

AZOT DÖNGÜSÜ VE AZOT FİKSASYONU

Prof. Dr. Necmi İŞLER
Mustafa Kemal Üniversitesi
Ziraat Fak. Tarla Bitkileri Böl.

Azotun bitki yaşamındaki rolü

- Karbon, hidrojen ve oksijenden sonra bitkilerde miktarca en fazla azot bulunur.
- Bitki türüne, çeşidine, yaşına ve organlarına bağlı olarak bitkilerde %2 ile %4 arasında azot (N) bulunur.
- Genç bitkilerin azot içerikleri olgunluk dönemine yaklaşanlara göre çok daha yüksektir.
- Bitki hücrelerindeki biyokimyasal bileşiklerin çoğunda azot bulunur. Örneğin proteinlerin yapıtaşını oluşturan aminoasitler ve nükleik asitlerin yapıtaşını oluşturan nükleozit fosfatlar azot içerirler.

Azotun bitki yaşamındaki rolü

- Bitkiler için yaşamsal öneme sahip olan azot, bitkiler tarafından nitrat (NO_3^-) ve amonyum (NH_4^+) iyonları şeklinde alınır.
- Nitrat ve amonyum alımı ortam pH'sı ile yakından ilgilidir.
- Nötr ve nötre yakın pH'larda amonyum alımı fazla olup, asitlik arttıkça amonyum alımı azalır.
- Buna karşın toprak asitliğinin arttığı durumlarda nitrat alımı daha fazla olur.
- Bitkiler fazla miktarda nitrat (NO_3^-) depo ederler. Bitki dokuları arasında da nitrat aktarımı gerçekleşir.
- Fazla miktarda nitratin depo edildiği bitkilerle beslenen insan ve hayvanlarda *Methemoglobinemia* (mavi bebek) adı verilen bir hastalık oluşur.
- Buna ek olarak, insan ve hayvanlarda nitrat, çok güçlü kansorejen özelliğe sahip *Nitrosamin*'lere dönüştürülür.

Çevrede azot

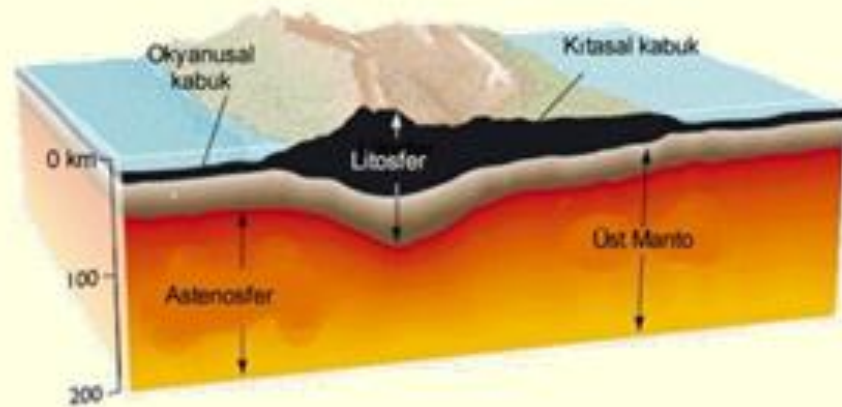
- Bitkilerin azot kaynaklarını, toprak, atmosfer ve azotlu gübreler oluşturur.
- Toprakta bulunan azotun büyük bir bölümü organik şekildedir.
- Normal koşullar altında her yıl organik azotun %2-3 kadarı mineralize olur.
- Yüzey toprakta bulunan azotun %8 ve alt toprakta bulunan azotun ise %40 kadarı NH_4^+ şeklinde kil mineralleri tarafından fikse edilmiş durumdadır.
- Toprakta bitkiler tarafından kolay yararlanılabilir şekilde bulunan nitrat ve amonyum miktarları toplam azotun nadiren %1-2'sinin üzerindedir.

Çevrede azot

- Bitkiler tarafından alınan nitrat ve amonyum toprak ortamında karmaşık bir döngü içerisinde oluşur ve yiter.
- Döngüde meydana gelen başlıca tepkimeler:
 - a) Organik maddenin mineralizasyonu sonucu NH_4^+ ve NO_3^- oluşumu,
 - b) Amonyumun nitrata yükseltgenmesi (nitritifikasyon),
 - c) Nitratın denitrifikasyonu ile N_2O ve N_2 oluşumu
 - d) Toprakta yıkanarak nitratın yitmesi,
 - e) Buharlaşıma sonucu amonyak (NH_3) yitmesi,
 - f) Bitkiler tarafından azotun alınması,
 - g) Gübrelerle toprağa azotun uygulanması,
 - h) Yağışlarla toprağa azot aktarılması,
 - i) Bağımsız yaşayan mikroorganizmalar tarafından toprağa azot verilmesi
 - j) Mikroorganizmalar tarafından azotun organik şekilde fiks edilmesidir.

Çevrede azot

- Bitkiler için azotun ikinci önemli kaynağı atmosferdir.
- Evrendeki toplam azotun %2 kadarı atmosferde bulunur.
- Atmosferdeki azotun temel kaynağı litosferdir.



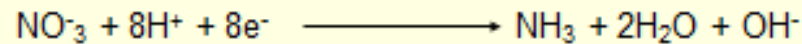
Çevrede azot

- Volkanik gazlar da bir ölçüde litosfer azotuna kaynaklık eder.
- Bitkiler atmosferde hacim ilkesine göre %78 civarında bulunan moleküler azottan (N_2) doğrudan yararlanamazlar.
- Bu azotun bitkilere yararlı şekle dönüşmesi için iki azot atomu arasındaki ($N \equiv N$) üçlü kovalent bağın kırılması ve nitrat veya amonyuma dönüşmesi gerekir.
- Yapay olarak yapılması durumunda çok yüksek enerji gerektiren bu dönüşüm işlemini bazı mikroorganizmalar kolayca gerçekleştirebilmektedirler.
- Atmosferde bulunan moleküler azotun çeşitli mikroorganizmalar aracılığıyla bitkiler tarafından yararlanılabilir şekle dönüştürülmesine *Biyolojik Azot Bağlanması (Fiksasyonu)* denir.



Nitrat özümlemesi

- Nitrat özümleden önce bitkiler tarafından amonyağa (NH₃) indirgenir. Bu işlem *Nitrat indirgenmesi* olarak adlandırılır.



- Nitrat bitki dokularında iki aşamada indirgenerek NH₃'a dönüşür.
- İndirgenmenin birinci aşamasında nitrat (NO₃⁻) nitrite (NO₂⁻) ve ikinci aşamasında ise nitrit (NO₂⁻) amonyağa (NH₃) dönüşür.
- Birinci aşamada *Nitrat redüktaz (NR)* enzimi, ikinci aşamada ise *Nitrit redüktaz (NiR)* enzimi rol oynar.
- Molibden noksanlığı gösteren bitkilerde NR enzim aktivitesi düşer ve dolayısıyla nitrat asimilasyonu olumsuz şekilde etkilenir.
- Benzer şekilde fotosentezde etkili olmak suretiyle dolaylı şekilde mangan da nitrat özümlemesi üzerine etki yapar.



Nitrat özümlemesi

- Nitrat özümlemesi genelde bitkilerin kök ve yapraklarında gerçekleşir.
- Nitrat ksilem iletim borularında gereksinim duyulan yerlere taşınır.
- Ayrıca bitkilerin kök ve gövdelerinde, hücre boşluklarında depo edilir.
- Bitki tarafından alınan nitratin kök ve yapraklarda özümleme oranı üzerine gelişme ortamındaki nitrat miktarı yanında bitkinin türü ve çeşidi, yaşı, besin elementi içeriği gibi çeşitli etmenler etki yapar.
- Nitrat miktarı arttıkça kökün özümleme kapasitesinin üzerindeki nitrat ksilem iletim boruları aracılığıyla yaprağa taşınır.
- Bitki köklerinde nitrat özümlemesi üzerine sıcaklığın olumlu ve önemli etki yaptığı bulunmuştur.



Biyolojik Azot Bağlanması (Fiksasyonu)

- Atmosferdeki azotun (N_2) biyolojik olarak bağlanması, temelde *Prokaryotik* hücre yapısına sahip bakteriler ve mavi-yeşil algler (*Siyanobakteriler*) tarafından gerçekleştirilir.
- Bugünkü bilgilere göre 47 bakteri familyasından 11'ine ait bazı türler ile 8 siyanobakter familyasından da bazı türler N_2 bağlama yeteneğine sahiptir.
- Azot bağlayan mikroorganizmaların bazıları yaşamlarını bağımsız sürdürürken bazıları da başta baklagiller olmak üzere çeşitli bitkilerle ortak yaşam (simbiyoz) sürdürürler.
- Tarımsal yönden önem taşıyan azot bağlaması yapan bakterilerin çoğunluğu heterotrof olup, yaşamlarını sürdürebilmek için gereksinim duydukları organik bileşikleri geliştikleri ortamdan hazır almak zorundadırlar (ör. *Azospirillum*).
- Bazıları ise ototrof olup, CO_2 'i indirgeyerek gereksinim duydukları organik bileşikleri kendileri yaparlar (ör. *Anabaena*)



Azot bağlayan bazı mikroorganizmalar

Ortak yaşam sürdürenler	
Konukçu bitkiler	N ₂ bağlayan pokaryotik bakteriler
Baklagil bitkileri: Baklagiller	Azorizobiyum, Bradirizobiyum, Fotorizobiyum, Rizobiyum, Sinorizobiyum
Actinorhizal bitkiler: Alder (ağaç), Casuarina (ağaç), Ceanothus (çalı), datisca (çalı)	Frankia
Gunnera	Nostok
Azolla (su bitkisi)	Anabaena
Bağımsız yaşayanlar	
Bakteri tipi	N ₂ bağlayan pokaryotik bakteriler
Siyaobakter (mavi-yeşil alg)	Anabeana, Calothrix, Gloeothence, Nostok
Diğer bakteriler	
Aerobik	Azotobakter, Azospirillum, Beijerinckia, Derxia
Fakültatif	Bacillus, Klebsiella
Anaerobik	
Fotosentetik olmayan	Clostridium, Methanococcus, (Archaeobacterium)
Fotosentetik	Chromatium, Rhodospirillum



Biyolojik Azot Bağlanması (Fiksasyonu)

Rhizobiyum ve Bradirizobiyum bakterileri ile bunlara uygun konukçu bitkiler

Bakteri cinsi/türü	Konukçu bitki
Rizobiyum leguminosarum biovar viciae biovar phaseoli biovar trifolii	Fiğ, mercimek, bezelye Fasulye Üçgül
Rizobiyum meliloti	Yonca, taş yoncası
Bradirizobiyum japonicum	Soya
Bradirizobiyum lupinus	Acıbakla
Bradirizobiyum arachis	Yerfıstığı



- İnorganik azotun bitkilerce ve mikroorganizmalarca özümlenmesi karasal ekosistemlerde verimlilik ve üretimin kararlılığı için temeldir.
- Yüksek bitkiler azotu topraktan inorganik formda alabilirler. İnorganik azot toprakta nitrat (NO_3^-) ve amonyum (NH_4^+) halinde bulunur. Bu nedenle, yüksek bitkilerin azot metabolizması her şeyden önce bu azot formlarının topraktaki miktarı ve dolayısıyla organik azotun mineralizasyonu ile ilişkilidir. Bitkiler tarafından alınan bu azot formları bitki yapısında bir seri indirgenme olayından sonra organik yapılara girer. Bu indirgenme olayında ise dış ortamın mineral azot konsantrasyonu, pH, ışık, bitki türü gibi faktörler rol oynar ve tüm bunlar bitkilerin azot beslenmesini şekillendirir.



AZOT DÖNGÜSÜ

- Tek hücreli olsun çok hücreli olsun doğadaki tüm canlılar, yapılarına aldıkları besin maddeleri ile amino asit ve bu amino asitlerden de protein sentez ederler. Protein sentezi için gereken ana elementler ise karbondan sonra azottur. Azot gerek proteinlerin gerekse DNA 'nın moleküler yapısı için gerekli olan çok önemli bir elementtir. Canlılar bunun için azotu kullanmak zorundadırlar.
- Atmosferde %78 gibi yüksek bir oranda azot vardır. Fakat çoğu canlı atmosferdeki serbest azotu doğrudan kullanamaz. Azotun önce bakteriler, su yosunları ve bazı likenler tarafından başka elementlerle birleştirilerek nitratlara dönüştürülmesi gerekir.
- Havadaki azot gazı, topraktaki azot tutucu bakteriler tarafından nitratlara dönüştürülür. Bitkiler büyümeleri için gerekli azotu sağlamak için nitratları soğururlar. Hayvanlar bu bitkilerle beslenirler. Bakteri ve mantarlar, ölü bitki ve hayvanları toprağa amonyum bileşikleri yayarak çürütürler. Nitrat tutan bakteriler bu amonyum bileşiklerini, daha sonra bitkilerde kullanmak için nitrate dönüştürürler. Nitrat bozan bakteriler azot bileşiklerinin yeniden azot gazına dönüşmesini sağlarlar (denitrifikasyon).
- Atmosfere serbest bırakılan azot, diğer mikroorganizmalar ya da mantar, yosun vb. gibi canlılar tarafından absorbe edilerek protein sentezinde kullanılırlar. Bitkilerin kendileri de azotu kullanıp protein sentezlediği gibi, hayvanlar tarafından tüketilerek sindirildikten sonra yapılarındaki azotla yine protein sentezi gerçekleştirilir.
- Ayrıca yıldırım ve şimşek gibi doğa olayları toprağa azot bağlanmasında etki ederler.

Azot döngüsü

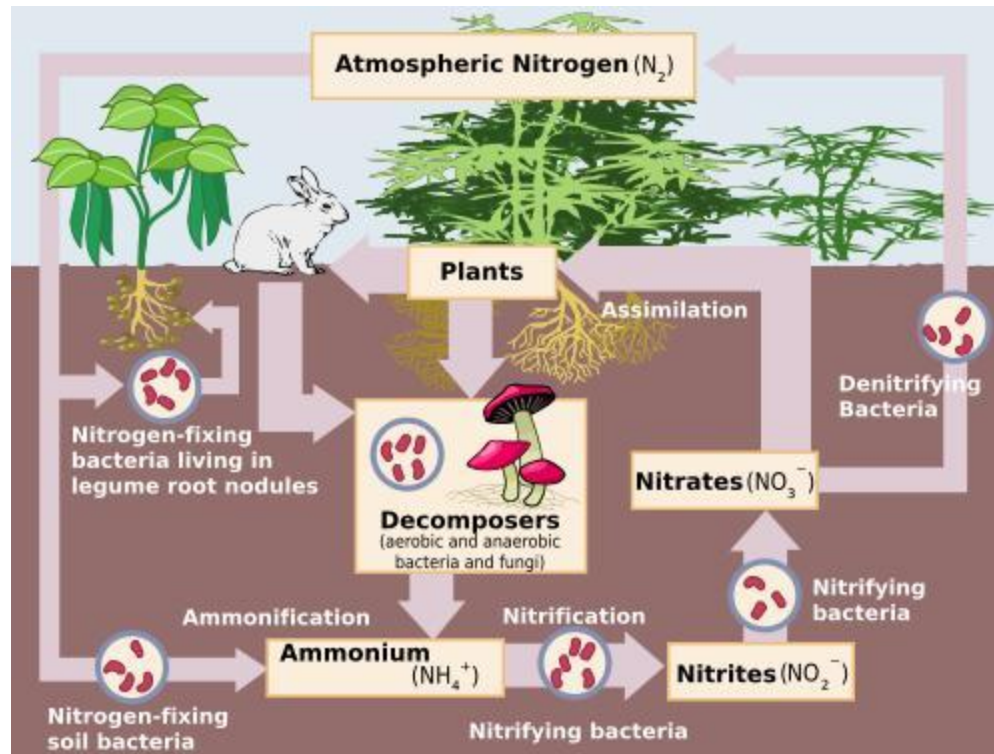
- Azot devri olarak da bilinen, kabaca atmosferdeki serbest inorganik azot gazının temel yaşamsal organik bileşiklerden en önemlisi olan protein oluşumu ve yıkılan proteinden atmosfere tekrar serbest azot gazı salınımını açıklayan inorganik madde döngüsüdür. Bu döngü temel olarak **fiksasyon**, **nitrifikasyon** ve **denitrifikasyon** olarak adlandırılan üç aşamada gerçekleşir.

Fiksasyon aşamasında atmosferde bulunan serbest azot; şimşek, yağmur ya da azot bağlayıcı bakteriler tarafından veya ölü bitki ya da hayvan artıklarının ve hayvan dışkılarının protein ve azot içeren kısımlarının saprofit organizmalar tarafından ayrıştırılmasıyla amonyak gibi azot tuzları olarak toprağa bağlanır.

Nitrifikasyon aşamasında zararlı amonyak tuzları nitrosomonas basili ve nitrobakter gibi kemosentetik bakteriler tarafından okside edilerek canlılığa zararsız nitrit ve nitrat tuzları haline getirilirler.

Denitrifikasyon aşamasında topraktaki nitrit ve nitrat tuzları, ayrıştırıcı mikroorganizmalar veya bitkiler tarafından işlenerek atmosfere bırakılır ve döngünün tekrar başa dönmesi sağlanır.

- Bitkilerin yapı ve fonksiyonlarında çok önemli rol oynayan azot, doğada bir döngü halindedir .

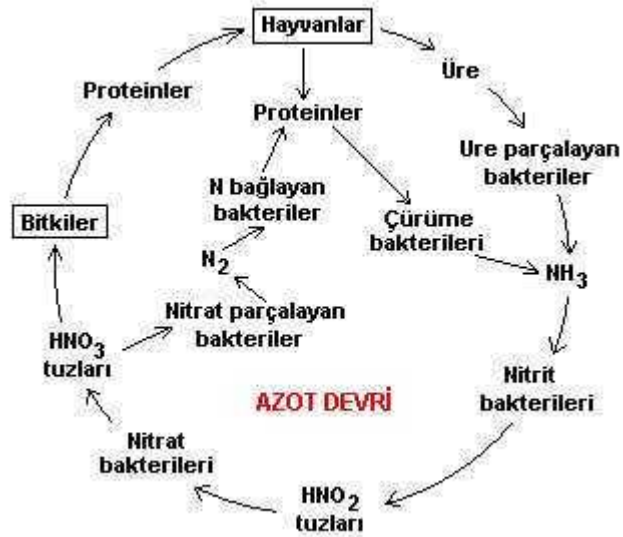


AZOT DÖNGÜSÜ

- Bitkilerin yapı ve fonksiyonlarında çok önemli rol oynayan azot, doğada bir döngü halindedir. Bu döngüde azotun temel kaynağı atmosferde gaz halinde bulunan serbest azot (N_2) ve organik maddenin yapısında bulunan bağlı azottur. Doğada azot döngüsü üç ana kademeyi kapsar;
- (1) serbest azotun yüksek enerji fiksasyonu (atmosferik fiksasyon) ile oluşan amonyak ve nitratların yağmur suyu ile yeryüzüne taşınması, simbiyotik yolla veya serbest yaşayan organizmalarca (mavi yeşil algler ve serbest bakteriler) biyokimyasal olarak organik forma indirgenmesi,
- (2) organik maddenin parçalanarak mineralleşmesi (amonifikasyon, nitrifikasyon ve denitrifikasyon) ile mineral azotun (NO_3^- ve NH_4^+) oluşumu,
- (3) mineral azotun bitkilerce alınıp tekrar organik yapıya katılması ve tüketicilere aktarılması



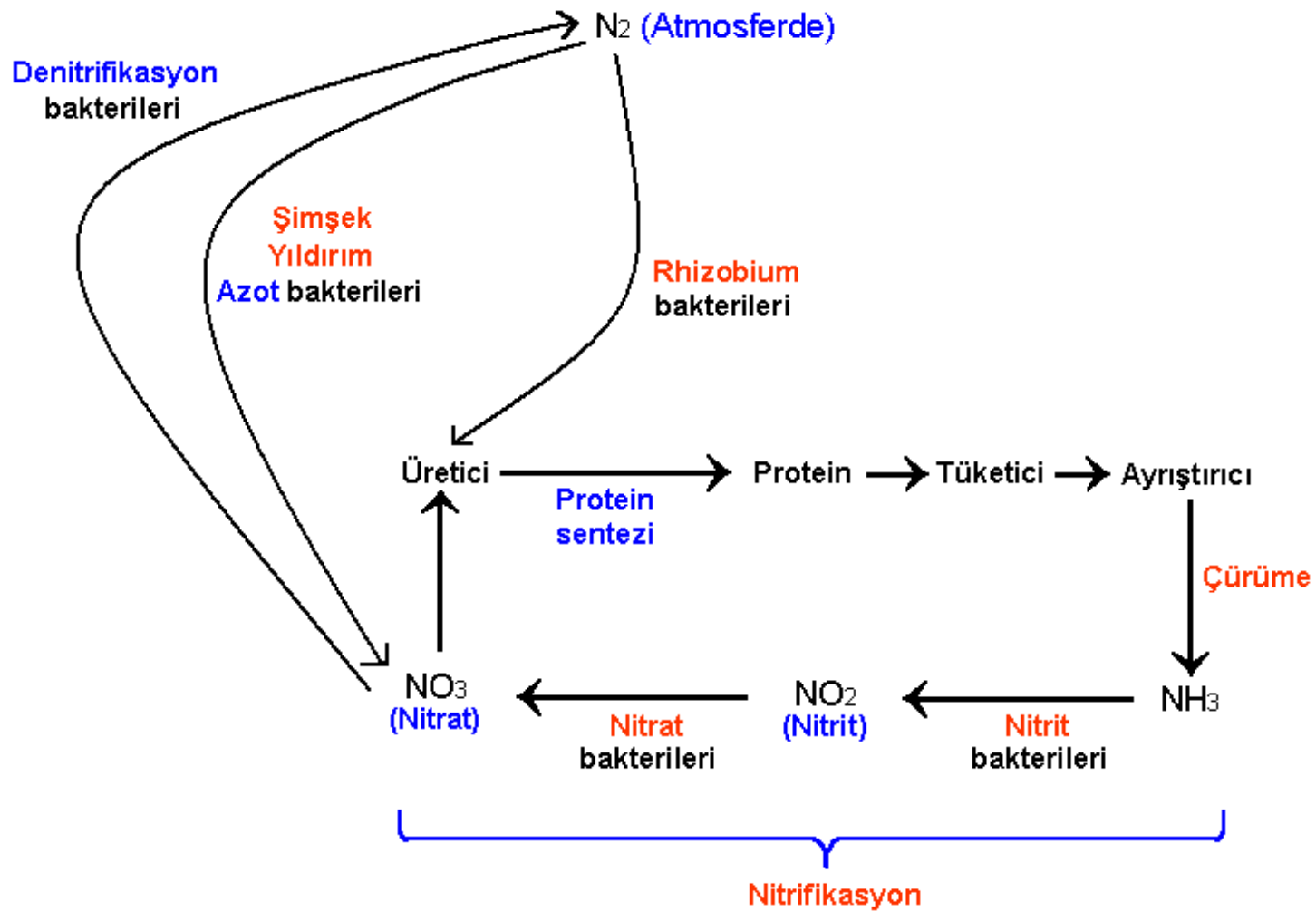
AZOT DÖNGÜSÜ



SERBEST AZOTUN (N₂) FİKSASYONU

- Gaz halindeki serbest azot, atmosferin en önemli bileşeni olduğu halde pek çok bitki için alınabilir formda değildir. Bitkilerce alınabilir forma dönüşebilmesi için serbest azotun fikse edilmesi gerekir. Fiksasyon esnasında moleküler azot iki atomuna ayrılır. Serbest atomlar iki molekül amonyakı oluşturmak üzere hidrojenle birleşir, Bu işlem, önemli miktarda enerji gerektirir. Azot döngüsünde, serbest azotun fiksasyonu iki yolla gerçekleşir. Bunlardan birisi yüksek enerjili fiksasyondur (Atmosferik fiksasyon). Bu fiksasyon tipinde, serbest azot suyun hidrojeni ve oksijeni ile reaksiyona girerek amonyakı ($N_2 \rightarrow NH_3$) ve nitratı oluşturur. Bu reaksiyonda gerekli olan yüksek enerji kozmik radyasyon, meteorit sürüklenmeleri ve şimşek tarafından sağlanır. Biyokimyasal olmayan bu reaksiyon sonucu oluşan amonyak ve nitrat (H_2NO_3 olarak) yeryüzüne yağmur ile ulaşır.
- Havanın serbest azotunun ikinci fiksasyon şekli biyolojik fiksasyondur. Biyolojik olarak azotun fiksasyonunda bakteriler ve mavi-yeşil algler iş görmektedir. Bunlardan bir kısmı serbest olarak karasal ve sucul ekosistemlerde yaşarken, bir kısmı yüksek bitkiler ile birlik oluştururlar. Toprakta serbest yaşayan en önemli azot fikse edici bakteriler aerobik Azotobakter ve anaerobik Clostridium genuslarına ait türler, mavi-yeşil alglerden en yaygın olanları ise hem toprak hem de sucul ortamlarda bulunan Nostoe ve Calothrix genuslarına ait türlerdir.





BİYOLOJİK AZOT FİKSASYONU VE ÖNEMİ

- Atmosferde % 78 oranında bulunan azot elementinden bitkilerin ve diğer canlıların yararlanabilmesi için, bu elementin, bitkilerce alınabilir formlara (NH_4^+ , NO_3^-) dönüşmesi gerekmektedir. Doğada bu olayı gerçekleştiren en önemli canlılar bakterilerdir. Biyolojik azot fiksasyonu sayesinde moleküler N_2 mikrobiyolojik olaylarla bakteriler aracılığıyla NH_4^+ , NO_3^- formlarına dönüştürülmektedir
- Yaklaşık yerkürede 4×10^{15} (karasal ve denizsel), atmosferde ise 2×10^{15} ton azot bulunur. Bunun yanında her yıl toprağa 200-300 milyon-ton azot kazandırılır. Bunun %70'i biyolojik azot fiksasyonu ile %15'i yapay gübrelerle, %15'i doğal gübrelerle, %10'u çevre kirleticilerle olmaktadır. Yapılan hesaplamalara göre dünyada biyolojik yolla toprağa sağlanan toplam azot 175×10^6 ton/yıl'dır (Bunun 75×10^6 ton'u baklagil üretim alanlarından, 7×10^6 ton'u çeltik alanlarından, 57×10^6 ton'u orman, çayır vb. alanlardan, 28×10^6 ton'u ise okyanus ve denizlerden sağlanmaktadır).



- Baklagil bitkileri yalnızca kendi gelişmelerini sağlamakta, başka bitkilere gelişmeleri esnasında azot vermemektedir. Eğer kullanılan toprağın azotça zenginleşmesi isteniyorsa baklagil bitkisinin tamamının veya bazı kısımlarının toprağa gömülmesi gerekmektedir.
- Biyolojik azot fiksasyonu birçok mikroorganizma tarafından gerçekleştirilir. Bu mikroorganizmaların bir kısmı bağımsız olarak bu işlevi gerçekleştirirler. Buna kısaca serbest azot fiksasyonu denilmektedir. Bunun yanında bazı toprak bakterileri, baklagil bitkileri ile simbiyoz durumunda önemli azot fiske edici organizmalar olarak tanınırlar. Ayrıca mavi yeşil algler ve aktinomiset-yüksek bitki ortaklığı şeklinde azot fiske eden formlarda vardır.
- Simbiyotik N₂-fiksasyonunun en önemli yanı, bakteri ve baklagil ilişkisidir. Baklagiller önemli bir besin kaynağı olup Leguminosae familyasındandır. Bu, geniş bir aile olup 18 000 türü içermektedir. Bunlardan yaklaşık 13.000'i toprak mikroorganizmaları ile simbiyotik yaşayarak azot fiksasyonu yaparlar.
- Dünyada Farklı Ekosistemlerde Biyolojik N₂-Fiksasyonu ile Bir Yılda Kazanılan Tahmini Azot Miktarı (N milyon ton/yıl)
- Baklagiller 75 Çeltik 7 Baklagil olmayan diğer bitkiler 8 Okyanus ve denizler 28 Orman, çayır ve benzeri alanlar 57
- **Toplam 175 milyon ton/yıl**



- Biyolojik N₂ fiksasyonu iki şekilde gerçekleşir. Bunlardan birincisi simbiyotik N₂-fiksasyonu ikincisi ise simbiyotik olmayan N₂-fiksasyonudur.
- Havanın serbest azotunu baklagillerle simbiyotik yaşam kurarak toprağa bağlayan ve genel olarak *Rhizobium* spp. olarak bilinen mikroorganizmalar aşılama ile toprağa verilmediği durumda genellikle toprakta az sayıda bulunurlar veya etkili olmazlar ve bu nedenle de aşısız koşullarda biyolojik yolla toprağa bağlanan azot miktarı da düşük olur .
- Baklagillerde simbiyotik sistem sonucu kazanılan azot miktarı 140 kg/ha/yıl düzeyindedir. İyi şartlar altında soya *Bradyrhizobium japonicum* ikilisi simbiyotik yolla 300 kg/ha/yıl düzeyine yakın azot fikse edilebilir. Bazı baklagil yeşil gübre bitkilerinin kontrol toprağına oranla toprağa kazandırdıkları azot miktarının bitki ve uygulama şekline göre 7,5 ile 13,0 kg N/da arasında değiştiği saptanmıştır.



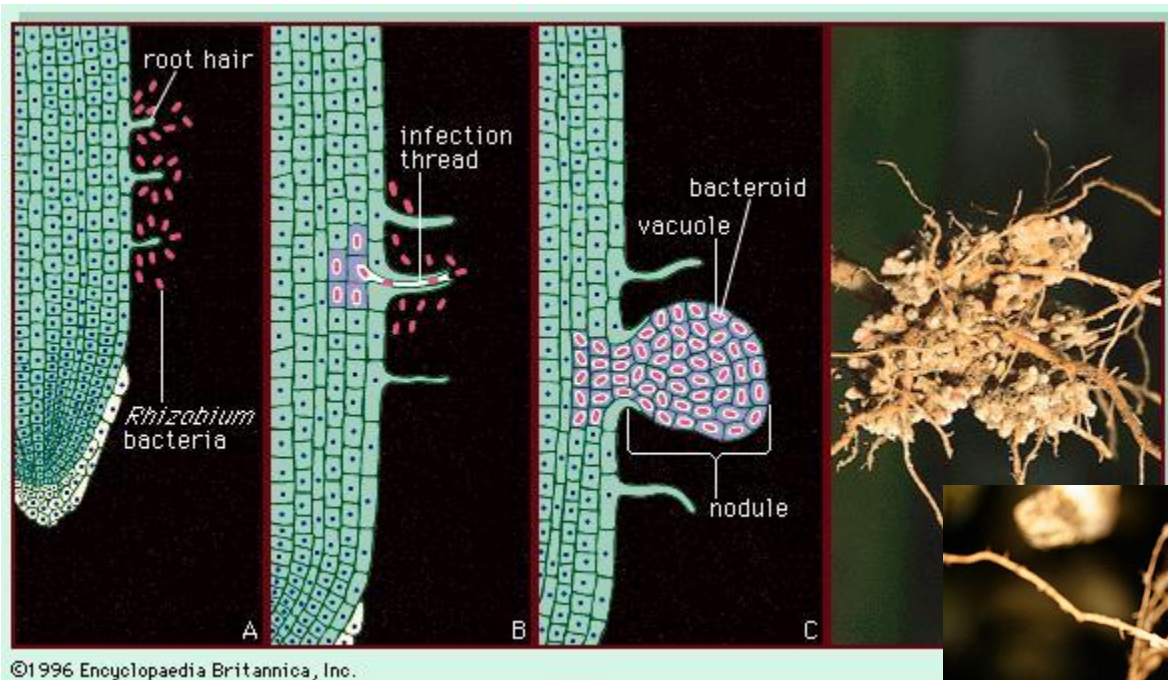
- Simbiyotik olmayan N₂-fiksasyonu toprakta bazı serbest yaşayan ve molekül azotu bağlama yeteneğine sahip olan mikroorganizmalar, bakteriler ve mavi-yeşil algler tarafından gerçekleştirilmektedirler. Simbiyotik olmayan azot fiksasyonu, pH ve toprağın oksijen içeriğinden önemli derecede etkilenmektedir. Örneğin, Azotobacter ve Azotomonas mutlak aerobiktir ve ancak nötr pH düzeyinde optimum aktivite gösterirler. Clostridium bakterileri anaerobiktir, asitik ortam diliminde yaşayabildiklerinden Azotobacter'lerden daha yaygındırlar. Tropik bölgelerde pH 4' te bile N₂ fıkse edebilirler Simbiyotik olmayan yolla tespit edilen azot miktarı ile bulgular çok değişik olmakla birlikte, genellikle yılda 2,5-3 kg N/ha olarak tahmin edilen miktar ortalama olarak kabul edilebilir. Baklagiller tarafından simbiyotik yolla tespit edilen azot miktarı ise dekar başına, yaklaşık olarak 10-20 kg arasında bulunmaktadır.



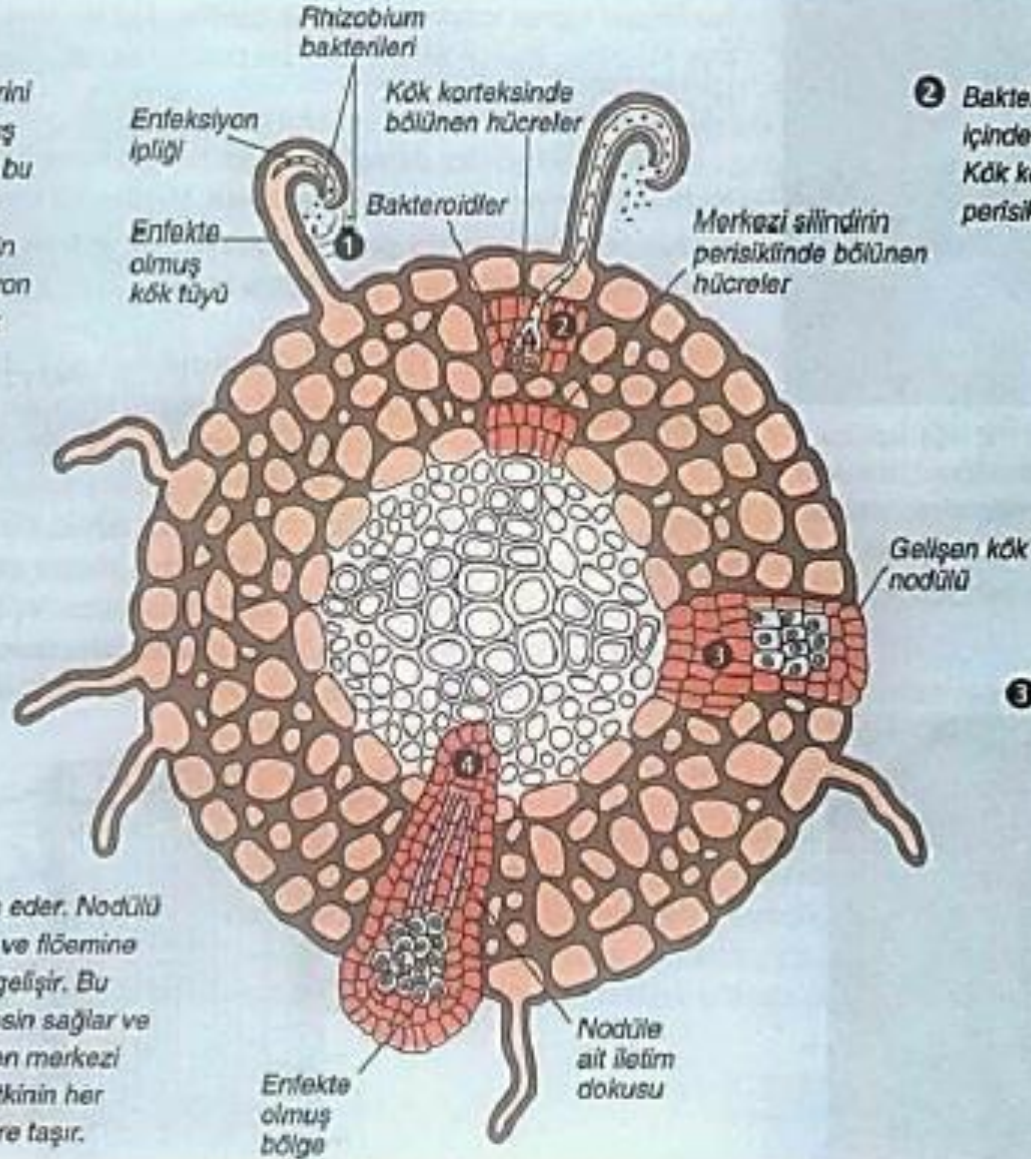
AZOT FİKSASYONUNU ETKİLEYEN ETMENLER

- Toprakta bulunan mikroorganizmalar, çevresel şartlardan önemli derecede etkilenirler. Olumlu koşullarda hızla çoğalıp doğal işlevlerini gerçekleştiren bu canlılar, olumsuz koşullarda da hayatta kalabilmek ve fonksiyonlarını sürdürebilmek için çok çetin mücadeleler verirler. Biyolojik N₂ fiksasyonu ile fikse edilen azot miktarı yöreden yöreye büyük oranla değişebilir. Çünkü azot fiksasyonunu etkileyen birçok etken vardır. Bunları; gübreleme, ilaçlama, bakteri aşılama, bitki besin elementleri, toprak reaksiyonu (pH), tuz konsantrasyonu, sıcaklık, nem diye sayabiliriz. Toprağa uygulanan organik ve inorganik gübreler mikrobiyel aktivitelerin değişmesine sebep olabilir. Bu değişim de topraktaki bir çok biyokimyasal olayların değişmesine ve dengenin bozulmasına neden olur.
- Rhizobium bakterilerinin su stresi, toprak asitliği, hastalık ve zararlılara oldukça duyarlı olduğunu, her bitkinin kendine özel bakteri istediğini ve aşılamanın çoğu zaman gerekli olduğunu bildiren bir çok çalışma mevcuttur.





1 Kök, Rhizobium bakterilerini çeken kimyasal sinyal oluş turur. Daha sonra bakteri bu sinyali kök tüylerine iletir. Sinyal, kökte kök tüylerinin uzamasını ve bir enfeksiyon ipiliği oluşumunu teşvik eder.



2 Bakteriler enfeksiyon ipiliği içindeki kök korteksine girer. Kök korteksi hücreleri ve perisikl bölünmeye başlar.

3 Nodül büyümeye devam eder. Nodülün merkezi silindirin ksilem ve floemine bağlayan iletim dokusu gelişir. Bu iletim dokusu, nodüle besin sağlar ve azotlu bileşikler nodülden merkezi silindire ve oradan da bitkinin her yanına gönderilmek üzere taşır.

3 Korteks ve perisiklin etkilenmiş bölgelerinde büyüme devam eder ve bölünen hücrelerin oluşturduğu bu iki kütle birleşerek nodül oluş turur.

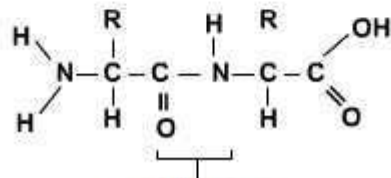
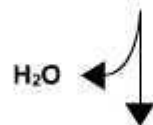
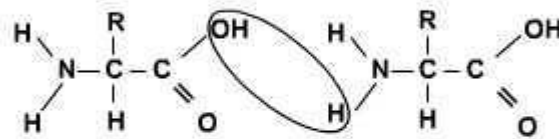
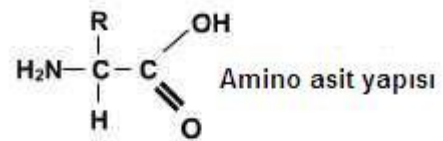


Bakteri ve bitkilerin çoğu 20 standart amino asidin hepsini sentez edebildikleri halde memeliler bunların yalnızca yarısını sentez edebilirler. Hayvansal organizmada sentez edilemeyen, besinlerle dışarıdan alınmaları zorunlu olan amino asitlere esansiyel amino asitler denir.

Amino acid requirements in humans	
Essential	Nonessential
Arginine	Alanine
Histidine	Asparagine
Isoleucine	Aspartate
Leucine	Cysteine
Lysine	Glutamate
Methionine	Glutamine
Phenylalanine	Glycine
Threonine	Proline
Tryptophan	Serine
Valine	Tyrosine

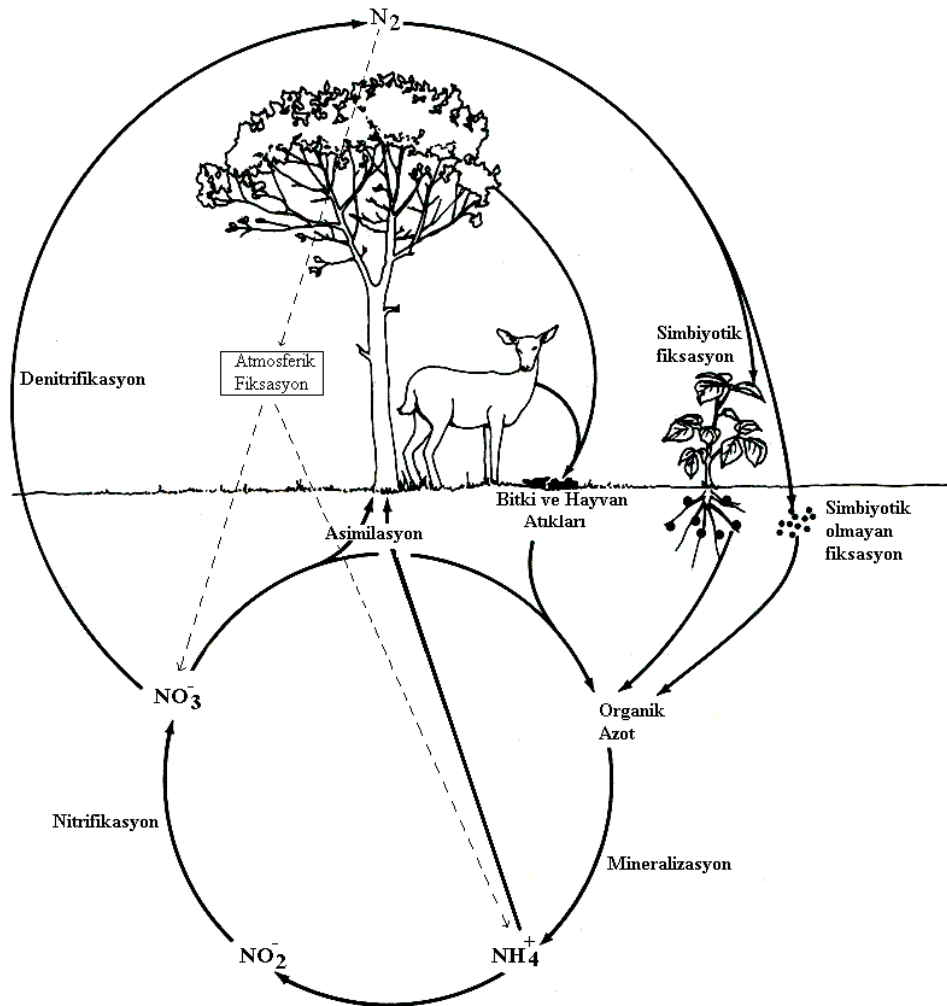


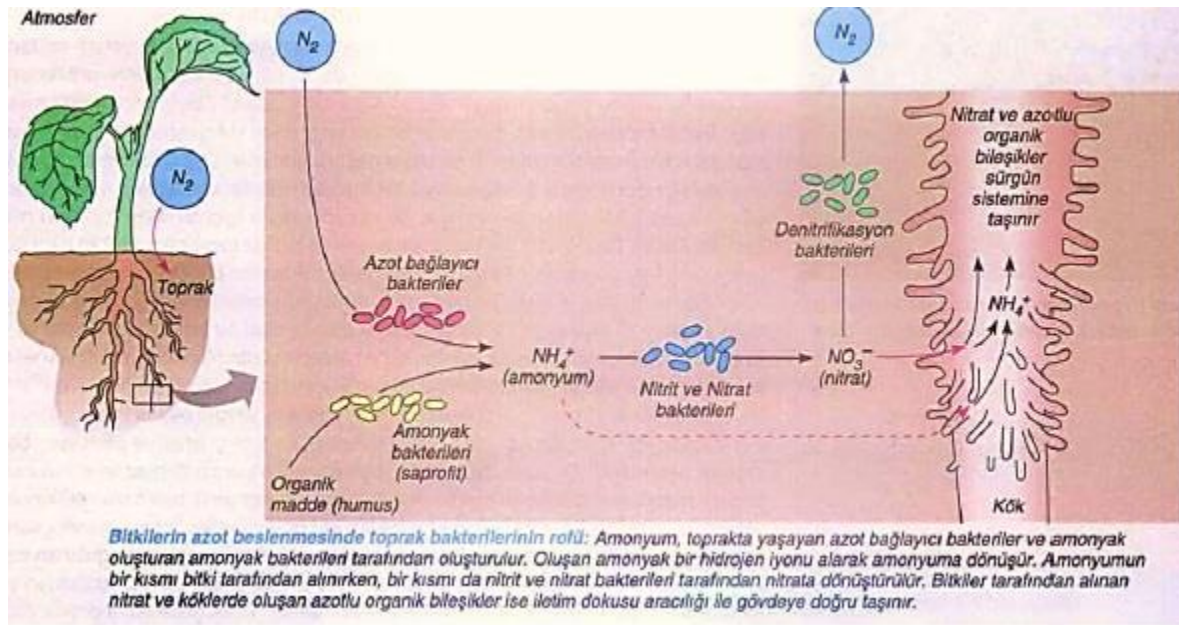
Protein



Peptid bağı







- Azotun alınabilir forma (Amonyum, Nitrat) dönüşümünde iki yol bulunur
- 1) Serbest Azotun Fiksasyonu
- 2) Toprakta Azot Mineralleşmesi



SERBEST AZOTUN FİKSASYONU

- 1. Yüksek Enerjili Fiksasyon
- Havanın serbest azotunun yine havadaki suyun hidrojeni ile birleşmesi sonucunda NH_3 şekline dönüşmesi ile başlar.
- Bu olay için gerekli olan yüksek enerji kozmik radyasyon, meteor sürüklenmesi ve şimşekler tarafından sağlanır.



- 2. Biyolojik Fiksasyon
- Bakterilerin ve Mavi yeşil alglerin görev aldığı bir süreçle gerçekleşir.
- Serbest yaşayan bakterilerden Azotobacter ve Clostridium genusları
- Fabaceae (Baklagiller) üyeleri ile simbiyotik yaşayanlar Rhizobium bakterileri ön plana çıkarlar.



TOPRAKTA AZOT MİNERALLEŞMESİ

- Organik maddenin parçalanması, her aşamasında farklı organizma gruplarının iş gördüğü humifikasyon, amonifikasyon, nitrifikasyon ve denitrifikasyon safhalarından geçerek gerçekleşir. Organik maddenin parçalanmasıyla oluşan mineral azot yüksek bitkilerce özümленerek tekrar organik yapılara katılır .
- | | |
|--|----------------|
| Humifikasyon | Mineralizasyon |
| Organik Madde----- | Humus ----- |
| $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{Mineral maddeler}$ | |
- Bitkilerin kullanabildiği azot kaynakları toprakta farklı mikroorganizma gruplarının iş gördüğü mineralizasyon ile oluşur ve ekosistem verimliliğinin sürekliliği için gereklidir. Mineralizasyon; nitrifikasyon ve amonifikasyon olmak üzere iki aşamada gerçekleşir.
- Canlı ve ölü organik maddedeki azot formu indirgenmiş amonyum formunda bulunur. Amonifikasyon, organik bağlı azotun amonyağa dönüştürüldüğü bir safhadır. Birçok bitki, hayvan ve mikroorganizma bu süreci yürütme yeteneğindedir. Organizma atıkları toprak ve sudaki heterotrofik bakteri ve funguslar tarafından amino asitlere ve daha sonra amonyağa kadar ayrıştırılır. Bu aşamada iş gören organizmalar bu sayede enerji sağlarlar.
- $\text{NH}_2 - \text{CO} - \text{NH}_2 + \text{H}_2\text{O} \text{ ----- } 2\text{NH}_3 + \text{CO}_2$ (ürenin üreaz enzimi ile parçalanması).

ORGANİK MADDENİN YAPISINDA BULUNAN BAĞLI AZOTUN
AMONYAK OLUŞUMUNA KADAR GEÇİRDİĞİ SÜREÇLER AŞAĞIDAKİ
ŞEKİLDE ÖZETLENEBİLİR.

○ Aminizasyon

- Proteinler Enzimatik Kompleks
- ve Benzeri ----- Sindirim ----- amino Bileşikleri ve diğer ürünler + CO₂ + Bileşikler
- Enerji

○ (Amonifikasyon)

- $R-NH_2 + HOH \rightarrow R-OH + NH_3 + \text{Enerji}$
- $2NH_3 + H_2CO_3 \rightarrow (NH_4)_2CO_3 \rightarrow 2NH_4 + CO_3$



- Mineralizasyonun ileri aşaması olan nitrifikasyonda, amonyum iyonları önce nitrite daha sonra da nitrat iyonlarına yükseltgenir. Nitrifikasyon sınırlı sayıdaki ototrof bakterilerce yürütülür . Nitrifikasyonun iki aşaması (nitritin ve nitratın oluşması) farklı iki mikrobial populasyon tarafından gerçekleştirilir. Ancak, her iki işlev bir denge halinde yürür ve nitrit birikimi meydana gelmez. Amonyağın nitrite, nitritin de nitrata yükseltgenmesi enerji açığa çıkaran süreçlerdir. Nitrifikasyon bakterileri kemotrofturlar (Kemosentez yapan) ve karbondioksiti özümlemek için nitrifikasyon ile oluşan enerjiyi kullanırlar. ilk reaksiyonda moleküler oksijen nitrit molekülüne verilir. Yükseltgenme çok aşamalı bir reaksiyondur ve hidroksilamin (NH₂OH) ve diğer bazı ara ürünler oluşur. Bu reaksiyon aynı zamanda hidrojen iyonlarını oluşturur ve reaksiyonun gerçekleştiği ortamın pH'ı düşer. Nitrifikasyonun ikinci aşamasında nitrat oluşumu için bir su molekülünden oksijen alınır. Nitrifikasyonun her iki aşaması da aerobik koşullarda gerçekleşir. Nitritin yükseltgenmesi nitrifikasyonunun ayrı bir safhasını oluşturur. Bu aşama düşük miktarda enerji verimi ve nitrat oluşumu ile sonuçlanır.
- $2\text{NH}_4 + \text{HOH} \rightarrow 2\text{NO}_2^- + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{H}^+ + \text{Enerji}$
- $2\text{NO}_2^- + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}_3^- + \text{Enerji}$ (nitrifikasyon)
- Topraklarda, amonyağı nitrite yükseltgeyebilen dominant genus *Nitrosomonas*, nitriti nitrata yükseltgeyebilen dominant genus ise *Nitrobacter*' dir. Amonyağı nitrite yükseltgeyebilen diğer bakteriler *Nitrospira*, *Nitrosococcus* ve *Nitrosolobus* genuslarına ait türlerdir.
- Mineralizasyonda oluşan nitratın bir kısmı bazı bakteriler tarafından serbest azot formuna dönüştürülür ve atmosfere verilir. Bu işleme ise denitrifikasyon adı verilir

- Mineralleşmenin ileri aşaması olan nitrifikasyonda, amonyum iyonları önce nitrite daha sonra da nitrat iyonlarına yükseltgenir. Araştırmacılar nitrifikasyon sınırlı sayıdaki ototrof bakterilerce yürütüldüğünü ortaya koymuşlardır. Nitrifikasyonun iki aşaması (nitritin ve nitratın oluşması) farklı iki mikrobial populasyon tarafından gerçekleştirilir.



- Yüksek bitkiler azotu topraktan inorganik formda alabilirler. İnorganik azot toprakta nitrat (NO_3^-) ve amonyum (NH_4^+) halinde bulunmaktadır. Bu nedenle, yüksek bitkilerin azot metabolizması her şeyden önce bu azot formlarının topraktaki miktarı ve dolayısıyla organik azotun mineralleşmesi ile ilişkilidir. Toprağın organik materyalinin ayrışmasında temel rol mikroorganizmalara aittir.
- Toprak mikroorganizmalarını çeşitliğinde ve sayısında meydana gelebilecek bir azalma toprak besin döngüsünde azalmaya sebep olabilir.



- Topraktan azot alınabilirliği toprağın kalitesinin önemli bir ayıracıdır. Azot mineralleşmesi toprak organik maddesinden inorganik azotun serbest bırakılmasıdır.
- Bu süreç toprağın tipi, organik maddesinin kalitesi, mikrobiyal biyomass, mikrobiyal etkinlik, toprak sıcaklığı ve nemi gibi birçok süreç tarafından kontrol edilmektedir.
- Topraktaki azot mineralleşmesinin oranı laboratuvarlarda ya da azot alınımında belirleyici bitkiler kullanılarak yapılabilir .



AZOT MİNERALLEŞMESİNİ ETKİLEYEN ÇEVRESEL ETKENLİKLER

- Diğer besin elementlerinin miktarı (C/N oranı)
- Organik maddenin yapısı
- Toprağın nem içeriği ve maksimum su tutma kapasitesi
- pH
- Sıcaklık
- Mikrobiyal biyomass'ın sayısı ve çeşitliliği



- Organik maddenin ayrışmasını etkileyen en önemli parametrelerden birisi ölü materyalin C/N oranıdır
- Mikrobiyal faaliyet ile azot miktarı sabit kalmasına rağmen Karbon miktarı sürekli düşer. Bunun için kolay ayrışabilen karbon bulunduran topraklarda kompleks karbon taşıyanlara göre daha fazla mineralleşme görülür.



- C/N oranıyla mineralleşme miktarı arasında ters orantı vardır.
- Toprak nemi direk olarak mikrobial aktiviteyi, dolaylı olarak da azot mineralizasyonunu etkiler. Biyolojik bir işlev olan mineralizasyonun hızı suyun alınabilirlik oranı ile ilişkilidir.
- Sıcaklık, topraktaki azot mineralizasyonunu etkileyen temel faktörlerden biridir. Genel anlamda, bitki gelişimi için uygun olan sıcaklık şartları mikrobial parçalanma için gerekli sıcaklık şartlarına oldukça benzerdir



- Toprak nemi doğrudan mikrobiyal aktiviteyi dolaylı olarakta azot mineralleşmesini etkiler.
- Toprakta bitki gelişimi için yeterli olan nem mineralleşme içinde yeterlidir.
- Toprak suya doydukça artan anaerobik ortam nedeniyle organik madde çözünmesi yavaşlar ve mineralleşme miktarı düşer. Aynı zamanda denitrifikasyon ile kayıpları arttırır.



- Topraktaki nem miktarı bitki- toprak sistemindeki azot kayıplarını da etkiler.
- Alınabilir azot formu olan Nitrat (NO_3) toprak içinde kolayca hareket edebilir. Bu durum hem bitkinin alınımını kolaylaştırır hem de yıkanma şeklinde kayıpları arttırır.
- Kurak şartlarda suyun artışı bir noktaya kadar mineralleşmeyi teşvik ederken optimum su miktarı aşıldığında mineralleşme hızla düşer



- Sıcaklık topraktaki azot mineralleşmesi için temel faktörlerden biridir.
- Genel anlamda bitki gelişimi için uygun olan sıcaklık şartları mikrobiyal süreç için gerekli sıcaklıkla paraleldir.
- Sıcaklık yaşam ortamlarına göre farklılık ortaya koymaktadır. Nitrifikasyon amonifikasyona göre sıcaklığa daha fazla bağımlılık gösterir.



- Toprak pH'ı toprak mikroflorasının aktivitesini ve kompozisyonunu ve buna bağılı olarak da net azot mineralleşmesini dengelemektedir. Azot mineralleşmesinin asidik toprakların pH'ı arttırıldığında belirgin olarak arttığını göstermişlerdir. Toprak mikroflorası içerisinde yer alan Funguslar asite hoşgörülü mikroorganizmalar oldukları için, doğada asidik yapılı topraklar ve benzeri yerlerdeki organik maddenin humusa kadar parçalanmasında önemli etkiye sahiptirler.



- Asidik pH koşulları mineralleşmede iş gören bakteriler için uygun olmamaktadır. Genel olarak hafif asit ile hafif alkali topraklarda (pH 6.0-8.0) nitrat hakim iken, artan asiditellik amonyum lehine üstün olma eğilimini arttırır



FARKLI CANLI GRUPLARININ ETKİSİ

- Bakteriler ile beslenen Nematodlar organik maddenin ayrıştırılmasında
- 1) Mikropları yiyerek ve organik maddelerin inorganik maddelere ayrışması oranını düzenleyerek.
- 2) Mikropları su ve toprak içerisinde dağıtarak
- 3) Saprofitik ve bitki patojeni bakterilerle beslenerek mikrobiyal kompozisyonu etkileyerek



- 4) Toprakta nematodlar ile beslenen mantarlar gibi mikro fauna ve mikroflora için besin elementi oluşturarak.
- 5) Bitki simyiontlarının fonksiyonunu ve dağılımını etkileyerek
Katkıda bulunurlar.



AMONYUM VE NİTRAT İYONLARININ ALINIM MEKANİZMALARI

- Yüksek bitkiler topraktan azotu nitrat formunda tercih etmelerine karşın topraktaki amonyum da önemli bir azot kaynağını oluşturur.
- Amonyum ve nitrat iyonlarının topraktan alınımlar mekanizması bitkilerin iyon alınımlar mekanizmaları olarak bilinen pasif ve aktif alınımlar mekanizmaları ile açıklanmaktadır.

