

# 紫色土坡耕地不同施肥水平下氮随径流流失特征研究<sup>\*</sup>

姚 军, 唐春霞, 何丙辉

(西南大学 资源环境学院 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400715)

**摘 要:** 采用径流小区定点监测, 研究了紫色土坡耕地“冬小麦-夏玉米”种植模式下不同施肥水平处理氮随径流流失特征。试验结果表明: 产流量与降雨量变化趋势基本一致。在同等施肥水平下(583.20 kg/hm<sup>2</sup>), 常规处理(农家肥+化肥)中, 总氮、硝态氮及氨态氮的浓度变化不显著, 各处理氮流失系数分别为: 常规处理 1.82%, 优化处理 2.66%, 横坡垄作 0.51%, 横坡垄作中总氮、硝态氮及氨态氮流失量较优化处理相应减少了 60.4%, 73.2%, 53.9%, 较常规处理总氮、硝态氮相应减少 28.8%, 10.4%, 氨态氮增加 2.4%。在同等种植模式下(顺坡), 增量处理(施肥量增加 50%), 氮流失系数为 2.46%, 总氮、硝态氮及氨态氮流失量较优化处理相应增加 23.3%, 11.1%, 69.1%。在外界因素如“前期降水较少、施肥后短期内出现较大强度降雨等”强力干扰下, 各形态氮素流失量显著增加, 且有随施肥量增加而增大的趋势。

**关键词:** 紫色土; 施肥水平; 流失量; 流失系数

中图分类号: S157

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)02-0054-04

## Effects of Different Fertilization Level on N-losses along with Surface Runoff on Slope Land of Purple Soil

YAO Jun, TANG Chong-xia, HE Bing hui

(College of Resources and Environment, Key Laboratory of Eco-environments in Three Gorges Region (Ministry of Education) Southwest University, Chongqing 400715, China)

**Abstract:** Through monitoring the runoff in plots, the N-loss was studied under different fertilization levels with winter wheat-summer maize rotation on the slope land of purple soil. The results showed that the amount of runoff was consistent with rainfall. Under the same fertilization level (583.20 kg/hm<sup>2</sup>), for the conventional treatment, the TN, NO<sub>3</sub>-N and NH<sub>4</sub>-N did not change significantly; the coefficients of N-loss are as follows: 1.82% with conventional treatment, 2.66% with optimization treatment and 0.51% under cross-ridge. Compared with optimization treatment and conventional treatment, the TN, NO<sub>3</sub>-N and NH<sub>4</sub>-N reduced 60.4%, 73.2%, 53.9% and 28.8%, 10.4%, -12.4%, separately under cross ridge treatment. Under the same plantation mode, incremental treatment (fertilizer increase 50%), the N-loss coefficient is 2.46% and the TN, NO<sub>3</sub>-N and NH<sub>4</sub>-N increased 23.3%, 11.1%, 69.1% compared with optimization treatment. The results also showed that the disturbance under external factors such as little precipitation and a heavy rainfall shortly after fertilization, will increase the N-loss significantly, and the loss increased with increasing fertilization.

**Key words:** purple soil; fertilization level; loss amount; loss coefficient

土壤侵蚀和水土流失是一个世界性的环境问题, 它一方面导致营养物质最为丰富的表土流失, 另一方面径流与泥沙携带大量的养分进入水体, 导致

水体富营养化。大量研究表明<sup>[1-3]</sup>, 坡地严重的水土流失导致农田土壤与氮、磷、钾等营养元素的大量流失是土壤质量退化的重要原因。但是人们为了满足

\* 收稿日期: 2009-10-13

基金项目: 农业部重点科技项目“种植业源污染物流失系数测算”(W X-Z-201); 国家自然科学基金(40671115); 重庆市自然科学基金重点项目(2007BA1015); 西南大学生态学重点学科“211工程”

作者简介: 姚军(1985-), 男, 重庆巫溪人, 硕士研究生, 主要从事水土保持与农业面源污染研究。E-mail: yaojun@swu.edu.cn

通信作者: 何丙辉(1966-), 教授, 博士生导师, 主要从事土壤侵蚀与小流域综合治理研究。E-mail: hebinghui@swu.edu.cn

日益增长的物质需求,大量使用农业化学产品,例如化肥、农药等,以期提高作物产量,同时也对地表、地下水构成严重威胁<sup>[4]</sup>。

氮是植物生长发育的必需营养元素<sup>[5]</sup>,参与组成植物体内许多重要化合物,是植物体生长代谢过程不可缺少的。但氮、磷肥料的过量施用造成的非点源污染问题也越来越严重<sup>[6]</sup>。如何设计科学合理的施肥制度,减轻由施肥造成的农业面源污染是目前农业生产中面临的主要问题。

紫色土是西南地区主要耕作土壤,该区域地势陡,坡度大,降雨丰沛,水土、养分流失严重<sup>[7]</sup>。目前国内学者对紫色土坡耕地的养分流失做了大量研究,但大多数研究侧重于坡面泥沙和径流的流失规律,以及不同雨强、坡度、种植模式及土地利用方式等,对土壤养分流失的影响,而施肥水平与养分流失

关系的研究较少<sup>[8]</sup>。本试验以紫色土坡耕地“冬小麦-夏玉米”种植模式为研究对象,开展了不同施肥水平下坡耕地氮随径流流失特征的研究,以期为该地区设计合理的施肥制度,减轻由化肥的径流损失带来的环境问题等提供参考。

## 1 试验地概况与研究方法

### 1.1 试验材料

试验地位于重庆市西南大学后山农场(106°24′20″E, 29°48′42″N)。丘陵地貌,位于正西方向,山腰部位的15°坡耕地。试验点属亚热带季风气候,年平均降雨量1100 mm,年平均气温18.3℃,年日照1270 h。土壤为中等肥力水平的紫砂泥,质地为中壤,地方土名为沙溪庙组紫色土。供试土壤理化性状详见表1。

表1 土壤基本理化性状

土层/cm	硝态氮/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	氨态氮/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	有机质/ (g·kg <sup>-1</sup> )	全氮/ (g·kg <sup>-1</sup> )	全磷/ (g·kg <sup>-1</sup> )	有效磷/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	有效钾/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	pH
0-20	0	0	5.94	0.53	0.66	3.9	71.96	8.16
20-40	0	0	0	0	0	4.084	84.22	8.13

### 1.2 小区设置

试验共设置径流小区15个,小区规格为8 m×4 m,为了防止各小区间发生水分和养分的交换,小区之间用水泥墙体的田埂隔开。在径流小区与径流池相连一端,沿小区宽度方向挖一个集流槽,在集流槽中间位置设“V”型径流入水口。每一个小区的径

流入水口高度保持一致。

### 1.3 实验处理

试验共分5个施肥水平处理,各处理设3个重复。主要施用肥料为尿素、农家肥,尿素总氮含量46.4%,农家肥总氮含量24.0%,施肥方式为撒施。各处理具体施肥量详见表2。

表2 各处理施肥情况表

实验处理	施肥含氮量/(kg·hm <sup>-2</sup> )	肥料种类	施肥方式	耕作方式
对照处理 T1	-	-	-	顺坡
常规处理 T2	583.20	尿素+ 农家肥	撒施	顺坡
优化处理 T3	583.20	尿素	撒施	顺坡
增量处理 T4	829.80	尿素	撒施	顺坡
横坡垄作 T5	583.20	尿素	撒施	横坡

### 1.4 样品采集与分析

每次采集样品时,先测量径流量。然后将径流池内的水搅拌均匀,采集径流水样,每次采集500 ml左右。测定样品中硝态氮、氨态氮、总氮的浓度。

土壤样品中硝态氮、氨态氮、总氮、有机质等测定采用土壤农化常规分析方法<sup>[9]</sup>。

水样的测定:总氮的测定用过硫酸钾氧化法,氨态氮用靛酚蓝比色法,硝态氮用紫外分光光度法<sup>[10]</sup>。

### 1.5 数据处理

(1)氮流失量。测得各次径流水中氮的浓度及径流量,将二者相乘得各处理单次径流氮流失量,累计相加得各处理整个实验期间氮素流失总量。计算公式如式(1)。

$$N = \sum_{i=1}^n C_i \times V_i \quad (1)$$

式中:  $N$  ——氮流失量;  $C_i$  ——第  $i$  次径流水中氮的浓度;  $V_i$  ——第  $i$  次径流水的体积。

(2)氮流失系数。流失系数是以流失率(%)表示,计算公式如式(2):

$$\text{流失系数} = \frac{\text{各处理氮流失量} - \text{对照处理氮流失量}}{\text{各处理施肥量}} \times 100\% \quad (2)$$

## 2 结果与分析

试验从小麦种植开始,至玉米收割结束,即从2007-12-03至2008-07-14。期间共产生径流7次。

### 2.1 径流量与降雨量关系

表 3 为整个实验期间降雨量及各处理历次产流情况。

由表 3 可以看出各处理产流量与降雨量变化趋势基本一致,即降雨量越大,径流量越多。同时由 4 月 16 日到 4 月 23 日 4 次连续产流可以看出,土壤前期含水量对坡面产流有较大影响。比较各处理同一次降雨中的产流量,发现横坡垄作处理径流量明显少于其它处理,这是由于横坡垄作较顺坡耕作具有更好的保水效果;对照处理(不施肥)各次降雨中的产流量均高于其它处理,这是因为对照处理没有施用任何肥料,作物缺少生长必须的营养元素,导致该处理较其它各处理植被覆盖度偏低,因此同次降雨中产流量要高于其它处理。

表 3 各处理产流情况表

产流时间	各处理历次产流量/L					降雨量/mm
	T1	T2	T3	T4	T5	
2008-04-16	0.85	4.32	5.23	0.78	0.37	58.3
2008-04-19	5.92	5.09	28.41	4.95	1.48	15.0
2008-04-22	1.03	5.00	88.00	68.17	0.93	23.8
2008-04-23	36.00	4.35	33.33	18.33	12.50	21.5
2008-06-16	34.02	35.00	30.23	26.57	15.73	74.5
2008-06-20	21.50	4.91	35.33	24.33	25.45	34.2
2008-07-05	36.00	3.87	5.5	2.23	17.23	30.5

### 2.2 径流中氮浓度变化

图 1- 3 为各次径流水中总氮、硝态氮、氨态氮的浓度变化情况。

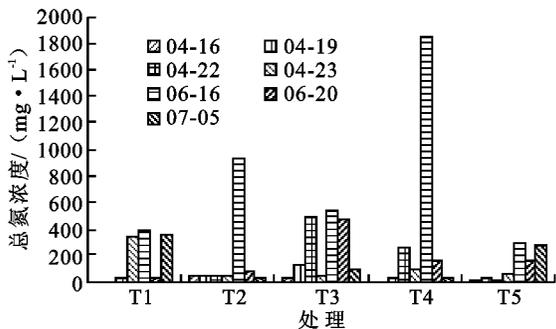


图 1 各处理不同产流水样中总氮浓度变化情况

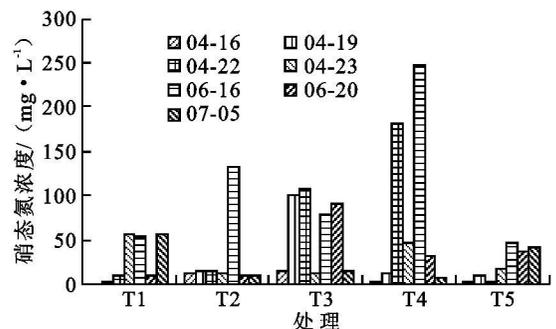


图 2 各处理不同产流水样中硝态氮浓度变化情况

由图 1- 3 可以看出各处理总氮、硝态氮及氨态氮浓度均在第 5 次产流(6 月 16 日)达到高峰。按对照、常规、优化、增量及横坡垄作的顺序,总氮分别为: 381. 78, 931. 89, 528. 97, 1 848. 40, 293. 83 mg/ L; 硝态氮分别为: 52. 56, 131. 69, 77. 50, 246. 51, 46. 06; 氨态氮分别为: 173. 05, 71. 24, 44. 91, 140. 77, 23. 08 mg/ L。结合农事管理及降雨综合考虑,6 月 8 日对玉米进行了追加施肥,在 6 月 16 日产流之前整个 5 月无 1 次产流,土壤含水量较低,本次降雨产流与追加施肥相差仅 1 个星期,同时本次降雨强度达 74. 5 mm (见表 3),因此氮素随地表径流大量流失。

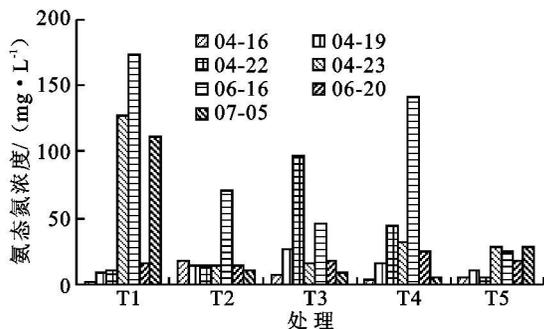


图 3 各处理不同产流水样中氨态氮浓度变化情况

同时可以发现常规处理(农家肥+ 化肥),各次径流中总氮、硝态氮及氨态氮的浓度变化不显著,即氮素流失与径流量无显著相关。

通过对比分析优化、增量、横坡垄作 3 种处理历次产流中各形态氮素流失浓度可以得出:硝态氮及氨态氮的流失浓度随施肥量的增加显著增加,总氮流失浓度随施肥量的增加反而减少。同时可以看出优化、增量处理中总氮、硝态氮及氨态氮的浓度变化较为急剧,横坡处理总氮、硝态氮及氨态氮的浓度变降较为平缓,说明横坡处理由于其优越的保水性能,能明显减缓氮素的流失。

综上所述可得,一般情况下,施用化肥硝态氮及氨态氮的流失浓度随施肥量的增加显著增加,总氮流失浓度随施肥量的增加有减少的趋势。施用农家肥+ 化肥,各次径流中总氮、硝态氮及氨态氮的浓度相对稳定,氮素流失与径流量无显著相关;横坡垄作较顺坡耕作总氮、硝态氮及氨态氮的浓度变化平缓,说明横坡垄作能明显减缓氮素的流失。在外界因素如前期降水较少、施肥后短期内出现较大强度降雨等强力干扰下,各形态氮素流失量随施肥量增加显著增加。

### 2.3 径流中氮流失量及流失系数分析

按式(1)、式(2)计算出各处理氮素流失量及流失系数,详见表 4。

表 4 各处理氮素径流流失总量及流失系数

处理	施肥含 N 总量/ (kg · hm <sup>-2</sup> )	氮素流失总量/(kg · hm <sup>-2</sup> )			流失 系数/%
		总氮	硝态氮	氨态氮	
T1	-	5.27	0.81	1.99	-
T2	583.20	10.61	1.54	0.89	1.82
T3	583.20	20.81	5.16	2.17	2.66
T4	829.80	25.69	5.73	3.67	2.46
T5	583.20	8.24	1.38	1.00	0.51

注:施肥量、流失量均为试验数据经单位换算得来。

由表 4 及图 4 可知,各处理氮素流失量具有显著差异。总氮: T4> T3> T2> T5,即增量处理>优化处理>常规处理>横坡垄作处理;硝态氮: T4> T3> T2> T5,即增量处理>优化处理>常规处理>横坡垄作处理;氨态氮: T4> T3> T5> T2,即增量处理>优化处理>横坡垄作处理>常规处理。之所以出现此种差异,是由于各处理间施肥水平、种植方式不同所致。

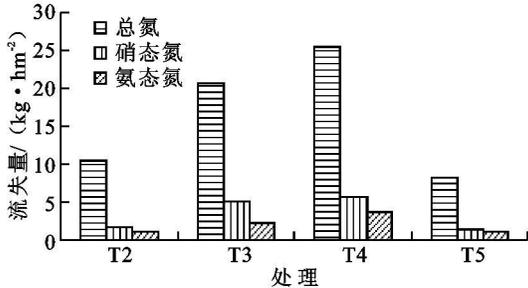


图 4 各处理氮素流失量对比

对比分析 T2、T3、T5 试验数据可以发现:在施肥量相同的情况下, T5 处理总氮、硝态氮及氨态氮流失量较 T3 处理相应减少了 60.4%, 73.2%, 53.9%, 较 T2 处理相应减少 28.8%, 10.4%, -12.4%。即横坡垄作优于优化处理、常规处理,这是由于横坡垄作较顺坡耕作保水保土性能更好;常规处理优于优化处理。这是由于常规处理施用的是农家肥与化肥复合施用,优化处理只施用了化肥,而农家肥有利于促进土壤团粒结构的形成,使土壤中空气和水的比值协调,使土壤疏松,增加保水、保温、透气、保肥的能力。

对比分析 T3、T4 试验数据可以发现:在相同种植模式下(顺坡耕作)施肥量增加 50%,总氮、硝态氮及氨态氮流失量相应增加了 23.5%, 11.1%, 69.4%,即在同等种植模式下,随着施肥量的增加,氮素流失量明显增加。

各处理流失系数 T3< T4< T2< T5(表 4)。该结果与氮素流失总量变化趋势基本一致。

### 3 结论

(1) 产流量与降雨量变化趋势基本一致。即降

雨量越大,径流量越多;横坡垄作由于其优异的保水性能径流量明显少于顺坡耕作;对照处理没有施用任何肥料,作物缺少生长必须的营养元素,导致该处理较其它各处理植被覆盖度偏低,因此同次降雨中产流量要高于其它处理。

(2) 一般情况下硝态氮及氨态氮的流失浓度随施肥量的增加显著增加,总氮流失浓度随施肥量的增加有减少的趋势。复合施用农家肥与化肥,各次径流中总氮、硝态氮及氨态氮的浓度相对稳定,氮素流失与径流量无显著相关;在外界因素如“前期降水较少、施肥后短期内出现较大强度降雨等”强力干扰下,各形态氮素流失量随施肥量增加显著增加。

(3) 在施肥量相同的情况下,横坡垄作优于顺坡耕作,复合施用农家肥与化肥优于单纯施用化肥;在同等种植模式下,施肥量增加 50%,总氮、硝态氮及氨态氮流失量相应增加了 23.5%, 11.1%, 69.4%,即在同等种植模式下,随着施肥量的增加,氮素流失量明显增加。

#### 参考文献:

- [1] 郑粉丽. 面侵蚀分带侵蚀过程与降雨-土壤水分转化、土壤退化关系的研究[J]. 环境科学, 1984, 5(6): 5-10.
- [2] Hargrave A. P. And Shaykewich C. F. Rainfall induced Nitrogen and phosphorus loss from Manitoba soil[J]. Canadian journal of soil science, 1997, 77: 59-65.
- [3] Douglas C L, King K A, Zuzel J F. Nitrogen and phosphorus in surface runoff and sediment from a Wheat-pea rotation in Northeastern Oregon[J]. Environ Qual, 1998, 27: 1170-1177.
- [4] 邵明安, 上官周平, 康绍忠, 等. 地水分养分动力学研究的基本思路[M]. 西安: 陕西科技出版社, 1999: 3-9.
- [5] 晏维金, 尹澄清, 孙濮, 等. 磷氮在水田湿地中的迁移转化及径流流失过程[J]. 应用生态学报, 1999, 10(3): 312-316.
- [6] 陈晶中, 陈杰, 谢学俭. 土壤污染及其环境效应[J]. 土壤, 2003, 35(4): 298-303.
- [7] 何毓蓉, 郑霖, 陈学华. 中国紫色土(下篇)[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [8] 黄丽, 丁树文, 董舟, 等. 三峡库区紫色土养分流失的实验研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 4(1): 9-14.
- [9] 南京农业大学. 土壤农化分析[M]. 北京: 农业出版社, 1996: 29-84.
- [10] Sharpley A N, Chapra S C, Wedepohl R, et al. Managing agricultural phosphorus for protection of surface waters: issues and options[J]. Environ. Qual., 1994, 23: 437-451.