

施肥对农田氮磷污染物径流输出的影响研究^①

段永惠¹ 张乃明² 张玉娟²

(1 山西财经大学环境经济系 太原 030006; 2 云南农业大学资源与环境学院 昆明 650201)

摘要 施肥不当是造成农田地表径流 N、P 污染的主要原因。本文采用实地调查与模拟实验相结合的方法,研究了不同肥料品种、不同施肥强度、不同施肥时间与方式对土壤地表径流 N、P 流失的影响。结果表明,农田径流 N、P 的流失量与肥料投入水平有一定的正相关性,施肥后土壤地表径流中总 P 浓度比未施肥前成倍增加。不同肥料品种以硝酸铵最易增加径流中 N 的含量;通过经济与环境协调分析,相对于其他处理而言,一定量的尿素与普钙配合施用可减少 N、P 流失,同时获得较高的白菜产量;就施肥方式而言,深施或穴施比表施可显著降低径流中 N、P 的流失量。

关键词 农田土壤; 化肥; 氮磷流失; 非点源污染

中图分类号 X531

农田土壤 N、P 随地表径流向水体迁移是农田 N、P 养分损失的主要途径之一,也是造成农业非点源污染的主要原因。大量研究表明^[1~4],农田土壤地表径流 N、P 的输出不仅造成经济上的浪费,而且是构成地表水体富营养化的第一大威胁。国内外研究表明^[5,6],农田地表径流 N、P 流失受地形、地貌、植被、土壤、耕作和施肥等多种因素的影响。在这些因素中,通过施肥方式的改进和施肥量的确定可有效地减少 N、P 流失^[7,8]。但整体而言,目前国内对于 N、P 等农用化合物随地表径流流失的研究还处于起步、探索阶段^[8],不同肥料品种配合对农田地表径流 N、P 流失的定量研究鲜见报道。

本文以滇池流域为研究区,采用实地调查与模拟实验相结合的方法,分析不同肥料品种对农田地表径流 N、P 流失的影响,通过合理的施肥措施降低农田地表径流 N、P 的流失量,以对有效防治农业非点源污染提供依据。

1 试验材料与方法

1.1 调查与采样

本研究调查将重点放在社会经济相对发达、人口密集、耕地集中、农业生产投入水平高的沿湖 2 km 以内的湖滨地区,涉及 15 个乡镇,面积为 220 km²,占滇池流域总面积的 7.5%。在实地考察的基础上,遵循均匀分布、代表性、典型性的原则,选

取了 15 个研究采样区,包括官渡区、呈贡县、晋城县、晋宁和西山区共 15 个乡镇。每个采样区分 3 个调查采样片,每个调查采样片调查 10 户典型农户,并采集相应的水样和土样(0~20 cm 耕层)。

1.2 模拟实验方案

试验于 2001~2003 年在昆明市郊区云南农业大学实验农场进行,小区面积为 2 m × 0.35 m,坡度为 8°,供试土壤为红壤,质地为粘壤, pH 6.55;有机质含量 29.3 g/kg, TN 2.7 g/kg, TP 0.40 g/kg, TK 15 g/kg, 碱解 N 136 mg/kg, 速效 P 26.3 mg/kg。以白菜为供试作物,设计了不同肥料品种、不同措施的田间小区试验。

不同肥料品种试验按 3 因素 3 水平正交试验设计(表 1),3 次重复,全部肥料为一次性基肥施于白菜播种前的田中。试验所用调理剂为自制,由沸石粉和双氰胺组成。试验采用人工降雨装置进行。田间管理同一般大田。

2 结果与讨论

2.1 化肥施用强度对农田土壤 N、P 流失的影响

为研究不同化肥施用强度与农田径流中 TN、TP 的负荷关系,对滇池流域沿湖 15 个乡镇进行了研究分析。结果表明,在化肥使用中, N 肥平均施用强度为(换算成 N) 1289.2 kg/(hm²·a), P 肥平均施用强度为(换算成 P₂O₅) 390.0 kg/(hm²·a)。从图

^①云南省应用基础研究基金项目(No.1999C0011G)资助。

1 可以看出,各研究区农田径流 N、P 年均流失量差异较大, TN 为 5.07 ~ 113.16 kg/hm², TP 为 0.15 ~ 10.14 kg/hm², N 肥和 P 肥施用强度与农田径流中 TN 和 TP 负荷具有一定的相关性, $r=0.87$ ($n=16$),

即 N、P 肥的施用强度较大, 径流中的 TN、TP 负荷也较大。但是这种相关性在各个研究区之间存在一定的差异, 这主要与各地的土地利用方式、水肥管理方式及种植制度有关。

表 1 肥料品种及水平对 N、P 流失影响正交试验因素、水平表

Table1 Factors and levels of the orthogonal test for effect of fertilizer varieties and application rate on TN and TP loss

水平	因素		
	N	P	K
1	尿素 120g	普钙 168g	0
2	碳铵 320 g	普钙 168g+调理剂 16.8g	硫酸钾 10g
3	改性碳铵 360g	磷酸二氢钾 22g	硫酸钾 30g

TN 采用过硫酸钾氧化-紫外分光光度法测定; TP 采用氯化亚锡还原分光光度法测定^[9]。

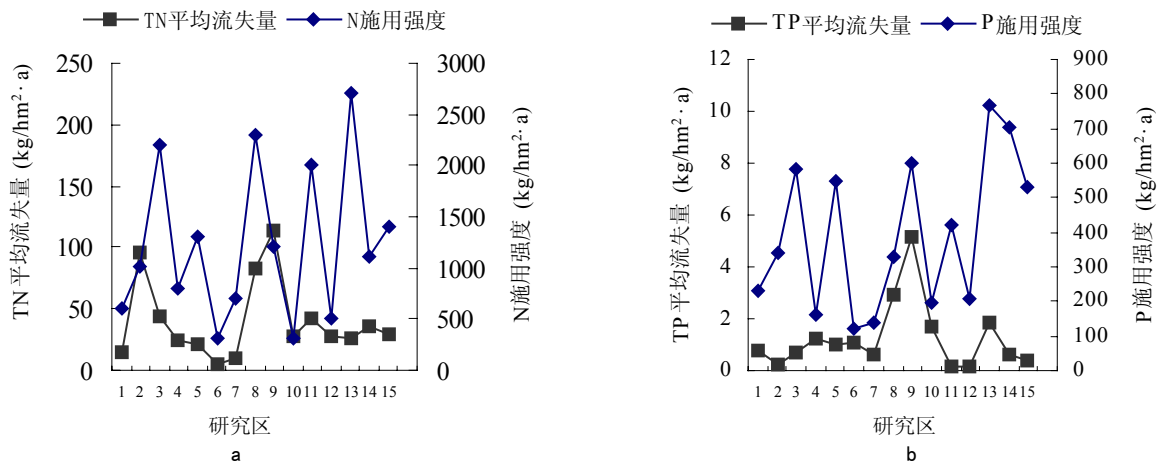


图 1 化肥施用强度与农田径流中 TN(a)、TP(b) 负荷关系

Fig. 1 Relationship between fertilizer application intensity and nutrients load in farmland runoff in Dianchi watershed

2.2 不同肥料品种对土壤 N、P 流失的影响

2.2.1 不同 N 肥品种对农田土壤 N 污染负荷的影响 N 肥品种不同, 进入土壤中 N 的形态和含量就会有所差异, 从而将影响到地表径流中的流失量。不同 N 肥品种对农田土壤径流 N 流失的影响见表 2。

表 2 不同 N 肥品种对农田 N 污染负荷的影响

Table 2 Effect of nitrogenous fertilizer varieties on nitrogen pollution load in farmland runoff

序号	N 肥品种	N 的利用率(%)	径流中 TN (mg/L)
1	碳酸铵	33.8	7.1
2	硝酸铵	29.7	8.2
3	氯化铵	34.7	5.9
4	硫酸铵	38.1	5.2
5	尿素	42.5	3.8

从试验结果可以看出, 施用 N 肥的各个处理作物(白菜)对 N 的吸收利用率顺序为尿素>硫酸铵>氯化铵>碳酸铵>硝酸铵, 相应的土壤径流中 TN 含

量为尿素<硫酸铵<氯化铵<碳酸铵<硝酸铵。方差分析 $F_{0.05}=7.83>4.46$, 说明处理间土壤径流中 TN 含量达显著水平, 进一步采用 LSD 法进行多重比较, 结果表明, 施硝酸铵、碳酸铵处理中土壤径流 TN 含量显著高于施氯化铵、硫酸铵的径流 TN 含量, 氯化铵和硫酸铵两种肥料的处理间无显著差异, 但此两种肥料处理的土壤径流 TN 含量又显著高于尿素。

2.2.2 N、P、K 肥配合对土壤 TN 流失的影响

N、P、K 肥配合可有效提高白菜产量, 同时也会对土壤径流养分含量产生影响。本研究在不同 N 肥品种对土壤径流 N 污染负荷试验基础上, 将尿素、碳酸铵与改性碳酸铵作为不同处理, 分别与不同 P 肥、K 肥进行 3 因素 3 水平的正交试验。极差分析与方差分析结果表明, 各因素对 TN 流失影响的主次顺序为: N 肥-P 肥-K 肥, 其中 N 肥达显著水平, $F_{0.05}=7.93$ 。表 3 研究结果表明, 使 TN 流失量最少的处理组合是 N1-P2-K1。由于正交试验是部分试

验的试验设计, 所以分析选出的最优处理组合常常不一定与实际试验结果最好的处理组合相符, 通常可以用分析选出的最优处理组合与实际结果较低的处理组合再重复试验一次, 以提高试验结果的正确性。本研究重复试验后, 认为 N1-P2-K1 是使 TN 流失量最少的处理组合。

表 3 各处理各水平对 TN 流失影响比较 (kg/hm^2)

Table 3 Comparison between treatments and level in TN loss

N 肥	TN 流失量	P 肥	TN 流失量	K 肥	TN 流失量
1	72.02A	1	106.17B	1	95.89A
2	92.74B	2	88.46A	2	98.60AB
3	128.04C	3	100.89AB	3	101.03B

注: 同一组的数字有相同字母者, 其间的差异没有达到 $p=0.01$ 水平的显著度。下同。

2.2.3 不同肥料品种配合对土壤 TP 流失的影响

根据极差分析, 不同肥料品种各因素对 TP 流失影响的主次顺序为: N 肥-K 肥-P 肥, N、P、K 的交互作用和 N 肥品种对 TP 的流失影响极大。表 4 的研究结果表明, N 肥最优水平为 3, P 肥最优水平为 3, K 肥最优水平为 2, 即 TP 流失量最少的处理组合是 N3-P3-K2。由此组合方案分析, 施用适量 K 肥可以降低地表径流中 TP 流失量, 其主要原因是 K 肥施入后, 由于提高了土壤养分的有效含量和作物吸收率, 使得土壤中 TP 含量相对减少。

表 4 各处理各水平对 TP 流失影响比较 (kg/hm^2)

Table 4 Comparison between treatments and levels in TN loss

N 肥	TN 流失量	P 肥	TN 流失量	K 肥	TN 流失量
1	7.81A	1	8.90B	1	8.77A
2	12.30B	2	9.28A	2	7.18AB
3	6.71C	3	8.64AB	3	10.86B

由于 N、P、K 肥的配施可显著提高作物对养分的吸收利用, 故其对白菜产量的影响非常显著, 正交试验结果表明, 使白菜产量最高的组合是 N1-P1

-K3。综合 TN、TP 流失和白菜产量来看, N1-P2-K1 使 TN 流失最少, N3-P3-K2 使 TP 流失最少, N1-P1-K3 使白菜产量最高。若采用 N1-P2-K1 组合, TN 流失最少, 但 TP 流失因此增加 14.73%, 白菜产量减少 6.91%; 采用 N3-P3-K2, TP 流失最少, 但 TN 流失增加 28.69%, 白菜产量减少 6.24%; 采用 N1-P1-K3, 白菜产量最高, 但 TN 流失增加 7.93%, TP 流失增加 22.35%。若将环境和粮食视为同等重要, 即 TN、TP 每增加 1 个百分点各损失 1 个单位货币, 白菜每减少 1 个百分点也损失 1 个单位货币, 由此计算, 采用 N1-P2-K1 组合, 将损失 21.64 个货币单位; 采用 N3-P3-K2 组合, 将损失 34.93 个货币单位; 采用 N1-P1-K3 组合, 将损失 30.28 个货币单位。相比较而言, 采用 N1-P2-K1 组合将更符合可持续发展要求。

2.3 不同施肥时间及方式对 N、P 流失的影响

施肥既是农业获得稳产高产最常用也最重要的技术措施, 又是农田地表径流 N、P 污染的主要来源。从图 2 施肥前后的模拟测定结果看, 径流中 TP 浓度和输出量在施肥后比施肥前增加几倍甚至十几倍, 这说明农田施肥后立即灌水或遇到大的降雨时, 径流中 P 的污染负荷会急剧增大。因此, 应尽量避免在雨前施肥。

在施肥量一定的情况下, 不同的施肥方式会对 N 素流失产生不同的影响。从图 3 两种施肥方式的模拟测定结果看, 径流中 TN 浓度表施(面施)比穴施明显增加, 施肥后如遇降雨, 流失量会急增, 而且面施增幅比穴施更大。

3 结论

(1) 农田径流 N、P 的流失量与肥料投入水平有一定的正相关性, 同时与研究区的土地利用方式、水肥管理及种植制度有关。

(2) 不同化学 N 肥品种对地表径流中 N 的流失

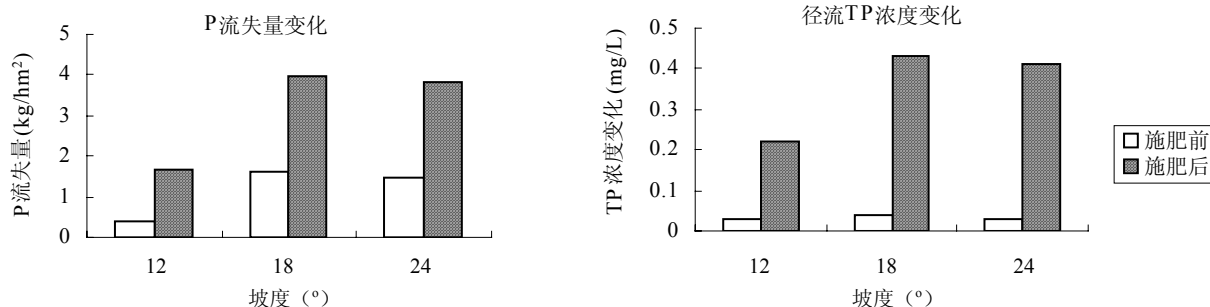


图 2 施肥前后径流 TP 浓度和流失量的变化

Fig. 2 TP concentration and loss rate before and after fertilization

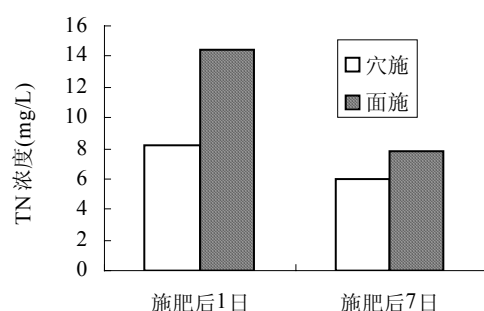


图3 不同施肥方式下径流中TN浓度的比较

Fig. 3 TN concentration under different manner of fertilizer application

量影响程度不同,硝酸铵最易增加径流中N的含量,说明 NO_3^- -N肥的影响作用大于 NH_4^+ -N肥。施用尿素比碳酸铵可显著降低径流中N的流失量。

(3) 采用不同肥料品种组合可调控地表径流N、P的流失量,合理的N、P、K肥配施既可提高作物(白菜)产量,同时又降低径流中N、P的流失量。

(4) 施肥后土壤地表径流中TP浓度和污染输出负荷比未施肥前成倍增加,说明不在下雨前追施肥料或者农田施肥后不立即进行灌水可大大降低P的污染负荷。就施肥方式而言,深施或穴施比表施可显著降低径流中N、P的流失量。

参考文献

1 司友斌,王慎强,陈怀满. 农田氮、磷的流失与水体富营养化. 土壤, 2000, 32 (4): 188 ~ 193

- Onema O, Roest CWJ. Nitrogen and phosphorus losses from agriculture into surface waters: the effects of policies and measurements in the Netherlands. Water Science and Technology, 1998, 37: 19 ~ 30
- Su Dechun, Yang Fenhe, Zhang Fusuo. Profile characteristics and potential environmental effect of accumulated phosphorus in soils of vegetable fields in Beijing. Pedosphere, 2002, 12 (2): 179 ~ 184
- 李俊良, 陈新平, 李晓林, 张福锁. 大白菜氮肥施用的产量效应、品质效应和环境效应. 土壤学报, 2003, 40 (2): 261 ~ 266
- 黄满湘, 章申, 张国梁, 张秀梅. 北京地区农田氮素养分随地表径流流失机理. 地理学报, 2003, 58 (1): 147 ~ 153
- 张乃明, 余扬, 洪波, 陈建军. 滇池流域农田土壤径流磷污染负荷影响因素. 环境科学, 2003, 24 (3): 155 ~ 157
- 潘根兴, 褚清河, 张英, 李恋卿, 黄筱敏, 王吉方, 景学义. 太湖地区高产水稻土经济极点施肥: 一种农田N、P养分负荷的田间控制技术. 环境科学, 2003, 24 (3): 96 ~ 100
- 张兴昌, 郑剑英, 吴瑞浚, 翟连宁, 马炳召. 氮磷配合对土壤氮素径流流失的影响. 土壤通报, 2001, 32 (3): 110 ~ 112
- 国家环保局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法. 北京: 中国环境科学出版社, 1989, 278 ~ 280

EFFECT OF FERTILIZER APPLICATION ON NITROGEN AND PHOSPHORUS LOSS WITH FARMLAND RUNOFF

DUAN Yong-hui ZHANG Nai-ming ZHANG Yu-juan

(1 Department of Environmental Economics, Shanxi University of Finance & Economics, Taiyuan 030006;

2 College of Resources & Environmental Science, Yunnan Agriculture University, Kunming 650201)

Abstract Chemical fertilizer application plays an important role in nitrogen and phosphorus pollution of farmland runoff. By means of field survey and simulation test, effects of variety of fertilizer, intensity, timing and manner of fertilizer application on nitrogen and phosphorus losses from farmland were studied in this paper. The results show that excessive application of fertilizer was the primary cause of nitrogen and phosphorus loss from the farmland. Among different varieties of fertilizer, ammonium nitrate remarkably increased the concentration of total nitrogen in the runoff. Compared with other treatments and levels, application of urea coupled with superphosphate and potassium sulphate could reduce nitrogen and phosphorus loss and heighten cabbage yield; Compared with surface application, deep application or pit application can notably reduce nitrogen and phosphorus loss with the runoff.

Key words Farmland, Fertilizer, Loss of nitrogen and phosphorus, Non-point source pollution