

Sera Gazı Salınımı ve Çevre Kirliliğinin Azaltılması Yönünden Yemlik Baklagillerin Önemi

Zeki ACAR¹, Mehmet CAN¹, Özlem ÖNAL AŞÇI², Erdem GÜLÜMSER³, Gülcan KAYMAK¹, İlknur AYAN¹

ÖZET: Nüfus, şehirleşme oranı ve gelir artışı gibi nedenlerle yüksek kaliteli gıdalara (özellikle hayvansal gıdalar) olan talep dünya genelinde artmaktadır. Bu artışın gelecek yıllarda da sürmesi beklenmektedir. Bu durum gıda üretiminin artırılması ve çevresel yönden sürdürülebilir bir sisteme oturtulması gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Son yüzyılda, atmosferdeki CO₂ düzeyi yaklaşık 100 ppm, dünyanın ortalama ısısı 0.9 °C ve deniz suyu seviyesi 20 cm kadar yükselmiştir. Hayvancılık faaliyetleri, tarımsal kimyasallar, çeltik tarımı, tarımda kullanılan makineler ve anız yakma gibi bazı tarımsal faaliyetler önemli düzeyde sera gazı salınımına neden olmaktadır. Yürütülen birçok araştırmanın sonuçlarına göre, ekim nöbeti sistemlerinde ve hayvan beslemede yemlik baklagillerin kullanılması, sera gazı salınımı ve çevresel kirliliği önemli oranda azaltmaktadır. Bitkisel üretimde en sınırlayıcı element azottur ve tarımda kullanılan azotlu gübrelerin üretiminde çok yüksek oranda sera gazı salınımına neden olan fosil yakıtlar kullanılmaktadır. Azotlu gübrelerin yerine, simbiyotik yolla N₂ bağlayan baklagillerin tarım sistemine dahil edilmesi, daha çevre dostu ve sürdürülebilir bir uygulamadır. Baklagiller simbiyotik yolla yılda hektara 100-380 kg N bağlayabilme yeteneğindedirler. Hayvancılık, sindirim sistemi fermentasyonu, atık gübreler ve diğer üretim faaliyetleri sırasında ortaya çıkan CO₂, CH₄ ve N₂O nedeniyle, tarımsal kökenli sera gazı salınımının en önemli kaynağıdır. Yemlik baklagillerin hayvan rasyonlarına katılması verimliliği artırırken, aynı zamanda et ve süt üretiminde CH₄ ve N₂O salınımını azaltmakta ve karbon tutumunu da artırmaktadır. Dünya genelinde antropojenik CH₄ salınımının yaklaşık % 21-25'i hayvan sindirim sisteminde üretilmektedir. Bazı yemlik baklagiller bünyelerinde tanen ve polifenoloksidaz gibi ikincil metabolitler bulundurlar. Bu maddeler hayvanın sindirim sisteminde metan oluşumunu azaltırlar ve ayrıca sindirilemeyen azotu idrar yerine dışkıya yönlendirirler. İdrardaki N hızlıca N₂O'ya dönüşüp, sera gazı olarak atmosfere geçerken, dışkıdaki azot organik madde olarak toprakta depolanır. Çayır-mera alanlarının ana bileşenlerinden olan yemlik baklagiller toprak-bitki-hayvan-atmosfer sisteminin farklı aşamalarında çok önemli katkı sağlarlar.

Anahtar Kelimeler: Baklagil, Kirlilik, Küresel ısınma, Sera gazı.

Mitigating Effects of Forage Legumes on Greenhouse Gases Emission and Some Pollutants

ABSTRACT: The demand for high quality foods is increasing due to increase of urbanization, population and disposable income. Thus increased global food production is required and this increase must be achieved through environmentally sustainable production systems. It is a fact that CO₂ concentration of atmosphere about 100 ppm, average global temperature about 0.9 °C, and sea level about 20 cm increased in the last century. Some agricultural activities such as, enteric fermentation, agricultural chemicals, paddy farm, agricultural machines and burning of stubble causes highly greenhouse gases (GHG) emission. Regard the results of studies, forage legumes used in crop rotation and livestock feeding decreases GHG emissions and pollute of natural sources. Currant agricultural production is highly N limited, while the provision of industrial N is largely based on fossil energy with its associated emission of GHG. Thus, substitution of industrial N fertilizer with N derived from legumes' symbiotic N₂ fixation is an important contribution to more environmental friendly and resource efficient agricultural systems. Livestock production is a significant source of GHG emissions, generating CO₂, CH₄ and N₂O from enteric fermentation, manure management and other production activities. Inclusion of forage legumes in ruminant diets can potentially improve productivity while at the same time reducing the C footprint of meat and milk production through reduced CH₄ and N₂O emissions as well as enhanced C sequestration. Several forage legumes possess plant secondary metabolites that include tannins and polyphenoloxidase. In the rumen, these secondary metabolites protect proteins from degradation and ruminants excrete less urinary N but more fecal N. This is important because the urinary N is quickly converted to ammonia and N₂O which induces environmental problems. There is evidence that forage legumes, as components of mixed grass-legume swards, can provide multiple benefits to agriculture by acting at different stages in the soil-plant-animal-atmosphere system.

Keywords: Forage legumes, GHG, Global warming, Pollution.

¹ Zeki ACAR (0000-0002-0484-1961), Mehmet CAN (0000-0003-0230-6209), Gülcan KAYMAK (0000-0002-0915-0529), İlknur AYAN (0000-0002-5097-9013), Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Samsun, Türkiye

² Özlem ÖNAL AŞÇI (0000-0002-9487-9444), Ordu Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Ordu, Türkiye

³ Erdem GÜLÜMSER (0000-0001-6291-3831), Şeyh Edebali Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Bilecik, Türkiye
Sorumlu yazar/Corresponding Author: Zeki ACAR, zekiacar@omu.edu.tr

GİRİŞ

Sanayi devriminden sonra başlayan ve son yüzyıl içerisinde giderek hızlanan bir küresel ısınma sorunu ile karşı karşıyayız. Bunun nedeni atmosferdeki başta karbon dioksit, metan, azot oksit ve su buharı olmak üzere çeşitli ısı tutucu gazların yoğunluğunun artmasıdır. Çeşitli endüstriyel faaliyetler, motorlu taşıtlar, solunum ve fermentasyon, tarımsal faaliyetler (çeltik tarımı, anız yakma, kimyasallar, enterik fermentasyon, tarım makinaları vb.) sözü edilen gazların salınımını hızlandırmaktadır. Nitekim, küresel ısınma konusunda faaliyet yürüten Uluslararası İklim Değişikliği Paneli (IPCC), 1950'lerden sonra atmosferdeki karbondioksit yoğunluğunun 1/3 oranında, yani 300 ppm'den 400 ppm'e yükseldiğini bildirmektedir (Anonymous, 2014). Türkiye'de 2015 yılı verilerine göre atmosfere yılda 475.1 milyon ton kadar CO₂ salınımı olduğu, bunun ağırlıklı çoğunluğunun enerji sektöründen kaynaklandığı, bunu sanayi sektörü, çeşitli atıklardan kaynaklanan salınımlar ve tarımsal faaliyetlerin takip ettiği belirlenmiştir (Anonim, 2015). Isı tutucu gazların oranındaki artış, dünyanın ortalama sıcaklığını yükseltmektedir. Aynı kurum tarafından yayınlanan veriler, son yüzyıl içerisinde dünyanın ortalama sıcaklığında 1^o C kadar bir artış olduğunu göstermektedir. Atmosfer ısısındaki artışın, başta Kuzey Kutbu olmak üzere, dünya üzerindeki buzulların hızla erimesine yol açtığı ve eriyen buzulların son yüzyılda deniz suyu seviyesinde 20 cm kadar yükselmeye neden olduğu tespit edilmiştir (Anonymous, 2014).

Diğer yandan, nüfusun ve şehirleşmenin artması, kişi başına düşen gelirin yükselmesi gibi nedenlerle, başta hayvansal ürünler olmak üzere, kaliteli gıdalara olan talep dünya genelinde hızla artmaktadır (Delgado, 2005). Gelecek yıllarda da artış eğiliminin sürmesi beklenmektedir. Artan talebi karşılayabilmek için, dünya gıda üretiminin artırılması zorunludur. Ancak, üretim artışlarının çevresel yönden sürdürülebilir olması gereklidir. Bitkisel ve hayvansal üretimde, hem üretim artışı sağlanması, hem de çevresel yönden sürdürülebilir olması nedeniyle, baklagillerin tarım sisteminin içerisinde daha çok yer alması ve baklagil ağırlıklı kaliteli kaba yem üretiminin artırılması büyük önem taşımaktadır. Bu derleme çalışmasında, tarım (büyük ölçüde hayvancılık) sektöründen kaynaklanan sera gazı salınımı ve tarımsal faaliyetlerle oluşan kirliliğin azaltılması açısından yemlik baklagillerin önemi vurgulanmıştır.

Sera Gazı Salınımının Azaltılması

Dünya genelinde sera gazı salınımına yol açan en önemli sektörlerden birisi de tarımdır. Tarım sektörü içerisinde de, atmosfere salınan CO₂, CH₄ ve N₂O gibi gazlar büyük ölçüde hayvancılık sektöründen kaynaklanmaktadır. Bu sera gazları sindirim sistemi fermentasyonu (enterik fermentasyon), hayvan dışkı ve idrarı, solunum ve diğer faaliyetler sonucu oluşmaktadır (Hristov et al., 2013). İnsan faaliyetleri (antropojenik) kökenli atmosfere salınan metan gazının %21-25'inin ruminantların sindirim sisteminde üretildiği tahmin edilmektedir (Lascano and Cardenas, 2010). Karbon (C) salınımı (C ayak izi) CO₂ eşdeğeri olarak açıklanmakta ve ürün ve hizmetlerden kaynaklanan doğrudan ve dolaylı yollardan C salınımı şeklinde tahmin edilmektedir (Desjardins et al., 2012).

Örneğin, 27 AB ülkesinde yapılan bir değerlendirmede 1 kg sığır eti üretimi için ortalama net 22.6 kg CO₂^{-eq} eşdeğeri sera gazının atmosfere salındığı, bu değer domuz eti için 3.5, tavuk etinde 1.6, süt üretiminde 1.3 ve yumurta üretiminde 1.7 kg CO₂^{-eq} olduğu tahmin edilmiştir (Lesschen et al., 2011). Kanada'da 1 kg karkas sığır eti üretimi için C ayak izinin 22 kg CO₂^{-eq} olduğu ve bunun %63'ünün sindirim sisteminde üretilen metandan, %27'sinin de gübreden ve topraktan atmosfere geçen N₂O'dan kaynaklandığı tahmin edilmiştir (Beauchemin et al., 2010). Üretim sistemlerinde açığa çıkan metan ve azot oksit üretim kaybı anlamına gelmektedir. Diğer bir ifadeyle metan ve azot oksit salınımı arttıkça, o üretim sisteminin verimliliği düşüyor demektir. Çünkü açığa çıkan metan ve azot oksit üretime (et, süt vb.) dönüşmeyen enerji anlamına gelmektedir. Ruminantların yemlerine baklagillerin katılması verim potansiyelini artırmanın yanı sıra, et ve süt üretiminde amonyak ve azot oksit salınımını düşürerek C ayak izini azaltmakta ve karbon tutumunu artırmaktadır (Undi et al., 2016).

Kaba yem kalitesi iyileştirilerek sindirim sistemi kaynaklı metan salınımı azaltılabilmektedir (Chung et al., 2013). Baklagillerin buğdaygillere göre sindirilmesi oranları daha yüksektir ve sindirim sisteminden daha kısa sürede atıldıkları için, hayvansal üretimin iyileştirilmesine katkıda bulunurlar (Hristov et al., 2013). Artan hayvansal verimlilik nedeniyle besleme süresi kısaldır. Böylece hem aynı miktarda üretim daha az hayvanla yapılabilir, hem de sindirim sistemi kaynaklı gaz çıkışı azalır. Sindirim sisteminden

gaz salınımının azalması, yapısal karbonhidratların (lif) azalması ve sindirim hızının artması nedeniyle, rumen fermantasyonunda daha çok propiyonik asit üretilmesinden kaynaklanmaktadır (Iwaasa and Lemke, 2014).

Yemin bileşimine, hasat devresine ve depolama şekli ve koşullarına göre değişmekle birlikte, genel olarak baklagiller yenen her birim ünite yemden rumende oluşan metan miktarını azaltmaktadırlar (Martin et al., 2016). Örneğin, yalın çayır üçgülü ile beslenen koyunların sindirim sistemindeki metan oluşumunun azaldığı (Niderkorn et al., 2014), yonca ile beslenen etlik sığırların %70 daha az metan çıkardıkları (McCaughey et al., 1999) belirlenmiştir. Yine yonca+buğdaygil karışımından oluşan merada otlayan et sığırları, yalnız buğdaygiller üzerinde otlayanlara göre %25 daha az sindirim sistemi gazı üretmişlerdir (McCaughey et al., 1997). Bölgelere göre uygun bitkiler seçilip, sindirilebilir enerjinin en yüksek olduğu uygun zamanda hasat edilerek, sindirim sistemi kaynaklı gaz çıkışının %5-10, rasyonlara baklagillerin katılmasıyla da %5 oranında azaltılabileceği belirtilmiştir (Undi et al., 2016). Bu durum, baklagillerde buğdaygillere göre, yenen miktarın daha fazla olması ve baklagil otlarının daha kısa sürede sindirilmesi ile açıklanabilir (Martin et al., 2016).

Aslında, tek bir türden oluşan kaba yemlerle yapılan beslemede, bu bitkilerdeki parçalanabilir azot ve fermente olabilir enerji arasındaki dengesizlik nedeniyle, rumenden kaybolan azot miktarı genellikle daha yüksektir (Martin et al., 2016). Yalın yemlerle beslenen hayvanlarda, rumen duvarından aşırı amonyum emilimi olmakta, emilen amonyumun bir kısmı karaciğerde üreye dönüştürülüp idrar yoluyla atılmaktadır. Özellikle baklagillerdeki azotun rumende parçalanabilirliği daha yüksek olduğundan, idrar yoluyla kayıp artmakta ve N kullanım etkinliği düşmektedir. Bu nedenle, azot kullanım etkinliğini geliştirme çabaları, rumende ham proteinin parçalanma hızını azaltma ve süreyi uzatma üzerine yoğunlaşmıştır (Südekum et al., 2016). Ruminantlar için hazırlanan rasyonlar, içerisinde mutlaka baklagillerin de yer aldığı karışımlardan oluşturularak protein-enerji dengesi sağlanmalı ve böylece N kullanım etkinliği artırılmalıdır. Böylece, yalnızca dışkı ile atılan N miktarı azaltılmaz, aynı zamanda idrara geçen uçucu özellikteki üre azotu oranı da azaltılır (Reynolds and

Kristensen, 2008).

Çayır üçgülü gibi bazı baklagillerin yapısında “Polifenol Oksidaz” (PPO) adlı çözünebilir bir enzim bulunmaktadır. PPO kaffeik asitle reaksiyona girerek o-quinones’e dönüşmektedir. Bu madde de hem proteazlar, hem de substrat proteinleri ile birleşerek, rumende yavaş parçalanan bir yapı ortaya çıkmaktadır (Südekum et al., 2016). Yine, korunga, gazal boynuzu, İspanyol korungası, alaca taç otu ve nohut geveni gibi bazı baklagillerin yapısında kondanse tanen olarak adlandırılan bir ikincil bileşik bulunmaktadır. Kondanse tanenler proteaz ve substrat proteinlerine bağlanarak rumende (pH=6-7) zor parçalanan bir yapı oluşturmaktadırlar. Rumenden parçalanmadan geçen bu yapı, pH'nın 2.3-3.5 aralığına düştüğü obamasuma geldiğinde yeniden parçalanmakta, böylece ince bağırsakta sindirim ve esansiyel amino asitlerin emilimi artmaktadır (Barry and McNabb, 1999; Archimede et al., 2011). Böylece, PPO ve kondanse tanen gibi ikincil bileşikler sindirim sisteminde üretilen metan miktarını azaltmaktadırlar. Yeni Zelanda’da, yalnızca çok yıllık çimle oluşturulmuş merada otlayanlarla karşılaştırıldığında, çok yıllık çimle birlikte kondanse tanen içeren İspanyol korungası (*Hedysarum coronarium L.*) ve gazal boynuzu (*Lotus corniculatus L.*) bulunan meralarda otlayan sığırların, tüketilen her kg kuru madde için %13-25 daha az metan çıkardıkları saptanmıştır (Waghorn and Woodward, 2006). İnce bağırsaklardan da parçalanmadan geçen azot, tanenlerin etkisiyle, idrara değil dışkıya yönlendirilmektedir. İdrardaki N hızlı bir şekilde sera gazları olan amonyak ve azot oksite dönüşerek atmosfere geçmektedir. Dışkıdaki N ise toprak organik maddesine dönüşmektedir. Tanenlerin ayrıca, rumende bazı hidrojen üreten protozoolar ve/veya doğrudan hidrojen kullanan metan üretici organizmaları engellediği tahmin edilmektedir (Martin et al., 2016). Böylece, hem sera gazı salınımı azalmakta, hem de hayvansal verimlilik artmaktadır. Kondanse tanenler anti-helminetik etki göstererek hayvan iç parazitlerini azaltmakta ve verim artışı sağlamaktadırlar (Lüscher et al., 2016).

Kirlenmenin Azaltılması

Baklagil yem bitkileri tarım sistemi içerisinde yer aldıklarında, doğal kaynakların korunması ve çevre kirliliğinin azaltılması yönünde çok önemli katkılar sağlarlar. Baklagiller *Rhizobium sp.* bakterileri ile

kurdukları ortak yaşam (Simbiyosis) yoluyla toprağa azot kazandırarak, tarım sisteminde kullanılan endüstriyel azot miktarını önemli ölçüde azaltırlar. Bu yolla endüstriyel azotun üretimi aşamasında kullanılacak fosil yakıtlar azalacağından, atmosfere daha az sera gazı salınımının yanı sıra, yeraltı ve yer üstü kaynaklar ile çevre daha az kirlenir. Özellikle, baklagillerin buğdaygiller ile karışık yetiştirildiği alanlarda baklagillerin azot bağlama etkinliklerinin arttığı bir çok araştırma ile ortaya konulmuştur (Lüscher et al., 2016). Baklagiller ve buğdaygillerin karışık yetiştirildiği otlaklarda bir yılda bağlanan N₂ miktarının 100-380 kg ha⁻¹ arasında değiştiği ve bunun da 10-70 kg ha⁻¹'lık kısmının buğdaygillere aktarıldığı belirlenmiştir (Nyfeler et al., 2011). Yonca ve korunga gibi derin köklü baklagiller, azot bağlayarak azotlu gübre gereksinimini azaltmanın yanı sıra, nitrat formunda yıkanan ve/veya N₂O formunda kaybolan

azot miktarını da önemli oranda azaltmaktadırlar (Eckard et al., 2010; Iwaasa and Lemke, 2014). Derin köklü bu baklagiller ayrıca, yıkanarak derinlere inmiş olan besin maddelerini alarak toprağın üst katmanlarına çıkarmaktadırlar. Böylece topraktan besin maddesi kaybı azalmakta ve yer altı su kaynakları ve ekosistemin kirlenmesi önlenmektedir. Yonca ve korunga köklerinin 7-10 m derine kadar inebildikleri bilinmektedir (Acar ve Ayan, 2012). Çok yıllık baklagiller toprağa geçen karbon miktarını çok önemli oranda artırmaktadırlar (Iwaasa and Lemke, 2014). Karbon tutulması, atmosferdeki C₂O₂'in bitki artıkları ile stabil humus şeklinde toprağa geçmesi anlamına gelmektedir (Lal, 2006). Topraktaki C miktarının artması, atmosferik C₂O₂'in azalmasının yanı sıra, bitki verimliliğini artırır, ufalanmış bozulmuş toprakları iyileştirir, erozyonu ve sedimantasyonu azaltır ve böylece su kalitesini iyileştirir (Undi et al., 2016).

SONUÇ

Baklagillerin birlikte yetiştiği bitkilerin ve kaba yemleri tüketen ruminantların N kullanım etkinliğini artırdığı, böylece bir yandan önemli verim artışları sağlanırken, diğer yandan da kirliliğin azaltılmasına ciddi katkı sağladıkları unutulmamalıdır. Tarımsal üretimin sigortası konumunda olan baklagillerin, toprakta organik madde miktarını artırarak havalanma, su tutma ve geçirgenliği iyileştirdikleri, toprağın verimliliğini artırdıkları, hastalık, zararlı ve yabancı otları baskılayarak kimyasal kullanımını azalttıkları, kısacası çevre dostu sürdürülebilir bir tarımı olanaklı

kıldıkları unutulmamalıdır. Sonuç olarak, bölgeye en uygun baklagillerin sisteme dahil edilip, bunların en uygun olgunluk ve en yüksek sindirilebilir enerjinin olduğu dönemde hasat edilmesiyle, hayvancılık sektöründen kaynaklanan sera gazı salınımı ve tarımsal faaliyetlerle oluşan kirlilik önemli oranda azaltılabilir. Değişen koşullara uygun yeni çeşitlerin geliştirilmesi ve/veya mevcut çeşitlerin yaygınlığının artırılması ile üreticilerin değişen koşullarda üretimlerini artırmaları ve sera gazı salınımı ile çevre kirliliğini azaltmaları mümkün olabilir (Undi et al., 2016).

KAYNAKLAR

- Acar Z, Ayan İ, 2012. Yembitkileri Kültürü. OMÜ Ziraat Fakültesi Yayınları, Ders Kitabı No: 2, III. Baskı, Samsun. 175 s.
- Anonim, 2015. http://www.tuik.gov.tr/Seragazi_Emisyon_Istatistikler_17.04.2017.
- Anonymous, 2014. The Fifth Assessment Report (AR5). The Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland. http://www.ipcc.ch_31.04.2017.
- Archimède H, Eugène M, Marie-Magdeleine C, Boval M, Martin C, Morgavi DP, Lecomte P, Doreau M, 2011. Comparison of methane production between temperate and tropical forages: A quantitative review. *Anim Feed Sci Technol*, 166-167: 59-64.
- Barry TN, McNabb WC, 1999. The implications of condensed tannins on the nutritive value of temperate forages fed to ruminants. *Br J Nutr*. 81: 263-272.
- Beauchemin KA, Janzen HH, Little SM, McAllister TA, McGinn SM, 2010. Life cycle assessment of greenhouse gas emissions from beef production in western Canada: A case study. *Agric Syst*, 103: 371-379.
- Chung YH, McGeough EJ, Acharya S, McAllister TA, McGinn SM, Harstad OM, Beauchemin KA, 2013. Enteric methane emission, diet digestibility, and nitrogen excretion from beef heifers fed sainfoin or alfalfa. *J Anim Sci*, 91 :4861-4874.
- Delgado CL, 2005. Rising demand for meat and milk in developing countries: implications for grasslands-based livestock production. In: McGilloway DA (ed) *Grassland: A Global Resource*. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, 29-39.
- Desjardins RL, Worth DE, Xavier PC, Vergé XPC, Maxime D, Dyer J, Cerkowniak D, 2012. Carbon Footprint of Beef Cattle. *Sustain*, 4: 3279- 3301.

- Eckard RJ, Grainger C, de Klein CAM, 2010. Options for the abatement of methane and nitrous oxide from ruminant production: A review. *Livest Sci*, 130: 47-56.
- Hristov AN, Oh J, Firkins JL, Dijkstra J, Kebreab E, Waghorn G, Makkar HPS, Adesogan AT, Yang W, Lee C, Gerber PJ, Henderson B, Tricarico JM, 2013. Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options. *J Anim. Sci.* 91: 5045-5069.
- Iwaasa A, Lemke R, 2014. Reducing greenhouse gases from ruminants on perennial pastures. In: Bittman S, Hunt D (eds) *Cool Forages: Advanced Management of Temperate Forages*. Pacific Field Corn Association, Agassiz, 201-204 p.
- Lal R, 2006. Carbon dynamics in agricultural soils. In: Bhatti JS, Lal R, Apps MJ, Price MA (eds) *Climate Change and Managed Ecosystems*. CRC Press, Boca Raton, 127-148.
- Lascano CE, Cárdenas E, 2010. Alternatives for methane emission mitigation in livestock systems. *Rev Bras Zootec*, 39: 175-182.
- Lesschen JP, van den Berg M, Westhoek HJ, Witzke HP, Oenema O, 2011. Greenhouse gas emission profiles of European livestock sectors. *Anim Feed Sci Technol*, 166-167: 16-28.
- Lüscher A, Suter M, Finn JA, 2016. Legumes and grasses in mixtures complement each other ideally for sustainable forage production. *The journal of the International Legume Society*, Issue 12, April 2016, 8-10
- Martin C, Copani G, Niderkorn V, 2016. Impacts of forage legumes on intake, digestion and methane emissions in ruminants. *The journal of the International Legume Society*, Issue 12, April 2016, 24-25.
- McCaughey WP, Wittenberg K, Corrigan D, 1997. Methane production by steers on pasture. *Can J Anim Sci*, 77: 519-524
- McCaughey WP, Wittenberg K, Corrigan D, 1999. Impact of pasture type on methane production by lactating beef cows. *Can J Anim Sci*, 79: 221-226
- Niderkorn V, Martin C, Baumont R, 2014. Associative effects between forage species on intake and digestive efficiency in sheep. *GrasslSciEur* 19:734-736.
- Nyfelers D, Huguenin-Elie O, Suter M, Frossard E, Lüscher A, 2011. Grass-legume mixtures can yield more nitrogen than legume pure stands due to mutual stimulation of nitrogen uptake from symbiotic and non-symbiotic sources. *Agric Ecosyst Environ*, 140: 155-163
- Reynolds CK, Kristensen NB, 2008. Nitrogen cycling through the gut and the nitrogen economy of ruminants: An asynchronous symbiosis. *J Anim Sci*, 86S: E293-E305.
- Südekum KH, Gerlach K, Böttger C, 2016. Estimating the nutritive value of forage and grain legumes - Requirements and considerations. *The journal of the International Legume Society*, Issue 12, April 2016, 11-13
- Undi M, Wittenberg K, McGeough EJ, Ominski KH, 2016. Impact of forage legumes on greenhouse gas output and carbon footprint of meat and milk. *The journal of the International Legume Society*, Issue 12, April 2016, 26-28.
- Waghorn GC, Woodward SL, 2006. Ruminant contributions to methane and global warming - A New Zealand perspective. In: Bhatti JS, Lal R, Apps MJ, Price MA (eds) *Climate Change and Managed Ecosystems*. CRC Press, Boca Raton, 233-260.