

齐鹤鹏, 刘 源, 朱国鹏, 等. 施钾量对甘薯产量及钾素吸收利用的影响[J]. 江苏农业学报, 2016, 32(1): 84-89.

doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2016.01.013

施钾量对甘薯产量及钾素吸收利用的影响

齐鹤鹏^{1,2}, 安 霞^{2,3}, 刘 源^{1,2}, 朱国鹏¹, 汪吉东^{2,3}, 张永春^{2,3}

(1.海南大学, 海南 海口 572008; 2.农业部江苏耕地保育科学观测实验站, 江苏 南京 210014; 3.江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 江苏 南京 210014)

摘要: 为探明施钾量对不同主栽甘薯品种产量、产量构成及钾素吸收和利用的影响, 以 3 种甘薯品种为材料, 田间设置不同施钾水平试验。结果显示, 各甘薯品种产量均随施钾量上升而提高, 增施钾肥对甘薯地上部分生物量的影响小于根系, 施钾的增产作用主要表现在甘薯数量的增加, 单薯质量则次之; 甘薯茎、叶钾含量高于薯块, 且增施钾显著提高甘薯茎叶和薯块的含钾量。甘薯品种间钾的吸收及利用对施钾的响应不同, 相对高效的徐薯 22 钾素主要积累在根部, 宁薯 192 及浙紫 1 号则相反。甘薯钾利用效率与植株钾浓度呈显著负相关, 而与产量无显著相关性。表明增施钾肥可以提高甘薯产量, 其增产作用主要表现在提高单株结薯数; 甘薯含钾量对施钾的响应主要体现在根部, 甘薯品种间钾利用效率主要受植株钾浓度的影响。

关键词: 甘薯; 施钾量; 吸收; 利用率

中图分类号: S632.1; S143.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-4440(2016)01-0084-06

Effects of potassium application rates on yield, potassium uptake and utilization in sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) genotypes

QI He-peng^{1,2}, AN Xia^{2,3}, LIU Yuan^{1,2}, ZHU Guo-peng¹, WANG Ji-dong^{2,3}, ZHANG Yong-chun^{2,3}

(1.Hainan University, Haikou 572008, China; 2.Scientific Observation and Experimental Station of Farmland Conservation and Cultivation in Jiangsu, Ministry of Agriculture, Nanjing 210014, China; 3.Institute of Agricultural Resources and Environment, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

Abstract: To investigate the effects of potassium (K) application rates on yields, K absorption and utilization in different sweet potato genotypes, field tests of K application rates were carried on three different genotypes of edible sweet potato, Ningshu 192, Zhezi 1 and Xushu 22. The results showed that K fertilization increased tuberous root dry matter of sweet potato by increasing the tuber number, and, to a less degree, the mean tuber weight. Above-ground parts got higher K concentration than those in tube, and K concentrations in tube and above-ground parts increased with the increase of K fertilization. The K uptake and utilization varied among genotypes, and Xushu 22, with high use efficiency, got dominant K accumulation in tube root, while Zhezi 1 and Ningshu 192 had opposite trends. The K use efficiency (KIUE) had a significant negative correlation with K concentration in the whole plants at maturity. No significant correlation was found between root dry matter yield and KIUE. It was concluded that increasing potash application could enhance the sweet potato productivity by improving tuberous root numbers per plant. Tuberous root of sweet potato gave

收稿日期: 2015-03-26

基金项目: 江苏省农业科技自主创新基金项目[CX(14)2005]; 国家公益性行业专项项目(201203013); 现代农业产业技术体系项目(CARS-11-B-15); 海南省农业科技服务体系建设专项(HNXH201530)

作者简介: 齐鹤鹏(1984-), 男, 吉林长春人, 硕士研究生, 主要从事蔬菜的植物营养学研究。(Tel)025-84391171

通讯作者: 朱国鹏, (E-mail) guopengzhu@163.com

accumulation in tube root, while Zhezi 1 and Ningshu 192 had opposite trends. The K use efficiency (KIUE) had a significant negative correlation with K concentration in the whole plants at maturity. No significant correlation was found between root dry matter yield and KIUE. It was concluded that increasing potash application could enhance the sweet potato productivity by improving tuberous root numbers per plant. Tuberous root of sweet potato gave

higher response to K supply than above-ground part, and the K use efficiency were mainly affected by the K concentration in the tissues of sweet potato.

Key words: sweet potato; K application rate; absorption; K use efficiency

甘薯 (*Ipomoea batatas* L.) 属旋花科甘薯属, 是一种多用途的块根作物^[1]。中国常年种植面积约 $5 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 总产达 $9 \times 10^7 \text{ t}$, 其种植面积、总产量分别位居国内的第 7 位、第 4 位, 是粮食安全的重要保障作物^[2-3]。

钾是植物必需的营养元素之一, 参与植物体内的一系列生理生化过程, 在植物生长、代谢、酶活调节和渗透调节中发挥重要作用^[4]。甘薯是吸钾作物, 据测算, 每生产 1 000 kg 甘薯的干物质需要吸收钾 (K) 10 kg 左右^[5]。甘薯对氮、磷、钾三要素的吸收比例随甘薯品种和生产条件的变化而有一定差异, 但总体上钾多于氮, 磷最少, 其 N、 P_2O_5 、 K_2O 养分吸收量比例约为 1 : 0.5 : 1.5。缺钾不仅影响产量, 也影响甘薯品质^[6]。因此钾的合理投入是甘薯高产优质的重要前提。目前, 对不同作物及相同作物不同基因型钾的吸收、利用规律开展的研究较多^[7], 但主要集中在大宗作物小麦、水稻上, 对甘薯的钾效率研究较少^[8], 另外目前甘薯类型多样, 不同甘薯的产量、氮、磷、钾养分及吸收效率对施钾量的响应不同^[9]。因此, 本试验拟通过对不同类型甘薯进行不同施钾量研究, 探索甘薯产量、钾吸收量、钾利用效率等参数对施钾的响应规律, 以期对不同主栽甘薯品种合理施用钾肥提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验地概况及甘薯供试品种

2011 年在江苏省农业科学院六合试验基地 ($32^\circ29'04''\text{N}$, $118^\circ37'21''\text{E}$) 进行。供试土壤为黄棕壤, 质地较为黏重; 2012 年在江苏省姜堰市梁徐镇进行 ($32^\circ28'8.8''\text{N}$, $120^\circ05'52.24''\text{E}$), 土壤为黄河故道冲击物发育的砂壤质潮土, 供试土壤性质见表 1。

供试甘薯品种为浙紫 1 号 (紫色花青素型)、徐薯 22 号 (淀粉型)、宁薯 192 号 (食用型), 供试种苗均由江苏省农业科学院粮食作物所提供。

1.2 试验设计

2011 年试验: 采用随机区组设计, 每个甘薯品

种均设置 3 个施钾水平: 不施钾处理 (对照 1); 中钾处理 150 kg/hm^2 , K_2O ; 高钾处理 300 kg/hm^2 , K_2O 。施氮 (尿素) 量 90 kg/hm^2 ; 施磷量 (普钙) 60 kg/hm^2 。所有肥料均在基肥时一次性施入。所有处理随机排列, 每个处理重复 3 次。

表 1 不同试验点土壤基本理化性状

Table 1 Basic physical and chemical properties of tested soils

试验地点	pH 值	有机质 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
六合	6.6	13.8	110.5	10.8	110.5
姜堰	7.8	13.4	83.7	11.7	88.4

2012 年试验: 采用裂区设计, 在总结 2011 年试验结果基础上, 每个甘薯品种设 4 个施钾水平, 钾肥用量在 2011 年基础上进行调整, 分别为不施钾 (对照 2), 75 kg/hm^2 施钾量, 150 kg/hm^2 施钾量, 225 kg/hm^2 施钾量, 钾肥以 K_2SO_4 施入。施氮 (尿素) 量 120 kg/hm^2 , 施磷量 (普钙) 90 kg/hm^2 。随机排列, 每个处理重复 3 次。

甘薯起垄种植, 垄间距 1.0 m, 高 0.5 m, 1.0 m 4 株, 小区面积 $4.0 \text{ m} \times 6.0 \text{ m}$, 设 2.0 m 宽保护行, 生育期内按当地生产习惯进行管理, 甘薯移栽后 150 d 左右收获。收获时按小区单打单收, 统计地上部干质量和甘薯产量。

1.3 测定项目与方法

每小区取长势基本一致的甘薯 6 株, 分地上和地下部分, 去土洗净分别称鲜质量。然后切碎 105°C 杀青 30 min, 75°C 烘干后称干质量, 粉碎, 采用 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ 消煮, 用半微量凯氏定氮法测定 N 含量, 火焰分光光度计法测定 K 含量。

有关参数的计算方法如下:

植株钾素累积量 = 地上部干质量 \times 地上部钾含量 + 块根干质量 \times 块根钾含量

钾素收获指数 = 块根钾素吸收量 / 植株钾素总吸收量

钾素生理效率 = 生物量 / 植株钾素累积量

钾肥吸收利用率 = (施肥区块根含钾量 - 空白区块根含钾量) / 施钾量 $\times 100\%$

钾肥农学效率=(施肥区块根产量-空白区块根产量)/施钾量

2 结果与分析

2.1 不同施钾量下甘薯的产量及整株生物量

不同甘薯在不同施钾下的产量及生物量见表 2, 2011 年 3 个施钾梯度下以及 2012 年 4 个施钾梯度下, 3 种甘薯产量及生物量都随施钾量提高而呈上升趋势, 但品种间的上升幅度不同, 其中产量增幅较大的为浙紫 1 号和徐薯 22 号, 与不施钾相比, 2011 年, 施钾 150 kg/hm² 和 300 kg/hm² 条件下, 浙紫 1 号分别增产 29.2%、54.2%, 产量增幅次之的为徐薯 22, 分别增产 13.6%、25.9%, 而产量增幅最低

的宁薯 192, 其增幅为 5.8%~20.0%。各品种在不同施钾水平下地上部生物量没有显著差异。2012 年结果与 2011 年的变化趋势相似, 和甘薯产量相比, 生物量的差异较小, 表明施钾主要影响甘薯块根的生长, 对地上部生物量的影响相对较小, 各品种间块根产量对施钾量的响应存在显著差异。

甘薯产量间的年际波动较大, 导致长期以来田间试验的成功率较低。其原因与甘薯产量受养分供应影响外, 还受水分管理影响^[10]。表 2 中, 不同试验点甘薯产量差异较大, 尤其宁薯 192 在 2012 年姜堰点的产量远大于 2011 年南京六合点, 这可能与姜堰地区高砂土透气性好, 而六合黄棕壤物理结构差有关。

表 2 2011 年和 2012 年不同甘薯在不同施钾下的产量及生物量

Table 2 Yields and biomass of sweet potatoes under different K application rates in 2011 and 2012

年份	处 理	产量 (kg/hm ²)			地上部生物量 (kg/hm ²)		
		浙紫 1 号	徐薯 22	宁薯 192	浙紫 1 号	徐薯 22	宁薯 192
2011	不施钾 (对照)	3 248b	6 137b	4 346a	4 993a	7 954a	5 846a
	施钾 150 kg/hm ²	4 197ab	6 971ab	4 598a	5 521a	8 374a	5 938a
	施钾 300 kg/hm ²	5 010a	7 727a	5 216a	6 134a	8 847a	6 717a
2012	不施钾 (对照)	4 503c	5 873bc	6 150c	7 832a	8 687c	9 083c
	施钾 75 kg/hm ²	5 333b	6 667b	7 467b	7 800a	9 617b	9 817bc
	施钾 150 kg/hm ²	5 807b	6 948ab	8 200a	7 295a	10 602ab	10 600ab
	施钾 225 kg/hm ²	6 450a	7 417a	8 583a	8 267a	11 533a	11 333a

同一竖栏数值后不同小写字母表示相同年限不同施钾量间差异达 0.05 显著水平。

2.2 不同施钾量对甘薯产量构成的影响

甘薯单株结薯数量及单薯质量是决定甘薯产量的 2 个主要参数。2012 年田间试验结果显示, 不同甘薯品种随施钾量的上升单株结薯量 (图 1A) 和单薯质量 (图 1B) 都呈上升趋势, 与 2011 年结果相一

致。施钾量与单株结薯数量及单薯质量的相关性显示, 甘薯结薯数、单薯质量与施钾量均呈极显著相关, 且结薯数量相关性优于单薯质量, 表明通过施钾提高甘薯产量, 主要与提高甘薯单株结薯数量及单薯质量有关。

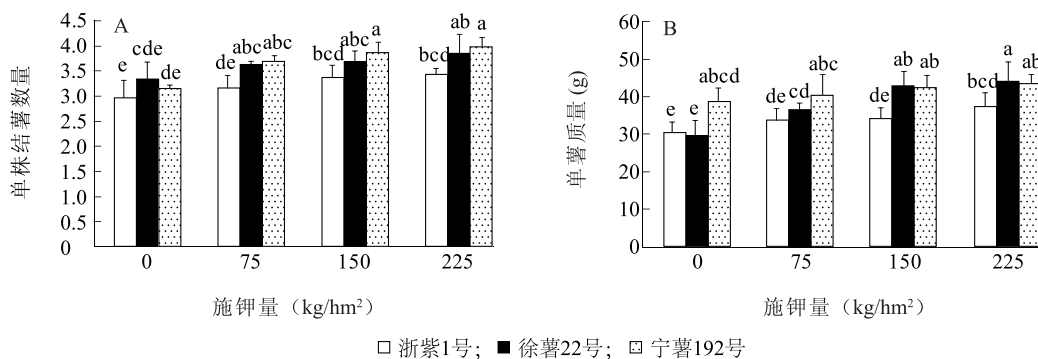


图 1 不同品种甘薯不同施钾量下的单株结薯数量和单薯质量

Fig.1 Tuberous root number and weight per tuberous root of different sweet potato genotypes with different K application rates

2.3 钾肥用量对甘薯含钾量的影响

不同甘薯茎叶和块根的含钾量见表 3,在土壤钾含量背景值较为丰富条件下,不同甘薯品种茎叶钾含量为 2.05%~4.20%,即使不施钾条件下,甘薯茎叶钾含量维持在 2.05%~2.15%,各甘薯品种间差异较小,而随施钾量提高,不同甘薯茎叶钾含量增

幅不同,徐薯 22 增幅最小,施钾 150 kg/hm²、300 kg/hm²处理下,茎叶钾含量分别比不施钾提高 40.5 个百分点、45.6 个百分点,而宁薯 192 分别提高 66.5 个百分点、64.0 个百分点,浙紫 1 号分别为 47.3 个百分点、100.5 个百分点;相比茎、叶钾含量的快速增长,块根中的钾含量相对较低且相对稳定。

表 3 不同甘薯不同施钾量下的茎叶和块根含钾量

Table 3 K concentrations in above-ground parts and tuberous root of sweet potato under different K application rates

处 理	钾含量 (%)					
	浙紫 1 号		徐薯 22 号		宁薯 192	
	茎叶	块根	茎叶	块根	茎叶	块根
不施肥(对照)	2.05±0.35b	0.66±0.04b	2.15±0.16b	1.28±0.17b	2.06±0.56b	1.10±0.29b
施钾 150 kg/hm ²	3.02±0.36b	0.94±0.12a	3.02±0.30a	1.58±0.11ab	3.43±0.22a	1.31±0.01ab
施钾 300 kg/hm ²	4.20±0.46a	1.19±0.12a	3.13±0.54a	1.77±0.27a	3.38±0.37a	1.71±0.07a

同一竖栏数值后不同小写字母表示不同施钾量间含钾量差异达 0.05 显著水平。

2.4 钾肥用量对甘薯钾积累量的影响

随施钾量提高各甘薯品种整株的钾积累量呈快速增加趋势,但各品种间增幅存在差异,浙紫 1 号和宁薯 192 增幅较快,徐薯 22 由于根系钾积累量随施钾量提高增幅较小,因此不同施钾量处理间整株钾积累量差异小于浙紫 1 号和宁薯 192。表 4 显示,徐薯 22 在不施钾下根系累积钾量每株 1.47 g,与施

钾 150 kg/hm²、300 kg/hm²处理下根系累积钾量无显著性差异,分别为对应施钾量下的宁薯 192 和浙紫 1 号根系钾积累量的 3.23 倍和 1.61 倍,也显著高于施钾量 150 kg/hm²处理下宁薯 192 和浙紫 1 号的根系钾积累量;浙紫 1 号及宁薯 192 的根系吸钾量及整株吸钾量均随施钾量提高显著增加。

表 4 不同施钾量下不同甘薯品种的钾吸收量

Table 3 K uptake by different genotypes of sweet potato under different K application rates

品种	施钾量 (kg/hm ²)	茎叶钾积累量 (g)	根系钾积累量 (g)	总钾积累量 (g)
浙紫 1 号	0(对照)	0.85±0.12b	0.45±0.06c	1.30±0.13c
	150	1.44±0.56b	0.91±0.49b	2.35±0.28b
	300	2.18±0.12a	1.50±0.21a	3.68±0.32a
徐薯 22	0(对照)	0.89±0.11b	1.47±0.12a	2.36±0.04b
	150	1.54±0.15a	1.70±0.33a	3.24±0.26a
	300	1.69±0.64a	1.78±0.18a	3.47±0.65a
宁薯 192	0(对照)	1.09±0.07b	0.91±0.06c	2.00±0.11c
	150	1.71±0.36ab	1.29±0.20b	3.00±0.27b
	300	1.84±0.46a	2.33±0.21a	4.17±0.65a

同一竖栏数字后不同字母表示相同甘薯品种不同施钾量间吸钾量差异达 0.05 显著水平。

2.5 钾肥用量对不同甘薯钾素养分利用效率的影响

钾素生理效率是表征单位吸钾量下的生物量,而利用效率表征的是单位吸钾量下的甘薯生产量。表 5 显示,各甘薯品种钾素的生理效率及利用效率分别为 45.4~94.1、31.9~53.3,随施钾量上升两者

都呈下降趋势,但施钾 150 kg/hm²、300 kg/hm²两处理间差异较小。各品种不同施钾量下的农学效率以浙紫 1 号最高,宁薯 192 次之;在施钾 150 kg/hm²、300 kg/hm²下,宁薯 192 农学效率呈显著性差异,浙紫 1 号及徐薯 22 则差异不明显而浙紫 1 号及徐薯

22 在施钾 150 kg/hm²、300 kg/hm² 下钾肥效率及钾肥利用率差异显著而宁薯 192 不同施钾间差异不显著。徐薯 22 在施钾 150 kg/hm²、300 kg/hm² 下钾肥利用率为 18.5%~29.3%, 低于浙紫 1 号及宁薯 192, 但钾肥效率与浙紫 1 号及宁薯 192 相当。

钾素利用效率与植株钾含量及根系干质量的

相关性见图 2, 结果显示, 甘薯钾利用效率与植株的钾含量呈显著负相关(图 2A), 而与甘薯根系干质量相关性不显著(图 2B), 以上表明甘薯钾利用效率主要与钾在甘薯体内的积累有关, 与甘薯产量相关性小, 钾利用效率高的甘薯品种植株积累的钾低。

表 5 不同施钾量下不同甘薯品种的钾利用规律

Table 5 K use efficiency on different genotypes of sweet potato under different K application

品种	施钾量 (kg/hm ²)	钾素生理效率 (kg/kg)	钾素利用效率 (kg/kg)	钾肥农学效率 (kg/kg)	钾肥效率 (kg/kg)	钾肥利用率 (%)
浙紫 1 号	0(对照)	94.1a	53.3a	—	—	—
	150	59.5b	36.3b	9.64a	32.3a	46.0a
	300	49.2b	34.3b	9.35a	21.1b	39.6b
徐薯 22	0(对照)	64.5a	43.6a	—	—	—
	150	49.3a	33.3a	3.91a	36.3a	29.3a
	300	48.2a	33.7a	1.88a	19.2b	18.5b
宁薯 192	0(对照)	64.4a	43.6a	—	—	—
	150	45.4a	31.9a	8.19a	32.8a	36.5a
	300	46.6a	32.9a	3.17b	22.8a	36.2a

同一竖栏数字后不同小写字母表示同品种不同处理间差异达 0.05 显著水平。

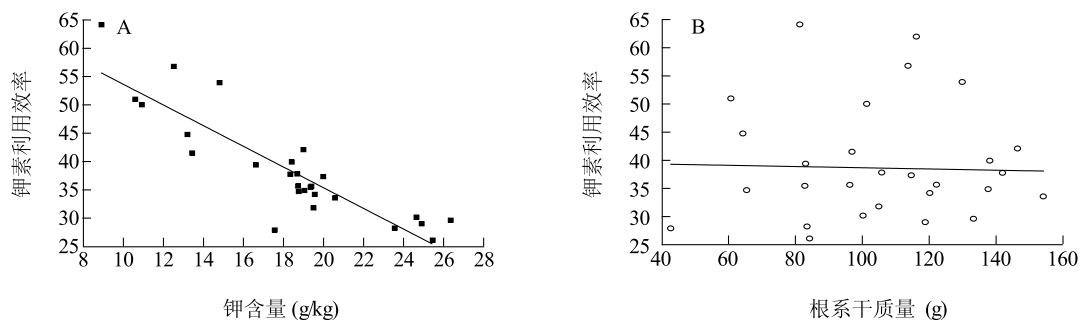


图 2 钾素利用效率与甘薯钾含量及根系干质量的相关性

Fig.2 Correlation between K use efficiency and K concentration in the whole plants and root dry matter

3 讨论

本研究结果表明, 施钾量不超过 300 kg/hm² 时, 合理增加施钾量可提高甘薯的产量和生物量。吴文涛等^[11] 研究结果表明丘陵岗地在施钾 337.5 kg/hm² 范围内增加施钾量使增产幅度提高, 超过该范围则降低甘薯产量。尹子娟等^[12] 认为施钾 300 kg/hm² 处理时甘薯产量最高, 且能改善甘薯的品质, 但施钾过高会降低其增产效果。同时施钾量与甘薯数量及单薯质量的相关分析表明, 施钾对甘薯

产量增长原因主要是促进根系的分化, 提高甘薯个数, 同时提高甘薯的单薯质量, 该结果与 Wang 等^[13] 结果一致, 也与山药 (*Dioscorea esculenta*. T) 的施钾试验结果^[14] 类似, 其原因可能与施钾促进甘薯内源生长素分泌导致侧根增加有关, 也可能与施钾促进甘薯已有须根膨大有关, 相关机理尚需深入研究。

在土壤速效钾背景值较高情况下, 即使不施钾甘薯地上部钾含量都维持在 20 mg/kg 以上, 为较高的甘薯产量奠定“源”基础, 施钾后甘薯地上部钾含

量快速上升,但块根中钾含量普遍低于地上部,且随施钾量的上升增幅小于对应的地上部。甘薯进行正常的生长和代谢活动要求的钾浓度,基因型间存在着很大的差异^[15]。Wang 等^[13]研究结果表明,在严重缺钾土壤上(速效钾低于 60 mg/kg),甘薯地上部钾含量甚至低于 10 mg/kg,但相当甘薯品种仍能获得较高产量,以上结果表明不同甘薯钾的利用能力差异显著,通过筛选可以选育出钾吸收量不高但产量较高的钾高效品种。本试验中不同甘薯品种的钾效率研究结果表明,不同品种间钾的吸收利用差异明显,对基础产量(不施钾下)较高的甘薯品种徐薯 22,其施钾效果明显低于基础产量较低的浙紫 1 号,导致对应的钾肥农学效率、钾肥利用率及钾肥效率低于其他品种,以上表明对单季作物的钾肥施肥指导建立因物施肥的策略尤为重要。

供试甘薯基于块根的钾素利用效率与产量及植株含钾量相关性表明,甘薯钾素利用效率与植株钾含量呈极显著负相关,而与甘薯产量无显著关系,该结果与水稻、大麦及小麦等^[16]结果不一致。Wang 等^[13]研究结果也表明,甘薯钾利用效率与块根产量从膨大期至收获期的增量呈极显著相关,而与甘薯产量无显著相关性,以上可能与不同品种间甘薯根系的二次分化不同有关,最终导致甘薯块根的膨大并不一定都伴随吸钾量的对应上升。钾利用效率与植株钾含量呈显著负相关表明,选育钾高效甘薯品种对提高钾利用效率,实现钾肥资源的节约利用有显著的现实意义。

参考文献:

- [1] VINCENT L. Tropical root and tuber crops: cassava, sweet potato, yams and aroids[M]. Oxfordshire: CABI Publishing, 2008.
- [2] FAO. World information and early warning system on plant genetic resources[M]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2009.
- [3] FAO. Food and agricultural commodities production[M]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2011.
- [4] RÖMHELD V, KIRKBY E A. Research on potassium in agriculture: needs and prospects[J]. Plant Soil, 2010, 335: 155-180.
- [5] GEORGE M S, LU G Q, ZHOU W J. Genotypic variation for K uptake and utilization efficiency in sweet potato (*Ipomoea batatas* L.)[J]. Field Crops Res, 2002, 77: 7-15.
- [6] 宁运旺, 张永春, 朱绿丹, 等. 甘薯的氮磷钾养分吸收及分配特性[J]. 2011, 27(1): 71-74.
- [7] RENGEL Z, DAMON P M. Crops and genotypes differ in efficiency of potassium uptake and use[J]. Physiol Plant, 2008, 133 (4): 624-636.
- [8] WU J T, ZHANG X Z, LI T X, et al. Differences in the efficiency of potassium (K) uptake and use in barley varieties[J]. Agric Sci Chin, 2011, 10 (1): 101-108.
- [9] 李元元, 李洪民, 唐忠厚, 等. 甘薯钾素营养及其生理机制研究进展[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(4): 13-15.
- [10] 朱绿丹, 张珮琪, 陈 杰, 等. 不同土壤水分条件下施氮对甘薯干物质积累及块根品质的影响[J]. 江苏农业学报, 2013, 29 (3): 533-539.
- [11] 吴文涛, 陶 健, 金罗漪. 丘陵旱地不同土壤甘薯施钾的效果试验[J]. 浙江农业科学, 2001(3): 139-140.
- [12] 尹子娟, 郭华春, 李存芝. 施钾对甘薯生长、产量及品质的影响[J]. 云南农业科技, 2011 (4): 21-23.
- [13] WANG J D, WANG H Y, ZHANG Y C, et al. Intraspecific variation in potassium uptake and utilization among sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) genotypes[J]. Field Crops Research, 2015, 170: 76-82.
- [14] ENYI B A C. Effects of staking, nitrogen and potassium on growth and development in lesser yams: *Dioscorea esculenta* [J]. Ann Appl Biol, 1972, 72: 211-219.
- [15] 陆国权, 丁守仁. 甘薯钾素利用效率的基因型差异研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2001, 7(3): 357-360.
- [16] YANG X E, LIU J X, WANG W M, et al. Genotypic differences and some associated plant traits in potassium internal use efficiency of low land rice (*Oryza sativa* L.) [J]. Nutr Cycling Agroecosyst, 2003, 67: 273-282.

(责任编辑: 袁 伟)