

太湖地区农田土壤中铵态氮和硝态氮的时空变异

陈效民, 吴华山, 孙静红

(南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095)

摘要: 对太湖地区农田土壤 3 种主要水稻土类型: 白土、黄泥土和乌栅土在小麦和水稻生长期间土壤剖面中 NH_4^+-N 和 NO_3^--N 含量的时空变异进行了研究. 结果表明: NH_4^+-N 在 1a 中的 2 月份和 9 月含量较高; 4 月份和 11 月的含量较低. NH_4^+-N 在土壤剖面中的空间变异为土壤上层到土壤下层呈逐渐递减趋势, 以表土层含量为最高, 在 40cm 以下基本上趋于稳定. NO_3^--N 的含量低于 NH_4^+-N , 在 1a 中小麦生长季节(旱作)高于水稻生长季节(水作); NO_3^--N 在土壤剖面中的空间变异为: 旱作时的土壤表层到底层迅速下降; 但在水稻生长季节土壤剖面中表层土壤的 NO_3^--N 含量低于底层的 NO_3^--N 的含量, 出现明显的淋溶现象. 在旱作期间 NO_3^--N 随 NH_4^+-N 呈指数曲线变化, 而在水稻生长期间没有这种关系. NH_4^+-N 和 NO_3^--N 含量与土壤有机质呈显著的直线线性正相关关系. 但 NH_4^+-N 和 NO_3^--N 仅在旱作时随土壤粘粒含量和土壤 pH 值的升高而呈对数曲线下降.

关键词: 太湖地区; 农田土壤; 铵态氮; 硝态氮; 时空变异

中图分类号: X53 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2006)06-1217-06

Time-Spatial Variability of Ammonium and Nitrate in Farmland Soil of Taihu Lake Region

CHEN Xiao-min, WU Hua-shan, SUN Jing-hong

(College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: Time-spatial variability of ammonium and nitrate in soil profiles of farmland soil (three main paddy soils: White soil, Huangni soil and Wushan soil) during wheat and rice growth was studied. The results were as follows: the ammonium content was high in February and September and low in April and November in 2004. The spatial variability of ammonium content in soil profiles was gradually decreased from surface soil layer to bottom soil layer. It was stable below 40 cm. The nitrate content was lower than the ammonium content. The nitrate content of the wheat growth season (dry cultivation) was higher than that of the rice growth season (water cultivation) in a year. The spatial variability of the nitrate content in soil profiles was quickly decreased from surface soil layer to bottom soil layer during dry cultivation. But during the rice growth season, the nitrate content of the surface soil layer in soil profiles was lower than that of bottom soil layer. It was leaching phenomenon of nitrate. The nitrate content was in a sharp positive relation with the ammonium and changed with exponential function during dry cultivation. But there was not this relationship during water cultivation. The ammonium and nitrate were significant relation with soil organic matter in straight line. But the ammonium and nitrate content decreased with the soil clay content and pH value increased and changed with logarithmic function.

Key words: Taihu Lake region; farmland soil; ammonium; nitrate; time-spatial variability

太湖地区是我国重要的粮食生产基地之一, 长期以来, 氮肥的施用量一直保持着较高水平^[1]. 随着农业的持续发展和集约化程度的不断提高, 化学氮肥的施用量还在呈逐年上升的趋势, 年均施氮量高达 $366\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 已经达到发达国家水平^[2, 3]. 然而, 大量研究表明氮肥的当季利用率仅为 20% ~ 35%^[4, 5]. 过量地施用氮肥, 不仅导致肥料利用率下降, 而且未能被作物吸收利用的那部分氮素都不同程度的对环境产生现实的或潜在的污染^[6~8].

在太湖地区曾有调查表明, 该地区的地表水及浅层地下水都存在着不同程度的氮素污染^[9], 但土壤中氮素(主要为 NH_4^+-N 和 NO_3^--N) 随时间和土壤的空间变异状况的研究尚未见报道. 因此, 本文选

择了太湖地区的主要农田土壤(3 种不同类型的水稻土)作为研究对象, 以探讨氮素在 1a 中随季节的变化和在不同土壤类型的剖面中的分布状况, 为研究氮素的时空变异对土壤和地下水环境的影响、进行科学的农田水肥管理、保护生态环境、防止水体富营养化提供科学依据.

1 材料与方法

1.1 供试土样与基本性质

收稿日期: 2005-08-11; 修订日期: 2005-10-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(40371055); 高等学校博士学科点专项科研基金(20030307018)

作者简介: 陈效民(1957~), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为土壤物理学, E-mail: xmchen@njau.edu.cn

分别于 2004-02(小麦分蘖-拔节期)、2004-04(小麦抽穗-成熟期)、2004-09(水稻齐穗期)、2004-11(水稻收获期)和 2005-02(小麦分蘖-拔节期)定点、分不同层次采集江苏宜兴的白土、常熟王庄的黄泥

土和常熟辛庄的乌栅土土壤剖面. 每层土壤样品均由多点取样混合而成. 土样经风干、磨细后, 过 20 目和 80 目筛备用. 3 种土壤的基本理化性质见表 1.

1.2 土壤样品的测定方法

表 1 供试土壤的基本性质

Table 1 Some basic properties of soil tested

土壤类型	土壤层次/cm	pH	有机质/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	全氮/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	容重/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	粘粒/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	粉砂粒/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	砂粒/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$
白土	0~ 12	6.48	25.72	0.85	1.33	186.1	472.2	341.7
	12~ 20	6.60	26.39	0.85	1.40	192.6	545.1	262.4
	20~ 30	7.00	14.36	0.49	1.60	249.3	262.8	487.9
	30~ 55	7.04	5.34	0.21	1.48	276.7	508.3	215.0
	55~ 100	7.14	7.60	0.21	1.49	418.4	145.6	436.0
黄泥土	0~ 15	6.64	36.15	0.69	1.12	310.7	390.7	298.6
	15~ 25	6.75	17.19	0.36	1.23	299.2	399.7	301.1
	25~ 65	6.81	12.58	0.19	1.42	445.7	350.4	203.9
	65~ 100	7.08	8.06	0.12	1.39	349.4	379.5	271.1
乌栅土	0~ 15	5.74	45.72	1.41	1.04	326.1	446.5	227.4
	15~ 28	7.85	25.06	0.83	1.28	361.9	452.5	185.6
	28~ 42	7.89	19.23	0.48	1.43	401.2	506.1	92.7
	42~ 70	8.21	14.66	0.33	1.19	405.2	582.1	12.7

(1) 土壤基本性质的测定 ①土壤容重: 环刀法; ②土壤颗粒分析: 吸管法, 国际制分类; ③土壤有机质含量: 重铬酸钾容量法; ④土壤 pH 值: pH 计电位法.

(2) 土壤中氮素的测定 ①土壤全氮量: 半微量开氏法; ②土壤的铵态氮: 10% NaCl 浸提-蒸馏法^[10]; ③土壤的硝态氮: Cu-Cd 还原法-比色法^[11].

2 结果与讨论

2.1 土壤中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的动态变化

2.1.1 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 随时间的变化

$\text{NH}_4^+\text{-N}$ 随时间的动态变化见表 2. $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 在这 3 种土壤中的变化范围为 $5.55 \sim 15.99 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 经统计其平均值和标准差为: $(9.47 \pm 2.89) \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. 3 种土壤中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的含量在乌栅土中最高, 其平均值和标准差为: $(10.91 \pm 3.26) \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. 白土 $(9.31 \pm 2.95) \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 次之、黄泥土 $(9.03 \pm 2.44) \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 中的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量为最低. 这可能与各个地方的施肥水平有一定的关系, 但总体来说, 这 3 种土壤中的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量在 $9.5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 左右, 属于中等肥力水平^[10]. 3 种土壤 1a

表 2 3 种供试土壤中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量随时间的变化/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$

Table 2 Ammonium content changed with time in three soils tested/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$

土壤类型	土壤层次/cm	日期/年-月				
		2004-02	2004-04	2004-09	2004-11	2005-02
白土	0~ 12	13.18	11.28	15.00	12.68	11.31
	12~ 20	12.53	9.53	13.14	10.71	11.60
	20~ 30	10.72	5.98	7.77	7.77	9.11
	30~ 55	7.52	5.22	7.40	7.74	6.84
	55~ 100	6.00	5.52	6.34	6.58	7.27
	加权平均	8.24	6.50	8.33	8.05	8.18
黄泥土	0~ 15	13.18	12.21	14.53	9.51	12.02
	15~ 25	9.22	9.13	10.97	7.92	9.86
	25~ 65	8.51	6.99	7.06	6.35	7.28
	65~ 100	7.00	5.97	6.30	8.33	8.26
	加权平均	8.75	7.63	8.31	7.67	8.59
乌栅土	0~ 15	15.06	13.32	15.96	13.29	14.15
	15~ 28	10.06	11.57	13.71	10.66	10.84
	28~ 42	10.06	6.98	7.20	6.83	6.98
	42~ 70	8.62	5.39	7.31	6.38	7.63
	加权平均	10.56	8.56	10.33	8.74	9.49

中均表现为 2 月份的小麦分蘖-拔节期和 9 月份的水稻齐穗期比 4 月份的小麦抽穗-成熟期和 11 月份的水稻收获期高,主要原因是在小麦分蘖-拔节期和 9 月份的水稻齐穗期时是小麦和水稻需肥和产量形成的关键时期,也是施肥量最大的时期,因此土壤中的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 也较高. 而 4 月份的小麦抽穗-成熟期和 11 月份的水稻收获期是小麦和水稻已经将土壤中的营养转化为籽粒,所以土壤中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的含量有所下降,呈现随作物生长期的周期性变化.

2.1.2 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 在土壤剖面中(空间)的变化

通过 1 年多不同的水稻和小麦生长期的 5 次定点采集 3 种不同类型水稻土的土壤剖面,分析 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 在各种土壤中的空间分布状况,见图 1~3. 在 3 种土壤垂直剖面中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量基本上都是由土壤上层到土壤下层呈逐渐递减趋势,这种趋势主要是由 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的性质决定的. 有研究认为^[12],氮肥在施入土壤后,其转化与运移是十分复杂的物理-化学-生物学的过程. 而 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 在土壤剖面中的分布更直接地决定于作物生长、气候条件、灌溉方式以及土壤性质等因素^[13]. $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 进入土壤中的包气带后,由于 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 带有正电荷可以被土壤颗粒所带的负电荷迅速吸附而呈减少的趋势,当然也不排除有一部分铵离子被 2:1 型粘土矿物的晶格固定,因而 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的浓度随土层的加深而降低. 一般是施肥点的表层含量最高,从表层到 40cm 左右急剧下降,在 40cm 以下基本上趋于稳定. 这是由于 0~40cm 土层正好是水稻和小麦的耕作层,表施 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 后 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 随着浓度梯度不断在土壤剖面中下降. 因此,过量地施用氮肥很容易被地表径流带入河流与湖泊,引起湖泊的富营养化发生. 由于 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 不易在土壤剖面中移动,一般对地下水的影响较小^[14].

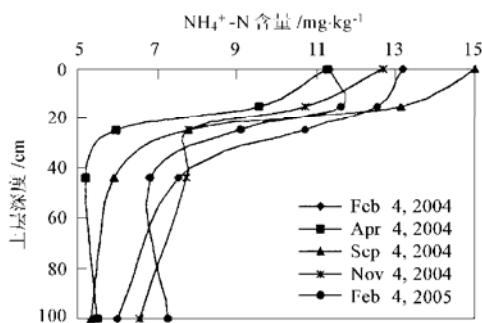


图 1 白土不同时间 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量与土层深度的关系
Fig. 1 Relationship between ammonium content and soil depth in White soil in different time

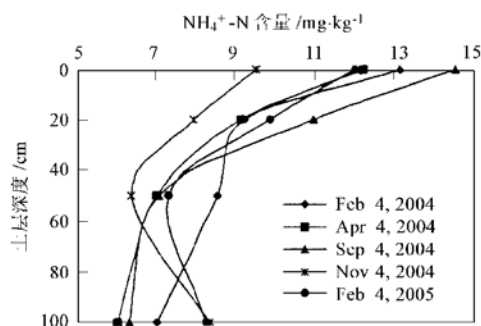


图 2 黄泥土不同时间 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量与土层深度的关系
Fig. 2 Relationship between ammonium content and soil depth in Huangni soil in different time

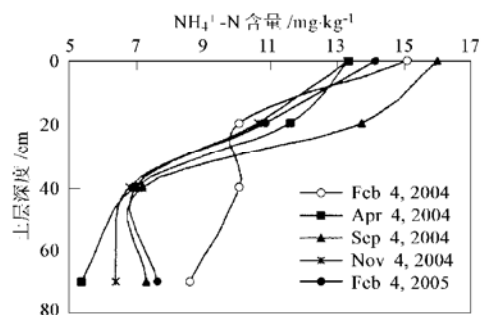


图 3 乌栅土不同时间 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量与土层深度的关系
Fig. 3 Relationship between ammonium content and soil depth in Wushan soil in different time

2.2 土壤中 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的动态变化

2.2.1 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 随时间的变化

$\text{NO}_3^-\text{-N}$ 随时间的动态变化见表 3. $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 在这 3 种土壤中的变化范围为 $0.51 \sim 16.71 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 经统计其平均值和标准差为: $(3.21 \pm 2.37) \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. 3 种土壤之间比较,可以看出 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的含量在白土中最高,其平均值和标准差为: $(4.15 \pm 3.22) \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 大于乌栅土 $(3.40 \pm 1.35) \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和黄泥土 $(1.85 \pm 0.88) \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量. 但 3 种土壤的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量都大大低于 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的含量, 仅约为 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的 1/3. 3 种土壤 1a 中均表现为 2 月份的小麦分蘖-拔节期和 4 月份的小麦抽穗-成熟期较 9 月份的水稻齐穗期和 11 月份的水稻收获期为高, 分析其主要原因是在小麦分蘖-拔节期和小麦抽穗-成熟期是旱作时期, 有利于 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 氧化为 $\text{NO}_3^-\text{-N}$. 而 4 月份的小麦抽穗-成熟期 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的含量又比 2 月份的小麦分蘖-拔节期为高, 这是由于从 2 月份到 4 月份温度在不断地升高有利于土壤中硝化微生物的繁殖和活动, 并将 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 氧化为 $\text{NO}_3^-\text{-N}$.

而在 9 月份的水稻齐穗期时农田中一般有水层覆盖,在厌氧条件下,土壤中硝化微生物的活动受到抑制,因此 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的含量在全年中为最低.到 11 月份的水稻收获期,随着土壤中水分的减少,土壤中的

通气性增加,促使土壤中硝化微生物的活动又趋于活跃, $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的浓度又开始上升.总之, $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 在 1 年中随时间的变化与土壤的水分含量和土壤温度的变化都有非常密切的关系.

表 3 3 种供试土中 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 含量随时间的变化/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$

Table 3 Nitrate content changed with time in three soils tested/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$

土壤类型	土壤层次/cm	日期/年-月				
		2004-02	2004-04	2004-09	2004-11	2005-02
白土	0~ 12	6.83	13.71	2.52	4.18	7.16
	12~ 20	3.86	9.91	2.42	2.52	4.02
	20~ 30	3.67	3.45	3.81	1.97	3.80
	30~ 55	2.29	2.65	2.80	2.99	2.42
	55~ 100	1.58	2.50	3.47	4.62	1.70
	加权平均	2.78	4.93	3.14	3.73	2.93
黄泥土	0~ 15	2.52	3.34	1.81	2.82	2.65
	15~ 25	1.39	3.46	2.12	2.58	1.51
	25~ 65	1.09	0.51	2.86	1.61	1.23
	65~ 100	0.82	0.91	1.10	1.52	1.17
	加权平均	1.24	1.37	2.01	1.86	1.45
乌栅土	0~ 15	5.61	6.69	2.46	3.71	6.24
	15~ 28	2.77	2.87	2.75	2.98	3.04
	28~ 42	2.33	2.18	2.50	3.51	2.35
	42~ 70	2.18	2.34	4.10	4.16	3.27
	加权平均	3.05	3.39	3.18	3.71	3.68

2.2.2 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 在土壤剖面中(空间)的变化

$\text{NO}_3^- \text{-N}$ 在 3 种土壤剖面中的空间分布与 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 有很大的不同,见图 4~ 6.

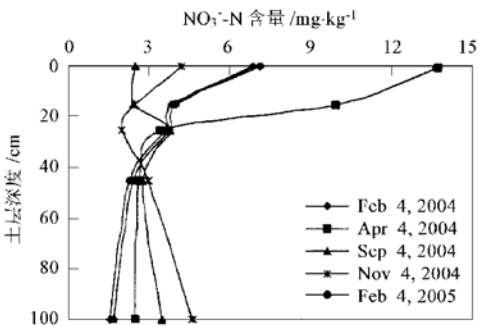


图 4 白土不同时间 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 含量与土层深度的关系
Fig. 4 Relationship between nitrate content and soil depth in White soil in different time

$\text{NO}_3^- \text{-N}$ 在 3 种土壤剖面中都表现为在小麦生长期即旱作时的分布为从土壤表层到底层迅速下降,不论那种土壤类型在这期间表层 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的含量是底层 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 含量的 1 至数倍,这是由于冬、春季农田中施用了小麦的分蘖-拔节期肥,促进了 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 转化为 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 并在表层土中积累.除外,这个阶段雨水较少又不利于 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 向土壤剖面深

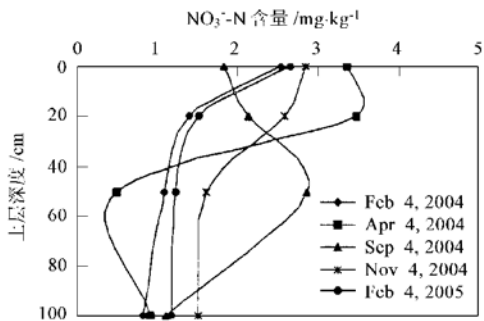


图 5 黄泥土不同时间 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 含量与土层深度的关系
Fig. 5 Relationship between nitrate content and soil depth in Huangni soil in different time

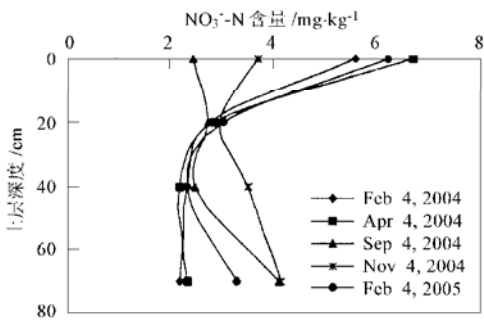


图 6 乌栅土不同时间 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 含量与土层深度的关系
Fig. 6 Relationship between nitrate content and soil depth in Wushan soil in different time

层淋移. 因此, 3种土壤底层的 NO_3^- -N 含量普遍较低, NO_3^- -N 的淋移很少. 但到了水稻生长季节(9~11月份) NO_3^- -N 在3种土壤剖面中的空间分布呈现出与小麦生长季节绝然相反的情况, 在土壤剖面中上层土壤的 NO_3^- -N 含量低而底层的 NO_3^- -N 含量高的状况, 这是由于 NO_3^- -N 带有负电荷, 不易被土壤胶体所吸附^[15], 在水分充足的情况下极易随水迁移进入土壤剖面的下层甚至地下水中, 造成地下水的污染. 因此, 在这个时期应注意肥料使用的方法和田间的水分管理, 防止 NO_3^- -N 的淋失和对周围环境以及地下水的污染. 虽然3种土壤中 NO_3^- -N 在土壤剖面中的分布由于施肥水平、土壤性质等不同而略有不同, 但空间分布的趋势基本上是一致的.

2.3 NH_4^+ -N 和 NO_3^- -N 的关系

经统计分析供试的白土和乌栅土在旱作期间(小麦生长季节) NH_4^+ -N 含量和 NO_3^- -N 含量存在着一定的相关性, 见图7和图8. 2种土壤中 NO_3^- -N 含量随 NH_4^+ -N 含量呈指数曲线变化, 并都达到了极显著水平(白土的相关系数为 $r = 0.6812^{**}$, $n = 15$; 乌栅土的相关系数为 $r = 0.8357^{**}$, $n = 12$). 说明在太湖地区旱作过程中, 施用过量的 NH_4^+ -N 肥能引起强烈的硝化作用并转变为 NO_3^- -N, 在雨量充沛的研究区 NO_3^- -N 很容易淋失进入地表水和地下水, 并对周围环境造成不利的影响. 但对黄泥土中 NH_4^+ -N 含量和 NO_3^- -N 含量的统计分析没有达到显著性水平, 这可能是由于黄泥土中 NO_3^- -N 含量过低所致.

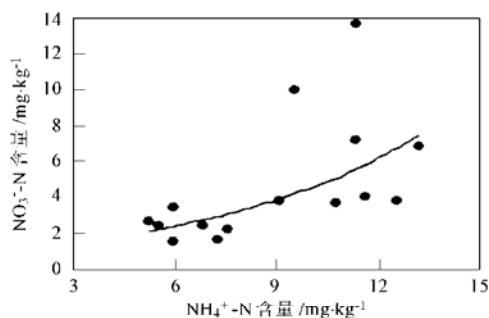


图7 白土在小麦生长季节 NH_4^+ -N 与 NO_3^- -N 的关系

Fig. 7 Relationship between ammonium content and nitrate content in White soil in wheat growth season

与此同时, 也对3种供试土样在水稻生长期间(9月和11月)的 NH_4^+ -N 含量和 NO_3^- -N 含量进行了统计分析, 但均没有达到显著性水平, 这是由于在水稻生长期间水分比较充足和绝大部分时间有水层

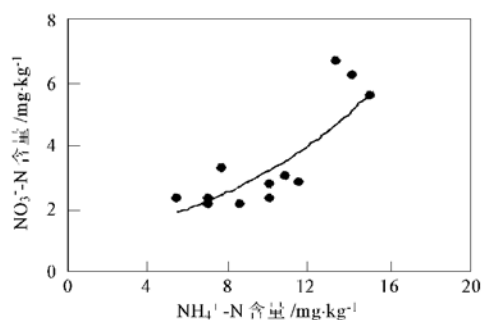


图8 乌栅土在小麦生长季节 NH_4^+ -N 与 NO_3^- -N 的关系

Fig. 8 Relationship between ammonium content and nitrate content in Wushan soil in wheat growth season

存在, 限制了好气性的硝化微生物的活动, 因此, NO_3^- -N 的含量较低, 在这种情况下土壤中的氮素主要以 NH_4^+ -N 为主.

2.4 影响 NH_4^+ -N 和 NO_3^- -N 消长的因素

2.4.1 土壤有机质对 NH_4^+ -N 和 NO_3^- -N 的影响

通过对旱作(2月份的小麦分蘖-拔节期)3种土壤剖面中有机质含量与 NH_4^+ -N 和 NO_3^- -N 含量的相关分析可知, 有机质含量与 NH_4^+ -N 和 NO_3^- -N 含量呈极显著和显著的直线线性相关(有机质含量与 NH_4^+ -N 的相关系数 $r = 0.9267^{**}$, $n = 13$; 与 NO_3^- -N 的相关系数 $r = 0.6403^*$, $n = 13$). 说明在旱作情况下, 土壤中 NH_4^+ -N 和 NO_3^- -N 的含量随着有机质含量的增加而升高, 有机质有着保持和供应 NH_4^+ -N 和 NO_3^- -N 的作用. 但对水稻生长期间(9月份的水稻齐穗期)3种土壤剖面中有机质含量与 NH_4^+ -N 和 NO_3^- -N 含量进行相关分析发现只有有机质与 NH_4^+ -N 含量存在着极显著的直线线性正相关关系(相关系数 $r = 0.9071^{**}$, $n = 13$)而与 NO_3^- -N 含量没有相关关系, 也说明了在水分过量的情况下, NO_3^- -N 淋失比较严重^[16].

2.4.2 土壤粘粒对 NH_4^+ -N 和 NO_3^- -N 的影响

土壤粘粒在土壤固相部分颗粒细小, 一般带有负电荷且比表面较大是土壤三相组成中最活跃的固相部分. 经统计分析旱作(2月份的小麦分蘖-拔节期)3种土壤剖面中粘粒含量与 NH_4^+ -N 和 NO_3^- -N 含量之间存在着显著和极显著的对数负相关关系(粘粒含量与 NH_4^+ -N 的相关系数 $r = -0.5437^*$, $n = 13$; 与 NO_3^- -N 的相关系数 $r = -0.6776^{**}$, $n = 13$). 粘粒带有负电荷可以吸附带有正电荷的 NH_4^+ -N, 所以粘粒含量越高自由移动的 NH_4^+ -N 就越少, 而 NH_4^+ -N 越少则硝化成的 NO_3^- -N 的含量也

就越低。但对水稻生长期(9月份的水稻齐穗期)3种土壤剖面中粘粒含量与 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量进行相关分析没有发现有任何相关关系,这也是因为水稻生长期 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的含量受到水分的影响较大,经常处于氧化和还原的交替状态, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的含量也在不断地变化。因此,与土壤粘粒含量的关系就不十分明显地表现出来。

2.4.3 土壤 pH 值对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的影响

土壤 pH 值的高低实际上是指土壤溶液中 H^+ 和 OH^- 浓度比例的大小。土壤 pH 值对土壤中物质的转化、土壤生物和土壤理化性质等均有很大的影响。因此,土壤 pH 值与 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量之间的关系经统计分析在旱作条件下呈显著的对数负相关关系(pH 值与 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的相关系数 $r = -0.5938^*$, $n = 13$; 与 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的相关系数 $r = -0.5432^*$, $n = 13$)。这种显著性关系的存在证明了供试土壤的 pH 值改变可以直接或间接地影响土壤中硝化与反硝化作用的过程^[17]。而在水稻生长期,3种土壤各土层的 pH 值由于土壤中 Fe^{3+} 离子的还原、有机质分解产生大量的有机酸和 CO_2 ,促使各土壤的 pH 值都趋向于中性,所以在水稻生长期供试土壤的 pH 值与 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 之间没有相关性。

3 结论

(1)通过对太湖地区农田土壤中3种主要的水稻土类型的研究,证明这3种土壤中的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 存在着时空变异。 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 在2月份和9月含量较高,4月份和11月的含量较低; $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的空间变异为土壤上层到土壤下层呈逐渐递减趋势,在40cm以下基本上趋于稳定。 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 在小麦生长季节(旱作)高于水稻生长季节(水作); $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的空间变异为旱作时土壤表层到底层迅速下降,但在水稻生长季节土壤剖面中表层的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量低于底层的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量,出现明显的淋溶现象。

(2)在旱作期间 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 随 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 呈指数曲线变化,而在水稻生长期则没有这种关系。

(3) $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量与土壤有机质呈显著的直线正相关关系,但 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 仅在旱作时随土壤粘粒含量和土壤 pH 值的升高而呈对数曲线下降。

参考文献:

- [1] 邢光熹,曹亚澄,施书莲,等.太湖地区水体氮的污染源和反硝化[J].中国科学(B辑),2001,31(2):130~137.
- [2] 王德建,林静慧,孙瑞娟,等.太湖地区稻麦高产的氮肥适宜用量及其对地下水的影响[J].土壤学报,2003,40(3):426~432.
- [3] 冯绍元,张瑜芳,沈荣开.非饱和土壤中氮素转化与运移实验及其数值模拟[J].水利学报,1996,(8):8~15.
- [4] 连纲,王德建,林静慧,等.太湖地区稻田土壤养分淋洗特征[J].应用生态学报,2003,14(11):1879~1883.
- [5] 吕耀.农业生态系统中氮素造成的非点源污染[J].农业环境保护,1998,17(1):35~39.
- [6] 朱建国.硝态氮污染危害与研究进展[J].土壤学报,1995,32(增刊):62~69.
- [7] 张国梁,章申.农田氮素淋失研究进展[J].土壤,1998,30(6):291~297.
- [8] de Vos J A, Hesterberg D, Raats P A C. Nitrate leaching in tile drained silt loam soil[J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 2000, 64: 1050~1054.
- [9] 顾祖良,平培良,王林兴.太湖水旱轮作条件下施用氮肥的环境和经济效益[J].土壤,1998,5:255~257.
- [10] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,1999.50~59.
- [11] Mulvaney R L. Nitrogen-Inorganic Forms methods of Soil Analysis[M]. Part 3. Chemical Methods-SSSA Book Series No. 5. 1996. 1123~1157.
- [12] 李韵珠,李保国.土壤溶质运移[M].北京:科学出版社,1998.302~304.
- [13] 黄昌勇.土壤学.[M].北京:中国农业出版社,2000.192~198.
- [14] Richter R, Roelcke M. The N-cycle as determined by intensive agriculture——example from central Europe and China[J]. Nutrient Cycling Agroecosys, 2000, 57: 33~46.
- [15] 陈效民,邓建才,张佳宝,等.黄淮海平原主要土类中硝态氮水平运移规律[J].环境科学,2002,23(5):96~99.
- [16] 邓建才,陈效民,蒋新,等.典型地区饱和土壤中硝态氮垂直运移及拟合[J].环境科学,2005,26(2):200~205.
- [17] 黄耀.地气系统碳氮交换——从实验到模型[M].气象出版社,2003.15~17.