

施用猪粪对花生产量及养分利用率的影响

王大娟^{1,3}, 苏文幸², 吴根义^{3*}, 刘永丰³, 杨仁斌³

(1.湖南师范大学资源与环境科学学院, 湖南 长沙 410081; 2.国家环境保护部华南环境科学研究所, 广东 广州 510655; 3.湖南农业大学资源环境学院, 湖南 长沙 410128)

摘 要:采用田间小区试验方法,在自然降雨条件下,对花生地施以不同量的猪粪,结合花生对氮、磷的吸收利用状况、径流养分的流失量和花生产量,研究花生地对猪粪的最大负荷量和土壤承载力。结果表明:花生地可以有效消纳猪粪,在保证经济效益和生态环境效益的同时,猪粪处理量以 9 903 kg/hm² 处理 (CP2 处理)的效果最好;施肥量低于 CP2 处理的花生产量低,高于 CP2 水平的花生增产效果不明显,并且有机肥的利用率低,流失率高,对环境的二次污染风险加大;花生地对猪的承载力为 30.56 头/hm²。

关 键 词:花生地;猪粪;最大污染负荷;土壤承载力

中图分类号:S565.2;S143.6 文献标志码:A 文章编号:1007-1032(2013)06-0660-06

Effect of pig manure application on peanut yield and efficiency of nutrient utilization

WAN Da-juan^{1,3}, SU Wen-xing², WU Gen-yi^{3*}, LIU Yong-feng³, YANG Ren-bin³

(1.College of Resources and Environmental Science, Hunan Normal University, Changsha 410081, China; 2.South China Institute of Environmental Sciences, MEP, Guangzhou 510655, China; 3.College of Resource and Environment, Hunan Agriculture University, Changsha 410128, China)

Abstract: The maximum absorptive capacity of peanut land on pig-manure in subtropical areas was determined through field plot experiments, which were carried out at the background of natural rainfall and different fertilization level of pig-manure. Results showed that the peanut land could effectively absorb pig manure. Treatment of 9 903 kg/hm² pig manure utilization (CP2 level) could gain the best result on the consideration of ecological and economic benefits. The peanut yield would decrease when fertilizing amount was lower than this level. However, yield did not increase remarkably when the fertilization was higher than the level. Above this fertilization level, the higher the pig manure fertilized, the lower its utilization rate would be, which would result in higher nutrient loss and increase the risk of secondary pollution to environment. One hectare peanut land could bear 30.56 pigs at most every season.

Key words: peanut land; pig manure; maximum pollution load; bearing capacity of soil

随着畜禽养殖业的迅速发展,畜禽粪便产生量不断增加,畜禽养殖业带来的生态环境问题变得日益突出^[1-4]。据王方浩等^[5]对中国畜禽粪便产生量的估算,2003 年中国畜禽粪便产生量约为 31.90 亿 t,

远超过当年工业固体废弃物 10.00 亿 t 的总量。畜禽粪便中含有大量的氮、磷等营养物质,是一种优良的有机肥。2002 年,中国畜禽粪便中氮、磷、钾产生量相当于同年中国施用氮肥(2 157.3 万 t)、磷肥

收稿日期:2013-10-15

基金项目:国家环境保护公益项目(201309035);湖南省高等学校科学研究项目(10C0933);湖南师范大学青年优秀人才培养计划资助项目(ET41005)

作者简介:王大娟(1975—),女,湖南安乡人,博士,副教授,主要从事水土环境污染控制和环境评价研究,dajuanwan@163.com;

*通信作者,28839174@qq.com

(712.2 万 t)、钾肥(422.5 万 t)的 70.19%、89.18%和 25.11%^[6]；因此，将畜禽粪便作为有机肥使用，不仅能减少化肥的施用量，而且能使粪便及其处理剩余物能够进入耕地进行消纳，实现营养元素的循环利用，减少畜禽粪便带来的污染威胁。目前，关于自然降雨条件下粪肥施用的量化问题及其可能给环境带来的二次污染风险的研究鲜有报道。笔者通过田间实地监测，研究自然降雨条件下不同施肥水平花生养分利用率和地表径流养分流失量的变化，得出花生的畜禽承载力水平，旨在为区域畜禽养殖总量控制研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料及试验区概况

花生品种为当地常用品种。

试验区位于海南省文昌市锦山镇双龙坡村(N20.10, E110.42)，当地属亚热带南缘沿海地带，具有典型亚热带气候特点，雨量丰富，常年降水量为 1 529.8~1 948.6 mm，年均 1 721.6 mm。试验土壤为沙壤土，是海南文昌地区主要的土壤类型。土壤理化性质：全氮、全磷、全钾含量(以干质量计，下同)分别为 0.47、0.75、2.24 mg/g，有效磷、有效钾含量分别为 15.45、18.25 mg/kg，有机质含量为 15.23 mg/g。猪粪来源于海南省文昌市锦山镇某大

型养猪场。经初步厌氧发酵猪粪的全氮、全磷、全钾含量分别为 1.04%、0.45%、1.14%，含水率为 73.77%。

1.2 试验设计

参考当地施肥习惯和花生目标产量，计算花生对主要营养元素的目标需求量。花生生长过程中所需的 80%的氮元素由猪粪提供，同时施用适量化肥(其中氮肥为尿素，磷肥为过磷酸钙，钾肥为氯化钾)以弥补猪粪肥效的不足。试验共设 6 个处理：1 个不施肥对照组(CK)；1 个全化肥处理组(CH)；4 个猪粪处理组(分别表示为 CP1、CP2、CP3、CP4，其中，CP2 处理与 CH 处理的 N、P、K 量相当，施肥量为计算得到的目标需肥量；CP1、CP3、CP4 处理的施肥量分别为 CP2 的 0.5、1.3、1.6 倍。每处理重复 3 次。各处理具体施肥量见表 1。试验田按照径流小区设计，各径流小区用砖混结构田埂分离。小区规格为 5 m×6 m。径流池为 1.5 m×1 m×1 m。花生种植方式为起垄种植，垄高 0.15 m，垄面宽 0.60 m，垄沟宽 0.30 m，垄上种植 2 行花生。花生窄行距 0.35 m，宽行距 0.50 m，穴距 0.15 m，每穴种 2 粒种子。花生于 2011 年 4 月 12 日播种，8 月 15 日采摘。肥料中 80%作为基肥输入，20%在花针期作为追肥施用。

表 1 试验施肥方案

Table 1 Experimental design of fertilizer utilization								kg/hm ²	
处理	基肥量				追肥量				
	猪粪	尿素	过磷酸钙	氯化钾	尿素	过磷酸钙	氯化钾		
CK	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
CH	0.00	133.33	771.67	175.00	33.33	193.33	43.33		
CP1	4 951.67	0.00	231.67	70.00	18.33	96.67	23.33		
CP2	9 903.33	0.00	463.33	140.00	35.00	193.33	45.00		
CP3	12 875.00	0.00	601.67	181.67	45.00	251.67	58.33		
CP4	15 845.00	0.00	741.67	223.33	56.67	310.00	71.67		

1.3 取样及测定项目

植株样：花生收获后，按 5 点取样法于各小区采集新鲜植株样带回实验室。将果实和植株分开，杀青、烘干、冷却后测定生物量；粉碎，过孔径 0.38 mm 筛，混匀后装在自封袋中，用于养分测定。

降雨径流水样：降雨量用气象仪器记录。降雨后用卷尺测量径流池高度，计算每次径流量。取径

流水样 250 mL，将水样编号，立即带回实验室测定其化学需氧量(COD_{Cr})、总氮含量(总氮)、总磷含量(总磷)、氨氮(NH₄⁺-N)含量等。

土壤样品：试验田基础土样在花生种植前采得。取各试验田混合样测定土样有机质、全氮(总氮)、全磷(总磷)、全钾(TK)、有效磷、有效钾含量等指标。

1.4 样品检测方法

水样中总氮含量采用碱性过硫酸钾氧化-紫外分光光度法(GB11894—89)测定;总磷含量采用过硫酸钾消解法-钼锑抗分光光度法(GB11912—89)测定;氨氮(NH_4^+-N)含量采用纳氏试剂光度法(GB7479—87)测定; COD_{Cr} 含量采用重铬酸钾氧化-硫酸亚铁铵滴定法(GB11914—89)^[7]测定。

土壤样品与植株的全氮含量采用凯氏定氮法测定;土壤全磷含量采用 $\text{HClO}_4\text{--H}_2\text{SO}_4$ 消解-钼锑抗比色法测定;土壤全钾含量采用 NaOH 熔融后火焰分光光度计法测定^[8];植株全磷含量用 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{--H}_2\text{O}_2$ 消煮,采用钒钼黄比色法测定。

1.5 数据处理方法

1.5.1 养分流失总量

地表径流 COD_{Cr} 、总氮、总磷、 NH_4^+-N 流失总量等于整个监测周期中各次径流水中 COD_{Cr} 、总氮、总磷、 NH_4^+-N 浓度与径流水体积乘积之和。计算公式^[9]为: $P = \sum_{i=1}^n C_i \times V_i \times 10^{-6}$ 。式中: P 为 COD_{Cr} 、总氮、总磷、 NH_4^+-N 的流失总量; C_i 为第 i 次径流水中 COD_{Cr} 、总氮、总磷、 NH_4^+-N 的浓度; V_i 为第 i 次径流水的体积。

1.5.2 养分流失系数

养分流失系数以流失率(%)表示^[10]。氮素流失率=(施肥处理氮素流失量-对照处理氮素流失量)/肥料氮施用量。

1.5.3 养分利用率

养分利用率采用差减法计算。氮肥利用率=(施肥处理植株氮素吸收量-对照处理植株氮素吸收量)/肥料氮施用量。其中:花生植株养分吸收量=花生籽粒产量×籽粒养分含量+花生秸秆产量×秸秆养分含量;籽粒产量、秸秆产量、氮素含量等指标均统一以烘干基表示。

1.5.4 数据分析

采用Excel 2007统计试验数据;利用SPSS19.0进行数据方差和相关性分析。

2 结果与分析

2.1 不同施肥水平下花生对养分的吸收与转化

2.1.1 花生果实及秸秆中氮和磷的含量

由表2可见,各施肥处理与不施肥相比,果实与秸秆的养分含量存在显著性差异。随着猪粪处理量的增加,花生果实与秸秆中的氮、磷含量都增加,说明施肥处理能增加花生与秸秆中氮和磷的含量。全化肥处理花生果实与秸秆的氮和磷含量与施用相同肥料的化肥与有机肥配施处理CP2间无统计学意义,但CP2比CH高,这主要是因为猪粪具有缓释性,能持续不断地为作物提供营养元素,而化肥在土壤中的固定能力弱,且随降雨流失。

表2 花生中氮和磷的含量

Table 2 Content of nitrogen and phosphorus in peanut %				
处理	氮含量		磷含量	
	果实	秸秆	果实	秸秆
CK	2.744 7d	1.172 0d	0.195 4d	1.370 7c
CH	3.591 7b	1.421 3c	0.250 6a	1.754 5a
CP1	3.244 7c	1.321 3b	0.221 3c	1.595 8b
CP2	3.601 7ab	1.466 7a	0.249 3b	1.772 5a
CP3	3.620 7ab	1.485 3a	0.251 2a	1.785 7a
CP4	3.632 0a	1.495 0a	0.249 8ab	1.792 3a

2.1.2 花生果实与秸秆的生物量及其对养分的吸收量

由表3可见,各施肥处理与不施肥处理(CK)相比,花生果实干物质增加了 239 ~ 631 kg/hm^2 ,提高了 16% ~ 41%;秸秆干物质增加了 321 ~ 788 kg/hm^2 ,提高了 20% ~ 45%。多重比较分析结果显示,各施肥处理组与 CK 处理存在显著性差异,说明施肥是提高花生产量与秸秆质量的重要措施。猪粪处理下,随着猪粪量的增加,花生果实干物质质量与秸秆干物质质量不断增加。根据方差分析结果,CK、CP1 与 CP2 处理下植株的果实质量与秸秆干物质质量差异显著。相比于空白处理(CK),CP1 处理下的果实干物质质量增加了 238 kg/hm^2 ,提高了 15.66%;秸秆干物质质量增加了 321 kg/hm^2 ,提高了 20.05%。CP2 处理下的果实干物质质量与秸秆质量比 CP1 分别提高了 20.48%、14.38%。CP4 和 CP3 的果实干物质质量比 CP2 只分别提高了 1.49%、

0.22%；CP4 和 CP3 秸秆的干物质质量比 CP2 分别提高了 10.12%、15.60%。在施肥量相等的情况下，化肥和猪粪配施处理(CP2)果实干物质质量与秸秆干物质质量比全化肥处理(CF)分别增加了 90.00、34.00 kg/hm²。以上结果表明，施肥量不足时，增施猪粪能显著提高花生的产量与秸秆质量；需肥量充足时，增施猪粪后花生果实干物质质量与秸秆质量的增长幅度不明显。

表 3 花生生物量及养分吸收量

Table 3 Peanut biomass and its nutrient content								
处理	干物质含量		养分吸收量		秸秆养分吸收量		肥料利用率/%	
	果实	秸秆	N	P	N	P	N	P
CK	1 103.67d	1 524.00c	41.83d	2.98d	12.93d	0.65e	—	—
CH	1 602.33b	2 033.67a	73.04b	5.10b	22.77b	1.37c	37.32b	4.40b
CP1	1 425.00c	1 762.67b	57.19c	3.90c	18.83c	1.07d	38.65b	4.54ab
CP2	1 636.33b	2 123.67a	76.49ab	5.29b	24.00b	1.49b	41.57a	4.73a
CP3	1 802.00a	2 155.33a	78.04a	5.41a	26.77a	1.69a	34.99c	4.28b
CP4	1 891.67a	2 128.33a	77.30a	5.32ab	28.28a	1.77a	28.87d	3.35c

各处理中，CP2 处理组肥料中 N、P 利用率最高，分别达 41.57%、4.73%，比 CH 处理组分别提高了 4.53%、0.33%。随着猪粪量的增加，肥料利用率越来越低，CP3 的 N、P 利用率比 CP2 分别降低了 6.85%、0.54%；CP3 的 N、P 利用率比 CP4 分别降低了 12.70%、0.93%；CP2 与 CP3、CP3 与 CP4 的 N、P 利用率间差异达显著水平；CP1 与 CP2 N 利用率间差异达显著水平。可见，CP2 的肥料利用

率最高。随着施肥量的增加，肥料利用率越来越低。营养元素进入水体后导致地表水富营养化和地下水硝酸盐化。

2.2 不同时期径流水中养分浓度的变化

由图 1 可知，在整个监测周期中，对照处理(CK)径流水中 COD_{Cr}、总氮、总磷、NH₄⁺-N 含量始终低于各施肥处理，说明施肥会增加径流水中营养元

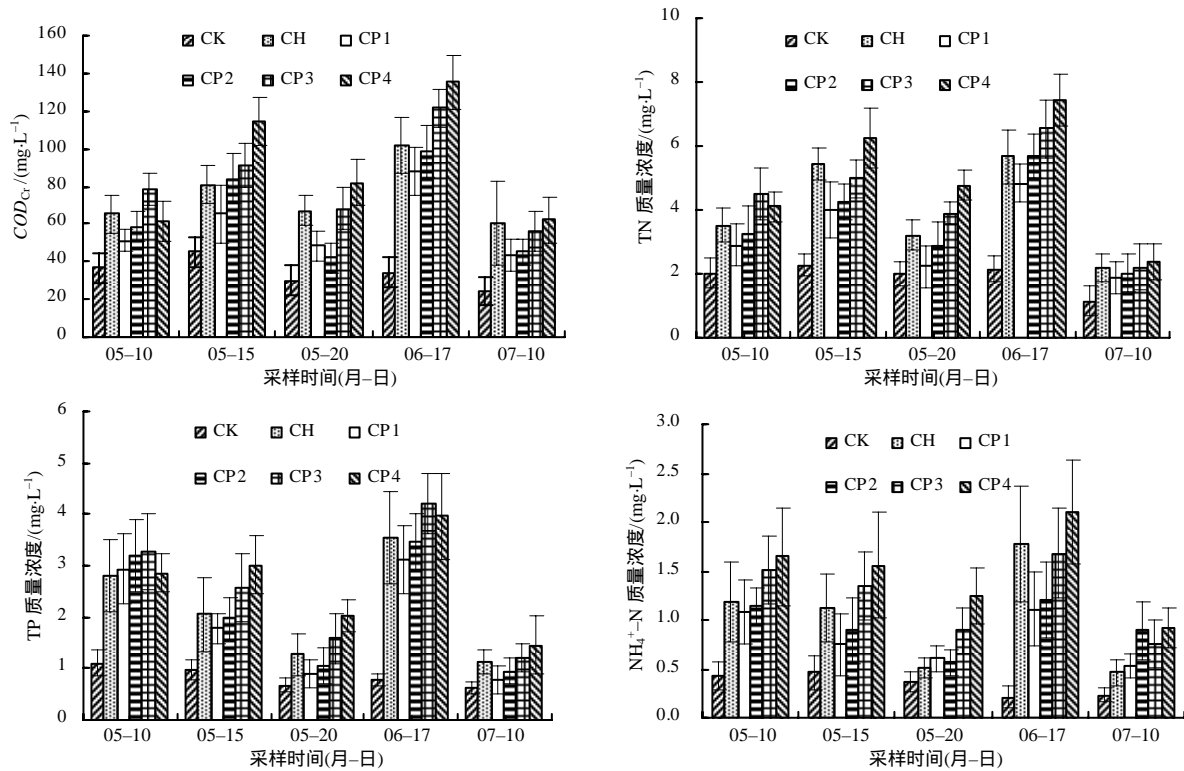


图 1 不同采样时间径流水中 COD_{Cr}、总氮、总磷、NH₄⁺-N 的质量浓度

Fig. 1 Content of COD_{Cr}, TN, TP and NH₄⁺-N in runoff at different sampling times

素的浓度。各猪粪处理径流水中养分浓度随施用猪粪量的增加而增大, CP2 与 CP1 径流水中养分浓度的差异无统计学意义, 这可能是因为 CP2 施用的猪粪量在作物需求养分的范围之内, 肥料被土壤或植株固定, 使营养元素的流失减少。与 CP2 相比, CP3、CP4 处理径流水中养分浓度的增加幅度较大, 说明施肥量超过作物养分需求量时, 随着猪粪量的增加, 径流水中养分流失增加。化肥施用处理 CH 施用纯 N、 P_2O_5 的量与 CP2 处理的相等, 但 CH 径流水中营养元素的浓度均比 CP2 的大。由此可见, 增施猪粪使径流水样中营养元素的浓度不断升高; 当纯 N、 P_2O_5 的施用量相同时, 猪粪和化肥配施与施全化肥相比, 能使径流水样营养元素的浓度降低。

CK 处理径流水样中的各营养元素含量平稳降低, 但降幅较小, 除 CK 外, 其他处理径流水样中总氮、 COD_{Cr} 的含量呈先升后降又急剧升高的趋势。前期的升高可能是由于本次降雨与前次降雨相隔的时间短, 前次降雨的扰动作用使土壤中的有机物与营养元素更易被雨水带走; 后期的急剧升高是由追肥所致。各处理径流水样中 NH_4^+-N 含量的变化幅度较小, 主要是由于肥料中的有机氮或无机氮在

微生物作用下转化成氨氮。各处理径流水样中的总磷含量先降低后急剧升高, 主要是由于前期降雨使土壤表层养分高的颗粒被雨水带走, 养分流失严重, 6 月 17 日径流水样中的总磷含量急剧升高与当天降雨量较大有关。

2.3 不同施肥处理的养分流失总量

由图 2 可知, 各处理中 CK 的养分流失量最少, 这主要是因为 CK 处理组没有外源肥料输入。CP2 的 COD_{Cr} 、总氮、 NH_4^+-N 、总磷的流失量比 CP3 分别减少 3.19、0.13、0.05、0.09 kg/hm^2 , CP2 比 CP4 分别减少 5.02、0.24、0.10、0.11 kg/hm^2 。可见, 施肥量越多, 养分流失量越大, 环境风险越大。CP2 的 COD_{Cr} 、总氮、 NH_4^+-N 、总磷流失量比 CH 分别减少了 1.84、0.03、0.03、0.02 kg/hm^2 。这一方面是由于有机肥交换容量大, 对铵态氮的吸附量多; 另一方面是由于有机肥本身具有养分释放缓慢的特点, 而化肥施入土壤后, 其分解释放速率较快, 从而使全化肥处理的 CH 的养分流失量比 CP2 高。可见, CP2 处理能有效减少花生地中养分的流失量。

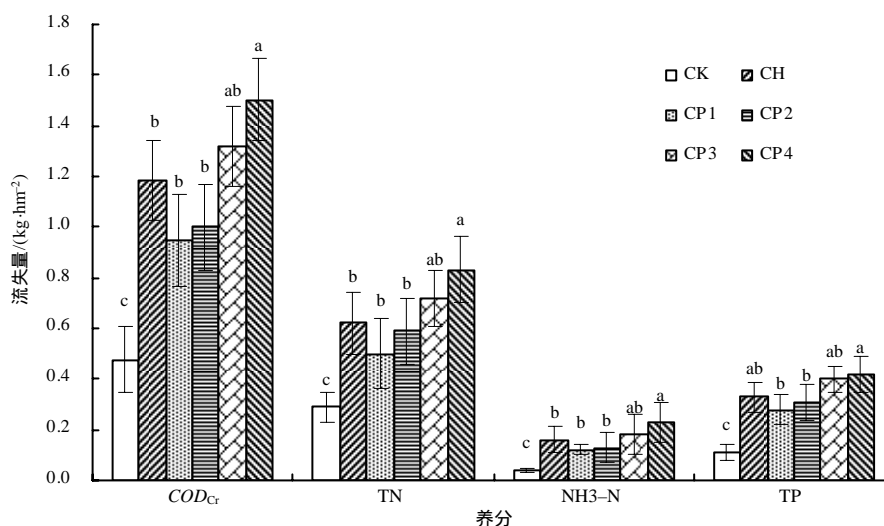


图 2 各处理径流水养分的流失量

Fig.2 Amount of nutrient loss in runoff at different treatments

由表 4 可见, 各处理流失系数中, CP1 处理的流失系数最低, 总氮和总磷流失系数分别为 0.23%、0.25%。CP3 总氮和总磷的流失系数比 CP2 分别增加了 0.14%、0.07%; CP4 总氮和总磷的流失系数比

CP2 分别增加了 0.27%、0.16%, 可见, 总氮、总磷的流失系数随施肥量的增加而变大, 在花生产量达到 CP2 处理水平后, 增施肥料将加大对周边水体环境的污染风险。

表 4 各处理中总氮、总磷含量的流失系数

处理	流失系数	
	总氮含量	总磷含量
CK	—	—
CH	0.37b	0.33b
CP1	0.23c	0.25c
CP2	0.33b	0.30b
CP3	0.47ab	0.43a
CP4	0.60a	0.46a

2.4 花生对猪粪的消纳及其承载力

由上述研究结果可见,在花生增产不明显的情况下,CP3、PC4 处理加剧了花生地养分元素的流失量,增加了对周围环境的污染风险,因此,CP2 处理是花生地环境经济效益较佳的施肥处理。当花生施用猪粪氮占总施氮的 80% 时,种植一季花生的猪粪消纳量为 9 903 kg/hm²,花生产量(果实干重/含水率)为 1 636.33/(100%-20%)=2 045.4 kg/hm²。通过查阅文献^[11-12]和工作站实测资料,得到猪(出栏)的排粪系数为 1.8 kg/d,出栏猪生长周期以 180 d 计算,则可得出生猪在生长周期内产生的猪粪量为 324 kg,从而可得出,种植一季花生单位面积能承载的生猪数量为 30.56 头/hm²。

3 结论与讨论

a. 当施肥量不能满足花生的需求量时,增施猪粪能显著提高花生的产量,花生干重由 CP1 处理的 1 425.0 kg/hm² 增加到 CP2 处理的 1 636.33 kg/hm²,提高了 12.9%;花生果实与秸秆中 N、P 等养分的含量和吸收量都显著增加,肥料中 N、P 的利用率也显著提高。当施肥量满足花生目标产量施肥量时,增施猪粪量对产量提高无明显效果(CP3、CP4 相比于 CP2),且果实和秸秆中 N、P 养分含量和吸收量都无明显变化,而肥料中 N、P 的利用率显著降低,增加了环境污染的风险。

b. 花生径流水样中 COD_{Cr}、总氮、总磷、NH₄⁺-N 的浓度、径流流失量和流失率都随着施肥量的增加而提高。本研究总磷的流失系数与红壤坡地总磷流失系数^[13]相差较大,主要原因可能是沙土地固磷能力弱,大量的磷元素随径流流失。

c. CP2 的肥料利用率比 CH 高,而径流水样中 COD_{Cr}、总氮、总磷、NH₄⁺-N 的浓度、径流流失量和流失率都比 CH 低,表明当施用纯 N、P₂O₅ 的量相同时,与全化肥施用处理相比,猪粪和化肥配施能降低对环境污染的风险。

d. 当花生地猪粪的消纳量为 9 903 kg/hm² 时既有较好的经济效益,又能减少对环境污染的风险,由此得出种植一季花生单位面积能承载的生猪数量为 30.57 头/hm²。

参考文献:

- [1] 苏扬. 我国集约化畜禽养殖场污染问题研究[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(2): 15-18.
- [2] 李庆康, 吴雷, 刘海琴, 等. 我国集约化畜禽养殖场粪便处理利用现状及展望[J]. 农业环境保护, 2000, 19(4): 251-254.
- [3] 丁疆华. 广州市畜禽粪便污染与防治对策[J]. 环境科学研究, 2000, 13(3): 57-59.
- [4] 孔源, 韩鲁佳. 我国畜牧业粪便废弃物的污染及其治理对策的探讨[J]. 中国农业大学学报, 2002, 7(6): 92-96.
- [5] 王浩文, 马奇文, 窦争霞, 等. 中国畜禽粪便产生量估计及环境效应[J]. 中国环境科学, 2006, 26(5): 614-617.
- [6] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2003.
- [7] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 4 版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [8] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [9] 冯涛, 杨京平, 施宏鑫, 等. 高肥力稻田不同施氮水平下的氮肥效应和几种氮肥利用率的研究[J]. 浙江大学学报, 2006, 32(1): 60-64.
- [10] 王介元, 王昌全. 土壤肥料学[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 1997: 222-223.
- [11] 郭德杰, 吴华山, 马艳, 等. 不同猪群粪、尿产生量的监测[J]. 江苏农业学报, 2011, 27(3): 516-522.
- [12] 董红敏, 朱志平, 黄宏坤, 等. 畜禽养殖业产污系数和排污系数计算方法[J]. 农业工程学报, 2011, 27(1): 303-308.
- [13] 王云, 徐昌旭, 汪怀建, 等. 施肥与耕作对红壤坡地养分流失的影响[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(3): 500-507.

责任编辑: 王赛群

英文编辑: 王 库