

华中地区两种典型菜地土壤中氮素的矿化特征研究^①

赵长盛, 胡承孝*, 黄 魏

(华中农业大学微量元素研究中心, 资源与环境学院, 农业部长江中下游耕地保育重点实验室, 武汉 430070)

摘 要:以华中地区两种典型的菜地土壤——黄棕壤和潮土为研究对象, 利用室内连续培养试验研究了菜地土壤氮素的矿化规律和矿化特征。结果表明, 黄棕壤和潮土氮素的矿化以硝态氮量较多, 铵态氮较少。两种土壤的矿化速率随培养时间的延长而降低, 培养 13 周以后黄棕壤的矿化速率为 $N\ 0.13\ \text{mg}/(\text{kg}\cdot\text{d})$, 潮土为 $N\ 0.32\ \text{mg}/(\text{kg}\cdot\text{d})$ 。随着培养时间的延长, 黄棕壤和潮土的累计氮矿化量缓慢增长。培养结束时黄棕壤矿化量为 $N\ 68.65\ \text{mg}/\text{kg}$, 潮土矿化量为 $N\ 109.37\ \text{mg}/\text{kg}$, 分别占土壤全氮量的 24.52% 和 21.45%。黄棕壤和潮土氮素的矿化势分别为 $N\ 74.63\ \text{mg}/\text{kg}$ 和 $123.45\ \text{mg}/\text{kg}$, 分别占土壤全氮量的 26.65% 和 24.21%。

关键词:菜地土壤; 氮素矿化; 矿化速率和矿化量; 黄棕壤; 潮土

中图分类号: S15

近几十年来, 世界范围内大量氮肥的施用促进了作物产量的大幅度提高, 给农业生产带来了巨大的经济效益, 但由于实际生产中极少考虑土壤的供氮能力, 盲目大量施用氮肥, 导致了众多环境问题^[1-2]。有研究表明, 在大量施用氮肥的情况下, 作物中积累的氮素仍约 50% 来自于土壤, 有些则高达 70% 以上^[3], 而自然植被所需氮素主要依赖于土壤供给。因此, 研究农田土壤氮素矿化是了解土壤的供氮能力及拟定合理施氮量的主要依据, 亦是土壤生态系统中氮素循环与平衡研究的重要组成部分。

土壤中的氮大部分以有机态的形式存在, 约占全氮的 85%~95%, 有机态氮素一般不能被植物直接利用, 只有在适宜的条件下, 经过微生物分解, 才能转化成容易被植物吸收利用的矿物氮, 这一过程被称为土壤的矿化作用。由于氮素是植物生长所必需的营养元素之一, 氮肥的有效性往往决定了土壤-植物系统的生产力, 因此土壤氮素的矿化对生态系统中氮肥有效性起着非常重要的作用^[4]。

现阶段关于土壤氮素矿化的研究主要集中于玉米、小麦、水稻等栽培土壤^[5-8], 而农田土壤氮素矿化及供氮能力不能直接应用于菜地土壤, 指导菜地土壤氮肥的科学施用。本试验中利用室内培养试验对土壤进行连续培养, 研究了土壤氮素矿化势和矿化速率, 得出了土壤氮素的矿化速率, 分析了两种土壤的

矿化规律, 为菜地土壤氮肥的平衡施用提供理论依据。

1 实验材料与方法

1.1 供试土壤

试验土壤为黄棕壤和潮土, 分别取自于湖北省武汉市华中农业大学盆栽试验场菜地($30^{\circ}28'5.87''\ \text{E}$, $114^{\circ}21'8.34''\ \text{N}$)和荆州市江陵区菜地($30^{\circ}10'9.41''\ \text{E}$, $112^{\circ}22'3.23''\ \text{N}$)。

土壤理化性质以常规方法测定。其中, 土壤总有机碳采用重铬酸钾容量法测定; 全氮采用浓硫酸双氧水消化, 流动注射分析仪(FIAstar 5000, FOSS, 丹麦)测定; pH 值用电位法测定。水样中硝态氮, 铵态氮采用流动注射分析仪(FIAstar 5000, FOSS, 丹麦)测定, 试验均设置 3 个重复, 供试土壤主要理化性质见表 1。

1.2 间歇淋洗好气培养试验

蔬菜种植前, 在华中农业大院内菜地和荆州市江陵区菜地分别多点采集 0~20 cm 黄棕壤和潮土, 除去根茬后过 5 mm 筛, 风干, 过 20 目筛备用。采用 Standford 的间歇淋洗好气培养法^[9], 称取 50 g 土壤和 50 g 石英砂(1~2 mm)置于研钵中, 加少量蒸馏水(5 ml), 湿润后充分混匀, 使形成结构良好的砂土混合物; 然后小心转移到预先装有一个玻璃珠和 100 g 石英砂, 且垫有 2 层 200 目纱网的自制漏斗中(用

基金项目: 农业部“948”项目(2003-Z54)、山东省科学院博士基金项目(科基合字(2010)第 20 号)资助。

* 通讯作者(hucx@mail.hzau.edu.cn)

作者简介: 赵长盛(1980—), 男, 山东潍坊人, 博士研究生, 主要从事菜地系统氮素运移方面的研究。E-mail: merrybanxian@yahoo.com.cn

表 1 供试土壤基本性质
Table 1 Properties of soil used in study

土壤类型	黏粒 (g/kg)	粉粒 (g/kg)	砂粒 (g/kg)	体积质量 (g/cm ³)	田间持水量 (%)	质地	pH	全氮 (mg/g)	总碳 (mg/g)
黄棕壤	260	690	50	1.30	39.6	黏壤土	5.12	0.28	8.60
潮土	130	720	150	1.23	47.7	壤土	7.71	0.51	5.38

直径 75 mm 的 PVC 管和管堵自制高 150 mm、直径 75 mm 的漏斗，管堵上开一口粘上阀门，其内铺上 2 层 200 目纱网和 100 g 石英砂，防止淋洗液直接冲击砂土混合物)。装好后轻振几下，然后用 200 ml 0.01 mol/L CaCl₂ 溶液分 4 次淋洗土壤，淋洗后加入 50 ml 无氮营养液，营养液由 0.002 mol/L CaSO₄、0.002 mol/L MgSO₄、0.005 mol/L Ca(H₂PO₄)₂ 和 0.002 5 mol/L K₂SO₄ 混合而成，多余的营养液用真空泵抽气后，用保鲜膜封口，置 35℃ 恒温培养箱中培养，于培养后 7、14、21、28、35、42、49、56、63、70、77、91 天用 0.01 mol/L CaCl₂ 如上淋洗，收集淋洗液测定其中的硝态氮和铵态氮，淋洗后加无氮营养液，抽气，继续培养。滤液用流动注射分析仪测定硝态氮与铵态氮含量，不能及时分析的滤液放在 -20℃ 冰箱中冰冻保存。无机氮以干土计算，样品测定在一个月 内完成。

1.3 土壤潜在矿化势的预测方法

Standford 和 Smith^[9]的长期间歇淋洗培养法，采用不断淋洗生成的矿质氮，在 35℃ 下培养来模拟作物吸收，所获得的累积净矿化氮量与时间的关系用一级动力学方程来描述：

$$N_t = N_0 (1 - e^{-kt}) \tag{1}$$

式中， N_t 为一段时间内累积的净矿化氮量， k 为矿化速率常数， N_0 为矿化势。矿化势是指在一定条件下，土壤氮素可释放的最大氮量。很多研究者^[10-11]用各自的实验数据对一级动力学模型进行了检验，发现其可以很好地表现土壤氮素的矿化特性，在本研究中也用该一级动力学模型来估计土壤氮素的潜在矿化势。

2 试验结果与分析

2.1 土壤中氮素的矿化速率

在本实验中，如图 1 所示，通过为期 91 天的培养，黄棕壤和潮土氮素的矿化以硝态氮量较多，铵态氮较少。黄棕壤除第一周的平均矿化率为 N 3.59 mg/(kg·d) 外，其余培养时间矿化速率均低于 N 1.19 mg/(kg·d)；潮土除第一周矿化率为 N 4.72 mg/(kg·d) 外，其余时间均低于 N 1.88 mg/(kg·d)。随着培养时间的延长，两种土壤的矿化速率明显降低，13 周以

后黄棕壤的矿化速率为 N 0.13 mg/(kg·d)，潮土为 N 0.32 mg/(kg·d)。

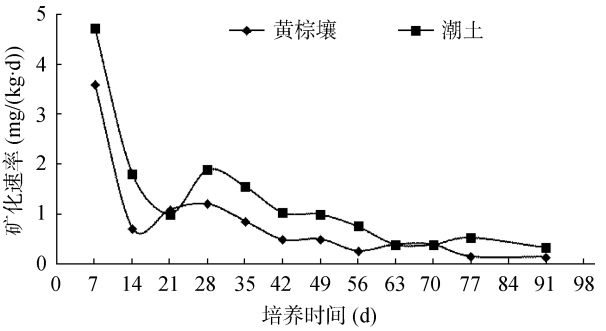


图 1 土壤矿化速率变化
Fig. 1 Changes of nitrogen mineralization rates

将本试验得到的数据与北京郊区保护地土壤矿化速率^[12]进行比较，试验区黄棕壤和潮土前 4 周矿化速率远高于京郊保护地土壤；但随着时间的推移，土壤氮素矿化率下降较为迅速，13 周后黄棕壤和潮土的矿化速率分别降为 N 0.13 mg/(kg·d) 和 0.32 mg/(kg·d)，而京郊保护地土壤氮素矿化率在 21 周后仍高于 N 0.51 mg/(kg·d)。本试验所得数据与四川农场紫色土的矿化趋势类似^[13]，这反映了南、北方菜地土壤的典型差异。

实验期间，黄棕壤和潮土的矿化速率大致可分为 3 个阶段：第一阶段为 0~28 天，黄棕壤矿化速率由 N 3.59 mg/(kg·d) 降为 N 1.19 mg/(kg·d)，潮土矿化速率由 N 4.72 mg/(kg·d) 降为 N 1.88 mg/(kg·d)。第二阶段即 28~70 天，黄棕壤矿化速率由 N 1.19 mg/(kg·d) 降为 N 0.38 mg/(kg·d)，潮土矿化速率由 N 1.88 mg/(kg·d) 降为 N 0.38 mg/(kg·d)。第三阶段即 70 天以后，试验结束时黄棕壤氮矿化速率降到 N 0.13 mg/(kg·d)，潮土氮矿化速降为 N 0.32 mg/(kg·d)。试验期间，黄棕壤和潮土的平均矿化率分别为 N 0.75 mg/(kg·d) 和 N 1.20 mg/(kg·d)。由此可见，菜地土壤氮素的矿化速率有一定的规律性，随着培养时间的延长，矿化速率逐渐降低。

2.2 土壤氮素的矿化量

由图 2 可以看出，随着培养时间的延长，不同土壤氮素的矿化表现出类似的变化趋势。培养期间，氮

素矿化量明显增加,但增幅依次减小。余烁等^[7]研究也发现,3个温度处理下,不同耕作方式土壤氮素矿化表现出相同的变化趋势:在培养前3周氮素矿化量均明显增加,但增幅各不相同,依次为:第1周>第2周>第3周。在本实验中,培养结束时黄棕壤矿化量为 N 68.65 mg/kg,潮土矿化量为 N 109.37 mg/kg,分别占土壤全氮量的 24.52% 和 21.45%,潮土矿化量高于黄棕壤。

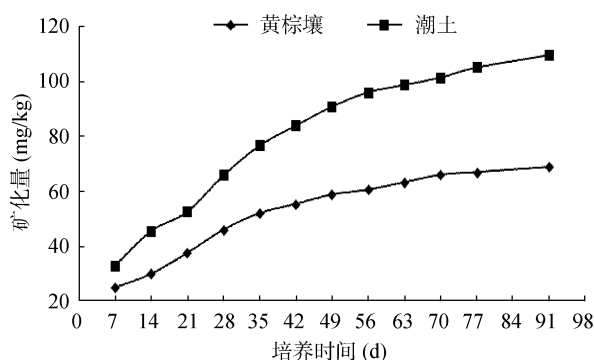


图 2 累积氮矿化量

Fig. 2 Accumulative mineralization amount of nitrogen

2.3 土壤氮素的矿化势及矿化速率常数的确定

累积矿化氮量(N_t)与培养时间(t)的关系如图 2 所示,培养期间,土壤氮素矿化速率随时间的延长而减慢。这一曲线在培养初期较陡,到后期逐渐平缓,可以直观地反映土壤的矿化特征。累积矿化氮量 N_t 与累积矿化时间 t 符合 $N_t^{-1} = a^{-1} + bt_t^{-1}$ 这一经验方程,式中的 t 为累积矿化时间, N_t 为 t 时刻的累积矿化量, a 、 b 为参数,其中 a 的意义是在该培养条件下的最大可能矿化量,又称为土壤的矿化势。一级动力学模型能很好地拟合土壤氮素矿化过程,即可以假设土壤氮的矿化速率与土壤中可矿化氮量呈一次比例关系,比例常数为 k 。

$$dN/dt = -kt \quad (2)$$

积分得:

$$N_t = N_0 (1 - e^{-kt}) \quad (3)$$

式中, t 为累积矿化时间, N_t 为 t 时刻的累积矿化量,可由试验求出, N_0 为 t 趋近无穷大时的 N_t ,即最大可矿化氮量,称土壤氮素矿化势, k 表示土壤氮素矿化的快慢,称土壤矿化速率常数。

N_0 与 k 是表示土壤氮素矿化特征的参数,由试验得到的 N_t 与 N_0 进行回归求取。为了求取方便,把上面的积分式 $N_t = N_0 (1 - e^{-kt})$ 转化为对数形式:

$$\ln (N_0 - N_t) = \ln N_0 - kt \quad (4)$$

N_0 和 k 值求取的具体过程参考陈家宙等^[14]的试验方法:

由 a 值作为 N_0 的初始值估计计算 $\ln (N_0 - N_t)$, 与 t 进行一元线性回归求得回归方程 $\ln (a - N_t) = \ln N_0 - k_1 t$, 由此得到 N_0 与 k 新的估计值 N_{01} 与 k_1 ; 继续进行回归得到 N_0 与 k 的又一新估计值 N_{02} 与 k_2 , 重复上述步骤 50 次, 得到 50 组 N_0 与 k 的估计值。在这 50 组估计值中选择由回归方程求取的 N_t 与实测的 N_t 的残差平方和最小的一组作为优先出来的 N_0 与 k 值, 即比较 50 组 $\sum (N_t - N_{t'})^2$ (N_t 在此代表的是每组估计值中求取的 N_t)。

由一级动力学函数计算,黄棕壤和潮土氮素的矿化势分别为 N 74.63 mg/kg 和 123.45 mg/kg, 分别占土壤全氮量的 26.65% 和 24.21%。

3 讨论

氮素在农业生态系统的养分循环中很重要,常把土壤氮矿化速率作为生态系统中氮有效性和氮损失的指标。在本实验中,黄棕壤和潮土氮素的矿化以硝态氮量较多,铵态氮较少,这可能是因为矿化过程中产生的铵态氮极不稳定,能迅速转化为硝态氮。长期培养过程中,菜地土壤氮素的矿化速率有一定规律性,随培养时间的延长而逐渐降低。马兴华等^[15]在对湖南、湖北和山东典型植烟土壤氮素矿化的研究中也发现,在培养前期,土壤氮素矿化速率为正值,表现为氮的矿化;在培养 28 天后,各阶段的土壤氮素矿化速率为负值,表现为氮的固定。

试验培养结束时,黄棕壤的矿化量为 N 68.65 mg/kg,潮土的矿化量为 N 109.37 mg/kg,分别占土壤全氮量的 24.52% 和 21.45%。潮土的矿化量高于黄棕壤,这可能是因为潮土 pH 值高于黄棕壤,而土壤中氮素矿化与 pH 值关系密切,低 pH 值能显著降低土壤氮素的矿化量;同时,潮土有机质含量高于黄棕壤,而土壤中氮素的矿化量主要来源于有机质的矿化,有机质的含量对土壤的矿化量有显著作用。试验期间黄棕壤和潮土的平均矿化率分别为 N 0.75 mg/(kg·d) 和 1.20 mg/(kg·d),这可能与潮土有机质含量较高有关。余烁等^[7]和李辉信等^[16]研究也发现,土壤矿化速率与土壤有机质含量呈显著正相关,这表明土壤有机质对土壤矿化量和矿化速率有重要影响。

李辉信等^[16]在南方的旱地土壤矿化的研究发现,旱作土壤的矿化量为 N 9.26 mg/kg,占土壤全氮量的 1.87%。刘晓宏和郝明德^[17]的矿化培养试验表明,粮饲豆 4 年轮作土壤的矿化量为 N 11.5 ~ 40.1 mg/kg,玉米连作土壤的矿化量为 N 14.2 ~ 59.4 mg/kg,红豆草与小麦连作 3 年土壤的矿化量为 N

14.0 ~ 54.2 mg/kg。白优爱等^[18]的菜地土壤矿化实验表明,菜地 0 ~ 30 cm 土壤的矿化量为 N 55.0 ~ 76.5 mg/kg。李俊良等^[19]在试验中,假定不施氮处理的氮素表观损失率为 0,计算出大白菜生长季节土壤氮的表观矿化量为 N 193 kg/hm²。由此可见,种植蔬菜土壤的矿化量大于种植粮食作物的,这可能是由于土壤利用方式的不同所致。

土壤氮素矿化是微生物驱动的生物化学过程,不仅与有机氮源的多少有关,而且受多种因素的影响^[10]。预测氮素矿化的方法有很多种,但 Standford 和 Smith^[9]提出的土壤氮素矿化的概念和方法,在预测旱地土壤供氮潜力方面得到了普遍的应用^[10,20-21],该法以培养实验得到的数据为基础,依据一级反应动力学方程估算土壤氮素矿化作用的两个基本参数——土壤氮素的矿化势 N_0 和矿化速率常数 k 。在本试验中,潮土的矿化势和矿化速率常数高于黄棕壤,这与陈家宙和丘华晶^[14]的研究相似。潮土和黄棕壤的矿化势分别占土壤全氮量 26.65% 和 24.21%,这与王湧清等^[21]等的研究结果相比稍小。

土壤有机质通过参与分解微生物释放出氮素影响有机氮的矿化,土壤氮素矿化与碳氮比呈现负相关,一般如有机质 C/N 大于 30,则其矿化作用的最初阶段就不可能对植物产生供氮,反而使作物缺氮现象更为严重;但是如果有机质 C/N 比值小于 15,微生物就会分解释放出氮素供作物利用。本试验中黄棕壤与潮土的 C/N 分别为 9.88 和 4.17,因而出现在潮土的矿化势高于黄棕壤的现象。

4 小结

间歇淋洗试验结果表明,随着培养时间的延长,黄棕壤和潮土累计氮矿化量缓慢增长。培养结束时黄棕壤矿化量为 N 68.65 mg/kg,潮土矿化量为 N 109.37 mg/kg,分别占土壤全氮量的 24.52% 和 21.45%。试验期间黄棕壤和潮土的平均矿化率为 N 0.75 mg/(kg·d) 和 1.20 mg/(kg·d)。

参考文献:

- [1] 赵其国. 现代土壤学与农业持续发展[J]. 土壤学报, 1986, 33(1): 1-11
- [2] 李树军. 浅谈氮肥在农业生产中的作用及当前存在的问题[J]. 黑龙江农业科学, 2010(1): 41-44
- [3] 朱兆良. 土壤氮素 // 熊毅, 李庆逵. 中国土壤[M]. 北

- 京: 科学出版社, 1988: 464-486
- [4] 王艳杰, 邹国元, 付桦, 刘宏斌. 土壤氮素矿化研究进展[J]. 中国农学通报, 2005, 21(10): 203-208
- [5] 沈玉芳, 李世清, 邵明安. 半湿润地区土垫旱耕人为土不同土层氮矿化的水温效应研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(1): 8-14
- [6] 周才平, 欧阳华. 温度和湿度对暖温带落叶阔叶林土壤氮矿化的影响[J]. 植物生态学报, 2001, 25(2): 204-209
- [7] 余冻, 高明, 慈恩, 王子芳, 魏朝富, 徐畅. 不同耕作方式下土壤氮素矿化和硝化特征研究[J]. 生态环境学报, 2010, 19(3): 733-738
- [8] Sitaula BK, Bakken LR. Nitrous oxide release from spruce forest soil: Relationships with nitrification, methane uptake, temperature, moisture and fertilization[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1993, 25: 1 415-1 421
- [9] Standford G, Smith SJ. Nitrogen mineralization potentials of soils[J]. Soil Science Society of America Proceedings, 1972, 36(3): 465-472
- [10] 巨晓棠, 刘学军, 张福锁. 冬小麦/夏玉米轮作中 NO₃-N 在土壤剖面中的累积及移动[J]. 土壤学报, 2003, 40(4): 538-546
- [11] Chen JZ, Qin HC. Nitrogen mineralization potentials of upland soils in central China[J]. Pedosphere, 1995, 5(2): 127-133
- [12] 孙昭荣, 刘秀奇, 杨守春. 北京降雨和土壤下渗水中的氮素研究[J]. 土壤肥料, 1993(2): 8-11
- [13] 王正银, 青长乐. 紫色土氮素矿化与作物效应的研究[J]. 中国农业科学, 1994, 1(2): 33-39
- [14] 陈家宙, 丘华晶. 用一级动力学模型研究土壤氮素矿化势 // 第六届全国青年土壤 暨首届全国青年植物营养工作者学术讨论会论文集[C]. 北京: 中国农业出版社, 1997: 117-120
- [15] 马兴华, 荣凡番, 苑举民, 刘光亮, 石屹. 典型植烟土壤氮素矿化研究[J]. 中国烟草科学, 2011(3): 105-109
- [16] 李辉信, 胡锋, 刘满强, 范晓晖. 红壤氮素的矿化和硝化作用特征[J]. 土壤学报, 2000, 37(4): 194-214
- [17] 刘晓宏, 郝明德. 添加无机氮磷与有机肥对土壤有机氮矿化的影响[J]. 中国生态学报, 2002, 10(1): 54-56
- [18] 白优爱, 巨晓棠, 陈清, 李晓林. 商品有机肥及蔬菜残体在菜地土壤中的氮素矿化研究[J]. 中国农业科技导报, 2003, 5(2): 45-49
- [19] 李俊良, 陈新平, 李晓林, 张福锁. 大白菜氮肥施用的产量效应、品质效应和环境效应[J]. 土壤学报, 2003 40(2): 261-266
- [20] 白志坚, 赵更生. 陕西省主要耕种土壤氮的矿化势[J]. 土壤通报, 1981, 12(4): 26-29
- [21] 王湧清, Nordmeyer H, Richter J. 我国黄土、褐土和潮土中氮素的矿化潜力[J]. 土壤学报, 1986, 23(1): 1-9

Study on Nitrogen Mineralization of Two Typical Vegetable Soils in Central China

ZHAO Chang-sheng, HU Cheng-xiao^{*}, JIANG Wei

*(College of Resources and Environment, Microelement Research Centre of Huazhong Agricultural University,
Key Laboratory of Arable Land Conservation (Middle and Lower Reaches of Yangtze River),
Ministry of Agriculture, Wuhan 430070, China)*

Abstract: Nitrogen mineralization of two typical vegetable soils (yellow-brown soil and fluvo-aquic soil) of central China was studied by means of indoor cultivation test. The result indicated that during mineralization of the two soils, the amount of nitrate nitrogen was more than ammonium nitrogen. The mineralization rates decreased with the culture time, after 13 weeks it decreased to N 0.13 mg/(kg·d) for yellow brown soil and to N 0.32 mg/(kg·d) for fluvo-aquic soil. The amount of accumulated mineralization increased slowly with the culture time and it was N 68.65 mg/kg for yellow brown soil and N 109.37 mg/kg for fluvo-aquic soil at the end of culture, accounting for 24.52% and 21.45% of soil total nitrogen respectively. The mineralization potential were N 74.63 mg/kg for yellow brown soil and N 123.45 mg/kg for fluvo-aquic soil, accounting for 26.65% and 24.21% of soil total nitrogen respectively.

Key words: Vegetable field, Nitrogen mineralization, Mineralization rate and amount, Yellow brown soil, fluvo-aquic soil