

网络出版时间:2016-12-26 11:05 DOI:10.13207/j.cnki.jnwfufu.2017.02.024
网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20161226.1105.048.html

长期不同施肥处理对土壤氮素矿化特性的影响

赵 伟^{1,2}, 梁 斌^{1,3}, 周建斌¹

(1 西北农林科技大学 资源环境学院/农业部西北植物营养与农业环境重点实验室, 陕西 杨凌 712100;

2 渭南市农业技术推广中心, 陕西 渭南 714000; 3 青岛农业大学 资源环境学院, 山东 青岛 266109)

【摘 要】 【目的】了解长期不同施肥处理土壤的供氮能力, 从而为确定合适的氮肥用量提供理论依据。【方法】采用间歇淋洗好气培养法, 研究小麦-休闲轮作下长期不同施肥处理(No-F, 20 年不施肥处理; NPK, 20 年施用 NPK 肥处理; MNPK, 20 年有机肥与 NPK 肥配施处理)土壤 0~20, 20~40 和 40~60 cm 土层土壤氮素矿化特性。【结果】与 NPK 处理相比, MNPK 处理明显提高了 0~20 和 20~40 cm 土层土壤有机碳、全氮、氮素矿化累积量和氮素矿化势(N_0); 与 No-F 处理相比, MNPK 处理明显提高了 0~60 cm 土层土壤氮素矿化累积量和氮素矿化势。3 种施肥处理下, 0~20, 20~40, 40~60 cm 土层 N_0 占土壤全氮的比例分别为 19%~23%, 9%~12%, 6%; 各土层中 MNPK 处理下该比例值均最高。0~20, 20~40 和 40~60 cm 土层氮素矿化累积量分别占 0~60 cm 土层的 62%~71%, 20%~27% 和 9%~12%。不同施肥处理中, MNPK 处理 0~20 cm 土层氮素矿化累积量占 0~60 cm 土层的比例最高。【结论】有机肥与无机肥长期配施明显提高了 0~60 cm 土层土壤供氮能力。

【关键词】 长期施肥; 土壤; 氮素; 矿化特性

【中图分类号】 S153.6⁺1

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2017)02-0177-05

Effect of different long-term fertilization treatments on nitrogen mineralization characteristics in soil

ZHAO Wei^{1,2}, LIANG Bin^{1,3}, ZHOU Jianbin¹

(1 College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University/Key Laboratory of Plant Nutrition and the Agri-environment in Northwest China, Ministry of Agriculture, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2 Weinan Agricultural Technology Promotion Center, Weinan, Shaanxi 714000, China; 3 College of Resources and Environmental Sciences, Qingdao Agricultural University, Qingdao, Shandong 266109, China)

Abstract: 【Objective】 This study aimed to understand the soil nitrogen supplying capacity of different long-term fertilization treatments. 【Method】 An intermittent leaching aerobic incubation experiment was conducted to evaluate the effects of different long-term fertilization treatments (No-F, no fertilizer for 20 years; NPK, applied NPK fertilizers for 20 years; and MNPK, applied cattle manure plus NPK fertilizers for 20 years) on N mineralization in soil layers of 0—20 cm, 20—40 cm and 40—60 cm in winter wheat-summer fallow rotation system. 【Result】 Compared with the NPK treatment, the MNPK treatment significantly increased soil organic carbon, total nitrogen, cumulative mineralized N and potentially mineralizable nitrogen (N_0) in soil layers of 0—20 cm and 20—40 cm. The cumulative N and N_0 in layer of 0—60 cm were significantly higher in the MNPK treatment than in the No-F treatment. For all treatments, the proportions of N_0 to total N were 19%—23%, 9%—12% and 6% in layers of 0—20 cm, 20—40 cm and 40—60 cm, respec-

【收稿日期】 2015-11-19

【基金项目】 国家自然科学基金项目(31372137); 国家“十二五”科技支撑计划项目(2012BAD15B04)

【作者简介】 赵 伟(1984—), 女, 河北石家庄人, 博士, 主要从事农田养分调控研究。E-mail: wei12327@163.com

【通信作者】 周建斌(1964—), 男, 陕西渭南人, 教授, 博士生导师, 主要从事植物营养与旱地水肥调控研究。
E-mail: jbzhou@nwsuaf.edu.cn

tively. The proportion of N_0 to total N was the highest in the MNPK treatment. The ratios of cumulative N in layers of 0—20 cm, 20—40 cm, and 40—60 cm were 62%—71%, 20%—27%, and 9%—12%, respectively. The MNPK treatment had the highest ratio of cumulative N in layer 0—20 cm to layer 0—60 cm.

【Conclusion】 Long-term combined application of cattle manure with inorganic fertilizer was an efficient way to enhance the nitrogen supplying capacity in soil layer of 0—60 cm.

Key words: long-term fertilization; soil; nitrogen; mineralization characteristics

非豆科作物吸收的氮素 30%~100% 来自土壤有机物氮的矿化^[1-3], 为了追求高产, 作物对化肥的依赖程度越来越高, 而过高的施氮量又会引发环境问题, 因此确定合适的氮肥用量显得尤为重要。正确估计氮肥的需求量, 在很大程度上依赖于作物生长期土壤的供氮量, 其主要包括作物种植前土壤剖面中已累积的矿质态氮量(主要为 $\text{NO}_3^- \text{-N}$)^[4] 和作物生物期土壤氮素的矿化量^[5]。

较多学者研究表明, 土壤氮素矿化势(N_0) 可作为评价土壤供氮能力的指标, 通过其既可比较不同土壤氮素供应能力的相对高低, 还可估算出作物生长期土壤可矿化氮量, 虽然其绝对值远高于田间实际矿化量, 但其在反映土壤供氮能力方面最敏感^[5-7]。土壤氮素矿化受土壤全氮、有机质、微生物活性、水分和温度等的影响^[8]。长期不同施肥处理改变了土壤的物理、化学和生物学特性^[9], 从而影响土壤氮素的矿化^[7, 10-11]。以往关于氮矿化多集中在表层土壤, 而下层土壤中也存在相当可观的可矿化氮, 其供氮量也较大^[12-13], 所以只考虑耕层氮素供应是不够的。因此, 本试验以 3 种不同长期施肥处理土壤为研究对象, 研究 0~20、20~40 和 40~60 cm 土层土壤氮素可矿化特性, 旨在为合理施肥提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

供试土壤采自黄土高原南部陕西杨凌国家黄土肥力与肥料效益长期监测基地。试验区域属于渭河三级阶地, 海拔 523 m, 年平均气温 13 ℃, 年平均降水量 632 mm 左右, 主要集中在 7—9 月, 年蒸发量为 1 400 mm, 冬春易旱。土壤属土垫旱耕人为土。该试验田始建于 1990 年, 采取冬小麦-休闲轮作制度。

试验于 2010 年采集上述基地的 3 种处理土样, 分别为: (1) 长期不施肥(No-F); (2) 长期施用 NPK 肥(NPK); (3) 长期有机肥与 NPK 肥配施(MNPK)。NPK 处理中, 小麦播种前氮(N)、磷(P_2O_5)、

钾(K_2O) 化肥的施用量分别为 135.0、107.9 和 67.5 kg/hm^2 , 其中氮肥为尿素, 磷肥为过磷酸钙, 钾肥为硫酸钾, 3 种肥料均于小麦播种前基施。在 MNPK 处理中, 氮、磷、钾肥的施用量与 NPK 处理相同, 但其中氮肥 70% 来源于牛廐肥, 30% 由化肥提供。于 2010 年 6 月小麦收获后, 分别采集各处理 0~20、20~40 和 40~60 cm 土层土样。采样时将每小区按面积划分为 4 等份, 4 次重复。

1.2 测定项目及方法

土壤可矿化氮采用 Stanford 等^[14] 提出的间歇淋洗好气培养法测定, 每处理重复 4 次。于培养后 1、2、4、7、10、14、18、22、26、30、35 和 40 周进行淋洗并收集淋洗液, 用流动分析仪测定其中 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 含量。土壤有机碳、全氮含量采用文献^[15] 的方法测定。氮素矿化累积量为从开始矿化到 t 时的 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 含量之和。

1.3 数据处理

采用一级动力学方程 $N_t = N_0[1 - \exp(-kt)]$ 拟合土壤有机氮矿化过程中矿质态氮的累积变化, 其中 N_t 为 t 时间(周)内累积的矿质态氮量(mg/kg); N_0 为氮素矿化势, 即一定条件下土壤中可以矿化为无机氮的有机氮素量的最大值; k 代表氮素矿化速率常数, 即单位时间(周)内的矿化氮占土壤可矿化氮的比例; t 为培养时间(周)。

试验数据用 SAS Version 8.1 for Windows 进行方差分析, 采用 LSD 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 长期不同施肥处理对土壤有机碳和全氮的影响

经 20 年不同施肥处理, 0~20 和 20~40 cm 土层土壤有机碳和全氮含量均表现为 $\text{MNPK} > \text{NPK} > \text{No-F}$, 且处理间差异显著($P < 0.05$); 与 No-F 处理相比, MNPK 处理 40~60 cm 土层有机碳含量显著增加, 增幅为 11.9%。不同施肥处理不同土层土壤 C/N 为 8.12~9.14, 且随着土层深度增加 C/N 总体呈降低的趋势(表 1)。

表 1 长期不同施肥处理土壤有机碳、全氮含量和 C/N

Table 1 Contents of soil organic carbon and total nitrogen and C/N ratio in soils with different long-term fertilizer treatments				
处理 Treatment	土层深度/cm Soil depth	有机碳/(g·kg ⁻¹) Soil organic C	全氮/(g·kg ⁻¹) Total N	C/N
No-F	0~20	7.21 c	0.80 c	9.01
	20~40	5.44 c	0.62 c	8.77
	40~60	4.45 b	0.53 b	8.40
NPK	0~20	9.04 b	1.04 b	8.69
	20~40	6.02 b	0.68 b	8.85
	40~60	4.79 ab	0.59 a	8.12
MNPK	0~20	12.98 a	1.42 a	9.14
	20~40	6.56 a	0.77 a	8.52
	40~60	4.98 a	0.56 ab	8.89

注:同列数据后标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。
Note: Different lowercase letters within the same column mean significant difference ($P<0.05$).

2.2 长期不同施肥处理对土壤氮素矿化累积量的影响

由图 1 可知,与 NPK 处理相比,MNPK 处理明显提高了 0~20 和 20~40 cm 土层土壤氮素矿化累积量;与 No-F 处理相比,NPK 处理也显著提高了 0~20 和 40~60 cm 土层土壤氮素矿化累积量。经

40 周矿化培养后,与 NPK 和 No-F 处理相比,MNPK 显著提高了 0~20 cm 土层氮素矿化累积量,增幅分别为 94%和 58%。MNPK、NPK 和 No-F 处理土壤 20~40 cm 土层氮素矿化累积量分别为 54.1, 36.4 和 41.0 mg/kg,40~60 cm 土层分别为 24.6, 22.8 和 17.6 mg/kg,不同处理间差异显著。

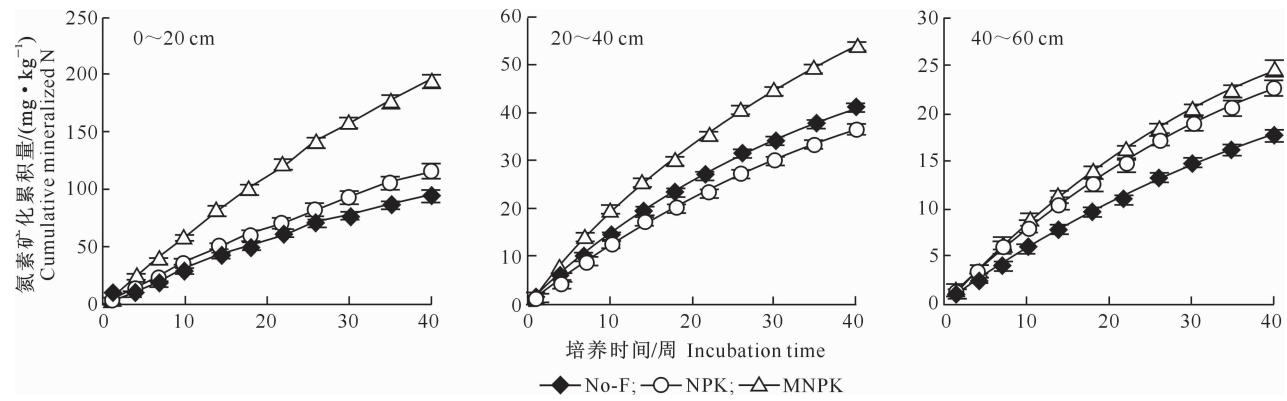


图 1 长期不同施肥处理对土层土壤氮素矿化累积量的影响

Fig.1 Effect of different long-term fertilizer treatments on cumulative mineralized N in soil layers

2.3 长期不同施肥处理对土壤氮素矿化参数的影响

表 2 显示,经 20 年不同施肥处理,0~20 cm 土层土壤氮素矿化势(N_0)差异明显,其中 MNPK 处理 N_0 明显高于 NPK 和 No-F 处理,增幅分别为 63%和 97%,NPK 处理比 No-F 也增加了 21%。与 NPK 和 No-F 处理相比,MNPK 处理明显提高了 20~40 cm 土层土壤 N_0 ,增幅分别为 36%和 31%;MNPK 处理也明显提高了 40~60 cm 土层土壤 N_0 ,增幅分别为 10%和 21%。土壤氮素矿化速率常数(k)的大小表征土壤矿化快慢,反应了土壤供氮的强度^[7]。不同施肥处理对不同土层土壤氮素矿化速率常数影响不显著,0~20,20~40 和 40~60 cm

土层土壤氮素矿化速率分别为 0.019 2~0.019 5, 0.021 0~0.024 0 和 0.020 2~0.025 7 周⁻¹。
 N_0 占土壤全氮含量的比例(N_0 /STN)可以反映土壤中易矿化有机氮的情况。0~20 cm 土层 N_0 占土壤全氮的比例为 19%~23%,20~40 cm 土层土壤为 9%~12%,40~60 cm 土层约为 6%。由表 2 可知,MNPK 处理提高了土壤易矿化有机氮比例。氮素矿化率为培养 40 周时氮素矿化累积量与土壤全氮的比值。从表 2 可以看出,同一土层深度不同施肥处理,MNPK 处理的氮素矿化率明显高于 No-F 和 NPK 处理,且各处理土壤氮素矿化率均随土层加深而降低。

表 2 长期不同施肥处理对土壤氮素矿化参数的影响

Table 2 Effect of different long-term fertilizer treatments on cumulative mineralized N in soil layers

土层深度/cm Soil depth	处理 Treatment	氮素矿化势/ (mg·kg ⁻¹) N ₀	矿化速率常数/周 ⁻¹ k	(N ₀ /STN)/%	氮素矿化率/% N mineralization rate
0~20	MNPK	352.1	0.019 2	23.28	12.10
	NPK	216.3	0.019 5	19.47	10.43
	No-F	178.6	0.019 4	20.88	11.00
20~40	MNPK	87.3	0.023 9	11.76	7.28
	NPK	64.0	0.021 0	9.40	5.35
	No-F	66.7	0.024 0	10.14	6.24
40~60	MNPK	38.6	0.024 9	6.42	4.09
	NPK	35.0	0.025 7	5.56	3.63
	No-F	32.0	0.020 2	5.65	3.11

注:STN 为土壤全氮含量。
Note;STN stands for soil total N content.

2.4 长期不同施肥处理对土壤氮素矿化累积量分布的影响

由图 2 可见,就不同土层而言,0~20,20~40 和 40~60 cm 土层氮素矿化累积量占 0~60 cm 土层的 62%~71%,20%~27%和 9%~12%。不同施肥处理相比,MNPK 处理 0~20 cm 土层氮素矿化累积量占 0~60 cm 土层比例最高,为 71%;No-F 处理最低,占 0~60 cm 土层的 62%。No-F 处理提高了 20~40 cm 土层氮素矿化累积量占 0~60 cm 土层比例。

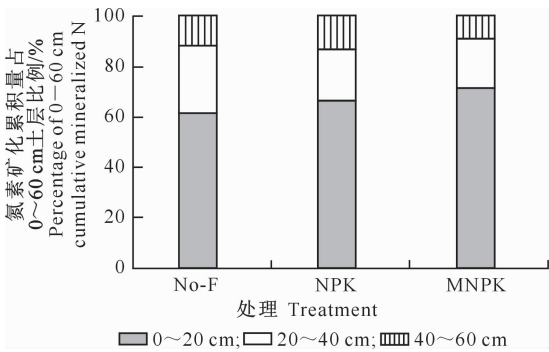


图 2 长期不同施肥处理对土壤氮素矿化累积量分布的影响

Fig. 2 Effect of different long-term fertilizer treatments on distribution of mineralized N in soil layers

3 讨论

本研究结果表明,与长期单施化肥处理(NPK)相比,长期有机肥与无机肥配施处理(MNPK)明显提高了 0~20 和 20~40 cm 土层土壤有机碳、全氮、氮素矿化累积量和氮素矿化势。与长期不施肥处理(No-F)相比,长期有机肥与无机肥配施处理显著提高了 0~60 cm 土层氮素矿化累积量和氮素矿化势。可见长期有机肥与无机肥配施不仅提高了表层土壤

的供氮能力,也提高了下层土壤的供氮能力。一些研究也表明,长期有机肥与无机肥配施可提高表层土壤氮素矿化势和矿化量,增加了土壤活性有机氮库量^[10,16-17]。长期有机肥与无机肥配施处理表层土壤供氮能力的增加与有机肥的长期投入关系密切,而下层土壤供氮能力的提升可能与根系归还和上层有机氮淋溶^[18]有关。

N₀ 占土壤全氮的比例可以反映土壤中易矿化有机氮的情况。本研究中,0~20 cm 土层 N₀ 占土壤全氮含量的比例为 19%~23%,20~40 cm 土层为 9%~12%,40~60 cm 土层约为 6%;各土层中均以长期有机肥与无机肥配施处理的 N₀/STN 最高。可见长期有机肥与无机肥配施提高了土壤可矿化有机氮量,且随土层加深各处理可矿化有机氮均递减。鲁彩艳等^[10]研究表明,0~20 cm 土层 N₀ 占土壤全氮的比例为 10.70%~16.24%,其中有机肥与无机肥配施处理最高。Stanford 等^[14]研究表明,表层土壤 N₀ 占全氮的比例为 5%~40%。而巨晓棠等^[5]研究表明,北京昌平试验站表层土壤不同施氮量下 N₀ 占全氮的比例为 7.29%~17.36%,单施化肥处理中氮肥用量较高时该比例最高,有机肥与氮肥配施在化肥用量较低时次之;中国农业大学科学园水氮试验地 0~20,20~40,40~60 cm 土层 N₀ 占全氮的比例分别为 10.9%,7.5%和 7.3%。

本研究中,0~20,20~40 和 40~60 cm 土层氮素矿化累积量分别占 0~60 cm 土层的 62%~71%,20%~27%和 9%~12%,可见可矿化氮主要集中在 0~40 cm 土层。沈玉芳等^[8]研究本地区土垫旱耕人为土不同土层氮矿化的水温效应时也发现,0~30 cm 土层累积矿化氮占 0~90 cm 土层的 67.9%,是 0~90 cm 土层累积可矿化氮的主体。巨

晓棠等^[5]研究也发现,在 35 ℃下 20~60 cm 土层的 N_0 占 0~60 cm 土层总 N_0 的 40%,说明底层土壤仍有一定数量的供氮能力。综上可知,长期有机肥与无机肥配施明显提高了 0~60 cm 土层土壤可矿化氮量和土壤活性有机氮肥,增加了土壤供氮能力。

[参考文献]

- [1] Allison F E. Soil organic matter and its role in crop production [M]. Amsterdam: Elsevier Science Publishing Co, 1973.
- [2] Sylvester-Bradley R. Scope for more efficient use of fertilizer nitrogen [J]. Soil Use and Management, 1993, 9(3): 112-117.
- [3] Bhogal A, Rochford A D, Sylvester-Bradley S. Net changes in soil and crop nitrogen in relation to the performance of winter wheat given wide-ranging annual nitrogen applications at Ropsley, UK [J]. Journal of Agricultural Science, 2000, 135: 139-149.
- [4] 李世清,王瑞军,李紫燕,等. 半干旱半湿润农田生态系统不可忽视的土壤氮库-土壤剖面中累积的硝态氮 [J]. 干旱地区农业研究, 2004, 22(4): 1-13.
- Li S Q, Wang R J, Li Z Y, et al. Soil nitrogen pool not to be ignored residual NO_3^- -N accumulated in soil profile in semiarid and semihumid agro-ecological system [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2004, 22(4): 1-13.
- [5] 巨晓棠,边秀举,刘学军,等. 旱地土壤氮素矿化参数与氮素形态的关系 [J]. 植物营养与肥料学报, 2000, 6(3): 251-259.
- Ju X T, Bian X J, Liu X J, et al. Relationship between soil nitrogen mineralization parameter with several nitrogen forms [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2000, 6(3): 251-259.
- [6] 李菊梅,王朝辉,李生秀. 有机质、全氮和可矿化氮在反映土壤供氮能力方面的意义 [J]. 土壤学报, 2003, 40(2): 232-238.
- Li J M, Wang Z H, Li S X. Significance of soil organic matter, total N and mineralizable nitrogen in reflecting soil N supplying capacity [J]. Acta Pedologica Sinica, 2003, 40(2): 232-238.
- [7] 王媛,周建斌,杨学云. 长期不同培肥处理对土壤有机氮组分及氮素矿化特性的影响 [J]. 中国农业科学, 2010, 43(6): 1173-1180.
- Wang Y, Zhou J B, Yang X Y. Effects of different long-term fertilization on the fractions of organic nitrogen and nitrogen mineralization in soils [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(6): 1173-1180.
- [8] 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.
- Shen Y F, Li S Q, Shao M A. Effects of temperature and water condition on soil nitrogen mineralization of different layers in Eum-Orthic Anthrosols of sub-humid area [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2007, 13(1): 8-14.
- [9] Edmeades D C. The long-term effects of manures and fertilisers on soil productivity and quality: a review [J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2003, 66: 165-180.
- [10] 鲁彩艳,牛明芬,陈欣,等. 不同施肥制度培育土壤氮矿化势与供氮潜力 [J]. 辽宁工程技术大学学报, 2007, 26(5): 773-775.
- Lu C Y, Niu M F, Chen X, et al. Nitrogen mineralization potentials of meadow brown soil in different fertilization practice [J]. Journal of Liaoning Technical University, 2007, 26(5): 773-775.
- [11] 艾娜,周建斌,杨学云,等. 长期施肥及撂荒对土壤氮素矿化特性及外源硝态氮转化的影响 [J]. 应用生态学报, 2008, 19(9): 1937-1943.
- Ai N, Zhou J B, Yang X Y, et al. Effects of long-term fertilization and fallowing on soil nitrogen mineralization and exogenous NO_3^- -N transformation [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(9): 1937-1943.
- [12] 李世清,李生秀,李凤民. 石灰性土壤剖面氮素的矿化和硝化作用 [J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2000, 36(1): 98-104.
- Li S Q, Li S X, Li F M. Mineralization and nitrification of soil nitrogen in calcareous soil profile [J]. Journal of Lanzhou University (Natural Sciences), 2000, 36(1): 98-104.
- [13] 杜建军,王新爱,王夏晖,等. 旱地土壤氮素、有机质状况及与作物吸氮量的关系 [J]. 华南农业大学学报, 2005, 26(1): 11-15.
- Du J J, Wang X A, Wang X H, et al. The relationship between soil N, organic matter and N uptaken by crops on dryland [J]. Journal of South China Agricultural University, 2005, 26(1): 11-15.
- [14] Stanford G, Smith S. Nitrogen mineralization potentials of soils [J]. Soil Science Society of America Journal, 1972, 36(3): 465-472.
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2005.
- Bao S D. Soil and agricultural chemistry analysis [M]. 3rd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2005.
- [16] 朱兆良. 关于土壤氮素研究中的几个问题 [J]. 土壤学进展, 1989(2): 1-9.
- Zhu Z L. Several problems in the study of soil nitrogen [J]. Soil Science Progress, 1989(2): 1-9.
- [17] 范晓晖,孙永红,林德喜,等. 长期试验地红壤与潮土的矿化和硝化作用特征比较 [J]. 土壤通报, 2005, 36(5): 672-674.
- Fan X H, Sun Y H, Lin D X, et al. The characteristics of mineralization and nitrification in red soil and calcareous soil from long term fertilization experiments [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2005, 36(5): 672-674.
- [18] 高忠霞,杨学云,周建斌,等. 小麦-玉米轮作期间不同施肥处理氮素的淋溶形态及数量 [J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(8): 1624-1632.
- Gao Z X, Yang X Y, Zhou J B, et al. Forms and amounts of nitrogen in leachates affected by different fertilizations after one wheat-maize rotation [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2010, 29(8): 1624-1632.