

# 有机农业土壤氮素流失与防止措施

李志芳

(中国农业大学园艺学院, 北京 100094)

**摘要:** 根据国外资料,综述了有机农业土壤氮素流失规律与防止措施。综述指出,虽然有机农业生产方式可有效地减少氮素流失,但仍然存在流失的可能性。有机氮肥只有在微生物降解为可溶性氮素后,才能被作物大量吸收。这种降解过程是持续进行的、受诸多因素影响的。可溶性氮素流失的规律与集约农业相似,土壤可储藏氮素的观念是错误的。田间植物对氮素的吸收和合理的氮肥使用技术,可有效地减少氮素淋失。

**关键词:** 有机农业; 氮素流失; 环境保护

**中图分类号:** 文献标识码:A 文章编号:1000-0267(2002)01-0090-03

## Nitrogen Loss in Soil of Organic Agriculture and Its Control Procedure

Li Zhi-fang

(College of Horticulture, China Agricultural University, Beijing 100094, P. R. China)

**Abstract:** The present paper reviews biogeochemical cycle of nitrogen in agroecosystem. It has been emphasized that although nitrogen leaching is reduced efficiently on organic farming, a possibility of leaching losses still exists. Organic fertilizers can only be available as plant nutrient after being biological degraded by microorganisms. This degrading process is continually and influenced by a variety of factors. Leaching of soluble nitrogen in organic agriculture resembles in conventional agriculture. The concept that soil is a stable storage for nitrogen may be not acceptable while nitrogen up-taken by plants and rational organic fertilizer utilization can reduce leaching efficiently.

**Keywords:** organic agriculture; nitrogen leaching; environment protection

据报道,环境污染中 70% 的氮化合物源于农业<sup>[1]</sup>。有机农业可有效地减少可溶性氮素的淋失,但并不是没有氮素淋失的可能。有机农业氮肥的主要来源为绿肥、厩肥、堆肥和沼气残渣等。这些有机氮肥在微生物的分解作用下,成为可溶性无机氮化合物,或被作物吸收,或像无机氮肥一样的流失。而且在此分解过程中,还有  $\text{NH}_3$  和  $\text{N}_2\text{O}$  释放的可能。

有机肥一般在播种或定植前 2—3 周被施入土壤,根据土壤有机质的生物分解特点,一年中可分为三个分解时期。有机氮肥的分解速度春季低于夏秋季,冬季最慢。分解后的可溶性氮素,其淋失特性与无机氮肥相同。在生长季节多余的氮素仍会向土壤深层流失。而且在秋冬季作物收获后,由于微生物的不断分解作用,土壤中可溶性氮素仍维持在一定的水平上,造成了氮素在非生长季节淋失的可能性<sup>[2]</sup>。

然而,当采用合理施肥和可持续发展耕作方式时,可有效地减少氮素向环境流失。可持续发展耕作方式包括轮作、间作、覆盖作物、捕获作物、生态农业杂草管理措施等。合理施肥指无论有机肥还是无机肥,都应当为适合的施肥量、在适宜的生长期和气候条件下进行。在减少氮素对地下水的污染和维持农业产量双重要求下, H. Kloen and P. Vereijken (1997) 提出

生态营养管理(ENM)的概念,其宗旨为施肥既要满足作物生长的基本需求,又要维护生态系统的可持续发展<sup>[3]</sup>。

## 1 土壤可溶性氮素平衡

有机农业生态系统氮素平衡的投入在于:豆科植物对空气中氮气的生物固定、绿肥、秸秆还田、厩肥、堆肥等。

土壤氮素平衡在流出系统方面包括:植物吸收、土壤吸附、土壤微生物的固定以及其它的潜在流失,如  $\text{NH}_3$  挥发、反硝化作用产生的氧化氮气体和氮气的释放、硝态氮淋失入地下水、氨态氮与硝态氮通过地表径流流失等。

### 1.1 有机氮肥的分解

微生物对有机氮肥的分解速度取决于土壤微生物的活性和土壤理化形状,如土温、通气性、土壤含水量、土壤有机质 C/N、土壤 pH 等。在施用有机肥充足的土壤条件下,微生物通过分解土壤有机质,春季共提供每公顷 100—150 kg 的硝态氮;夏、秋季每公顷 150—250 kg,冬季每公顷 40—70 kg<sup>[4]</sup>。

#### 1.1.1 温度对有机氮肥分解的影响

在 0—40 °C 的范围内,较高的土壤温度有利于微生物对有机氮肥的分解作用;较低的土壤温度减弱土壤有机质的分解过程。如美国的阿拉斯加,绿肥的当年分解率为 25%<sup>[5]</sup>,而在热带与亚热带地区,有机肥的当年分解率为 65%<sup>[6]</sup>。

#### 1.1.2 土壤有机质 C/N 对分解速度的影响

理想的土壤有机质 C/N 重量比为 20—30:1。氮素含量较

收稿日期:2001-11-10

作者简介:李志芳(1968—),女,中国农业大学园艺学院讲师,2000年曾赴意大利地中海农学院学习有机农业。

高 (C/N <20:1) 的有机物如新鲜绿肥、动物粪便等,在生物分解时,会释放出氨气和氮化合物气体,造成氮素的流失。而且由于碳素不足,分解速度也受到影响。反之,较高的 C/N 呈现氮素饥饿,会抑制微生物的分解力,甚至土壤可利用氮素也会被微生物固。

### 1.1.3 土壤 pH 对有机质分解的作用

在未加保护的条件下,动物粪便中 40%—50% 的有机氮将以  $\text{NH}_3$  的形式流失,进入空气中。较高的土壤 pH (超过 8.5) 和温暖的条件下,将有更多的  $\text{NH}_4^+$  转变为  $\text{NH}_3$ , 流入空气中<sup>[7]</sup>。

### 1.1.4 土壤含水量与通气性对有机质分解的影响

土壤好氧微生物在 60% 的土壤相对湿度下活性最高。有研究表明,在干旱季节经过适当的灌溉或适量的雨水,5—7 d 内表层土壤 (0—20 cm) 的可溶性氮素含量将加倍<sup>[4]</sup>。水分过多,会影响好氧微生物对有机质的分解作用。

在有机氮肥的生物降解过程中,  $\text{NO}_2^-$  在土壤中将很快转变为硝态氮和氮气。若在此过程中,缺少氧气和温度较高的土壤条件,  $\text{NO}_2^-$  就将转变为氮化合物气体,释放进入大气中<sup>[8]</sup>。

## 1.2 土壤氮素的淋失与作物吸收

不同地域的研究结果表明,耕作层硝态氮氮素的存在,是氮素淋失的先决条件;土壤被作为氮素的储藏场所是不正确的。有机氮肥经过微生物分解为可溶性氮肥后,除了被作物吸收,土壤吸附的硝态氮为每公顷 10—20 kg, 其中 5% 为微生物固定,其余全部进入环境。一般来说,经过整个冬季的微生物降解作用和淋失作用,大部分作物收获后残留在土壤中的氮素流出国作层。在 E. Scheller and H. Vogtmann 1995 年的实验中发现,作物收获后滞留在田间的、经微生物整个冬季分解的硝态氮为 73 kg, 次年春季几乎全部流失出根际<sup>[9]</sup>。

### 1.2.1 影响氮素淋失的因素

影响氮素淋失进入环境的关键因素之一,是耕作层土壤可淋失氮素的含量。可淋失氮素指土壤中多余的、作物吸收后剩余的可溶性氮素。

此外,氮素淋失取决于土壤含水量、土壤持水力、土壤水传导性和土壤溶液浓度差的影响。这一过程可用数学式 (Darcy's 公式) 表达:

$$q = -K(h) * \delta H / \delta Z$$

式中:  $q$  为两点之间氮素流动速度,  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $K(h)$  为土壤传导性,  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ; 它是土壤溶液压力差 (H) 的函数值;  $Z$  是上式中表述两点的土壤深度;  $H(H = h + Z)$  为渗透压,是两点间土壤溶液重力压力差与渗透压的和<sup>[10]</sup>。

关于土壤含水量对氮素流失的影响,有报道说,雨季中,表土 (0—20 cm) 的可溶性氮素在两周内减少 50%—70%, 可见土壤含水量对氮素淋失的影响是巨大的。另一个重要因素是土壤水传导性,决定于土壤质地和土壤结构等物理形状。

### 1.2.2 作物吸收和氮素淋失

有机农业氮肥淋失显著减少的原因在于: ①氮肥以绿肥、厩肥和堆肥的形式供应,需要微生物的降解过程,这一过程使土壤可溶性氮素的含量维持在一定的水平,又没有短期内大量的可淋失氮肥的积累;②有机农业土壤有机质含量明显高于集

约化农业,其土壤持水力强于贫瘠土壤,具有较好的保肥性;③合理的轮作体系与覆盖作物、捕获作物的栽培,吸收了大部分的土壤可溶性氮素。

作物对氮素的吸收,取决于作物的生长需要和土壤氮素的供应。

土壤含氮量的提高有利于作物生长,但多余的氮肥不会被作物吸收,成为可淋失氮素。土壤氮素含量、作物吸收量、流失氮素的量之间的关系如图 1。

图 1 土壤可溶性氮含量与氮素流失、氮素植物吸收之间的关系。

Figure 1 Relationship between contents of soluble nitrogen, its loss from soil and uptake by plants

在图 1 中,随着土壤氮素含量的升高 (水平实线 B), 作物对氮素的吸收也在一定范围内增加,超出这一范围,氮素的增加对作物氮素吸收的影响越来越小 (实线曲线 D)。而氮素流失的量则越来越大 (虚线曲线 C)。虚水平线 A 为氮素不造成环境危害的、可施用氮肥量的最大限度。

### 1.2.3 影响作物对氮素吸收的因素

决定限制因子理论: 决定限制因子为影响作物氮素吸收的各因子中,起决定作用的因子。B. H. Janssen and F. C. T. Guiking (1990) 指出: “在众多的限制因子中,当某些因子的量相对高于其它因子时,作物对营养元素的吸收取决于最低供应量的因子,而其它因子的相对较高供应量则不能被全部利用。”这样在养分供应不平衡的情况下,作物吸收养分的量取决于最小供应量的营养元素因子,其它非决定限制因子营养元素则不能充分利用,在实践中造成可溶性营养元素的流失。

土壤水供应: 在水分胁迫情况下,作物对氮素的吸收减少 30% 以上<sup>[3]</sup>,甚至由于干旱而失去生命力。适宜的水分供应,在不增加可溶性植物营养元素淋失的前提下,有利于提高作物的吸收能力。灌溉方式以滴灌好于喷灌,喷灌好于大水漫灌。

其它因素: 在作物生长的整个过程中,不断地受到各种影响因素的胁迫,如气候变化、自然灾害、病虫害、人为管理措施等,从而影响到作物对可溶性营养元素的吸收。

## 2 减少氮素流失的措施

### 2.1 减少土壤可淋失氮素

#### 2.1.1 施肥量

氮素施用的原则为: 不造成氮素过剩、或经过其它农业措施不造成氮素对环境污染的前提下,施入有机氮素以获得适当的、可接受水平的产量。一般在氮素吸收良好的土地上,每个生长季施入的有机氮肥,折合硝态氮为每公顷 110—140 kg<sup>[7]</sup>。

#### 2.1.2 施肥时期

有机肥应在播种或定植前2—3周施入,以便有机肥与土壤充分混合,并在作物开始生长时得到有效氮素供应。此外,还应注意避免在雨季前使用氮肥。

### 2.1.3 施肥方式

(1) 沙壤土较粘壤土氮素淋失的可能性更大,沙壤土可以考虑多次施肥代替一次性施肥的方法。适宜的水管理也有利于减少氮素的流失。

(2) 有机肥的条施和穴施方法,可有效地减少作物生长前期有机肥的微生物分解速度,以及减少作物封垄前由根系空间流失的可溶性氮素。

(3) 绿肥或秸秆还田以覆盖形式代替直接施入,也可减少氮素在短期内的释放。但如果在湿润的季节,大量的绿肥覆盖会导致厌氧菌的繁殖,造成氮素的不完全硝化,释放氨气和氮氧化物气体。

(4) 绿肥含有大量的氮素营养,相对来说磷钾肥较少,施肥应注意植物营养元素包括微量元素之间的平衡。

(5) 厩肥和其它有机物堆肥,应注意腐熟后再施入土壤。

(6) 较高的C/N有利于控制微生物的发酵过程,减少可溶性氮素在短期内的释放<sup>[12]</sup>。

## 2.2 增加田间作物对氮素的有效吸收

### 2.2.1 轮作

合理的轮作体系有利于提高氮素的吸收量。HeB, J 1991年的试验中发现,“苜蓿—苜蓿—冬小麦—冬黑麦”(德国一种典型的有机农业作物栽培顺序)的轮作形式中,连续两季苜蓿作为绿肥耕翻施入土壤,在冬小麦漫长的生长前期,由绿肥耕翻后释放的氮素,远远高于对氮素的吸收,氮素流失的现象不可避免。他建议在这一时期控制绿肥的分解,或改变这一轮作方式,以春小麦或其它春季作物代替冬小麦。这样绿肥的耕翻施入,可在冬末春初目标作物播种或定植前进行<sup>[13]</sup>。

### 2.2.2 覆盖作物与绿肥

覆盖作物是人为播种的、不以收获农产品为目的的、以覆盖裸露土壤表面、减少地表径流和风蚀引起的水土流失、减少可溶性植物营养物质淋失、减少水分蒸发损失、控制杂草危害、增加土地生物产量等为目的的作物。

绿肥是指所有被直接或经过堆肥过程后施入土壤的植物残体。据报道使用绿肥的土壤比清耕的土壤有机质含量高27.6%;有效磷的含量为清耕土壤的2.2倍;有效钾的含量为清耕土壤的1.9倍。绿肥可为一年生植物,也可为二年生植物。可一种物种单作,也可几种混作。

### 2.2.3 捕获作物

当覆盖作物不与目标作物间作,而是在目标作物收获后栽培,被称为捕获作物。指捕获土壤中可溶性植物营养元素、减少其流失。

### 2.2.4 杂草

有机农业观点认为,杂草可为有害生物提供栖息地,并在植物营养与水资源方面成为目标作物的竞争者。但同时,在对目标作物不造成危害的情况下,适量的杂草覆盖土壤可减少水土流失。还可作为绿肥施入土壤,而且杂草也为有益生物提供

了栖息地。

## 3 结论与讨论

氮肥的供应和氮素的流失是农业生态系统中一个复杂的对立统一矛盾,有机氮素的供应相对于无机氮素,情况更复杂,技术要求更高。植物营养元素的生态管理是一个仍需要不断完善的系统工程。在H. Kloen en P. Vereijken's (1996)的试验中发现,当氮素为作物吸收营养元素的决定限制因子时,有40%—50%的地块在满足保护环境条件下,作物呈氮素缺乏状态<sup>[1]</sup>。

尽管有时候,有机农业的产量与集约农业的产量的差距不大,但也有有机农业产量仅为集约农业的65%的报道<sup>[5]</sup>。迄今为止,有机农业能否解决全球的粮食问题仍没有可靠的答案。但为了食品的安全性和人类的可持续发展,有机农业或其它的低投入农业必将是未来农业的主流。

### 参考文献:

- [1] Duxbury J M and Rolston D E (eds.). *Agriecosystem Effects on Radioactively Important Trace Gases and Global Climate Change* [M]. USA, Spec. Pub. no. 55. 1993. 1—18.
- [2] Christopher Stopes and Lawrence Woodward. Nitrogen leaching in organic farming[J]. *IFOAM. Ecology and Farming*, January 1997. 22—25.
- [3] Kloen H, Vereijken P. Testing and improving ecological nutrient management with pilot farmers[A]. In: AB—DLO(Ed). *Progress reports of research network on integrated and ecological arable farming system for EU and Associated countries, Concerted Action AIR 3—CT920755*, Wageningen, The Netherlands, Progress Report 4: 1997, 70—84.
- [4] Koenig R T and Cochran V L. Decomposition and nitrogen mineralization from legume and non—legume crop residues in a subarctic agricultural soil[J]. *Biol Fertil Soil*, 1994, 17: 269—275.
- [5] Lewis C E, and Thomas W G. Expanding subarctic agriculture: Social, political, and economic aspects in Alaska[J]. *Interdispl Sci Rev*, 1982, 7: 178—187.
- [6] Hagedorn F, Steiner K G, and Sekayange L, et al. Effect of rainfall pattern on nitrogen mineralization and leaching in a green manure experiment in South Rwanda[J]. *Plant and Soil*, 1997, 195: 365—375.
- [7] Laegreid M, Bockman O C and Kaarstad E O. *Agriculture, Fertilizers and the Environment* [M]. UK, CABI Publishing, Oxon 1999.
- [8] Linn C M and Doran J W. Aerobic and anaerobic microbial populations in no—tilled and ploughed soils[J]. *Soil Sci Soc Am J*, 1984, 48: 794—799.
- [9] Scheller E and Vogtmann H. Nitrogen Leaching in Ecological Agriculture[M]. American. Academic Publishers, 1995 A B 91—102.
- [10] Ragab R. Modelling soil water and solute transport[A]. In: Sustainable use of non conventional water resources in the Mediterranean region. Atef Hamdy (Ed). Advanced course organised by EU—DG I, ICAR—DA, CIHEAM/MAI. B, Bari Institute, Aleppo Syria, April 18—30, 1998. Italy. CIHEAM/MAI. B, Bari Institute Italy. 657.
- [11] Scholefield D, Tyson K C, Garwood E A, et al. Nitrate leaching from grassland lysimeters: effectors of fertilizers input, field drainage, age of sward and patens of weather[J]. *Journal of Soil Science*, 1993, 44: 601—603.
- [12] Plam C A and Sanchez P A. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as effected by their lignin and polyphenolic content[J]. *Soil Boil Biochem*, 1991, 23(1), 83—88.
- [13] Watson C A, Stopes C & Philipps L. Nitrogen cycling in Organically managed crop rotations: importance of rotation design. *American, Soil Use & management*. 1998. 361—371.