

菜地土壤氮素矿化和硝化作用的特征

金雪霞¹ 范晓晖^{2*} 蔡贵信² 贺发云² 李辉信¹ 黄耀¹

(1 南京农业大学资源与环境学院 南京 210095; 2 中国科学院南京土壤研究所 南京 210008)

摘要 采用培养试验对南京郊区 6 对菜地土和水稻土的土壤 N 素矿化和硝化作用特征进行了研究。菜地土为相同类型水稻土改种蔬菜约 20 年的土壤。结果表明, 培养 28 天期间, 6 对供试土壤中有 4 对土壤都是菜地土壤矿化 N 量低于相同类型水稻土, 其日矿化速率也低于相应的水稻土, 而其他 2 对供试土壤之间无明显差异。大多数菜地土的土壤硝化率低于相应的水稻土。培养 28 天时的矿化率和硝化率与土壤 pH、速效 P 呈显著相关。

关键词 水稻土; 菜地土; 矿化作用; 硝化作用

中图分类号 S155.4¹

为了解决蔬菜供求矛盾, 丰富人民的“菜篮子”, 城郊的大片粮田已逐步改为菜地。据统计, 1978 ~ 1998 年期间, 中国蔬菜种植面积扩大了将近 4 倍, 2000 年蔬菜种植面积已占农作物总播种面积的 9.7%^[1]。蔬菜生长周期短, 产出量大, 肥料施用量和灌溉量都比较高, 且次数多, 故菜地土壤养分含量比粮作土壤高^[2], 其 N 素转化过程可能也与一般粮作土壤不完全相同。矿化作用是供给作物生长所需 N 素和其他养分的重要过程, 硝化作用是 N 素转化的另一个重要过程, 硝化率是确定潜在 N 素损失的一个关键因子^[3]。关于水稻土的矿化和硝化作用研究已有报道^[4, 5], 但对水稻土改成菜地土的土壤矿化和硝化作用特征还未见报道。本文以南京郊区水稻土改种蔬菜约 20 年的菜地土为对象, 以相同类型未改的水稻土作为对比, 研究菜地土 N 素矿化和硝化作用的特征, 为该地区蔬菜 N 肥的合理施用和管理提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 供试土壤

供试土壤为下蜀黄土发育的马肝土和长江冲积母质发育的河沙土、江淤土、油沙土, 共 6 对土壤: (1) 水稻土改种蔬菜约 20 年的菜地土。(2) 相同类型未改的水稻土。土样均取自 0 ~ 20 cm 表层土壤。供试土壤的基本性质见表 1。

1.2 培养试验

1.2.1 矿化试验

称取过 1 mm 孔筛的风干土样

10.0 g 于 125 ml 的广口瓶中, 按 65% 田间持水量加水后, 盖上瓶塞以保持土壤水分, 置于 (28 ± 1) °C 培养箱中培养。3 或 4 天称重 1 次, 补加失去的水分, 通气 0.5 h。培养后每周取出每个处理的 3 个重复测定 NH₄⁺-N 和 NO₃⁻-N。

1.2.2 硝化试验

称取过 1 mm 孔筛的风干土样 10.0 g 于 125 ml 的广口瓶中, 按 65% 田间持水量加入尿素溶液 (N 200 mg/kg 土) 后, 盖上瓶塞以保持土壤水分, 置于 (28 ± 1) °C 培养箱中培养。以下步骤同矿化试验。

1.3 测定方法^[6]

土壤 NH₄⁺-N、NO₃⁻-N: 土样用 2 mol/L 氯化钾法浸提后, 用 MgO-代氏合金蒸馏法测定; 土壤 pH: 土水比 1:2.5, pH 计测定; 土壤全 N: 开氏法; 有机 C: 重铬酸钾氧化-容量法; 土壤全 P: 酸溶-钼锑抗比色法; 土壤速效 P: 碳酸氢钠法; 土壤缓效 K: 硝酸煮沸法; 土壤速效 K: 1M 醋酸铵浸提-原子吸收法。

1.4 结果计算

土壤 N 素矿化量 (N mg/kg): 土壤培养后与培养前的矿质 N 量之差^[7, 8]。

土壤 N 素矿化率 (%) = 土壤 N 素矿化量 / 土壤全 N 量 × 100%^[4]

土壤硝化率 (%) = (土壤施肥培养后 NO₃⁻-N 量 - 无肥培养的 NO₃⁻-N 量) / (施肥培养后矿质 N 量 - 无肥培养的矿质 N 量) × 100%^[7, 9]

表 1 供试土壤性质

Table 1 Soil properties

利用方式	土样号	土壤类型	采样地点	pH (H ₂ O)	全 N (g/kg)	有机 C (g/kg)	初始矿质 N (mg/kg)	全 P (g/kg)	速效 P (mg/kg)	缓效 K (mg/kg)	速效 K (mg/kg)
水稻	马 1-0	马肝土	大厂区工农村	6.74	1.22	11.9	10.3	0.50	3.78	500	99.8
蔬菜	马 1-20	马肝土	大厂区工农村	4.30	1.44	11.6	44.8	0.77	33.5	680	135
水稻	马 2-0	马肝土	栖霞区漳桥村	6.89	0.99	11.8	2.70	0.66	19.1	595	131
蔬菜	马 2-20	马肝土	栖霞区漳桥村	7.58	1.46	11.5	54.7	0.92	32.9	659	134
水稻	马 3-0	马肝土	栖霞区红梅村	6.17	0.82	11.0	2.64	0.52	7.51	406	84.2
蔬菜	马 3-20	马肝土	栖霞区红梅村	5.60	1.27	8.90	24.7	0.66	22.9	632	113
水稻	河-0	河沙土	六合区龙池村	6.95	0.54	9.40	24.9	0.70	9.73	255	65.4
蔬菜	河-20	河沙土	六合区龙池村	3.78	1.25	8.90	57.6	1.02	42.5	282	120
水稻	江-0	江淤土	雨花区农科站	7.88	0.92	13.3	3.03	0.77	8.05	401	90.5
蔬菜	江-20	江淤土	雨花区西寇村	7.03	1.31	14.2	18.0	0.86	15.5	495	129
水稻	油-0	油沙土	雨花区落星村	7.65	1.14	12.2	5.63	0.73	4.83	288	57.5
蔬菜	油-20	油沙土	雨花区落星村	6.20	1.17	11.0	19.3	0.70	30.8	420	115

注：土样号中 0 表示水稻田；20 表示水稻田已改成菜地约 20 年。

2 结果和讨论

2.1 菜地与粮田 N 素矿化过程的比较

从表 1 可知，改制 20 年菜地土的土壤全 N、矿质 N、速效 P、缓效 K 和速效 K 都明显高于相同类型的未改水稻土。与未改水稻土相比，改制 20 年菜地土土壤有机 C 无显著差异，而 6 对供试土壤中有 5 对土壤都是改制后的菜地土土壤 pH 降低。

土壤 N 素矿化是微生物驱动的生物化学过程^[10]，N 素矿化量是土壤有机 N 的含量、生物分解性、矿化的水热条件和时间等的函数^[7]。改制 20 年的菜

地土与未改的水稻土的土壤矿化 N 量随培养时间延长而变化的情况如图 1 所示。从图 1 可看出，在培养 28 天期间，马 2-20 与马 2-0 及江-20 与江-0，这 2 对土壤之间的土壤矿化 N 量无明显差异，而其他 4 对供试土壤都是菜地土的土壤矿化 N 量低于对应的水稻土。

改制 20 年菜地土与未改水稻土的土壤在不同培养期的日矿化 N 量如表 2 所示。从表 2 看出，与相同类型的未改水稻土相比，培养 0~7 天时，除江-0 与江-20 这对土壤外，其他 5 对供试土壤都是菜

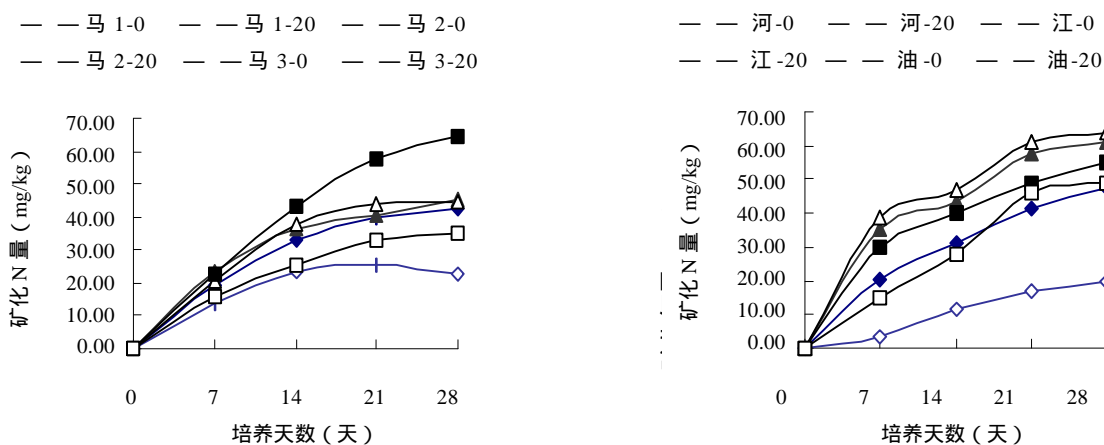


图 1 土壤 N 素矿化进程

Fig. 1 Mineralization processes of soil nitrogen

地土土壤日矿化速率低于(占 18%~88%)相应的水稻土。与相同类型的未改水稻土相比,培养 21~28 天时,6 个改制的菜地土土壤日矿化速率都较低(只占相应未改水稻土土壤日矿化速率的 14%~86%)。其原因可能有:菜地土初始矿质 N 高,随着培养时间的延长,矿质 N 的积累而抑制了矿化作用的进行,一部分矿质 N 还可能转化形成有机态 N 或被粘土矿物固定;水稻土的风干效应可能比菜地土高;菜地土的土壤 C/N(7.01~10.8)低于

相同类型的未改水稻土(9.75~13.4),C/N 太低是否不利于 N 素矿化,这有待研究。

从 N 素的矿化过程来看,随着培养时间的延长,矿化速率逐渐降低。培养 0~7 天时,除了改制 20 年的六合河沙土(河-20),其他 11 个供试土壤的日矿化速率都较培养 7~14 天,14~21 天,21~28 天时的高,而到培养 21~28 天时土壤 N 素矿化速率(0.00~1.03 mg/(kg·d))只有培养 0~7 天时速率的 3%~59%(表 2)。

表 2 土壤 N 素的日矿化速率(N mg/(kg·d))

Table 2 Mineralization rate of soil nitrogen

样品号	培养天数(天)			
	7	14	21	28
马 1-0	2.77 (0.16)	1.95 (0.27)	0.99 (0.04)	0.38 (0.05)
马 1-20	1.97 (0.07)	1.32 (0.06)	0.36 (0.04)	0.00 (0.08)
马 2-0	3.36 (0.00)	1.82 (0.04)	0.60 (0.09)	0.71 (0.06)
马 2-20	2.94 (0.08)	2.48 (0.13)	0.89 (0.13)	0.10 (0.63)
马 3-0	3.22 (0.14)	2.99 (0.22)	1.98 (0.18)	1.03 (0.05)
马 3-20	2.29 (0.06)	1.37 (0.05)	1.08 (0.04)	0.28 (0.23)
河-0	2.88 (0.03)	1.55 (0.04)	1.48 (0.06)	0.88 (0.19)
河-20	0.53 (0.03)	1.12 (0.16)	0.81 (0.01)	0.32 (0.71)
江-0	5.05 (0.02)	1.15 (0.06)	2.01 (0.07)	0.52 (0.09)
江-20	5.56 (0.06)	1.11 (0.06)	2.05 (0.24)	0.45 (0.13)
油-0	4.25 (0.07)	1.44 (0.06)	1.27 (0.10)	0.95 (0.11)
油-20	2.14 (0.09)	1.82 (0.01)	2.66 (0.02)	0.34 (0.08)

注:括号内为标准误差。

2.2 不同土壤的硝化作用

硝化作用是微生物将铵氧化为硝酸或亚硝酸的过程^[12]。普遍认为在大多数土壤中,进行硝化作用的主要是自养微生物^[13]。自养硝化细菌的最佳 pH

在 7~8 之间^[14,15],自养硝化作用在 pH 5.5~6.0 的土壤中进行较慢,在 pH 4.5~5.5 的土壤中进行非常缓慢,而在 pH 4.5 以下时,则基本上停止^[16]。本培养试验也得到了类似的结果(图 2)。

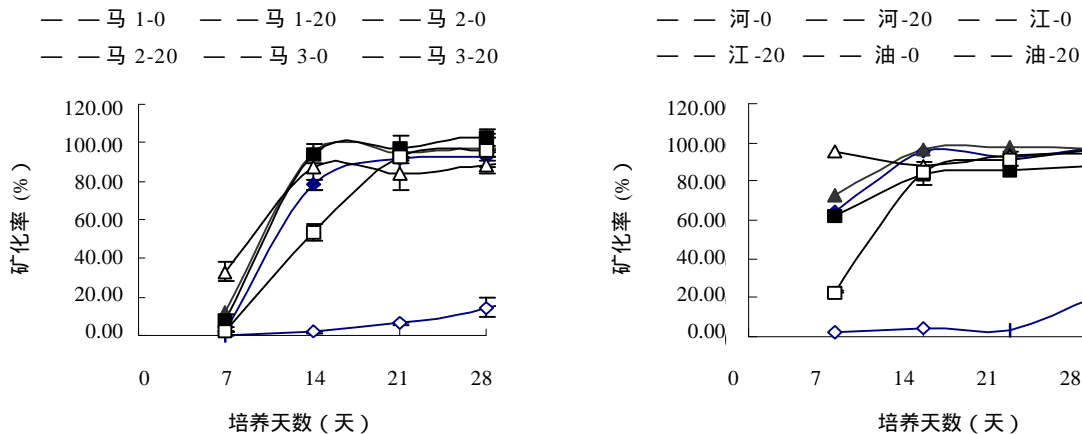


图 2 土壤中肥料 N 的硝化进程

Fig. 2 Nitrification processes of fertilizer nitrogen in the soil

从图2可看出,菜地土马1-20 (pH = 4.30) 与河-20 (pH = 3.78) 在培养14天内,硝化作用几乎不能进行,表明这两种土壤的硝化能力极低,与自养硝化菌在pH 4.5以下不能正常生长有关^[17]。马3-20 (pH = 5.60) 在培养14天内,硝化作用进行的慢。其余9个土壤均是在培养前期(0~14天)硝化率迅速增加,在培养至14~21天期间,硝化率几乎达到100%。在培养28天时,土壤pH > 5.60的土壤硝化率比土壤pH为4.30和3.48的土壤高3~6倍。

与相同类型的未改水稻土相比,改制后菜地土的硝化作用是增强还是减弱主要决定于土壤pH的变化方向和程度,土壤pH值降低幅度越大,则土壤硝化率降低越显著。如马1-0 (pH = 6.74) 与马1-20 (pH = 4.30),河-0 (pH = 6.95) 与河-20 (pH = 3.78) 相比,由于菜地土土壤pH值降低幅度较大(分别相差2.43, 3.17个pH单位),其土壤硝化率显著低于相应的水稻土。马2-0 (pH = 6.89) 与马2-20 (pH = 7.58) 相比,菜地土土壤pH值升高0.69个单位,土壤硝化率在培养前期(0~14天)高些,在培养后期(14~28天)无显著差异。马3-0 (pH = 6.17) 与马3-20 (pH = 5.60) 相比,虽然菜地土土壤pH下降不多(0.57个pH单位),但由于马3-20土壤本身pH较低,不利于土壤硝化作用的进行,故在培养7~21天内土壤硝化率较低,到培养21~28天时土壤硝化率才达到100%。油-0 (pH = 7.65) 与油-20 (pH = 6.20) 相比,菜地土土壤pH值降低1.45个单位,土壤硝化率在培养前期(0~14天)较低,在培养后期(14~28天)无显著差异。江-0 (pH = 7.88) 与江-20 (pH = 7.03) 相比,虽然菜地土土壤pH下降了0.85个单位,但土壤硝化率在培养前期0~14天反而高些,可能的原因是这两种土壤本身pH都在硝化作用最佳范围内,在这种情况下,土壤pH可能已不是影响土壤硝化作用的主要因子。

2.3 培养28天时的矿化率、硝化率与土壤基本性质的相关分析

统计分析表明,12个供试土壤培养28天时,土壤矿化率与pH呈显著正相关($y = 1.0341x - 2.094$, $R^2 = 0.3342^*$),与速效P呈极显著负相关($y = -0.1246x + 6.9208$, $R^2 = 0.5042^{**}$),与速效K呈显著负相关($y = -0.0592x + 10.806$, $R^2 = 0.4696^*$),与土壤C/N比呈极显著正相关($y = 0.682x - 2.7505$, $R^2 = 0.8939^{**}$),而SUN Hui等^[18]研究得出土壤起始

矿化率与C/N比呈负相关。土壤硝化率与pH呈极显著正相关($y = 19.024x - 39.622$, $R^2 = 0.6517^{**}$),与速效P呈显著负相关($y = -1.5536x + 112$, $R^2 = 0.4515^*$),这表明土壤pH值对硝化作用的影响较矿化作用更为明显,这与李辉信等的报道一致^[7],而速效P的变化对矿化作用的影响较大。也就是说,土壤速效P含量是限制土壤N素矿化作用的重要因素,土壤pH是影响硝化作用的重要因素^[7]。土壤矿化率与硝化率之间也存在显著正相关($y = 0.0499x + 0.4237$, $R^2 = 0.4326^*$),这表明矿化作用为硝化作用提供N源,硝化作用又促进矿化作用的进程^[7]。

3 结论

改制20年的菜地土土壤全N、初始矿质N、速效P、缓效K和速效K比未改的水稻土高,大多数菜地土pH较水稻土低。培养28天期间,6对供试土壤中,除2对土壤之间的土壤矿化N量无明显差异外,其他4对土壤都是改制后的菜地土土壤矿化N量低于相同类型水稻土,其日矿化速率也低于相应的水稻土。与相同类型的未改水稻土相比,大多数菜地土的硝化作用存在减弱趋势,土壤pH值降低幅度越大,则土壤硝化率降低越显著。土壤矿化率和硝化率都与土壤pH呈显著正相关。本文研究资料可为进一步研究菜地土壤N素转化过程和保持菜地土壤N素肥力提供参考。

参考文献

- 1 中国农业年鉴编辑委员会编. 中国农业年鉴. 北京: 中国农业出版社, 2001, 153
- 2 袁新民, 李晓林, 同延安, 张福锁. 粮田改种蔬菜后土壤剖面中水分和NO₃-N分布的变化. 见: 李晓林等主编. 平衡施肥与可持续优质蔬菜生产. 北京: 中国农业大学出版社, 2000, 283~287
- 3 Aulakh, Bijay-Singh. Nutrient losses and fertilizer use efficiency in irrigated porous soils. *Nutr. Cycl. Agroecosys.*, 1997, 47: 197~212
- 4 张树兰, 杨学云, 吕殿青, 同延安. 几种土壤剖面的硝化作用及其动力学特征. *土壤学报*, 2000, 37(3): 372~379
- 5 巨晓棠, 边秀举, 刘学军, 张福锁, 毛达如. 旱地土壤氮素矿化参数与氮素形态的关系. *植物营养与肥料学报*, 2000, 6(3): 251~259
- 6 鲁如坤主编. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业

- 科技出版社, 2000, 13 ~ 195
- 7 李辉信, 胡锋, 刘满强, 蔡贵信, 范晓晖. 红壤氮素的矿化和硝化作用特征. *土壤*, 2000, 32 (4): 194 ~ 197
 - 8 李辉信, 胡锋, 蔡贵信, 范晓晖. 红壤的供氮能力及化肥氮的去向. *土壤学报*, 2002, 39 (3): 390 ~ 396
 - 9 范晓晖, 朱兆良. 我国几种农田土壤硝化势的研究. *土壤通报*, 2002, 33 (2): 124 ~ 125
 - 10 Skjemstad JO, Vallis I, Myers RKJ. Decomposition of soil organic nitrogen. In: Wilson JR. ed. *Advances in nitrogen cycling in agricultural ecosystems*. Oxon, UK: International Wallingford, 1988, 134 ~ 144
 - 11 朱兆良, 文启孝. *中国土壤氮素*. 南京: 江苏科技出版社, 1992, 37
 - 12 Abbasi MK, Zahir Shah, Adams WA. Mineralization and nitrification potentials of grassland soils at shallow depth during laboratory incubation. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 2001, 164: 497 ~ 502
 - 13 王一明, 彭光浩. 异养硝化微生物的分子生物学研究进展. *土壤*, 2003, 35 (5): 378 ~ 386
 - 14 Focht DD, Verstraete W. Biochemical ecology of nitrification and denitrification. In: Alexander M. ed. *Advances in Microbial ecology*. New York: Plenum Press, 1977, 135 ~ 214
 - 15 Bock E, Koops HP, Harms H. Cell biology of nitrifying bacteria. In: Prosser JI. ed. *Nitrification*. Oxford: IRL Press, 1986, 17 ~ 38
 - 16 Duggin JA, Voigt GK, Bormann FH. Autotrophic and heterotrophic nitrification in response to clear-cutting northern hardwood forest. *Soil Biol. Biochem.*, 1991, 23: 779 ~ 787
 - 17 Monaghan, RM, Barraclough D. Some chemical and physical factors affecting the rate and dynamics of nitrification in urine-affected soil. *Plant and Soil*, 1992, 143: 11 ~ 18
 - 18 Sun Hui, Tang Ya, Zhao Qiguo. Nitrogen mineralization of prunings of six N₂-fixing hedgerow species in a dry valley of the Jinsha river. *Pedosphere*, 2002, 12 (1): 25 ~ 31

CHARACTERISTICS OF NITROGEN MINERALIZATION AND NITRIFICATION IN VEGETABLE GARDEN SOILS

JIN Xue-xia¹ FAN Xiao-hui² CAI Gui-xin² HE Fa-yun² LI Hui-xin¹ HUANG Yao¹

(1 College of Natural Resources & Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095;

2 Institute of Soil Sciences, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008)

Abstract Characteristics of N mineralization and nitrification in six pairs of garden soils and paddy soils gathered from the suburbs of Nanjing, were investigated in a 28-day incubation experiment. The garden soils were formerly paddy soils about 20 years ago. Results show that after 28 days' incubation, in four of the six pairs, garden soils were lower than the paddy soils in N mineralization, both quantity and rate, and the other two showed little difference. Following urea application, in 5 of the 6 pairs, garden soils were lower than paddy soils in N nitrification rate. Moreover, soil N mineralization and nitrification rates were significantly related to soil pH and soil available P content.

Key words Paddy soil, Vegetable field, Mineralization, Nitrification