

广西坡耕地主要经济作物施肥与养分径流流失初探

何铁光, 秦芳, 苏利荣, 苏天明, 张野, 何永群, 胡钧铭, 李忠义, 韦彩会, 李婷婷

(广西农业科学院农业资源与环境研究所, 广西 南宁 530007)

摘要:为研究广西坡耕地主要经济作物甘蔗、玉米和花生农民常规施肥及不施肥处理对植株生长情况、经济产量及养分径流流失的影响,探寻提高广西经济作物经济效益、减少成本、减少环境污染的最佳施肥量,在坡耕地,观测降雨过程的养分径流流失,运用SPSS 统计分析软件对试验数据进行分析,寻找成本低、效益高的种植方法。结果表明,对照与常规施肥相比,甘蔗、玉米、花生作物的生长情况差异不明显。对照处理的玉米经济产量、生物产量、淀粉含量分别为 $851.42 \text{ kg} \cdot 667 \text{ m}^{-2}$ 、 $3\ 640.4 \text{ kg} \cdot 667 \text{ m}^{-2}$ 、68.40%;比玉米(常规施肥)高 $100.62 \text{ kg} \cdot 667 \text{ m}^{-2}$ 、 $485.98 \text{ kg} \cdot 667 \text{ m}^{-2}$ 、7.5%;花生对照的粗脂肪比其常规施肥高了 $45 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$;径流养分总氮、总磷、总钾、硝态氮、铵态氮径流流失总量最高的均是花生常规施肥,其次是甘蔗对照,最少的玉米对照。径流量与总氮、总磷、总钾、硝态氮、铵态氮的相关系数,常规施肥处理偏高于对照。玉米对照的养分径流流失总量最少;花生常规施肥养分径流率最大;玉米比花生更适合在广西肥沃的坡耕地中种植。

关键词:养分;径流;施肥;流失;经济作物

中图分类号:X522

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2014)02-0169-06

doi: 10.13254/j.jare.2013.0229

Fertilization and Run-off Loss of Nutrient of Major Economic Crops in Sloping Farmland of Guangxi Province, China

HE Tie-guang, QIN Fang, SU Li-rong, SU Tian-ming, ZHANG Ye, HE Yong-qun, HU Jun-ming, LI Zhong-yi, WEI Cai-hui, LI Ting-ting
(Agricultural Resource and Environment Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, China)

Abstract: To seek the optimum fertilization for improving economic efficiency of Guangxi crops, reducing costs of production and reducing environmental pollution, the effects of different fertilizer on growth, yield and nutrient runoff losses of major economic crops (sugarcane, maize and peanut) were studied in sloping farmland of Guangxi Province. Run-off loss of nutrient was determined in precipitation process in sloping farmland, cultivation methods of low cost and high efficiency were sought by using SPSS statistical analysis software. The results showed that there was not significant difference on growth of sugarcane (maize, peanut) between control and conventional fertilization. The economic output, biomass production, starch of maize in control were $851.42 \text{ kg} \cdot 667 \text{ m}^{-2}$, $3\ 640.40 \text{ kg} \cdot 667 \text{ m}^{-2}$, 68.40% respectively, which were higher $100.62 \text{ kg} \cdot 667 \text{ m}^{-2}$, $485.98 \text{ kg} \cdot 667 \text{ m}^{-2}$, 7.5% than those of maize in conventional fertilization. The fat of peanut (contrast) was higher $45 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ than those of conventional fertilization. The runoff loss of total nitrogen, total phosphorus, total potassium, nitrate and ammonium nitrogen was all the highest in peanut conventional fertilization, higher in sugar cane contrast, the least in maize contrast; Correlation coefficients between runoff and total nitrogen, total phosphorus, total potassium, nitrate and ammonium nitrogen, for the conventional fertilization were higher than that for the contrast of three crops. Total nutrient runoff losses of the maize contrast was the least, and nutrient runoff rate of the peanut conventional fertilization was the largest. So maize was suitable for planting than peanut in sloping land of Guangxi Province.

Keywords: nutrient; runoff; fertilization; loss; economic crop

甘蔗是广西主要经济作物,也是广西主要的经济支柱产业,而广西甘蔗地约70%分布在红壤类土壤上^[1],

2008年种植面积达109万 hm^2 ,产量达8215.6万t,均居全国第一^[2]。2005年广西花生种植面积为24.37万 hm^2 ,产量为55.13万t^[3];2013年广西玉米种植面积为53.86万 hm^2 ,产量为209万t^[4]。对于广西甘蔗、花生、玉米3种作物,是否需要每年施肥,施肥量为多少能提高甘蔗等作物的产量和品质,对广西甘蔗等经济作

收稿日期:2013-12-02

基金项目:广西科学研究与技术开发计划项目(桂科合1298014-18)

作者简介: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

物的生产及保护生态环境有很重要的意义。过量使用化肥,肥料中养分就随径流水流失,严重污染环境,特别是水体污染和富营养化日趋严重,对生态环境产生了很大的负面影响^[5-9]。湖泊、河流富营养化的氮磷养分有 50%~60%来源于农田径流水,农业非点源污染成为当前水体环境污染的主要来源^[9]。减少肥料的投入,提高肥料的利用率,提高经济效益,降低养分径流流失对环境的污染已成为农业生产的重要课题。广西阳光充足,雨量充沛,降雨量约 1 170 mm,雨季集中在 4—10 月,占 79.30%,农作物种植在坡耕地,农民每年施大量的化肥造成养分径流流失,导致环境污染严重。王桂苓^[10]和王静^[11]研究了巢湖流域麦稻轮作下农田养分径流流失。对广西经济作物在常规施肥条件下,养分径流流失的研究较少。本研究在武鸣坡耕地种植甘蔗、玉米、花生等主要经济作物,设常规施肥和不施肥处理,探寻不同作物间养分径流流失及其经济效益的差异、减少坡耕地养分径流流失的施肥模式和施肥量,为保护农业生态环境及农业可持续发展提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验概况

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,为第四纪红土母质,具体位置为 N23°17.043', E108°8.790', 高程 109. 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:全氮 1.23 g·kg⁻¹,全磷 1.00 g·kg⁻¹,全钾 3.00 g·kg⁻¹,碱解氮 133.04 mg·kg⁻¹,速效磷 30.58 mg·kg⁻¹,速效钾 210.62 mg·kg⁻¹,有机质 41.41 g·kg⁻¹,pH5.13。

1.2 试验设计

1.2.1 试验径流小区设计

试验径流小区选择坡度都为 8°,土壤质地一致,每个径流小区的面积为 30 m²,长 5 m,宽 6 m,长度与等高线垂直,宽度与等高线平行,每个小区四周高出地面 15 cm,径流分流器和径流水接收桶统一安装在径流小区的右下角。径流分流器由 10 mm 木板制作,

入口口径(宽度)为 21 cm,其中入口 1/3(7 cm)的径流水流入径流水接收桶中(径流水接收桶是口径 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。

1.2.2 试验处理方案

试验采用随机排列,设 6 个处理,处理 1:甘蔗对照;处理 2:玉米对照;处理 3:花生对照;处理 4:甘蔗常规施肥;处理 5:玉米常规施肥;处理 6:花生常规施肥。3 次重复,共 18 个径流小区。3 种作物的对照即不施任何肥料。各处理作物施肥及种植密度见表 1。

试验中花生、玉米、甘蔗品种分别为桂花 771、正大 818、桂糖 128,播种时间分别为 2 月 28 日、2 月 28 日、3 月 1 日。肥料分别为国外进口的三元复混肥(15-15-15);钙镁磷肥:有效磷≥18%;尿素是含纯氮 46%的尿素。

1.3 样品采集与分析

1.3.1 基础土壤

于 2012 年 2 月初取土壤,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。土壤干样分析全氮、全磷、全钾、碱解氮、速效磷、速效钾、有机质、pH 项目。全氮含量采用半微量凯氏定氮法,全磷含量采用钼锑抗比色法,全钾含量采用火焰光度法,碱解氮含量采用碱解扩散法,速效磷含量参照 NY/T 148—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。

1.3.2 径流水

一定强度一定时间的降雨产生径流水后,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 °C 冰箱中,要求 1 周内分析其养分如总氮、铵态氮、硝态氮、总磷、总钾。水样总氮采用碱性过硫酸钾消解氧化紫外分光光度法,铵态氮采用靛酚蓝比色法,硝态氮采

表 1 3 种作物每个小区施肥及株行距情况

Table 1 The situation of fertilization and planting spacing of these crops

不同作物	基肥 Base fertilizer(N-P ₂ O ₅ -K ₂ O)/kg·hm ⁻²	追肥 Top dressing(N-P ₂ O ₅ -K ₂ O)/kg·hm ⁻²	株行距 Planting spacing/cm×cm
花生 Peanut	68.2-204.7-68.2 熟石灰 758.0	0-0-0	35×17
玉米 Maize	38.4-38.4-38.4	153.5-115.1-115.1	35×80
甘蔗 Sugar cane	111.1-111.1-111.1	212.3-111.1-253.9	15×110

注:施肥量以 N-P₂O₅-K₂O 纯养分计算。

用紫外分光光度计比色法,总磷采用过硫酸钾消解氧化钼锑抗比色法,总钾采用直接过滤-火焰光度计法。

1.3.3 氮(磷、钾)流失量和径流率的计算^[10]:

地表径流途径流失的氮、磷数量等于整个监测周期中(全年)各次径流水中污染物浓度与径流水体积乘积之和。

每次降雨事件径流养分损失量=每次降雨事件径流量×径流中养分浓度;

径流养分损失总量为每次降雨事件径流养分损失量的总和;

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

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 不同作物的生长情况

不同处理的不同作物的生长情况(见图1)。常规

施肥处理的花生、玉米生长情况与其不施肥处理生长情况一致,施肥并不能增加玉米、花生的生长情况,从基础土壤的理化性状可知,土壤中的速效养分含量很充足即碱解氮 133.04 mg·kg⁻¹,速效磷 30.58 mg·kg⁻¹,速效钾 210.62 mg·kg⁻¹,有机质 41.41 g·kg⁻¹,即使不施肥也不影响玉米、花生的生长和发育。5月2日至5月29日,对照、常规施肥的甘蔗生长情况相同,5月29日至9月6日,与常规施肥甘蔗比较,对照的甘蔗生长情况为先慢后快的现象。这表明甘蔗在幼苗期追肥,有促进甘蔗生长的作用,在6月中下旬进行大培土时,再次追肥,而这次农户一般施肥量较大,土壤中的养分含量过高反而抑制了甘蔗的生长。

2.2 不同作物栽培养分径流总量分析

3种作物不同处理从5月至9月总氮、总磷、总钾、硝态氮、铵态氮养分径流量均存在极显著水平(见表2)。甘蔗常规施肥各养分的径流流失量均比甘蔗对照各养分流失量低,玉米(花生)常规施肥各养分的径流流失量均比相应作物的对照高。总氮、总磷、总钾、硝态氮、铵态氮径流流失量最高是花生常规施肥,

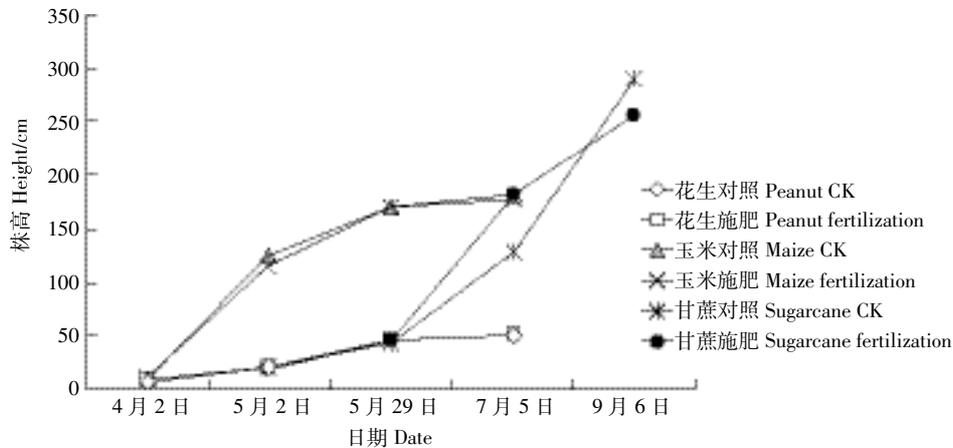


图1 不同施肥处理不同作物的生长影响

Figure 1 Effect of different fertilizer treatments on growth of different crops

表2 不同作物对径流水氮、磷、钾(5—9月)流失总量影响

Table 2 Effect of different crops on total nitrogen(phosphorus, potassium) runoff losses from May to September

处理 treatment	总氮 TN/ kg·hm ⁻²	总磷 TP/ kg·hm ⁻²	总钾 TK/ kg·hm ⁻²	硝态氮 NO ₃ -N/ kg·hm ⁻²	铵态氮 NH ₄ -N/ kg·hm ⁻²	硝态氮/总氮 NO ₃ -N/ TN	铵态氮/总氮 NH ₄ -N/ TN
甘蔗 Sugarcane	CK 3.70B	0.68B	3.61B	1.84C	1.26B	0.50	0.34
	常规 3.30C	0.29D	2.45C	1.91C	0.90C	0.58	0.27
玉米 Maize	CK 1.14F	0.66B	1.17F	0.60D	0.36E	0.53	0.32
	常规 3.14D	0.68B	2.16D	2.08B	0.74D	0.66	0.24
花生 Peanut	CK 1.23E	0.40C	1.69E	0.67D	0.33E	0.54	0.27
	常规 5.06A	0.78A	5.01A	2.90A	1.69A	0.57	0.33

注:同列中不同大写字母表示 0.01 水平上差异显著。

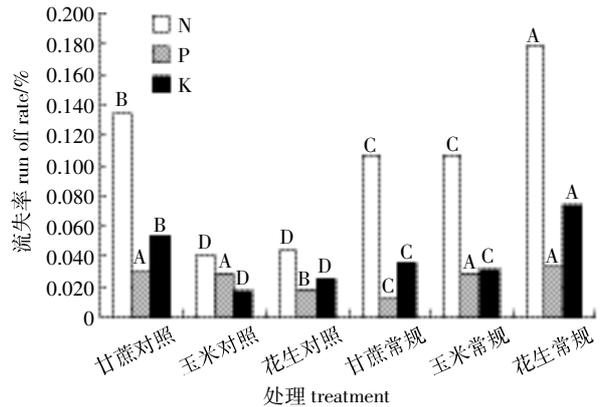
分别为 5.06、0.78、5.01、2.90、1.69 kg·hm⁻²；甘蔗对照的总氮、总磷、总钾、铵态氮径流流失量居第二位；玉米对照的总氮(1.14 kg·hm⁻²)、总钾(1.17 kg·hm⁻²)、硝态氮(0.60 kg·hm⁻²)及甘蔗常规施肥的总磷(0.29 kg·hm⁻²)、花生对照的铵态氮(0.33 kg·hm⁻²)径流流失量最少,径流水的氮素都以硝态氮形式流失为主。从表 1 可知,常规施肥的作物都施了基肥,玉米、甘蔗还施了追肥,每次施肥都是深施覆土,因此施肥的作物径流流失的养分不一定比对照的作物流失的多,如甘蔗。这是由于常规施肥的甘蔗在 5 月 29 日至 8 月中旬期间生长快,吸收的养分较多于对照(见图 1)。而花生施肥处理养分径流流失量比花生对照存在极显著差异,这与花生收获特性有关,7 月初收获花生地下部时,要连根拔起,并把土壤中施的基肥带到地表,而 7—9 月降雨量较大占 42.14%(2013 年 1—11 月的总降雨量),随地表径流流失严重。

2.3 不同作物径流量及各养分流失量相关性分析

无论不同作物的对照处理还是常规施肥处理,其养分(总氮、总磷、总钾、硝态氮、铵态氮)径流流失量与径流量均存在极显著相关性。径流量与总氮、总磷、总钾、硝态氮、铵态氮的相关系数,常规施肥处理高于对照(见表 3)。降雨是农田径流的主要驱动力,径流量是农田养分径流流失的重要构成因素之一^[11]。养分径流流失量的多少与降雨量、降雨强度、降雨时间有直接的关系,也与种植模式、施肥模式、作物生长情况、耕地坡度、土壤质地等有关。

2.4 不同作物各处理氮、磷、钾径流流失率分析

不同作物各处理氮、磷、钾养分径流率有差异(图 2)。各处理氮径流率差异极显著,其中氮径流率最大



氮、磷、钾养分流失率百分数值通过反正弦转换后再分别进行方差分析

图 2 各处理氮、磷、钾径流流失率

Figure 2 The runoff rate of treatments on run-off nitrogen, phosphorus and potassium

的是花生常规施肥,其次是甘蔗对照,最少的是玉米对照;各处理磷径流率差异不显著,最少的是甘蔗常规施肥;各处理钾径流率差异较显著,钾径流率最大的是花生常规施肥,其次是甘蔗对照,最少的是玉米对照。广西降雨多集中在 5—10 月,占全年的 70%以上,花生在 7 月初收获,养分易被径流水冲走,造成花生常规施肥养分径流率最大;6 月中旬甘蔗正处分裂期,对其进行大培土,土层疏松,土壤中的养分氮、磷、钾甘蔗来不及吸收易随径流而流失。径流率的大小还与栽培模式、植被覆盖、施肥量、施肥类型、施肥时间,以及降雨时间、降雨量、降雨强度、坡度等多种原因有关。

2.5 不同作物的经济产量和品质分析

同种作物不同处理经济产量、生物产量及品质相

表 3 径流量与养分流失量的相关性(双尾)

Table 3 Correlation between the runoff and different nutrients run off (2-tailed)

项目	径流量 run-off	总氮 TN	总磷 TP	总钾 TK	硝态氮 Nitrate nitrogen	铵态氮 Ammonium nitrogen
径流量 run-off	1					
总氮 TN	0.866** /0.910**	1				
总磷 TP	0.580** /0.679**	0.675** /0.684**	1			
总钾 TK	0.791** /0.783**	0.957** /0.843**	0.731** /0.771**	1		
硝态氮 Nitrate nitrogen	0.878** /0.882**	0.979** /0.985**	0.643** /0.671**	0.929** /0.825**	1	
铵态氮 Ammonium nitrogen	0.793** /0.881**	0.987** /0.972	0.657** /0.685**	0.946** /0.867**	0.946** /0.934**	1

注:** 表示极显著;表中数据为对照数据/常规施肥数据。

差很大,花生施肥比花生对照增加了单株个数和经济产量,分别增加了2个·株⁻¹和12.19 kg·667 m⁻²;而花生对照的生物产量、粗脂肪比花生常规施肥的高,分别高出了879.28 kg·667 m⁻²和45 g·kg⁻¹。玉米对照的经济产量、生物产量、淀粉含量均比玉米常规施肥的高,分别高出了100.62 kg·667 m⁻²、485.98 kg·667 m⁻²和7.5%(见表4)。基础土壤的养分含量很丰富,至少可以满足一季玉米的生长发育的需要,在养分含量高的土壤施肥,不仅浪费肥料,造成肥料利用率低,对环境造成污染,还使品质变差,经济效益降低。

3 讨论

在丘陵旱地肥沃的土壤上种植作物,甘蔗、玉米、花生常规施肥处理,其生长速率与对照对应作物生长速率差异不明显,施肥可以改变土壤的理化性状,可以提高作物的产量,如常规施肥花生的经济产量比对照提高了12.19 kg·667 m⁻²,常规施肥的玉米(淀粉)、花生(粗蛋白)均比对照分别降低了7.5%、45 g·kg⁻¹,施不同类型的肥料对作物品质影响很大^[11]。作物吸收养分有一定浓度范围,否则会出现“单盐毒害”现象,种植户应根据作物的需肥规律及土壤供肥能力按需补肥,减少养分随地表径流水流失,提高肥料的利用率,对减缓农业面源的污染有重要意义^[12-13]。

在广西坡耕地种植不同作物进行养分径流监测试验,收集5—9月天然降雨产生地表径流水13次,花生常规施肥径流水养分总氮、总磷、总钾、硝态氮、铵态氮流失量最多,分别为5.06、0.78、5.01、2.90、1.69

kg·hm⁻²,地表径流水氮素流失以硝态氮形式流失为主^[14]。各养分径流流失量都与径流量存在极显著差异,而径流的产生受降雨强度、降雨时间和降雨量的影响,当降雨强度大于入渗强度时,会产生地表径流^[15]。不同作物各处理养分氮的径流流失率偏高,这与氮的特性有关,氮多以硝态氮、铵态氮形式存在,铵态氮易挥发,造成土壤中氮的径流流失量大。径流流失量还与作物生长状况、作物收获特性(如花生收获时需要收地下部,基施的肥料被径流水冲走)、施肥时间、施肥深度等多种因素有关。

4 结论

对照的玉米、花生、甘蔗与常规施肥的玉米、花生、甘蔗相比,它们的生长情况一致,玉米对照的经济产量、生物产量、淀粉含量均比常规施肥的玉米高,分别提高了100.62 kg·667 m⁻²、485.98 kg·667 m⁻²、7.5%;花生常规施肥比对照经济产量提高了12.19 kg·667 m⁻²,降低了粗脂肪(45 g·kg⁻¹)和生物产量(120.1 kg·667 m⁻²);甘蔗常规施肥的经济产量、生物产量、锤度均比对照高,分别提高了658 kg·667 m⁻²、274.03 kg·667 m⁻²、2.31 BX。3种作物不同处理中,总氮、总磷、总钾、硝态氮、铵态氮径流流失量最高的是花生常规施肥,玉米对照的养分总氮、总钾径流流失率最少,甘蔗常规施肥总磷径流流失率最低。种植户应根据作物的需肥量及该土壤的供肥情况及时补充肥料,提高肥料利用率,降低面源污染,提高经济效益。

表4 不同种植模式对各种作物的经济产量和生物量的影响
Table 4 Effects of the different planting models on yield and biomass production of plants

不同作物 Different crops	经济产量 Economic yield/kg·667 m ⁻²	生物产量 Biomass yield/kg·667 m ⁻²	单株个数 The number per plant	淀粉 Starch/%	粗脂肪 Fat/g·kg ⁻¹	锤度 Brix/BX
花生对照 Peanut control	261.36	1 690.18	27	—	426	—
花生常规施肥 Peanut conventional fertilization	273.55	1 570.08	29	—	381	—
玉米对照 Maize control	851.42	3 640.4	1	68.4	—	—
玉米常规施肥 Maize conventional fertilization	750.80	3 154.42	1	60.9	—	—
甘蔗对照 Sugarcane control	8 554.94	9 670.94	—	—	—	16.36
甘蔗常规施肥 Sugarcane conventional fertilization	9 212.94	9 944.97	—	—	—	18.67

注:玉米以干的玉米粒计算经济产量,花生以干的花生仁计算经济产量;玉米、花生的生物产量都以鲜重计算,甘蔗经济产量、生物产量都以鲜重计算。

参考文献:

- [1] 吴圣进,蓝福生,罗洁,等. 广西主要蔗区土壤和植株养分状况的调查研究[J]. 广西植物, 1998, 18(3):291-295.
WU Sheng-jin, LAN Fu-sheng, LUO Jie, et al. Study on the nutrition situation of soil and sugarcane in the main sugarcane productive areas of Guangxi[J]. *Guihaia*, 1998, 18(3):291-295.(in Chinese)
- [2] 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: 2009: 283-293.
Guangxi Statistical Bureau. Guangxi statistical yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2009: 283-293.(in Chinese)
- [3] 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: 307.
Guangxi Statistical Bureau. Guangxi statistical yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2006: 307.(in Chinese)
- [4] 佟屏亚. 广西—四季玉米之乡[J]. 中国种业, 2013(7):33-34.
TONG Ping-ya. Guangxi: the hometown of four seasons corn [J]. *China Seed Industry*; 2013(7): 33-34.(in Chinese)
- [5] 蔡覆冰. 太湖流域水体富营养化成因及防治对策的初步研究[J]. 中国环境监测, 2003, 19(3):52-55.
CAI Fu-bing. Preliminary study on the cause and the preventing and curing of the water body eutrophication of the Taihu Basin[J]. *Environmental Monitoring in China*, 2003, 19(3):52-55.(in Chinese)
- [6] 刘兆德,虞孝感,王志宪. 太湖流域水环境污染现状与治理的新建议[J]. 自然资源学报, 2003, 18(4):467-474.
LIU Zhao-de, YU Xiao-gan, WANG Zhi-xian. The current water pollution of Taihu drainage basin and the new management proposals [J]. *Journal of Natural Resources*, 2003, 18(4): 467-474.(in Chinese)
- [7] 郭建平,吴甫成,熊建安. 洞庭湖水体污染及防治对策研究[J]. 湖南文理学报: 社会科学版, 2007, 32(1):91-94.
GUO Jian-ping, WU Fu-cheng, XIONG Jian-an. On the water pollution and the preventing and controlling measures of Dongting Lake[J]. *Journal of Hunan University of Arts and Science: Social Science Edition*, 2007, 32(1):91-94.(in Chinese)
- [8] 贝荣塔,周跃,何敏. 土壤中氮磷和滇池水体污染的潜在关系[J]. 西北林学院学报, 2010(2):35-39.
BEI Rong-ta, ZHOU Yue, HE Min. Potential relationship between soil nitrogen & phosphorus content and water pollution in Dianchi Lake[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2010(2):35-39.(in Chinese)
- [9] Parry R. Agricultural phosphorus and water quality: AUS environmental protection agency perspective[J]. *Journal of Environment Quality*, 1998, 27: 258-261.
- [10] 王桂苓. 巢湖流域麦稻轮作农田养分径流流失特征初步研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2009: 24-25.
WANG Gui-ling. Pilot study on nutrient runoff character of wheat-rice rotation field in Chaohu lake basin[D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2009:24-25.(in Chinese)
- [11] 王静,郭熙盛,王允青,等. 巢湖流域不同耕作和施肥方式下农田养分径流流失特征[J]. 水土保持学报, 2012, 26(1):6-11.
WANG Jing, GUO Xi-sheng, WANG Yun-qing, et al. Characteristics of nutrient runoff losses from farmland under different tillage and fertilization methods in Chaohu Lake region[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2012, 26(1):6-11.(in Chinese)
- [12] 郭鸿鹏,朱静雅,杨印生. 农业非点源污染防治技术的研究现状与进展[J]. 农业工程学报, 2008, 24(4):290-295.
GUO Hong-peng, ZHU Jing-ya, YANG Yin-sheng. Research status and development of technologies for controlling the agricultural non-point source pollution[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2008, 24(4):290-295.(in Chinese)
- [13] 焦平金,许迪,王少丽. 汛期不同作物种植模式下地表径流氮磷流失研究[J]. 水土保持学报, 2009, 23(2):15-20.
JIAO Ping-jin, XU Di, WANG Shao-li. Nitrogen and phosphorus runoff losses from farmland as affected by cropping pattern during flood season[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2009, 23(2):15-20.(in Chinese)
- [14] 彭树初,陈雄鹰,胡明勇,等. 长沙市平原旱地土壤氮磷径流特征研究[J]. 湖南农业科学, 2009(6):61-64.
PENG Shu-chu, CHEN Xiong-ying, HU Ming-yong, et al. Study on characteristics of nitrogen and phosphorus loss from dryland soil by runoff in Changsha plain[J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2009(6): 61-64.(in Chinese)
- [15] 张丽萍,张妙仙. 土壤侵蚀正态模型试验中产流畸变系数[J]. 土壤学报, 2000, 37(4):449-455.
ZHANG Li-ping, ZHANG Miao-xian. Research on runoff formatton distortion coefficient in soil erosion experimentof a normal model of small drainage[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2000, 37(4):449-455.(in Chinese)