

南方旱坡地土壤雨季径流量与养分流失的研究

秦芳, 何铁光, 苏利荣, 苏天明, 张野,
李婷婷, 李琴, 韦彩会, 李忠义, 俞月凤

(广西农业科学院 农业资源与环境研究所, 南宁 530007)

摘要:在广西旱坡耕地进行径流小区试验,研究不同施肥和种植经营模式对养分径流总量、氮、磷、钾流失率,甘蔗养分利用率的影响,筛选南方旱坡地甘蔗养分流失率低经营模式。结果表明:不施肥的甘蔗对照(CK)处理的径流水总量、总氮、铵态氮、总磷、总钾流失总量最大,分别为 724.65 t/hm², 3.70 kg/hm², 1.26 kg/hm², 0.62 kg/hm², 3.36 kg/hm²。60%的甘蔗常规施肥(SF60%)施用、甘蔗常规施肥+蔗叶覆盖(SF+H)、甘蔗常规施肥+套种花生+蔗叶覆盖(SF+T+H)处理与甘蔗常规施肥(SF)处理相比,减少了 N、P、K 养分流失量。甘蔗常规施肥+蔗叶覆盖(SF+H)处理比甘蔗常规施肥(SF)处理的 N、P、K 流失率分别降低了 82.54%, 64.29%, 20.00%。甘蔗常规施肥+蔗叶覆盖(SF+H)处理比甘蔗常规施肥(SF)处理的 N、P、K 利用率分别提高了 56.73%, 38.78%, 7.87%。径流量、铵态氮与氮肥投入总量、磷肥投入总量、钾肥投入总量均呈极显著负相关($p < 0.01$)。甘蔗常规施肥+蔗叶覆盖(SF+H),甘蔗常规施肥+套种花生+蔗叶覆盖(SF+T+H)处理与甘蔗常规施肥(SF)处理相比,能减少养分流失量和流失率,还提高甘蔗的养分利用率,是适合南方旱坡耕地推广的两种经营模式。

关键词:养分; 径流; 施肥; 蔗叶覆盖

中图分类号: S152.4

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2016)02-0019-04

Study on Runoff and Nutrient Losses of Soils on Sloping Land in Wet Season in Southern China

QIN Fang, HE Tiegua, SU Lirong, SU Tianming, ZHANG Ye,

LI Tingting, LI Qin, WEI Caihui, LI Zhongyi, YU Yuefeng

(Agricultural Resources and Environment Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, China)

Abstract: An experiment on runoff plots on dry slope in Guangxi was conducted to investigate the effects of different fertilization treatments and planting management modes on runoff amount/loss rate of N, P, K and nutrient use efficiency, and screen a planting management mode with low nutrient loss rate and high nutrient use efficiency. The results showed that the greatest loss amounts of runoff, total nitrogen, ammonium nitrogen, total phosphorus and total potassium in (CK) treatment were 724.65 t/hm², 3.70 kg/hm², 1.26 kg/hm², 0.62 kg/hm², 3.36 kg/hm², respectively, which were much higher than those in the other treatments. Compared with (SF) treatment, the runoff losses of N, P, K in (SF60%), (SF+H), (SF+T+H) treatments reduced. Lower N, P, K loss rates were 82.54%, 64.29%, 20.00%, respectively, and N, P, K use efficiencies of in (SF+H) treatment were 56.73%, 38.78%, 7.87% higher than those in (SF) treatment. A negative significant partial correlation was found between runoff, ammonium and the total investment of N fertilizer, P fertilizer, K fertilizer. Compared with (SF) treatment, the amount and rate of nutrient runoff loss in (SF+H) treatment and (SF+T+H) treatment declined, also improved for nutrient use efficiency of sugarcane, so two kinds of management patterns were suitable for dry slope land of southern China promotion.

Keywords: nutrient; runoff; fertilization; sugarcane leaf cover;

收稿日期: 2015-02-26

修回日期: 2015-05-06

资助项目: 广西科学研究与技术开发计划项目(桂科合 1298014-18); 2014 年度国家级引进国外技术、管理人才项目(S20144500063); 广西农业科学院基本科研业务专项(桂农科 2012YZ24); 广西农业科学院公益性维持费项目(桂农科 2013GW09)

第一作者: 秦芳(1975—), 女(壮族), 广西兴安人, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向为植物营养与环境生态等方面的研究。E-mail: qingfang0303@163.com

通信作者: 何铁光(1976—), 男, 湖南桂阳人, 博士, 副研究员, 主要研究方向为环境生态。E-mail: tghe118@163.com

甘蔗是我国最重要的糖料作物,是广西主要的经济支柱产业,2007 年广西甘蔗的平均产量为 69 t/hm²[1]。中国蔗区 70% 以上分布无灌溉条件的旱坡地,土壤以旱地红壤为主,具有酸、粘、瘦、土壤 pH 较低等特点[2-3],目前我国生产中甘蔗平均施肥量为世界平均水平的 3 倍,更是发达国家的 5~10 倍,直接造成肥料利用率低,成本高,同时引起土壤酸化,地力退化、温室气体排放量大和水体污染和富营养化日趋严重等环境问题[4]。农业面源污染是一个热点问题,能否有效控制农田养分进入河流、湖泊是减缓或预防水体富营养化进程的关键[5-7]。通过研究甘蔗套种花生、减少化肥的施用、蔗叶覆盖等多种模式下的养分流失特征,寻求提高氮和磷等营养物质的利用率,降低南方旱坡地氮和磷等养分径流流失的种植模式,减少环境的污染,保护生态环境质量,为农业可持续发展提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验在武鸣县仙湖镇苏梁村甘蔗基地进行,土壤类型为赤红土,第四纪红土母质,具体位置为 23°17.043'N, 108°8.790'E 高程 109 m,坡度为 8°的坡耕地。前作为木薯套种花生。基础土壤理化性质:碱解氮 133.04

mg/kg,速效磷 30.58 mg/kg,速效钾 210.62 mg/kg,有机质 41.41 g/kg,pH5.13。

农家肥养分农家肥为腐熟的猪粪和牛粪,其含量:全氮 6.77 g/kg,全磷(P₂O₅) 20.86 g/kg,全钾(K₂O)21.39 g/kg。

1.2 试验设计

1.2.1 试验径流小区设计 试验径流小区的坡度都为 8°,土壤质地相同,每个小区的面积为 30 m²,长 5 m,宽 6 m,长度与等高线垂直,径流分流器和径流水接收桶均安装在小区的右下角。径流分流器由 1.0 mm 木板制作,入口口径为 21 cm,其中入口 1/3(7 cm)的径流水流入径流水接收桶中(径流水接收桶为口径 57.6 cm,底部直径 38.0 cm,边长 41.0 cm 带盖的塑料桶),其余的径流水随排水沟流走,四周做好排水沟和保护行[6]。

1.2.2 试验设计方案 试验采用随机排列,设 9 个处理,重复 3 次,共 27 个小区。各处理作物施肥见表 1。

试验中甘蔗品种为桂糖 128,播种时间为 3 月 1 日,行距为 1.1 m。套种的花生品种为桂花 771,株距为 15 cm,肥料分别为三元复混肥是国外进口的复混肥或是控释复混肥(15—15—15);钙镁磷肥:有效磷 ≥18%;尿素是含纯氮 46%的尿素。

表 1 不同处理施肥情况

处理	不同作物	基肥/(kg·hm ⁻²)	追肥/(kg·hm ⁻²)
		(N-P ₂ O ₅ -K ₂ O)	(N-P ₂ O ₅ -K ₂ O)
处理 1	不施肥的甘蔗对照(CK)	0—0—0	0—0—0
处理 2	甘蔗常规施肥(SF)	111.13—111.13—111.13	214.47—111.13—259.27
处理 3	80%的甘蔗常规施肥(SF80%)	88.90—88.90—88.90	171.6—88.80—207.40
处理 4	60%的甘蔗常规施肥(SF60%)	66.68—66.68—66.68	128.62—66.62—155.52
处理 5	甘蔗常规施肥+农家肥(SF+N)	161.26—265.60—269.52	214.47—111.13—259.27
处理 6	甘蔗常规施肥(控释肥)[SF(K)]	111.13—111.13—111.13	214.47—111.13—259.27
处理 7	甘蔗常规施肥+蔗叶覆盖(SF+H)	111.13—111.13—111.13	214.47—111.13—259.27
处理 8	甘蔗常规施肥+套种花生(SF+T)	111.13—111.13—111.13	214.47—111.13—259.27
处理 9	甘蔗常规施肥+套种花生+蔗叶覆盖(SF+T+H)	111.13—111.13—111.13	214.47—111.13—259.27

注:施肥量以 N-P₂O₅-K₂O 纯养分计算。

1.3 样品采集与分析

1.3.1 土壤 于 2013 年 2 月底取土壤,去除土壤表面杂草和腐殖物,采集土壤耕作层 0—20 cm 的土样,每个小区按 S 型采集 5 个样品混匀后四分法分取 0.5 kg 作为一个土壤样品,土壤鲜样测水分,土壤自然风干,并按要求研磨,保存在自封袋中。土壤风干样分析项目有:碱解氮含量采用碱解扩散法,速效磷含量参照 NY/T148—1990 标准,速效钾含量采用乙酸铵提取—火焰光度法,有机质含量采用重铬酸钾容量法,pH 含量采用电位法[7]。

1.3.2 植株 于 2013 年和 11 月 13 日分别调查作

物生长情况和采集植株样品,分别测定根、茎、叶的氮、磷、钾含量及干物质含量。植株全氮采用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮—蒸馏法,全磷采用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮—钼锑抗比色法,全钾采用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮—火焰光度计法[7]。

1.3.3 径流水降雨产生的径流水后,记录径流水体积或测量径流水的深度,充分搅拌混匀采集水样,盛放在聚乙烯瓶中,做好标记,保存在 0°冰箱中,在 1 周内分析总氮、铵态氮、硝态氮、总磷、总钾养分。水样总氮采用碱性过硫酸钾硝解紫外分光光度法,铵态氮采用靛酚蓝比色法,硝态氮采用紫外分光光度计比色

法,总磷采用过硫酸钾消解钼锑抗比色法,总钾采用直接过滤—火焰光度计法^[7]。

1.3.4 氮(磷、钾)流失量和径流率计算^[8]:

氮(磷、钾)流失量(kg/hm²)=径流水总氮(磷、钾)量(kg)×10000/小区面积(m²);

氮(磷、钾)径流率(%)=径流水总氮(磷、钾)量(kg)×100/土壤全氮(磷、钾)量(kg)。

植株养分积累量、养分利用率的计算方法^[9]:

养分积累量(kg/hm²)=干物质量×养分含量;

养分利用率(%)=植物吸收养分数量/该养分的总量×100%。

1.4 统计分析

采用 Excel 2003 和 SPSS 15.0 软件进行数据统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同施肥甘蔗栽培分径流总量分析

从表 2 可以看出不同施肥处理的土壤表层径流水及其养分流失变化规律,60%的甘蔗常规施肥(SF60%)施用、甘蔗常规施肥+蔗叶覆盖(SF+H)、甘蔗常规施肥+套种花生+蔗叶覆盖(SF+T+H)处理与甘蔗常规施肥(SF)处理相比,减少了 N,P,K 养分流失量,80%的甘蔗常规施肥(SF80%)施用、甘蔗常规施肥+有机肥(SF+N)、[甘蔗常规施肥(控释肥)][SF(K)]、甘蔗常规施肥+蔗叶覆盖(SF+H)处理减少了 N,K 流失率,60%的甘蔗常规施肥(SF60%)处理减少了 N,P,K 流失率。甘蔗常规施肥+蔗叶覆盖(SF+H)处理的 N,P,K 流失量比甘蔗常规施肥(SF)处理的小;甘蔗

常规施肥+套种花生+蔗叶覆盖(SF+T+H)处理的 N,P 流失量比甘蔗常规施肥+套种花生(SF+T)处理的小。甘蔗不同施肥处理中,对照(CK)处理的径流水总量、总氮、铵态氮、总磷、总钾流失总量最大,分别为 724.65 t/hm²,3.70 kg/hm²,1.26 kg/hm²,0.62 kg/hm²,3.36 kg/hm²,硝态氮径流总量最大的是 SF(甘蔗常规施肥)处理,其次是 CK(对照)处理,最少的是 SF60%(60%的甘蔗常规施肥)。氮的径流流失主要以硝态氮的形式流失,硝态氮径流总量最大的是甘蔗常规施肥+农家肥(SF+N),达 64%,最少的是 60%的甘蔗常规施肥(SF60%),为 48%。铵态氮径流流失总量占总氮的 30%左右,部分铵态氮以气体形式挥发了。

2.2 各处理氮、磷、钾径流流失率及甘蔗养分利用率分析

从表 3 可以看出,各处理与甘蔗常规施肥(SF)处理相比,甘蔗常规施肥+套种花生(SF+T)处理减少了 N 流失率,甘蔗常规施肥+套种花生+蔗叶覆盖(SF+T+H)减少了 N,P 流失率,80%的甘蔗常规施肥(SF80%)、甘蔗常规施肥+有机肥(SF+N)、[甘蔗常规施肥(控释肥)][SF(K)]、甘蔗常规施肥+蔗叶覆盖(SF+H)处理减少了 N,K 流失率,60%的甘蔗常规施肥(SF60%)处理减少了 N,P,K 流失率。甘蔗常规施肥+蔗叶覆盖(SF+H)处理比甘蔗常规施肥(SF)处理的 N,P,K 流失率分别降低了 82.54,64.29,20.00%;甘蔗常规施肥+套种花生+蔗叶覆盖(SF+T+H)处理的 N,P 流失率比甘蔗常规施肥+套种花生(SF+T)处理分别降低了 65.00%,70.00%。

表 2 不同处理对径流水氮、磷、钾(5—9 月)流失总量的影响

处理	径流水总量/ (t·hm ⁻²)	总氮/ (kg·hm ⁻²)	硝态氮/ (kg·hm ⁻²)	铵态氮/ (kg·hm ⁻²)	硝态氮/ 总氮	铵态氮/ 总氮	总磷/ (kg·hm ⁻²)	总钾/ (kg·hm ⁻²)
CK	724.65	3.70	1.84	1.26	0.50	0.34	0.62	3.36
SF	485.96	3.30	1.91	0.90	0.58	0.27	0.29	2.40
SF80%	278.92	1.38	0.78	0.45	0.57	0.33	0.48	1.62
SF60%	196.72	1.32	0.63	0.30	0.48	0.23	0.20	0.98
SF+N	251.77	1.99	1.28	0.55	0.64	0.28	0.37	2.20
SF(K)	303.44	1.95	1.26	0.47	0.65	0.24	0.43	1.55
SF+H	134.00	1.01	0.62	0.31	0.61	0.31	0.27	1.97
SF+T	260.89	1.98	1.32	0.44	0.67	0.22	0.62	2.33
SF+T+H	161.03	0.72	0.39	0.24	0.54	0.33	0.16	2.75

各处理与甘蔗常规施肥(SF)处理相比,甘蔗常规施肥+有机肥(SF+N)处理提高了 P 利用率,80%的甘蔗常规施肥(SF80%)处理提高了 K 利用率,60%的甘蔗常规施肥(SF60%)、甘蔗常规施肥+套种花生(SF+T)、甘蔗常规施肥+套种花生+蔗叶覆盖(SF+T+H)处理提高了 N,P 利用率,甘蔗常规施肥+蔗叶覆

盖(SF+H)处理提高了 N,P,K 利用率。甘蔗常规施肥+蔗叶覆盖(SF+H)处理比甘蔗常规施肥(SF)处理的 N,P,K 利用率分别提高了 56.73,38.78,7.87%;甘蔗常规施肥+套种花生+蔗叶覆盖(SF+T+H)处理甘蔗 N,P 利用率比甘蔗常规施肥+套种花生(SF+T)处理提高了 32.77%,97.16%。

表 3 各处理氮、磷、钾径流失率及甘蔗养分利用率分析

处理	总氮/%	径流流失率总磷/%	总钾/%	总氮/%	甘蔗利用率总磷/%	总钾/%
CK	0.134	0.028	0.050	6.22	2.08	4.16
SF	0.107	0.012	0.034	6.98	2.45	8.01
SF80%	0.046	0.020	0.023	6.81	2.37	8.34
SF60%	0.045	0.008	0.014	7.32	2.49	5.13
SF+N	0.063	0.014	0.030	6.26	3.48	5.40
SF(K)	0.063	0.017	0.022	4.81	1.99	6.28
SF+H	0.033	0.011	0.028	10.94	3.40	8.64
SF+T	0.064	0.025	0.033	8.91	3.52	6.80
SF+T+H	0.023	0.006	0.039	11.83	6.94	4.46

2.3 不同施肥处理径流量、养分流失量与肥料投入量相关性分析

将径流量、总氮、硝态氮、铵态氮、总磷、总钾与氮肥投入总量、磷肥投入总量、钾肥投入总量进行相关性分析。如表 4 所示,径流量、铵态氮与氮肥投入

总量、磷肥投入总量、钾肥投入总量均呈极显著负相关($p<0.01$),总氮与氮肥投入总量呈极显著负相关($p<0.01$),与钾肥投入总量、磷肥投入总量呈显著负相关($p<0.05$),总磷与氮肥投入总量呈显著负相关($p<0.05$)。

表 4 径流量、养分流失量与肥料投入量的相关性

参数	径流量	总氮	硝态氮	铵态氮	总磷	总钾	氮肥投入总量	磷肥投入总量	钾肥投入总量
径流量	1								
总氮	0.941**	1							
硝态氮	0.843**	0.968**	1						
铵态氮	0.983**	0.959**	0.875**	1					
总磷	0.563**	0.543**	0.575**	0.532**	1				
总钾	0.602**	0.520**	0.465*	0.634**	0.342 NR	1			
投入氮肥总量	-0.709**	-0.501**	-0.289 NR	-0.640**	-0.391*	-0.332 NR	1		
投入磷肥总量	-0.608**	-0.385*	-0.182 NR	-0.503**	-0.319 NR	-0.247 NR	0.925**	1	
投入钾肥总量	-0.665**	-0.444*	-0.233 NR	-0.573**	-0.357 NR	-0.290 NR	0.976**	0.986**	1

注:** $p<0.01$; * $p<0.05$;NR 表示不相关。

3 讨论

N、P 作为面源污染物的产生过程和迁移途径比较复杂,它受降雨过程(降雨类型、强度及降雨历时)和流域下垫面因素(地形、地貌、土壤的化学和物理状况、植被和作物特征以及农业实践措施等)的综合影响^[10-11]。相关研究表明,以秸秆还田为主的保护性耕作具有增加土壤有机质和养分含量,提高土壤养分的有效性,增加土壤通透性和导水性等作用^[12-13]。化肥减量化施用技术、有机肥配施和缓释化肥施用技术、蔗叶覆盖和花生套种技术对减少土壤表层径流的养分流失发挥了一定作用;有机肥配施技术、化肥减量化施用技术、蔗叶覆盖和花生套种技术都对提高养分利用率有一定的促进作用。我国甘蔗主要采用单一的甘蔗连作制,对地力剥削较大,加上普遍少施或不施有机肥,对水土流失严重,土壤有机质低,造成土壤的供肥保水保肥能力差^[14]。甘蔗常规施肥+套种花生+蔗叶覆盖(SF+T+H)处理综合了两个方面的技术措施,套种花生对促进增产增收发挥了很大作

用,同时,蔗叶覆盖在减少养分流失和促进养分利用方面发挥了较大作用。合理轮作,间套种豆科作物和绿肥植物,实行蔗叶回田,大力发展甘蔗专用肥,配合施用有机肥和无机肥,提高肥效,减少对环境的污染,适时适量施用石灰等,防止土地进一步酸化,提高蔗区土壤的整体肥力,促进甘蔗生产的可持续性发展。

4 结论

筛选出养分高效低失的施肥及栽培模式 1 个甘蔗常规施肥+蔗叶覆盖(SF+H),比甘蔗常规施肥(SF)处理的 N,P,K 利用率分别提高了 56.73%,38.78%,7.87%,N,P,K 流失率分别降低了 82.54%,64.29%,20%。

筛选出作物高产及养分高效低失的施肥及栽培模式 1 个甘蔗常规施肥+套种花生+蔗叶覆盖(SF+T+H),该模式比甘蔗常规施肥+套种花生(SF+T)模式甘蔗 N,P 利用率提高 32.77%,97.16%,N,P 流失率比甘蔗常规施肥+套种花生(SF+T)模式降低 65.00%,70.00%。

(4) 不同植被类型中针阔混交林的土壤层渗透能力较强,其次为撑绿竹林,而白茅草丛的渗透能力最小,这与不同植被类型对土壤结构的改善作用及土壤本身的特性和结构有关。

参考文献:

- [1] 刘玉国,刘长成,李国庆,等. 贵州喀斯特山地 5 种森林群落的枯落物储量及水文作用[J]. 林业科学,2011,47(3):82-88.
- [2] 张振明,余新晓,牛健植,等. 不同林分枯落物层的水文生态功能[J]. 水土保持学报,2005,19(3):139-143.
- [3] 彭云. 不同森林类型水源涵养功能研究[D]. 贵阳:贵州大学,2008.
- [4] 戴全厚,喻理飞,薛蕊,等. 植被控制水土流失机理及功能研究[J]. 水土保持研究,2008,15(2):32-36.
- [5] 杨吉华,张永涛,李红云,等. 不同林分枯落物的持水性能及对表层土壤理化性状的影响[J]. 水土保持学报,2003,17(2):141-144.
- [6] 肖卫平,刘立斌,杨世海,等. 贵州茅台水源功能区植物群落的分类和排序[J]. 贵州农业科学,2012,40(6):34-38.
- [7] 邹翔,薛小红,赵健. 赤水河流域水土流失特点与分区防治研究[J]. 长江科学院院报,2010,27(8):12-15.
- [8] 曾丹娟,徐广平,黄玉清,等. 北部湾经济区枯落物及其林下土壤持水能力研究[J]. 水土保持研究,2015,22(4):210-213,220.
- [9] 唐洪辉,张卫强,严峻,等. 南亚热带杉木林改造对土壤及凋落物持水能力的影响[J]. 水土保持研究,2014,21(6):47-53.
- [10] 詹昭宁. 中国森林立地类型[M]. 北京:中国林业出版社,1995.
- [11] 冷茂芳. 仁怀市撑绿竹引种栽培研究[J]. 中国园艺文摘,2009,25(6):37-38.
- [12] 孙修贵. 中国主要城市降雨雨强分布和 Ku 波段的降雨衰减[M]. 北京:气象出版社,2004.
- [13] 杜森,高祥照,全国农业技术推广服务中心. 土壤分析技术规范[M]. 北京:中国农业出版社,2006.
- [14] 国家林业局. 森林土壤渗透性测定[S]. LY/T1218—1999.

(上接第 22 页)

参考文献:

- [1] 广西壮族自治区统计局. 广西统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2006.
- [2] 谭宏伟. 甘蔗施肥管理[M]. 北京:中国农业出版社,2009.
- [3] 李奇伟. 现代甘蔗改良技术[M]. 广州:华南理工大学出版社,2000.
- [4] 敖俊华,江水,黄振瑞,等. 加强甘蔗养分管理,降低甘蔗生长成本[J]. 广东农业科学,2011(23):31-34.
- [5] 张维理,武淑霞,冀宏杰,等. 中国农业面源污染形式估计及控制对策: I. 21 世纪初期中国农业面源污染的形式估计[J]. 中国农业科学,2004,37(7):1008-1033.
- [6] 何铁光,秦芳,苏天明,等. 不同栽培模式对氮磷钾养分径流流失的影响[J]. 水土保持研究,2014,21(1):95-103.
- [7] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社,2000.
- [8] 李其林,魏朝富,李震,等. 三峡库区坡耕地氮磷径流特征[J]. 土壤通报,2010,41(6):1399-1455.
- [9] 邢颖,江泽普,谭裕模,等. 不同基因型甘蔗氮磷钾积累与利用研究[J]. 甘蔗糖业,2013(1):10-13.
- [10] Mitsch W J, Horne A J, Nairn R W. Nitrogen and phosphorus retention in wetlands-ecological approaches to solving excess nutrient problems [J]. Ecological Engineering, 2000,14(1/2):1-7.
- [11] Casey R E, Taylor M D, Klaine S J. Mechanisms of nutrient attenuation in a subsurface flow riparian wetland[J]. Journal of Environmental Quality, 2001,30(5):1732-1737.
- [12] 劳秀荣,孙伟红,王真,等. 秸秆还田与化肥配合施用对土壤肥力的影响[J]. 土壤学报,2003,40(4):618-622.
- [13] 刘世平,张洪程,戴其根,等. 免耕套种与秸秆还田对农田生态环境及小麦生长影响[J]. 应用生态学报,2005,16(2):393-396.
- [14] 江永,黄忠兴. 我国蔗区土壤主要养分的分析研究[J]. 甘蔗糖业,2001(5):5-10.