

詹柳琪, 易江婷, 蔡海洋, 等. 不同有效磷植烟土壤施用磷肥对烤烟生长及干物质积累的影响 [J]. 福建农业学报, 2013, 28 (11): 1112-1116.

ZHAN L-Q, YI J-T, CAI H-Y, et al. Effects of Phosphorus Fertilizer Rate in Tobacco-planting Soil with Different Available Phosphorus Contents on the Growth and Dry matter Accumulation of Flue-cured Tobacco [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2013, 28 (11): 1112-1116.

不同有效磷植烟土壤施用磷肥对烤烟生长及干物质积累的影响

詹柳琪, 易江婷, 蔡海洋, 熊德中

(福建农林大学资源与环境学院, 福建 福州 350002)

摘要: 磷素营养供应不足或过剩都会影响烤烟正常生长。本试验采用盆栽试验研究不同有效磷水平的植烟土壤对烤烟生长及干物质积累的影响。结果表明, 在土壤有效磷含量为 $13.29 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、土壤磷最大吸附量 X_m 为 $67.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的潮砂田上, 施磷 $1.35 \text{ g} \cdot \text{盆}^{-1}$ (P4) 的烤烟农艺性状处于较高水平, 干物质积累与 P5 处理差异不显著, 可满足烤烟正常生长需求。在土壤有效磷为 $28.66 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、土壤磷最大吸附量 X_m 为 $168.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的黄泥田, 施磷 $2.00 \text{ g} \cdot \text{盆}^{-1}$ (P5) 处理的烤烟农艺性状水平最好, 与其他处理差异显著, 且全株干物质含量最大 ($79.03 \text{ g} \cdot \text{盆}^{-1}$), 与 P4 处理差异极显著, 说明 P5 处理可满足烤烟正常生长需求。在土壤有效磷为 $54.50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、土壤磷最大吸附量 X_m 为 $104.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的灰泥田上, 施磷 $1.35 \text{ g} \cdot \text{盆}^{-1}$ (P4) 处理的烤烟农艺性状水平最好, 与其他处理差异显著, 且全株干物质积累最大 ($95.04 \text{ g} \cdot \text{盆}^{-1}$), 说明 P4 处理能满足烤烟生长。在同一施磷水平条件下, 烤烟的农艺性状及干物质积累量大小为: 灰泥田 > 黄泥田 > 潮砂田, 说明植烟土壤的有效磷水平及磷最大吸附量不同对烤烟生长具有重要影响。

关键词: 植烟土壤; 有效磷; 土壤磷最大吸附量; 烤烟干物质含量

中图分类号: S 572

文献标识码: A

Effects of Phosphorus Fertilizer Rate in Tobacco-planting Soil with Different Available Phosphorus Contents on the Growth and Dry matter Accumulation of Flue-cured Tobacco

ZHAN Liu-qi, YI Jiang-ting, CAI Hai-yang, XIONG De-zhong

(College of Resources and Environment, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002, China)

Abstract: The regular growth of flue-cured tobacco is affected by phosphorus supply. The pot experiment was conducted to study effects of phosphorus rate in tobacco-planting soil with different available phosphorus levels on the growth and dry matter accumulation of flue-cured tobacco. The results showed that, in moist sandy land (available phosphorus $13.29 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, soil phosphorus adsorption maximum $67.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), phosphorus application was $1.35 \text{ g} \cdot \text{pot}^{-1}$ (P4) which the agronomic traits of flue-cured tobacco exhibited higher levels, the dry matter accumulation of flue-cured tobacco was not significant with P5 treatment and could meet the demand of the regular growth of the flue-cured tobacco. In yellow clayey soil (available phosphorus $28.66 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, phosphorus adsorption maximum $168.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), the agronomic traits of flue-cured tobacco which applied $2.00 \text{ g} \cdot \text{pot}^{-1}$ (P5) phosphorus was at the best level significantly higher than other treatments. The dry matter accumulation of flue-cured tobacco could reach the maximum value $79.03 \text{ g} \cdot \text{pot}^{-1}$ significantly higher than P4 treatment, which could meet the demand of the regular growth of the flue-cured tobacco. In paddy field (available phosphorus $54.50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, phosphorus adsorption maximum $104.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), the agronomic traits of flue-cured tobacco which applied $1.35 \text{ g} \cdot \text{pot}^{-1}$ (P4) phosphorus was at best level significantly higher than others. The dry matter accumulation of flue-cured tobacco could reach the maximum value $95.04 \text{ g} \cdot \text{pot}^{-1}$, which could meet

收稿日期: 2013-10-10 初稿; 2013-11-06 修改稿

作者简介: 詹柳琪 (1989-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 土壤环境及其调控 (E-mail: qzcathy@qq.com)

通讯作者: 熊德中 (1955-), 男, 教授, 研究方向: 植物营养与施肥 (E-mail: xiongdz@126.com)

基金项目: 福建省科技计划重大专项 (2012NZ0002)

the demand of the regular growth of the flue-cured tobacco, with the same phosphorus applied, the agronomic traits and dry matter accumulation of flue-cured tobacco were paddy field>yellow clayey soil>moist sandy land. Which showed that phosphorus fertilizer rate in tobacco-planting soil with different available phosphorus levels was significantly related to the growth of flue-cured tobacco.

Key words: tobacco-planting soil; available phosphate soil; phosphorus adsorption maximum; dry matter accumulation of flue-cured tobacco

烟草是重要的经济作物之一，为获得烟草的优质高产，除选取良好品种以及创造适宜的环境条件外，合理施肥也是一项重要措施^[1]。磷肥的施用直接影响到烤烟的生长、产量以及品质^[2-5]。磷过多氮不足，则叶脉突出、质地粗糙、油分少、易破碎；过多施用磷肥会使烟叶的厚度增加，烟叶品质下降^[6-7]，并且会导致土壤磷素含量升高，磷肥当季利用率低，从而增加磷素的流失风险，带来环境污染^[8-12]。

福建的一些烟区长期施用较多磷肥，且不同有效磷水平的植烟土壤施用的烤烟专用磷肥比例和用量基本一致，对植烟土壤和烟叶品质产生严重影响。据研究，磷肥施用效果与土壤对磷的吸附量^[13-14]及作物吸磷量^[15-16]密切相关。烤烟施用磷肥除需考虑土壤有效磷含量的高低，还必须考虑土壤对磷吸附量的大小。但目前福建省烤烟栽培中，磷肥的施用只有考虑土壤中有效磷的含量，没有考

虑到土壤对磷吸附量的大小。本试验选择福建烟区不同有效磷水平植烟土壤，研究不同施磷处理对烤烟生长性状及干物质积累的影响，以期为福建烟区合理施用磷肥，提高烟叶品质提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试土壤样品的采集

试验采集了福建烟区有代表性的不同有效磷水平的 3 种植烟土壤，包括有效磷含量较低的潮砂田、有效磷含量中等的黄泥田和有效磷含量丰富的灰泥田。土壤测试指标^[17]：土壤 pH 值采用电位法测定；土壤有机质采用硫酸-重铬酸钾外加热法测定；碱解氮含量采用碱解扩散法测定；速效磷含量采用 NaHCO₃ 法测定；速效钾含量采用 NH₄OAc 浸提、火焰光度法测定；交换性钙镁采用 EDTA-乙酸铵溶液浸提，原子吸收测定。3 种土壤的基本理化性状见表 1。

表 1 供试土壤的基本性状
Table 1 Soil basic properties

土壤类型	pH	有机质/ (g · kg ⁻¹)	碱解氮/ (mg · kg ⁻¹)	有效磷/ (mg · kg ⁻¹)	速效钾/ (mg · kg ⁻¹)	交换性钙/ (mg · kg ⁻¹)	交换性镁/ (mg · kg ⁻¹)
潮砂田	5.07	24.50	60.39	13.29	14.68	180.51	61.80
黄泥田	5.60	33.01	108.02	28.66	27.12	230.11	24.50
灰泥田	5.41	35.70	154.30	54.50	85.17	475.22	61.80

1.2 盆栽试验

每种土壤设 5 个施磷水平，即施磷 (P₂O₅) 量为 0、0.45、0.90、1.35、2.00 g · 盆⁻¹，分别用 P1、P2、P3、P4、P5 表示，每一处理 4 个重复。N、K 的施用比例为 N : K₂O=1 : 2.1，施纯氮 1.2 g · 盆⁻¹，N、K 肥分别为硝酸铵、硫酸钾；施 MgO 0.5 g · 盆⁻¹，施硼砂 0.1 g · 盆⁻¹。每盆栽装风干土 10 kg，每盆栽烟 1 株，随机排列。供试烤烟品种为云烟 85，烟株移栽后 25、45、60 d 观察记载烤烟的生物学特性。烤烟现蕾后打顶，并及时抹去腋芽。

1.3 测定项目和方法

(1) 土壤磷最大吸附量 (X_m) 的测定：土壤

磷最大吸附量 (X_m) 的测定参考金相灿等^[18]提供的土壤等温吸附曲线方法进行，分别 100 mL 离心管中加入 0.3 g 不同粒级的土壤和 50 mL 不同浓度的磷酸二氢钾溶液，初始磷质量浓度分别为 0.1、0.2、0.5、0.8、1.0、1.2、1.5 mg · L⁻¹ 的磷酸二氢钾溶液。离心管加塞后在 (25±1)℃ 下恒温振荡至吸附平衡 (24 h)，离心，取上清液，测定磷酸盐质量浓度 (平衡质量浓度)。根据起始质量浓度与平衡质量浓度之差，扣除空白，通过 Langmuir 方程 (C/X=1/KX_m+C/X_m) 计算土壤磷最大吸附量 (X_m)。式中 C 为平衡溶液中磷酸离子的浓度，X 为土壤吸附磷酸离子的数量，X_m 为最大吸附量，K 为常数。该试验在相同的条

件下作 3 个平行, 相对误差 $\leq 5\%$ 。3 种土壤的磷最大吸附量分别为: 潮砂田 $67.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 黄泥田 $168.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 灰泥田 $104.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

(2) 生物学性状: 烟株移栽后 25、45、60 d 观察记载盆栽试验烟株的株高、茎围、最大叶面积。

(3) 磷含量: 全株采用 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ 联合消煮, 钒钼黄比色法测定全磷^[17]。

(4) 干物质含量: 在采收期采收烟株, 每株按不同部位分为根、茎、叶, 用于统计干物质含量。

2 结果与分析

2.1 不同有效磷水平植烟土壤施用磷肥对烤烟农艺形状的影响

试验结果表明 (表 2), 烟株移栽后 25 d, 在潮砂田 (有效磷 $13.29 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), P3 处理 (施磷 $0.90 \text{ g} \cdot \text{盆}^{-1}$) 的烤烟长势最好, 与对照 P1 处理 (不施磷肥) 相比茎围和最大叶面积分别增加了 0.2 cm 和 94.58 cm^2 , 显著高于其他处理。在黄泥田 (有效磷 $28.66 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), P4 处理 (施磷 $1.35 \text{ g} \cdot \text{盆}^{-1}$) 烤烟长势最好, 其最大叶面积略小于 P5 (施磷 $2.00 \text{ g} \cdot \text{盆}^{-1}$) 处理, 株高和茎围分

别比 P5 处理增加 1.2 、 0.1 cm , 与 P5 处理没有显著差异, 与其他处理差异显著。在灰泥田 (有效磷 $54.50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), P4 处理烤烟的整体长势最好, 除株高显著低于 P3 处理, 其他性状显著优于其他处理。试验结果显示, 各个处理烟株的农艺性状均比 P1 处理有明显改善, 在潮砂田上施用 $0.90 \text{ g} \cdot \text{盆}^{-1}$ (P3) 即可满足生长, 在黄泥田和灰泥田 $1.35 \text{ g} \cdot \text{盆}^{-1}$ (P4) 的施磷量可满足生长。

烟株移栽后 45 d, 在潮砂田, P5 处理的烤烟长势最好, 除最大叶面积显著低于 P3 处理, 其他指标均显著高于其他处理。在黄泥田, P5 处理的烤烟长势最好, 除茎围显著低于 P3 处理, 其他指标均显著高于其他处理。在灰泥田, P4 处理的烤烟整体长势最好, 株高和茎围与 P3 处理差异不显著, 其他各项农艺性状均显著优于其他处理。试验结果显示, 随着移栽时间的增长, 烤烟生长的需磷量都有所增长, 特别是有效磷含量较低的潮砂田, 施磷 $2.00 \text{ g} \cdot \text{盆}^{-1}$ (P5) 处理才使其长势最好; 黄泥田的需磷量也有所增加, 同样是达到施磷 $2.00 \text{ g} \cdot \text{盆}^{-1}$ (P5) 时, 烤烟整体长势最优; 灰泥田依旧为 $1.35 \text{ g} \cdot \text{盆}^{-1}$ 处理 (P4) 长势最好。

表 2 不同供磷水平对烤烟农艺性状的影响

Table 2 Effect of different soil rapidly-available phosphorus levels with different phosphate fertilizer rates on agronomic traits of flue-cured tobacco

土壤类型	处理	株高/cm			茎围/cm			最大叶面积/cm ²		
		25 d	45 d	60 d	25 d	45 d	60 d	25 d	45 d	60 d
潮砂田(有效磷 $13.29 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	P1	—	29.3d	43.1e	3.0b	3.7c	3.7d	157.85e	268.08d	297.98e
	P2	—	28.2e	44.0d	3.0b	3.8c	4.4c	199.48d	303.28c	327.89d
	P3	—	30.3c	48.4c	3.2a	4.0b	4.6b	252.43a	392.90a	410.25a
	P4	—	34.5b	58.2b	3.1ab	3.7c	4.4c	237.84b	336.97b	371.46b
	P5	—	40.9a	60.8a	3.0b	4.4a	5.1a	209.78c	337.55b	360.60c
黄泥田(有效磷 $28.66 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	P1	13.4d	31.2e	50.8e	2.8d	4.7c	4.9c	176.52e	351.63e	416.15e
	P2	15.9c	36.3d	61.6d	3.0c	4.6c	5.4a	242.89d	368.71d	430.50d
	P3	17.7bc	45.3c	70.9c	3.6b	5.1a	5.1b	253.00c	450.37c	450.72c
	P4	20.2a	48.3b	77.8a	3.9a	4.7c	5.3a	297.29b	508.87b	548.38b
	P5	19.0ab	55.4a	73.5b	3.8a	4.9b	5.3a	322.10a	546.72a	557.54a
灰泥田(有效磷 $54.50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	P1	16.5e	37.9d	56.9c	4.0c	5.6b	6.1ab	343.06e	457.00e	600.47e
	P2	25.5c	54.5c	75.3b	4.8b	5.8a	5.8c	448.00c	590.72d	615.26d
	P3	29.4a	60.3ab	83.1a	4.7b	5.8a	6.2a	469.83b	618.14b	668.13c
	P4	27.2b	62.0a	84.7a	5.1a	5.7ab	6.1ab	473.21a	650.80a	704.27a
	P5	23.2d	58.8b	84.5a	5.1a	5.6b	6.0b	441.86d	596.00c	672.41b

注: 同列数据后不同小写字母表示 LSD 法 5% 水平上差异显著。

烟株移栽后 60 d, 在潮砂田, P5 处理的烤烟整体长势最好, 除最大叶面积显著低于 P3、P4 处理, 株高和茎围均显著高于其他处理。在黄泥田, P5 处理的烤烟整体长势最好, 株高、茎围和最大叶面积与 P1 处理相比分别增加 22.7 cm、0.4 cm 和 141.39 cm², 并且各项农艺性状均与其他处理形成显著性差异。在灰泥田, P4 处理的烤烟长势最好, 与其他处理相比, 各项农艺性状均显著提高。试验结果显示, 随着移栽时间推移, 烤烟生长的需磷量趋于稳定, 各种土壤种植的烤烟需磷量与移栽 45 d 时保持一致。在潮砂田上, P5 处理的烤烟整体长势最好, 但是其最大叶面积低于 P3、P4 处理, 而烤烟的经济效益取决于烟叶, 因此综合分析, P4 处理 (施磷 1.35 g · 盆⁻¹) 即可满足烤烟的生长。

2.2 不同有效磷水平植烟土壤施用磷肥对烤烟干物质含量的影响

由表 3 的试验结果可以看出, 潮砂田 (有效磷含量 13.26 mg · kg⁻¹), 除根系干重, 烤烟各部位干物质含量随着施磷量的增加呈现上升趋势, P5 处理 (施磷 2.00 g · 盆⁻¹) 的烤烟茎、叶及全株干

物质质量达到最大值。根系干重各处理差异不显著; P5 处理烤烟茎部干物质含量极显著高于其他处理, 叶片和全株干物质含量极显著高于 P1、P2、P3 处理, 与 P4 处理差异不显著。

黄泥田 (有效磷含量 28.66 mg · kg⁻¹) 各施磷处理的烤烟各部位及全株的干物质积累随施磷量的增加而提高, 并在 P5 处理时达到最大值。除 P4 处理烟株的茎干物质含量与 P5 处理烟株差异不显著外, 其余各处理各部分及全株干物质含量均极显著低于 P5 处理。对于黄泥田来说, 施磷 2.00 g · 盆⁻¹ 的 P5 处理能有效提高烤烟的干物质积累。

灰泥田 (有效磷含量 54.50 mg · kg⁻¹) 各施磷处理的烤烟根、茎、叶及全株干物质积累随施磷量的增加呈现先增加后降低的趋势, 在 P4 处理出现最大值。P4 处理除根系干物质含量与 P3 和 P5 处理差异不显著, 其他各部分及全株干物质含量均显著高于其他处理。对于灰泥田, 其土壤有效磷含量较高, 施磷 1.35 g · 盆⁻¹ (P4) 即可满足烤烟生长, 过多磷肥 (P5 处理 2.00 g · 盆⁻¹) 有碍烤烟干物质的积累。

表 3 不同有效磷水平植烟土壤施用磷肥对烤烟干物质积累的影响

Table 3 Effects of different soil rapidly-available phosphorus levels with different phosphate fertilizer rates on dry matter accumulation of flue-cured tobacco in the mature stage

土壤类型	处理	根/ (g · 盆 ⁻¹)	茎/ (g · 盆 ⁻¹)	叶/ (g · 盆 ⁻¹)	全株/ (g · 盆 ⁻¹)
潮砂田(有效磷 13.29 mg · kg ⁻¹)	P1	5.70±0.79 aA	10.96±2.93dD	19.12±3.77dC	37.55±8.31dC
	P2	5.77±0.36 aA	16.45±1.18cC	21.45±1.44cdC	45.73±2.68cdBC
	P3	4.77±0.91 aA	18.31±0.98bcBC	24.26±1.65bcBC	49.14±2.71bcBC
	P4	6.17±0.38 aA	21.20±1.39bB	27.36±0.83abAB	60.30±2.92abAB
	P5	6.16±1.39 aA	25.82±0.94aA	30.14±1.23aA	63.70±3.03aA
黄泥田(有效磷 28.66 mg · kg ⁻¹)	P1	2.92±1.10cD	17.20±1.58cC	17.38±1.19eC	40.11±4.08dC
	P2	3.10±0.51cD	19.33±0.46 cC	20.03±1.45dC	44.18±2.67dC
	P3	4.49±0.17bBC	24.75±2.51bB	28.69±0.50cB	59.63±3.64cB
	P4	4.77±0.36bB	28.36±1.70aAB	31.15±1.48bB	66.33±2.73bB
	P5	8.01±0.27aA	29.84±1.05aA	39.13±1.20aA	79.03±2.18aA
灰泥田(有效磷 54.50mg · kg ⁻¹)	P1	3.29±1.02 bB	21.32±1.48dD	25.31±2.87dD	51.66±4.32dD
	P2	4.14±0.62 bB	29.11±3.13 cC	31.11±0.26cCD	66.32±3.20cC
	P3	6.31±0.97 aA	34.05±1.37 bB	37.95±3.99bB	80.52±4.83bB
	P4	7.65±0.41 aA	38.90±0.57aA	46.65±1.60aA	95.04±2.47aA
	P5	7.16±0.70 aA	33.46±1.17bBC	35.62±2.17bcBC	78.72±2.46bB

注: 同列数据后不同小写字母表示 LSD 法 5% 水平上差异显著, 不同大写字母表示 LSD 法 1% 水平上差异极显著。

3 讨论与结论

在 3 种供试土壤中, 烤烟的农艺性状水平都随着施磷量的增加有明显的提升。烤烟的干物质积累随着施磷量的增加有明显的增加; 在同一施磷水平条件下, 烤烟干物质累积量大小为: 灰泥田 > 黄泥田 > 潮砂田, 说明不同有效磷水平的植烟土壤对烤烟干物质积累具有明显影响。本研究中, 灰泥田 P4 处理 (施磷量为 $1.35 \text{ g} \cdot \text{盆}^{-1}$) 的烤烟长势比 P5 处理 (施磷量为 $2.00 \text{ g} \cdot \text{盆}^{-1}$) 的烤烟长势更好, 说明施用过多磷肥对烤烟生长会有抑制作用。

土壤有效磷是表征土壤供磷能力和确定磷肥用量和流失风险的重要指标^[19]。而土壤磷最大吸附量是描述土壤吸磷的容量指标, 是土壤磷库容量大小的标志, 在合理施肥中具有重要意义^[20]。在 3 种供试土壤中, 土壤有效磷含量及土壤磷最大吸附量以潮砂田最小, 潮砂田施用的磷肥更易被烤烟吸收, 施用较少的磷肥就可满足烤烟正常生长需要。本试验研究发现, 黄泥田 P5 处理 (施磷量为 $2.00 \text{ g} \cdot \text{盆}^{-1}$) 烤烟的长势优于 P4 处理 (施磷量为 $1.35 \text{ g} \cdot \text{盆}^{-1}$), 而潮砂田的烤烟施用 $1.35 \text{ g} \cdot \text{盆}^{-1}$ 即可达到很好的生长效果。对于黄泥田来说, 虽然其土壤有效磷含量比潮砂田高, 但由于黄泥田的土壤磷最大吸附量比潮砂田大 1.5 倍, 所以黄泥田应比潮砂田施用更多磷肥才能满足烤烟生长需要, 即施用 $2.00 \text{ g} \cdot \text{盆}^{-1}$ 可达到良好的生长状况。虽然灰泥田的土壤有效磷含量比潮砂田大, 但是土壤磷最大吸附量也比潮砂田大, 需要施用的磷肥量与潮砂田差异不大, 均为施用 $1.35 \text{ g} \cdot \text{盆}^{-1}$ 即可满足。说明烤烟施用磷肥不仅需考虑土壤有效磷含量的高低, 还必须考虑土壤对磷吸附量的大小。但目前福建省烤烟栽培中, 磷肥的施用仅考虑土壤中有效磷的含量, 没有考虑土壤对磷吸附量的大小。有时在烤烟生产中发现, 在相同有效磷的植烟土壤上施用相同量的磷肥其肥效是不同的, 这可能与土壤磷最大吸附量不同有关。建议在烤烟生产中, 合理施用磷肥应综合考虑土壤有效磷含量和土壤磷最大吸附量。因此, 在有效磷含量高且磷最大吸附量较小的烟田, 适当减少磷肥用量, 既可以降低肥料成本, 又有利于提高烟叶产量和品质。

参考文献:

- [1] 张黎明. 不同磷肥施用量对烤烟产量及品质的影响 [J]. 安徽农业科学, 2010, 38 (31): 17492—17493.
- [2] 化党领, 曹荣, 魏修彬, 等. 不同氮磷钾施肥量对烤烟农艺形状及养分吸收的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2012, (4): 53—58.
- [3] 贾志红, 易建华, 符建国, 等. 磷肥处理对烤烟生长生理及根系构型的影响 [J]. 土壤, 2011, 43 (3): 388—391.
- [4] 丁博锐, 杨焕文, 李佛琳. 氮磷钾互作对烤烟主要农艺性状的影响 [J]. 云南农业大学学报, 2011, 26 (4): 499—505.
- [5] 谢喜珍, 曾文龙. 烤烟施用磷肥试验研究 [J]. 福建农业科技, 2010, (5): 66—68.
- [6] 王艳丽, 刘国顺. 磷肥用量对烟叶细胞壁物质含量和烟叶厚度的影响 [J]. 烟草科技, 2005, (5): 41—44.
- [7] 白万明, 徐茜, 刘雪刚, 等. 福建南平烟区烤烟合理施磷研究 [J]. 中国烟草科学, 2007, 28 (4): 25—28.
- [8] 杨建浩, 韩晓日, 刘勇涛, 等. 我国磷资源和磷肥施用中存在的问题及对策 [J]. 辽宁农业科学, 2011 (6): 36—40.
- [9] 赵牧秋, 陈欣, 史云峰. 磷肥施用对红壤有效磷含量和易流失磷含量的影响 [J]. 安徽农业科学, 2012, 40 (6): 3335—3338.
- [10] 孙桂芝, 金继运, 石元亮. 土壤磷素形态及其生物有效性研究进展 [J]. 中国土壤与肥料, 2011, (2): 1—9.
- [11] HOODA P S, TRUESDALE V W, EDWARDS A C, et al. Manuring and fertilization effects on phosphorus accumulation in soils and potential environmental implications [J]. Advances in Environmental Research, 2001, (5): 13—21.
- [12] 林诚, 王飞, 林新坚, 等. 长期施肥对南方黄泥田土壤磷吸附与解吸的影响 [J]. 福建农业学报, 2011, 26 (6): 1034—1038.
- [13] 王昶, 吕晓翠, 贾青竹, 等. 土壤对磷的吸附效果研究 [J]. 天津科技大学学报, 2010, 25 (3): 34—38.
- [14] 陈波浪, 盛建东, 蒋平安, 等. 不同质地棉田土壤对磷吸附与解吸研究 [J]. 土壤通报, 2010, 41 (2): 303—307.
- [15] 韩瑛祚, 姜春荣, 王秀娟, 等. 不同磷肥利用方式对马铃薯产量及磷肥效率的影响 [J]. 江苏农业科学, 2013, 41 (3): 76—78.
- [16] 陈磊, 张朝春, 张信吉, 等. 施磷对不同间作体系间作优势与磷肥利用的影响 [J]. 中国农学通报, 2013, 29 (6): 137—141.
- [17] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 25—114, 431—440.
- [18] 金相灿, 王圣瑞, 赵海超, 等. 五里湖和贡湖不同粒径沉积物吸附磷实验研究 [J]. 2004, 17 (S1): 6—10.
- [19] 刘建玲, 廖文华, 张作新, 等. 磷肥和有机肥的产量效应与土壤积累磷的环境风险评价 [J]. 中国农业科学, 2007, 40 (5): 959—965.
- [20] 张兴梅, 苏壮, 束良佐, 等. 应用 Langmuir 等温吸附式研究含氯化肥对土壤吸磷的影响 [J]. 土壤农化通报, 1996, 11 (3): 122—125.

(责任编辑: 张 梅)