

西南喀斯特地区典型石漠化阶段土壤氮素变异研究

周炼川¹, 陈效民¹, 李孝良^{1,2}, 杨新强¹, 黄代民¹

(1.南京农业大学资源与环境科学学院, 江苏 南京 210095; 2.安徽科技学院植物科学学院, 安徽 凤阳 233100)

摘要:我国西南喀斯特地区的石漠化问题已经严重制约了当地社会经济发展,揭示土壤养分变化规律对该区域生态系统适应性修复具有重要意义。以贵州省荔波县和普定县为研究区,通过野外采样和实验室分析,对西南喀斯特地区典型石漠化阶段土壤的铵态氮、硝态氮变异状况进行了研究。结果表明:(1)非石漠化的黑色石灰土中铵态氮、硝态氮的含量分别高达 11.61 和 38.01 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。随着石漠化程度的加深,土壤中氮素含量逐渐减少。统计表明非石漠化土壤与轻度石漠化土壤铵态氮含量呈显著差异,硝态氮含量呈极显著差异。(2)土壤铵态氮含量表现为表土层高于心土层,而硝态氮在剖面中分布规律不一致。(3)土壤氮素含量随时间有明显变化。铵态氮和硝态氮含量均在 7 月达到峰值,然后呈现出下降趋势,至 11 月或翌年 1 月又逐渐增加。(4)土壤有机质与铵态氮和硝态氮含量呈一元二次线性相关,相关系数分别为 0.767 1 和 0.949 3,均达到极显著水平;铵态氮和硝态氮含量也呈极显著的线性相关,相关系数为 0.774 3。喀斯特地区通过封山育林等措施增加有机质积累可提高土壤氮素含量,对防治石漠化具有重要意义。

关键词:喀斯特地区;石漠化阶段;铵态氮;硝态氮

中图分类号:S153.6 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2009)08-1753-05

Variability of Soil Nitrogen in Karst Regions Under Typical Rocky Desertification Stage, Southwest China

ZHOU Lian-chuan¹, CHEN Xiao-min¹, LI Xiao-liang^{1,2}, YANG Xin-qiang¹, HUANG Dai-min¹

(1.College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2.College of Plant Sciences, Anhui Science and Technology University, Fengyang 233100, China)

Abstract: The karst regions of southwest China are greatly suffered from rocky desertification. The research on the variability of soil nutrient is important to the repair of local ecosystem. Soil samples were collected from Libo and Puding in Guizhou Province, and the variability of nitrogen in the soils under typical rocky desertification was studied. The results obtained were listed as follows: (1) Both ammonium (NH_4^+-N) and nitrate (NO_3^--N) reached the highest contents of 11.61 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ and 38.01 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ in the non-degraded rendzina. As the rocky desertification progressed, the content of soil nitrogen decreased. The statistical data indicated that there was significant difference in the content of NH_4^+-N between non-degraded rendzina and light degraded rendzina, and highly significant difference in NO_3^--N ; (2) The content of NH_4^+-N was higher in surface soil layer than in bottom layer, and NO_3^--N changed irregularly; (3) The content of nitrogen varied with time significantly. The content of NH_4^+-N and NO_3^--N got the highest in July, then the content of nitrogen declined until November or next January; (4) The content of soil organic matter had a quadratic relation with NH_4^+-N and NO_3^--N , and the correlation coefficient was 0.767 1 and 0.949 3 respectively, which was extremely significant. The content of NH_4^+-N and NO_3^--N had an extremely significant relationship and the correlation coefficient was 0.774 3. It is an effective way to prevent rocky desertification by enhancing the content of soil organic matter.

Keywords: karst region; rocky desertification process; NH_4^+-N ; NO_3^--N

收稿日期:2008-12-24

基金项目:国家 973 计划项目“西南喀斯特山地石漠化与适应性生态系统调控”子课题“养分生物地球化学循环及其对石漠化过程的响应”(2006CB403205);国家大学生创新实验计划项目(081030720)

作者简介:周炼川(1985—),男,重庆万州人,在读硕士,主要研究方向为水土资源利用与管理。E-mail:lianhuanzhou@163.com

通讯作者:陈效民 E-mail:xmchen@njau.edu.cn

我国喀斯特山区主要分布于贵州、广西、云南、四川省内,分布面积大约 33.6 万 km²,其中贵州境内的分布面积占 38.7%^[1]。喀斯特地区坡度陡峭,加上石灰岩成土速度慢,土壤蓄水能力弱,植物生长缓慢,系统的抗逆能力、稳定性和自我恢复能力较低^[2-3],由于人为活动的干扰,植被遭受破坏,造成严重的水土流失,使得基岩裸露或沙砾堆积,形成奇特的石漠化景观^[4-5]。目前石漠化已成为我国西南喀斯特地区最严重的生态问题,是制约该区域经济和社会发展的关键因素,甚至已经威胁到人们的生存和发展^[6]。在石漠化过程中,强烈的水蚀作用使土壤表层细粒物质被侵蚀,出现明显砂化现象,从而导致土壤保水保肥性能恶化,造成土地生产力下降^[7],而土地生产力的下降又会进一步推动石漠化的发展。土壤氮素作为石漠化演变过程中土地生产力的重要指标,可以反映土壤对植物的养分供应能力。目前关于喀斯特地区土壤氮素对石漠化过程的响应及其时空变异规律的研究还鲜有报道,因此研究喀斯特地区典型石漠化阶段土壤氮素的变异状况,对于合理地利用土壤资源和土壤退化下的生态修复有着极其重要的意义。

本文以贵州省典型石漠化阶段土壤为研究对象,探讨了铵态氮和硝态氮在石漠化过程中的变化规律、在土

壤剖面中的分布以及动态变化状况,试图为该地区生态系统的适应性修复和重建提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

供试土壤采自贵州省普定县和荔波县,按照植被覆盖度、基岩裸露率等指标选择典型石漠化阶段区域,于 2007 年 5 月(仅采集潜在石漠化土样)和 7、9、11 月及 2008 年 1、3 月在典型地区按照自然发生学原则采集土壤剖面样品,供试土壤基本情况见表 1。

1.2 分析方法

土壤 pH 值的测定采用 pH 计电位法^[8];土壤有机质的测定采用重铬酸钾外加热法^[8];土壤容重的测定采用环刀法^[9];土壤机械组成测定采用吸管法(国际单位制标准)^[9];土壤铵态氮的测定采用 2 mol·L⁻¹KCl 浸提-蒸馏法^[8];土壤硝态氮的测定采用 CaSO₄ 饱和溶液浸提-紫外分光光度计法^[8]。供试土壤基本性质测定结果见表 2。

2 结果与讨论

2.1 石漠化过程对土壤氮素的影响

氮素在生态系统中是一种限制植物生长的重要

表 1 喀斯特地区供试土壤情况
Table 1 The tested soils in karst region

编号	石漠化阶段	土壤名称	采样点	植被	土壤层次/cm	地理坐标		
						N	E	H/m
1	非石漠化	黑色石灰土	贵州荔波尧古村	原始森林	0~12	25°17.545′	107°6.348′	755
					12~24			
					24~50			
2	潜在石漠化	黑色石灰土	贵州普定陈旗村	灌丛	0~8	26°15.646′	105°46.417′	1 457
					8~32			
3	轻度石漠化	黑色石灰土	贵州荔波尧古村	草地	0~17	25°18.879′	107°56.043′	753
					17~49			

注:N 北纬;E 东经;H 海拔高度(m)。

表 2 供试土壤基本性质
Table 2 The properties of the tested soils in karst region

编号	石漠化阶段	层次/cm	pH	有机质/g·kg ⁻¹	容重/g·cm ⁻³	机械组成/g·kg ⁻¹		
						>0.02 mm	0.02~0.002 mm	<0.002 mm
1	非石漠化	0~12	7.52	78.9	0.628	495.7	360.4	143.9
		12~24	7.62	36.8	0.986	299.9	402.7	297.4
		24~50	7.77	17.8	1.142	208.2	435.6	356.2
2	潜在石漠化	0~8	7.57	42.3	0.940	457.8	339.7	202.5
		8~32	7.46	12.1	1.059	220.0	368.6	411.4
3	轻度石漠化	0~17	6.34	19.2	1.247	345.3	433.2	221.5
		17~49	7.53	3.8	1.388	75.6	426.1	498.3

元素^[10]。铵态氮和硝态氮是土壤无机氮素的两种主要形式,可直接被作物吸收利用,其含量显著影响土壤生产力^[11]。喀斯特地区土壤分析结果(表3)显示,土壤中铵态氮及硝态氮含量大小顺序均为非石漠化>潜在石漠化>轻度石漠化。

表3 典型石漠化阶段土壤氮素含量及多重比较

Table 3 The content and multiple comparisons of soil nitrogen under typical stages of rocky desertification

编号	石漠化阶段	土壤名称	铵态氮/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	硝态氮/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$
			平均值($\pm S$)	平均值($\pm S$)
1	非石漠化	黑色石灰土($n=5$)	$11.61\pm 5.62\text{aA}$	$38.01\pm 9.08\text{aA}$
2	潜在石漠化	黑色石灰土($n=6$)	$7.16\pm 2.74\text{abA}$	$5.53\pm 2.72\text{bB}$
3	轻度石漠化	黑色石灰土($n=5$)	$2.85\pm 0.94\text{bA}$	$2.88\pm 1.18\text{bB}$

注:同列数字后面小写字母相同者,差异不显著;小写字母不同者,差异显著($P<0.05$);大写字母不同者,差异极显著($P<0.01$)。

土壤中的氮素是一种以生物来源为主的植物营养元素,其含量与有机质密切相关^[12]。非石漠化的黑色石灰土位于荔波原始森林,具有良好的植被条件,生物活动强烈,有机质丰富且矿化速率快,因而有利于土壤氮素的累积,铵态氮、硝态氮含量分别高达 11.61 和 $38.01\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。随着石漠化的发展,植被类型逐步向灌丛及草地过渡,土壤中有机质逐渐减少,氮素释放量也随之减少,轻度石漠化的黑色石灰土中铵态氮、硝态氮含量分别仅为 2.85 和 $2.88\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。通过SPSS16.0对研究区土壤氮素含量作多重比较发现(见表3):非石漠化土壤与轻度石漠化土壤铵态氮含量差异显著,与潜在石漠化土壤和轻度石漠化土壤硝态氮含量均呈极显著差异。

2.2 土壤氮素在剖面中的变化

从铵态氮剖面变化(图1)可以看出,铵态氮在土壤剖面中的分布表现为表土层高于心土层,这是因为土壤中铵态氮含量主要受有机质的矿化及土壤胶体吸附等因素的影响。土壤剖面由上到下有机质含量逐渐减少,铵态氮释放量也随之减弱,同时由于土壤胶体带有负电荷,铵态氮进入土壤中的包气带后易被土壤颗粒吸附而呈减少的趋势^[13]。此外,还有一部分铵离子被土壤中 $2:1$ 型粘土矿物的晶格固定,成为固定态氮^[14],因而铵态氮的含量随土层的加深而降低。

由硝态氮剖面变化图(图2)可以看出,研究区土壤硝态氮在剖面中的分布规律并不一致。其中非石漠化及潜在石漠化的土壤硝态氮表现出与铵态氮相同的规律,其含量随着土层深度的增加而减小。但轻度

石漠化的土壤中硝态氮却发生相反的变化,即心土层含量高于表土层。这一方面是由于石漠化导致土壤表层发生侵蚀而使硝态氮被淋失;另一方面是因为硝态氮带负电荷,不易被土壤胶体吸附,轻度石漠化土壤植被条件较差,极易受降水影响而被淋溶^[15]。

2.3 土壤氮素的动态变化

由图3、图4可以看出,土壤氮素含量随时间有

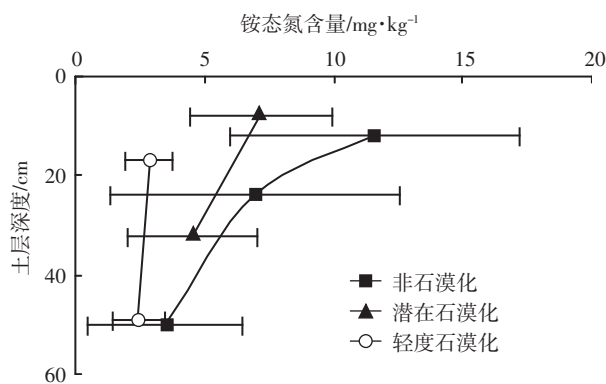


图1 土壤铵态氮含量剖面变化

Figure 1 Change trend of the content of NH_4^+-N with depth in profile

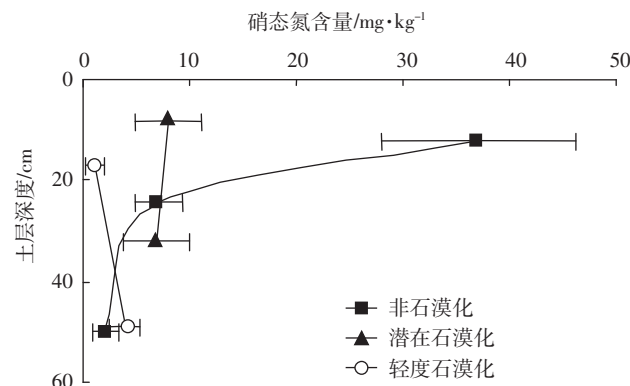


图2 土壤硝态氮含量剖面变化

Figure 2 Change trend of the content of NO_3^--N_3 with depth in profile

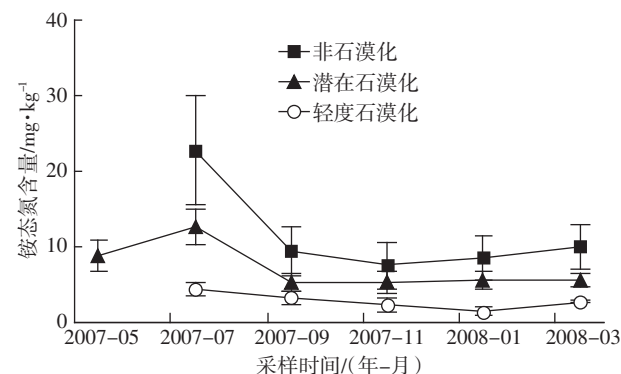


图3 土壤铵态氮动态变化

Figure 3 The content of NH_4^+-N changed with time

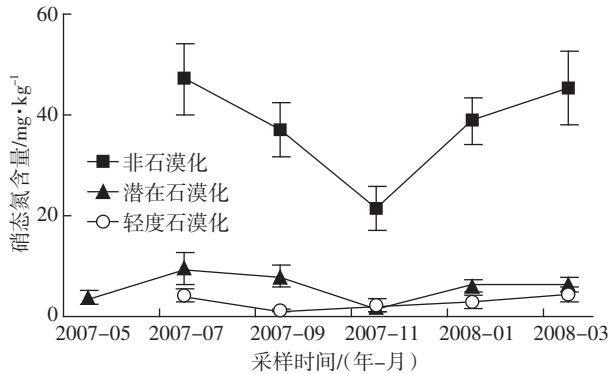


图4 土壤硝态氮动态变化

Figure 4 The content of $\text{NO}_3\text{-N}$ changed with time

明显的变化。铵态氮和硝态氮从5月开始积累,至7月达到峰值后便逐渐降低,11月或翌年1月其含量又略有增加,总体上呈现出先增后减再增的趋势。5月份温度逐渐升高,微生物活动逐渐活跃,土壤有机质矿化作用增强,氮素释放量增大,至7月铵态氮和硝态氮均达到峰值,分别为 22.72 和 $47.09 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。之后随着水热条件的变化,土壤微生物对有机质的分解作用减弱,氮素含量逐渐降低;到11月或翌年1月由于枯枝落叶的归还,土壤有机质增加,铵态氮及硝态氮含量也随之增加。

2.4 土壤有机质与氮素的关系

土壤有机质含量对土壤肥力有着不容忽视的作用。植物所吸收的氮素,大约 $2/3$ 是靠有机质分解后提供的。通过对供试土壤剖面中有机质与铵态氮、硝态氮含量作相关分析可知(见图5、图6),研究区土壤有机质与铵态氮及硝态氮含量呈极显著的一元二次线性相关,相关系数分别为 $r=0.7671^{**}, n=30$; $r=0.9493^{**}, n=30$ 。这说明有机质对土壤中的铵态氮和硝态氮有着保持和供应的作用。同时由图7可以看出,

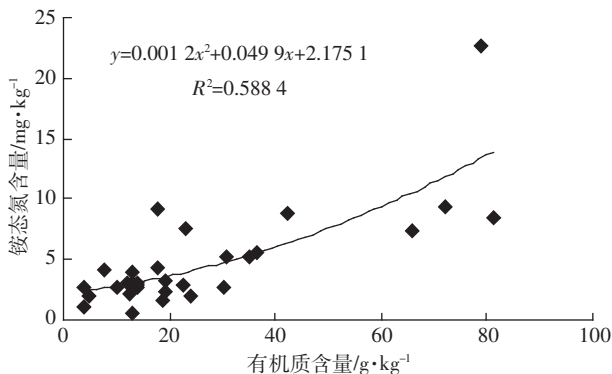


图5 土壤有机质与铵态氮关系图

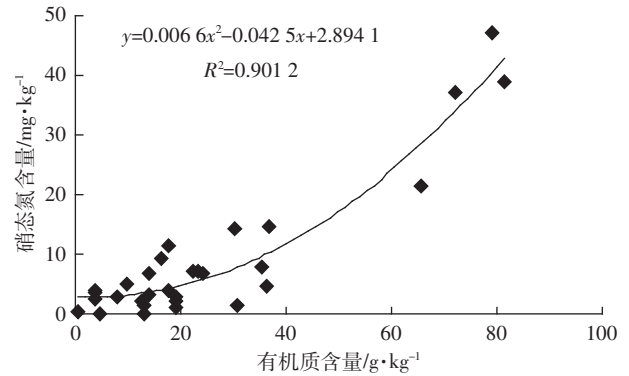
Figure 5 Relationship between organic matter and $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 

图6 土壤有机质与硝态氮关系图

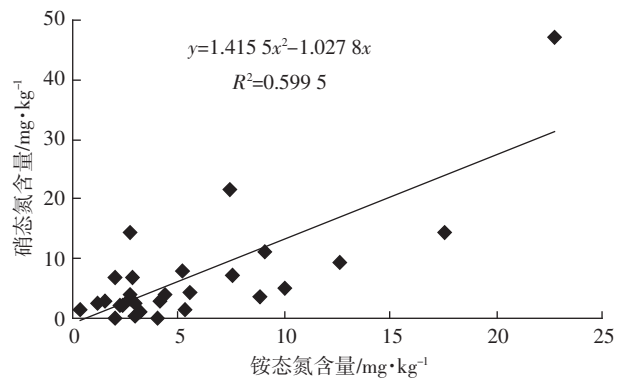
Figure 6 Relationship between organic matter and $\text{NO}_3\text{-N}$ 

图7 土壤铵态氮与硝态氮关系图

Figure 7 Relationship between $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and $\text{NO}_3\text{-N}$

研究区土壤铵态氮与硝态氮含量也存在极显著的线性相关(相关系数 $r=0.7743^{**}, n=30$)。

3 结论

(1)非石漠化的黑色石灰土铵态氮、硝态氮含量分别高达 11.61 和 $38.01 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。随着石漠化程度的加深,土壤中氮素含量逐渐减少,使得植物生长环境更加恶化,加速了石漠化进程。土壤氮素含量减少与石漠化发展互为因果,相互促进。

(2)喀斯特地区土壤氮素具有明显的时空变异规律,这主要是由有机质及微生物活动引起的。

(3)土壤有机质与铵态氮、硝态氮呈极显著的线性相关。通过封山育林等措施增加有机质积累,可显著提高土壤氮素含量,对防治石漠化具有重要意义。

参考文献:

- [1] 刘方,王世杰,刘元生,等.喀斯特石漠化过程土壤质量变化及生态环境影响评价[J].生态学报,2005,25(3):639-644.
LIU Fang, WANG Shi-jie, LIU Yuan-sheng, et al. Changes of soil quality in the process of karst rocky desertification and evaluation of impact

- on ecological environment[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(3):639-644.
- [2] 白占国, 万国江. 贵州碳酸盐岩区域的侵蚀速率及环境效应研究[J]. 水土保持学报, 1998, 4(1):1-7.
- BAI Zhan-guo, WAN Guo-jiang. Study on the rate of erosion and its environmental effects in karst areas of Guizhou[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1998, 4(1):1-7.
- [3] 张殿发, 王世杰. 贵州喀斯特山区生态环境脆弱性的研究[J]. 地理学与国土研究, 2002, 18(1):77-79.
- ZHANG Dian-fa, Wang Shi-jie. Study on eco-environmental vulnerability in Guizhou karst mountains[J]. *Geography and Territorial Research*, 2002, 18(1):77-79.
- [4] 王家嘉, 林昌虎, 何腾兵. 人类活动对贵州喀斯特石漠化地区的影响[J]. 水土保持研究, 2006, 13(5):276-279.
- WANG Jia-jia, LIN Chang-hu, HE Teng-bing. Recognition of human activity in the prevention and control of rocky desertification phenomena in Guizhou karst mountain area[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2006, 13(5):276-279.
- [5] 宋维峰. 我国石漠化现状及其防治综述[J]. 中国水土保持科学, 2007, 5(5):102-105.
- SONG Wei-feng. Review of the present situation and combating of rocky desertification in China[J]. *Science of Soil and Water Conservation*, 2007, 5(5):102-105.
- [6] 朱震达, 崔书红. 中国南方的土地荒漠化问题[J]. 中国沙漠, 1996, 16(4):331-337.
- ZHU Zhen-da, CUI Shu-hong. The problem of desertification in south China[J]. *Journal of Desert Research*, 1996, 16(4):331-337.
- [7] 龙健, 李娟, 邓启琼, 等. 贵州喀斯特山区石漠化土壤理化性质及分形特征研究[J]. 土壤通报, 2006, 37(4):635-639.
- LONG Jian, Li Juan, DENG Qi-qiong, et al. Soil properties and fractal features in the rocky desertification process of karst regions, Guizhou Province[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2006, 37(4):635-639.
- [8] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- BAO Shi-dan. Soil and agricultural chemistry analysis [M]. Beijing: Chinese Agricultural Press, 2000.
- [9] 华孟, 王坚. 土壤物理学[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1993.
- HUA Meng, WANG Jian. Soil physics[M]. Beijing: Beijing Agricultural University Press, 1993.
- [10] 孟盈, 薛敬意, 沙丽清, 等. 西双版纳不同热带森林下土壤铵态氮和硝态氮动态研究[J]. 植物生态学报, 2001, 25(1):99-104.
- MENG Ying, XUE Jing-yi, SHA Li-qing, et al. Variations of soil NH_4^+-N , NO_3^--N and N mineralization under different forests in Xishuangbanna, southwest China[J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2001, 25(1):99-104.
- [11] 白军红, 崔保山, 李晓文, 等. 向海芦苇沼泽湿地土壤铵态氮含量的季节动态变化[J]. 草业学报, 2006, 15(1):117-119.
- BAI Jun-hong, CUI Bao-shan, LI Xiao-wen, et al. Ammonium nitrogen concentration seasonal dynamics in soils from reed wetlands in Xianghai[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2006, 15(1):117-119.
- [12] 涂成龙, 何腾兵, 林昌虎, 等. 贵州西部喀斯特石漠化地区草地土壤有机质和氮素变异特征初步研究[J]. 水土保持学报, 2006, 20(2):50-53.
- TU Cheng-long, HE Teng-bing, LIN Chang-hu, et al. Preliminary study on variation feature of grassland soil organic matter and nitrogen in western karst rocky desertification region, Guizhou Province[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, 20(2):50-53.
- [13] 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.
- [14] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000:194-195.
- HUANG Chang-yong. Soil science[M]. Beijing: Chinese Agricultural Press, 2000:194-195.
- [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.
- CHEN Xiao-min, DENG Jian-cai, ZHANG Jia-bao, et al. Horizontal transport of nitrate in main soil groups of Huang-Huai-Hai plain[J]. *Environmental Science*, 2002, 23(5):96-99.