

Ruminantlarda Enterik Metan Emisyonunu Azaltma Stratejilerinde Tanenlerin Rolü ve Önemi

Süleyman Ercüment ÖNEL^{1*}, Taylan AKSU², Sema ALAŞAHAN³

^{1,3}Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Hatay

²Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Van

¹<https://orcid.org/0000-0001-6599-0541>

²<https://orcid.org/0000-0002-2977-200X>

³<https://orcid.org/0000-0002-1144-7786>

*Sorumlu yazar: ercumentonel@gmail.com

Derleme

Makale Tarihçesi:

Geliş tarihi: 07.09.2021

Kabul tarihi: 16.10.2021

Online Yayınlanma: 08.12.2021

Anahtar Kelimeler

Enterik metan salınımı

Ruminant

Sera gazı

Tanen

ÖZET

Ruminantlar için metan (CH₄) üretimi normal ve önemli bir süreçtir. Yetişkin bir sığırın rasyonundaki kuru madde alımına bağlı günlük ortalama 250-500 litre/gün, koyunların ise ortalama 20-55 litre/gün metan ürettiği belirlenmiştir ki açığa çıkan bu gazın enerji karşılığı ortalama 3500-4000 kcal'ye denk gelmektedir. Metan üretimini azaltmak için uygun ortam oluşturmak oldukça zordur. Enterik CH₄ üretimini azaltmak için çeşitli inhibisyon teknikleri kullanılmıştır. Ancak, bazı tekniklerin özellikle yüksek konsantrasyonda ruminant mikrobiyolojisi ve fermantasyonu üzerine zararlı etkileri vardır. Son yıllarda tüketiciler rumen ekosistemini değiştirmek için fitokimyasallar gibi doğal ürünlerin kullanılmasını talep etmektedir. Hayvan beslemede tanenlerin kullanımı *in vitro* ve *in vivo* çalışmalarla ele alınmıştır. Yapılan çalışmalarda, hayvanlardan enterik fermantasyonla üretilen CH₄'ün, küresel antropojenik CH₄ emisyonunun yaklaşık %25'ini oluşturduğunu ve bu oranın kırsal alanlarda yaklaşık %50 oranında arttığı belirtilmiştir. Kondanse tanen ve saponinlerin enterik CH₄ emisyonunu azaltma yeteneğine sahip oldukları *in vitro* çalışmalarla da ispatlanmıştır. Bu derlemede, ruminatların enterik metan emisyonunun azaltılması stratejilerinde tanenin önemi ve etkinliğini ortaya koymak amaçlanmıştır.

The Role and Importance of Tannins in Mitigation Strategies of Enteric Methane Emission in Ruminants

Reviews

Article History:

Received: 07.09.2021

Accepted: 16.10.2021

Available online: 08.12.2021

Keywords:

Enteric methane release

Ruminant

Greenhouse gas

Tannin

ABSTRACT

For ruminants, methane production is a normal and important process. The average Daily production of methane due to dry matter intake of ration is 250-500 L/day and 20-55 L/day for adult cattle and for sheep, respectively. The energy equivalent of this released gas is 3500-4000 kcal on average. It is very difficult to create a suitable environment to reduce methane production. Various inhibition techniques have been used to reduce enteric CH₄ production. However, some have deleterious effects, on ruminant microbiology and fermentation, especially in high concentrations. In recent years, consumers have demanded the use of natural products such as phytochemicals to change the rumen ecosystem. The use of tannins in animal nutrition has been dealt with *in vitro* and *in*

vivo studies in recent years. In a study, it was stated that CH₄ produced by enteric fermentation from animals constitutes approximately 25% of global anthropogenic CH₄ emissions and this rate increases by approximately 50% in rural areas. *In vitro* studies have also been proven that condensed tannins and saponins have the ability to reduce enteric CH₄ emissions. In this review, it is aimed to reveal the importance and effectiveness of tannin in the strategies of reducing enteric methane emission of ruminants.

To Cite: Önel SE, Aksu T, Alaşahan S., 2021. Ruminantlarda enterik metan emisyonunu azaltma stratejilerinde tanenlerin rolü ve önemi. Kadirli Uygulamalı Bilimler Fakültesi Dergisi, 1(2): 127-138.

Giriş

Kontrolsüz bir şekilde artan dünya nüfusunun 2050 yılında 9,15 milyar olması ve nüfusla birlikte süt, et gibi organik hayvancılık ürünlerine yönelik tüketici talebinin de artması beklenmektedir (Bunglavan ve Dutta, 2013). Artan nüfusa bağlı olarak, gelişmekte olan ülkelerde hayvansal ürün tüketim oranı, gelişmiş ülkelere kıyasla hala düşüktür, bu durum hayvancılık üretimini artırmaya yönelik çalışmalara önemli bir ihtiyaç olduğunu göstermektedir (Thornton ve Gerber, 2010; Gameda, 2018). Ruminant beslemede üretimi artırmak amaçlı uzun süre kullanılan büyüme destekleyici antibiyotiklerin hayvanlarda mikrobiyal dirence neden olduğu bildirilmiştir (Chattopadhyay, 2014). Bu nedenle araştırmacılar, ilaç direnci tehditlerini azaltmak için güvenilir yem katkı maddeleri bulmaya yönelik çalışmaktadır.

Tanen içeren bitkiler, ruminant beslemede potansiyel yem katkı maddeleri olarak kabul edilmektedir (Yang ve ark., 2015). Bu bitkiler, yem kaynaklarının bulunmadığı kuru ve sıcak mevsimlerde mevcut olan yüksek protein profili nedeniyle hayvan beslemede önemli bir yere sahip olduğu bilinmektedir (Koneswaran ve Nierenberg, 2008). Bu nedenle, Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) gelecekte yem kıtlığından kaçınmak için hayvan beslemede yerel kaynakların kullanılmasına kesinlikle ihtiyaç duyulduğunu bildirmiştir (FAO 2013). Tanen içeren bitkiler fenolik maddeler bakımından zengindir ve farklı moleküler ağırlığa sahip, bitkilerde doğal olarak bulunan sekonder bileşiklerdir ve bunlar ruminantlar tarafından tüketilen hemen hemen tüm damarlı (vasküler) bitkilerde bulunur (Wang ve ark., 2015).

Tanenler; bileşimine, konsantrasyonuna, hayvan türlerine ve fizyolojik durumuna bağlı olarak hem yararlı hem de zararlı etkilere sahiptir (Patra ve Saxena, 2011). Tanenler hidrolize olabilen tanenler (HT) ve kondanse tanenler (KT) olarak ikiye ayrılır. Tanenler, idrarda azot atılımını, bağırsak parazitlerini ve rumende CH₄ oluşumunu azaltan önemli özelliklere sahiptir. Bu özellikler süt üretimi, bağışıklık sistemi, yapağı kalitesi ve döl verimi üzerine olumlu etki yaratır (Attia ve ark., 2016). Yetişkin bir sığır rasyonundaki kuru madde alımına

bağlı günlük ortalama 250-500 litre/gün, koyunların ise ortalama 20-55 litre/gün metan ürettiği belirlenmiştir ki açığa çıkan bu gazın enerji karşılığı ortalama 3500-4000 kcal'ye denk gelmektedir (Eckard ve ark., 2010). Bu durum enerji açığını oluşturmakla kalmaz aynı zamanda çevre kirliliğine de yol açar.

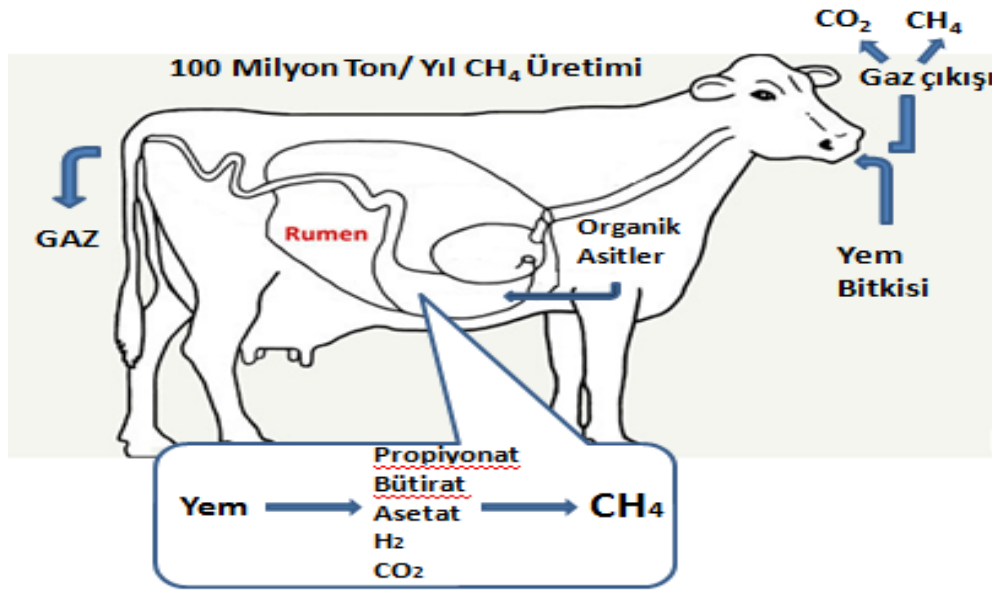
Bu nedenle, mevcut derlemenin amacı; enterik CH₄ üretimini azaltmak için ruminant rasyonlarına yem katkı maddesi olarak tanenlerin kullanımına ilişkin bilimsel bilgiler sağlayarak, küresel iklim değişikliğinin etkisini en aza indirmek ve ruminant hayvanların üretimini geliştirebilmektir.

Tanenlerin Hayvansal Üretime Etkisi

Kondanse tanen içeren bitkiler ruminant beslemede antibiyotik ve büyüme hızlandırıcılarına alternatif olarak tanımlanmıştır (Naumann ve ark., 2017). Ruminantların tanen içerikli yemlerle beslenmesi adaptasyon süreci gerektirir ve yem tüketimi, 6 ile 24 gün boyunca adaptasyon süresinden etkilenir. Bu durum rasyondaki tanenin bileşimine, konsantrasyon dozuna ve alımına bağlı olarak hayvanlar üzerinde çeşitli etkiler gösterir (Huang ve ark., 2018). Yapılan bir çalışmada, %3 oranında kondanse tanen içeren yem katkı maddesi (*H. coronarium*) ile beslenen koyunların, çok yıllık mera bitkilerini tüketenlerden daha fazla canlı ağırlık artışı gösterdiği bildirilmiştir (Iqbal ve ark., 2007). Yine tanen içeriği 44,5 g/kg kuru madde (KM) olan sarı çiçekli gazal boynuzu (*L. corniculatus*) ve polietilen glikol (PEG) ile beslenen koyunlarda verim performansında olumlu sonuçlar alındığı belirtilmiştir. Ayrıca, yemlerde bulunan KT hayvanlarda iştahı etkilemektedir. Kuzularda 26 g/kg KT içeren keçiboynuzu posası ile yapılan çalışmada canlı ağırlık artışı (CAA)'nın 140 g'dan 48 g/gün'e düştüğü ortaya konulmuştur (Priolo ve ark., 2000). Koyunlarda, KT içeren *Lotus pedunculatus* otu verilen grubun, yonca kuru otu ile beslenen gruba kıyasla karkas yağlanmasını azalttığı bildirilmiştir. Ancak, 72 g/kg KT içeren beyaz zencefil zambak (*H. Coronarium*) tüketen kuzularda CAA üzerine zararlı bir etkinin olmadığı kaydedilmiştir (Piluzza ve ark., 2014). Erkek kuzuların rasyonlarına 37,5 mg/kg KT içeren *Lysiloma acapulcensis* (Kunth) yapraklarının ilavesinin canlı ağırlık artışı sağladığı bildirilmiştir (García-Hernández ve ark., 2017). Sonuçlardaki bu farklılıklar; hayvanın sağlığına, hayvan barınağına, tanen konsantrasyonuna, kompozisyonuna ve yapısal çeşitliliğine bağlıdır.

Enterik Metan Emisyonu Nedir?

Ruminantlar için metan üretimi normal ve önemli bir süreçtir (Şekil 1). Fermantasyon sırasında rumende hidrojen (H_2) üretilir ve metanojenler enerji kaynağı olarak H_2 kullanır (Janssen, 2010), bu da CH_4 oluşumuna neden olur. Solunumlarının yan ürünü olarak metan üreten mikroorganizmalara metanojenler, tüm CH_4 oluşum sürecine ise metanogenez denir (Jafari ve ark., 2019). Metanın yaklaşık %89-90'ı rumende yem fermantasyonunun bir sonucu olarak üretilerek ağız ve burun tarafından dışarı atılır. Buzağılarda yapılan çalışmada CH_4 üretimi ve atılma sürecinin retikulo rumenin gelişmeye başladığı 4 haftalık yaşta başladığını bildirmiştir (Jafari ve ark., 2019). Metan, iklim değişikliklerine neden olan ve küresel ısınmayı etkileyen CO_2 'den daha tehlikelidir (Bodas ve ark., 2012). Bu nedenle, yeşil çevre ve hayvancılık üretimini sağlamak ve enterik CH_4 emisyonunu azaltmak için alternatif yem katkı maddesi bulmaya ihtiyaç vardır.



Şekil 1. Ruminal metan gazı oluşumu (Duin ve ark., 2016)

Metan Emisyonunun Azaltılmasında Tanenlerin Rolü

Metan üretimini azaltmak için uygun ortam oluşturmak oldukça zordur. Enterik CH_4 üretimini düşürmek için çeşitli inhibisyon teknikleri kullanılmıştır (Patra ve ark., 2016). Ancak, bazılarının özellikle yüksek konsantrasyonda ruminant mikrobiyolojisi ve fermantasyonu üzerine zararlı etkileri vardır (Patra ve Yu, 2013). Ayrıca, çeşitli CH_4 inhibitörleri ruminantlar için toksiktir (Patra ve Yu, 2012). Son yıllarda tüketiciler rumen ekosistemini değiştirmek için fitokimyasallar gibi doğal ürünlerin kullanılmasını talep etmektedir. Yaklaşık 200,000'den fazla bitkinin sekonder metabolitlerinin (BSM) yapısı tanımlanmıştır, ancak BSM'ler üç ana sınıfa ayrılmıştır; tanenler, uçucu yağlar ve saponinler

(Bhatta ve ark., 2015). Özellikle kondanse ve hidrolize olabilen tanenler, yapılarında ve biyolojik aktivitelerinden dolayı karmaşık BSM sınıfıdır (Bhatta ve ark., 2009).

Son yıllarda hayvan beslemede tanenlerin kullanımı *in vitro* ve *in vivo* çalışmalarla ele alınmıştır. Yapılan bir çalışmada, hayvanlardan enterik fermantasyonla üretilen CH₄'ün, küresel antropojenik CH₄ emisyonunun yaklaşık %25'ini oluşturduğunu ve bu oranın kırsal alanlarda yaklaşık %50 oranında arttığı belirtilmiştir (Kumar ve ark., 2014; Jafari ve ark., 2019). Metan, karbondioksit (CO₂), ozon gazı (O₃), nitroz oksit (N₂O) gibi sera gazları çevresel değişime neden olur ve atmosferdeki kızılötesi radyasyon ile küresel ısınmaya neden olmaktadır (Nawab ve ark., 2020). Atmosferdeki karbondioksit (CO₂) konsantrasyonu 1000-1750 yılları arasındaki 280 ppm (parts per million) değerinden 2000 yılında 368 ppm'ye yükselmiştir. Atmosferdeki CO₂ ve CH₄ emisyonlarının yarısı son 40 yılda meydana gelmiştir (Doğan ve Tüzer, 2011).

Metan emisyonlarının %50-60'ının tarım alanlarından, özellikle de çiftlik hayvanlarından üretildiği ve ruminantların CH₄ üretiminin birincil kaynağı olarak sınıflandırıldığı bildirilmiştir (Hook ve ark., 2010). Çok sayıda çalışma, dünya çapında yılda 80 milyon ton CH₄ üretildiğini ve bunun neredeyse %47'sinin tarım alanlarından ve %39'unun hayvanlardan kaynaklandığını belirtmiştir (Gerber ve ark., 2013).

Metan emisyonu ruminant hayvanların metan enerjisi şeklinde oluşan gaz enerjisi brüt enerjide %2-12 oranında kayıplara sebep olmaktadır (Wanapat ve ark., 2015). Yapılan bir çalışmada sığırların yemin türüne, partikül büyüklüğüne ve kuru madde oranına bağlı olarak hayvan başı 60-160 kg/yıl, koyun ve keçilerin ise 10-16 kg/yıl CH₄ ürettiği bildirilmiştir (Hristov ve ark., 2013). Mueller-Harvey (2006), yüksek enerjili yemlerle beslenen ruminantların sera gazlarını arttırdığını incelemiştir (Irene Mueller-Harvey, 2006). Puchala ve ark. (2005), KT içeren Japon üçgülü (*L. cuneata*) ile beslenen keçilerin, çatal otu (*Digitaria ischaemum*) ve kamış yumağı (*Festuca arundinacea*) bitkilerine kıyasla CH₄ üretimini 180 g/kg azalttığını bildirmiştir (Puchala ve ark., 2005). Yapılan araştırmada tanen içerikli keçi söğüdü (*Salix caprea*) bitkisi ve *L. Pedunculatus* ilavesinin rumende CH₄ miktarını %16-20 oranında azalttığı belirtilmiştir (Waghorn ve ark., 2002). Bununla birlikte, *L. Corniculatus* bitkisinden yapılan silaj denemesinde CH₄' ü %23 oranında azalttığı bildirilmiştir.

Kondanse tanen ve saponinlerin enterik CH₄ emisyonunu azaltma yeteneğine sahip oldukları *in vitro* çalışmalarla da ispatlanmıştır (Denek ve ark., 2017; Gunun ve ark., 2018). *In vitro* yapılan bir çalışmada, rasyona KT ve saponinlerden yoğun olan rambutan meyvesi kabuğu (*Nephelium lappaceum* L.) ilavesinin rumen ekosisteminde protozoa ve metanojenler üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. Çalışmada rambutan meyvesi

kabuğundan 16 mg ilave edilen grupta rumen metabolizmasını arttırarak metan emisyonunu azalttığı bildirilmiştir (Gunun ve ark., 2018). Ayrıca benzer *in vitro* yapılan çalışmada, rasyondaki KM oranı üzerinden %2-6 dozunda katılan KT içeren mangosteen (*Garcinia mangostana L.*) meyve kabuğunun ilavesi toplam gaz üretimini azalttığı bildirilmiştir (Paengkoum ve ark., 2015). Denek ve ark. (2017)'nin yaptıkları çalışmada mısır silajına KT içeriği 26,17 gr/kg KM olan Antep fıstığı (*Pistaciavera L.*) dış kabuğu ilavesinin, KM esasına göre %10 oranında katılması CH₄ üretimini %32 oranında baskıladığı sonucuna varmışlardır.

Bununla birlikte CH₄ oluşumu, KT uygulamasıyla H₂ ve metanojenlerin üretimini engelleyerek azaltılabileceğini belirtmek çok önemlidir (Pathak ve ark., 2017). Bhatta ve ark. (2009), rumende CH₄ üretiminin, tanen bakımından zengin bitki katkılarının, metanojen veya protozoal popülasyonu azaltmasıyla inhibe edilebileceğini ifade etmiştir. Ayrıca, her iki tanen takviyesinin (HT ve KT), tanen takviyesi olmayan rasyonlara kıyasla metanogenezi inhibe etme potansiyeline sahip olduğu gözlemlenmiştir (Bhatta ve ark., 2009). Başka bir çalışmada, ruminantlara verilen fenolik yemin (korunga) *in vitro* CH₄ üretimini azalttığı bildirilmiştir (Guglielmelli ve ark., 2011). *In vitro* yapılan bir çalışmada, %60 ve %30 oranında ilave edilen KT bazlı Kıbrıs akasyası (*Acacia cyanophylla*) bitkisinin sırasıyla %37,5 ve %56,25 oranında CH₄ üretimini azalttığı ve Kıbrıs akasyası bitkisinin rumen mikroorganizmaları, metanojenler, siliat protozoalar için toksik olarak kaydedilen yüksek KT konsantrasyonundan kaynaklandığını belirtmiştir (Rira ve ark., 2015). Ayrıca, Kıbrıs akasyası eklenmesiyle uçucu yağ asidi profilindeki değişiklik nedeniyle CH₄ üretimi inhibe edilmiş ve propionat konsantrasyonunu artırdığı bildirilmiştir (Kamra ve ark., 2006). Jayanegara ve ark. (2015), sumak, kestane, balta kırıcı (*Quebracho*) ve mimoza gibi tanen içeren bitkilerden *in vitro* 0,5; 0,75 ve 1,0 mg/ml rumen sıvısı konsantrasyonlarında yapılan uygulamasıyla önceki sonuçlara paralel tanenlerin rumen metanojenezi üzerinde inhibe edici etkisiyle ruminal CH₄ emisyonunu azalttığını belirtmişlerdir (Jayanegara ve ark., 2015). Bu nedenle hem *in vitro* hem de *in vivo* çalışmalar, tanen konsantrasyonunun (0 ila 177 g/kg) artmasının CH₄ üretimini önemli ölçüde azalttığı belirtilmiştir. Ancak tüm çalışmalarda HT + KT içeren bitkilerin *in vitro* CH₄ üretimini azaltmada sadece HT bazlı diyetle karşılaştırıldığında daha etkili olduğu, fenolik fraksiyonlar içeren tanen ekstralarının de tanen içeren bitki yapraklarına kıyasla daha etkili olduğu belirtilmiştir (Bhatta ve ark., 2012). Sonuçlardaki farkın tanen katkısının kaynağı, konsantrasyonu, bileşimi, dozu ve tanenlerin adaptasyon süresinden kaynaklandığı ileri sürülmektedir. Araştırmacılar tanenlerin, diğer fermantasyon parametrelerini etkilemeden rumen CH₄ üretimini etkileyebileceği ve rumen fermantasyonu üzerindeki etkilerinin spesifik tiplerine, kaynaklarına ve konsantrasyonlarına göre farklı olduğu sonucuna varmışlardır. Bu

nedenle, daha detaylı çalışma ile CH₄ üretiminin, hayvancılık üretimini iyileştirmeye ve gelecekte iklim değişikliklerini kontrol etmeye yardımcı olabilecek tanen katkılı yemlerin takviyesi yoluyla protozoa ve CH₄ popülasyonunu inhibe ederek azaltılabileceği doğrulanmıştır.

Yemlerdeki Tanen Kullanımının Güvenlik ve Riskleri

Tanenlerin yem katkı maddesi olarak kullanımıyla ilgili herhangi bir çevresel tehlike bildirilmemiş ve hayvanlar için uygun dozları kullanıldığında güvenilir olduğu belirtilmiştir. Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA) tarafından düzenlenen Hayvan Beslemede Kullanılan Ürünler ve Katkı Maddeleri (FEEDAP) paneli; tanenlerin, cilt, göz ve mukoza ile doğrudan temas yoluyla veya solunum yoluyla maruz kalan çalışanlarda tehlikeli etkilere neden olduğunu bildirmiştir (Food ve Authority, 2014). Bazı bulgular, yüksek KT konsantrasyonlu yem katkı maddesinin (kestane) ruminantlarda karaciğer ve böbrek toksisitesine neden olduğunu göstermiştir, ancak 28 günlük çalışma sırasında mide ve bağırsak üzerinde olumsuz bir etki bulunmamıştır (Min ve ark., 2015).

Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA), önerilen konsantrasyona kıyasla sığır ve buzağılarda toksik tanen seviyesini belirleyerek sığırlarda güvenli tanen uygulama seviyesinin 15000 mg/kg, buzağılarda ise 1500 mg/kg KM üzerinden yem olarak belirlemiştir (Food ve Authority, 2014). Bu nedenle, olumlu sonuçlara ulaşmak için hayvan rasyonunda tanenlerin uygulanmasından önce dikkat edilmesi önerilir.

Sonuç ve Öneriler

Hayvancılık üretimi, milyonlarca insanın yoksulluğunu ortadan kaldırmak ve sağlıklı bir toplum oluşturmak için önemli bir role sahiptir. Son zamanlarda dünya gıda güvenliği, sera etkileri, küresel ısınma ve artan küresel nüfus gibi çeşitli zorluklarla karşı karşıyadır. Antibiyotik büyümesi destekleyicileri, gıda hayvanlarında mikrobiyal direnç neden olur ve insanlarda gıda güvenliği sorunları (ilaç direnci) oluşturur. Bu nedenle, antibiyotik yem katkı maddelerine doğal bir alternatif araştırmak gerekir. Yukarıdaki konu ile ilgili olarak, tanenler antibiyotik büyüme hızlandırıcılarına bir alternatif olarak sınıflandırılmıştır. Tanen içerikli bitkiler ruminant üretimini geliştirme ve küresel ısınma problemini en aza indirme potansiyeline sahiptir. Tanen içeren yemler, rumen fermantasyonunu, protein emilimini, enerji verimliliğini (metan emisyonunu azaltma), süt verimini ve yağ asidi bileşimini artırabilen antimikrobiyal, antiparazitik ve anti metanojen özelliklerine sahiptir. Ayrıca, metan azaltma stratejileri sadece ruminant üretimini artırmakla kalmaz, aynı zamanda küresel metan

emisyonunda hayvancılığın katkısını da azaltır. Bu nedenle tanenle ilişkili faydalı ve zararlı etkilerin doza, süreye, kaynağa, konsantrasyona ve bileşime bağlı olduğu açıkça bildirilmiştir. Bu nedenle, optimum üretime ulaşmak için ruminantların beslenmesinde tanenlerin uygulanmasından önce önleyici tedbirler kullanılmalıdır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynaklar

Attia A, Marwa F, Nour El-Din MAN, El-Zarkouny SZ, El-Zaiat HM, Zeitoun MM, Sallam ASM., 2016. Impact of quebracho tannins supplementation on productive and reproductive efficiency of dairy cows. *Open Journal of Animal Sciences*, 06(04): 269-288.

Bhatta R, Uyeno Y, Tajima K, Takenaka A, Yabumoto Y, Nonaka I, Kurihara M., 2009. Difference in the nature of tannins on *in vitro* ruminal methane and volatile fatty acid production and on methanogenic archaea and protozoal populations. *Journal of Dairy Science*, 92(11): 5512-5522.

Bhatta R, Saravanan M, Baruah L, Sampath KT., 2012. Nutrient content, *in vitro* ruminal fermentation characteristics and methane reduction potential of tropical tannin-containing leaves. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92(15): 2929-2935.

Bhatta R, Saravanan M, Baruah L, Prasad CS., 2015. Effects of graded levels of tannin-containing tropical tree leaves on *in vitro* rumen fermentation, total protozoa and methane production. *Journal of Applied Microbiology*, 118(3): 557-564.

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.

Bunglavan S, Dutta N., 2013. Use of tannins as organic protectants of proteins in digestion of ruminants. *Livest. Sci*, 4: 67-77.

Chattopadhyay MK., 2014. Use of antibiotics as feed additives: A burning question. *Frontiers in Microbiology*, 5: 1-3.

Denek N, Aydın SS, Can A., 2017. The effects of dried pistachio (*Pistachio vera* L.) by-product addition on corn silage fermentation and in vitro methane production. *Journal of Applied Animal Research*, 45(1): 185-189.

Doğan S, Tüzer M., 2011. Küresel iklim değişikliği ve potansiyel etkileri. *ÇÜ İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 12(1): 21-34.

Duin EC, Wagner T, Shima S, Prakash D, Cronin B, Yáñez-Ruiz DR, Kindermann M., 2016. Mode of action uncovered for the specific reduction of methane emissions from ruminants by the small molecule 3-nitrooxypropanol. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113(22): 6172-6177.

Eckard RJ, Grainger C, Klein CAM., 2010. Options for the abatement of methane and nitrous oxide from ruminant production: A review. *Livestock Science*, 130(1–3): 47-56.

FAO, 2013. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

Food E, Authority S., 2014. Scientific opinion on the safety and efficacy of tannic acid when used as feed flavouring for all animal species. *EFSA Journal*, 12(10): 1-18.

García-Hernández C, Arece-García J, Rojo-Rubio R, Mendoza-Martínez GD, Albarrán-Portillo B, Vázquez-Armijo JF, López-Leyva Y., 2017. Nutraceutical effect of free condensed tannins of *Lysiloma acapulcensis* (Kunth) benth on parasite infection and performance of Pelibuey sheep. *Tropical Animal Health and Production*, 49(1): 55-61.

Gemeda BS., 2018. The potential of tropical tannin rich browses in reduction of enteric methane. *Approaches in Poultry, Dairy and Veterinary Sciences*, 2(3): 154-162.

Gerber PJ, Hristov AN, Henderson B, Makkar H, Oh J, Lee C, Oosting, S., 2013. Technical options for the mitigation of direct methane and nitrous oxide emissions from livestock: a review. *Animal : An International Journal of Animal Bioscience*, 7: 220-234.

Guglielmelli A, Calabrò S, Primi R, Carone F, Cutrignelli MI, Tudisco R, Danieli PP., 2011. *In vitro* fermentation patterns and methane production of sainfoin (*Onobrychis viciifolia* Scop.) hay with different condensed tannin contents. *Grass and Forage Science*, 66(4): 488-500.

Gunun P, Gunun N, Cherdthong A, Wanapat M, Polyorach S, Sirilaophaisan S, Kang S., 2018. *In vitro* rumen fermentation and methane production as affected by rambutan pee powder. *Journal of Applied Animal Research*, 46(1): 626-631.

Hook SE, Wright ADG, McBride BW., 2010. Methanogens: Methane producers of the rumen and mitigation strategies. *Archaea*, 2010: 50-60.

Hristov AN, Oh J, Firkins JL, Dijkstra J, Kebreab E, Waghorn G, Tricarico JM., 2013. Special Topics-Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I.

A review of enteric methane mitigation options. *Journal of Animal Science*, 91(11): 5045–5069.

Huang Q, Liu X, Zhao G, Hu T, Wang Y., 2018. Potential and challenges of tannins as an alternative to in-feed antibiotics for farm animal production. *Animal Nutrition*, 4(2): 137–150.

Iqbal Z, Sarwar M, Jabbar A, Ahmed S, Nisa M, Sajid MS, Yaseen M., 2007. Direct and indirect anthelmintic effects of condensed tannins in sheep. *Veterinary Parasitology*, 144(1-2): 125-131.

Irene Mueller-Harvey., 2006. Unravelling the conundrum of tannins in animal nutrition and health. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1243: 2010-2037.

Jafari S, Ebrahimi M, Goh YM, Rajion MA, Jahromi MF, Al-Jumaili WS., 2019. Manipulation of rumen fermentation and methane gas production by plant secondary metabolites (saponin, tannin and essential oil) - A review of ten-year studies. *Annals of Animal Science*, 19(1): 3-29.

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*, 160(1–2): 1-22.

Jayanegara A, Goel G, Makkar HPS, Becker K., 2015. Divergence between purified hydrolysable and condensed tannin effects on methane emission, rumen fermentation and microbial population *in vitro*. *Animal Feed Science and Technology*, 209: 60-68.

Kamra DN, Agarwal N, Chaudhary LC., 2006. Inhibition of ruminal methanogenesis by tropical plants containing secondary compounds. *International Congress Series*, 1293: 156–163.

Koneswaran G, Nierenberg D., 2008. Global farm animal production and global warming: Impacting and mitigating Climate Change. *Environmental Health Perspectives*, 116(5): 578-582.

Kumar S, Choudhury PK, Carro MD, Griffith GW, Dagar SS, Puniya M, Puniya AK., 2014. New aspects and strategies for methane mitigation from ruminants. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 98(1): 31-44.

Min BR, Hernandez K, Pinchak WE, Anderson RC, Miller JE, Valencia E., 2015. Effects of plant tannin extracts supplementation on animal performance and gastrointestinal parasites infestation in steers grazing winter wheat. *Open Journal of Animal Sciences*, 05(03): 343-350.

Naumann HD, Tedeschi LO, Zeller WE, Huntley NF., 2017. The role of condensed tannins in ruminant animal production: Advances, limitations and future directions. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 46(12): 929-949.

Nawab A, Li G, An L, Nawab Y, Zhao Y, Xiao M, Sun C., 2020. The potential effect of dietary tannins on enteric methane emission and ruminant production; As an alternative to antibiotic feed additives - A review. *Annals of Animal Science*, 20(2): 355-388.

Paengkoum P, Phonmun T, Liang JB, Huang XD, Tan HY, Jahromi MF., 2015. Molecular weight, protein binding affinity and methane mitigation of condensed tannins from mangosteen-peel (*garcinia mangostana* L). *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 28(10): 1442-1448.

Pathak AK, Dutta N, Pattanaik AK, Chaturvedi VB, Sharma K., 2017. Effect of condensed tannins from *Ficus infectoria* and *Psidium guajava* leaf meal mixture on nutrient metabolism, methane emission and performance of lambs. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 30(12): 1702-1710.

Patra AK, Saxena J., 2011. Exploitation of dietary tannins to improve rumen metabolism and ruminant nutrition. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(1): 24-37.

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.

Patra AK, Yu Z., 2013. Effective reduction of enteric methane production by a combination of nitrate and saponin without adverse effect on feed degradability, fermentation, or bacterial and archaeal communities of the rumen. *Bioresource Technology*, 148: 352-360.

Patra PK, Saeki T, Dlugokencky EJ, Ishijima K, Umezawa T, Ito A, Nakazawa T., 2016. Regional methane emission estimation based on observed atmospheric concentrations (2002-2012). *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 94(1): 91-113.

Piluzza G, Sulas L, Bullitta S., 2014. Tannins in forage plants and their role in animal husbandry and environmental sustainability: A review. *Grass and Forage Science*, 69(1): 32-48.

Priolo A, Waghorn GC, Lanza M, Biondi L, Pennisi P., 2000. Polyethylene glycol as a means for reducing the impact of condensed tannins in carob pulp: Effects on lamb growth performance and meat quality. *Journal of Animal Science*, 78(4): 810-816.

- Puchala R, Min BR, Goetsch AL, Sahlu T., 2005. The effect of a condensed tannin-containing forage on methane emission by goats¹. *Journal of Animal Science*, 83(1): 182–186.
- Rira M, Chentli A, Boufenera S, Bousseboua H., 2015. Effects of plants containing secondary metabolites on ruminal methanogenesis of sheep *in vitro*. *Energy Procedia*, 74: 15-24.
- Thornton PK, Gerber PJ., 2010. Climate change and the growth of the livestock sector in developing countries. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 15(2): 169–184.
- Waghorn GC, Tavendale MH, Woodfield DR., 2002. Methanogenesis from forages fed to sheep. *Proc. NZ. Grassl. Assoc*, 64: 159-165.
- Wanapat M, Cherdthong A, Phesatcha K, Kang S., 2015. Dietary sources and their effects on animal production and environmental sustainability. *Animal Nutrition*, 1(3): 96–103.
- Wang Y, McAllister TA, Acharya S., 2015. Condensed tannins in sainfoin: Composition, concentration, and effects on nutritive and feeding value of sainfoin forage. *Crop Science*, 55(1): 13-22.
- Yang C, Chowdhury MAK, Hou Y, Gong J., 2015. Phytogetic compounds as alternatives to in-feed antibiotics: Potentials and challenges in application. *Pathogens*, 4(1): 137-156.