

# 作物营养由有机肥向化肥的变化及反思

周建斌

[jbzhou@nwsuaf.edu.cn](mailto:jbzhou@nwsuaf.edu.cn)

西北农林科技大学资源环境学院  
农业农村部西北植物营养与农业环境重点实验室

# 报告提纲

1. 背景
2. 植物营养学发展历程
3. 面临的挑战
4. 原因及对策
5. 结语

# 一、背景

植物营养学是研究植物对营养物质吸收、运输、转化和利用规律及植物与环境之间营养物质和能量交换的学科。

The subject of **plant nutrition** is concerned with the provision of plants with nutrients as well as nutrient uptake and distribution in plants.

The practical side of plant nutrition is fertilizer application (Mengel et al, 1987).

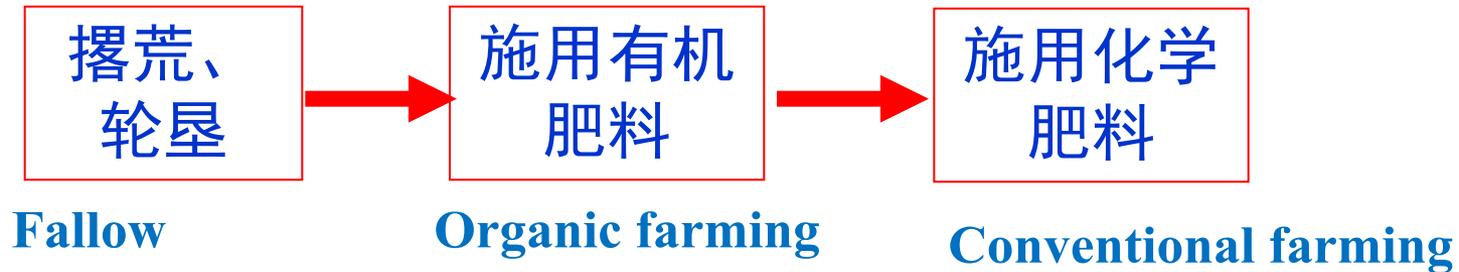
化肥施用面临巨大压力。

(化肥 = “污染物”)

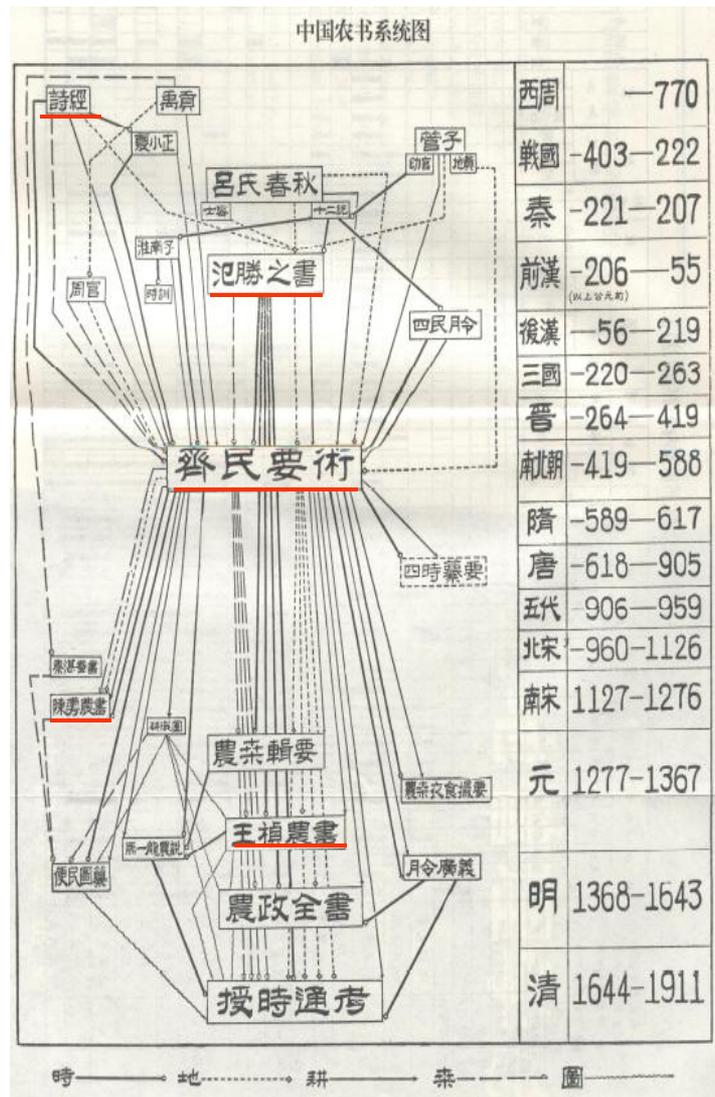


## 二、植物营养学发展历程

### 1、肥料施用的历史：



# 中国古代农书系统图-石声汉



“以薊荼蓼，荼蓼朽止，黍稷茂止”

开始施用有机肥料

将肥料分为基肥、种肥、追肥和特殊的溲种法

栽培绿肥、堆制厩肥

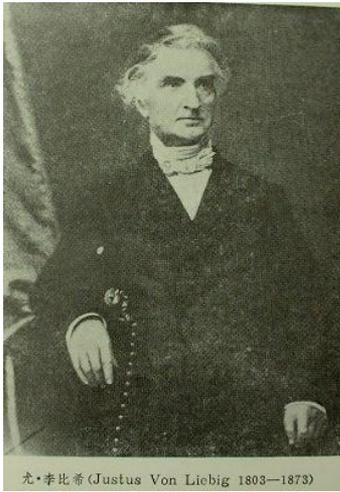
提出了“地力常新论”

将肥料分为六类，即大粪、踏粪、草粪、火粪、苗粪、泥粪

培肥、增产，但产量水平低

# 植物营养学科的创立，奠定了化肥施用的理论基础

十九世纪中叶，植物矿质营养理论的创立。



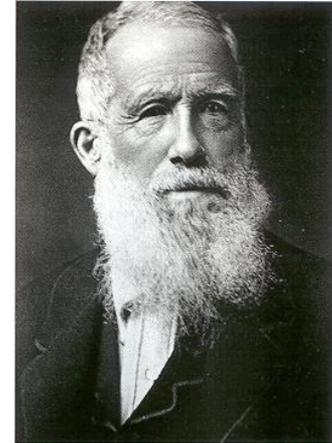
Justus von Liebig  
(1803-1873)

1840：化学在农业和生理学上的应用



Sprengel P C (1787-1859):

1826: 否定了当时流行的腐殖质营养学说  
1828: 提出最小养分律  
(the Law of the Minimum)



Sir John Bennett Lawes



1843生产并施用过磷酸钙肥料，在Harpenden进行肥料试验。

化学肥料的施用虽仅有170多年的历史，但其对农业生产发展起了不可忽视的作用。

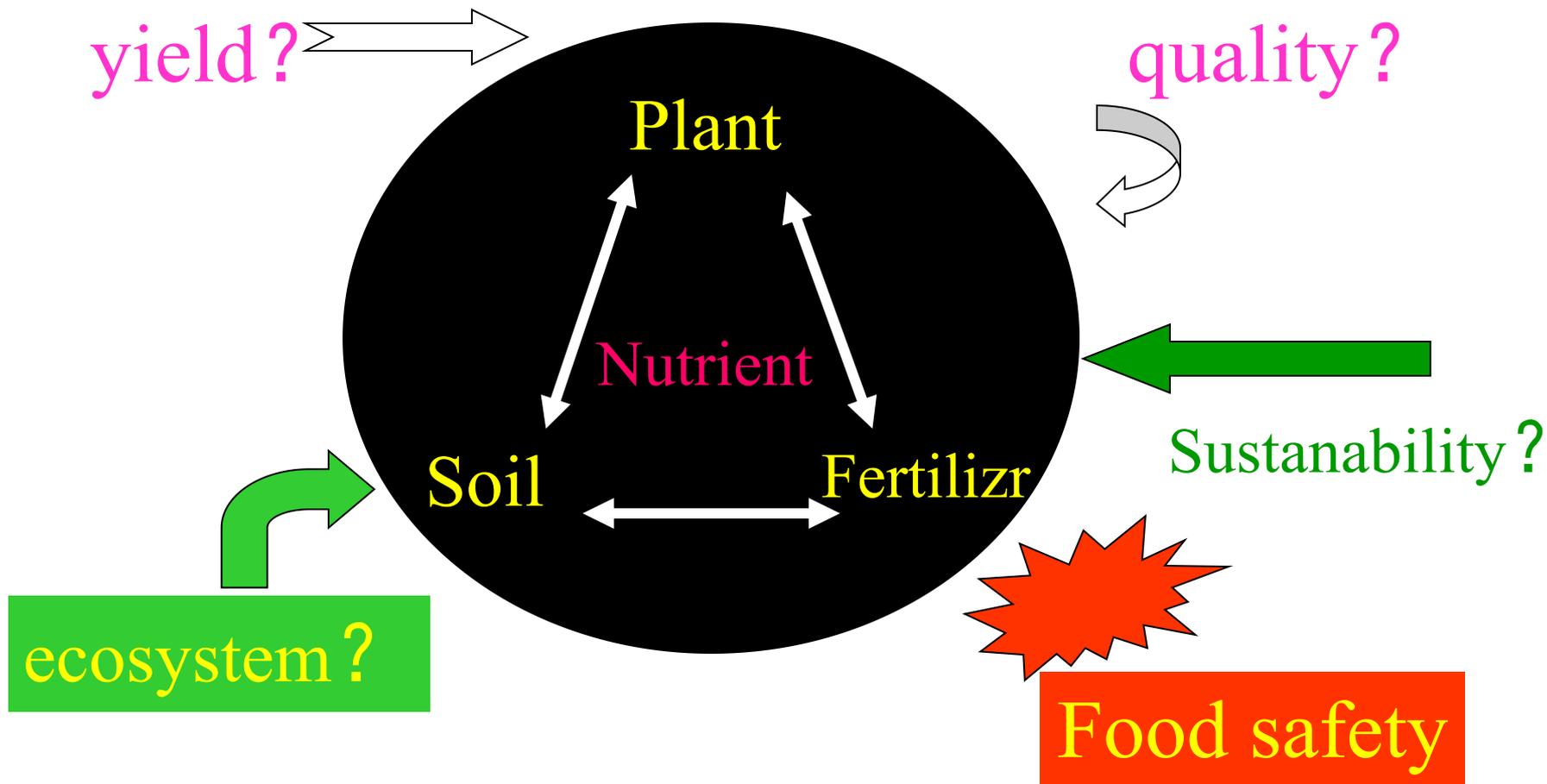
### 合成氨工艺 (Harber-Bosch process)



被认为是二十世纪人类最重要的发明 (Smil V. Nature, 1999)

Without it, around half of humanity would not be alive  
(Erisman. Nature Geoscience ,2008,1: 636 - 639 ).

# 植物营养学研究对象与问题的变化：



# 植物营养学科的发展：

- 与分子生物学交叉 → 植物营养分子生物学
- 与遗传学交叉 → 植物营养遗传学
- 与生态学交叉 → 植物营养生态学
- 与微生物学等交叉 → 根际营养学
- 与空间信息技术等交叉 → 精确养分管理
- 与资源科学、环境学科交叉 → 综合养分管理

# 三、面临的挑战

## 肥料效应下降

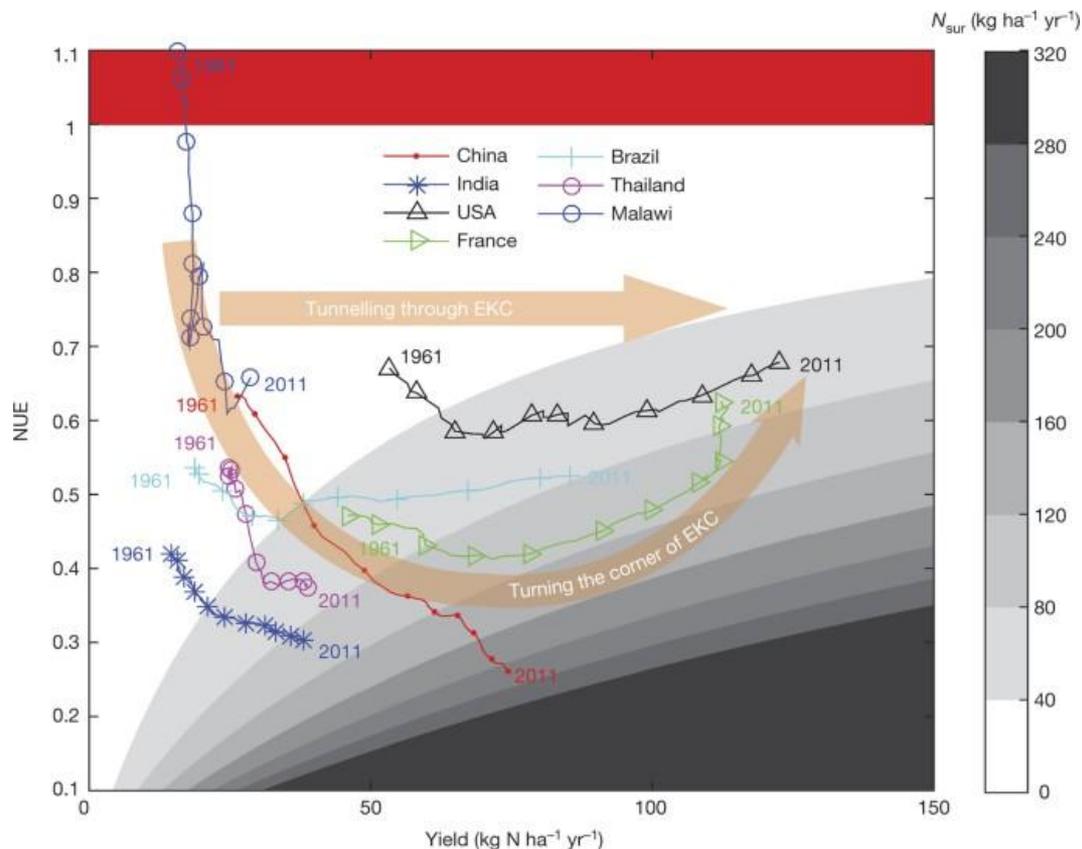


Figure 1: Historical trends of N<sub>yield</sub>, NUE and N<sub>sur</sub>, for a sample of countries examined in this study (Zhang et al., Nature, 2015).

# 不合理施肥可能带来的生态环境问题

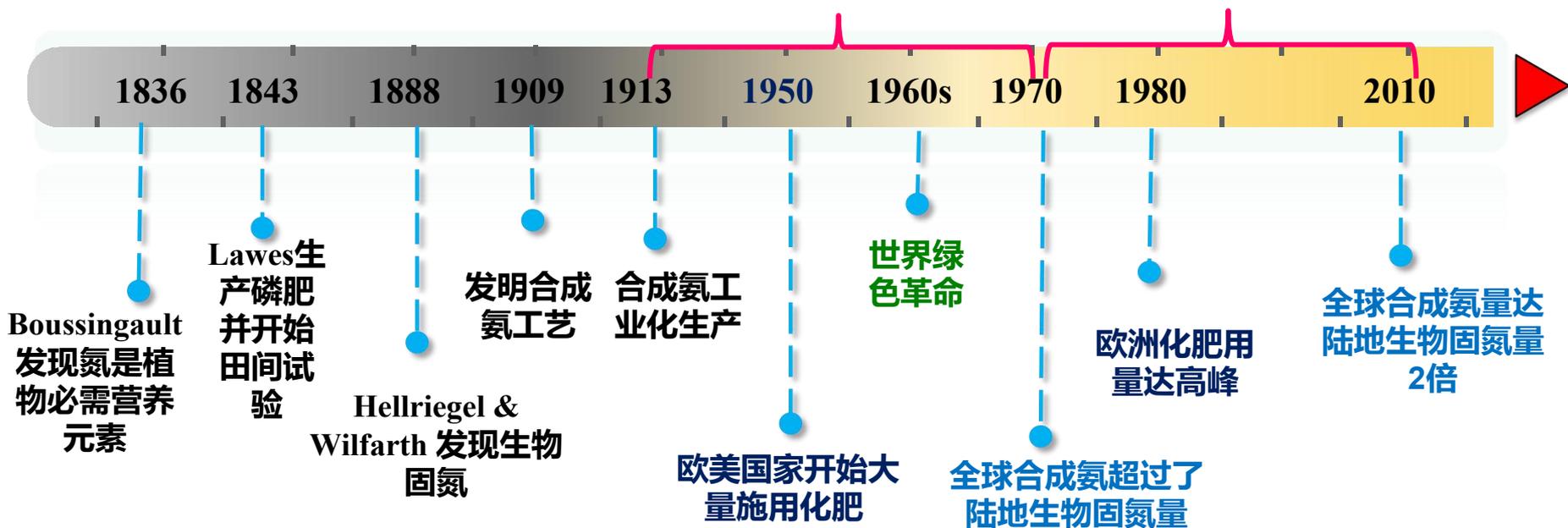
- ❑ 硝酸盐的淋失 (NO<sub>3</sub> leaching)
- ❑ 水体富营养化 (Eutrophication)
- ❑ 温室效应 (Greenhouse effect)
- ❑ 臭氧层的破坏 (Diminish of ozone)
- ❑ 生物多样性的降低 (Decrease of biodiversity)

# 施肥活动显著改变了全球养分循环

以氮素为例：

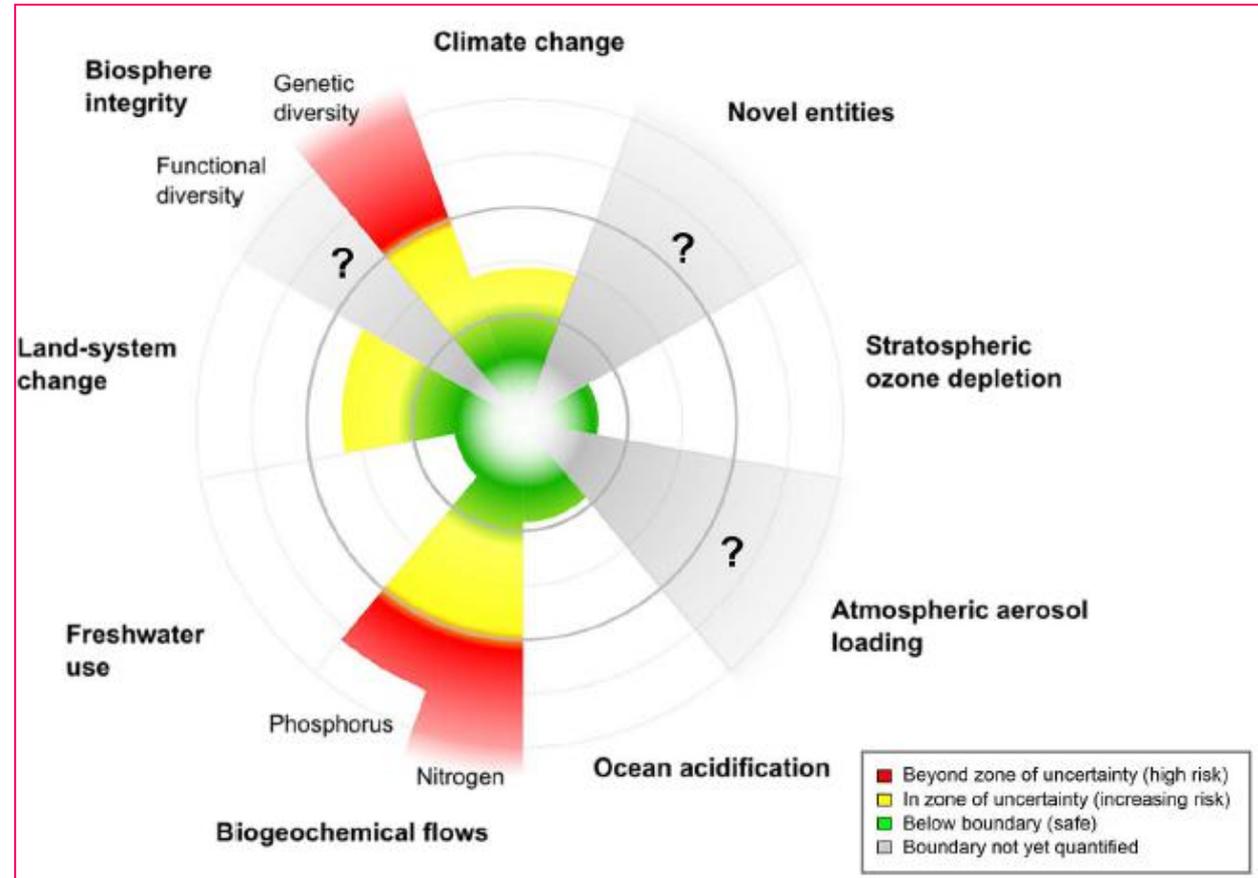
## 氮素营养、氮肥生产及施用发展大事记

世界



# Planetary Boundary

- ① Climate change;
- ② Biodiversity;
- ③ Land-system change;
- ④ Freshwater use;
- ⑤ Biochemical flows of N and P;
- ⑥ Ocean acidification;
- ⑦ Atmospheric aerosol loading
- ⑧ Stratospheric ozone depletion;
- ⑨ Novel entities.



Steffen et al. Science, 2015

# 我国面临的压力更大

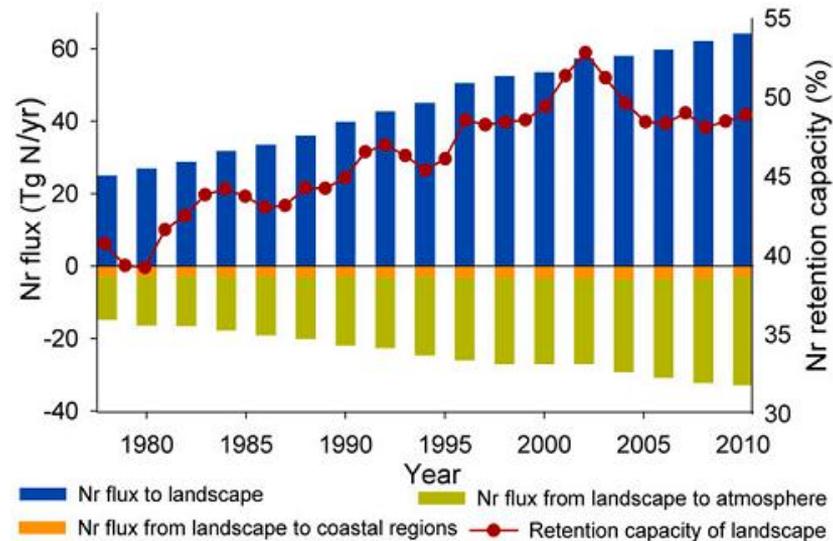
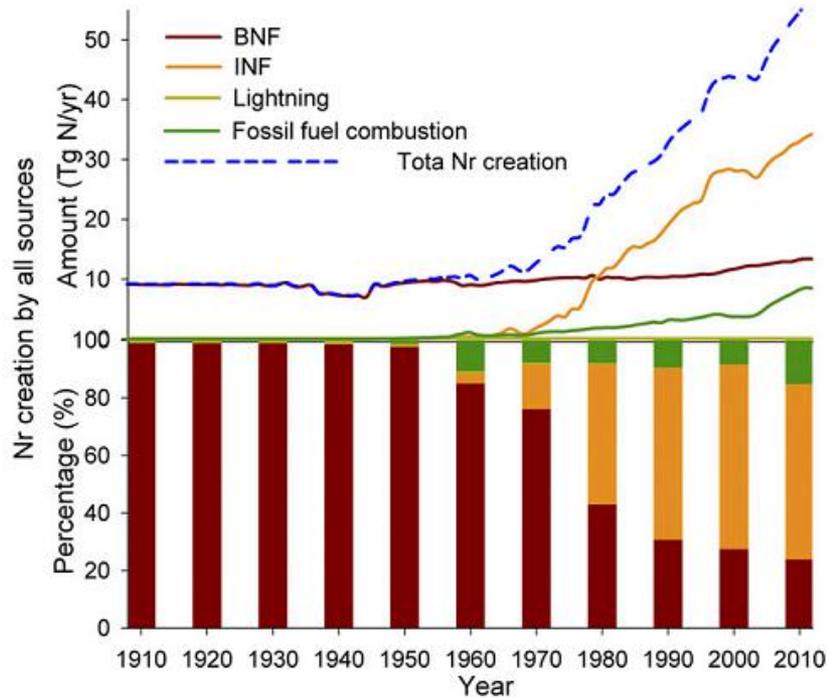
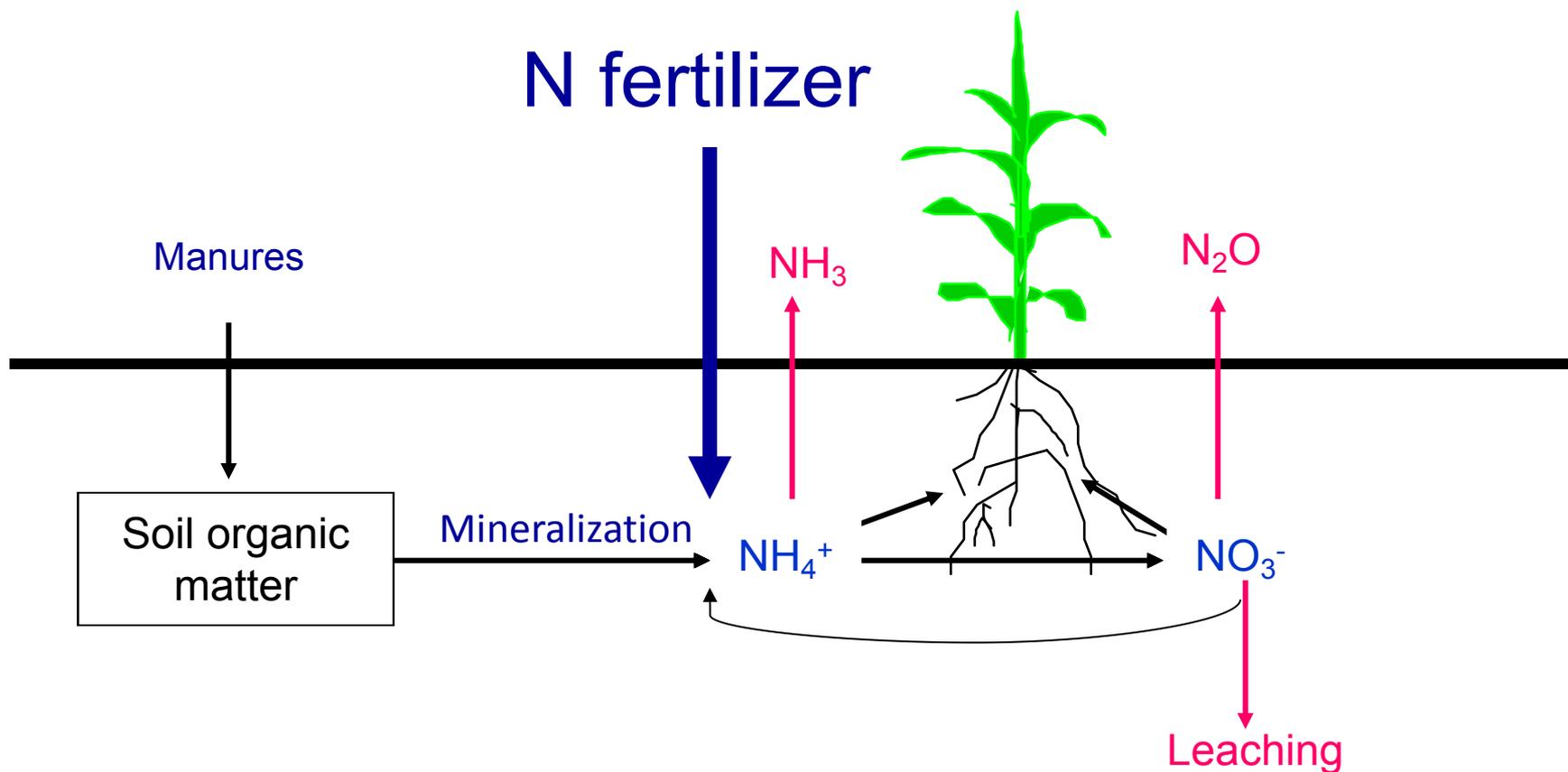


图 2. 1910-2010年间我国大陆活性氮数量、比例的变化  
(Cui et al, PNAS, 2013)

# 三、原因及对策

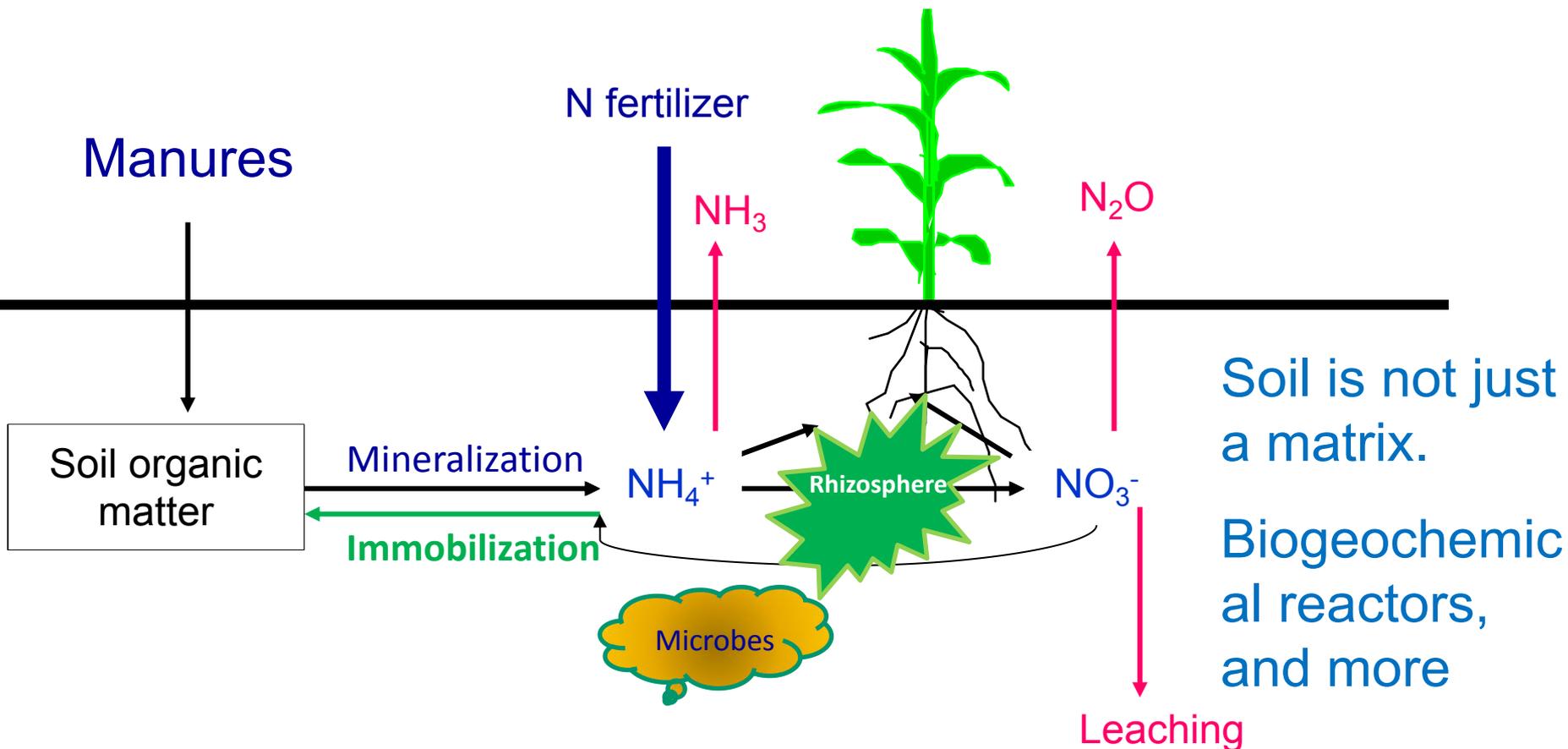
## 1、大量施用化肥，忽视了土壤碳氮等元素平衡



# 农田生态系统=

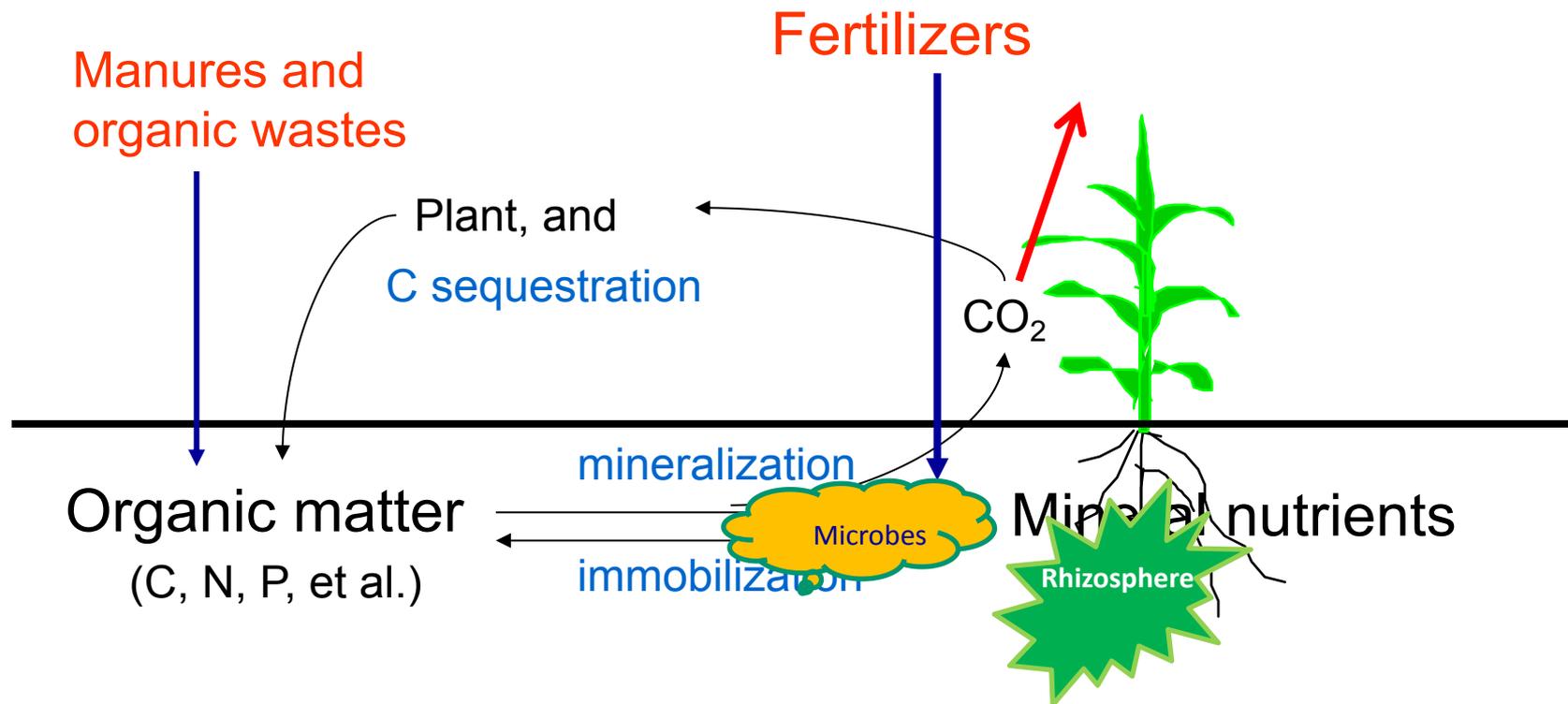


“土壤+植物+肥料+根际+微生物”



有机物特别是有机碳源在调控土壤微生物种类及活性等方面具有重要作用

# 对策：农田养分综合调控



◆ 土壤-植物-肥料-微生物综合调控

◆ 元素平衡(化学计量学, **Carbon-nutrient stoichiometry**)

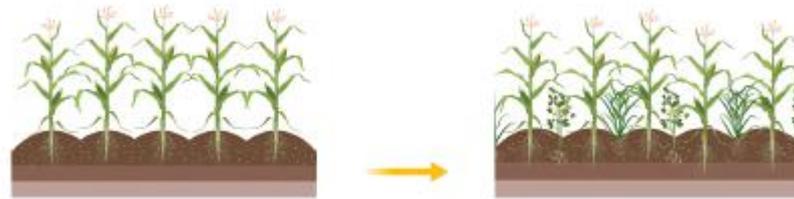
碳源供应：惰性 vs 活性

# It takes three to tango: the importance of microbes, host plant, and soil management to elucidate manipulation strategies for the plant microbiome<sup>1</sup>

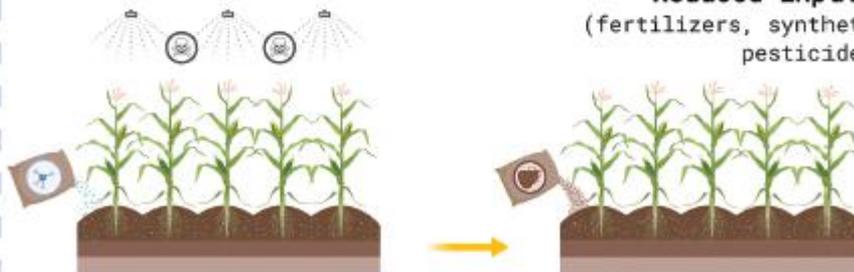
Micaela Tosi, Eduardo Kovalski Mitter, Jonathan Gaiero, and Kari Dunfield

## Manipulating the soil environment

**Crop diversification**  
(e.g., rotation, intercropping)



**Reduced inputs**  
(fertilizers, synthetic pesticides)



## 2、多重视肥料当季利用率，忽视了其累积利用率及离开田块的去向

施用氮肥当季的去向：

- ◆ 作物吸收
- ◆ 土壤残留
- ◆ 损失



田间试验

Huack (1984) Nitrogen in Crop Production, ASA-CSSA-SSSA

- 吸收50%，
- 土壤残留25，
- 损失25%



# 合理施肥情况下仍有相当一部分养分残留土壤中或发生损失

表1 肥料氮施用当季的去向

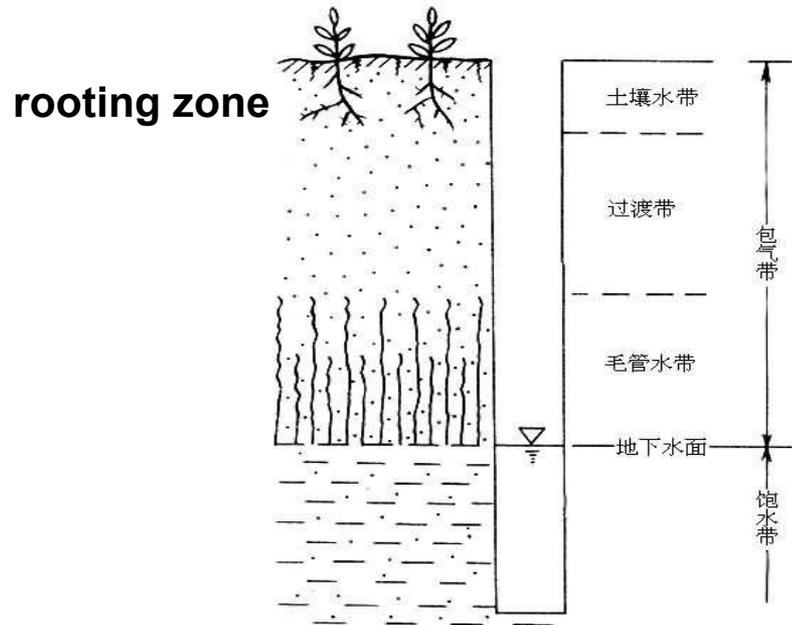
| 肥料氮去向 | Huack (1984)                               | Glendinning et al.(1997) | Sebilo et al (2013) | Ju et al (2009) | Angus (2016)   |
|-------|--|--------------------------|---------------------|-----------------|----------------|
| 吸收    | 50%  | 51%                      | 45-50%              | 18-31%          | 44%            |
| 土壤残留  | 25%  | 30%                      | 32-37%              | 22-46%          | 34%            |
| 损失    | 25%  | 19%                      |                     | 22-49%          | 22%            |
| 文献来源  | Nitrogen in Crop Production, ASA-CSSA-SSSA | Plant and Soil, 1997     | PNAS                | PNAS            | INI conference |

我国目前作物氮肥当季利用率约39.2%，未利用肥料氮去向尚未引起足够关注。

# 对策：跟踪养分如何从田块到流域

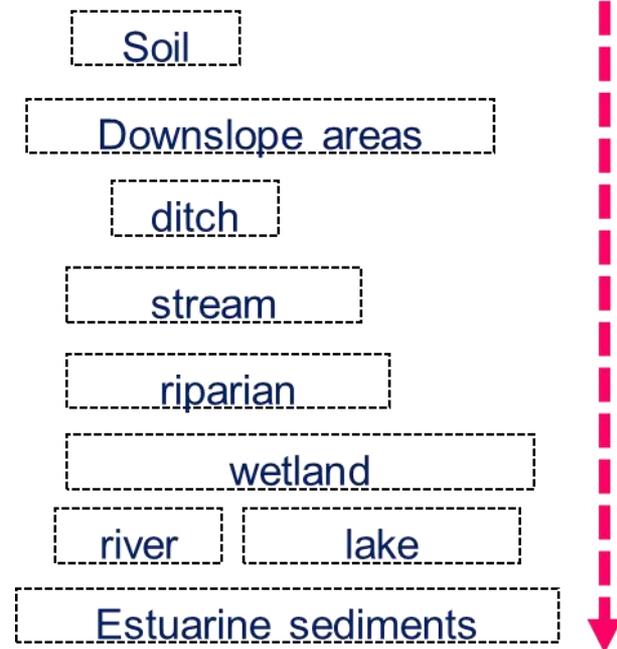
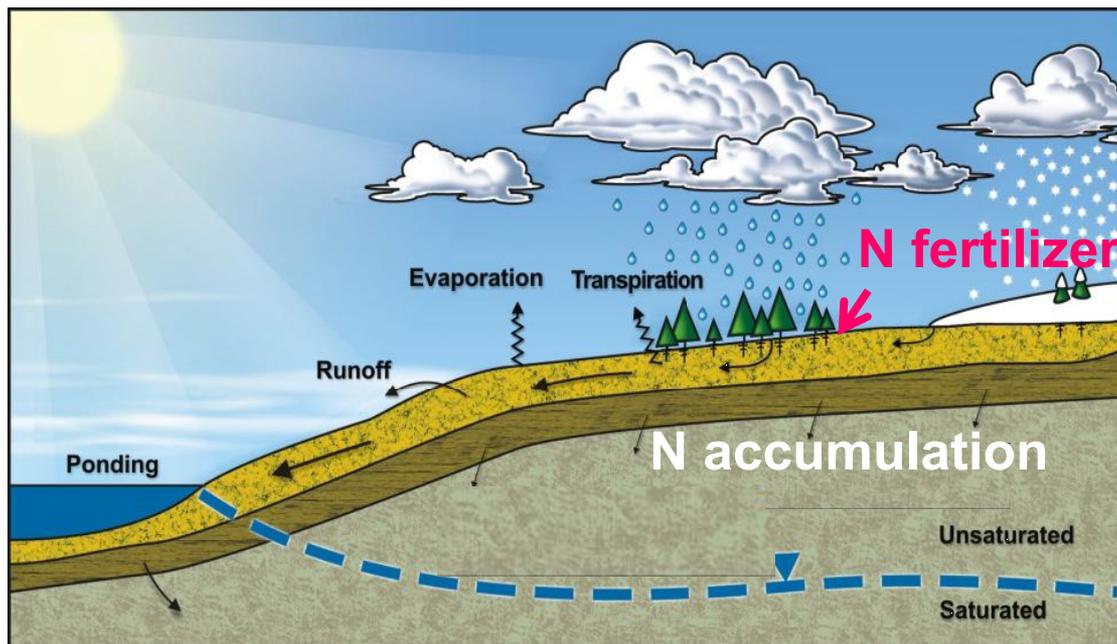
氮素离开田块的垂直路径：

包气带/Vadose zone (from the top of the ground surface to the water table):



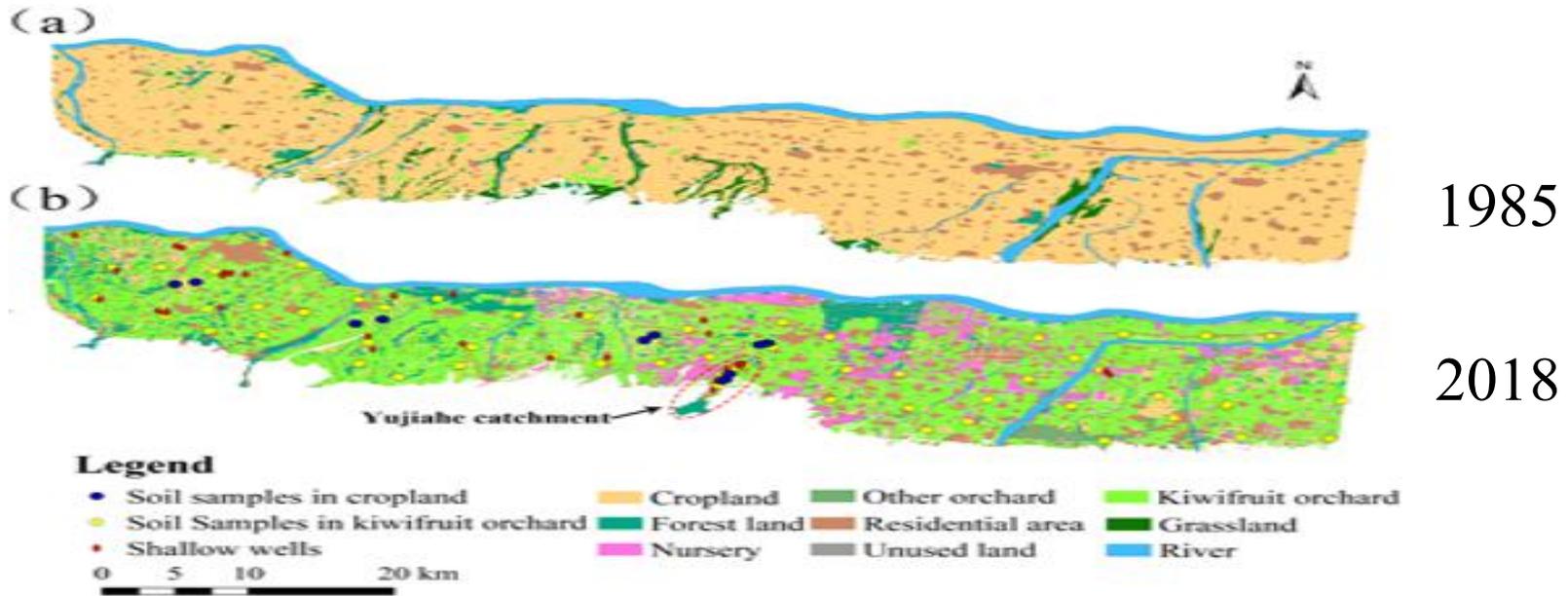
# 氮素离开田块的水平路径：

田块 → 流域 → 区域



影响因素：（气候、土壤、作物、施肥等）+ （地形、水文等）

# 实例：秦岭北麓猕猴桃主产区



## Nitrate accumulation in soil profiles (0-5 m)

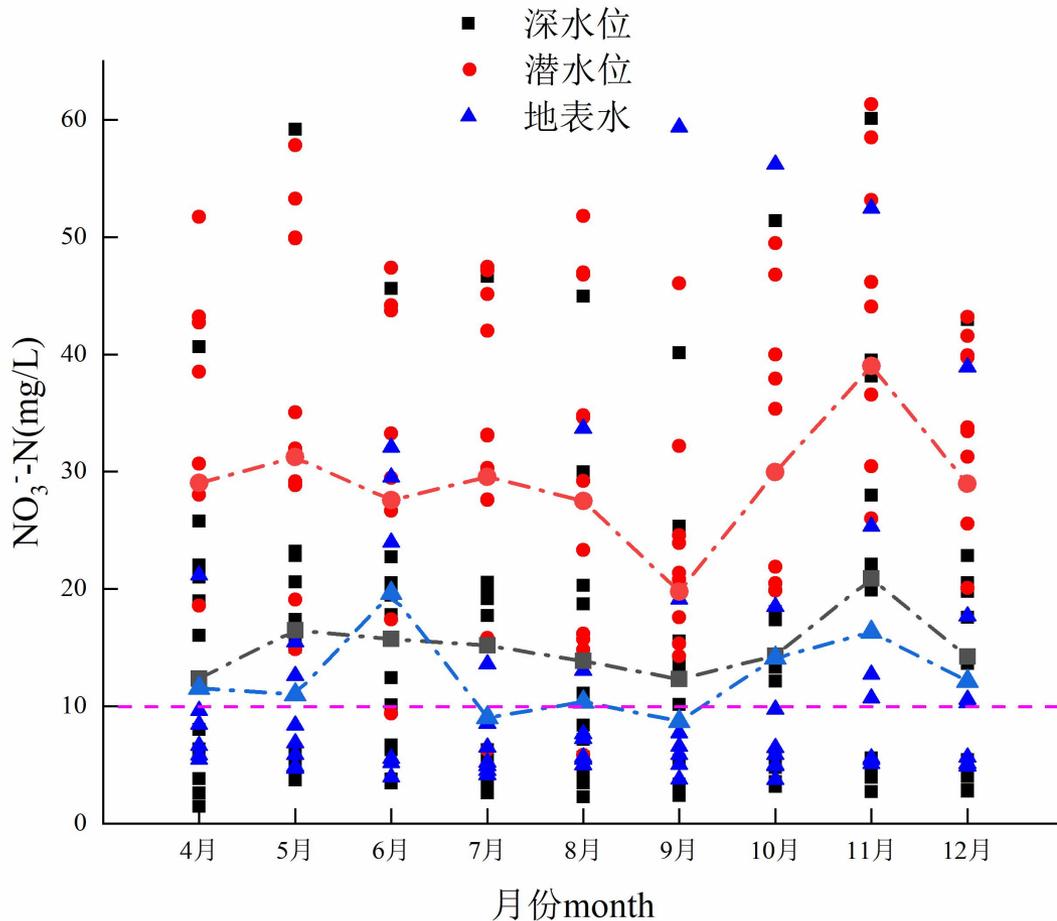


**Average = 5337 kg/ha**

Gao et al. 2019, unpublished



# 对秦岭北麓猕猴桃主产区地下水水质的影响:



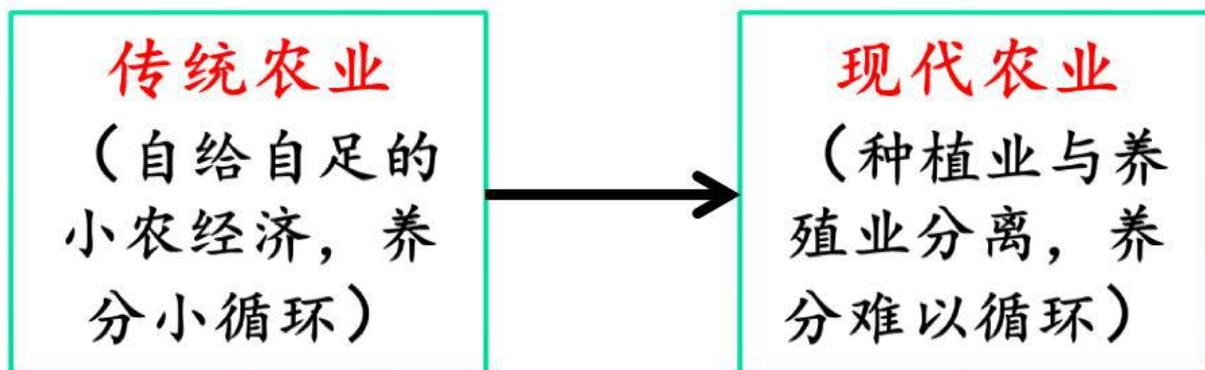
|                  | 超标率, % |
|------------------|--------|
| 地表水(n=8)         | 31.8   |
| 潜水位(n=12, 2-18m) | 93.3   |
| 深水位(n=12, >100m) | 57.4   |

王时茂等, 农业环境保护学报 (录用)

图3. 不同月份地表水、地下水硝酸盐浓度含量比较 (2019年)

### 3、种养分离及城市化发展，导致养分循环利用率低

传统农业向现代农业的发展，导致农田生态系统养分循环状况发生变化。



### 城市化发展对养分流向的影响

农产品主要流向：



# 对策：养分循环利用与管理

The fate of nitrogen used in crop production varies, with only 17 per cent consumed by humans in crops, dairy and meat products, the remainder being lost to the soils, freshwaters and the atmosphere (Leach et al, 2012)

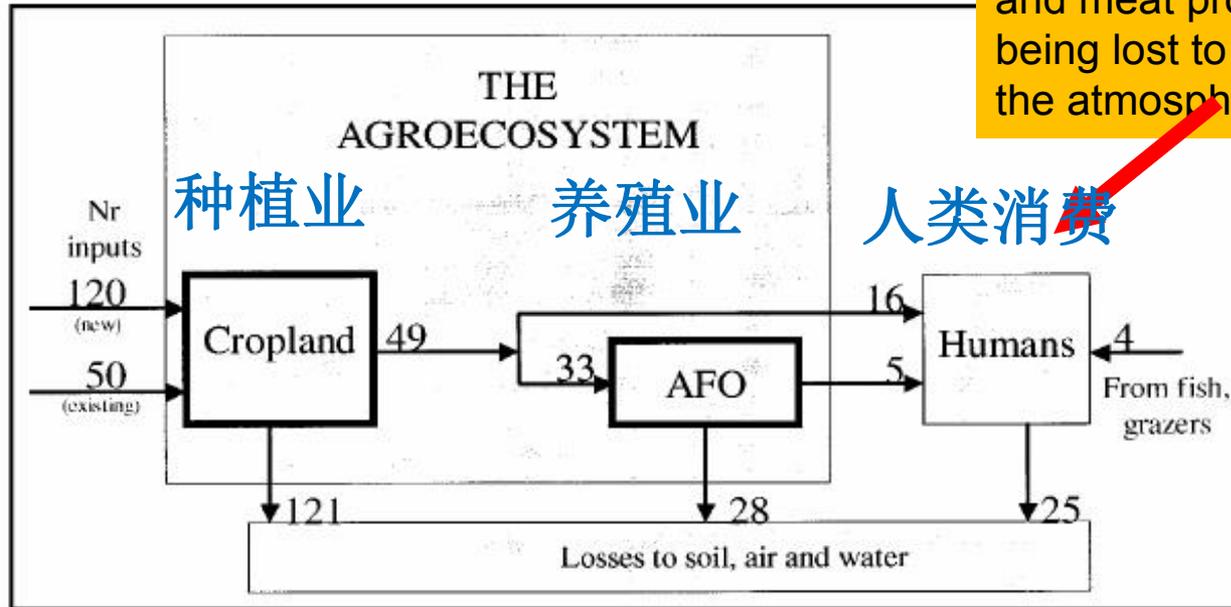


Figure 3. Major reactive nitrogen (Nr) flows in crop production and animal production components of the global agroecosystem. Croplands create vegetable protein through primary production; animal production utilizes secondary production to create animal protein. Reactive nitrogen inputs represent new Nr, created through the Haber-Bosch process and through cultivation-induced biological nitrogen fixation, and existing Nr that is reintroduced in the form of crop residues, manure, atmospheric deposition, irrigation water, and seeds. Portions of the Nr losses to soil, air, and water are reintroduced into the cropland component of the agroecosystem (Smil 2001, 2002). Numbers represent teragrams of nitrogen per year; AFO, animal feeding operations.

## 4、肥料“产-供-销-用”结合尚不够紧密



对策：科技与经济、政策等手段结合



# 五、结语

## 土壤学科发展的启示：

**1990s:** 全球气候变化（土壤固碳）

**2010:** 地球关键带

**2010s:** 土壤污染

- ◆ 拓展植物营养学学科的内涵外延？
- ◆ 培育学科新的增长点？
- ◆ 如何传播学科知识？（政策建议及科普宣传）
- ◆ 如何引导支持肥料行业健康持续发展？



# 致谢:

- \* “十三五”重点研发计划课题 (2017YFD0200106)
- \* 国家自然科学基金 (41671295, 31372137)
- \* 农业部中英农业国际合作项目
- \* 高等学校学科创新引智计划资助 (No. B12007)
- \* 陕西省农业环境保护监测站

# 谢谢!