...بسم الله الرَحمنِ الرَحيم...

نيتروژن

نیتروژن: اهمیت

- **اهمیت شناخت بیولوژی و شیمی نیتروژن:**
  - حداکثر تولید و سودآوری
  - حداقل خطرات زیست محیطی

- بعد از H ، بالاترین تعداد اتم ها در گیاه
- شایع ترین کمبود در بین عناصر غذائی در غیرلگوم ها)

- **نیتروژن موجود در کره زمین:**
  - حدود 98.7% در سنگهای اولیه
  - تنها حدود 2% در اتمسفر: منشا اصلی N قابل استفاده برای گیاه

اشکال نیتروژن در گیاه

- غلظت در گیاه: ۱-۶ درصد وزنی

اشکال قابل جذب:

- نیترات (NO_3^-)
  - غالب در خاکهای هوازی، مرطوب و گرم
  - افزایش pH ریزوسفر (ترشح OH^- و HCO_3^-)
- آمونیوم (NH_4^+)
  - غالب در شرایط غرقاب و کشت برنج
  - کاهش pH ریزوسفر (ترشح H^+)

اشکال نیتروژن در گیاه

- نیترات (NO_3^-)
  - احیا به NH_3 (نیازمند انرژی) ..... اسید آمینه ..... پروتئین
  - افزایش pH ریزوسفر (ترشح OH^- و HCO_3^-)

- آمونیوم (NH_4^+)
  - جذب همراه با افزایش کربوهیدرات گیاه در مقایسه با تغذیه نیترات
  - افزایش پروتئین گیاه
  - کاهش pH ریزوسفر ...کاهش جذب Ca^{2+}، K^+ و Mg^{2+}

حدود ۲ واحد اختلاف pH ریزوسفر گیاهان تغذیه شده با نیترات و آمونیوم

شکل دلخواه گیاه: نیترات یا آمونیوم

- متفاوت در بین گیاهان
- ترجیح اغلب گیاهان: NO_3^-
  - سرعت بالای تبدیل نیترات به آمونیوم در شرایط تهویه مناسب خاک
  - انرژی کمتر لازم برای جذب NH_4^+ اما محدوده باریک تحمل گیاه:
    - کاهش رشد
    - کمبود سایر عناصر

مثال:

- در محلول غذایی نسبت مناسب نیترات به آمونیوم (۷۵ به ۲۵ درصد)
- نسبت آمونیوم بیشتر از ۵۰ درصد: سمیت آمونیوم

شکل دلخواه گیاه: نیترات یا آمونیوم

- انباشت غلظت بالای NO_3^- در گیاه (برخلاف آمونیوم)
- رشد بهینه اغلب گیاهان با نسبت مناسب نیترات و آمونیوم:
- نسبت ۵۰:۵۰ در غلات و ذرت: بهبود رشد

- **کاربرد آمونیوم:**
  - در خاکهای آهکی، کاهش pH و افزایش جذب فسفر و عناصر کم مصرف
  - درکشت برنج و شرایط غرقاب: نیترات زدایی و لزوم مصرف آمونیوم

- **اهمیت نسبت نیترات به آمونیوم بر شدت بیماری ها:**
  - اثر مستقیم بر عامل بیماری
  - اثرغیر مستقیم: تاثیر بر pHخاک و تغییر pH مطلوب عامل بیماری

نقش نیتروژن در گیاه

- تشکیل پروتئین ها
- بخش ساختمانی کلروفیل
  - تبدیل نور به انرژی شیمیایی لازم برای فتوسنتز
  - جز ساختار اصلی حلقه پورفیرین: حاوی ۴ حلقه پیرول متشکل از ۱ اتم نیتروژن و ۴ اتم کربن ... یک اتم منیزیم در مرکز حلقه پورفیرین

- جزیی از ترکیبات انتقال دهنده انرژی شامل ADP و ATP
- فتوسنتز
- رشد رویشی
- سبزینگی

نیتروژن در گیاه: نشانه های کمبود و سمیت

- **نشانه اصلی کمبود:**
  - زردی برگ (کلروز) و بین رگبرگهای پیر (عنصر پویا)
    - کاهش نیتروژن کلروپلاست برگهای پیر
  - نکروزه و مرگ سلولی در کمبود شدید: قهوه ای شدن برگهای پیر
  - نکروزه شدن نوک برگ و امتداد در جهت رگبرگ میانی

- **نشانه اصلی سمیت:**
  - تاخیر در رسیدگی گیاه
  - افزایش بیماری ها (در محیط مرطوب)
  - کاهش رطوبت خاک در اوایل فصل رشد و کاهش رشد زایشی
  - تولید پروتئین بیشتر و مصرف کربوهیدراتها.. آبکی شدن پروتوپلاسم:
    - حساسیت به بیماری
    - خوابیدگی ساقه (ورس)

- **گیاهان پاکوتاه: مقاوم به خوابیدگی ساقه و پاسخ بیشتر به کوددهی نیتروژن**

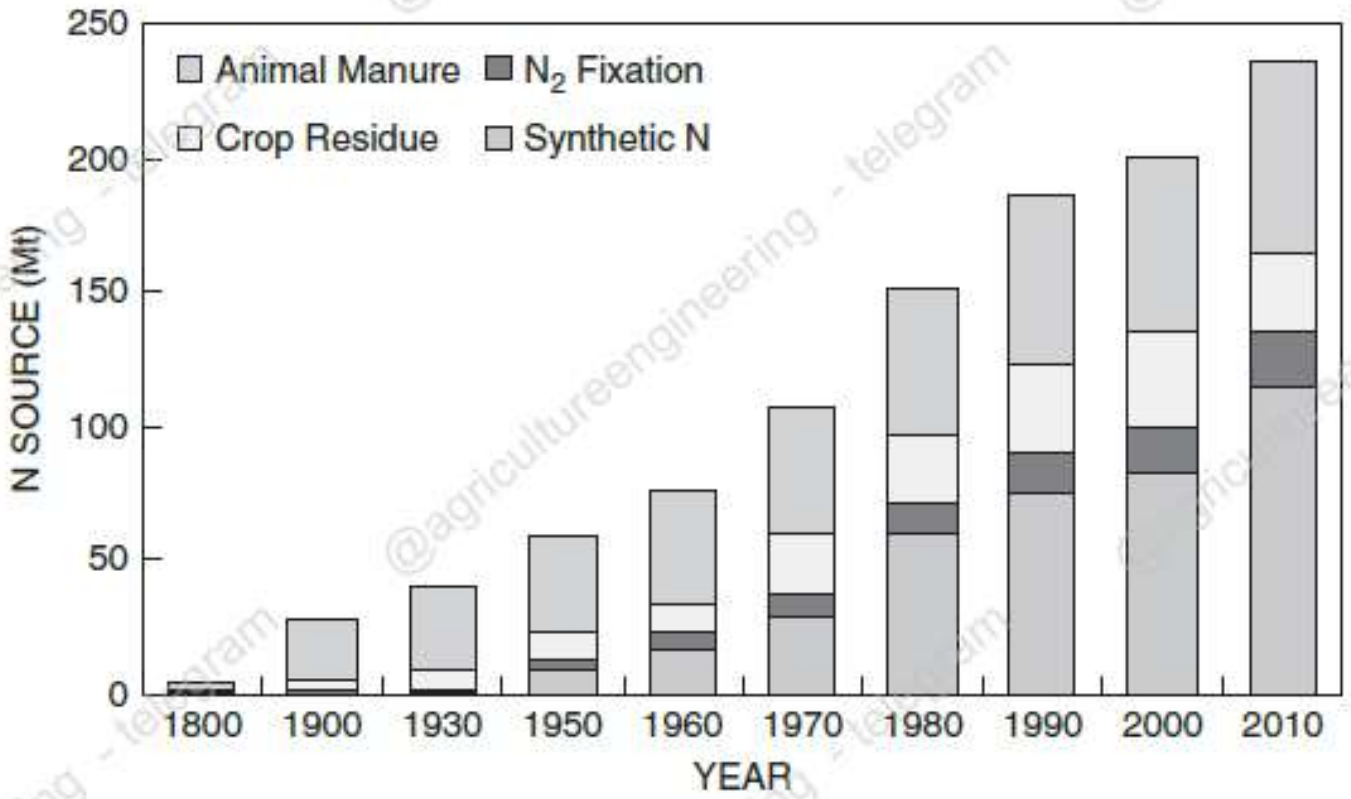
چرخه نیتروژن

- N_2: منشا همه نیتروژن مورد استفاده گیاه
  - ۷۸ **درصد هوا: عدم توانایی گیاهان جهت مصرف** N_2

لزوم تبدیل به شکل قابل جذب توسط:

- ریزجانداران همزیست با ریشه لگومها
- ریزجانداران آزادزی (غیرهمزیست)
- تخلیه الکتریکی و تولید اکسید نیتروژن
- کارخانجات و صنایع تولید کود نیتروژن

چرخه نیتروژن: منابع جهانی نیتروژن از سال ۱۸۰۰
افزایش سهم کودهای شیمیایی



چرخه نیتروژن: توازن ورودی و خروجی

- ورودی ها (Input, Gain)
- خروجی ها (Output, Loss)
- چرخه در خاک و عدم تغییر (No-change)

N Inputs (Gains)	N Outputs (Losses)	No Net N Gain or Loss (Cycling)
Fixation	Plant uptake	Mineralization
Biological (bacteria)	Denitrification	Immobilization
Industrial (Haber-Bosch)	Volatilization	Nitrification
Electrical (lightning)	Leaching	
Combustion (fossil fuel)	NH_4^+ fixation[2]	
Animal manure		
Crop residue		

ورودی های نیتروژن

- **منابع طبیعی**
  - ماده آلی یا هوموس خاک
  - بقایای گیاهی
  - آب آبیاری و باران
  - کودهای دامی
  - تثبیت توسط موجودات زنده
  -
- **منابع غیر طبیعی**
  - کود شیمیایی فاضلابهای صنعتی و شهری و کمپوست
  - سوخت فسیلی (به ویژه زغال سنگ بهترین منبع SO_2 و اکسیدهای نیتروژن)

منابع خروجی نیتروژن از خاک

- برداشت محصول: برگشت کمتر از نصف نیتروژن مصرفی به صورت کود پس از برداشت گیاه
- تثبیت توسط خاک: تثبیت شده در کانی هایی چون میکا، ایلایت و ورمیکولایت
- فرسایش
- آبشویی: بیش از ۹۰ درصد نیتروژن آبشویی شده به شکل نیترات و تنها ۱۰ درصد به سایر اشکال
- تصاعد: (آمونیاک، نیتروژن عنصری، اکسید نیتروژن)

اهمیت مطالعه چرخه نیتروژن

- بررسی تاثیر مدیریت انسان بر چرخه نیتروژن با هدف:
  - افزایش مخزن قابل جذب برای گیاه
  - کاهش تلفات
  - کاهش پیامدهای زیست محیطی

عوامل مؤثر بر مقدار نیتروژن خاک

تحت تأثیر عوامل خاک سازی بر ورودی و خروجی N:

- **اقلیم**
- **مواد مادری**
- **پوشش گیاهی(موجودات زنده)**
- **توپوگرافی**
- **زمان**

عوامل مؤثر بر مقدار نیتروژن خاک: اقلیم

- **رطوبت**
  - افزایش بیومس گیاهی
  - تشدید فعالیت میکروبی خاک
- **دما**
  - افزایش بیومس گیاهی
  - تشدید فعالیت میکروبی خاک

محاسبه مقدار N لایه سطحی خاک (فرمول تجربی):

$$N = 0.55\ e^{-0.08T}(1-e^{-0.005H})$$

T: دما بر حسب درجه سانتیگراد

H:شاخص مربوط به رطوبت نسبی

N:درصد نیتروژن لایه سطحی خاک

عوامل مؤثر بر مقدار نیتروژن خاک: **پوشش گیاهی**

- **مقدار پوشش**
- **نوع پوشش گیاهی**

  - نوع پوشش گیاهی مهمتر از مقدار تولید مواد گیاهی

  دلیل: مقدار زیست توده تابع عوامل دیگر مثلا رطوبت و دما

- **سوال:**

مقایسه مقدار N چمنزارهای مناطق گرم و مرطوب (Alfisols) و جنگل های مناطق سرد؟

عوامل مؤثر بر مقدار نیتروژن خاک: توپوگرافی

- شدت شیب
- طول و جهت شیب

تأثیر بر:

- اقلیم موضعی
- جریان آب سطحی
- تبخیر و تعرق گیاه

عوامل مؤثر بر مقدار نیتروژن خاک: **مواد مادری**

بافت خاک

- خاک رسی در مقایسه با خاک شنی

- **قدرت نگهداری نیتروژن معدنی**
- **تثبیت بیشتر و آبشویی کمتر NH_4^+**
- **بانک غذائی (CEC) بالاتر**
- **شرایط تغذیه ای مناسب تر گیاه**
- **سرعت تجزیه کمتر ماده آلی**

عوامل مؤثر بر مقدار نیتروژن خاک: **بافت خاک**

نوع کانی رس:

مونت موریلونیت: نگهداری نیتروژن معدنی به صورت تبادلی یا تثبیت شده

مقدار کلسیم تبادلی

نیتروژن بیشتر

تشکیل هومات کلسیم در خاک

ترکیبات مقاوم در مقابل شستشو و تجزیه میکروبی

دلیل کاهش سرعت تجزیه ماده آلی در حضور رس

- کمپلکس ماده آلی با رس
- کمپلکس آنزیم با رس
- کمپلکس هومات کلسیم
- کمپلکس رس – کلسیم –ماده آلی

عوامل مؤثر بر مقدار نیتروژن خاک: موجودات زنده و انسان

اثر موجودات زنده مستقل نمی باشند

- **موجوداتی که باعث ورود N به خاک می شود.**
- **موجوداتی که باعث خروج N از خاک می شوند.**

اثر انسان:

- **اضافه کردن کود و افزایش مقدار N**
- **برداشت محصول و عملیات خاکورزی غیر اصولی:**
  - افزایش فرسایش خاک
  - تصاعد
  - آبشویی N
  - کم شدن بقایای گیاهی

تثبیت زیستی نیتروژن (N2-Fixation)

تبدیل نیتروژن گازی را به شکل قابل استفاده برای گیاه

- دخالت یک موجود زنده شامل:
  - **تثبیت زیستی نیتروژن به طریق همزیست**
  - **تثبیت زیستی نیتروژن به طریق غیرهمزیست**

تثبیت زیستی نیتروژن به طریق همزیست

- **نوشته های قدیمی:** نقش شبدر، یونجه، نخود و لوپین ئر حاصلخیزی خاک

- ۵۰٪ کل تثبیت زیستی دنیا ($130\text{-}180 * 10^6$ م ت) توسط Rhizobia
  - **کاهش سهم تثبیت زیستی در تولید با مصرف کودهای شیمیایی**
  - **مصرف کود نیتروژن دنیا در سال ۲۰۰۸: $100 * 10^6$ میلیون تن**

- **اقتصادی بودن تناوب در شرایط قیمت بالای کود:**
  - **تناوب با لگوم های علوفه ای** (افزایش نیتروژن، کاهش فرسایش، افزایش ماده آلی)
  - **تناوب با لگوم های دانه ای** (افزایش فرسایش پذیری خاک)

تثبیت زیستی N_2 به طریق همزیست

- **خانواده لگوم ها**
  - **لگوم های علوفه ای**
  - **لگوم های دانه ای**
  - **لگوم های درختی**

- **جنس ریزوبیوم (Rhizobium):**
  - تثبیت کننده اصلی نیتروژن در خانواده لگومینوز
  - دارای گونه های مختلف و اختصاصی هر گیاه

تثبیت زیستی نیتروژن به طریق همزیست: لگوم های درختی

اهمیت:

- **جنگل**
- **جنگل-کشاورزی (Agroforestry)**

- **کاربرد به عنوان کود سبز در سیستم کشت برنج:**

- *Gliricidia sepium*
- *Leucaena leococephala*
- *Sesbania bispinosa*

سایر تثبیت کننده های همزیست نیتروژن

- تعدادی غیر لگوم قادر به تشکیل غده تثبیت N_2
- مکانیسم مشابه ریزوبیوم–لگوم
- اکثراً گونه های نهاندانگان (Angiosperms)
- بیشتر در شرایط فقر نیتروژن

مثال:

- درخت توسکا (Alder) و موم (Wan myrtle): تثبیت N_2 در ریشه
- درخت استوایی Psyehotria تثبیت از طریق گره ها در برگ

فرانکیا (Frankia): یک اکتینومیست تثبیت کننده در انواع گیاهان چوبی

اهمیت اقتصادی ریزجانداران تثبیت کننده نیتروژن

Organisms	General Properties	Agricultural Importance
Azotobacter	Aerobic; free fixers; live in soil, water, rhizosphere, leaf surfaces	Minor benefit to agriculture; found in vascular tissue of sugarcane, with sucrose as an energy source for N_2 fixation
Azospirillum	Microaerobic; free fixers; or found in association with roots of grasses	Inoculation benefits some non-legume crops, shown to increase root hair development
Rhizobium	Fix N_2 in legume-Rhizobium symbiosis	Legume crops are benefited by inoculation with proper strains
Actinomycetes	Fix N_2 in symbiosis with non-legume wood trees—alder, Myrica, Casuarina	Potentially important in reforesta-tion, wood production
Cyanobacteria (Anabaena)	Contains chlorophyll, mostly aquatic, some terrestrial	Enhance rice in paddy soils; Azolla (a water fern) symbiosis; used as green manure

تثبیت زیستی N_2 در لگوم ها

- هجوم باکتری به سمت تارهای کشنده
- تشکیل گره (Nodule) در سطح ریشه
- باکتری های داخل گره: جذب N_2 از هوای خاک و تبدیل به NH_4^+
- استفاده از آنزیم نیتروژناز (Nitrogenase) توسط ریزوبیوم:
  - کسب انرژی از تبدیل ATP و شکستن پیوند سه گانه N_2

- **رابطه همزیستی (Mutualism) ریزوبیوم و گیاه**
  - **گیاه: تولید قند، کربوهیدراتها و ATP**
  - **ریزوبیوم: تثبیت نیتروژن هوا**

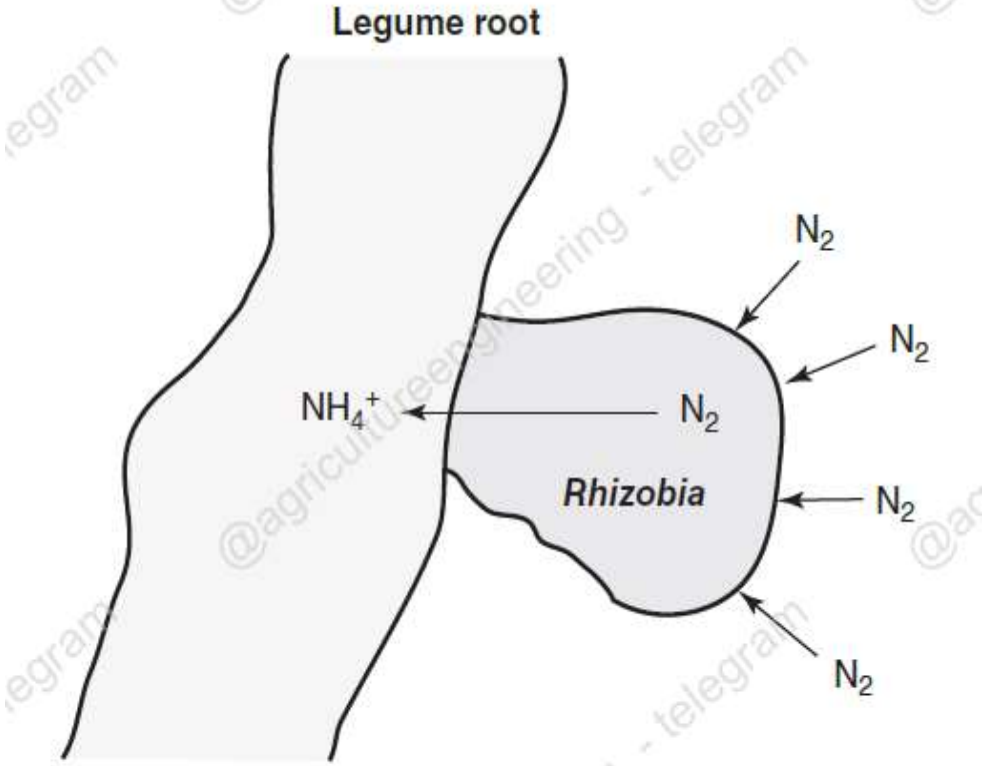
آغشته کردن بذر لگوم با ریزوبیوم

- **لزوم آغشته کردن ریشه لگوم با باکتری:** کشت اول گیاه در مزرعه
- **مزایای آغشته کردن:**
  - افزایش عملکرد (۲۵-۱۵ درصد)
  - افزایش پروتئین (۱۰-۵ درصد)

- **افزایش جمعیت ریزوبیوم:** کاهش کارایی تلقیح در تثبیت N_2

- **آیا آغشته کردن بذر با ریزوبیوم اقتصادی است؟**
  - بسته به هزینه کود
  - ارزش محصول

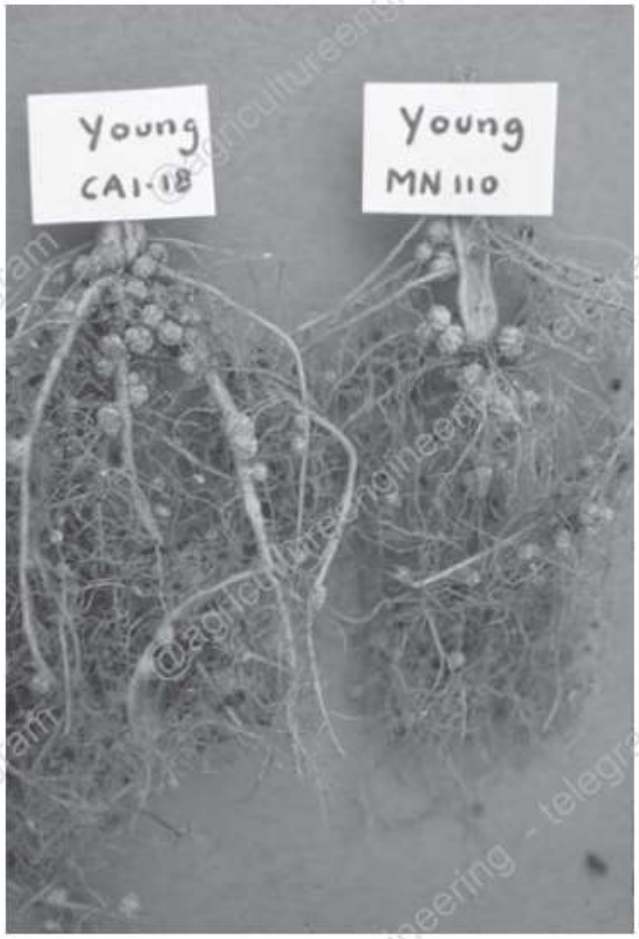
آیا وجود گره روی ریشه نشانگر تثبیت N_2 است؟



- **گره قرمز:**
  - وجود لگ هموگلوبین
  - نشانه فعال بودن گره
  - ۸-۴ میلیمتر
- **گره صورتی:**
  - متعدد و پخش در سیستم ریشه
  - غیرفعال در تثبیت
  - کوچکتر از ۲ میلیمتر

آیا وجود گره روی ریشه نشانگر تثبیت N_2 است؟

- ریشه یونجه تلقیح شده و نشده با ریزوبیوم



تفاوت همزیستی در دو رقم سویا

مقدار تثبیت N_2

- **نیتروژن تثبیت شده توسط ریزوبیوم:**
  - **۹۰-۲۵ درصد کل نیتروژن لگوم**
  - **عمده نیتروژن تثبیت شده در اندام هوایی**

- **عوامل موثر بر مقدار تثبیت :**
  - **عملکرد گیاه**
  - **کارایی تلقیح**
  - **مقدار نیتروژن خاک**
  - **شرایط محیط**

- **تثبیت توسط لگوم های علوفه ای بیشتر از لگوم های دانه ای**
  - خروج N از طریق دانه
  - طول دوره رشد کوتاه تر و توسعه کمتر ریشه در خاک
  - افزوده نشدن نیتروژن ریشه و غده به خاک

بودجه نیتروژن یونجه (سال اول)

N Budget Component	Harvest			Total
	1st	*2nd*	*3rd*	
	lbs/a			
Forage yield	3,128	2,727	1,032	6,887
Total plant N	105	113	53	271
N from N_2 fixation[1]	51 (49%)	91 (81%)	30 (57%)	172 (63%)
Leaves/stems	46	66	20	132
Roots/crown	4	25	11	40
N from soil	54	22	22	99
Leaves/stems	48	16	14	79
Roots/crown	6	6	8	21

عوامل موثر بر تثبیت N2:

منبع عناصر غذایی

N معدنی: ترجیح لگوم ها (همانند سایر گیاهان): نیترات و آمونیوم

دلیل: انرژی کمتر در مقایسه با تثبیت

کاهش نیتروژن: افزایش تثبیت N2

زیادی نیتروژن: کاهش تثبیت N2 (کاهش فعالیت نیتروژناز)

مولیبدن (Mo): جزو نیتروژناز، موثرترین کم مصرف موثر بر تثبیت، مورد نیاز گیاه میزبان

سوال: آیا در شرایط کفایت نیتروژن خاک، تلقیح بذر با ریزوبیوم مفید است؟؟

مفید برای افزایش عملکرد

کوددهی شروع کننده (Starter)

جهت استقرار ریشه و شروع همزیستی

مهم در شرایط سرد و مرطوب یا تنش که فعالیت ریزوبیوم محدود است

کارایی کم ریزوبیوم برخی گیاهان مثلاً لوبیا

در خاکهای اسیدی به دلیل کمبود کلسیم و فسفر

اختلاف استرین های ریزوبیوم از لحاظ تحمل تنش

عوامل موثر بر تثبیت N_2:

pH

- در pH<5.5:
  - محدودیت شدید همزیستی ریزوبیوم
  - رشد ریشه
  - باروری و عملکرد لگوم

- اختلاف استرین های ریزوبیوم از لحاظ تحمل pH
- راهکار مقابله در خاک اسیدی:
  - اصلاح pH
  - انتخاب ریزوبیوم متحمل

عوامل موثر بر تثبیت N_2:
دمای محیط

- رابطه نزدیک شدت فتوسنتز با تثبیت N_2 توسط ریزوبیوم

- عوامل موثر بر شدت فتوسنتز:
  - شدت نور
  - تنش رطوبت
  - دمای پایین

عوامل موثر بر تثبیت N2:
مدیریت زراعی لگوم

- **هر عامل افزایش رشد و عملکرد لگوم:** بهبود فعالیت تثبیت N2
  - **تهویه**
  - **آفات و بیماری ها**
  - **مدیریت نامناسب برداشت**
    - برداشت زیادی (چین زیادتر)
    - برداشت زودرس (نابالغ)... کاهش استقرار گیاه .... کاهش تثبیت N2
    - برداشت با تاخیر (به ویژه در پائیز)

قابلیت استفاده N_2 لگوم برای گیاهان غیرلگوم

- **عملکرد بالاتر غیرلگوم ها بعد از کشت لگوم:**
  - مثلاً نیاز کمتر ذرت به کود نیتروژن بعد از سویا
  - نیاز کمتر بعد از لوپین

- **دلیل نیاز کمتر غیرلگوم ها به نیتروژن:**
  - تجزیه بقایای لگوم
  - محبوس شدن بیشتر نیتروژن در تناوب دائم غیرلگوم ها
  - افزایش جمعیت میکروبی ناشی از معدنی شدن بیشتر در تناوب لگومها

تاثیر تناوب بر تغییر درصد نیتروژن آلی خاک

تغییر از ابتدای کاشت تا زمان برداشت:

در کشت ذرت (۱۱ درصد کاهش)

در کشت سویا (۱۲ درصد افزایش)

Crop	Organic N			
	Planting	Harvest	Change	
	kg/ha			%
Corn	3661	3294	−367	−11
Soybean	3304	3623	+319	+12

فایده کشت لگوم در تناوب

- **افزایش نیتروژن خاک برای کشت بعدی**

نیتروژن قابل استفاده در سیستم کشت لگوم بستگی دارد به:

  - مقدار N_2 تثبیت شده
  - مقدار و نوع بقایای لگوم برگشت داده شده
  - شرایط محیطی موثر بر تجزیه بقایا

- **کاهش بیماری های خاکزاد**
- **بهبود ویژگی های خاک**
- **کود سبز**
- **غذای دام**

فایده کشت لگوم در تناوب

- **کود سبز:**
  - برگرداندن به خاک
  - عمده N در بخش هوایی لگوم

- **غذای دام:**
  - برگشت بخش کوچکی از N2 تثبیت شده به خاک
  - برداشت عمده N2برای تغذیه دام
  - مقدار Nافزوده شده بعد از چین اول بیش از چین های بعدی

فایده لگوم در تناوب: **مدیریت برگرداندن بقایا یا کشت بعد**

- **لزوم معدنی شدن N لگوم:** جهت استفاده محصول بعدی
- **همزمانی معدنی شدن با نیاز و جذب توسط گیاه** (Synchrony)
  - **تاثیر محیط**
  - **تاثیر مدیریت**

لزوم انتخاب کشت مناسب

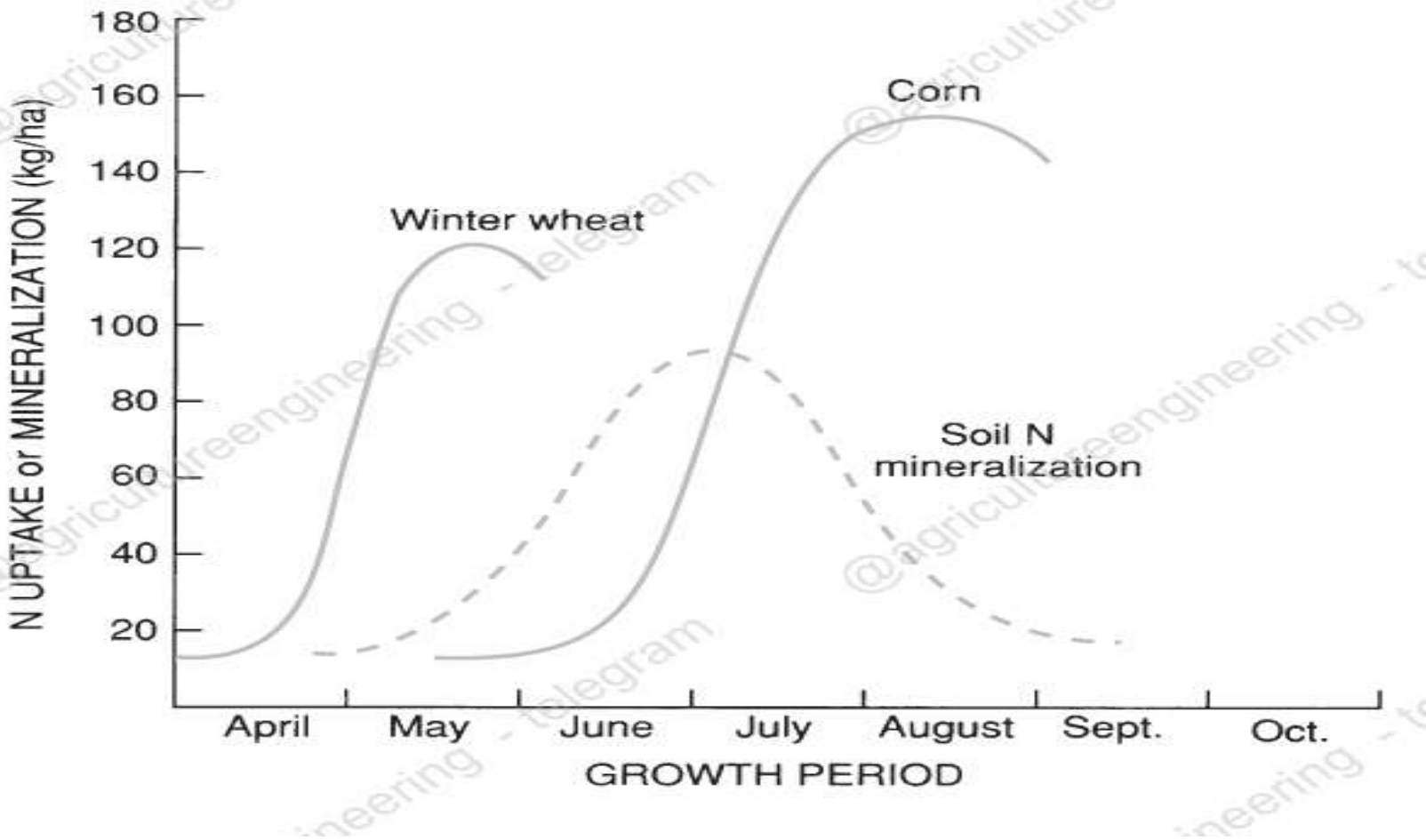
✓ جذب N توسط ذرت همزمان با معدنی شدن N بقایای لگوم

✓ جذب N توسط گندم زودتر از معدنی شدن: احتمال آبشویی و هدررفت

- **کشت توأم: لگوم و گراس:**

تأمین ۷۰-۵۰ درصد نیاز N گراس از لگوم

همزمانی (Synchrony) معدنی شدن با جذب توسط ذرت و گندم



ارزش کودی N تثبیت شده توسط لگوم ها

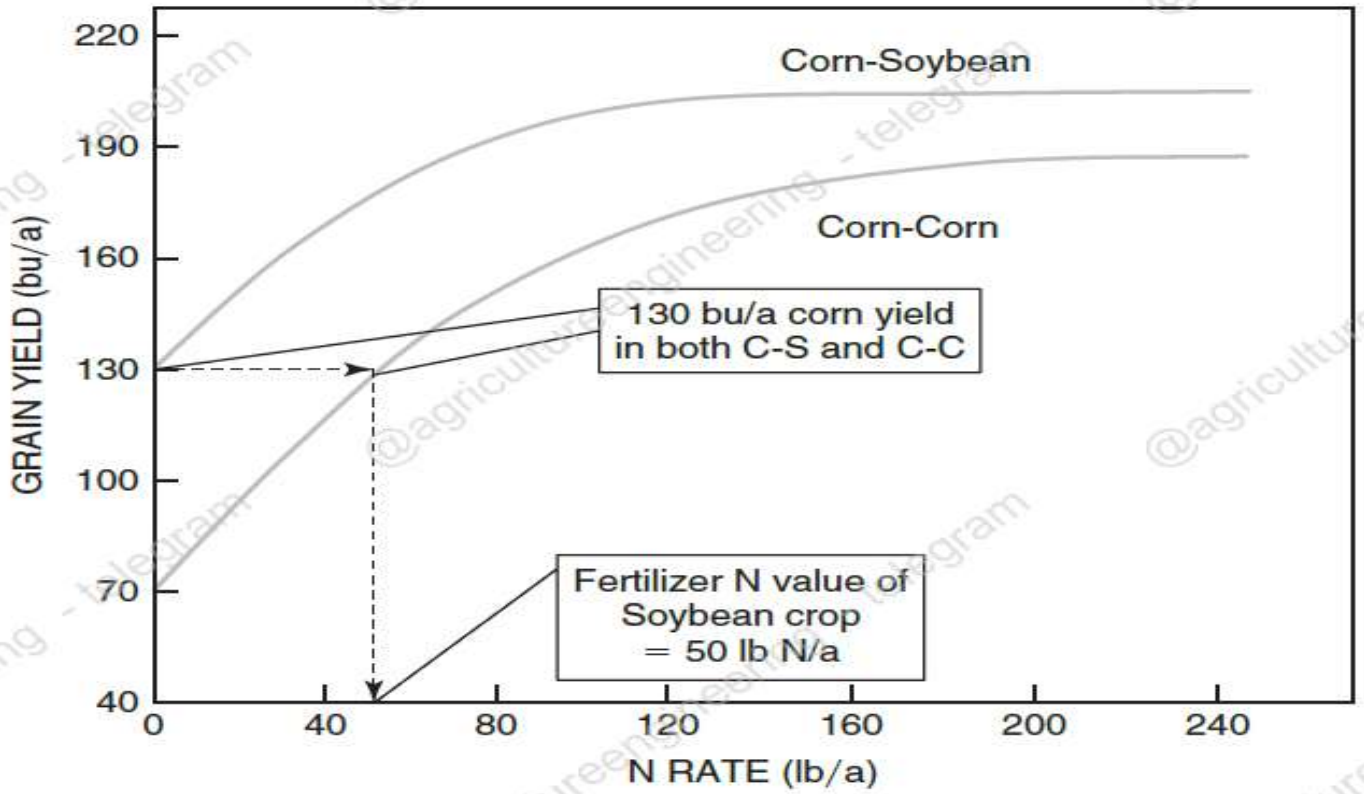
- مشکل اندازه گیری N2 تثبیت شده توسط لگوم ها

- امکان تعیین ارزش وجود لگوم در تناوب بر اساس «واحد کودی»
  - مقایسه عملکرد گیاه در تناوب با گیاه غیرتناوب
  - مقایسه کمی کود N مورد نیاز برای دستیابی به عملکرد مشخص در هر تناوب

کاهش قیمت کودهای نیتروژن: کاهش کشت لگوم در تناوب

- **ایرادات تناوب لگوم:**
  - مصرف آب بالاتر
  - مقاومت کمتر به خشکی برخی لگوم ها

ارزش کودی N تثبیت شده توسط سویا در تناوب با ذرت



عملکرد ذرت ۱۳۰ بوش در ایکر: در تناوب با سویا بدون کود ،
در کشت پیوسته نیازمند ۵۰ کیلوگرم در هکتار

مقدار نیتروژن تثبیت شده توسط بقولات

TABLE 5-1. Amounts of Nitrogen Fixed by Legumes

Legume	Nitrogen Fixed [lb/(A/yr)]		kg/ha
	Range in Reported Values	Typical	
Alfalfa	50–450	194	۲۱۷
Ladino clover	—	179	
Sweet clover	–267	119	۱۲۵
Red clover	76–169	114	
Clovers (general)	50–300	—	
Kudzu	—	107	۱۲۰
White clover	—	103	
Cowpeas	58–116	90	
Lespedezas (annual)	—	85	
Vetch	80–138	80	۹۰
Peas	30–140	72	۸۱
Soybeans	58–160	100	۱۱۲
Winter peas	—	50	
Peanuts	—	42	۴۷
Beans	– 71	40	۴۵
Fababeans	51–148	130	
Fababeans (shaded)	–648	—	

تثبیت زیستی نیتروژن به طریق غیر همزیستی

- باکتریها
- جلبکهای سبز-آبی
- قارچ‌ها

رایج تر در اراضی غرقاب و بی هوازی

- سیانوباکترها

در اراضی کشاورزی قسمت عمده تثبیت نیتروژن توسط دو گروه باکتریها:

- گروه اول: باکتریهای هوازی نظیر ازتوباکتر در مناطق معتدله و بیجرینکا در مناطق حاره
- گروه دوم: باکتریهای غیرهوازی و احتمالاً غیرهوازی اختیاری از نوع کلستریدیوم

- کمبود موضعی اکسیژن در خاک: فعالیت هر دوگروه باکتری

تثبیت زیستی نیتروژن به طریق غیر همزیستی: **سیانوباکترها**

- اتوتروف و نیازمند به:
  - آب
  - N_2
  - CO_2
  - عناصر معدنی
- وابسته به نور: نقش کم بعد از برداشت گیاه در تثبیت N_2 در برنج کاری ها
- مناطق خشک:
  - فعالیت پس از بارندگی
  - تثبیت قابل توجه N_2 در مدت کوتاه دوره رشد
- اهمیت:
- در برنج کاری های مناطق استوایی و مناطق معتدل
- همزیستی *Anabaena azolla* (یک سیانوباکتر) با Azolla(یک سرخس آبی)
- محل فعالیت سیانوباکتر: برگ سرخس

تثبیت زیستی نیتروژن به طریق غیر همزیستی: کاربرد آزولا

کاربرد

- کود سبز در برنج کاری های جنوب آسیا
- غذی دام
- کمپوست آزولا برای تولید سایر گیاهان
- مبارزه با علف های هرز

- در آمریکا: تامین ۷۵ درصد برنج توسط آزولا

سایر آزولاها:

- فعالیت در سطح ریشه
- ورود به بافت ریشه ذرت، برنج، سورگوم، گندم، نیشکر و برخی گراس ها

تثبیت کننده های N_2 به طریق غیرهمزیستی

- باکتریها:
  - Azotobacter
  - Rhodospirillum
  - Achromobacteria
  - Psuedomonas
  - Beijernckia
  - Clostridium
- جلبکهای سبز آبی
  - Nostoc
  - Anabaena
- قارچها:
  - Rhodotolla

مایه تلقیح از توباکتین

این مایه تلقیح حاوی تعدادی باکتریهای مفید و بسیار کارا در افزایش تولید محصولات کشاورزی‌می باشد . این باکتریها می توانند بعنوان یک کود بیولوژیک ازتی عمل کرده و علاوه‌برتأمین‌بخش قابل توجهی از نیاز گیاهان‌زراعی و باغی‌به ازت باتولیدهورمونها و مواد محرک رشد گیاهی و جلوگیری از رشد قارچهای بیماریزا خاکزی موجب بهبود جوانه زنی بذرها،رشدوتوسعه‌سیستم ریشه و ماندگاری بهتر گیاهان زراعی و باغی در خاک شوند. این‌مایه تلقیح باکاهش‌مصرف کودهای ازتی‌درخاک‌موجبات کاهش آلودگی گیاهان و آبهای زیرزمینی نیز می شود .این مایه تلقیح توانسته است در تحت شرایط مناسب باعث افزایش ۲۰درصدی عملکرد درگیاهان مختلف گردد .

گیاهان مورد استفاده : گندم ،جو ، ذرت ، چغندرقند ، هویج ،کلم ، سیب زمینی ذرت علوفه ای و پنبه‌و گیاهان علوفه ای .

نحوه مصرف : این مایه تلقیح هم میتواند به همراه بذرها و هم بصورت مستقیم همراه با مواد آلی پوسیده در خاک مصرف گردد .

مقدارمصرف : به ازای هر ۴۰ کیلوگرم بذر یک بسته یک کیلوگرمی، برای مصرف خاکی به ازای‌هر ۱۰۰ کیلوگرم کودحیوانی پوسیده یک بسته یک کیلوگرمی .
در موردمصرف خاکی بایدتوجه داشت که‌بعداز مخلوط کردن مایه تلقیح باکودحیوانی بایددور از نور مستقیم خورشید بوده وباوسائل مناسب فورأزیرخاک ودر عمق خاک قرار گیرد .

نحوه مصرف مایه تلقیح های از توباکتین

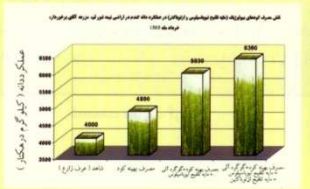
مصرف بذری : ابتدا بذرها را بامحلول۵ درصدی سریش یاصمغ عربی ودرصورت دردسترس نبودن مواد فوق می‌توان از محلول۲۰ درصدی شکراستفاده نمود، بطور یکنواخت خیس کرده وسطح بذرهاکاملاً حالت‌چسبناک به خود بگیرد . سپس مواددداخل بسته ها را به آرامی به دوراز نور خورشید روی بذرها ریخته و آنها را در درون یک محفظه‌چرخان‌یا نایلونهای خیاری تمیز کاملاً مخلوط می کنیم ،بطوریکه سطح بذر کاملاً به مایه تلقیح آغشته شود . سپس بذرها را برای‌مدت ۱۰ دقیقه روی یک سطح تمیز و وزیرسایه‌خشک‌نمائید . حال‌بذرهاآماده‌کشت‌می باشندوبهتراست سریعاًکاشته‌شوند .
مصرف به همراه نشاء : ابتدا محتویات داخل بسته را با حداقل آب ممکن (۲ لیتر آب)مخلوط کرده‌تابه‌شکل‌محلولی‌آبکی یادوغاب مانندد‌رآید، سپس‌نشاءها را به مدت ۱۰ تا ۳۰ دقیقه درون محلول‌قرارداده و قبل از خشک شدن آنها را بکارید .
مصرف مستقیم خاکی : **راه اول :** محتویات بسته را می توان بعداز مخلوط کردن با آب (دوغابی شدن)مستقیماً در درون چاله ای درکنارگیاه ریخته وروی‌آن را باخاک به همراه کود حیوانی بپوشانید .

راه دوم : محتویات‌هربسته‌رامی‌توان‌با۱۰۰کیلوگرم کودحیوانی‌پوسیده‌خوب‌مخلوط کرده‌وآن‌رامستقیماً درون خاک مصرف کنید فقط توجه‌داشته باشید که‌مخلوط‌حاضر باید حتماً بوسیله شخم یاوسایل دیگر در حداقل زمان ممکن درزیر خاک قرار گیرد .

توصیه های مهم در رابطه با مصرف کودهای بیولوژیک از جمله از توباکتین

- بسته های مایه تلقیح را زیرسایه و به دوراز نور مستقیم خورشید وحتی‌الامکان‌در دمای ٤ تا ۱۰ درجه نگهداری شوند .
- درهنگام مخلوط‌کردن بابذر از یکنواختی مایه تلقیح درروی‌سطح بذر و پوشانده شدن کامل سطح بذر مطمئن شوید .
- بذرهای تلقیح شده را حتماً درزیر سایه و بدور از نور خورشید خشک کنید .
- بذرهای خشک و نشاءهای تلقیح شده را در کمترین زمان ممکن بکارید .
- دررابطه با مصرف مستقیم خاکی اززیر خاک کردن مایه تلقیح مطمئن شوید .
- مایه تلقیح را با حشرکشها ،قارچ کشها ویاکودهای شیمیایی مخلوط نکنید .
- اگربذور به سموم نباتی آغشته شده ،پس از گذشت ۲٤ ساعت‌یا بیشتر با مایه تلقیح مخلوط گردد .

شاهد تیمارشده باازتوباکتین



مایه تلقیح‌از توباکتین

سلامتی
توسعه
باندگی

شرکت فراوری شیمیایی زنجان
تولید کننده کودهای میکرو و ماکرو
وبیولوژیک

هوا N_2

- فرونشست ترکیبات نیتروژن هوا به خاک با بارش به شکل:
- NH_4^+
  - کارخانه های تولید کننده و مصرف کننده آمونیاک
  - تصاعد از خاک
- NO_3^-
  - ۲۰-۱۰ درصد: رعد و برق و تخلیه الکتریکی
  - ۹۰-۸۰ درصد گاز صنایع و نیترات زدایی از خاک
- NOx
- N-آلی

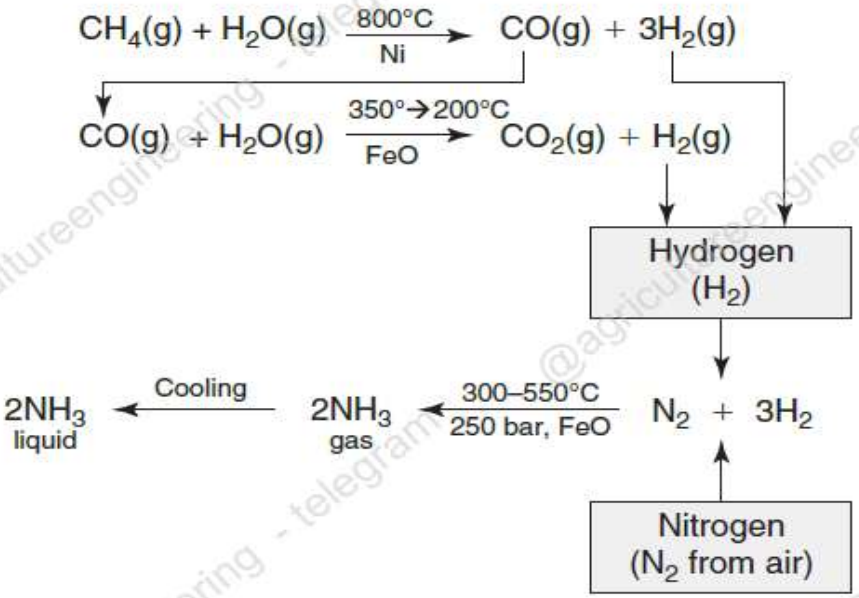
گازهای گلخانه ای

- اکسیدهای نیتروژن (NOx)
- NO ۳۰۰ برابر موثرتر از CO2 در جذب گرمای هوا
- نقش کم در گرم شدن گلخانه ای
- واکنش با ازون در استرانوسفر... کاهش اوزون .... افزایش نفوذ اشعه ماورای بنفش

- باران اسیدی:
- $NH_3 + H_2O = NH_4^+ + OH^-$
- حدود ۷۰ درصد ورود NH3 جهانی ناشی از:
- مصرف کود
- ذخیره و مصرف پسماندهای حیوانی
- سوخت جنگل

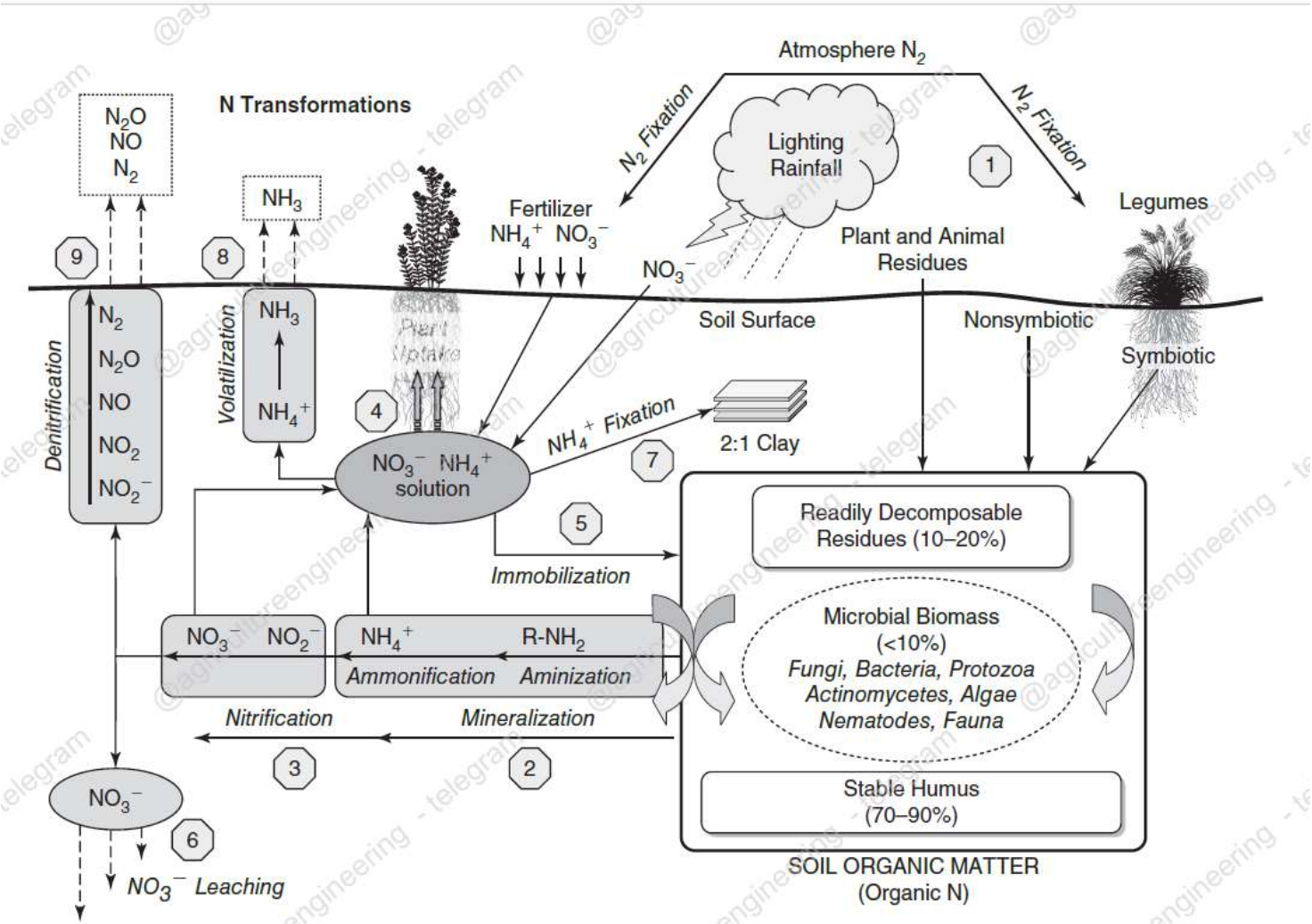
تثبیت N2 توسط کارخانجات صنعتی

- مهمترین منبع گیاه
- تثبیت بر اساس واکنش Haber-Bosch
- کاربرد NH3 بطور مستقیم در تولید کود
- اهمیت فرآیند تولید NH3 در امنیت غذایی جهان



- مشکل: آلودگی محیط زیست

چرخه N2


N Transformations
Atmosphere N_2
N_2 Fixation
N_2 Fixation
Lighting
Rainfall
1
Fertilizer
NH_4^+ NO_3^-
NO_3^-
Plant and Animal
Residues
Legumes
Soil Surface
Nonsymbiotic
Symbiotic
N_2O
NO
N_2
NH_3
9
8
Denitrification
N_2
N_2O
NO
NO_2
NO_2^-
Volatilization
NH_3
NH_4^+
Plant Uptake
4
NO_3^- NH_4^+
solution
NH_4^+ Fixation
7
2:1 Clay
5
Immobilization
Readily Decomposable
Residues (10–20%)
Microbial Biomass
(<10%)
Fungi, Bacteria, Protozoa
Actinomycetes, Algae
Nematodes, Fauna
NO_3^- NO_2^-
NH_4^+ R-NH_2
Ammonification Aminization
Nitrification
Mineralization
3
2
Stable Humus
(70–90%)
SOIL ORGANIC MATTER
(Organic N)
NO_3^-
6
NO_3^- Leaching

اشکال نیتروژن خاک

- مقدار کل نیتروژن
  - خاکهای معدنی (0.02-0.5%)
  - خاکهای آلی (>2.5%)

  - شکل معدنی
  - شکل آلی (۹۵٪ در خاک سطحی)

مثال: محاسبه مقدار کل نیتروژن در خاک (تا عمق ۱۵ سانتیمتری) حاوی 0.4% نیتروژن آلی

$$2 \times 10^6 \text{ lb soil/afs} \times 0.4\% \text{ N} = 8{,}000 \text{ lb N/afs}$$

- **سوال:** چرا با وجود N بمراتب بالاتر از نیاز گیاه کمبود آن در خاک است؟

نیتروژن آلی

- نقش بخش آلی در حاصل خیزی خاک:

عرضه مقدار قابل توجهی نیتروژن برای رشد و نمو گیاه

به منزله انبار نیتروژن گیاه

نیتروژن آلی خاک مستقیماً مورد استفاده گیاه قرار نمی گیرد

معدنی شدن به وسیله ریزجانداران خاک....تبدیل به شکل قابل جذب گیاه

اشکال نیتروژن

- نیتروژن عنصری یا مولکولی (N_2)
- نیتروژن معدنی
  - ترکیبات گازی
  - ترکیبات محلول
- نیتروژن آلی

نیتروژن عنصری یا مولکولی (N_2)

- نیتروژن عنصری N_2 به صورت گاز و جزئی از هوای خاک
- با نفوذ آب به خاک در رطوبت خاک حل می شود
- از لحاظ تغذیه و حاصلخیزی اهمیت زیادی ندارد:

  محکم بودن پیوندهای سه گانه نیتروژن عنصری
- نیتروژن عنصری در دسترس ریزجانداران تثبیت کننده نیتروژن
- در خاک خشک میتواند به سطح ذرات خاک متصل شود
- به عنوان منبع N برای سایر اشکال نیتروژن

نیتروژن معدنی: ترکیبات گازی

- اکسید نیترو (N_2O)
- اکسید نیتریک (NO)
- دی اکسید نیتروژن(NO_2)
- آمونیاک(NH_3)

- اهمیت کم درتغذیه گیاه
- مقدار ناچیز
- مشکل اندازه گیری این ترکیبات
- غالباً به شکل احیا
- خروج از خاک

نیتروژن معدنی: **ترکیبات محلول**

- اهمیت زیاد از لحاظ تغذیه گیاه

- آمونیوم:
  - به شکل یونی در محلول خاک
  - به شکل تبادلی
  - به شکل تثبیت شده
- نیتریت
  - معمولاً بسیار ناپایدار
  - مقدار کم در خاک
- نیترات
  - اصلی ترین فرم قابل جذب گیاه

عوامل مؤثر بر مقدار نیتروژن معدنی

- **اقلیم:** رطوبت و دما

اثر رطوبت

آبشویی نیترات خاک در اقلیم مرطوب در فصل زمستان ..کاهش NO_3 خاک

تاثیر بارندگی زیاد..... ایجاد شرایط احیاء در خاک...اثر بر شکل N و معدنی شدن آن

اثر دما

فعالیت ریزجانداران.... تجزیه نتیروژن آلی و تبدیل به شکل معدنی

افزایش دما.. سبب افزایش صعود موئینگی و بازگشت N شسته شده به خاک سطحی

پوشش گیاهی و کشت و کار

- کاهش نیتروژن معدنی خاک در نواحی معتدل با پوشش گیاهی خوب
- با افزایش تعداد و مقدار ریشه.. افزایش ظرفیت جذب نیتروژن گیاه ...کاهش نیتروژن محلول خاک
- تجزیه ترکیبات آلی در پایان دوره رشد گیاه.. افزایش نیتروژن معدنی
- پوسیدگی ریشه و ساقه .... افزایش N معدنی خاک

تثبیت نیتروژن توسط ذرات خاک

- تثبیت آمونیوم توسط ذرات خاک:
  - به شکل تبادلی
  - به شکل تثبیت شده در کانی هایی چون میکا، ایلایت و ورمیکولایت
  - افزایش مقدار رس به ویژه ورمیکولایت و ایلایت در خاک.... افزایش آمونیوم غیر قابل تبادل

نیتروژن آلی

amino acids	30–45%
bound NH_4^+	20–35%
acid insoluble	20–35%
amino sugars	5–10%
unidentified	10–20%

- **هیومیک اسید:** غیرقابل حل در اسید
- **فولویک اسید:** قابل حل در اسید و باز
- **هومین:**غیرقابل حل در اسید و باز

پروتئین ها: مقاومت در مقابل تجزیه میکروبی

اتصال پروتئین و اسیدهای آمینه با ترکیبات مقاوم:

نظیر لیگنین و تانن

رس

- **تثبیت توسط رسها:**
  - جذب ترکیبات نیتروژن دار نظیر پروتئین ها توسط رس ها
  - جذب آنزیم های تجزیه کننده با رسها

- عمده N آلی سهل الوصول (قابل معدنی شدن)طی رشد گیاه:
  - آمونیوم متل به ماده آلی
  - اسیدهای آمینه

تغییر شکل نیتروژن در خاک

- عوامل موثر بر مقدار نیتروژن قابل استفاده:
  - مقدار NH_4^+ و NO_3^-
  - معدنی شدن نیتروژن آلی خاک (هوموس)
  - کود شیمیایی
  - معدنی شدن نیتروژن کود آلی

- تبدیل نیتروژن به شکل آلی: "ساکن یا آلی شدن" (Immobilization)
- رها شدن نیتروژن به شکل معدنی: "معدنی شدن" (Mineralization)

معدنی شدن نیتروژن: تبدیل N آلی به NH_4^+

- دو مرحله:

مرحله اول: **آمین سازی (Ammonization):**

تبدیل پروتئین به آمینواسید، آمین و اوره (مرحله اول)

تجزیه چند مرحله ای مواد آلی توسط ریزجاندارن دگرپرور

باکتریها، اکتیومسیت ها در شرایط خنثی و قلیایی

قارچها در شرایط اسیدی

منجر به تشکیل آمین ها و اسیدهای آمینه کوچک

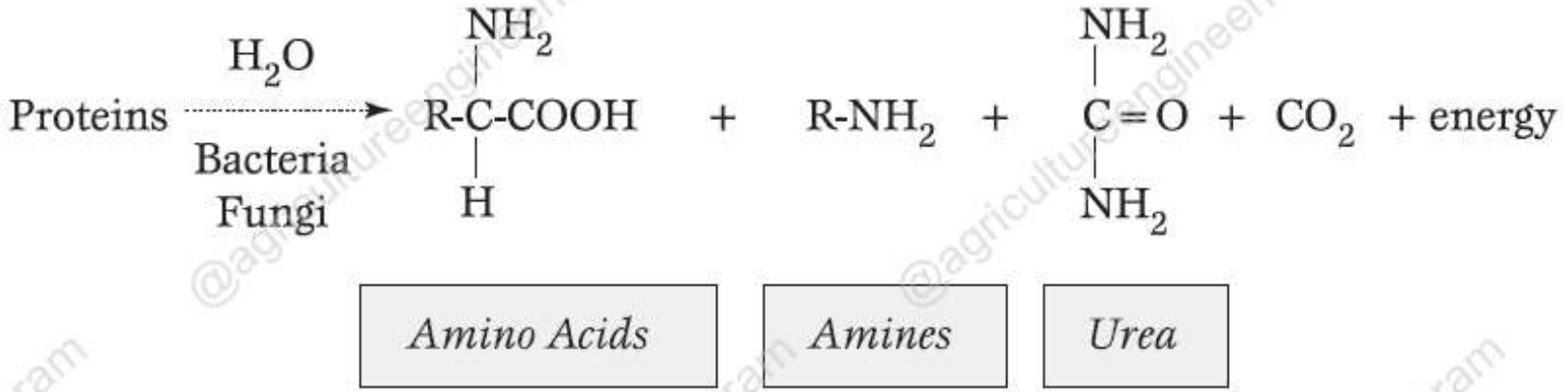
آمونیاک سازی (Ammonification)

- مصرف امین ها و اسیدهای آمینه آزاد شده و آزاد سازی آمونیاک

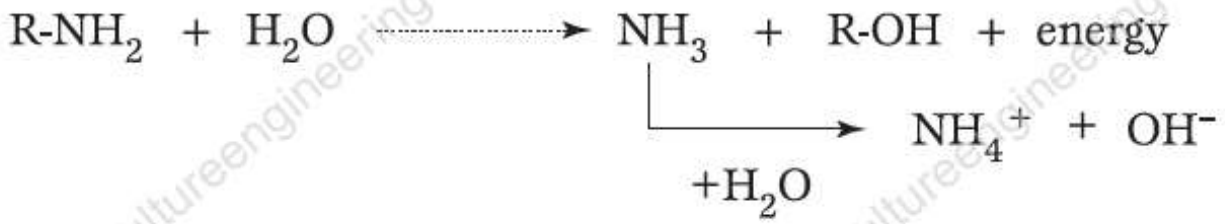
- توسط ریزجاندارن هتروتروف هوازی و غیر هوازی:
  - باکتریها
  - قارچها
  - اکتینومایستها

معدنی شدن نیتروژن: تبدیل N آلی به NH_4^+

Step 1. *Aminization*



Step 2. *Ammonification*



سرنوشت آمونیاک آزاد شده

- جذب توسط گیاه
- مصرف توسط ریزجاندارن دگرپرور (محبوس شدن)
- تثبیت توسط برخی از رسهای خاک (غیر قابل جذب شدن)
- تصاعد گازی NH_3 از خاک
- فرایند نیترات سازی (Nitrification): تبدیل به نیتریت یا نیترات

عوامل مؤثر بر معدنی شدن و محبوس شدن

- رطوبت خاک:
  - حداکثر در ٪۷۰-۵۰ آب منافذ
  - کاهش در رطوبت نزدیک اشباع
- دما: بیشینه دمای معدنی شدنُ ۲۵ تا ۳۵ درجه سلسیوس
  - Q10: افزایش دوبرابر معدنی شدن با ۱۰ درجه افزایش دما بین دمای ۵ تا ۳۵ درجه سلسیوس
  - کاهش در دمای ۵۰ درجه سلسیوس
- ماده آلی:
  - حاوی ٪۵ نیتروژنکه ٪۱-۳ آن طی دوره رشد معدنی می شود
  - افزایش ماده آلی: افزایش مقدار نیتروژن معدنی .. افزایش مقدار قابل جذب N
- مثال: محاسبه مقدار نیتروژن معدنی شده: خاک حاوی ٪۲ ماده آلی با سرعت معدنی شدن برابر با ٪۲:

$$2\%\,\mathrm{OM} \times (2 \times 10^6\,\mathrm{lb\ soil/afs}) \times (5\%\,\mathrm{N}) \times (2\%\,\mathrm{N\ mineralized}) = 40\,\mathrm{lb\ N/a}$$

محبوس شدن (Immoblization)

- تبدیل نیتروژن معدنی به نیتروژن آلی
- در صورت کمبود NH_4^+ و NO_3^- در بقایای آلی
- نیاز میکروبها به نسبت کربن به نیتروژن: حدود ۸ به ۱
- رقابت میکروبها و گیاه برای نیتروژن معدنی: احتمال کمبود N گیاه
- لزوم کوددهی N

تاثیر نسبت C/N بر معدنی شدن و محبوس شدن

- نسبت %C به %N: مهمترین عامل مؤثر بر معدنی شدن نیتروژن خاک
- مقدار نیتروژن و کربن ماده آلی پایدار خاک (هوموس):
  - حدود ۵٪ و ۵۸-۵۰٪ نسبت C/N = 10-12

- **اگر نسبت C/Nبیشتر از 20 باشد فرآیند آلی شدن**
- **اگر نسبت C/N کمتر از 20 باشد فرآیند معدنی شدن**

- N>2% : معدنی شدن در شرایط هوازی
- تغییرات C/Nبیشتر تابع مقدار نیتروژن مواد آلی: تغییر کم درصد کربن مواد آلی

سوال: روش تشخیص غالب بودن معدنی شدن یا محبوس شدن؟

- خاک با مقدار مشخص N قابل جذب (مثلا N 0.294 mg):
- مقدار جذب N کمتر از 0.294 mg: محبوس شدن
- مقدار جذب N بیشتر از 0.294 mg: معدنی شدن

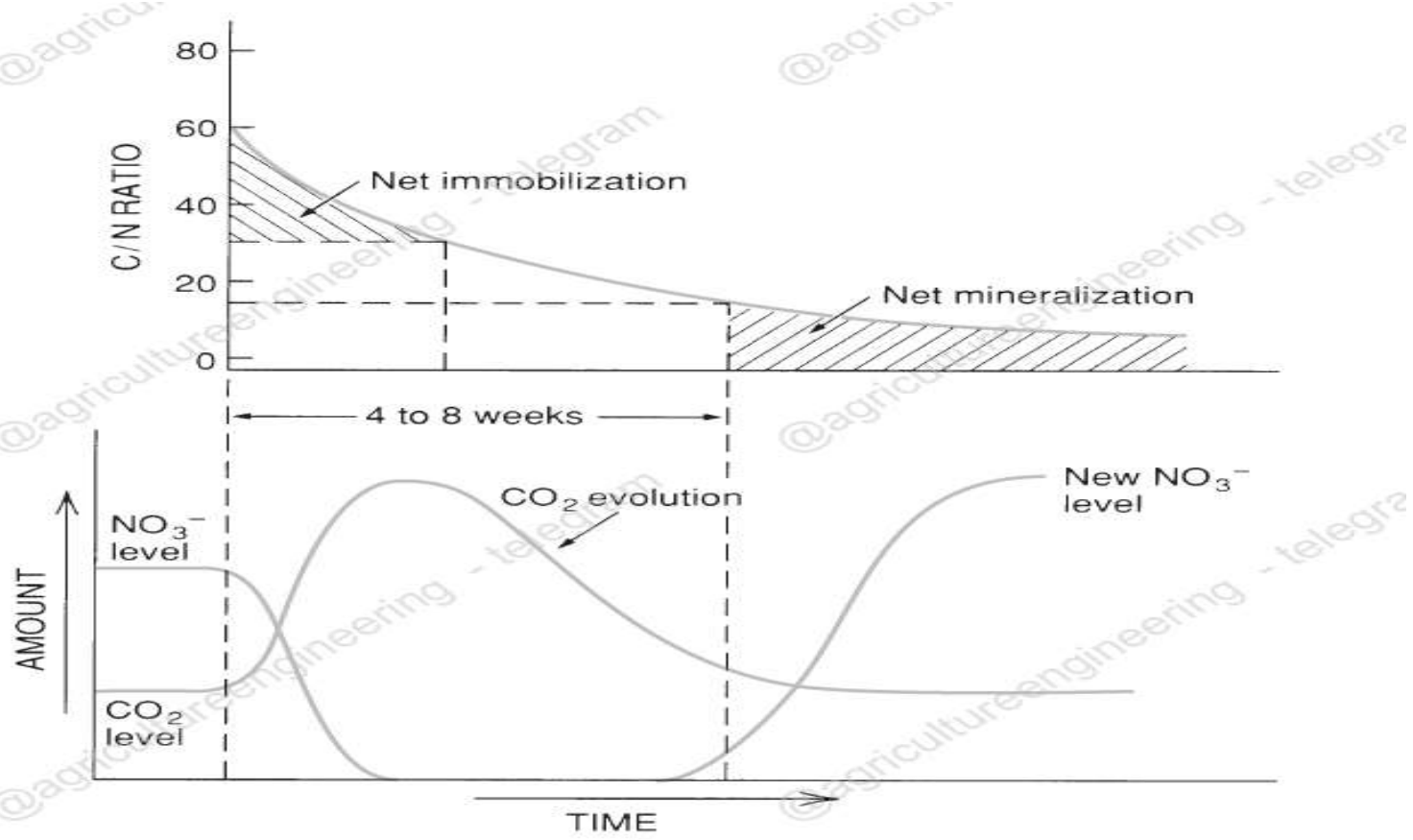
Plant Residue*	C:N Ratio	N Uptake (mg)
Check soil	8:1	0.294
Tomato stems	45:1	0.051
Corn roots	48:1	0.007
Corn stalks	33:1	0.038
Corn leaves	32:1	0.020
Tomato roots	27:1	0.029
Collard roots	20:1	0.311
Bean stems	17:1	0.823
Tomato leaves	16:1	0.835
Bean stems	12:1	1.209
Collard stems	11:1	2.254
Collard leaves	10:1	1.781

نسبت کربن به نیتروژن در برخی مواد و ترکیبات آلی

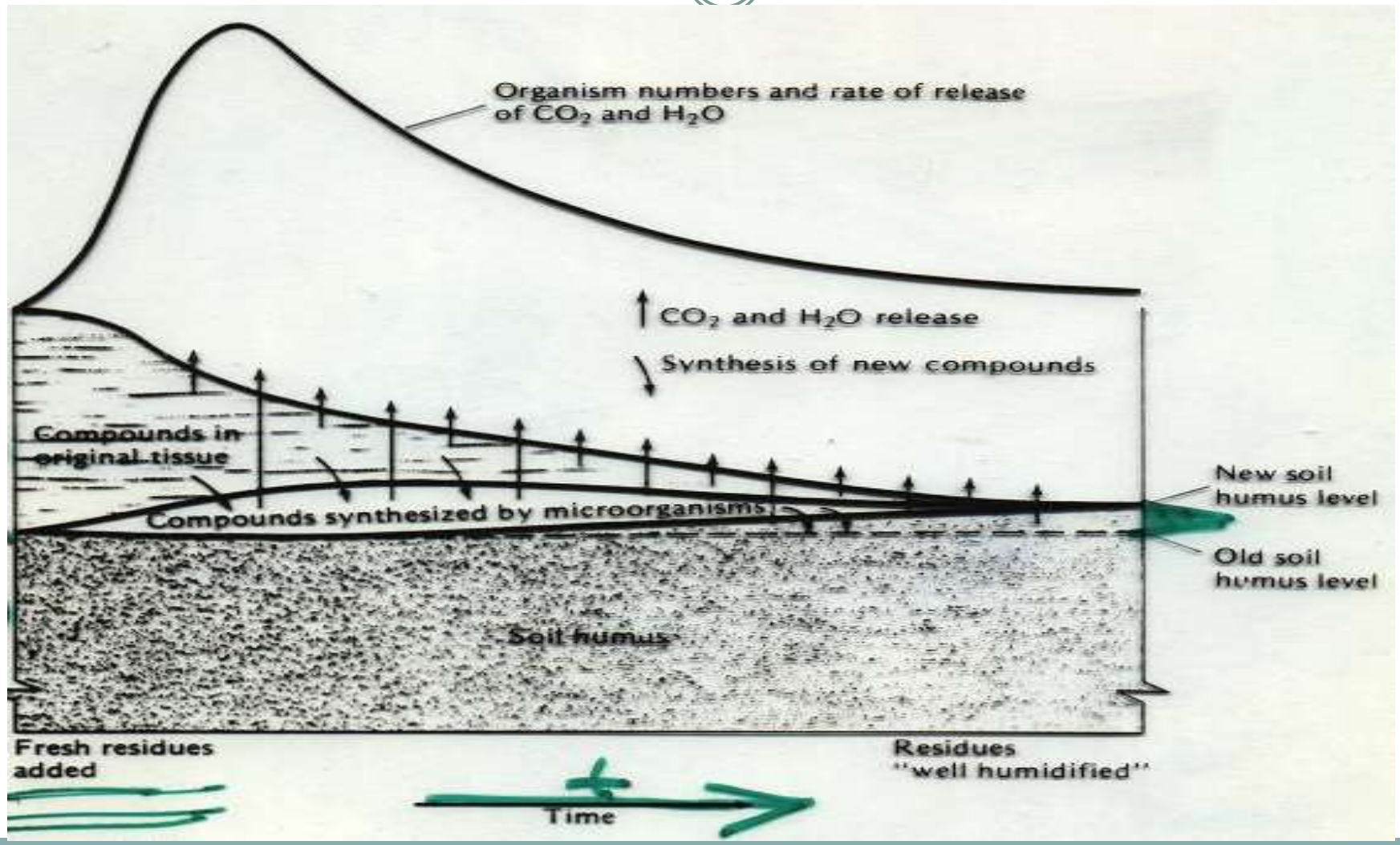
ماده آلی	C/N	ماده آلی	C/N
بدن ریزجانداران	۸:۱	برگ کاج	۶۵:۱
ماده آلی خاک	۱۲:۱	چاودار سبز	۳۶:۱
شبدر شیرین	۱۲:۱	سرو	۲۸۶:۱
بقایای شبدر	۲۳:۱	بقایای ذغال سنگ	۱۲۴:۱
کود دامی تازه	۲۰:۱	خاک اره	۴۰۰:۱
بقایای ذرت و سورگوم	۶۰:۱	صنوبر	۱۰۰۰:۱
کاه غلات	۸۰:۱	نفت خام	۳۸۸:۱

فاکتور نیتروژن (Nitrogen factor)

- تعداد واحدهای نیتروژن معدنی (به صورت کود) که باید به ۱۰۰ واحد ماده آلی با نسبت C/N مشخص اضافه گردد تا از رقابت ریزجانداران با گیاه برای جذب نیتروژن جلوگیری شود.



تاثیر کاربرد ماده آلی بر تغییرات هوموس خاک



دوره رکود نیترات (Nitrate Depression Period)

دوره زمانی کاهش غلظت نیترات خاک بستگی دارد به:

- نسبت C/N ماده آلی
- مقدار ماده آلی اضافه شده
- درجه اختلاط با خاک سطحی
- مقدار نیتروژن معدنی خاک
- مقاومت ماده آلی در برابر تجزیه میکروبی (مقدار لیگنین، چربیها و واکس)
- دمای خاک
- رطوبت خاک

کاهش دوره رکود نیترات

- راه اول: احتیاج به زمان

ماده آلی را کاملاً زیر خاک قرار داده به طوری که نیتروژن آلی محبوس شده آزاد شود

  - برای کاه زمانی حدود ۴ تا ۸ هفته طول می کشد
  - مقدار کربن به علت تصاعد CO_2 کاهش ولی نیتروژن خاک زیاد می شود
  - کاهش نسبت C/N

- راه دوم: محاسبه N فاکتور بوده و کوددهی N

تخمین فاکتور نیتروژن: پتانسیل محبوس شدن N

Microbial activity will utilize ≈35% of the residue C (increasing microbial biomass), while the remaining ≈65% is respired as CO_2 (Fig. 4-27). Thus, the microbes will use 420 lb of residue C.

$$1{,}200 \text{ lbs } C_{residue} \times 35\% \text{ C} = 420 \text{ lb C used by microbes } (C_{microbe})$$

The increasing microbe population will require N governed by microbe C:N = 8:1 (Table 4-12):

$$\frac{420 \text{ lb } C_{microbe}}{x \text{ lb } N_{microbe}} = \frac{8}{1}$$

$$= 52.5 \text{ lb } N_{microbe}/a$$

Thus, the microbes will need 52.5 lb N/a to degrade the 1,200 lb C/a in the residue. As microbes digest the residue, they access residue N during decomposition determined by:

$$\frac{1,200 \text{ lb } C_{residue}}{x \text{ lb } N_{residue}} = \frac{60}{1}$$

$$= 20 \text{ lb } N_{residue}/a$$

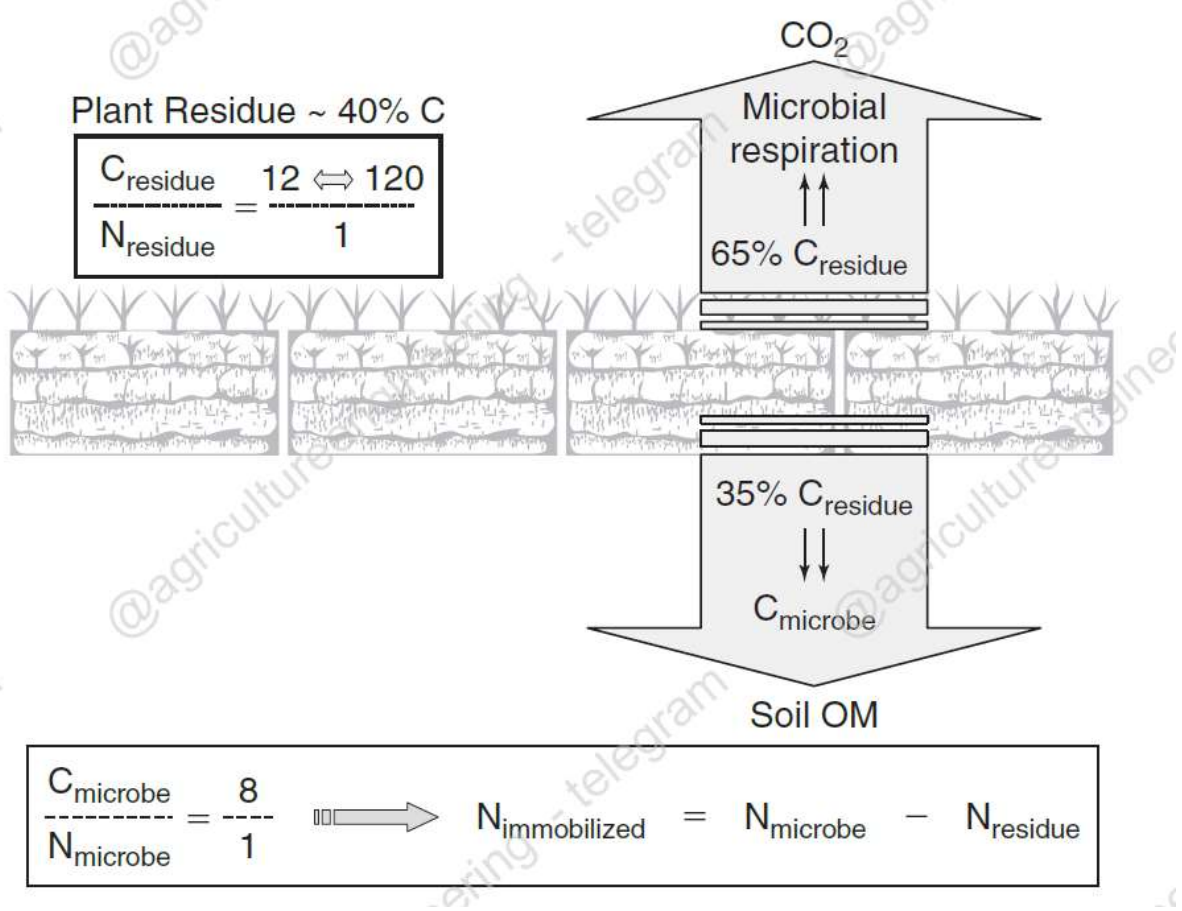
If the residue N content were known (assume 0.67%N), the lb N/a would be determined by:

$$3{,}000 \text{ lb residue/a} \times 0.67\% \, N_{residue} = 20 \text{ lb } N_{residue}/a$$

Thus, the quantity of N immobilized is:

52.5 lb N/a needed by microbes − 20 lb N/a in residue = 32.5 lb N/a immobilized

سرنوشت کربن بقایای افزوده شده به خاک



تاثیر مقدار ماده آلی بر نیتروژن قابل جذب گیاه

- کاهش ماده آلی ..... کاهش معدنی شدن N آلی .. کاهش N قابل جذب گیاه
- مثال: مقدار ماده آلی خاک ۵۰ سال قبل: برابر با ۵٪ (کافی برای گیاه با عملکرد پایین)
- کاهش ۳ درصدی سالیانه مقدار ماده آلی خاک با کشت و کار

$$5\%\ \text{OM} \times (2 \times 10^6\ \text{lb soil/afs}) \times 3\%\ \text{OM loss/yr} \times 5\%\ \text{N in OM}$$
$$= 150\ \text{lb N/a/yr mineralized}$$

Notice that the 150 lb N/a would meet or exceed the quantity of N required by most crops. Now assume that after 50 years of cultivation, the OM declined to 2% or one-half the original level (Fig. 4-28). Assume that 2% of the OM oxidizes per year; thus, the quantity of N mineralized is:

$$2\%\ \text{OM} \times (2 \times 10^6\ \text{lb soil/afs}) \times 2\%\ \text{OM loss/yr} \times 5\%\ \text{N in OM}$$
$$= 40\ \text{lb N/a/yr mineralized}$$

تخمین تولید مقدار ماده آلی خاک

- سوال:

اگر کشاورز ۸۰۰۰ پوند بقایای گیاهی در سال به خاک اضافه کند، چند سال طول می کشد ماده آلی به 2% برسد؟

فرض: مقدار ماده آلی خاک: 1.5%

- سرعت تجزیه: 1%
- C/N=80:1
- C=40%
- ۸۰ درصد Nبقایا به شکل N آلی تبدیل میشود.

$$OM_{lost} \rightarrow 1.5\%\ OM \times (2 \times 10^6\ lb\ soil/afs) \times 1\%\ loss\ rate$$
$$= 300\ lb\ OM_{lost}/afs/yr$$

Step 2. *Estimate annual soil OM produced.*

$$OM_{made} \rightarrow 8{,}000\ lb\ residue/a \times 40\%\ C = 3{,}200\ lb\ C_{residue}$$
$$\frac{3{,}200\ lb\ C_{residue}}{x\ lb\ N_{residue}} = \frac{80}{1}$$
$$= 40\ lb\ N_{residue}$$

About 80% of residue N goes into forming N in OM, thus:

$$40\ lb\ N_{residue} \times 0.8 = 32\ lb\ N_{OM} \quad (\text{this is N in soil OM from residue N})$$

OM has a 10:1 C:N ratio (Table 4-12), so:

$$\frac{10\ lb\ C_{OM}}{1\ lb\ N_{OM}} = \frac{x}{32}$$
$$= 320\ lb\ C_{OM}$$

Since there is about 50% C in OM, then:

$$\frac{320\ lb\ C_{OM}}{0.5\ lb\ C/lb\ OM} = 640\ lb\ OM_{made}/afs/yr$$

Therefore,

$$640\ lb\ OM_{made} - 300\ lb\ OM_{lost} = 340\ lb\ OM\ net\ gain/afs/yr$$

want to increase soil OM from 1.5% OM → 2% OM = 0.5% *OM gain:*

$$0.5\%\ OM\ gain \times (2 \times 10^6\ lb/afs) = 10{,}000\ lb\ OM/afs\ needed$$
$$\frac{10{,}000\ lb\ OM}{340\ lb\ OM\ gain/yr} = 29.4\ years$$

نیترات سازی (Nitrification)

- فرایند بیولوژیکی
- شامل دو مرحله:
  - تبدیل آمونیاک به نیتریت (مرحله اول)
  - تبدیل نیتریت به نیترات (مرحله دوم)
- مرحله اول توسط باکتریهای خودپرور (اتوتروف)
  - به ویژه نیتروزوموناس (Nitrosomonas)
  - نیتروزوکوکوس (Nitrosococcus)
  - نیتروزواسپیرا (Nitrosospira)
  - نیتروزوویبریو (Nitrosovibrio)
- برخی از قارچها و اکتینومایست های دگرپرور:

قارچها:
آسپرژیلوس (Aspergilluss)
پنسیلیوم (Penecillum)

اکتینومایستها:
نوکاردیا (Nocardia)
استپریتوماسیت (Streptomyces)

نیترات سازی

Step 1

$$2NH_4^+ + 3O_2 \xrightarrow{\textit{nitrosomonas}} 2NO_2^- + 2H_2O + 4H^+$$

$(-3) \longrightarrow (+3)$

increasing oxidation of N

Step 2

$$2NO_2^- + O_2 \xrightarrow{\textit{nitrobactor}} 2NO_3^-$$

$(+3) \longrightarrow (+5)$

increasing oxidation of N

Net Reaction

$$NH_4^+ + 2O_2 \longrightarrow NO_3^- + H_2O + 2H^+$$

@agricultureengineering - telegram

واکنش مرحله اول

$$2NH_4 + 3O_2 \xrightarrow{\text{nitrosomonas}} 2NO_2 + 2H_2O + 4H + \text{energy}$$

ویژگی های فرایند:

اسیدزا

انرژی زا

هوازی

مرحله دوم: تبدیل نیتریت به نیترات

- تبدیل نیتریت به نیترات توسط باکتری های نیتروباکتر انجام می شود:

$$2NO_2^- + O_2 \xrightarrow{\text{Nitrobacter}} 2NO_3^- + \text{energy}$$

- نیتروباکتر (Nitrobacter)
  - اتوتروف (منبع کربن: CO2 و منبع انرژی: اکسایش N)
- سایر باکتریهای اتوتروف:

Nitrosolubus . Nitrospira و Nitrosovibrio

- نیتروکوکوس (Nitrococcus) و نیترواسپیرا (Nitrosospira)
- جدیدا: Crenarchaeota (Archaca)
- برخی قارچها و اکتینومایست (اهمیت بسیار کم)

ویژگی های مهم واکنش های نیترات سازی

- نیاز به اکسیژن مولکولی: در خاکهای با تهویه مناسب
- آزاد شدن هیدروژن در واکنش تبدیل آمونیاک به نیتریت
- اسیدی شدن خاک در کاربرد کودها باید در نظر گرفته شود
- بعلت نقش فعالیت ریزجاندارن، سرعت واکنش تابع شرایط محیطی (حرارت و رطوبت)

- در خاکهای با زهکشی خوب و در pH های حدود ۶ تا ۸:
  - میزان اکسیداسیون نیتریت به نیترات معمولاً بیشتر از آمونیاک به نیتریت
  - تشکیل نیتریت برابر یا بیشتر از آمونیاک ا
  - در نتیجه تجمع نیترات در خاک و جذب آن توسط گیاه بیشتر است.

عوامل محیطی موثر بر فرایند نیتریفیکاسیون

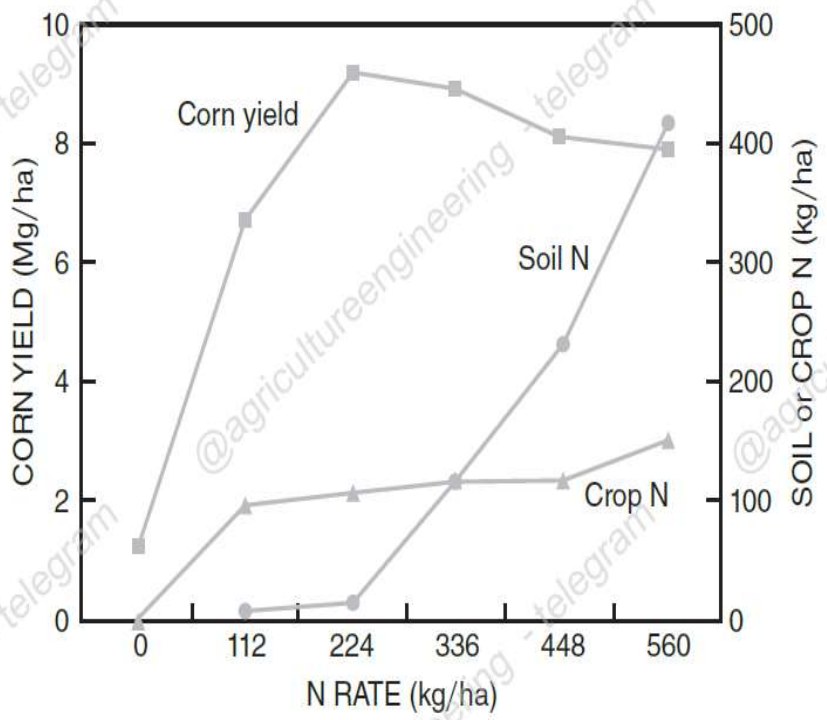
همانند شرایط محیطی مناسب رشد گیاه

- فراهم بودن یون آمونیوم
- شرایط رطوبت و حرارت مناسب (برای نیترات سازی و آمونیاک سازی مشابه است)
  - نکته: C/N بالا .. مصرف آمونیاک آزاد شده از تجزیه مواد آلی توسط ریزجانداران . کاهش نیترات
- جمعیت مناسب ریزجانداران نیترات ساز
- اسیدیته مناسب
  - در محدوده وسیع پ-هاش
  - حساس به شرایط اسیدی (پ-هاش ۴ تا ۵)
  - حد مطلوب برای آن ۸
- دما
  - حرارت مطلوب بین ۳۰ تا ۳۵ درجه سانتیگراد
  - توقف نیترات سازی در دمای بیش از ۶۰ درجه سانتیگراد
  - توقف نیترات سازی شرایط انجماد
  - کاهش تبدیل اوره و منابع آمونیوم به نیترات در زمستان و پاییز با دمای هوای کمتر از ۴/۴ درجه سلسیوس و دمای خاک کمتر از ۱۰ درجه سلسیوس

عوامل محیطی موثر بر فرایند نیتریفیکاسیون

- تهویه
  - نقش عملیات شخم (اگر لطمه زدن به ساختمان نگردد)
  - هوازی اجباری
  - نقش ماده آلی
- کاتیون های بازی
  - تشدید نیترات سازی با عناصری نظیر کلسیم و فسفر
  - کاهش نیترات سازی در خاکهای معدنی و در شرایط اسیدی به دلیل:
    - حساس بودن ریزجانداران موثر در این فرایند به pH های اسیدی
- رطوبت:
  - کاهش سرعت نیترات سازی در رطوبت کم و در رطوبت زیاد
  - رطوبت مناسب نیترات سازی: حدود ظرفیت مزرعه

آبشویی نیترات



عوامل موثر:

- مقدار، زمان، منبع و روش کوددهی
- تراکم کشت و مقدار جذب توسط گیاه
- شرایط نفوذپذیری آب در خاک
- مقدار، الگو و زمان بارش و آبیاری

روشهای مدیریت:

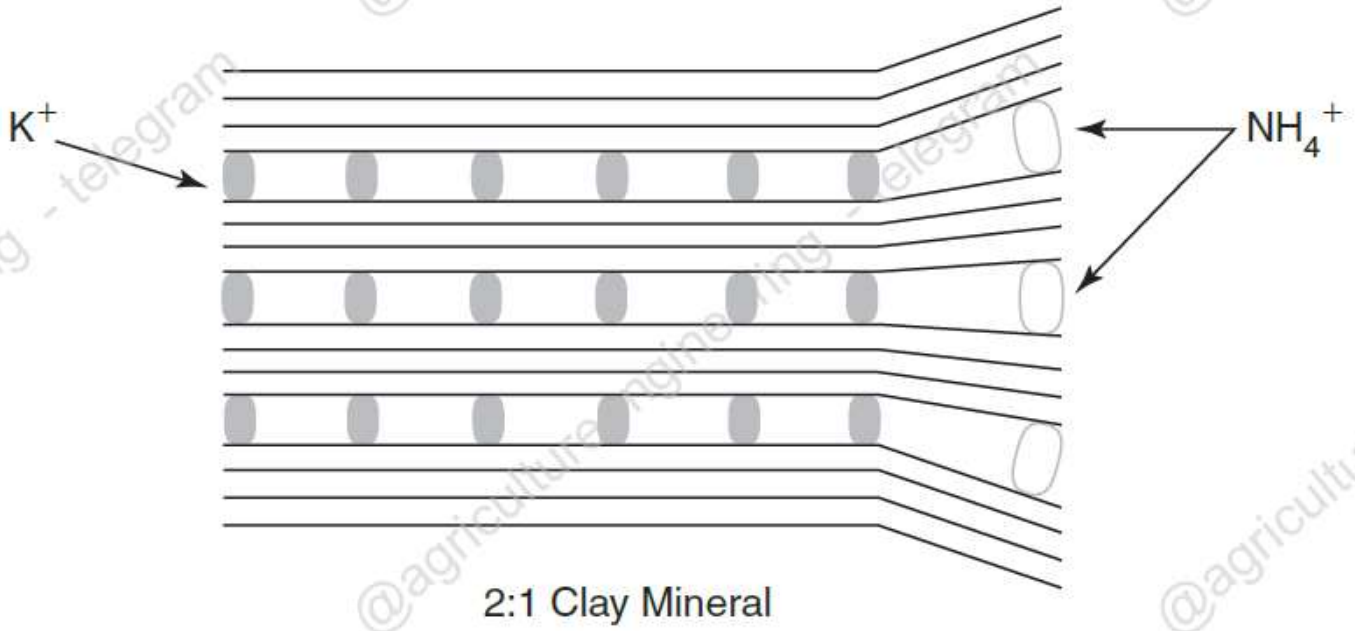
- همزمانی کوددهی با زمان جذب
- افزایش عملکرد گیاه (مثلا کوددهی فسفر)
- کاهش با تناوب لگوم ها (۳۰-۱۰٪) و گیاهان پوششی (۸۰-۲۰٪)

تثبیت NH_4^+

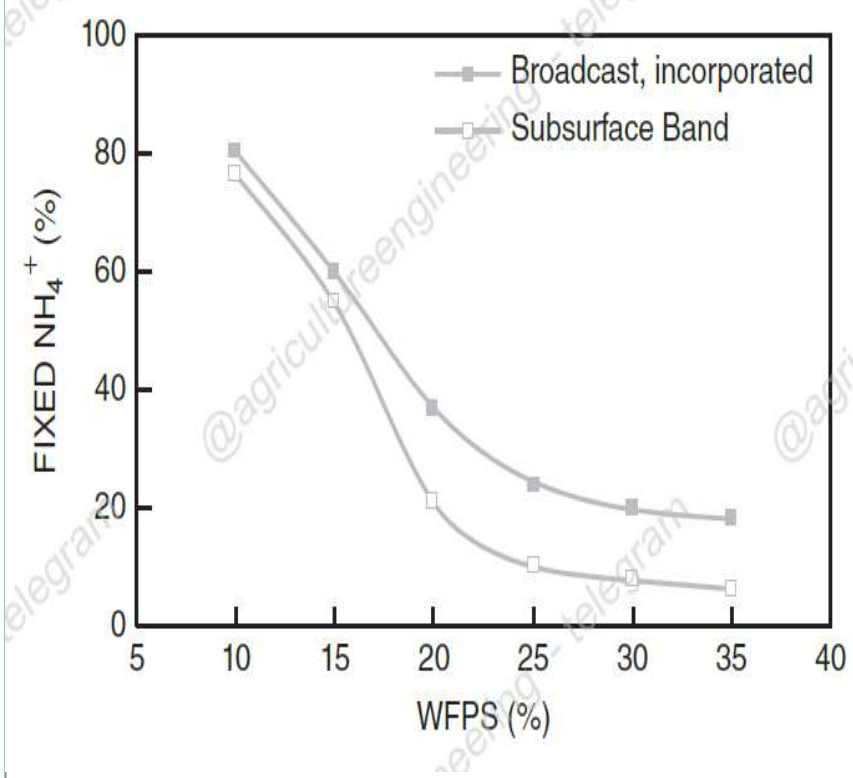
بین لایه های رس:

ورمیکولایت و میکا

رس درشت (0.2-2 mm) و سیلت ریز (2-5 mm)



تثبیت NH_4^+: عوامل موثر



خشکی

- افزایش تثبیت در رس میکا باخشک شدن خاک

رطوبت

- افزایش تبدیل به نیترات

روش کوددهی

- افزایش در روش پخش سطحی بدلیل تماس با ذرات

وجود Kتثبیت شده بین لایه ها

- تاثیر کوددهی K قبل از کوددهی آمونیوم

خشک و تر و ذوب و انجماد

- پایداری آمونیوم اخیرا تثبیت شده)

کاتیون رقیب

- جایگزینی با کاتیون های انبساط دهنده بین لایه ها (Ca, Mg, Na, H)
- غیرقابل جایگزینی با K

راه های خروج گازی نیتروژن خاک

- نیترات زدائی (Denitrification)
- تصاعد آمونیاک (Volatilization)

Form of N Lost	Source of N	General Reaction
N_2 and N_2O	Denitrification of NO_3^-	$NO_3^- \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO \rightarrow N_2O\uparrow \rightarrow N_2\uparrow$
	Nitrification of NH_4^+	$NH_4^+ \rightarrow NH_2OH \rightarrow H_2N_2O_2 \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO_3^-$ $\downarrow$ N_2O
	Reactions of NO_2^- with:	
	NH_4^+	$NO_2^- + NH_4^+ \rightarrow N_2\uparrow + 2H_2O$
	Amino acids	$NO_2^- + NH_2R \rightarrow N_2\uparrow + R\text{-}OH + OH^-$
	Lignin	$NO_2^- + \text{lignin} \rightarrow N_2\uparrow + N_2O\uparrow + CH_3ONO$
	Decomposition of NO_2^-	
	H^+	$3NO_2^- + 2H^+ \rightarrow 2NO + NO_3^- + H_2O$
	Fe^{+2}	$NO_2^- + Fe^{+2} + 2H^+ \rightarrow Fe^{+3} + NO + H_2O$
	Mn^{+2}	$NO_2^- + Mn^{+2} + 2H^+ \rightarrow Mn^{+3} + NO + H_2O$
NH_3	Fertilizers	
	anhydrous NH_3	NH_3 (liquid) $\rightarrow NH_3$ (gas)
	urea	$(NH_2)_2CO + H_2O \rightarrow 2NH_3\uparrow + CO_2$
	NH_4^+ salts	$NH_4^+ + OH^- \rightarrow NH_3\uparrow + H_2O$ (pH > 7)
	Residue decomposition	Organic N $\rightarrow NH_4^+ \rightarrow NH_3\uparrow$

راه های خروج گازی نیتروژن خاک: نیترات زدایی

- احیای زیستی ترکیبات نیتراتی و تبدیل به ترکیبات گازی
  - معمول ترین روش تصاعد نیتروژن
  - در واقع احیای بیوشیمیایی نیترات و نیتریت به ترکیبات گازی نیتروژن است

$$2HNO_3 \xrightarrow[-2H_2O]{4H^+} 2HNO_2 \xrightarrow[-2H_2O]{4H^+} H_2N_2O_5 \xrightarrow{-H_2O} N_2$$

$$H_2N_2O_5 \xrightarrow{-H_2O} N_2O$$

  - عموماً N_2 غالب و N_2O: غالب در شرایط کمتر احیا

ریزجانداران نوع بی هوازی اختیاری (faculative anaerobic)

استفاده از اکسیژن نیترات به عنوان پذیرنده الکترون

$$C_6H_{12}O_6 + 4NO_3^- \xrightarrow{\text{شرایط بی هوازی}} 6CO_2 + 6H_2O + 2N + Energy$$

باکتریهای مسئول نیترات زدائی

الف) دگرپرورها (هتروتروفها)

Micrococcus

Bacillus

Paracoccus

Achromobacter

Pseudomonas

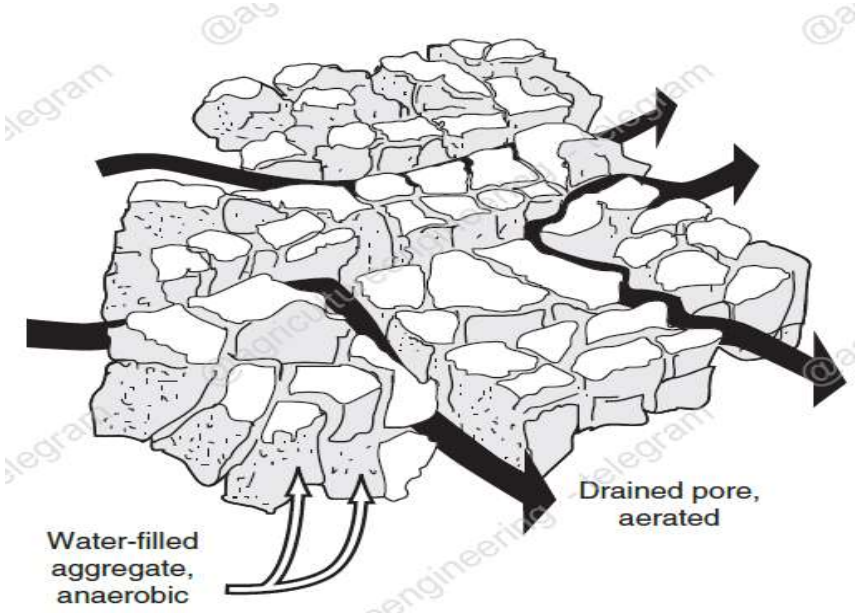
ب) خودپرورها (اتوتروفها) (که جزءشیموتروفها می باشد):

Thiobacillus denitrificans

Thiobacillus thepedros

عوامل موثر در فرایند نیترات سازی

- **سه شرط ضروری نیترات زدایی:**
- **شرایط بی هوازی و غرقاب**
- **وجود نیترات**
- **وجود منبع کربن محلول یا قابل تجزیه در خاک سطحی**



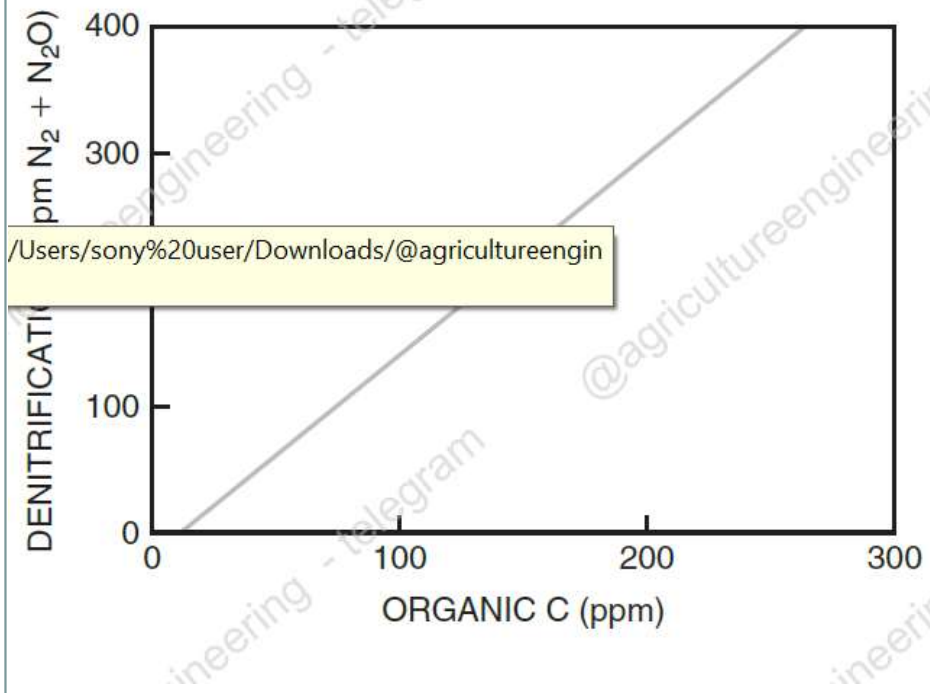
- نیترات زدائی در:
  - نقاط متراکم و فشرده در لایه های تحتانی خاک
  - در نواحی اطراف ریشه (ریزوسفر) :
    - وجود مواد آلی برای تغذیه میکروبها
    - کاهش اکسیژن ناشی از فعالیت تنفسی ریشه و میکروبها

عوامل موثر در فرایند نیترات سازی

- غلظت نیترات در خاک: عدم مصرف کودهای نیترات در خاکهای غرقاب
- شرایط زهکش (تهویه و رطوبت: اکسیژن و رطوبت)
- مقدار کربن محلول و ماده آلی تجزیه پذیر
  - بقایای گیاهی و کود دامی
  - ریزوسفر

$$4(CH_2O) + 4NO_3^- + 4H^+ \rightarrow 4CO_2 + 2N_2O + 6H_2O$$

$$5(CH_2O) + 4NO_3^- + 4H^+ \rightarrow 5CO_2 + 2N_2 + 7H_2O$$



- دما
  - افزایش سریع در دمای ۲ تا ۱۰ درجه سانتیگراد و افزای
  - توقف در دمای بیشتر از ۶۰ درجه سانتیگراد
- pH
  - pH < 5.5: غالب N2O
  - pH < 6.0-6.5: غالب N2O
  - pH > 6.0: غالب N2

ضررهای ناشی از نیترات زدائی

- از لحاظ اقتصادی:
  - خروج مقادیر زیادی از نیتروژن خاک
  - خروج تا ۶۰ درصد نیتروژن معدنی خاک
- از لحاظ زیست محیطی:
  - نقش N_2O تولیدی به عنوان گاز گلخانه ای
  - نقش N_2O تولیدی در نزولات اسیدی اهمیت
  - نقش N_2O در تخریب لایه ازن

نکات مثبت نیترات زدائی

- از بعد از سلامتی انسان:
  - مصرف آبهای حاوی نیترات زیاد باعث بروز مشکلات گوارشی
  - تبدیل نیترات آب به نیتریت بعد از ورود به دستگاه گوارش به علت فعالیت باکتریهای خاص در شیره گوارشی همانند باسیلوس ها
  - ورود نیتریت به خون
  - غیر فعال شدن هموگلوبین خون که حمل کننده اکسیژن توسط نیتریت
  - اختلال درتنفس انسان ... عارضه متاهموگلوبینا در افراد مسن و هم چنین اطفال با سن کمتر از ۶ ماه

- از جنبه اکولوژی:
  - ورود نیترات به دریاچه ها سبب رشد سریع گیاهان آبزی ..... افزایش محسوس ماده آلی
  - تجزیه ماده آلی توسط باکتریها جهت تأمین انرژی و با استفاده از O_2 محلول در آب ... کاهش اکسیژن محلول آب و تهویه حیات آبزیان
  - فرایند پیرشدن رودخانه (Eutrification)

- کاربرد مطلوب نیترات زدائی در تصفیه هرز آبها و آبهای زیر زمینی
  - افزودن مواد کربن دار و اتانول به آب
  - افزایش فعالیت موجودات احیا کننده و تصفیه آب.

تصاعد آمونیاک (Volatilization)

- خروج N (اوره، آمین ها) به صورت NH_3 از خاک (شیمیائی و زیستی)

$$NH_4^+ \leftrightarrows NH_3 + H^+ \ (pKa = 9.3)$$

آنزیم اوره آز:

غالب در خاک

تولید توسط انواع باکتری، قارچ و اکتینومیست

تحت تاثیر:

ماده آلی خاک (به ویژه بقایای تازه)

جمعیت میکروبی

غالب در ریزوسفر

دما: غالب در حدود ۳۷ درجه سلسیوس (تصاعد بیشتر اوره در پاییز و اوایل زمستان)

تصاعد آمونیاک (Volatilization)

(۱) تلف شدن NH_3 ناشی از کاربرد اوره در سطح خاک:

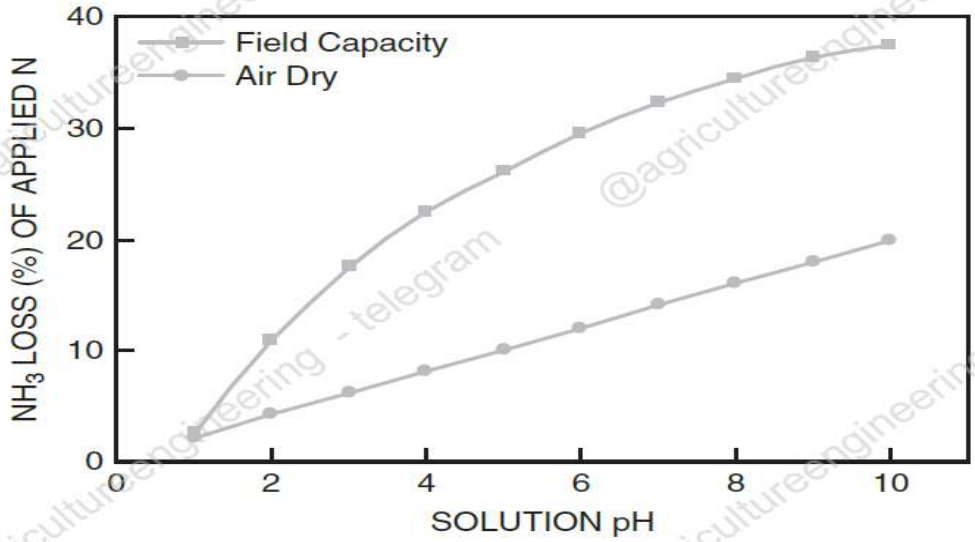
- کود اوره: بیش از ۴۰ درصد کودهای نیتروژن دار که در دنیا تولید می شود
- عدم پخش صحیح این کود..... اتلاف گاز NH_3

واکنش اوره در سطح خاک : (افزایش pH)

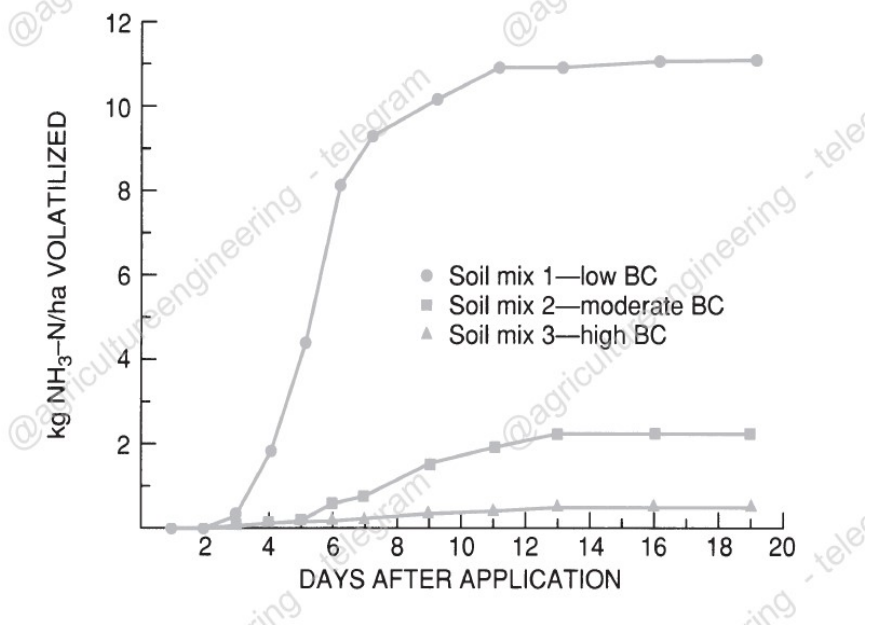
$$CO(NH_2)_2 + H^+ + 2H_2O \leftrightarrows 2NH_4^+ + HCO_3^-$$

عوامل مؤثر بر تصاعد

- *pH محیط*
  - تسریع تصعید با افزایش pH (pH>7.5)
  - تصعید بیشتر از اوره در مقایسه با کودهای آمونیومی
- *رطوبت:*
  - افزایش رطوبت خاک تا ظرفیت مزرعه..... تشدید تصاعد



عوامل مؤثر بر تصاعد



- *ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) :*
  - افزایش CEC....زیاد شدن بار منفی کلوئیدهای خاک ...افزایش قدرت جذب آمونیوم .....تصاعد
- *دمای محیط:*
  - افزایش دما تا ۴۵ درجه سلسیوس..... زیاد شدن فعالیت اوره آز و تصعید
- *غلظت کاتیونهای دوظرفیتی:*
  - افزایش کلسیم محلول خاک .....تصاعد بیشتر
  - دلیل: کاهش آمونیوم تبادلی

عوامل مؤثر بر تصاعد

- *منبع نیتروژن (کود شیمیایی در مقابل کود دامی):*
  - بستگی دارد به: شرایط خاک، اقلیم و روش کوددهی

$$CO(NH_2)_2 + H^+ + 2H_2O \leftrightarrows 2NH_4^+ + HCO_3^-$$

$$\downarrow$$

$$NH_4^+ + HCO_3^- \rightarrow NH_3 + CO_2 + H_2O$$

- *خاکهای آهکی*
  - تصاعد بیشتر بدلیل pH بالاتر بافر شده
  - افزایش pH خاک اطراف گرانول اوره هیدرولیز شده
  - به دلیل بیکربنات (pH 8-9): تشدید تصاعد

نکته: بهترین شرایط کاربرد اوره در مزرعه:

- هوای سرد، خاک خشک
- یا زمان بارندگی کافی

عوامل مؤثر بر تصاعد: کودهای آمونیومی

تصاعد آمونیاک از سولفات آمونیوم در خاکهای آهکی

- افزایش pH به دلیل تولید OH- و HCO3-
- با توجه به حلالیت کم گچ در خاکهای آهکی:
  - تمایل واکنش به سمت راست: رسوب کلسیم و تشدید تاعد NH3
- واکنش مشابه سایر کودهای آمونیومی تولید کننده کلسیم نامحلول:
  - بیکربنات آمونیوم
  - منوآمونیوم فسفات

$$(NH_4)_2SO_4 + CaCO_3 + 2H_2O \rightarrow 2NH_4^+ + 2HCO_3^- + 2OH^- + CaSO_4$$

$$NH_4^+ + HCO_3^- \rightarrow NH_3 + CO_2 + H_2O$$

$$NH_4^+ + OH^- \rightarrow NH_3 + H_2O$$

کودهای دامی و سایر کودهای آلی:

- تا بیش از ۴۰ درصد تلفات N از طریق تصاعد آمونیاک

روش های کاهش تصاعد NH_3

- **استفاده از کودهای جامد و خشک بجای کودهای محلول**

- **زیر خاک قرار دادن کود یا روش نواری بجای پخش سطحی:**
  - تبدیل NH_3 آزاد شده از حالت گازی به حالت یونی:

$$NH_3 + H_2O \text{ ..... } NH_4$$

- **استفاده از مواد شیمیایی بازدارنده فعالیت آنزیم اوره آز(urease) :**
  - در کاربرد کود به صورت سرک
  - در سیستمهای شخم حداقل (min tillage) و بدون شخم (no tillage)
  - نمکهای جیوه و نقره
  - ترکیبی تحت عنوان کوئینون (quinine)
  - N_بوتیل تیوفسفتیک تری آمین (کارایی بیشتر نسبت به ترکیبات قبلی)

جمعبندی: شرایط مناسب تصاعد NH_3

Condition	High Risk	Low Risk
Soil pH	>7	<6
Soil moisture	Moist	Dry
Rainfall, irrigation	Little or none, heavy dew	>0.3 in. after N applied
CEC (meq/100g)	<10	>25
Soil temperature	>20°C (70°F)	<10°C (50°F)
Soil surface	>50% residue cover (turf, pasture, no-till)	Bare
N source[1]	Manure, $(NH_4)_2SO_4$, $CO(NH_2)_2$, UAN, NH_4HCO_3	NH_3, NH_4NO_3 (urea/UAN + inhibitor)[1]
N application	Surface broadcast	Incorporate, subsurface apply

احیای شیمیایی نیتروژن خاک: واکنش وان–اسلایک

تفاوت احیای شیمیایی یا نیترات زدائی:

صرفاً شیمیایی بدون نقش جمعیت میکروبی

در محیط هوازی

نقش اصلی با نیتریت (نه نیترات)

(۱)واکنش وان اسلایک (van Slike) :

$$R - NH_2 + HNO_2 \longrightarrow ROH + H_2O + N_2$$

- ترکیب اسید نیترو با اسید آمینه و خروج N_2 گازی

احیای شیمیایی نیتروژن خاک ... ادامه

(۲) تخریب اسید نیترو:

اسید نیترو نسبتاً پایدار در خاکهای خنثی وقلیایی به صورت نمک‌های نیتریت در می آید است

در خاک های اسیدی با پ–هاش کمتر از ۵ به اسید نیتریک و آب تجزیه می شود.

$$3HNO_2 \longrightarrow 2NO + H_2O + HNO_3$$

(۳) تجزیه نیترات آمونیوم:

$$NH_4NO_3 \longrightarrow N_2 + 2H_2O$$

کودهای نیتروژن

کودهای آلی

- طبیعی
- غیرطبیعی

منشا گیاهی

منشا جانوری

منشا میکروبی

کودهای شیمیایی

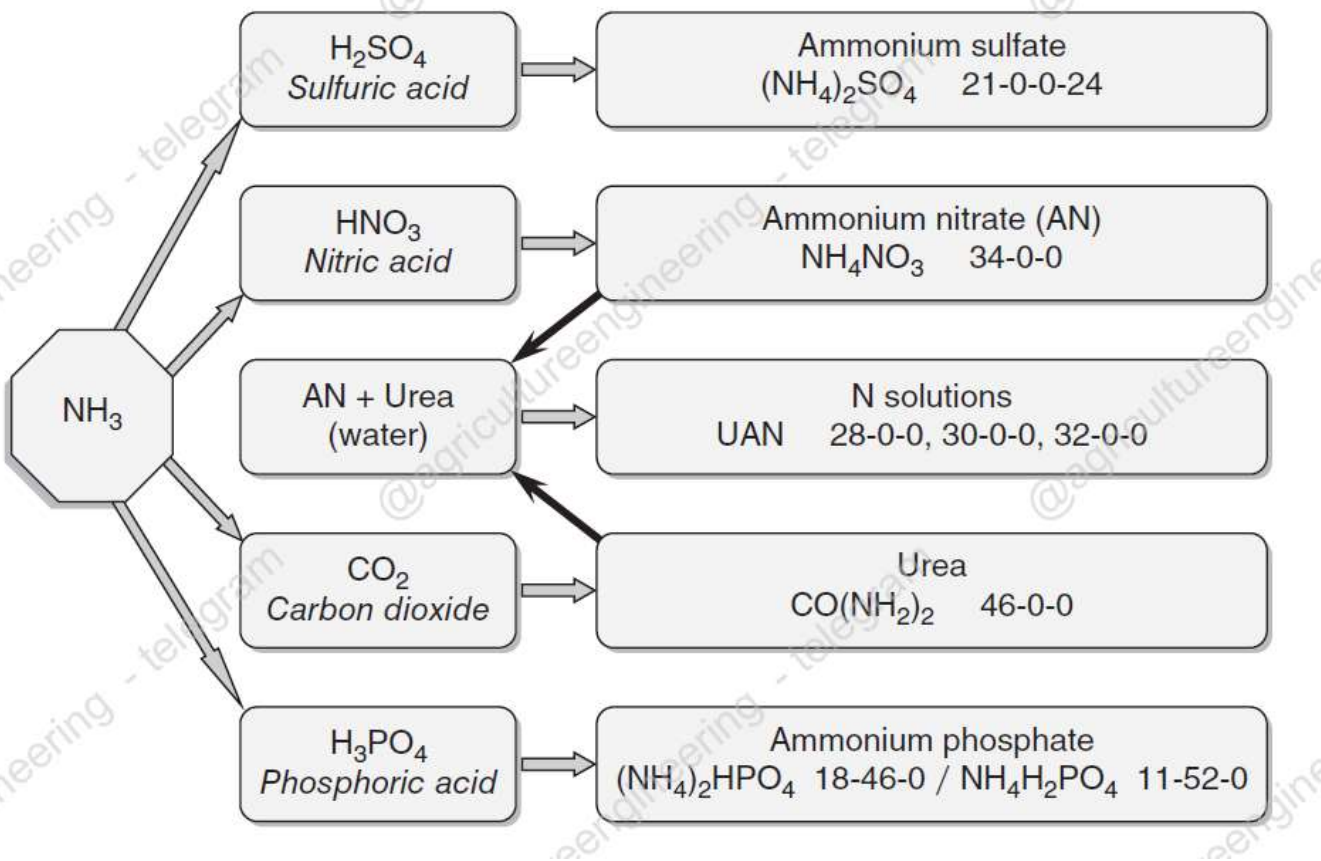
- اغلب کودها: مشتقات آمونیوم

- **تولید آمونیاک روش هابر-بوش (Haber-Bosch):**

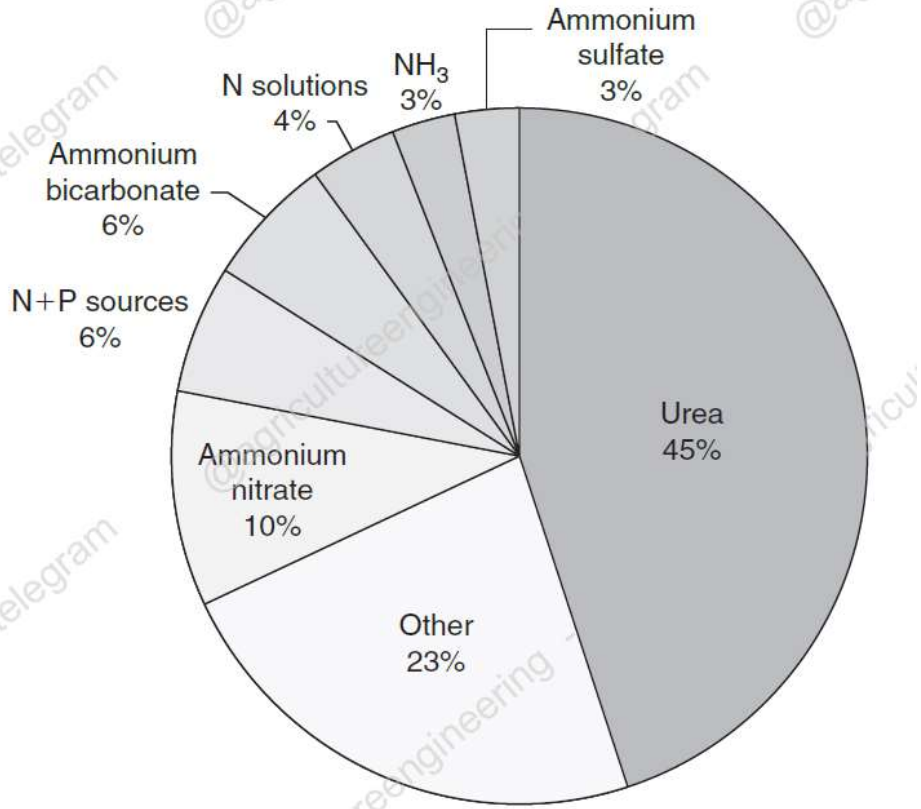
$2NH_3 \ldots\ldots N_2 + 3H_2$

- N_2 از هوا
- H_2 از گاز متان (CH_4)
  - متان یک سوخت فسلی
  - برای گرم کردن و ...: محدودیت منابع

کودهای نیتروژن حاصل از NH_3



مصرف جهانی NH_3



انواع کودهای نیتروژن دار

- کودهای آمونیاکی
- کودهای نیتراتی
- کودهای کند جذب شونده یا کند رهاکننده (Slow release)
- سایر گروه ها

انواع کودهای نیتروژن دار

N Source	Nutrient Content (%)							Physical State
	N	P_2O_5	K_2O	*Ca*	*Mg*	*S*	*Cl*	
				NH_4^+ or NH_4^+ *forming*				
Anhydrous ammonia	82	—	—	—	—	—	—	Gas
Aqua ammonia	20–25	—	—	—	—	—	—	Liquid
Ammonium bicarbonate	21–23	—	—	—	—	—	—	Solid
Ammonium chloride	25–26	—	—	—	—	—	66	Solid
Ammonium nitrate	33–34	—	—	—	—	—	—	Solid
Ammonium sulfate	21	—	—	—	—	24	—	Solid
Ammonium thiosulfate	12	—	—	—	—	26	—	Liquid
Calcium ammonium nitrate	15–27			9–19				Solid or Liquid
Ammonium polyphosphate	10–11	34–37	—	—	—	—	—	Liquid
Diammonium phosphate	18–21	46–54	—	—	—	—	—	Solid
Monoammonium phosphate	11	48–55	—	2	0.5	1–3	—	Solid
Urea	45–46	—	—	—	—	—	—	Solid
Urea-ammonium nitrate	28–32	—	—	—	—	—	—	Liquid
Urea-ammonium phosphate	21–38	13–42	—	—	—	—	—	Solid
Urea phosphate	17	43–44	—	—	—	—	—	Solid
Urea-sulfate	30–40	—	—	—	—	6–11	—	Solid
				NO_3^-				
Calcium nitrate	15	—	—	34	—	—	—	Solid
Potassium nitrate	13	—	44	0.5	0.5	0.2	1.2	Solid
Sodium nitrate	16	—	—	—	—	—	0.6	Solid

اوره ($CO(NH_2)_2$)

- واکنش آمونیاک با CO_2 در فشار و دمای زیاد
- درصد نیتروژن زیاد (۴۶ درصد) .....بیش از ۹۰ درصد کود مصرفی در ایران
- دانه ای کوچک و سفید (کود شکری)
- ارزان،حمل و نقل و انبارداری خوب
- هیدرولیز سریع اوره.....تولید کربنات آمونیوم (ناپایدار)

- $CO(NH_2)_2 + 2H_2O$ .....$(NH_4)_2CO_3$.....$2NH_3 + CO_2 + H_2O$
- نقش آنزیم اوره آز .....هیدرولیز اوره
- تبدیل سریع اوره به آمونیوم
- pH بالا و کمبود ماده آلی .....فعالیت کمتر اوره آز
- واکنش اسیدی

مشکلات اوره

- نزدیکی بذر با اوره..... تولید NH_3.....آسیب به گیاهچه
- تصاعد از سطح خاک

- بیورت: ناخالصی کود در دمای بالای تشکیل (۵۰۰ درجه سلسیوس)
  - قابل تحمل ت ۲ ٪
  - برای گاهان حساس (آناناس و مرکبات) تا 0.25%
  - محلول های تغذیه برگی: کمتر از 1.5%

$$2Co(NH_2)_2 \text{.....} NH_2CONHCONH_2 + NH_3$$

جاگذاری اوره: بسته به بافت و رطوبت خاک

در خاکهای شنی و خشک: مقدار کمتر اوره و فاصله بیشتر (2.5 cm) زیر و کنار بذر

در خاکهای رسی و مرطوب : کاربرد مقدار بیشتر اوره بدون مشکل جوانه زنی و کاهش عملکرد

محلول های آمونیومی (UAN)

- **انحلال اوره یا نیترات آمونیوم با آب**
  - محلول های تحت فشار: نیاز به تجهیزات ویژه
  - محلول های بدون فشار

مزایا:

- حمل و نقل و کاربرد ساده تر و ایمن تر
- توزیع یکنواخت تر و دقیق تر از کودهای جامد
- امکان توام با اغلب سموم و آفت کشها
- قابل استفاده با روش های مختلف آبیاری
- منبع عالی برای تولید کودهای نیتروژن، گوگرد، فسفر و گوگرد
- کاهش هزینه کارگری
- تغذیه برگی

محلول های آمونیومی (UAN): دمای رسوب

- هرمحلول دارای یک دمای ویژه رسوب (Salting-out):
- دمایی که کمتر از آن رسوب میدهد

تعیین کننده:

- امکان ذخیره کود در زمستان
- زمان کاربرد در طی سال
- بستگی دارد به غلظت نیتروژن محلول

Composition and Properties	Fertilizer Grade (% N by weight)		
	28%	30%	32%
Ammonium nitrate, NH_4NO_3 (%)	40	42	45
Urea, $CO(NH_2)_2$ (%)	30	33	35
Water (%)	30	25	20
Density (lbs/gal) at 15.5°C (60°F)	10.65	10.84	11.06
Salting-out temperature, °C (°F)	−17 (+1)	−10 (+14)	−2 (+28)

کودهای آمونیاکی: آمونیاک بی آب (NH_3)

- بالاترین درصد نیتروژن (۸۲ درصد)
- همانند آب
  - مایع
  - گاز
  - جامد
- تبدیل به مایع در فشار بالا یا دمای کم
- کاربرد در مزرعه: مایع داخل مخازن ویژه استیل و تحت فشار
- در فشار اتمسفر: نیاز به دستگاه خنک کننده برای تبدیل به مایع

کودهای آمونیاکی: آمونیاک بی آب (NH_3)

- نحوه کاربرد
  - از طریق تزریق با لوله (تیغه شخم)
  - همراه با آب آبیاری
- هدرروی در فشار اتمسفر
  - ویژیگ های فیزیکی خاک (خاک کلوخه ای، متراکم)
  - رطوبت خاک
  - عمق و فاصله پخش

اثر آمونیاک بی آب بر نیتریفیکاسیون

- سمی برای میکروبها
- تاخیر در نیترات سازی
- تحریک مجدد به دلیل بهبود pH خاک

- اثر اولیه بر pH: ؟؟؟؟
- اثر نهایی بر pH: ؟؟؟؟

- کاربرد آمونیاک بی آب:
  - بی برگ کردن پنبه
  - مبارزه با علف های هرز

نیترات آمونیوم (NH_4NO_3)

۳۴–۳۳ درصد نیتروژن: ترکیب NH_3 و HNO_3

- محاسن
  - نصف نیتروژن: آمونیوم و نصف نیتروژن: نیترات
  - حمل و نقل راحت
  - استفاده بهتر در گیاهان ردیفی و کوددهی نواری
  - بسیار محلول در آب

- معایب
  - کود نم گیر و کلوخه ای شدن
    - در اقلیم مرطوب: در کیسه کود نباید باز باشد
  - قابلیت انفجار
    - تماس نزدیک با مواد کربن دار قابل اکسید (مثل روغن)...احتمال انفجار
    - روی هم گذاشتن کیسه های کودی....تولید گرما.... احتمال انفجار
  - کارایی کمتر برای کشت برنج در مقایسه با اوره

نیترات–سولفات آمونیوم (Sulf-N 26)

- ۲۶ درصد نیتروژن + ۱۴ درصدگوگرد

- محاسن
  - کیفیت انبارداری خوب
  - تامین همزمان گوگرد و نیتروژن
  - افزایش قدرت اسیدی کود توسط گوگرد

سولفات آمونیوم [(NH4)2SO4]

- ۲۱–۲۰ درصد نیتروژن + ۲۴–۲۳ درصد گوگرد
- از قدیمی ترین منابع شیمیایی نیتروژن آمونیاکی
- فرآورده فرعی کارخانه زغال سنگ

- حمل و نقل آسان
- دانه درشت...جذب کم آب .....انبارداری خوب
- تولید آمونیوم.....تثبیت توسط خاک
- وجود سولفات.....کاهش pH خاک

- مناسب کشت برنج، خاکهای آهکی مناطق خشک، درختان میوه (انگور و مرکبات)

- **عیب:** درصد کم عناصر غذایی

سایر منابع آمونیومی

- **فسفات آمونیوم** [(NH4)2HPO4] **و**[NH4H2PO4]

- **کلرید آمونیوم** [NH4Cl]
  - ۲۶ درصد نیتروژن
  - اقتصادی

مناسب تر از سولفات آمونیوم در کشت برنج

- **احیای سولفات در شرایط غرقاب**
  - **تولید** H2S **سمی**
  - **رسوب سولفیدهای فلزی**
  - **بیماری آخر تابستان** Akiochi

سایر منابع آمونیومی: کودهای بر پایه اوره

- اوره–فسفات

Urea phosphate $[CO(NH_2)_2H_3PO_4]$

- 17-44-0
- واکنش اوره و اسید فسفریک
- بلوری
- قابل استفاده در ساخت سایر کودهای با درجه کمتر
  - کودهای تعلیقی
  - کود 28-28-0 :
    - اختلاط اوره و (NH4)2HPO4
  - کودهای اوره–گوگرد : از 40-0-0-3 تا 30-0-0-13

منابع نیتراتی

- اسیدزا نیستند
- جذب سریعتر نیترات در مقایسه با آمونیوم .....کمی قلیایی
- حل پذیری کامل
- آبشویی سریع

- **نیترات آمونیوم**

- **نیترات سدیم (۱۶ درصد نیتروژن)**
  - طبیعی
  - مصنوعی
- **نیترات پتاسیم (۱۳-۱۴ درصد نیتروژن + ۳۶-۳۷ درصد پتاسیم)**
  - کلر کم، شاخص نمک متوسط، جذب سریع نیترات، نسبت N/K مطلوب
- **نیترات کلسیم (۱۵-۱۶ درصد نیتروژن + ۱۹-۲۰ درصد کلسیم)**

کودهای کندرها و کنترل رها
(Slow-release vs. Controlled-release)

- کودهای کندرها (Slow-release, SRF):
  - با حلالیت کم اما کنترل نشده، اغلب ترکیبات تجزیه میکروبی شونده
- کودهای کنترل رها (Controlled-release, CRF):
  - با رهایش کنترل شده، ترکیبات کپسوله و پوشش دهی شده

گروه بندی:

- ترکیبات کم محلول نیتروژن آلی:
- تجزیه مبکروبی با زمان: اوره–فرم آلدئید
- تجزیه شیمیایی با زمان: Isobutrylidene diurea
- کودهای با مانع فیزیکی کنترل کننده حلالیت: پلیمرهای آلی، رزین، مواد معدنی (S)
- ترکیبات معدنی کم محلول: فسفات آمونیوم–منیزیم و سنگ فسفات اسیدی شده

کودهای کندرها و کنترل‌رها برای گاهش تلفات N

N Source	Base Compound	Common Name(s)	N Content — % —	Inhibition Duration — weeks —
S-coated urea	urea	SCU	30–42	4–12
		Enspan	39	
Polymer/S-coated urea	urea	PolyPlus Poly-S TriKote	38–42	6–16
		XCU	41–43	
Polymer- or resin-coated urea	urea	Polyon, Osmocote, Meister	38–44	8–14
		Agriform Multicote	25–46	
		Escote		
		Prokote		
		ESN		
		Nutrisphere		
Urea formaldehyde	ureaforms	Nitroform	38	10–30+
		FLUF	18	6–10
		Folocron	29	
		GP-4340	30	
	methylene urea	Nutralene	40	7–12
		Hydrolene		
		Nitamin		
	methylol urea	Resi-Grow	30	6–10
	polymethylene urea	CoRoN	12 or 28	7–9
Isobutylidene diurea	isobutylidine urea	IBDU	31	10–16
Triazone	triazone/urea	N-Sure, Nitamin	28–33	6–10
		TriSert, Formolene		
Crotonylidene diurea	urea/crotonaldehyde	Crotodur, CDU, Triabon	34	6–12
Melamine	2,4,6 triamino-1,3,5-triazine	Nitrazine	50–60	6–12

کودهای کندرها (SRF)

- اوره فرم آلدئید
  - رایج ترین کود کندرها (35-40% N)
  - روش تولید:
    - ترکیب اوره با فرم آلدئید
    - تولید اوره آزاد، اوره–متیلول و اوره–متیلن
    - تولید انواع کودهابا حلالیت مختلف
    - اوره متیلول و اوره–متیلن: رهایش سریعتر N در آب در مقایسه با اوره آزاد
  - تولید Nقابل جذب در خاک:
    - تجزیه میکروبی (مکانیزم غالب: افزایش با دما و رطوبت)
    - هیدرولیز

کودهای کندرها (SRF):

Isobutrylidene diurea (IBDU)

- واکنش ایزوبوتریلیدن با اوره
- ۹۰٪ محلول در آب
- حاوی ۳۱٪ نیتروژن

رهایش نیتروژن: (۱) واکنش شیمیایی و (۲) هیدرولیز

- رهایش طی ۲-۴ ماه (بسته به رطوبت و دما)
- کاهش رهایش در pH>7
- افزایش رهایش با ریزتر شدن ذرات

کودهای کندرها (SRF):

تریازون (Triazone)

- حاوی ۲۸ درصد نیتروژن
- رهایش کند (حلقه پیوسته و پیوند قوی C-N)
- کاربرد عمدتاً در تغذیه برگی
- جذب برگی خوب بدون سمیت
- کاربرد در چمن

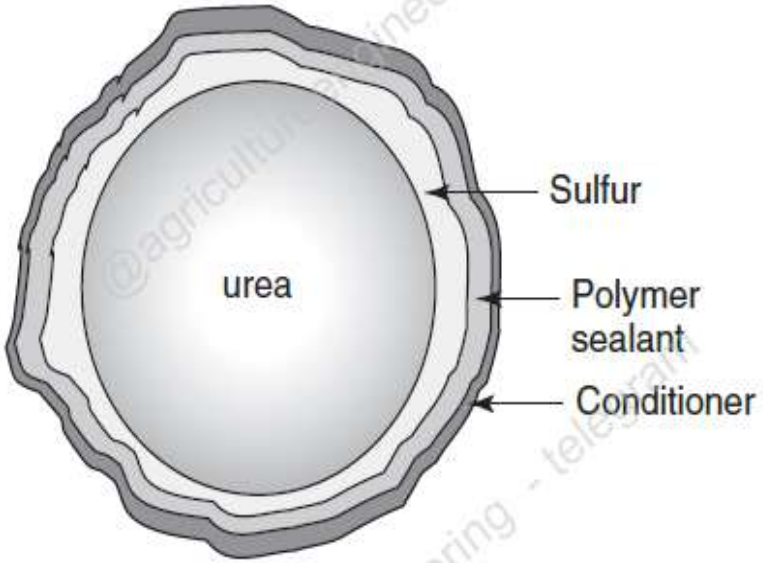
کودهای کنترل رها (CRF)

- عامل رهایش:
  - تجزیه زیستی
  - هیدرولیز
- کاربرد در جمن، سبزیجات و گیاهان زینتی و تاحدی غلات

کودهای کنترل رها (CRF): اوره با پوشش گوگردی

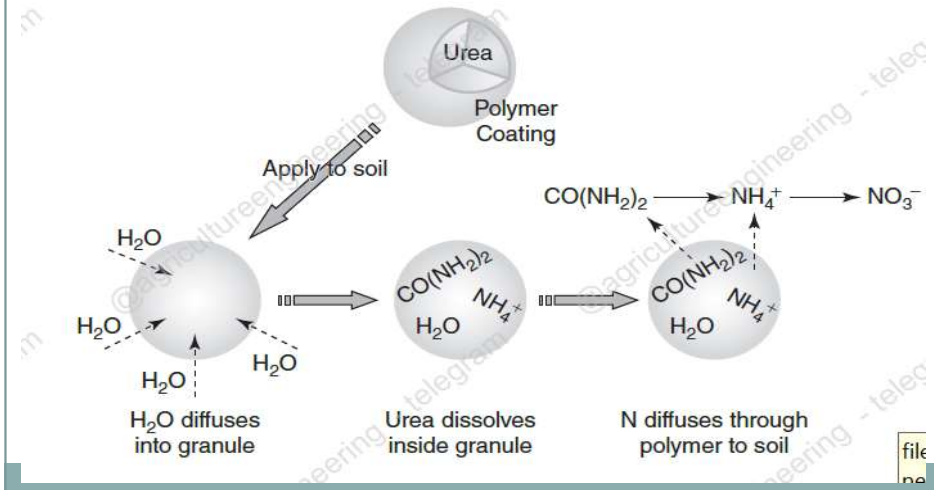
(S-coated urea): 32-38% N, 12-22% S

- گوگرد مذاب بر روی اوره سپس پر کردن درزها با موم، افزودن میکروب کشو یک لایه ماده اصلاح کننده فیزیکی
- سرعت رهایش بستگی دارد به کیفیت پوشش S
- لزوم تجزیه میکروبی پوشش



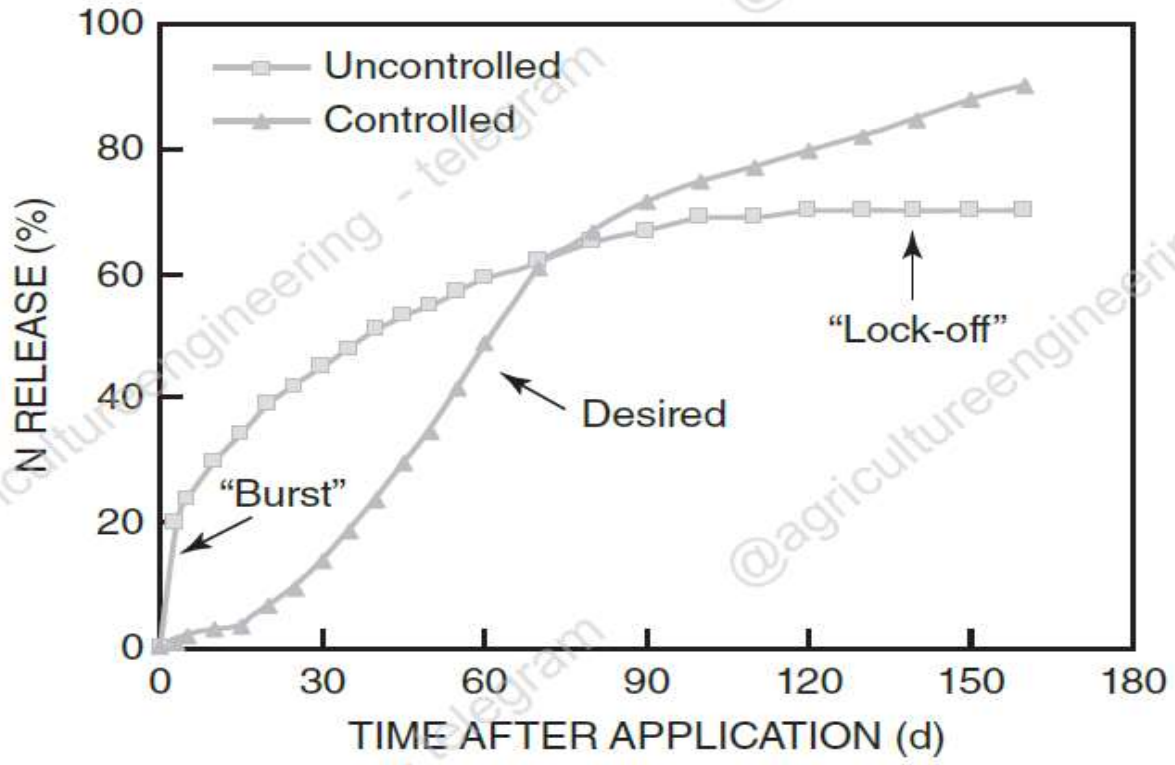
کودهای کنترل رها (CRF):

- **اوره با پوشش گوگردی پوششی با پلیمر (PSCU)**
- برای کنترل بهتر رهایش نیتروژن
- پوشش با پلیمر آلی یا رزین
- رهایش یکنواخت تر نیتروژن
- **کنترل رها از نوع پوشش پلیمری (PCRF)**

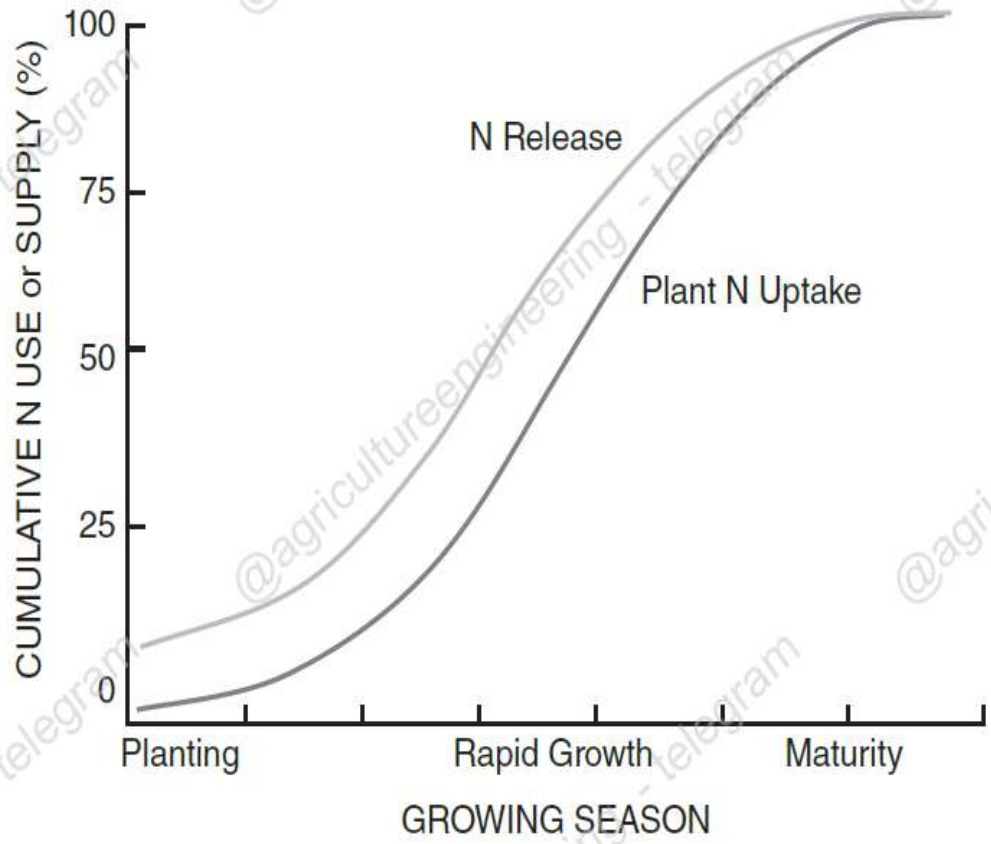


الگوی رهایش نیتروژن از برخی کودهای اوره کندرها

- کنترل رها: رهایش نیتروژن به مقدار مشخص در زمان مشخص
- رهایش کنترل نشده: رهایش سریع مقدار زیاد (Burst) در شروع و و رهایش تدریجی (Lock-off) رهایش ناکافی برای تامین نیاز گیاه



رابطه بین رهایش نیتروژن از کودهای کنترل رها و نیاز گیاه



طبقه بندی کودهای کندرها:

- N ≤15 **طی یک روز**
- N 75-15% **طی ۲۸ روز**
- N%75< **در زمان تعیین شده**

تکنولوژی سنتز کود:

- **رهایش در زمان مشخص**

(حداکثر سرعت رشد رویشی)

قدرت اسیدي و بازي کودها

اثر کودها بر pH:

- کاهش
- افزایش
- بی اثر

بسته به حلالیت کود:

- کودهای فسفر و پتاسیم.....کم اثر
- کودهای نیتروژن؟؟؟

تعیین اسیدیته کود

روش Pierre

روش Andrews

- مقدار آهک لازم برای خنثی کردن اسید تولید شده به ازای هر کیلوگرم کود
  - تبدیل آمونیوم به نیترات
    - هر kg کود آمونیومی نیاز به ۳.۵۷ kg کربنات کلسیم برای خنثی کردن اسید حاصل
    - هر kg کود نیتراتی در صورت شستشو، ۳.۵۷ kg کربنات کلسیم کاتیون های بازی را با خود از خاک خارج می کند

- اثرات باقیمانده کود

کود	ضریب شوری
آمونیاک غلیظ	۸۲
نیترات آمونیوم	۲۶
سولفات آمونیوم	۲۱
اوره	۱۷
فسفات آمونیوم	۰.۷۱
سوپرفسفات تریپل	۰.۲۱
سولفات پتاسیم	۰.۸۹

- ضریب شوری کود
  - حلالیت کود
  - مقدار عنصر در کود

افزایش فشار اسمزی یک واحد کود به افزایش فشار اسمزی یک واحد نیترات سدیم

منابع آلی نیتروژن

- **قبل از ۱۸۵۰: همه N مصرفی به شکل کود دامی و لگوم**
- **در حال حاضر کمتر از ۴۰٪ نیتروژن مصرفی**

طبقه بندی مواد آلی براساس:

- منبع: گیاهی یا جانوری
- تاثیر بر خاک و گیاه مورد نظر:
  - مواد آلی پایدار با مقدار N کربن و پتانسیل معدنی شدن کم N آلی (کمپوست و ...)
  - مواد آلی با تامین سریع N و مقدار بالای N و پتانسیل بالای معدنی شدن (کود دامی و لجن)

- **پایین بودن N اغلب کودهای آلی (۱۲-۱٪):**
  - لزوم مصرف مقدار بالای کود جهت تامین نیتروژن نیاز گیاه
  - برهم خوردن تعادل عناصر

- **در گیاهان زینتی، باغی وچمن: امکان تامین N از کودهای دامی**

منابع آلی نیتروژن: غیرکود دامی (non-manure)

پسماند فرآورده های دامی و گیاهی

لجن فاضلاب

۷۵ درصد تصفیه خانه های با منشا انسانی

۵ درصد از کارخانجات

محصول تصفیه خانه های فاضلاب:

لجن (Biosolids):

ترکیبت ناهمگن بسته به شهر و زمان

بیش از ۶۰٪ کاربرد در اراضی کشاورزی آمریکا

بین ۲ تا ۶ درصد نیتروژن

پساب (sewage effluent):

مایع شفاف حاوی غلظت کم عناصر غذایی و ماده آلی

قابل کلرزنی و بازگشت به منبع آب

منابع آلی نیتروژن: با منشا گیاهی و حیوانی

پسماندهای با منشا گیاهی:

نیتروژن کم

C/N بالا

پتانسیل معدنی شدن: کم

کاربرد: محصولات باغی و زینتی: نیاز کم نیتروژن

پسماندهای با منشا جانوری:

نیتروژن بالا

C/N کم

پتانسیل معدنی شدن: زیاد

برخی منابع آلی نیتروژن و سایر عناصر

Material	C:N	N	P	K	Ca	Mg
		% dry weight				
		Animal Based				
Blood meal	2–3	9–13	0.2–1.0	0.2–1.5	1.5–3	0.3–0.4
Bone meal	4–5	4–6	7–12	0.2–0.3	18–25	0.5–0.6
Carcass meal	3–4	6–11	2–7	0.3–0.5	4–10	0.1–0.2
Guano	3–4	8–16	2–7	1–3	18–20	3–5
		Plant Based				
Fruit pulp	40–50	0.8–1.4	0.2–0.3	1.2–1.4	0.6–0.9	0.1
Brewers grain	10–12	3–5	0.4–0.7	0.5–1.0	0.2–0.3	0.1–0.2
Distillers pulp	8–10	5–6	0.7–1.0	0.8–6.0	0.2–0.3	0.1–0.2
		Compost				
Biogenic waste	15–25	1–2	0.2–0.5	0.5–1.3	1.5–5.0	0.3–1.6
Yard waste	30–50	1–2	0.1–0.3	0.5–0.7	4–6	0.4–0.6
		Municipal Sewage				
Biosolids		1–6	1.5–7.0	0.2–0.5	0–12	0.4–0.7

Source: Adapted from Trenkel, 2007, Fertilizers. In *Ullmans Agrochemicals* 1:3–142. Wile-VCH.

منابع آلی نیتروژن: کود دامی (Manure)

عوامل موثر بر مقدار نیتروژن و قابلیت استفاده آن:

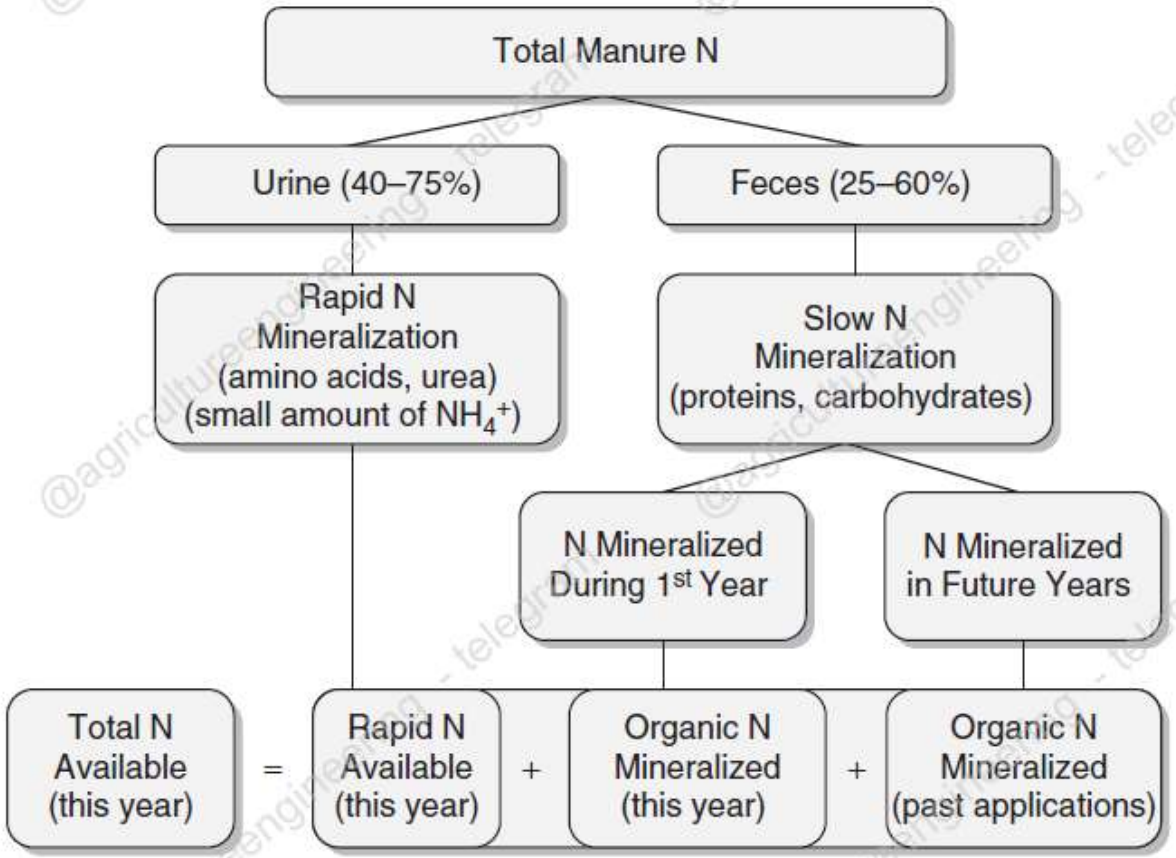
- ترکیب عنصری غذای دام
- روش ذخیره و مصرف کود
- مقدار مواد افزودنی (بستر، آب و ...)
- روش و زمان کاربرد کود
- ویژگی های خاک

مقدار کود دامی و نیتروژن تولیدی به ازای واحد دام ها

Animal Type	Animals per AU[1]	Manure Production (as excreted)	N (as excreted)	N (after losses[2])
		tons/AU	*lb/t*	
Beef cows	1	11.5	11.0	3.3
Dairy cows	0.74	15.2	10.7	4.3
Heifers, dairy calves	1.82	12.1	6.1	1.8
Steers, calves, bulls	1.64	10.6	11.0	3.3
Swine, breeders	2.67	6.1	13.3	3.3
Swine, slaughters	9.09	14.7	11.3	2.8
Hens & pullets	250	11.5	26.9	18.5
Broilers	455	15.0	26.8	16.1
Turkeys for slaughter	67	8.2	30.4	16.2
Turkeys hens for breeding	50	9.1	22.4	11.2

[1]AU = 1,000 lb animal weight.
[2]Volatilization and denitrification.
Source: Kellogg et al., 2000, USDA-NRCS, ERS, Report No. nps 00-0579.

شکل و قابلیت استفاده نیتروژن کود دامی مصرفی در خاک



قابلیت استفاده نیتروژن کود دامی

مقدار نیتروژن قابل استفاده هر کود آلی بستگی دارد به:

مقدار نیتروژن آلی یا قابل معدنی شدن

در کود دامی: ۶-۱٪ نیتروژن کل

مقدار ۷۵-۵۰٪ به شکل آلی

مقدار ۵۰-۲۵٪ به شکل NH_4^+

بخش قابل توجه: تصعید به شکل گازی طی ذخیره و جابجایی

مقدار N قابل استفاده: بستگی دارد به: سرعت معدنی شدن N آلی

قابلیت استفاده نیتروژن کود دامی

مقدار نیتروژن قابل استفاده متکشل از: ترکیبات پایدار و ناپایدار

بخش اول، ادرار: بخش عمده ضایعات (بسته به نوع دام) حاوی:

مقدار NH_4^+

ترکیبات N آلی سهل التجزیه (اوره، اسید آمینه، اسید اوریک)

عمدتاً قابل جذب گیاه

مستعد تصاعد: بین ۱۵ تا ۴۰٪ N

در سیستم لاگون: هدرروی ۹۰-۶۰٪ N (نیترات زدایی و تصاعد طی ذخیره و جابجایی)

مقدار N قابل استفاده کود دامی: بخش پایدار

معدنی شدن طی ۱ یا چند سال بعد از کاربرد

N آلی کمتر مقاوم:

تجزیه در همان سال اول کاربرد

شامل ۶۰-۳۰٪ کل N کود

N آلی بسیار مقاوم:

تجزیه در سالهای بعد

به ترتیب ۳۰، ۱۵ و ۵ درصد N معدنی شده در سال اول در سال های دوم، سوم و چهارم معدنی می شوند

سرعت معدنی شدن بستگی به منبع کود

کل N قابل معدنی شدن و سرعت اولیه معدنی شدن کود طیور بیشتر از کود گاو و گراز

سینتیک معدنی شدن N آلی (کود دامی، کود سبز و ...)

سینتیک مرتبه اول

$$N_{min} = N_o\left(1 - e^{-kt}\right)$$

where N_{min} = amount of N mineralized at time, t

N_o = the total mineralizable N pool

k = mineralization rate constant $\left(t^{-1}\right)$

افزایش K: افزایش اولیه معدنی شدن نیتروژن و در ادامه، کاهش آن با زمان

کاهش No: کاهش مقدار کل نیتروژن قابل معدنی شدن

کارایی جذب و کارایی مصرف

Moll et al. (1982)

- (1)efficiency of absorption or uptake **کارایی جذب**

Uptake Efficiency=(Nt/Ns)

- (2)efficiency with which N absorbed is utilized to produce grain **کارایی مصرف**

Utilization Efficiency =(Gw/Nt)

Nt = total N in the plant at maturity (grain + stover)

Ns = nitrogen supply or rate of fertilizer N

Gw = grain weight (all expressed in the same units)

Olson and Swallow, 1984 (27-33% of the applied N fertilizer was removed by the grain following 5 years)

Calculating N Use Efficiency using

Applied N kg/ha	Grain Yield kg/ha	N content %	N uptake kg/ha	Fertilizer Recovery %
0	1000	2	20	-
50	1300	2.1	27.3	(27.3-20)/50=14.6
100	2000	2.2	44	(44-20)/100=24
150	2000	2.3	46	(46-20)/150=17

بازیافت نیتروژن کودی

Fertilizer N Recovery (Varvel and Peterson, 1990)

- **1. Difference method**

$$PFR = (NF)-(NC) / R$$

NF = total N uptake in corn from N fertilized plots
NC = total N uptake in corn from unfertilized plots
R = rate of fertilizer N applied
PFR = percent fertilizer recovery

Agronomic Efficiency بازده زراعی

AE = (Yield in added fertilizer – Yield in control)/Fertilizer amount