını oluşturmasından dolayı küresel ısınma için önemli bir endişe kaynağıdır. Ruminantlar (sığır, keçi ve koyunlar) CH₄ üretimine önemli derecede etki etmekte ve bu emisyonlar dışkı, idrar ve geçirme yolu ile vücuttan atılmaktadır. Ruminant hayvanlarda CH₄ üretimi, rumen fermantasyonunun doğal ve kaçınılmaz bir sonucu olarak gerçekleşmekte olduğu için emisyon engellenemez ancak belli yöntemlerle azaltılabileceğine dikkat edilerek yapılan çalışmaların artırılması gerekmektedir.

Metan, rasyonda önemli bir bürüt enerji kaybına neden olmaktadır, dolayısıyla enterik CH₄ üretimini azaltmak, yemden yararlanma oranını da artırabilir (Beauchemin ve ark., 2009). Besin zincirinde önemli yer tutan ruminant hayvanlar ve onlardan sağlanan ürünler artan talebe yanıt verirken, sera gazı emisyonlarının azaltılması için de çalışmaların yapılması gerekmektedir. Ruminant hayvanların lifli yemeleri midelerinde yaşayan mikroorganizmalar vasıtasıyla fermente ederek, insan tarafından yenmeyen ürünleri yenilebilir ürünlere dönüştürme yeteneği vardır. Ancak ruminant hayvanların et, süt ve döl verimi gibi verimleri vermesinin yanı sıra CH₄ emisyonu ile kirliliği artırarak çevre, hayvan ve insan sağlığını olumsuz etkilediği de unutulmamalıdır (Dijkstra ve ark., 2011).

Ruminantlar hayvanları rumenlerinde yer alan, başta bakteri, protozoa ve mantar olmak üzere farklı mikroorganizma türleri insan tarafından tüketilmeyen lignoselüloz besinlerin sindiriminde önemli rol oynamakta böylece; karbonhidrat kullanımı ile mikrobiyal protein sentezi olmaktadır. Rumende meydana gelen mikrobiyal aktivite sonucunda, rumendeki mikroorganizmalar için yararlı olan uçucu yağ asitleri (UYA) ve mikrobiyal protein elde edilmesinin yanı sıra, CH₄ ve CO₂'de üretilmektedir (Moumen ve ark., 2008). CH₄, rumende organik madde fermantasyonunun bir yan ürünü olarak üretilir ve brüt enerjinin (BE) %2-12 arasında kaybına neden olarak ruminantların performansını olumsuz yönde etkiler (Ingale ve ark., 2013).

Metan emisyonu aynı zamanda rasyondaki enerji kaybıyla da ilişkili olduğu için yem verimini düşürerek; et, süt, döl verimini, süt yağı, canlı ağırlık ve hayvan sağlığını olumsuz yönde etkilemekte ayrıca hastalıklara karşı direnci de azaltabilmektedir. Ancak CH₄ ve ruminal fermantasyona katkı sağlamak için, rumende karbondioksit miktarını azaltarak hidrojen kullanan metanojenler tarafından üretilmektedir (Beauchemin ve ark., 2009).

Birim hayvan başına verim artışının sağlanabilmesi amacıyla hayvanlarda farklı yemleme stratejileri yapılarak hem verim artışı hem de metan emisyonunun azaltılması sağlanabilir. Yağ bakımından zengin yemlerin (yağlı tohumlar gibi), biyolojik olarak aktif bitki bileşiklerinin (yoğunlaştırılmış tanenler, saponinler ve uçucu yağlar), rumen fermantasyon değiştiricilerinin (maya ve bakterilerle beslenen mikrobiyallerin) diyeteye dahil edilmesi yem kalitesindeki iyileştirmelerin yanı sıra ruminantlardan kaynaklanan metan emisyonlarında daha fazla azalış gözlenebilir (Beauchemin ve ark., 2009). Ancak üretim döngüsündeki herhangi bir potansiyel azaltma uygulamalarının yapılabilmesi için tüm yaşam döngüsünün değerlendirilmesi gerekir (Beauchemin ve ark., 2009).



Şekil 1. Rumende bulunan polisakaritlerin mikrobiyal fermantasyonu ve H₂ indirgeme reaksiyonu (Morgavi ve ark., 2010)

Figure 1. Microbial fermentation of polysaccharides in the rumen and H₂ reduction reaction (Morgavi et al., 2010)

Rumendeki metanojenez ve metan üretimi şekil 1'de gösterildiği gibi; yemler (polimer) mikrobiyel hidrolizle yapıtaşlarına (monomer) ayrılmakta, oluşan monomerler ise mikrobiyal fermantasyonla; asetat, propiyonat ve bütirata kadar parçalanmaktadır. Daha sonra oluşan CO₂ veya H₂ rumendeki metanojenez sağlayan bakteriler tarafından CH₄'e dönüştürülmektedir.

Ruminantlardan kaynaklı oluşan CH₄ emisyonu küresel ölçekte hayvancılık sektöründeki emisyonun %30-35 ini temsil etmektedir (Haque, 2018). Süt ineklerinde CH₄ emisyonunun 151-497 g/gün arasında değişmesiyle birlikte, laktasyondaki ineklerde CH₄ salınımı (354g/gün) kurudaki ineklerden (269 g/gün) ve düvelerden (223 g/gün) daha fazladır. Ayrıca gübrelenmiş merada (223 g/gün) otlayan ineklerde verimsiz merada (179 g/gün) otlayanlara nispeten CH₄ emisyonu daha fazla olmaktadır (Broucek, 2014). Dışkı kaynaklı CH₄ emisyonu, dışkının şekline, sindirilebilir besin madde miktarına, iklimden kaynaklı oluşan bozulmadan kaldıkları süreye bağlıdır. Süt ineklerinde depolama havuzundan çıkan yıllık CH₄ emisyonu 120 kg /inek olarak bildirilmiştir (Broucek, 2014).

Ruminantlarda CH₄ üretimini rasyondaki karbonhidrat türü, sindirim sisteminden geçiş hızı, rasyondaki iyonofor veya lipid varlığı ve ortam sıcaklığı gibi faktörler ile yem tüketimi, yemlerin türü ve kalitesi, rasyondaki enerji miktarı, hayvanın boyutu, büyüme oranı, üretim seviyesi ve çevre sıcaklığı gibi etkileyen birçok faktör bulunmaktadır (McAllister ve ark., 1996; Broucek, 2014).

Rasyon değişimi rumendeki fermantasyonda son ürünlerin değişimine neden olduğu için metan emisyonunu azalttığı birçok çalışmada belirtilmiştir. Metan emisyonunu azaltmak için rumen manipülasyonu, rumen fermantasyonunun değiştirilmesi, rumen mikrobiyal biyoçeşitliliğinin farklı yollarla ve nadiren hayvan manipülasyonları ile değiştirilmesi gibi birçok çalışma yapılmış olup bu çalışmalar kesin olarak yeterli bir çözümün bulunmasına neden olmadığından dolayı sürdürülebilir metan emisyonu azaltmak için bu konu hakkında daha çok araştırma yapılması gerekmektedir (Haque, 2018).

Metanın İnsan Üzerinde Etkisi

Metan, tüm atmosferik kimyada merkezidir. Metan emisyonu küresel ısınmaya neden olduğu için küresel ısınmanın insan sağlığı üzerine etkileri ile hemen hemen benzer olumsuz etkileri göstereceği tahmin edilmektedir. İklimin ve çevrenin değişimi, virüs ve mikropların taşınmasını, ekolojii ve bitkisel ve hayvansal üretim alanlarını etkilemektedir. Artan CH₄ ile birlikte iklimdeki değişikliğe duyarlı olan yağış ve sıcaklık; hastalıkları, yetersiz beslenmeyi ve salgınları artırmaktadır. Özellikle sıcaklıkların yükselmesi ve düzensiz yağış dağılımı; hastalığa neden olan tehlikenin (virüs, enfeksiyon vb.) dağılımını da değiştirecektir. İklim değişikliğinden dolayı kuş gripinden sarıhummaya kadar olan bir düzine hastalık yabani hayvanlar yoluyla yayılmaktadır. Yiyecek ve su yoluyla oluşan (mikrop veya virüs) hastalıkların çoğunun taşınması ağız-ve dışkı yoluyla olmaktadır. İklim, virüs ve mikropların oluşmasını, sabit kalmasını, yaşamını devam ettirmesini ve taşınmasını direk olarak etkilemektedir (Çelik ve ark., 2008).

İnsanlarda da metanojenler, bağırsak mikrobiyal ekosistemlerinin önemli bir bileşenidir. Metanojenler, metan üretmek için hidrojeni okside eder ve karbonhidrat substratlarının fermentasyonunu sağlar, bu da kısa zincirli yağ asitlerinin üretimine ve adsorbsiyonuna yol açtığı için kabızlık veya irritabl bağırsak sendromuna (IBS) yol açtığı için obeziteye neden olabilmektedir (Pimentel ve ark., 2012).

Enterik Metan Emisyonunun Azaltılmasında Kullanılan Besleme Stratejileri

2050 yılına kadar, hızla büyüyen dünya nüfusu için artan süt ve et talebine bağlı olarak ruminant hayvanlarda toplam CH₄ emisyonunun önemli ölçüde artması beklenmektedir. Bu yüzden bir sera gazı olan CH₄ emisyonunun azaltılması büyük önem taşımaktadır (Gerber ve ark., 2013).

Enterik metan (CH₄) emisyonunu azaltmak için çeşitli beslenme stratejileri ile ilgili araştırmalar yapılmaktadır. Rasyon tahıl seviyesinin artırılması, lipitlerin dahil edilmesi ve iyonoforlarla takviye (>24 ppm) gibi stratejiler

bunlar arasında yer almaktadır. Ayrıca iyileştirilmiş mera yönetimi, ot silajının mısır silajı ile değiştirilmesi ve baklagillerin kullanılmasının CH₄ emisyonu ile birlikte, sülfür hekzaflorür (SF₆), hidroflorokarbon (HFC) ve perflorokarbon (PFC) emisyonunu azaltabileceği tahmin edilmektedir.

Rasyona saponin ve tanen ilavesi, maya kültürlerinin seçimi ve selüloz parçalayıcı enzimlerin kullanımı gibi çeşitli yeni yöntemler CH₄ emisyonunu azaltabilmektedir (Beauchemin ve ark., 2009). Rasyondaki protein içeriğinin azaltılması dışkı ve idrarda nitrojen atılımını azaltır ancak metan üretimi üzerindeki etkisi daha az olmaktadır (Dijkstra ve ark., 2011). Rumen fermantasyonunda yapı taşı olan nişastanın artması ile metan üretimini düşürebilmekte iken rasyondaki lif seviyesinin yükselmesi ile birlikte CH₄ emisyonu artabilmektedir. Çiftliklerde CH₄ emisyonunun azaltılabilmesi için azot salınımı ve metan üretimi arasındaki ilişkinin hayvan bazında anlaşılması gerekir (Dijkstra ve ark., 2011).

Metan Emisyonunun Azaltılması

CH₄ emisyonu ile beslenme stratejileri arasında, rasyon değişikliğiyle daha yüksek verim ile daha düşük CH₄ emisyonunu sağlayabilen basit ve kullanışlı bir yaklaşım olduğu düşünülmektedir. Rasyondaki değişimin derecesine ve yapısına bağlı olarak CH₄ emisyonunu %40'a kadar azaltabilmektedir (Benchaar ve ark., 2001).

Rasyon değişikliğindeki stratejiler iki ana kategoriye ayrılmaktadır; bunlardan ilki yem kalitesinin iyileştirilmesi veya rasyonun kaba: kesif yem oranının değiştirilmesi, ikincisi ise metanojenleri doğrudan inhibe eden yem katkı maddelerinin rasyona ilavesiyle yapılabilmektedir (Haque, 2018). Yem kalitesinin rumendegeç bitkiler gibi yüksek kaliteli yemlerin fermantasyon yolu değiştirilerek metan üretimini azaltabilmekte olduğu belirtilmiştir. Bu yemlerde daha yüksek miktarlarda kolayca fermantasyona uğrayan karbonhidrat ve daha az NDF içerdiği için daha yüksek sindirilebilirlik ve absorpsiyon gözlenmektedir (Beever ve ark., 1986). İleri vejetasyon döneminde olan bitkilerde ise selüloz içeriğinin yüksek olması yemin sindirilebilirliğini azaltmakta ve C:N oranının artmasından dolayı daha fazla CH₄ emisyonuna neden olabilmektedir (Milich, 1999).

Farklı yem türlerinde CH₄ emisyonunun farklı olmasının nedeni kimyasal bileşimdeki farklılıklardan kaynaklanmaktadır (Benchaar ve ark., 2001). Düşük lif içeriği ve yüksek kuru madde miktarından dolayı baklagil yem bitkilerinde absorpsiyon hızlı olduğundan CH₄ emisyonu az olmaktadır (Beauchemin ve ark., 2008). Ayrıca yemin işlenme durumu da CH₄ emisyonunu doğrudan etkilemektedir. Örneğin; öğütülmüş ya da peletlenen yemler daha küçük partiküllerden oluştuğu için CH₄ emisyonu azalmaktadır (Boadi ve ark., 2004). Yine farklı bir çalışmada da benzer bir durum belirtilmiş olup yemlerin öğütülmesi ve peletlenmesi, metan üretiminin önemli ölçüde azaltabileceği ifade edilmiştir (Moss ve ark., 2000). Bu etkiler, yem tüketimi sırasında belirgin değildir ancak bu durumu rasyon içeriği ile ilgili olabileceği belirtilmiştir. Rasyonda yüksek oranda öğütülmüş yemlerin tüketimi ile metan salınımı %20-40 oranında azaltılabilir. Öğütülmüş veya peletlenmiş yemlerin artan geçiş hızı, muhtemelen metan üretiminin azalmasına katkıda bulunmaktadır. Peletleme, büyük ölçüde metan salınımını azaltabilir, ancak peletlemenin etkisi en çok düşük kaliteli

yemlerde daha belirgindir (Hironaka ve ark., 1996). Nötr deterjan lifi (NDF) tüketiminin az olması ile ilişkili azalmış süt yağı konsantrasyonu daha fazla asidoz oluşumu nedeniyle, yemlerin ince öğütülmesinin ekonomik olmadığı da kanıtlanmıştır (Boadi ve ark., 2004). Yayılan CH₄ ile kuru madde tüketimi (KMT) arasındaki ilişki farklılık gösterebilmektedir, ancak kuru madde tüketimi arttıkça CH₄ salınımının azaldığı rapor edilmiştir (Knapp ve ark., 2014).

Silolan yemlerde kısmi fermantasyon olduğundan dolayı metanojeniz ve CH₄ emisyonu daha az olmaktadır (Boadi ve ark., 2004). Genç bitkiler daha düşük selüloz ve daha yüksek çözünür karbonhidrat içeriğinden dolayı yem kalitesini olumlu yönde etkilediği; az miktarda tahılın bulunduğu rasyonları kullanmanın CH₄ emisyonunu azaltmada önemli rol oynadığı bildirilmiştir (Haque, 2018).

Yüksek verimli süt ineklerin de kolayca fermente edilebilen karbonhidrat (nişasta ve şeker gibi) içeriğine sahip yem tüketimi propiyonik asit üretimini destekleyerek CH₄ emisyonunu azaltmaktadır (Martin ve ark., 2010). Beslemede yüksek tahıl içeriğine sahip rasyonların kullanılması durumunda bürüt enerji kaybını (GEI) %6-7 oranında düşürmektedir. Bu durum CH₄ emisyonu ile ilgili olarak (>%90) %2-3 düştüğü bildirilmiştir (Johnson ve Johnson, 1995).

Yem alımı ile CH₄ 'ün neden olduğu enerji kaybı arasındaki ilişki, korunmuş yemlerle beslenen (silajlar ve tahıllar) hayvanlara uygulanmaktadır (Hammond ve ark., 2013). Rasyonun kaba-konsantre yem oranı, rumen fermantasyonu üzerinde etkili olmakta, konsantre yem oranı ile asetat: propiyonat oranının azalması nedeniyle, yüksek konsantre rasyonla beslemenin CH₄ üretimini azaltacağı bildirilmiştir (Bannink ve ark., 2011).

Rasyonda bulunan nişasta, amilolitik bakterilere geçiş ve rumen pH'sında azalma yoluyla propiyonat oluşumunu desteklemekte ve metanojeniz olayında da azalmaya yol açmaktadır (Van Kessel ve Russell 1996; Hegarty, 1999). Ayrıca propiyonatin, üretilen asetat miktarını artırarak hücre duvarı lifinin sindirilmesini ve CH₄ üretimini artırdığı da belirtilmiştir (Johnson ve Johnson, 1995). CH₄ emisyonundaki artış, metanojeniz için metil grubu sağlayan asetatin fermantasyonundan kaynaklanmaktadır (Hegarty, 1999).

Hidrojen üretimi ve kullanımı ile ilgili metabolik yollar ve metanojenlerin aktivitesi, ruminantların metan emisyonlarını kontrol altına almak için yeni yöntemler geliştirilmeli ancak yem fermantasyonu etkilenmeden hidrojen üretiminin azaltılması sağlanmalıdır. Metanojen aktivitesinin ve/veya sayıların azaltılması için hidrojeni tüketen yolların eşzamanlı olarak uyarılmasıyla yapılabilmektedir (Moumen ve ark., 2016).

Yemin mikrobiyal fermantasyonu sırasında üretilen hidrojen gazı, metan üretimi sırasına enerji kaynağı olarak kullanılır. H₂'nin bitki materyalindeki mikrobiyal bozunması üzerindeki önleyici etkisini ortadan kaldırarak fermantasyon oranını arttırdığı varsayılmaktadır (McAllister ve Newbold, 2008).

Düşük veya yüksek kaliteli yemleri enerji ve protein takviyeleri ile desteklemenin, mikrobiyal büyüme verimliliğini ve sindirilebilirliğini arttırdığı böylece süt ve et üretiminin de arttığı bildirilmiştir (Martin ve ark., 2010). Rasyondaki yapısal olmayan karbonhidrat seviyesinin

(%25 oranında) arttırılması, metan üretimini %20'ye kadar azaltmakta ancak asidoz, laminit ve üreme sorunları gibi bazı problemlere neden olabilmektedir. Verimi arttırmak ve birim ürün başına metan emisyonlarını azaltmak için yüksek kaliteli yemlerle besleme yapılması ayrıca besin madde içeriği olarak rasyonun değiştirilmesinin etkili olacağı bildirilmiştir (Moumen ve ark., 2016).

Pirinç ve pirinç kepeği içeren toplam rasyondan metan emisyonları ile fermente edilmemiş TMR ile karşılaştırıldığında, fermente edilmiş (FTMR) sindirilebilirliği fazla olduğu gibi metan emisyonlarının azaldığını ve daha düşük enerji kaybına neden olduğu laktik asidin rumende propiyonik aside dönüşmesinin sonucunda oluştuğu bildirilmiştir (Cao ve ark., 2010).

Rasyona Yağ İlavesi İle Metan Emisyonunun Azaltılması

Rasyona yağ ilavesi genellikle yüksek verimli süt ineklerinin enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla rasyonun enerji içeriğini arttırmak için kullanılmaktadır. Son zamanlarda metan emisyonunun azalması için yağlar kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle sıcaklık stresinin olduğu sıcak yaz aylarında sıcaklık stresinin azaltılması ve hayvanlarda yem tüketiminin de yetersiz olmasından dolayı ihtiyaçlarının karşılanması amacıyla kullanılabilir. Süt sığırlarında doğumdan sonraki ilk aylarda yüksek verim döneminde negatif enerji dengesinin etkisinin de azaltılması amacıyla da rasyonda yağ kullanımı önerilmektedir. Ruminant hayvanlardaki rasyonda kullanılan karbonhidratın yerine yağ kullanıldığı zaman daha az fermentasyon görüldüğü için daha az CH₄ emisyonu olmaktadır. Yağın CH₄ baskılayıcı mekanizması organik madde fermentasyonunun, selülozun sindirilebilirliğini ve dolayısı ile metanojenik yolun azaltılması ve doymamış yağ asitlerinin (oleik, linoleik, linolenik ve araşidonik asit) hidrojenasyonu yoluyla rasyondaki metanojenlerin doğrudan inhibisyonu ile emisyon azaltılmaktadır (Johnson ve Johnson, 1995). Ruminant hayvanların rasyonlarına yağ ilavesinin CH₄ emisyonunun azaltılmasında kalıcı olduğu birçok çalışmada belirtilmiştir.

CH₄ emisyonunun en fazla azalması dehidrojenasyon yoluyla rasyonda bir hidrojen kaynağı görevi gören doymamış yağ asitlerinden gelmektedir. Ancak diğer çalışmalar hidrojenasyonun rasyondaki hidrojenin sadece %1'ine katkıda bulunduğunu bildirmiştir (GigerReverdin ve ark., 2003). Yağ asitleri arasında Hindistan cevizi veya hurma yağından elde edilen orta zincirli C8:C14 yağ asitleri, CH₄'ün emisyonunun azaltılmasında en etkili yollardan biri olarak yer aldığı bildirilmiş ve rasyonda kullanılan yağlar metabolize edilmediğinden metanojeneze katkıda bulunmadığı ifade edilmiştir (Jenkins, 1993; Johnson ve Johnson, 1995).

Ruminant hayvanların beslenmesinde yağ kullanımının birçok avantajı bulunmasının yanında belirli oranların üzerinde kullanılması bazı sorunlara neden olabilmektedir. Ruminant hayvanların rasyonlarında ortalama %5-6 yağ kullanılabileceği belirtilmiştir. Fazla kullanılması durumunda yağın selüloolitik bakteriler ve protozoa üzerindeki toksik etkileri nedeniyle karbonhidrat fermentasyonunu azalttığını, nişasta fermentasyonunu ise etkilemediğini bildirmişlerdir (Doreau ve Chilliard, 1997; Grainger ve Beauchemin, 2011).

Rasyona Organik Asit İlavesi İle Metan Emisyonunun Azaltılması

Karbonhidratların parçalanması sonucu oluşan organik asitlerin rasyona eklenmesi CH₄ emisyonunun azaltılması için potansiyel yem katkı maddeleri olarak önerilebilir. Organik asitler hidrojen kaynağı gibi davranarak rasyonda propiyonik asit üretimini uyarır ve böylece CH₄ emisyonunu azaltmada etkilidir (Castillo ve ark., 2004). Ayrıca ruminant rasyonlarında propiyonat hidrojen kaynağı olarak görev aldığı için CH₄ emisyonunu %17 oranında azalttığı da bildirilmiştir (McAllister ve Newbold, 2008). Ek olarak fumarat (3,5g/l) rasyonda substrat olarak kullanıldığında CH₄ emisyonunu %38 azaltmıştır (Kolver ve ark., 2004). Bununla birlikte rasyona birden fazla propiyonat formunun dahil edilmesi CH₄ emisyonlarında azalmaya neden olmaktadır (Ungerfeld ve ark., 2007; McAllister ve Newbold, 2008).

Et verim yönlü yetiştirilen sığırlarda yapılan çalışmada metan azalması gözlemlenmemesine rağmen fumarat ile rasyon fermentasyonunun olumlu yönde etkilendiği bildirilmiştir (Beauchemin ve McGinn, 2006). Organik asit takviyesi çoğunlukla *in vitro* olarak CH₄ üretimi için test edilmiş ve çalışmalar sonucunda elde edilen bulguların birbiriyle uyumlu olmadığı söylenebilmektedir. Sığırların yüksek kaliteli kaba yemlerle beslenmesi performansın artmasına, günlük kuru madde alımının ve birim ürün başına salınan CH₄'ün üretiminin azalmasına neden olabileceği bildirilmiştir (Lascano ve Cárdenas, 2010).

Aspartat, malat ve fumarat gibiüzere organik asitler, rumende H₂ alıcısı olarak görev yapmakta ve elektron kullanan rumendeki bakteriler tarafından indirgenmekte böylece CH₄ üretimi azaltılabilmektedir (Newbold ve ark., 2005). Zhang ve ark., (2008) ise; C₁₈ yağ asitlerinin rumen fermentasyonunu, metan emisyonu ve ruminal mikrop popülasyonları üzerindeki etkilerini incelemişler, doymamış C₁₈ yağ asitlerinin metan oluşumunda rumen mikroorganizmalarına doğrudan etki ederek metanojenezi baskıladığını bildirmişlerdir. Ancak Molano ve ark., (2008)'e göre kuzu rasyonlarına fumarat ilavesinin, günlük kuru madde alımının azalması ile sonuçlanırken, CH₄ emisyonları üzerinde hiçbir etkisi olmadığını bildirmişlerdir.

Rasyona Uçucu Yağ İlavesi İle Metan Emisyonunun Azaltılması

Uçucu yağlar, rumendeki mikroorganizmaların büyümesini ve hayatta kalmasını engelleyen çok güçlü antimikrobiyal özelliklere sahip bitki ikincil metabolitleri içeren uçucu aromatik ve lipofilik bileşikler olarak adlandırılmaktadır (Greathead, 2003; Burt, 2004; Tamminga ve ark., 2007; Benchaar ve ark., 2008).

Uçucu yağların etki şekli esansiyel yağlara göre farklılık göstermekte (Benchaar ve Greathead, 2011) ve tüm uçucu yağlar güçlü antimikrobiyal özelliğe sahip olan terpenoidler, fenolik ve fenoller gibi kimyasal bileşenler içermektedir. Metanojenez, uçucu yağın uygulanmasıyla, özellikle mikrobiyal popülasyonları azaltarak CH₄ emisyonunu azaltmaktadır (Newbold ve ark., 2004).

Rasyon yağı, konsantrelerin aksine rumen pH'sını düşürmeden ruminal metanojenezi baskılamaktadır (Sejian ve ark., 2011). Yağ asitleri ve sıvı yağlar gibi lipidlerin, metanojenez üzerindeki etkisi için hem *in vitro* hem de *in vivo* yem takviyeleri yapılabilmektedir. Ruminant

rasyonlarına yağ eklenmesi, CH₄ emisyonunu *in vitro* olarak %80'e kadar, *in vivo* olarak yaklaşık %25 oranında azaltılabilir (Moumen ve ark., 2016). Bir çalışmada, metan emisyon oranının kontrol grubuna kıyasla yağ katkılı rasyonla beslemesiyle %50,1'e kadar azaldığı bildirilmiştir (Chuntrakort ve ark., 2014).

Hindistan cevizi çekirdeği, ayçiçeği tohumu ve pamuk tohumu gibi yağlı bitkilerin rasyona dahil edilmesi, enterik CH₄ emisyonunu azaltmada kullanılmaktadır (Manasri, ve ark., 2012; Chuntrakort ve ark., 2014). Hindistan cevizi yağı, metan azaltma deneyleri için en popüler yağdır ve metanojenizde önemli azalmalara neden olduğu bulunmuştur. Bu azalma ruminant rasyonlarında hindistan cevizi yağı kullanıldığı zaman %13-73 arasında değişmektedir (Machmüller ve ark., 2000).

Yemdeki artan yağ içeriğinin, protozoanın inhibisyonu, propiyonik asit üretiminin artması ve "doymamış yağ asitlerinin biyohidrojenasyonu" yoluyla metanojenizi azalttığı düşünülmektedir (Hegarty, 1999). Doymamış yağ asitleri, karbondioksitin indirgenmesinde hidrojen alıcıları olarak kullanılabilir (Johnson ve Johnson 1995). Yağ asitlerinin, hücre zarına bağlanarak metanojenleri doğrudan engellediği düşünülmektedir (Beauchemin ve ark., 2008). Metan azaltma stratejileri olarak lipitleri araştırmak için yapılan *in vivo* deneylerin çoğu kısa vadeli, bu durum sonuç çıkarmada yetersiz olabilmektedir.

Rasyonda İyonofor İle Metan Emisyonunun Azaltılması

Monensin gibi antibiyotikler, tipik olarak sığır eti ve süt sağırıcılığı üretiminde yem tüketimi düzenleme, yemden yararlanma oranı ve hayvan verimliliğini artırma için kullanılan antimikrobiyal bileşiklerdir (McGuffey ve ark., 2001). Monensin, propiyonat oluşumuna yardımcı olan eşdeğerleri azaltarak rumen fermentasyonunda asetat: propiyonat oranını artırdığı gibi, ruminal protozoayı da azaltabilmektedir. Bu antibiyotik rasyona ön karışım olarak veya yavaş salınan bir kapsül yoluyla eklenir ve antimetanojenik etkiye sahiptir (Beauchemin ve ark., 2008).

İyonoforlar (örneğin, monensin) performansı artırmak için geviş getiren hayvanlarda yaygın olarak kullanılan antimikrobiyallerdir (Hook ve ark., 2010). Yapılan bir araştırmada Monensin'in *in vitro* karışık rumen mikroorganizmaları tarafından metan üretimini baskıladığı gösterilmiştir (Van Nevel ve Demeyer, 1992). Monensinin rumen mikroorganizmaları üzerindeki seçici bir antimikrobiyal etkiye sahiptir. Monensin, rumende propiyonat üretiminde doğrudan engelleyen gram negatif mikroorganizmaları seçer (Russell ve Strobel, 1989). Bu nedenle, monensinin metanojenleri inhibe ederek metan üretimini etkilemediği, bunun yerine bakteri ve protozoanın büyümesini engelleyerek metanojen için bir substrat oluşturduğu düşünülmektedir (Martin ve ark., 1999). Rumen protozoa sayısı iyonoforlar tarafından azaltılmakta böylece CH₄ emisyonunda azalmaya neden olmaktadır (Tokura ve ark., 1999). İyonoforlar uzun süre uygulandığında iyonoforlar tarafından metan azalmasının yalnızca beslenmenin erken aşamasında meydana gelmektedir (Kobayashi, 2010).

İyonoforlar metanojenlerin çeşitliliğini değiştirmez, ancak bakteri popülasyonunu gram-pozitiften gram-negatifte değiştirir ve bunun sonucunda asetattan

propiyonata fermentasyonda değişikliğe neden olarak CH₄'de azalmaya neden olur (Hook, ve ark., 2009; Patra, 2012). Yüksek doz monensin, süt ve et sığırlarında CH₄ üretimini (g / gün) %4–10 arasında azaltır (McGinn ve ark., 2004). Monensin (33 mg / kg) ile beslenen sığırlarda protozoa sayısı ile ilişkili %30 CH₄ üretimin azaldığı bildirilmiştir (Guan ve ark., 2006). Mikroorganizmalar iyonoforlara uyum sağlayacağından iyonoforların CH₄ üretimi üzerindeki engelleyici etkileri zamanla devam etmeyebilmektedir (Johnson ve Johnson, 1995; Beauchemin ve ark., 2008). İyonoforların ülkemizde yem katkı maddesi olarak kullanılmasının yasaklanmasının göz ardı edilmeden bu konuda ayrıntılı araştırma sayısının artırılması ile daha etkili sonuçlar bulunabilecektir.

Rasyonda Probiyotik Kullanımı İle Metan Emisyonunun Azaltılması

Hayvan ve insan sağlığı için laktik asit üreticileri (*Lactobacillus plantarum*, *L. casei*, *L. acidophilus* ve *Enterococcus faecium*), asetat ve propiyonat üreticileri (*Selenomonas ruminantium* ve *Megasphaera elsdenii*) ve maya (*Saccharomyces cerevisiae* ve *Aspergillus oryzae*) gibi probiyotikler yaygın olarak kullanılabilir (McAllister ve ark., 2011). CH₄ azaltımı için probiyotiklerin kullanımı ile ilgili birçok araştırmada kullanılmaya başlanmış ancak CH₄ azaltması potansiyeli tam olarak belirlenememiştir (Lopez ve ark., 1999).

Saccharomyces cerevisiae bazlı probiyotikler, rumen fermentasyonunu, kuru madde alımını ve süt verimini iyileştirmek için geviş getiren hayvanların rasyonlarına eklenerek daha fazla kullanılmaktadır. Hayvan beslemede, rumen koşullarının iyileştirilmesi ve rumen de yararlı mikroorganizmaların artırılması gibi birçok avantajlarından dolayı yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Uygun fiyatları ve geviş getiren hayvan yetiştiriciliğinde yaygın kullanımları nedeniyle, CH₄ azaltıcı probiyotiklerin kullanımı tercih edilmektedir (Beauchemin ve ark., 2008). Probiyotikler mikrobiyal hücreler ve fermente ürünler arasında bozulmuş karbonhidratların parçalanmasına bağlı olarak artan bakteri sayısından dolayı H₂ üretimi ile birlikte CH₄ emisyonunun azaltmasında etkilidir (Newbold ve Rode, 2006).

Rasyonda Eksojen Enzimlerin Kullanımı İle Metan Emisyonunun Azaltılması

Selüloz ve hemiselüloz gibi enzimler ruminant hayvanların rasyonlarında kullanılmaktadır. Düzgün bir şekilde formüle edildiğinde, enzimler selüloz sindirilebilirliğini ve hayvanların performanslarını artırabilir (Beauchemin ve ark., 2003). Selüloz sindirilebilirliğini artıran enzimler genel olarak rumende bulunan asetat: propiyonat oranını düşürür ve dolayısıyla CH₄ üretimini azaltır (Eun ve Beauchemin, 2007).

Alternatif Olarak H₂ Azaltma

Nitrat ve sülfat gibi alternatif H₂ kaynakları, ruminant hayvanların temel olarak rasyonlarında düşük konsantrasyonlarda kullanılmaktadır. Alternatif elektron alıcıları olan nitrat ve sülfat yüksek indirgeme potansiyeline sahip olduğundan dolayı bazı rumen mikroorganizmaları için kullanılabilir (Kristjansson ve ark., 1982).

Metan emisyonunu azaltmak için ruminat hayvanların rasyonlarına nitrat takviyesi yapılabileceği gibi nitrat ve sülfatın indirgeme etkisinin CH₄ üretiminden daha fazla olduğunu bu durumda H₂'nin serbest kalmasını değiştirebileceğini göstermiştir (Ao ve Emeritus, 2008; Van Zijderveld ve ark., 2010). Ancak rasyonda kullanılan nitratın toksik etki edeceği göz ardı edilmemelidir. Bu toksik etki nitratın nitrite indirgenmesi yoluyla meydana gelir ve kan hemoglobininin oksijen taşıyamadığı bir durum olan methemoglobinemiye neden olmaktadır (Van Zijderveld ve ark., 2010). Rasyonda düşük miktarda nitrat kullanımı hayvan için güvenli olduğundan, nitrat takviyesi etkili bir CH₄ azaltma önlemi olabilir (Bruning Fann ve Kaneene, 1993). Son zamanlarda, nitrat ve sülfat, CH₄ emisyonunun azaltımı için giderek daha da yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Bitki İkincil Metabolitleri

Bitki ikincil metabolitlerinin (PSM) CH₄ emisyonunun azalmasındaki etkisi yakın zamanda kabul edilmiştir (Beauchemin ve ark., 2008). PSM'nin CH₄ baskılayıcı etkisi, esas olarak rumen bakterileri (Bodas ve ark., 2012), protozoa (Hristov ve ark., 2003) ve mantarları (Patra ve Saxena, 2009) öldüren antimikrobiyal özelliklerle ilişkilidir. Bitki ikincil metabolitleri, anti mikrobiyal aktiviteye sahip ana aktif bileşenler olan fenolik bileşikler içerir. Bitkiler, aralarında yoğunlaştırılmış tanenler (Dorman ve Deans, 2000; Ramírez Restrepo ve Barry, 2005) ve saponinlerin (Wallace, 2004) bulunduğu çeşitli ikincil bileşikler üretirler.

Yoğun Tanenler

Tanenlerin anti-metanojenik aktivitesi yakın zamanda *in vitro* ve *in vivo* olarak araştırılmıştır (Goel ve Makkar, 2012). Tanenlerin CH₄ salımının baskılanmasında mekanizması belirlenememekle birlikte bu mekanizma ruminal mikroorganizmaları olumlu yönde etkilemektedir (Bodas ve ark., 2012). Ruminantlar, yonca, hindiba ve lotus gibi tanen bakımından zengin yemlerle beslendiğinde, metan üretimi azalmıştır (%55'e kadar). Tanenler, CH₄ azaltımı için önerilse de daha yüksek bir konsantrasyonda hayvanlar tanenler ile beslendiklerinde yem sindirilebilirliğini azaltabilir, hayvanlarda kabızlığa sebep olabilir ve hayvanların performanslarını engelleyebilmektedirler (Beauchemin ve ark., 2008).

Saponinler

Saponinler, rumende CH₄ üretimini azaltan çok çeşitli kültürlenmiş ve yabani bitki türlerinde bulunan doğal olarak oluşan yüzey aktif glikozitlerdir (Tammingave ark., 2007; Patra ve Saxena, 2009). Saponinler, protozoaların hücre zarlarında kompleks steroller oluşturarak güçlü bir antiprotozoal aktiviteye sahip olmakla birlikte (Goel ve Makkar, 2012) rumende bakteriyolitik aktivite gösterir (Moss ve ark., 2000). Saponinler ruminal bakteri ve mantar türlerini inhibe eder (Patra ve Saxena, 2009) ve rumende metanojenemetanojen için H₂ varlığını sınırlar, böylece CH₄ üretimini azaltırlar (Bodas ve ark., 2012). Ruminant rasyonlarına saponinlerin eklenmesiyle %50'ye varan CH₄ azalması bildirilmiştir (Patra ve Saxena, 2009).

Rumen Manipülasyonu

Mikroorganizma ilavesiyle kimyasal yollarla (örneğin, halojenli bileşikler ve kloroform) rumendeki mikrobiyal çeşitliliği manipüle edilerek ruminantlarda metanojen azaltılabilir (Eckard ve ark., 2010). Rumene mikroorganizma ilavesiyle metanojenlere karşı aşılamanın CH₄ emisyonunu %8'e kadar azaltabileceğini öne sürülmüştür (Wright ve ark., 2004). Ayrıca, rumendeki metanojen popülasyonları rasyon ve coğrafi konumdan etkilendiği bilindiği için, tüm metanojenlere karşı geniş spektrumlu bir aşı geliştirmek zor olmaktadır (Haque, 2018). Bunun yerine, metanojenlerin hücre yüzeyi proteinlerine karşı bir aşının geliştirilmesi ile CH₄ azaltımı için aşılamanın etkinliğinin artırabileceği düşünülmektedir (McAllister ve Newbold, 2008). Biyolojik kontrol bakteriyofajları veya bakteriyosinler, metanojenlerin doğrudan inhibisyonunda H₂'ye etki eden propiyonatlar veya asetojenler gibi diğer indirgeyici rumen mikroorganizmalarına yeniden dönüştürülmesine etkili olabileceği ve protozoanın kimyasal inhibisyonu yoluyla yaklaşık %26 oranında CH₄'nın azaldığı bildirilmiştir (McAllister ve Newbold, 2008). Bromoklorometan ve kloroform gibi halojenlenmiş bileşikler, gevş getiren hayvanlarda CH₄ üretiminin güçlü inhibitörleridir. Metan azalması, temel olarak metanojen bolluğundaki azalmaya bağlı olarak bromoklorometanla ilişkili olduğu bildirilmiştir (Goel ve ark., 2009).

Rumen manipülasyonunun avantajları, hayvanlar tarafından besin kullanımını artırması ve protozoa ile metanojenler arasındaki H₂ transferini sınırlaması olarak ifade edilebilir. Protozoaya bağlanan metanojenler rumendeki metanojenemetanojenin yaklaşık %9-37'sine katkıda bulunur (Finlay ve ark., 1994). Protozoanın bulunmadığı durumlarda kuzular ve koyunlar da sırasıyla %26 ve %20 oranında CH₄ üretiminde azalma gözlenmiştir (McAllister ve Newbold, 2008). CH₄ azaltmada protozoa popülasyonunun ortadan kaldırılması rumende protozoanın yokluğu, gebeliği ve hayvan performansını engelleyebilir. H₂ ve CO₂'nin enerji kaynağı olarak CH₄ yerine asetatin kullanımı asetogenez, metanojen'e bir alternatif olarak önerilmekte ve CH₄ yerine asetat üretimi ruminantlarda metan emisyonlarının tamamen asetat ile değiştirilmesi durumunda, bunun %4-15'lik enerji kazancı gösterebileceğini öne sürmüştür (Haque, 2018).

Protozoanın rumenden uzaklaştırılması işlemi protozoanın rumen fonksiyonundaki rolünü araştırmak ve ayrıca metan üretimi üzerindeki etkisini incelemek için kullanılmıştır. Ruminal metanojenlerin, hidrojen transferini gerçekleştiren protozoalara bağlı olduğudüşünülmektedir (McAllister ve Newbold, 2008). Hem hücre içi hem de hücre dışı siliyat protozoa ile ilişkili metanojenlerin, rumendeki metan üretiminin %9-37'sinden sorumlu olduğu tahmin edilmektedir (McAllister ve Newbold 2008; Beauchemin ve ark., 2011). Protozoa ve yem partiküllerinin santrifüjleme yoluyla işkembe içeriğinden uzaklaştırılması da mevcut metanojenlerin %76'sını ortadan kaldırmıştır (Newbold ve ark., 1995). Rasyona bağlı olarak, protozoanın ortadan kaldırılması metan üretimini %50'ye kadar azaltabilmektedir (Hegarty, 1999). Protozoanın rumenden uzaklaştırılması işleminin metan üretimi üzerindeki etkisinin uzun bir süre sonra, yaklaşık 12 ay sonra ortadan kalktığını göstermiştir (Ranilla ve ark., 2004). Protozoanın

rumenden uzaklaştırılması işlemi ile koyunların iki yıldan fazla bir süre daha düşük (~%20) metan üretimini sürdürdüğünü bildirmişlerdir (Morgavi ve ark., 2008).

Yapılan farklı bir araştırmada, canlı protozoanın hayvanların yem,dışkı veya faunalı hayvanlarla doğrudan temas yoluyla kolayca gerçekleşmediğini, ancak kontamine su yoluyla gerçekleştiğini belirtmişlerdir (Bird ve ark., 2010). Protozoayı rumenden ayırmak için çeşitli teknikler deneysel olarak test edilmiştir, kimyasal maddeler ve/veya bitki özütleri gibi ancak hiçbiri rutin olarak kullanılmamaktadır (Moumen ve ark., 2016).

Hayvan Manipülasyonu

Hayvan manipülasyonu yoluyla CH₄ azaltımı için düşük verimli hayvanları kullanmak, birim hayvan verimi artırmak ve hayvanları optimal bir şekilde beslemek gibi çeşitli seçenekler önerilmiştir. Yüksek verimli hayvanların daha iyi bakım ve beslenmesi, toplam verimi artıracak ve hayvan başına CH₄ emisyonu azalacaktır (Patra, 2012; Weisbjerg ve ark., 2019). Birim hayvan başına verimliliğin artırılması için doğru beslenme yönetimi, hayvansal ürün birimi başına CH₄ emisyonunu azaltmak için iyi bir seçenektir. Çeşitli çalışmalar, koyun ve ineklerde CH₄ üretiminde önemli bir varyasyon olduğunu göstermekte ve farklı fenotipik özelliklerin kalıtsallıkla bağlantılı olabileceği bildirilmiştir (Haque, 2018).

Çiftlik hayvanlarının genetik iyileştirilmesi, performansta kalıcı ve kümülatif değişiklikler üreten, özellikle uygun maliyetli bir teknolojidir. Gelişmiş yem verimliliğine dayalı genetik seçim, mantıksal olarak daha iyi enerji oranlarına değer veren hayvanlara yol açmalıdır ve bu nedenle çoğu çalışmada daha az metan üretimi bildirilmiştir (Wall ve ark., 2010).

Genetik iyileştirmenin bir kilogram ürün başına CH₄ emisyonlarını azaltmaya yardımcı olabileceği üretkenliği ve verimliliği artırmak, tarım sistemindeki israfı için yapılabilmektedir (Wall ve ark., 2010). Yüksek düzeyde süt üretimi ve enerji kullanım etkinliği sağlayabilen süt inekleri seçiminin, laktasyondaki süt ineklerinden CH₄ emisyonlarını azaltmak için etkili bir yaklaşım sunduğu sonucuna varmıştır (Yan ve ark., 2010).

Pahalı olmayan ve uzun vadeli bir etki sağlayan daha düşük CH₄ emisyonu olan hayvanları yetiştirmek için doğal varyasyonun kullanılması en etkili olan yöntemlerden biridir (Cavanagh ve ark., 2008; Capper ve ark., 2009). Son zamanlarda yapılan çalışmalar, hayvan genetiğinin bireysel hayvan ve tüm çiftlik seviyelerinde emisyon yoğunluğu üzerindeki potansiyel etkisini ele almaya odaklanmıştır (Chagunda ve ark., 2009; Wall ve ark., 2010; Pinares Patiño ve ark., 2013).

Bakteriyosinler

Bakteriyosinler; bir suştaki bakteriler tarafından üretilen ve yakından ilişkili bir suşa karşı aktif olan protein olarak tanımlanmaktadır. Bakteriyosin üreten bakterilerin (BPB) kullanımının aracılık ettiği hayvanlarda potansiyel üretkenlik artışı, belirli organizma gruplarının inhibisyonuna dayanabilir (Russell ve Mantovani, 2002). Metanojenik bakterilere karşı inhibe edici bakteriyosinler üretebilen BPB, metan formunda kaybedilen karbon miktarını azaltarak yem verimliliğini artırabilir (Lee ve ark., 2002). Bakteriyosinler, selüloolitik bakterilerin rumende baskın olmasına ve selülozun yapısının bozulmasını artırmasına yardımcı olabilir.

Sığırların rasyonlarında tahıl oranı yüksek olması durumunda *Streptococcus bovis*, (asidozdan sorumlu olan bakterilerden biri olmakla birlikte) rumen homeostazını desteklemektedir (Morovský ve ark., 1998). *Streptococcus bovis* suşlarından izole edilen bakteriyosinler ruminal *S. bovis*'i inhibe ettiği için rumen asidozunu önlemede potansiyel bir yem katkı maddesi olarak önerilmiştir (Mantovani ve ark., 2002). Nisin, *Lactobacillus lactis ssp. Lactis*'in de *in vitro* metan üretimini azalttığı gözlemlenmiştir. Mekanizma hala belirsiz olmasına rağmen, nisinin işkembe metanojen metanojenini %36 oranında azalttığı gösterilmiştir (Callaway ve ark., 1997).

Bakteriyosinler metanojenleri doğrudan inhibe etmede ve H₂'yi propiyonat üreticileri veya asetojenler gibi diğer indirgeyici bakterilere yönlendirmede etkili olabileceğini bildirilmektedir (McAllister ve Newbold, 2008).

Aşılama

Çiftlikteki geviş getiren hayvanlarda besin kullanımının verimliliğini artırmak ve son zamanlarda metan CH₄ emisyonlarını azaltmak için yeni bir yapay bağışıklık tekniği geliştirilmiştir (Clark ve ark., 2010; Buddle ve ark., 2011). Hayvanın bağışıklık sistemini uyarmak için aşılama yapılmıştır. Metanojenlere karşı antikor üretilen CH₄ emisyonu azalttığı belirtilmiştir (Clark, 2013). Metanojenlerin %20'den azının 3 *Methano* *brevibacter* suşu kullanılarak hazırlanan aşı tarafından hedeflendiğini bildirmişlerdir (Moumen ve ark., 2016).

Metanojenlere karşı aşı kullanılırken göz önünde bulundurulması gereken husus, mevcut rumen metanojen popülasyonu hayvanın rasyonuna ve coğrafi konumuna göre farklılık göstermesidir (Wright ve ark., 2007). Bağışıklık kazanıldıktan sonra alternatif metanojenlerin geliştirilmesi rumen metanojen popülasyonunun daha kapsamlı bir şekilde bilinmesi gerekir.

Esansiyel Yağlar

Esansiyel yağlar işkembede nişasta ve protein parçalanmasının azaltılması, fermantasyon etkinliğinin artırılması ve metanojenin engellenmesi gibi işkembede mikrobiyal metabolizmanın iyileştirilmesinde yem katkı maddeleri olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Calsamiglia ve ark., 2007; Patra ve Yu, 2012). Esansiyel yağlar süt ineklerine eklenmesi ayrıca süt veriminde ve yem veriminde artışla sonuçlanmıştır (Giannenas ve ark., 2011; Zehetmeier ve ark., 2012). Esansiyel yağlar rumende metanojenik arklar ve metan üretimini inhibe etme konusunda umut vaat etseler de (Calsamiglia ve ark., 2007; Patra ve Saxena 2010), selülozun sindirimi ve fermantasyon üzerinde bu olumsuz etkilerin büyüklüğü ile birlikte olumsuz etkiler de bildirilmiştir. Esansiyel yağların etkisi türe, miktarına ve rasyon bileşimine bağlı olarak değişmektedir (Macheboeuf ve ark., 2008, Moumen ve ark., 2016).

Yemin besin madde sindirilebilirliği üzerinde metanojenin azaltıldığı optimum dozu belirlemek için esansiyel yağların yanı sıra yoğunlaştırılmış kondanse tanenler (KT) ve saponinler ile *in vivo* ortamda daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir. Ayrıca, mikroorganizmaların adapte olup olmadıklarını ve metanojeneze devam edip edemeyeceklerini belirlemek için uzun vadeli çalışmalara da ihtiyaç vardır (Grainger ve ark., 2010). Son olarak, süt veya ette herhangi bir kalıntının ortaya çıkıp çıkmadığını incelemek, bunu üreten

hayvanlarda metan azaltımı için uygun bir seçenek haline getirmek için önemlidir (Calsamiglia ve ark., 2007).

Sonuç

Dünyada hızla artan nüfus gıda sıkıntısı, iklim değişikliği ve küresel ısınma gibi birçok çevresel sorunla karşı karşıya kalmamıza neden olmaktadır. Son zamanlarda sürdürülebilir tarım ve gıda güvenliği bu konuyla yakından ilişkili olduğu için dikkat çekmektedir. Özellikle artan arz talep ilişkisini dengelemek amacıyla yapılan bilinçsiz tarımsal ürünlerin miktarının artırma uygulamalarına neden olmaktadır. Ruminant hayvanlarda sera gazı olan metan emisyonu engellenmeyeceğinden, bu emisyonu azaltmak için besleme stratejileri ile atmosferi tehdit eden insan, çevre ve hayvan sağlığını olumsuz etkilemesinin önüne geçilebileceği düşünülmektedir.

References/Kaynaklar

- Abdalla AL, Louvandini H, Sallam SMAH, Bueno ICS, Tsai SM, Figueira AVO. 2012. in vitro evaluation, in vivo quantification and microbial diversity studies of nutritional strategies for reducing enteric methane production. *Tropical Animal Health and Production*, 44(5): 953-964. <https://doi.org/10.1007/s11250-011-9992-0>
- Aksay CS, Ketenoglu O, Kurt L. 2005. Küresel ısınma ve iklim değişikliği. *Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Dergisi*, 1(25): 29-42.
- Ao RL, ve Emeritus D. 2008. The potential of feeding nitrate to reduce enteric methane production in ruminants a report to the department of climate change. Canberra, Australia. ISBN:79-559-285-529.
- Aydın G. 2008. Kömür Kökenli metanın kullanım teknolojileri ve enerji üretiminden kaynaklanan antropojenik metan emisyonlarının analizi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans Tezi, Trabzon, Türkiye.
- Aydın G, Karakurt İ, Aydın K. 2011. Antropojenik metan emisyonlarının sektörel analizi. *Tübbav Bilim Dergisi*, 4(1): 42-51. ISSN:1308 – 4941.
- Bannink A, Van Schijndel MW, Dijkstra J. 2011. A model of enteric fermentation in dairy cows to estimate methane emission for the dutch national inventory report using the ipc tier 3 approach. *Animal Feed Science and Technology*, 166: 603-618. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2011.04.043>
- Bayat A ve Shingfield KJ. 2012. Overview of nutritional strategies to lower enteric methane emissions in ruminants. *Suomen Maataloustieteellisen Seuran Tiedote*, (28): 1-7. DOI: <https://doi.org/10.33354/smst.75433>
- Beauchemin K, Colombatto D, Morgavi DP, Yang WZ. 2003. Use of exogenous fibrolytic enzymes to improve feed utilization by ruminants. *Journal of Animal Science*, 81(14-2):37-47. DOI: https://doi.org/10.2527/2003.8114_suppl_2E37x
- Beauchemin KA, Janzen HH, Little SM, McAllister TA, McGinn SM. 2011. Mitigation of greenhouse gas emissions from beef production in western canada evaluation using farm based life cycle assessment. *Animal Feed Science and Technology*, 166: 663-677. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2011.04.047>
- Beauchemin K ve McGinn S. 2006. Methane emissions from beef cattle: effects of fumaric acid, essential oil and canola oil. *Journal of Animal Science*, 84(6): 1489-1496. DOI: <https://doi.org/10.2527/2006.8461489x>
- Beauchemin K, Kreuzer M, O'Mara F, McAllister TA. 2008. Nutritional management for enteric methane abatement: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 48(2): 21-27. DOI: <https://doi.org/10.1071/EA07199>
- Beauchemin KA, McAllister TA, McGinn SM. 2009. Dietary mitigation of enteric methane from cattle. *CAB Reviews: Perspectives In Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, 4(35): 1-18. doi: 10.1079/PAVSNNR20094035.
- Beever D, Dhanoa MS, Losada HR, Evans RT, Cammell SB, France J. 1986. The effect of forage species and stage of harvest on the processes of digestion occurring in the rumen of cattle. *British Journal of Nutrition*, 56(2): 439-454. DOI: <https://doi.org/10.1079/BJN19860124>
- Benchaar C, Pomar C, Chiquette J. 2001. Evaluation of dietary strategies to reduce methane production in ruminants: a modelling approach. *Canadian Journal of Animal Science*, 81(4): 563-574. DOI: <https://doi.org/10.4141/A00-119>
- Benchaar C, Calsamiglia S, Chaves AV, Fraser GR, Colombatto D, McAllister TA, Beauchemin KA. 2008. A review of plant derived essential oils in ruminant nutrition and production. *Animal Feed Science and Technology*, 145(1-4): 209-228. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2007.04.014>
- Benchaar C ve Greathead H. 2011. Essential oils and opportunities to mitigate enteric methane emissions from ruminants. *Animal Feed Science and Technology*, 166: 338-355. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2011.04.024>
- Bird SH, Hegarty RS, Woodgate R. 2010. Modes of transmission of rumen protozoa between mature sheep. *Animal Production Science*, 50(6): 414-417. DOI: <https://doi.org/10.1071/AN09216>
- Boadi D, Wittenberg KM, Scott SL, Burton D, Buckley K, Small JA, Ominski KH. 2004. Effect of low and high forage diet on enteric and manure pack greenhouse gas emissions from a feedlot. *Canadian Journal of Animal Science*, 84(3): 445-453. DOI: <https://doi.org/10.4141/A03-079>
- Bodas R, Prieto N, García-González R, Andrés S, Giráldez FJ, López S. 2012. Manipulation of rumen fermentation and methane production with plant secondary metabolites. *Animal Feed Science and Technology*, 176(1-4): 78-93. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2012.07.010>
- Broucek J. 2014. Production of methane emissions from ruminant husbandry: a review. *Journal of Environmental Protection*, 5(15): 1482. DOI: 10.4236/jep.2014.515141
- Bruning Fann CS, ve Kaneene JB. 1993. The effects of nitrate, nitrite and n-nitroso compounds on human health: a review. *Veterinary and Human Toxicology*, 35(6): 521-538. PMID: 8303822
- Buddle BM, Denis M, Attwood GT, Altermann E, Janssen PH, Ronimus RS, Pinares-Patiño CS, Muetzel S, Neil Wedlock D. 2011. Strategies to reduce methane emissions from farmed ruminants grazing on pasture. *The Veterinary Journal*, 188(1): 11-17. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2010.02.019>
- Burt S. 2004. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods a review. *International Journal of Food Microbiology*, 94(3): 223-253. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.03.022>
- Callaway TR, Carneiro De Melo AMS, Russell JB. 1997. The effect of nisin and monensin on ruminal fermentations in vitro. *Current Microbiology*, 35(2): 90-96. DOI: <https://doi.org/10.1007/s002849900218>
- Calsamiglia S, Busquet M, Cardozo PW, Castillejos L, Ferret A. 2007. Invited review: essential oils as modifiers of rumen microbial fermentation. *Journal of Dairy Science*, 90(6): 2580-2595. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2006-644>
- Cao Y, Takahashi T, Horiguchi K, Yoshida N, Cai Y. 2010. Methane emissions from sheep fed fermented or non-fermented total mixed ration containing whole-crop rice and rice bran. *Animal Feed Science and Technology*, 157(1-2): 72-78. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2010.02.004>
- Capper JL, Cady RA, Bauman DE. 2009. The environmental impact of dairy production: 1944 compared with 2007. *Journal of Animal Science*, 87(6): 2160-2167. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2009-1781>

- Castillo C, Benedito JL, Méndez J, Pereira V, Lopez Alonso M, Miranda M, Hernández J. 2004. Organic acids as a substitute for monensin in diets for beef cattle. *Animal Feed Science and Technology*, 115(1-2): 101-116. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2004.02.001>
- Cavanagh A, McNaughton L, Clark H, Greaves C, Gowan JM, Pinares-Patino C, Dalley D, Vlaming B, Molano G. 2008. Methane emissions from grazing jersey × friesland dairy cows in mid lactation. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 48(2): 230-233. DOI: <https://doi.org/10.1071/EA07277>
- Chagunda M, Römer DAM, Roberts DJ. 2009. Effect of genotype and feeding regime on enteric methane, non-milk nitrogen and performance of dairy cows during the winter feeding period. *Livestock Science*, 122(2-3): 323-332. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2008.09.020>
- Chuntrakort P, Otsuka M, Hayashi K, Takenaka A, Udchachon S, Sommart K. 2014. The effect of dietary coconut kernels, whole cottonseeds and sunflower seeds on the intake, digestibility and enteric methane emissions of zebu beef cattle fed rice straw based diets. *Livestock Science*, 161: 80-89. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.01.003>
- Clark H, Kelliher F, Pinares-Patiño C. 2010. Reducing CH4 emissions from grazing ruminants in new zealand: challenges and opportunities. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 24(2): 295-302. DOI: <https://doi.org/10.5713/ajas.2011.r.04>
- Clark H. 2013. Nutritional and host effects on methanogenesis in the grazing ruminant. *Animal*, 7: 41-48. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1751731112001875>
- Çelik S, Bacanlı H, Görgeç H. 2008. Küresel iklim değişikliği ve insan sağlığına etkileri. *Telekomünikasyon Şube Müdürlüğü*, 1: 31.
- De Vries M, De Boer IJM. 2010. Comparing environmental impacts for livestock products: a review of life cycle assessments. *Livestock Science*, 128(1-3): 1-11. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2009.11.007>
- Del Prado A, Chadwick D, Cardenas L, Misselbrook T, Scholefield D, Merino P. 2010. Exploring systems responses to mitigation of ghg in uk dairy farms. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 136(3-4): 318-332. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.09.015>
- Dickens GR, Castillo MM, Walker JCG. 1997. A blast of gas in the latest paleocene: simulating first-order effects of massive dissociation of oceanic methane hydrate geology. *The Geological Society of America*, 25(3): 259-262. DOI: [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1997\)025<0259:ABOGIT>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1997)025<0259:ABOGIT>2.3.CO;2)
- Dijkstra J, Oenema O, Bannink A. 2011. Dietary strategies to reducing n excretion from cattle: implications for methane emissions. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 3(5): 414-422. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2011.07.008>
- Doğan S. 2005. Türkiye'nin küresel iklim değişikliğinde rolü ve önleyici küresel çabaya katılım girişimleri. *CÜ İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 6(2): 57-73.
- Doreau M ve Chilliard Y. 1997. Digestion and metabolism of dietary fat in farm animals. *British Journal of Nutrition*, 78(1): 15-35. DOI: <https://doi.org/10.1079/BJN19970132>
- Dorman HD ve Deans SG. 2000. antimicrobial agents from plants: antibacterial activity of plant volatile oils. *Journal of Applied Microbiology*, 88(2): 308-316. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2000.00969.x>
- Eckard RJ, Grainger C, De Klein CAM. 2010. Options for the abatement of methane and nitrous oxide from ruminant production: a review. *Livestock Science*, 130(1-3): 47-56. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.02.010>
- Eun JS ve Beauchemin K. 2007. Assessment of the efficacy of varying experimental exogenous fibrolytic enzymes using in vitro fermentation characteristics. *Animal Feed Science and Technology*, 132(3-4): 298-315. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.02.014>
- Finlay BJ, Esteban G, Clarke KJ, Williams AG, Embley TM, Hirt RP. 1994. Some rumen ciliates have endosymbiotic methanogens. *FEMS Microbiology Letters*, 117(2): 157-161. 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. *Food and Agriculture Organization of The United Nations (FAO)*, ISBN: 9789251079201.
- Giannenas I, Skoufos J, Giannakopoulos C, Wiemann M, Gortzi O, Lalas S, Kyriazakis I. 2011. Effects of essential oils on milk production, milk composition, and rumen microbiota in chios dairy ewes. *Journal of Dairy Science*, 94(11): 5569-5577. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2010-4096>
- 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*, 82(1): 73-79. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(03\)00002-2](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(03)00002-2)
- Goel G, Makkar HPS, Becker K. 2009. Inhibition of methanogens by bromochloromethane: effects on microbial communities and rumen fermentation using batch and continuous fermentations. *British Journal of Nutrition*, 101(10): 1484-1492. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0007114508076198>
- Goel G, Makkar HPS. 2012. Methane mitigation from ruminants using tannins and saponins. *Tropical Animal Health and Production*, 44(4): 729-739. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11250-011-9966-2>
- Grainger C, Williams R, Clarke T, Wright ADG, Eckard RJ. 2010. supplementation with whole cottonseed causes long-term reduction of methane emissions from lactating dairy cows offered a forage and cereal grain diet. *Journal of Dairy Science*, 93(6): 2612-2619. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2888>
- Grainger C ve Beauchemin K. 2011. Can enteric methane emissions from ruminants be lowered without lowering their production. *Animal Feed Science and Technology*, 166-167(23): 308-320. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.021>
- Greathead H. 2003. Plants and plant extracts for improving animal productivity. *Proceedings of The Nutrition Society*, 62(2): 279-290. DOI: <https://doi.org/10.1079/PNS2002197>
- Guan H, Wittenberg KM, Ominski KH, Krause DO. 2006. Efficacy of ionophores in cattle diets for mitigation of enteric methane. *Journal of Animal Science*, 84(7): 1896-1906. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2005-652>
- Hammond K, Burke JK, Koolaard JP, Muetzel S, Pinares-Patiño CS, Waghorn GC. 2013. Effects of feed intake on enteric methane emissions from sheep fed fresh white clover (*trifolium repens*) and perennial ryegrass (*lolium perenne*) forages. *Animal Feed Science and Technology*, 179(1-4): 121-132. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.11.004>
- Haque MN. 2018. Dietary Manipulation: A sustainable way to mitigate methane emissions from ruminants. *Journal of Animal Science and Technology*, 60(1): 1-10. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40781-018-0175-7>
- Hegarty, R., 1999. Reducing rumen methane emissions through elimination of rumen protozoa. *Australian Journal of Agricultural Research*, 50(8): 1321-1328. DOI: <https://doi.org/10.1071/AR99008>
- Hironaka R, Mathison GW, Kerrigan BK, Vlach I. 1996. The effect of pelleting of alfalfa hay on methane production and digestibility by steers. *Science of The Total Environment*, 180(3), 221-227. DOI: [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(95\)04948-7](https://doi.org/10.1016/0048-9697(95)04948-7)
- Hook SE, Northwood KS, Wright ADG, McBride BW. 2009 Long-term monensin supplementation does not significantly affect the quantity or diversity of methanogens in the rumen of the lactating dairy cow. *Applied and Environmental Microbiology*, 75(2): 374-380. DOI: [10.1128/AEM.01672-08](https://doi.org/10.1128/AEM.01672-08)

- Hook SE, Wright ADG, McBride BW. 2010. Methanogens: methane producers of the rumen and mitigation strategies. *Archaea*, 2010: 11. DOI: <https://doi.org/10.1155/2010/945785>
- Hristov AN, Ivan M, Neill L, McAllister TA. 2003. Evaluation of several potential bioactive agents for reducing protozoal activity in vitro. *Animal Feed Science and Technology*, 105(1-4): 163-184. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(03\)00060-9](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(03)00060-9)
- Ingale SL, Lokhande A, Zadbukey S. 2013. Nutritional strategies to mitigate greenhouse gases emission from livestock agriculture: a review. *Livestock Research International*, 1(2): 34-45.
- Jenkins TC, 1993. Lipid metabolism in the rumen. *Journal of Dairy Science*, 76(12): 3851-3863. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(93\)77727-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(93)77727-9)
- Johnson DE ve Ward GM. 1996. Estimates of animal methane emissions. *Environmental Monitoring and Assessment*, 42(1): 133-141. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00394046>
- Johnson KA ve Johnson DE, 1995. Methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science*, 73(8): 2483-2492. DOI: <https://doi.org/10.2527/1995.7382483x>
- Karakurt I, Aydın G, Aydın K. 2012. Sources and mitigation of methane emissions by sectors: a critical review. *Renewable Energy*, 39(1): 40-48. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.09.006>
- Knapp JR, Laur GL, Vadas PA, Weiss WP, Tricarico JM. 2014. Invited review: enteric methane in dairy cattle production: quantifying the opportunities and impact of reducing emissions. *Journal of Dairy Science*, 97(6): 3231-3261. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7234>
- Kobayashi Y. 2010. Abatement of methane production from ruminants: trends in the manipulation of rumen fermentation. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 23(3): 410-416. DOI: <https://doi.org/10.5713/ajas.2010.r.01>
- Kolver ES, Aspin PW, Jarvis GN, Elborough KM, Roche JR. 2004. Fumarate reduces methane production pasture fermented in continuous culture. In *Proceedings New Zealand Society of Animal Production*, 64:155-159.
- Koyuncu M. 2017. Küresel iklim değişikliği ve hayvancılık. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 31(2): 98-106. DOI: <https://doi.org/10.15316/SJAFS.2017.26>
- Kristjansson JK, Schönheit P, Thauer RK. 1982. Different ks values for hydrogen of methanogenic bacteria and sulfate reducing bacteria: an explanation for the apparent inhibition of methanogenesis by sulfate. *Archives of Microbiology*, 131(3): 278-282. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00405893>
- Lascano CE ve Cárdenas E. 2010. Alternatives for methane emission mitigation in livestock systems. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39, 175-182. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010001300020>
- Lee SS, Hsu JT, Mantovani HC, Russell JB. 2002. The Effect of bovicin hc5, a bacteriocin from streptococcus bovis hc5, on ruminal methane production in vitro. *FEMS Microbiology Letters*, 217(1): 51-55. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2002.tb11455.x>
- Leng RA. 1993. Quantitative ruminant nutrition a green science. *Australian Journal of Agricultural Research*, 44(3): 363-380. DOI: <https://doi.org/10.1071/AR9930363>
- Lopez S, McIntosh FM, Wallace RJ, Newbold CJ. 1999. Effect of adding acetogenic bacteria on methane production by mixed rumen microorganisms. *Animal Feed Science and Technology*, 78(1-2): 1-9. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(98\)00273-9](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(98)00273-9)
- Macheboeuf D, Morgavi DP, Papon Y, Mousset JL, Arturo-Schaan M. 2008. Dose-response effects of essential oils on in vitro fermentation activity of the rumen microbial population. *Animal Feed Science and Technology*, 145(1-4): 335-350. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2007.05.044>
- Machmüller A, Ossowski DA, Kreuzer M. 2000. Comparative evaluation of the effects of coconut oil, oilseeds and crystalline fat on methane release, digestion and energy balance in lambs. *Animal Feed Science and Technology*, 85(1-2): 41-60. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(00\)00126-7](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(00)00126-7)
- Manasri N, Wanapat M, Navanukraw C. 2012. Improving rumen fermentation and feed digestibility in cattle by mangosteen peel and garlic pellet supplementation. *Livestock Science*, 148(3): 291-295. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2012.06.009>
- Mantovani HC, Hu H, Worobo RW, Russell JB. 2002. Bovicin HC5, a bacteriocin from streptococcus bovis HC5. *Microbiology*, 148(11): 3347-3352. DOI: <https://doi.org/10.1099/00221287-148-11-3347>
- Martin SA, Streeter MN, Nisbet DJ, Hill GM, Williams SE. 1999. Effects of DL-Malate on ruminal metabolism and performance of cattle fed a high-concentrate diet. *Journal of Animal Science*, 77(4): 1008-1015. DOI: <https://doi.org/10.2527/1999.7741008x>
- Martin C, Morgavi DP, Doreau M. 2010. Methane mitigation in ruminants: from microbe to the farm scale. *Animal*, 4(3): 351-365. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1751731109990620>
- 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(2): 231-243. DOI: <https://doi.org/10.4141/cjas96-035>
- McAllister TA ve Newbold CJ. 2008. Redirecting rumen fermentation to reduce methanogenesis. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 48(2): 7-13. DOI: <https://doi.org/10.1071/EA07218>
- McAllister TA, Beauchemin KA, Alazeh AY, Baah J, Teather RM, Stanford K. 2011. Review: the use of direct fed microbials to mitigate pathogens and enhance production in cattle. *Canadian Journal of Animal Science*, 91(2): 193-211. DOI: <https://doi.org/10.4141/cjas10047>
- McGinn SM, Beauchemin KA, Coates T, Colombatto D. 2004. Methane emissions from beef cattle: effects of monensin, sunflower oil, enzymes, yeast, and fumaric acid. *Journal of Animal Science*, 82(11): 3346-3356. DOI: <https://doi.org/10.2527/2004.82113346x>
- McGuffey RK, Richardson RF, Wilkinson JID. 2001. Ionophores for dairy cattle: current status and future outlook. *Journal of Dairy Science*, 84: 194-203. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(01\)70218-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)70218-4)
- Mekuriaw S, Tsunekawa A, Ichinohe T, Tegegne F, Haregeweyn N, Kobayashi N, Tassew A, Mekuriaw Y, Walie M, Tsubo M, Okuro T, Meshesha DT, Meseret M, Sam L, Fievez V. 2020. Effect of feeding improved grass hays and eragrostis tef straw silage on milk yield, nitrogen utilization, and methane emission of lactating foga dairy cows in ethiopia. *Animals*, 10(6): 1021. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani10061021>
- Milich L. 1999. The role of methane in global warming: where might mitigation strategies be focused. *Global Environmental Change*, 9(3): 179-201. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(98\)00037-5](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(98)00037-5)
- Mohajan H. 2011. Dangerous effects of methane gas in atmosphere. *International Journal of Economic and Political Integration*, 2(1): 3-10. <https://mp.ra.uni-muenchen.de/50844/>
- Molano G ve Clark H. 2008. The effect of level of intake and forage quality on methane production by sheep. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 48(2): 219-222. DOI: <https://doi.org/10.1071/EA07253>
- Molano G, Knight TW ve Clark H. 2008b. Fumaric acid supplements have no effect on methane emissions per unit of feed intake in wether lambs. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 48(2): 165-168. DOI: <https://doi.org/10.1071/EA07280>

- Morgavi DP, Jouany JP, Martin C. 2008. Changes in methane emission and rumen fermentation parameters induced by refaunation in sheep. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 48(2): 69-72. DOI: <https://doi.org/10.1071/EA07236>
- Morgavi DP, Forano E, Martin C, Newbold CJ. 2010. Microbial ecosystem and methanogenesis in ruminants. *Animal*, 4(7): 1024-1036. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1751731110000546>
- Morovský M, Pristaš P, Czikková S, Javorský P. 1998. A bacteriocin-mediated antagonism by *Enterococcus Faecium* BC25 against ruminal streptococcus bovis. *Microbiological Research*, 153(3): 277-281. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0944-5013\(98\)80012-8](https://doi.org/10.1016/S0944-5013(98)80012-8)
- Moss AR, Jouany JP, Newbold J. 2000. Methane production by ruminants: its contribution to global warming. *Annales de zootechnie EDP Sciences*, 49(3): 231-253. DOI: <https://doi.org/10.1051/animres:2000119>
- Moumen A, Yáñez-Ruiz DR, Martín-García I, Molina-Alcaide E. 2008. Fermentation characteristics and microbial growth promoted by diets including two-phase olive cake in continuous fermenters. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 92(1): 9-17. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2007.00685.x>
- Moumen A, Azizi G, Chekroun KB, Baghour M. 2016. The effects of livestock methane emission on the global warming: a review. *International Journal of Global Warming*, 9(2): 229-253. DOI: <https://doi.org/10.1504/IJGW.2016.074956>
- Newbold CJ, Lassalas B, Jouany JP. 1995. The importance of methanogens associated with ciliate protozoa in ruminal methane production in vitro. *Letters in Applied Microbiology*, 21(4): 230-234. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.1995.tb01048.x>
- Newbold CJ, McIntosh FM, Williams P, Losa R, Wallace RJ. 2004. Effects of a specific blend of essential oil compounds on rumen fermentation. *Animal Feed Science and Technology*, 114(1-4): 105-112. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2003.12.006>
- Newbold CJ, López S, Nelson N, Ouda JO, Wallace R J, and Moss AR. 2005. Propionate precursors and other metabolic intermediates as possible alternative electron acceptors to methanogenesis in ruminal fermentation in vitro. *British Journal of nutrition*, 94(1): 27-35. DOI: <https://doi.org/10.1079/BJN20051445>
- Newbold CJ ve Rode L. 2006. Dietary additives to control methanogenesis in the rumen. *international congress series*. Elsevier, 1293: 138-147. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ics.2006.03.047>
- Nosalewicz M, Brzezinska M, Pasztelan M, Supryn G. 2011. Methane In the environment (a review). *Acta Agrophysica*, 18(2): 193.
- 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. *Food and Agriculture Organization of The United Nations*, FAO 2013.
- Patra AK ve Saxena J. 2009. The effect and mode of action of saponins on the microbial populations and fermentation in the rumen and ruminant production. *Nutrition Research Reviews*, 22(2): 204-219. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0954422409990163>
- Patra AK ve Saxena J. 2010. A new perspective on the use of plant secondary metabolites to inhibit methanogenesis in the rumen. *Phytochemistry*, 71(11-12): 1198-1222. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2010.05.010>
- Patra AK. 2012. Enteric methane mitigation technologies for ruminant livestock: a synthesis of current research and future directions. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184(4): 1929-1952. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-011-2090-y>
- Patra AK, Yu Z. 2012. Effects of essential oils on methane production and fermentation by, abundance and diversity of, rumen microbial populations. *Applied and Environmental Microbiology*, 78(12): 4271-4280. DOI: 10.1128/AEM.00309-12.
- Petit JR, Jouzel J, Raynaud D, Barkov NI, Barnola JM, Basile I, Bender M, Chappellaz J, Davis M, Delaygue G, Delmotte M, Kotlyakov VM, Legrand M, Lipenkov VY, Lorius C, Pépin L, Ritz C, Saltzman E, Stievenard M. 1999. Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the vostok ice core antarctica. *Nature*, 399(6735): 429-436. DOI: <https://doi.org/10.1038/20859>
- Pimentel M, Gunsalus RP, Rao SSC, Zhang H. 2012. Methanogens in human health and disease. *The American Journal of Gastroenterology Supplements*, 1(1): 28. DOI: 10.1038/ajgsup.2012.6
- Pinares Patiño CS, Hickey SM, Young EA, Dodds KG, MacLean S, Molano G, Sandova E, Kjestrup H, Harland R, Hunt C, Pickering NK, McEwan JC. 2013. Heritability estimates of methane emissions from sheep. *Animal*, 7: 316-321. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1751731113000864>
- Ramírez Restrepo CA. ve Barry TN. 2005. Alternative temperate forages containing secondary compounds for improving sustainable productivity in grazing ruminants. *Animal Feed Science and Technology*, 120(3-4): 179-201. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.01.015>
- Ranilla MJ, Morgavi D, Pierre Jouany J. 2004. Effect of time after defaunation on methane production in vitro. 4. Joint INRA-RRI Symposium Gut Microbiology, 4. Joint INRA-RRI Symposium Gut Microbiology, Les Ulis, ISSN: 0926-5287. Fransa, 21-24 Haziran 2004, EDP Sciences., 44: 35-36.
- Russell JB ve Strobel HJ. 1989. Effect of ionophores on ruminal fermentation. *Applied and Environmental Microbiology*, 55(1): 1-6. PMID: PMC184044, PMID: 2650616.
- Russell JB ve Mantovani HC. 2002. The bacteriocins of ruminal bacteria and their potential as an alternative to antibiotics. *Journal of Molecular Microbiology and Biotechnology*, 4(4): 347-355. <https://www.researchgate.net/publication/11253208>
- Sejian V, Lakritz J, Ezeji T, Lal R. 2011. Forage and flax seed impact on enteric methane emission in dairy cows. *Research Journal of Veterinary Sciences*, 4(1): 1-8. ISSN: 1819-1908.
- Stępniewska Z, Przywara G, Bencicelli RP. 2004. Plant response in anaerobic conditions. *Acta Agrophysica*, 113(7): 15-21. ISSN: 1234-4125.
- Stern JC, Chanton J, Abichou T, Powelson D, Yuan L, Escoriza S, Bognor J. 2007. Use of a biologically active cover to reduce landfill methane emissions and enhance methane oxidation. *Waste Management*, 27(9): 1248-1258. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.07.018>
- Tamminga S, Bannink A, Dijkstra J, Zom RLG. 2007. Feeding strategies to reduce methane loss in cattle. *Animal Sciences Group*, 34: 44. ISSN: 1570-8610.
- Tokura M, Chagan I, Ushida K, Kojima Y. 1999. Phylogenetic study of methanogens associated with rumen ciliates. *Current Microbiology*, 39(3): 123-128. DOI: <https://doi.org/10.1007/s002849900432>
- Ungerfeld EM, Kohn RA, Wallace RJ, Newbold CJ. 2007. A meta-analysis of fumarate effects on methane production in ruminal batch cultures. *Journal of Animal Science*, 85(10): 2556-2563. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2006-674>
- Van Kessel JAS ve Russell JB. 1996. The effect of pH on ruminal methanogenesis. *FEMS Microbiology Ecology*, 20(4): 205-210. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.1996.tb00319.x>
- Van Nevel CJ ve Demeyer DI. 1992. Influence of antibiotics and a deaminase inhibitor on volatile fatty acids and methane production from detergent washed hay and soluble starch by rumen microbes in vitro. *Animal Feed Science and Technology*, 37(1-2): 21-31. DOI: [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(92\)90117-0](https://doi.org/10.1016/0377-8401(92)90117-0)

- Van Zijderveld SM, Gerrits WJ, Apajalahti JA, Newbold JR, Dijkstra J, Leng RA, Perdok HB. 2010. Nitrate and sulfate effective alternative hydrogen sinks for mitigation of ruminal methane production in sheep. *Journal of Dairy Science*, 93(12): 5856-5866. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3281>
- Waghorn GC ve Hegarty RS. 2011. Lowering ruminant methane emissions through improved feed conversion efficiency. *Animal Feed Science and Technology*, 166-167: 291-301. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.019>
- Wall E, Simm G, Moran D. 2010. Developing breeding schemes to assist mitigation of greenhouse gas emissions. *Animal*, 4(3): 366-376. DOI: <https://doi.org/10.1017/S175173110999070X>
- Wallace RJ. 2004. Antimicrobial properties of plant secondary metabolites. *Proceedings of The Nutrition Society*, 63(4): 621-629. DOI: <https://doi.org/10.1079/PNS2004393>
- Weisbjerg MR, Terkelsen M, Hvelplund T, Lund P, Madsen J. 2019. Increased Productivity In Tanzanian Cattle is The Main Approach to Reduce Methane Emission Per Unit of Product. *Tanzania Journal of Agricultural Sciences*, 18(1):13-21.
- Wright ADG, Kennedy P, O'Neill CJ, Toovey AF, Popovski S, Rea SM, Pimm CL, Klein L. 2004. Reducing methane emissions in sheep by immunization against rumen methanogens. *Vaccine*, 22(29-30): 3976-3985. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2004.03.053>
- Wright ADG, Auckland CH, Lynnd DH. 2007. molecular diversity of methanogens in feedlot cattle from ontario and prince edward island, canada. *Applied and Environmental Microbiology*, 73(13): 4206-4210. DOI: 10.1128/AEM.00103-07.
- Wuebbles DJ, Hayhoe K. 2002. Atmospheric methane and global change. *Earth Science Reviews*, 57(3-4): 177-210. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(01\)00062-9](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(01)00062-9)
- Yan T, Mayne CS, Gordon FG, Porter MG, Agnew RE, Patterson DC, Ferris CP, Kilpatrick DJ. 2010. Mitigation of enteric methane emissions through improving efficiency of energy utilization and productivity in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 93(6): 2630-2638. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2929>
- Zehetmeier M, Baudracco J, Hoffmann H, Heißenhuber A. 2012. Does increasing milk yield per cow reduce greenhouse gas emissions, a system approach. *Animal*, 6(1): 154-166. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1751731111001467>
- Zhang CM, Guo YQ, Yuan ZP, Wu YM, Wang JK, Liu JX and Zhu WY. 2008. Effect of octadeca carbon fatty acids on microbial fermentation, methanogenesis and microbial flora in vitro. *Animal Feed Science and Technology*, 146(3-4): 259-269. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2008.01.005>.