DOI:10.13758/j.cnki.tr.2000.04.006

红壤氮素的矿化和硝化作用特征①

李辉信 胡锋 刘满强 蔡贵信② 范晓晖
(南京农业大学资源与环境学院 南京 210095) (中国科学院南京土壤研究所)

摘 要 采用培养试验研究了侵蚀红壤,培肥后的红壤以及不同利用方式红壤氮素的矿化和硝化作用特征。结果表明,侵蚀红壤的矿化作用和硝化作用都很微弱,采用适宜的施肥措施培肥后氮素的矿化和硝化速率都有很大提高;红壤氮素的矿化和硝化速率与土壤 pH、速效磷含量和有机质含量呈显著正相关。

关键词 红壤;氮素;矿化作用;硝化作用

在陆地生态系统中,矿化作用是供给作物生长所需氮素和其它养分的关键过程[1]。红壤由于养分贫瘠,本身氮素含量较低[2,3],因此如何调控红壤氮素的矿化和硝化作用,提高红壤氮素的供应能力是红壤地区农业生产中的重要问题。关于红壤的硝化作用和反硝化作用研究有不少报道[4,5],但将矿化和硝化作用作为一个连续过程来阐明红壤氮素的矿化和硝化作用特征及其影响因素还未见报道。本文以侵蚀红壤,不同培肥措施以及不同利用方式条件下的红壤为对象,研究其氮素的矿化和硝化作用特征及其影响因素,为该地区氮肥的合理施用和红壤培肥提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 供试土样

土壤样品采自中国科学院鹰潭红壤生态试验站内连续 10 年有机无机肥比较试验[包括厩肥(施猪粪),秸杆(施稻草),无机肥 NPK]和不同无机肥比较试验(NPK,NP,NK,PK)的两组田间肥料试验小区[6]③,同时采集了试验小区附近不同利用方式的旱地土壤,并以侵蚀荒地土壤作为对照,土样均采 0~20cm 表层土壤。供试土壤基本性质见表 1。

1.2 土壤矿化率和硝化率的测定

矿化试验:称 10g 过 2mm 筛的风干土于 100ml 离心管中,按 65%田间持水量加水后,管口盖上塑料薄膜以保持土壤水分,置于 28℃培养箱中培育。石灰处理按风干土重的 2%量加入石灰石粉后加水培育。培育后定期取样测定,每次取出每个处理的 2 个离心管,加入 50ml 2 M KCl 溶液,振荡 1 小时后过滤。之后取滤液测定铵态氮和硝态氮。

硝化试验:方法同矿化试验,但每管加入含 2.5mg N 的硫酸铵溶液。尿素作为氮源时则加入 2.5mg N 的尿素溶液。

结果计算:土壤氮素矿化量:土壤培育后与培育前的矿质氮量(铵态氮与硝态氮之和)之差。土壤氮素矿化率=土壤氮素矿化量/土壤全氮量×100%。

① 由国家自然科学基金 95 期间重点项目(49631010)及国家"九五"攻关专题(96-004-03-12)资助。

② 通讯联系人。

③ 对鲁如坤先生为我们提供试验田土壤样品表示衷心感谢。

土壤硝化率:土壤加肥料培育后,其硝态氮量与矿质氮总量之比,即:NO_3^-—N/(NH_4^+—N+NO_3^-—N)× 100%。

表 1　供试土壤基本性质

土样号	土壤来源	处理	有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	速效磷 (mg/kg)	pH (水提)
1	有机无机肥比较试验	无机肥(NPK)	9.6	0.72	36.9	6.6
2	有机无机肥比较试验	厩肥	16.9	1.17	188.6	6.7
3	有机无机肥比较试验	秸杆	14.0	0.89	34.0	6.7
4	不同无机肥比较试验	NPK	8.8	0.62	18.3	5.3
5	不同无机肥比较试验	NP	8.3	0.64	37.9	6.0
6	不同无机肥比较试验	NK	7.3	0.51	1.4	4.9
7	不同无机肥比较试验	PK	9.0	0.61	34.1	6.7
8	试验田附近荒地		11.8	0.66	0.7	4.6
126	旱作农田		6.7	0.49	2.2	5.0
129	桔园		14.6	0.82	6.3	4.8
132	茶园		18.6	1.04	3.1	4.6

2　结果和讨论

2.1　红壤氮素的矿化作用及影响因素

土壤氮素的矿化与土壤氮素的供应密切相关。土壤氮素的矿化量,是土壤有机氮的含量、生物分解性、矿化的水热条件和时间等的函数[7]。用培养试验研究土壤氮素的矿化量时,一般以培养后矿质氮的增量作为矿化量的量度。

表 2　不同培肥措施和利用方式对土壤氮素矿化作用的影响(培育 4 周)

土样号	土壤来源	处理	矿化量(mg/kg)	矿化率(%)	硝化率(%)
1	有机无机肥比较试验	无机肥(NPK)	12.6	1.75	90.8
2	有机无机肥比较试验	厩肥	28.8	2.46	94.1
3	有机无机肥比较试验	秸杆	18.4	2.07	94.1
4	不同无机肥比较试验	NPK	9.21	1.49	49.0
5	不同无机肥比较试验	NP	7.62	1.19	80.9
6	不同无机肥比较试验	NK	3.26	0.64	9.9
7	不同无机肥比较试验	PK	7.87	1.29	80.3
8	试验田附近荒地		1.15	0.17	1.7
126	旱作农田		9.26	1.89	−0.9
129	桔园		14.4	1.76	4.7
132	茶园		16.1	1.55	5.4

表 2 的结果表明,侵蚀红壤(荒地)的矿化作用很弱,其矿化率显著低于各种培肥措施和利用方式的旱地土壤。培育 4 周后荒地的矿化率低于 0.2%,而施用有机肥或无机肥多年培肥后的土壤,除不施磷肥(NK)处理外,其矿化率有相当大程度的提高,培育 4 周后的矿化率都在 1.1%以上,最高的为施厩肥培肥的土壤,其矿化率达 2.46%(表 2,图 1)。3 种不同利用方式的旱地红壤矿化率也达 1.55%以上。

在等氮量条件下，施用有机肥处理比无机肥处理的土壤全氮含量高（表 1），而土壤氮素矿化量高得更多（表 2）。例如，厩肥处理土壤全氮含量（1.17g/kg）比无机肥 NPK 处理（0.72g/kg）高 1.6 倍，而培育 4 周后的矿化量前者（28.8mg/kg）比后者（12.6mg/kg）高 2.3 倍（表 2）。厩肥处理土壤氮素矿化量还大于秸杆处理。看来，施用有机肥一方面改善了土壤物理化学性质，另一方面促进了微生物活性的提高，因而更有利于土壤有机氮的矿化。

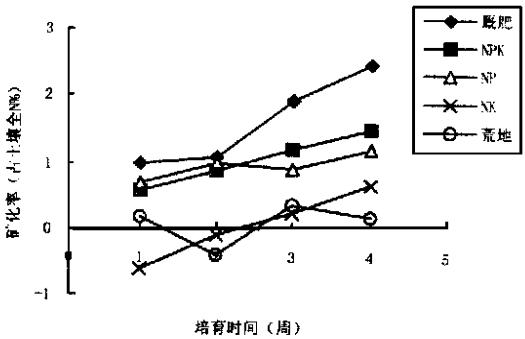

图 1 培肥措施对土壤氮素矿化率的影响

另一组比较不同无机肥处理的田间试验土壤样品，即 NPK，NP，NK 和 PK 4 种处理的土壤全氮含量相差不大（表 1），但土壤氮素矿化量差异较大（表 2），NPK 处理土壤氮素矿化量（9.21mg/kg）最高，是 NK 处理（3.2mg/kg）的 2.8 倍。不施磷的 NK 处理氮素矿化作用较弱可能与该处理土壤速效磷含量极低，pH 也低于其它处理有关。

为了判明氮素矿化作用的影响因素，进一步对 8 个土壤（7 个不同培肥处理和 1 个荒地）的氮素矿化率与土壤性质进行了相关分析。结果显示，矿化率与速效磷含量的对数呈极显著正相关（$Y=0.36\ln(x)+0.36$，$R^2=0.84$），表明土壤速效磷含量是限制土壤氮素矿化作用的重要因素。土壤氮素矿化率与土壤 pH 值的乘幂呈显著正相关（$Y=0.003x^{4.67}$，$R^2=0.71$），矿化率随 pH 值的提高迅速增加，意味着 pH 值对红壤氮素矿化作用影响很大。表 3 中 3 种不同利用方式红壤加入石灰后土壤 pH 上升了约 1.5 个单位，矿化率为不加石灰处理的 2.6～3.3 倍，证明了 pH 对红壤氮素矿化作用的巨大影响。土壤氮素矿化率还与土壤有机质含量呈极显著线性正相关（$Y=1.61x-0.15$，$R^2=0.91$）。施用有机肥对氮素矿化的促进作用，一方面是由于土壤速效磷含量和土壤 pH 的提高（参见表 1），另一方面是培肥期间新形成的土壤有机氮可能比土壤原有的有机氮更易于分解矿化。

以上结果表明，土壤酸度高（pH 低），土壤有机质和速效磷含量低是限制红壤特别是侵蚀退化红壤氮素矿化的主要因素。施用有机肥或无机肥（NPK，NP 和 PK）培肥后的红壤，土壤酸度降低而速效磷含量增高，土壤有机质含量也有所提高。因而，土壤氮素的矿化作用增强，矿化量有相当大程度的提高。

表 3 施用石灰对土壤氮素矿化率和硝化率的影响（培育 4 周）

土样号	矿化率（占土壤全 N 量%）		硝化率（%）	
	对照	加石灰	对照	加石灰
126	1.89	6.17	－0.92	96.8
129	1.76	4.49	4.65	95.9
132	1.55	4.70	5.38	97.0

2.2 红壤氮素的硝化作用及影响因素

由表 2 可见，侵蚀红壤氮素的硝化率极低，培育 4 周后荒地土壤的硝化率仅为 1.7%，3 个不同利用方式的旱地土壤的硝化率与荒地一样也很低（表 2）。然而，施用有机肥或无机肥多年培肥后的土壤（不施磷肥处理除外），其硝化率有相当大程度的提高，培育 4 周后的硝化率大多在 80%以上（表 2）。施有机肥（厩肥或秸杆）与等量无机肥 NPK 处理土壤氮素的

硝化率相差不大。但不同无机肥处理之间，土壤氮素硝化率差异明显，其中 NK 处理的硝化率仅为 9.9%（表 2，图 2）。

以往的研究资料一般认为，红壤的硝化作用较其它土壤弱得多。例如，范晓晖等的研究表明，培育 4 周后潮土的硝化率达 98%，黄泥土为 77%，而红壤的硝化率低于 5%[5]。从本实验的结果看，侵蚀退化红壤和大田旱地红壤的硝化作用较弱，但通过施用有机肥、无机肥配施及施用石灰可明显促进红壤的硝化作用。

许多研究表明，土壤 pH 是影响硝化作用的重要因素[4,8]。土壤 pH 影响硝化作用的主要原因是低 pH 限制了硝化微生物的生长。本试验也得到类似结果。相关分析表明，红壤的硝化率与土壤 pH 呈极显著正相关 $Y=41.4x-183$，$R^2=0.93$）。3 种不同利用方式的红壤施用石灰处理土壤的 pH 上升了 1.5，硝化率也有很大程度的提高（表 3），进一步证明了 pH 对硝化作用的影响，而且硝化作用比矿化作用对 pH 变化更为敏感。我们还比较了硫铵和尿素两种氮肥施入土壤后的硝化率，发现尿素的硝化率比硫铵高得多（图 3），其它研究也得到了类似的结果[9,10]。尿素水解后使土壤 pH 升高可能是促进硝化作用的原因之一，但也可能存在尿素的刺激作用[9]。

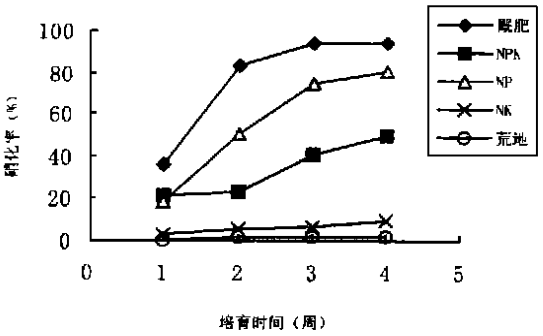

图 2　培肥措施对土壤硝化率的影响

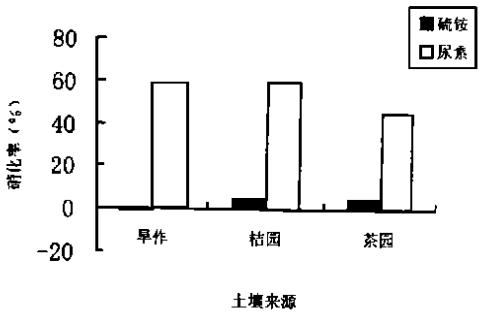

图 3　硫铵和尿素施入红壤后的硝化率

与矿化作用一样，影响土壤硝化作用的因素除土壤 pH 外，还有土壤速效磷和土壤有机质含量。对 8 个土壤（7 个不同培肥处理和 1 个荒地）进行的相关分析表明，土壤硝化率与土壤速效磷含量的对数呈显著正相关（$Y=19.3\ln(x)+8.47$，$R^2=0.90$），而与土壤有机质的幂函数呈显著正相关（$Y=55.9x^{2.17}$，$R^2=0.81$）。

对上述 8 种土壤氮素硝化率与矿化率两者进行相关分析，发现它们之间存在显著正相关关系：$Y=32.2x^{1.64}$，$R^2=0.93$。从该拟合方程可以看出，硝化率随矿化率的增加而迅速提高。土壤氮素的矿化作用与硝化作用是紧密联系的两个过程，氮素矿化作用为硝化作用提供氮源，硝化作用又促进矿化作用的进程，因而二者对各影响因素的反应有许多共性，如土壤 pH，土壤速效磷和土壤有机质含量等。但红壤氮素矿化及硝化作用的生物与生物化学过程、机理及其对氮素有效性的贡献尚需进一步研究，以便为红壤氮素肥力管理和调控提供依据。

（下转第 214 页）

(2): 220～223
3 王久志, 巫东堂. 沥青乳剂、聚乙烯醇对土壤物理性质的影响. 土壤学报, 1998, 25(3): 303～307
4 蔡典雄, 王小彬. 土壤保水剂对土壤持水特性及作物出苗的影响. 土壤肥料, 1999(1): 13～16
5 Nadler, A. 1989. Organic polyanions' effect on aggregation of structurally disrupted soil. Soil Sci. 148: 346～354
6 Cook, D. F. 1986. Effect of polyacrylamide on seedling emergence in crust－forming soils. Soil Sci. 141: 328～333
7 Wallace, A. 1986. A polysaccharide (guar) as a soil conditioner. Soil Sci. 141: 371～373

(上接第 197 页)

3 小结

侵蚀红壤氮素的矿化作用和硝化作用微弱, 一般大田旱作红壤氮素的硝化率也较低。采用有机肥、无机肥配施和补施石灰等措施后, 随红壤肥力及有机质水平的提高和土壤酸度的降低, 氮素的矿化和硝化作用明显增强, 其速率可增加数倍至数十倍。氮素矿化作用与硝化作用之间存在着密切的联系, 它们共同受土壤 pH、速效磷含量和有机质含量等的影响, 而硝化作用对土壤 pH 更为敏感。进一步摸清红壤氮素矿化作用及硝化作用的生物和生物化学过程、机理及影响因素, 通过调控这些过程提高红壤氮素供应能力和氮素的生物有效性, 是今后红壤氮素肥力可持续管理的重要研究内容。

参 考 文 献

1 胡锋, 李辉信, 谢涟琪等. 土壤食细菌线虫与细菌的相互作用及其对 N, P 矿化－生物固定的影响及机理. 生态学报, 1999, 18(6): 914～920
2 孙波, 张桃林, 赵其国. 我国中亚热带缓丘区红粘土红壤肥力的演化. 土壤学报, 1999, 36(2): 203～217
3 罗家贤, 包梅芬, 蒋梅茵等. 肥力贫瘠化红壤的特点及产生原因. 北京: 中国农业科技出版社, 红壤生态系统研究(第三集), 1995, 208～214
4 潘映华, 李良谟, 伍期途等. 不同利用方式下红壤的硝化和反硝化活性研究. 土壤, 1988, 20(4): 184～187
5 范晓晖. 我国几种农田土壤的硝化和反硝化势的研究. 中国科学院博士研究生学位论文, 1995, 29
6 鲁如坤, 时正元. 退化红壤肥力障碍特征及重建措施Ⅰ. 退化状况评价及酸害纠正措施. 土壤, 2000, 32(4): 198～200
7 朱兆良, 文启孝主编. 中国土壤氮素. 南京: 江苏科学技术出版社, 1992, 37～59
8 Sahawat, K. L., Nitrification in some tropical soils, Plant and Soil. 1982, 65: 281～286
9 Boer, W. D. et al., Urea stimulated autotrophic nitrification suspensions of fertilized acid heath soil. Soil Biol. Biochem. 1989, 21: 349～354.
10 Martikainen, P. J., Nitrification in forest soil of different pH as affected by urea, ammonium sulfate and potassium sulfate. Soil Biol. Biochem. 1985, 17: 363～367.