

Nur OKUR¹
H. Hüsnü KAYIKÇIOĞLU²

¹ Prof. Dr., E.Ü. Ziraat Fak. Toprak Böl.
A Blok Bornova, İzmir,
nur.okur@ege.edu.tr

² Araş. Gör., E.Ü. Ziraat Fak. Toprak Böl.
A Blok Bornova, İzmir

Toprak Mikroorganizmaları Tarafından Üretilen Küresel Gazlar

Global gases produced by soil microorganisms

Alınış (Received): 14.08.2008 Kabul tarihi (Accepted): 18.09.2008

Anahtar Sözcükler:

Karbon dioksit, metan, nitros oksit,
nitrik oksit, mikroorganizma

Key Words:

Carbon dioxide, methane, nitrous
oxide, nitric oxide, microorganism

ÖZET

Atmosfer ve karasal ekosistemler arasında büyük miktarda gaz alışverişi mevcuttur. Büyük bir kısmı topraklarda üretilen bu gazlar; karbon dioksit (CO₂), metan (CH₄), nitros oksit (N₂O), nitrik oksit (NO) ve karbon monoksit (CO). CO₂'in % 25'i, CH₄'in % 44'ü, N₂O'in % 65'i ve NO'in % 30'u toprak kaynaklıdır. CO₂, toprakta organik maddenin ayrışması sırasında mikrobiyal metabolizma ile üretilmektedir. CH₄ topraklarda hem üretilmekte hem de tüketilmektedir. CH₄, methanogen'ler olarak bilinen bir grup anaerobik bakteriler tarafından üretilirken, aerob bakteriler olan metanotroflar tarafından da oksitlenmektedir. N₂O ve NO; mikroorganizmalar tarafından üretilen iki önemli azot gazı olup nitrifikasyon ve denitrifikasyon olayları ile ortaya çıkmaktadırlar. Atmosferik küresel gazların hareketlerini tam olarak saptayabilmek ve bu gazların farklı iklim ve arazi kullanım koşullarında nasıl bir değişim göstereceklerini belirleyebilmek için çeşitli model çalışmaları yapmak gerekmektedir.

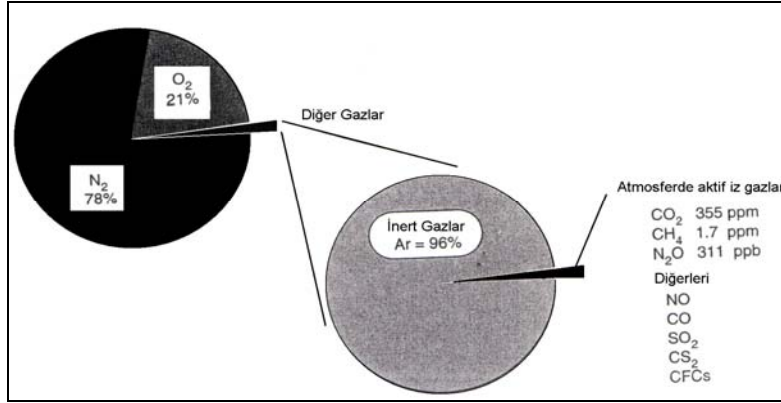
ABSTRACT

A large number of gases are exchanged between the atmosphere and terrestrial ecosystems. These gases produced in soils are carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄), nitrous oxide (N₂O), nitric oxide (NO), and carbon monoxide (CO). Soil sources of these gases account for roughly 25% of carbon dioxide, 44% of methane, 65% of nitrous oxide, 30% of nitric oxide. CO₂ is produced in soil by microbial metabolism during organic matter decomposition. Soils can both produce and consume methane. CH₄ is produced exclusively by a group of anaerobic bacteria, known as methanogens and oxidized by aerobic methanotrophs. N₂O and NO are two important nitrogen gases that are produced by soil microorganisms. These gases are produced by both nitrification and denitrification. Model workings require understanding trace gas fluxes and how they will change under altered climate and land use practices.

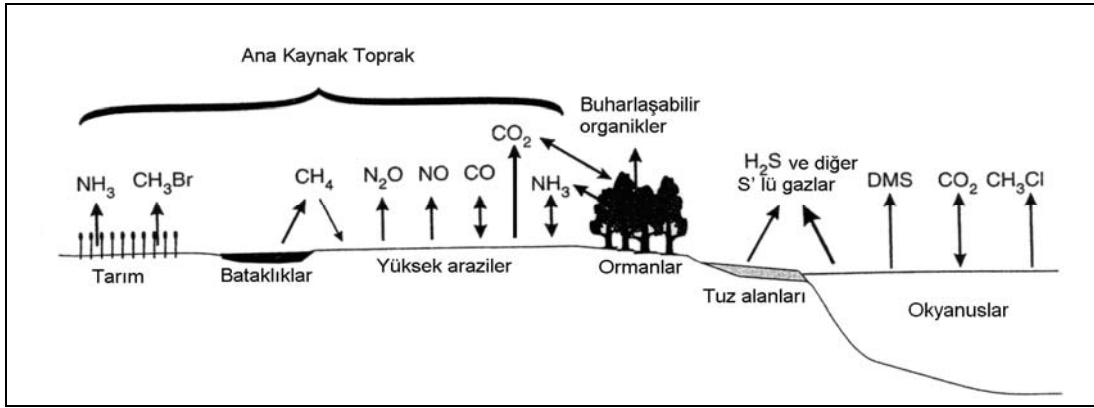
GİRİŞ

Eğer dünya yüzeyinde yaşam olmasaydı, atmosfer yüksek miktarda CO₂, buna karşılık küçük miktarlarda O₂, N₂, CO ve N₂O içerecek, büyük olasılıkla CH₄ gazı hiç bulunmayacaktı. Gerçekte dünya atmosferi azot ve oksijence zengin bir bileşime sahiptir (Şekil 1).

Atmosferde azot ve oksijen dışındaki gazların hepsi sadece % 1'lik bir kısmı oluşturmaktadır. Bu %1'lik kısmın da büyük bir bölümünü (% 96) kimyasal olarak inaktif (inert) bir gaz olan Argon oluşturmaktadır. Diğer geri kalan gazlar ise, atmosferik olaylarda önemli rollere sahip kimyasal ve radyoaktif gazlardır (Mörnsdorf et al., 1992).



Şekil 1. Atmosferin gaz bileşimi



Şekil 2. Atmosfere katkıda bulunan gazların kaynakları (her gazın en büyük kaynağı olan ekosistemler gösterilmiştir)

Atmosferin gaz bileşimi, dünyadaki bazı dinamik olayların bir sonucu olarak devamlı bir değişim halindedir. Geçmiş zamanlardaki en dramatik değişim oksijensiz bir atmosferden oksijenli bir atmosfere geçiş sürecidir. Bu değişim yaklaşık 2,5 milyar yıl içerisinde meydana gelmiş ve bu değişime fotosentez neden olmuştur (Holland, 1984). Günümüzdeki dramatik değişimin nedeni ise CO₂ ve bazı iz gazların miktarındaki artıştan kaynaklanmaktadır. Atmosferik bileşimin değişiminden sorumlu mekanizmaların birçoğu günümüzde bilim adamları tarafından hala tam olarak bilinmemektedir. Özellikle biyosfer, CO₂ ve atmosferik iz gazların döngüleri açısından en az bilinen kavramlardan bir tanesidir. İz gazların dinamiği açısından biyosfer iki bölümde ele alınabilir: 1. Habitatlar (okyanuslar ve topraklar) ve 2. Organizmalar (vejetasyon ve hayvanlar). Topraklar, mikroorganizmalar için en önemli habitat olması açısından ayrı bir öneme sahiptirler (Conrad, 1996).

Toprak mikroorganizmaları C, N, S, P ve Fe gibi elementlerin döngüsünde önemli rol oynamaktadırlar. Bu elementlerden bazılarının CO₂, N₂, SO₂ gibi gaz halindeki bileşiklerini içermesi nedeniyle, toprak mikroorganizmaları atmosferin gaz bileşimini ve fiziko-kimyasal özelliklerini etkileyebilmektedirler. Bu canlılar; iklim, ozon tüketimi ve sis oluşumu gibi atmosferik olaylar üzerinde belli bir düzeyde etkili olabilmektedirler. Toprak mikroorganizmaları tarafından üretilen gazların çoğu atmosferde çok az miktarlarda bulunan iz (mikro) gazlardır. Toprak mikroorganizmaları bu gazların hem üreticisi hem de tüketicileri olup söz konusu gazların toplam miktarlarına katkıda bulunmaktadırlar.

Küresel Gazların Önemi

Küresel gazların canlılar için önemli üç işlevi vardır:

1. Yeryüzünün radyasyon dengesini, dolayısıyla küresel iklimi etkilerler.

2. Atmosferin kirleticileri temizleme potansiyelini kontrol altında tutarlar.
3. Özellikle azot içeren gazlarla biyosfer için önemli bir besin maddesi kaynağıdır.

Uzun yaşamlı gazların (CO_2 , N_2O , CH_4 , CH_3Cl ve CH_3Br) atmosfer sisteminde çok fazla işlevleri vardır. Güneşten gelen kısa dalga boylu ışınlar, uzun dalga boyları olarak geriye yansır. Fakat büyük bir kısmı kızılötesi ışın bölgesinde CO_2 , N_2O ve CH_4 tarafından absorbe edilirler. Bu bölge yeryüzünü ısıtan bölge olup, bu gazların etkisine "sera etkisi" denmektedir. N_2O , CH_4 , CH_3Cl ve CH_3Br gazları, ozon gazının bulunduğu stratosfere kadar ulaşabilirler. CH_4 atmosferde CO_2 ve suya oksitlenir ki bu su, stratosferdeki su buharının ana kaynağıdır.

Kısa yaşamlı gazlar (CO ve NO_x [NO_2+NO] gibi) troposfer tabakasında oksitleyici ajanlar olarak görev yaparlar. Stratosferde aktif azot reaksiyonları ozon tahribinde rol oynarken, troposferde NO_x , CH_4 ve diğer hidrokarbonlarla ozon oluşturmak üzere reaksiyona girerler. Topraklarda NO 'in oluşumu ve daha sonra atmosfere salınımı, atmosferdeki kimyasal bileşimi önemli oranda etkilemektedir. Topraklarda yılda 250 – 640 Tg CO tüketilmektedir ($T= 10^{12}$). CO aynı zamanda mikrobiyal olarak bir ara ürün olarak toprakta üretilmektedir. CO , çok reaktif bir gaz olup atmosferdeki oksidasyon olaylarında, ozon üretimi ve tüketiminde önemli bir rol oynamaktadır (Schmel and Holland, 1998). Toprak mikroorganizmaları bu kısa yaşamlı gazların üretimi ve tüketiminde yer alarak, atmosferdeki fotokimyasal reaksiyonlar üzerinde etkili olabilmektedirler.

Topraklardan Salınan Gazlar

Atmosfer ve karasal ekosistemler arasında büyük miktarda gaz alışverişi mevcuttur. Bu gazların büyük bir kısmı topraklarda üretilmektedir. Bu gazlar CO_2 , CH_4 , N_2O , NO ve CO 'dir. CO_2 'in % 25'i, CH_4 'ün % 44'ü, N_2O 'ün % 65'i ve NO 'ün % 30'u toprak kaynaklıdır. CO 'ün ne kadarının toprak kaynaklı olduğu bilinmemektedir. Buharlaştırılabilir organik bileşiklerin büyük kısmı bitkiler tarafından salınmaktadır. Atmosfere bırakılan kükürdün büyük bir kısmı ise okyanuslardan gelmektedir (Conrad, 1996).

Karbon içeren gazlar

CO_2 : CO_2 , atmosferde en bol bulunan bir iz gazdır (355 mg kg^{-1}). Biyosfer ve atmosfer arasındaki CO_2 salınımı diğer gazlara oranla daha fazladır. Yılda yaklaşık 60000 Tg $\text{CO}_2\text{-C}$ 'u, toprak organik maddesinin ayrıştırılması sırasında ortaya çıkmaktadır. Fosil yakıtları ile atmosfere karışan CO_2 miktarı ise yaklaşık 5000 Tg $\text{CO}_2\text{-C/yıl}$ 'dır (Favoino and Hogg, 2008).

CO_2 , toprakta organik maddenin ayrışması sırasında mikrobiyal metabolizma ile üretilmektedir. Yani söz konusu CO_2 , toprakta genel heterotrofik mikrobiyal aktivitenin kontrolü altındadır. CO_2 dinamiğini etkileyen en önemli faktör iklim olup, ikinci sırada substrat kalitesi gelmektedir. Soğuk iklim bölgelerinde su ile kaplı alanlarda ayrışma yavaş olup, organik materyaller tabakalar halinde yığılmaya başlar (Peatler). Bu organik materyaller, atmosfere dönen CO_2 miktarını azaltmaktadır. Peatler dünyadaki toplam C depolarının yaklaşık % 24'ünü oluştururlar. Sıcak ve nemli iklim bölgelerinde ise ayrışma ve CO_2 salınımı genellikle daha hızlıdır. Fakat sıcak ve kurak bölgelerde organik C girdisinin azlığına bağlı olarak CO_2 oluşum miktarı ve C birikimi sınırlıdır. Ilıman iklimlerde ise ayrışma hızı üzerinde substrat kalitesi daha etkili olmaktadır.

CH_4 : Metanın mikrobiyal metabolizması, CO_2 'den daha karışıktır. CH_4 topraklarda hem üretilmekte hem de tüketilmektedir. Atmosfere verilen toplam CH_4 emisyonu yaklaşık 410 Tg $\text{CH}_4\text{-C/yıl}$ 'dır. Bu toplam emisyonun yaklaşık % 32'si bataklıklardan ortaya çıkmaktadır. Doğal bataklıklardan yılda 86, çeltik arazilerinden ise 45 Tg $\text{CH}_4\text{-C}$ 'u atmosfere karışmaktadır. Termitler ve hayvansal atıklar da dahil edildiğinde, metanın topraktan kaynaklanan miktarı % 44'e çıkmaktadır (Schmel and Holland, 1998).

Su ile kaplı alanlarda, CH_4 oksitleyici mikroorganizmalar, anaerobik bölgede oluşan metanın % 90'ını tüketirler. Bu nedenle küresel metan döngüsünü etkileyen en önemli faktörlerden birisi, su ile kaplı alanlardaki CH_4 oksidasyonudur. Yüksek yerlerdeki kuru topraklar ise, atmosferik metanı tüketen yerlerdir ve toplam atmosferik metanın % 3-9'u burada kullanılır (Prather et al., 1995). Toprakların işlenmesi ve gübrelenmesi gibi aktiviteler bu

tüketimi engelleyebilmekte ve sonuçta atmosferdeki CH₄ gazının artışında rol oynayabilmektedirler (Ojima et al., 1993).

CH₄ Üretimi (Metanogenesis)

CH₄, metanogenler olarak bilinen bir grup anaerobik bakteriler tarafından üretilirler. Bu bakteriler – 100 mV' dan daha düşük redoks potansiyellerine ihtiyaç duyan obligat anaerobiktirler. Bu nedenle redoks potansiyeli, CH₄ üretimini başlatan veya sonlandıran bir anahtar konumundadır. Redoks potansiyeli yeterince düştüğünde CH₄ üretimi başlamakta ve bu aşamada CH₄ üretim hızı üzerinde substrat miktarı ve sıcaklık ana kontrol edici faktörler olmaktadır (Henckel and Conrad, 1998).

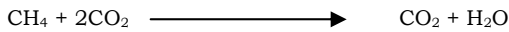
Methanogenler metanı toprakta iki şekilde üretirler:

1. CO₂ + H₂ → CH₄ (CO₂ Redüksiyonu)
2. CH₃COOH → CH₄ + O₂ (Asetat fermantasyonu)

CH₄ üretimi geniş bir sıcaklık aralığında gerçekleştiği için, küresel ısınma muhtemelen su ile kaplı alanlardaki CH₄ üretimini artıracaktır.

CH₄ Oksidasyonu (Metanotrofi)

CH₄ doğada metanotroflar olarak bilinen bir grup bakteri tarafından oksitlenmektedir. Bu bakteriler metanı tek karbon ve enerji kaynağı olarak kullanırlar (Colby et al., 1979). Reaksiyon şu şekildedir:



Metanotroflar, su ile kaplı toprakların üst tabakaları ile yüksek yerlerin kuru topraklarını da içeren birçok anaerobik ortamda bulunmaktadır. Su ile kaplı alanlardaki (doğal bataklık ve çeltik arazilerinde) metanotroflar, aerobik zonun altındaki anaerobik zonda üretilen metanı kullanırlar. Orman, çayır arazileri ve tarım toprakları gibi diğer topraklarda ise metanotroflar atmosferik metanı kullanırlar. Bu topraklarda atmosferik CH₄ tüketimi büyük ölçüde toprak profiline nüfuz olan metanın miktarı ile ilişkilidir. Tarım alet ve makinelerinin trafiği ve diğer aktiviteler sonucu toprak sıkışmasının artması, toprakta hava ile dolu boşluk miktarını azaltmakta ve bu da CH₄ tüketimini azaltmaktadır (Schmel et al., 1998).

Bir çok toprakta CH₄ tüketimi alt toprak tabakalarında ve genellikle de A ile B horizonu arasında gerçekleşir. Yüzey toprak tabakaları ise H₂, CO, NO ve N₂O gibi gazların en fazla üretildiği ve tüketildiği yerlerdir (Adamsen and King, 1993).

CH₄ oksidasyonu, yoğun bir azot gübrelemesinden sonra toprakta artan yüksek amonyum konsantrasyonu ile de engellenebilmektedir. Bu reaksiyon birçok ekosistemde saptanmıştır. Artan azotlu gübre kullanımı ve atmosferik azot birikimi küresel CH₄ tüketimini azaltabilir. Bu da atmosferde daha yüksek CH₄ konsantrasyonuna ve daha fazla sera etkisine neden olabilir (Rosenkranz et al., 2006).

Toprakta CH₄ Hareketi

Toprağın içine veya toprak dışına doğru olan CH₄ hareketi, vejetasyon örtüsü veya su tablasının derinliğine bağlı olarak değişmektedir. Su tablasının derinliği, anaerobik toprak hacmini ve sonuçta CH₄ üretimini belirlemektedir. Vejetasyon ise gerek CH₄ üretim hızını ve gerekse metanın sonraki durumunu belirleyen bir diğer önemli faktördür. CH₄ üretimi, kolay ayrışabilir karbon miktarına karşı çok hassastır. Genellikle bu kaynak bitki kökleridir. Bunun yanında, bitkiler metanın topraktan dışarıya atılmasında da etkili olurlar. Birçok sucül bitki sahip oldukları özel hava kanalları yardımıyla oksijenin alt tabakalara, metanında üst tabakalara taşınmasını sağlarlar (Schimel, 1995).

Azot İçeren Gazlar

Nitros oksit (N₂O) ve nitrik oksit (NO); mikroorganizmalar tarafından üretilen iki önemli azot gazıdır. Bu gazlar nitrifikasyon ve denitrifikasyon olayları ile ortaya çıkmaktadır (Knowles, 2000). Asit topraklarda oluşan NO'nin ana kaynağı ise kemodenitrifikasyondur (Chalk and Smith, 1983). Stratosferdeki N₂O miktarının 12.3 Tg/yıl olduğu tahmin edilmektedir. Atmosferdeki konsantrasyonu yılda yaklaşık % 0.25'lik bir hızla artmaktadır (IPCC, 2001). Nitrik oksit, çok kısa ömürlü bir bileşik olduğu için atmosferdeki miktarını belirlemek zordur. Fakat topraktaki nitrik oksit üretiminin yaklaşık 12 Tg NO-N/yıl olduğu tahmin edilmektedir (Schmel et al., 1998).

N_2O denitrifikasyon bakterilerinin tek elektron alıcısı olarak görev yaparken (Bazylinski et al., 1986), NO nitrit redüktaz tarafından üretilmekte ve nitrik oksit redüktaz enzimi tarafından N_2O 'a indirgenmektedir (Ye et al., 1994).

Ekolojik bir çevrede, N_2O ve NO 'ın oluşumu; nitrifikasyon ve denitrifikasyon olaylarının kontrolü altındadır. Bu iki olayı ayrı ayrı ele aldığımızda, bu gazların emisyonlarını kontrol eden toprak sistemini daha iyi anlayabiliriz.

Nitrifikasyon

Ototrofik nitrifikasyon iki aşamalı olup iki mikroorganizma grubu tarafından yürütülmektedir. Amonyumu nitrite oksitleyen bakteriler *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, *Nitrosospira*, *Nitrosolobus* ve *Nitrosovibrio* iken nitriti nitrate oksitleyen bakteriler ise *Nitrobacter*, *Nitrospira*, *Nitrococcus* ve *Nitrospina*'dır. Nitrifikasyon üzerine en etkili faktör; yarayışlı substrat miktarı yani amonyumdur. Eğer amonyum yarayışlılığı iyi ise nitrifikasyon bakterileri iyi çalışmakta ve düşük pH gibi diğer faktörlerin etkisi baskılanabilmektedir. Amonyum yarayışlılığı da bitkinin amonyumu kullanması ile yakından ilişkilidir. Bitkilerin amonyumu alması ile bu katyonun miktarı toprakta azalsa da ölü bitkisel kalıntılar ile toprağa yüksek miktarlarda organik madde girmektedir. Eğer bu bitkisel kalıntılar azotça zengin ise mineralizasyon ve nitrifikasyon uyarılmakta, tam tersi durumda ise mikrobiyal immobilizasyon uyarılmaktadır. Bunun sonucunda ise nitrifikasyon bakterileri için gerekli yarayışlı amonyum miktarı azalmaktadır.

Nitrifikasyonu etkileyen bir diğer faktör toprağın su içeriğidir. Bu olay aerobik koşullarda gerçekleştiği için, su içeriği yüksek topraklarda nitrifikasyon hızı azalmaktadır. Çok kuru koşullarda ise substrat difüzyonu engellendiği için yarayışlı substrat miktarı azalmakta ve nitrifikasyon hızı düşmektedir (Stark and Firestone, 1995).

Denitrifikasyon

Denitrifikasyon, nitratın elektron akseptörü olarak kullanıldığı, anaerobik – heterotrofik bir olaydır. Bu nedenle redoks potansiyeli bu olay üzerinde etkili bir faktördür. Bununla beraber, aerob koşullara sahip topraklarda, anaerobik mikro yerlerde de meydana gele-

bilir. Bu mikro yerlerin oluşması, agregatların içindeki boşlukların su ile dolmasıyla gerçekleşir. Bu nedenle toprak nemi, denitrifikasyon hızını kontrol eden önemli bir faktördür. Anaerobik mikro yerler mevcut olduğunda, nitrat yarayışlılığı denitrifikasyonu kontrol eden ana faktör olduğu için, nitrifikasyon hızı denitrifikasyon hızını kontrol etmede önemli olabilmektedir. Karbon yarayışlılığı sudan ve nitratın sonra gelen ikincil bir faktördür. Böylece geniş bir çerçevede su yarayışlılığı ve bitki aktivitesinin denitrifikasyonu kontrol eden ana faktörler olduğu söylenebilir. Su miktarı, oksijen difüzyonunu kontrol ederken bitkiler hem azot yarayışlılığını hem de denitrifikasyon bakterilerine gerekli karbon miktarını etkilerler (Schmel and Holland, 1998). Denitrifikasyon toprakta geniş bir taksonomik grup tarafından gerçekleştirilmektedir. Fakat topraklarda daha çok bu olayı yürüten bakteriler *Pseudomonas* cinsine ait *Alcaligenes*, *Flavobacterium* ve *Bacillus* türleridir.

Nitros oksit (N_2O) ve Nitrik oksit (NO)'in Oluşumu

Orman toprakları bu azot gazlarının önemli kaynağıdır (Brumme and Beese, 1992). Nitrik ve nitros oksitin topraklarda oluşumu bazı faktörler tarafından kontrol edilmektedir. Topraktaki oksijen miktarı, bu gazların oluşum oranını etkileyen önemli bir faktördür. Azalan oksijen miktarına bağlı olarak nitrifikasyon hızı da azalırken, nitrik oksit ve nitros oksit olarak nitrifike olan azot oranı artmaktadır (Simojoki and Jaakkola, 2000).

Denitrifikasyon sırasında oluşan nitros oksit oranını kontrol eden faktörler iyi bilinmesine karşın, nitrik oksidin oluşumunu kontrol eden faktörler hakkında bilgiler daha azdır. Nitros oksit, denitrifikasyonda obligat bir ara ürün olup son ürünün hepsi bu gazdan oluşabilmektedir. Oysa nitrik oksit genellikle iz miktarda ortaya çıkan bir üründür. Denitrifikasyon sonucu oluşan nitros oksit miktarını etkileyen faktörler; oksijen miktarı, pH ve nitratın yarayışlı karbona oranıdır.

Genellikle oksijen miktarı arttıkça denitrifikasyon hızı azalmasına karşın, nitros oksit olarak oluşan azot miktarı yükselmektedir.

Düşük pH genellikle nitros oksidin diazota (N_2) redüksiyonunu engellemektedir. Bu ne-

denle düşük pH'larda nitros oksit, denitrifikasyonun ana ürünü olabilmektedir. Bununla beraber, yüksek asit reaksiyonlu topraklar genellikle düşük azot yarayışlılığına dolayısıyla düşük nitrifikasyon ve denitrifikasyon hızlarına sahiptir. Sonuç olarak, denitrifikasyon sonucu oluşan en yüksek nitros oksit miktarları genellikle azotun hızlı bir döngüye girdiği nemli topraklarda ortaya çıkmaktadır.

Bir ortamda elektron alıcısı olan nitratin, elektron vericisi olan karbona oranı (NO_3/C) yüksekse, denitrifikasyon bakterileri nitrati gereksiz yere kullanırlar ve genellikle ana ürün olarak nitros oksit oluşur. Bununla beraber bu oran düşükse, denitrifikasyon bakterileri bu nitratin hepsini elektron alıcısı olarak etkin bir şekilde kullanırlar ve N_2 'a indirgerler.

Nitrik oksit hem biyotik hem de abiyotik reaksiyonlarla tüketilebildiği için, genellikle nispeten kuru toprak koşullarında yüksek miktarlarda topraklardan atmosfere salınmaktadır. Bu nedenle çoğu koşullarda, nitrik oksidin ana kaynağı nitrifikasyondur. Nitros oksit toprakta daha az reaktiftir ve nispeten ıslak topraklardan atmosfere bir nitros oksit kaçıışı olmaktadır.

Son derece kuru koşullarda, mikrobiyal aktivite ve gaz emisyonları düşüktür. Su ile dolu boşluklar oranı toprakta % 30 ve biraz

üzeri olduğunda nitrifikasyon artmakta ve nitrik oksit oluşmaktadır. Topraklar nemliliğini devam ettirdikçe, nitrifikasyonla beraber denitrifikasyon da başlamakta ve her iki olay nitrik ve nitros oksidi oluşturmaktadır. Su ile dolu boşluklar oranı % 60'ı geçerse, nitrifikasyon yavaşlamakta, nitrik oksit toprağın dışına diffüze olamadan tüketilmekte ve denitrifikasyondan ortaya çıkan nitros oksit, oluşan ana azot gazını oluşturmaktadır. Topraklar tamamen su ile kaplı olduklarında, yarayışlı azot miktarı bitinceye kadar denitrifikasyon hızlı bir şekilde ilerlemektedir. Bu koşullar altında diazot muhtemelen ana üründür ve çok az miktarlarda nitrik veya nitros oksit oluşmaktadır (Davidson, 1991).

Atmosferdeki iz gazların oluşumu ve tüketiminde topraktaki mikrobiyal olaylar anahtar konumundadır. Bazı iz gazların (N_2O , NO ve CO gibi) miktarları ve bazı anahtar olayların (metan oksidasyonu gibi) fizyolojisi hakkında hala bilinmeyen noktalar bulunmaktadır. Bunun yanında, atmosferdeki miktarları ve mikrobiyal fizyolojileri iyi bilinen gazların (CO_2 , metan üretimi gibi) bile küresel dinamiklere yaptığı etkilere ilişkin çok sayıda çalışmalara ihtiyaç vardır. Atmosferik iz gazların hareketlerini tam olarak saptayabilmek ve bu gazların farklı iklim ve arazi kullanım koşullarında nasıl bir değişim göstereceklerini belirleyebilmek için çeşitli model çalışmaları yapmak gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Adamsen, A.P.S., and G.M. King. 1993. Methane consumption in temperate and subarctic forest soils-rates, vertical zonation, and responses to water and nitrogen. *Appl. Environ. Microbiol.* 59: 485-490.
- Bazyliński, D.A., C.K. Soohoo, and T.C. Hollocher. 1986. Growth of *Pseudomonas aeruginosa* on nitrous oxide. *Appl. Environ. Microbiol.* 51: 1239-1246.
- Brumme, R., and F. Beese, 1992. Effects of liming and nitrogen-fertilization on emission and CO_2 and N_2O from temperate forest soils. *J. Geophys. Res.*, 97: 12851-12858.
- Chalk, P.M. and C.J. Smith. 1983. Chemodenitrification. *Dev. Plant Soil Sci.* 9:65-89.
- Colby, J., H.Dalton, and R. Whittenbury. 1979. Biological and biochemical aspects of microbial growth on C1 compounds. *Annu. Rev. Microbiol.* 33:481-517.
- Conrad, R. 1996. Soil microorganisms as controllers of atmospheric trace gases (H_2 , CO , CH_4 , N_2O , and NO). *Microbiological Reviews*, 60(4): 609-640.
- Davidson, E.A. 1991. Fluxes of nitrous oxide and nitric oxide from terrestrial ecosystems. Pp. 219-235. In J.E. Rogers and W.B. Whitman (eds.), *Microbial production and consumption of greenhouse gases: Methane, nitrogen oxides, and halomethanes*. ASM Pres, American Society for Microbiology, Washington, D.C.
- Favoino, E. And D. Hogg. 2008. The potential role of compost in reducing greenhouse gases. *Waste Management & Research*, 26:61-69.
- Henckel, T. And R. Conrad. 1998. Characterization of microbial NO production, N_2O production and CH_4 oxidation initiated by aeration of anoxic rice field soils. *Biogeochemistry*, 40: 17-36.
- Holland, H.D. 1984. *The chemical evolution of the atmosphere and oceans*. Princeton University Pres, Princeton, N.J.

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2001. Climate Change 2001: The Scientific Basis: Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 944 pp., Cambridge Univ. Press, New York.
- Konwles, R., 2000. Nitrogen cycle, pp.379-391. In: Encyclopedia of Microbiology Vol. 3. Lederberg, J. (Ed.). Academic, San Diago, California.
- Mörsdorf, G., K. Frunzke, D. Gadkari and O. Meyer. 1992. Microbial growth on carbon monoxide. Biodegration, 3:61-82.
- Ojima, D.S., D.W. Valentine, A.R. Mosier, W.J. Patron, and D.S. Schimel, 1993. Effect of land use change on methane oxidation in temperate forest and grassland soils. Chemosphere, 26:6575-6585.
- Prather, M., D.Drewent, P.Enhalt, E.Fraser, E. Sanhueazza, and X. Zhou. 1995. Other trace gases and atmospheric chemistry. Pp. 77-126. In Climate Change. J. Houghton, L.G. Meira-Fulho and B.A. Callender, (eds). Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Rosenkranz, P., N.Brüggeman, H. Papen, Z. Xu, G. Seufert, and K. Butterbach-Bahl. 2006. N₂O, NO and CH₄ exchange, and microbial N turnover over a Mediterranean pine forest soil. Biogeosciens, 3: 121-133.
- Schimel, J.P. 1995. Plant transport and methane production as controls on methane flux from arctic wet meadow tundra. Biogeochemistry. 28: 183-200.
- Schmel, J. And E.A. Holland. 1998. Global Gases. Pp. 498-516. In D.M. Sylvia, J.J. Fuhrmann, P.G. Hartel and D.A. Zuberer (eds.), Principles and Applications of Soil Microbiology. Prentica Hall, Inc. Simon&Schuster/ A Viacom Company, New Jersey.
- Simojoki, A., A. Jaakola. 2000. Effect of nitrogen fertilization, cropping and irrigation on soil air composition and nitrous oxide emission in a loamy clay. Europ. J. Soil Sci. 51(3): 413-424.
- Stark, J.M., and M.K. Firestone. 1995. Mechanisms for soil moisture effects on activity of nitrifying bacteria. Appl. Environ. Microbiol. 61: 218-221.
- Ye, R.W., B.A. Averill, and J.M. Tiedje. 1994. Denitrification- production and consumption of nitric oxide. Appl. Environ. Microbiol. 60: 1053-1058.