

施氮量对木薯养分吸收和土壤有效养分平衡的影响^①

韦剑锋¹, 陈 涛², 岑忠用³, 韦冬萍^{1*}, 胡江如¹

(1 广西科技大学鹿山学院, 广西柳州 545616 2 广西亚热带作物研究所, 南宁 530001 3 河池学院化学与生命科学系, 广西宜州 546300)

摘 要: 从高效施肥角度出发, 采用田间试验, 研究施氮量对木薯干物质积累、养分吸收及土壤有效养分含量的影响。结果表明: 随施氮量的增加, 茎、叶干物质积累量显著增加, 但块根干物质积累量先增后降, 以施氮 130 kg/hm² 的最高, 比不施氮增加 18.13%。增加施氮量, 木薯各器官磷、钾积累量及茎、叶氮积累量明显增加, 块根氮积累量则先增加后下降。氮肥农学利用率、生理利用率及偏生产力随施氮量的增加而显著下降, 氮肥吸收利用率以施氮 130 kg/hm² 的最高, 比其他处理提高 11.37%~25.12%。木薯收获后, 随施氮量的增加, 土壤碱解氮明显增加, 有效磷及速效钾不同程度下降, 但各处理有效磷、速效钾及施氮 195 kg/hm² 处理的有效氮明显盈余。综合分析认为, 本研究条件下木薯施氮 130 kg/hm² 较为适宜。

关键词: 木薯; 施氮量; 土壤; 养分; 干物质; 氮肥利用效率

中图分类号: S533

木薯(*Manihot esculenta* Crantz)是全球三大薯类作物之一, 种植面积仅次于马铃薯, 大于甘薯, 分布于南北纬 30° 之间, 是世界热带地区 6 亿人的主要粮食来源^[1]。木薯块根富含淀粉, 也是热带、亚热带地区继水稻、甘蔗、玉米之后第四大碳水化合物食品作物, 且以优质、价廉等优势成为生产食用淀粉和能源酒精的重要原料^[1-2]。木薯栽培是我国南方山区农民重要的经济来源, 目前在海南、广西、广东、云南、福建、江西等省有大面积、规模化种植^[2-4]。近年来, 我国木薯主产区由于施肥不平衡而引起土壤肥力下降或部分养分过剩问题突出, 制约了我国木薯生产的可持续发展^[5]。如何协调木薯生产中增产增收与实现种植地土壤可持续利用, 成为国内木薯栽培研究的热点问题^[1-9]。氮素营养是影响木薯生长发育及决定块根产量和品质的关键因素, 氮素营养的缺乏或过量均不利于木薯生产^[1, 3-4]。为此, 前人就木薯氮肥施用量进行了研究, 但由于栽培条件不同, 我国各地木薯栽培施氮量差异较大^[1-10], 如在海南儋州^[1]、江西南昌^[3]、广东韶关^[4]木薯适宜施氮量分别为 167、205、358 kg/hm²。因此, 结合具体栽培条件, 研究木薯适宜施氮量更具应用价值。大量研究表明, 施用氮肥

不同程度影响作物氮、磷及钾营养水平或影响作物对氮、磷及钾的吸收与积累, 进而影响肥料利用效率^[2-4, 9, 11-15]。也有研究表明, 增施氮肥影响土壤有效养分含量变化, 但具体影响程度因试验条件和试验设计而异^[16-18]。而有关氮肥运筹对木薯养分利用效率和土壤养分平衡的影响鲜见报道。故此, 本文在我国木薯主产区广西设置田间试验, 研究不同施氮量对木薯干物质积累、养分吸收、氮肥利用效率及土壤有效养分含量的影响, 以探讨当地木薯适宜施肥量, 从而提高其肥料利用效率和保持土壤养分平衡。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

试验于 2014 年 5 月至 2015 年 1 月在广西宜州市进行。供试土壤为坡地黏质砂壤土, 耕层 0~15 cm 土壤 pH 6.7, 有机质 17.4 g/kg, 全氮 1.14 g/kg, 全磷 0.58 g/kg, 全钾 2.50 g/kg, 碱解氮 96.01 mg/kg, 有效磷 23.65 mg/kg, 速效钾 78.03 mg/kg。供试木薯品种为“新选 056”; 供试氮肥为尿素(含 N 46.4%), 磷肥为过磷酸钙(含 P₂O₅ 12%), 钾肥为氯化钾(含 K₂O 60%)。

①基金项目: 广西自然科学基金项目(2013GXNSFBA019050)、广西教育厅广西高等学校科研立项项目(LX2014673)和广西科技大学鹿山学院科学基金项目(2013LSZK03)资助。

* 通讯作者(dpwei-82@163.com)

作者简介: 韦剑锋(1978—), 男, 广西鹿寨人, 硕士, 副研究员, 主要从事作物营养与生理生态方面研究。E-mail: jianfengwei@163.com

1.2 试验设计

试验根据当地农民种植木薯常用氮、磷、钾肥施用量(N: 85 ~ 205 kg/hm², P₂O₅: 35 ~ 100 kg/hm², K₂O: 90 ~ 210 kg/hm²)和当地木薯氮、磷、钾肥施用推荐比例(N: P₂O₅: K₂O = 1.0: 0.5: 1.0), 设施氮量(纯N)0、65、130、195 kg/hm² 共 4 个处理, 分别以 N₀、N₆₅、N₁₃₀、N₁₉₅ 表示, 每处理施磷肥(P₂O₅)65 kg/hm² 及钾肥(K₂O)130 kg/hm², 其中磷肥作基肥一次性施用, 氮肥和钾肥按 50% 作基肥 + 50% 作苗肥施用。每处理 3 次重复, 每重复为 1 小区, 随机区组排列; 小区长 6.3 m、宽 4.9 m。种植规格为株行距 70 cm × 90 cm。

2014 年 5 月 4 日播种。播种前按种植规格挖直径 30 cm、深 8 cm 的穴, 然后将基肥撒施在穴底部, 并用厚约 3 cm 细土覆盖; 播种时选取健壮木薯主茎作为种茎, 按每 4 个有效芽将其截成小段, 然后平放于穴中, 一穴一段, 最后用厚约 5 cm 细土覆盖。出苗稳定后进行间苗, 每穴留 1 ~ 2 苗。齐苗后(7 月 5 日)各处理进行追肥, 追肥时将肥料撒施于距植株基部四周 30 cm 处, 并培土覆盖。

1.3 测定项目与方法

木薯定苗后每重复挂牌 6 株, 生长过程收集干枯落叶, 于成熟期(2015 年 1 月 1 日)收获植株, 测块根鲜薯产量, 并按块根(含细根)、茎、叶(含干枯

落叶)分别烘干、称质量、粉碎, 然后用蒸馏定氮法^[19]、钒钼黄比色法^[19]及火焰光度法^[19]分别测全氮、全磷及全钾含量; 木薯种植前后钻取 0 ~ 15、15 ~ 30 及 30 ~ 45 cm 深度的土壤风干、粉碎、过筛, 然后用碱解扩散法^[19]、钼锑抗比色法^[19]、火焰光度法^[19]分别测碱解氮、有效磷及速效钾含量。参照文献[14]计算氮肥农学利用率、氮肥生理利用率、氮肥吸收利用率、氮肥偏生产力、氮素块根生产效率、氮素收获指数。

1.4 数据处理

应用 Excel 2003 和 SPSS18.0 进行数据处理和分析, 通过 Duncan 新复极差法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 施氮量对木薯干物质积累的影响

表 1 显示, 块根干物质积累量随施氮量的增加先增而后降, 其中 N₁₃₀ 的最高, 比 N₀ 增加 18.13%, 其次是 N₁₉₅; 茎、叶干物质积累量及干物质积累总量随施氮量的增加而显著增加。从干物质分配看, 块根干物质分配率随施氮量的增加而下降, 其中 N₁₉₅ 的最少, 比 N₀ 减少 12.21%; 茎、叶干物质分配率随施氮量的增加而增加。说明适量施氮有利于促进木薯块根的生长, 过量施氮则主要促进木薯茎叶的生长。

表 1 不同施氮量处理木薯各器官干物质积累与分配
Table 1 The dry matter accumulation of cassava in the different treatments with various nitrogen application rates

处理	积累量(kg/hm ²)				分配率(%)		
	块根	茎	叶	总量	块根	茎	叶
N ₀	4 824.12 c	4 126.98 d	1 050.79 d	10 001.89 d	48.23 a	41.26 b	10.51 c
N ₆₅	5 185.87 b	4 428.57 c	1 181.87 c	10 796.31 c	48.03 a	41.02 b	10.95 bc
N ₁₃₀	5 698.72 a	5 031.74 b	1 346.65 b	12 077.11 b	47.19 a	41.66 b	11.15 ab
N ₁₉₅	5 562.18 a	5 873.01 a	1 506.67 a	12 941.86 a	42.98 b	45.38 a	11.64 a

注: 同列数据小写字母不同表示处理间差异达 P<0.05 显著水平, 下表同。

2.2 施氮量对木薯养分含量的影响

表 2 显示, 施氮处理的块根、茎及叶氮含量均高于不施氮处理, 其中块根氮含量随施氮量的增加先增而后降, 以 N₁₃₀ 最高, 比 N₀ 提高 22.22%, 其次是 N₁₉₅; 茎氮含量以 N₆₅ 最高, 但处理间的差异不显著; 叶氮含量随施氮量的增加而增加, 以 N₁₉₅ 最高, 比 N₀ 提高 7.69%, 但 N₁₃₀ 与 N₁₉₅ 的差异不显著。块根、茎及叶磷含量随施氮量的增加而增加, 均以 N₁₉₅ 最高, 且 N₁₉₅ 与 N₆₅ 的差异均达显著水平, 而 N₁₉₅ 与 N₁₃₀ 的差异均不显著。随施氮量的增加, 块根、茎及叶钾含量呈增加趋势, 均以 N₁₉₅ 最高, 分别比 N₀ 增加 15.71%、9.52%、13.21%, 但 N₁₉₅ 与 N₁₃₀ 的差异

均不显著。说明施氮有利于促进木薯氮、磷、钾营养水平的提高, 但增施氮肥的促进效应有限。

2.3 施氮量对木薯养分积累的影响

表 3 显示, 块根氮积累量随施氮量的增加先增而后减, 其中 N₁₃₀ 最高, 比 N₀ 增加 44.36%, 其次是 N₁₉₅, 但两者的差异不显著; 茎、叶氮积累量及氮积累总量随施氮量的增加而显著增加, 均以 N₁₉₅ 最高, 分别比 N₀ 增加 45.13%、54.36%、45.03%。块根、茎及叶磷积累量及磷积累总量随施氮量的增加而增加, 除块根外, 其他处理间的差异达显著水平。随施氮量的增加, 块根、茎及叶钾积累量及其总量呈增加趋势, 其中处理间茎、叶钾积累量及钾积累总量的差异达显

表 2 不同施氮量处理木薯各器官氮磷钾含量(g/kg)
Table 2 The N, P and K contents of cassava in the different treatments with various nitrogen application rates

处理	全氮			全磷			全钾		
	块根	茎	叶	块根	茎	叶	块根	茎	叶
N ₀	4.5 c	10.1 a	14.3 c	1.1 c	2.3 c	2.4 b	7.0 b	6.3 b	5.3 c
N ₆₅	4.7 b	10.6 a	14.5 bc	1.2 b	2.5 b	2.5 b	7.1 b	6.4 b	5.6 b
N ₁₃₀	5.5 a	10.5 a	15.2 ab	1.3 ab	2.6 ab	2.8 a	7.7 a	6.6 ab	5.9 ab
N ₁₉₅	5.4 a	10.3 a	15.4 a	1.4 a	2.7 a	3.0 a	8.1 a	6.9 a	6.0 a

表 3 不同施氮量处理木薯各器官氮磷钾积累量(kg/hm²)
Table 3 The N, P and K accumulation in cassava in the different treatments with various nitrogen application rates

处理	全氮				全磷				全钾			
	块根	茎	叶	总量	块根	茎	叶	总量	块根	茎	叶	总量
N ₀	21.71 c	41.68 d	15.03 d	78.42 d	5.31 c	9.49 d	2.52 d	17.32 d	33.77 c	26.00 d	5.57 d	65.34 d
N ₆₅	24.37 b	47.39 c	17.14 c	88.90 c	6.22 b	11.07 c	2.95 c	20.24 c	36.82 b	28.34 c	6.62 c	71.78 c
N ₁₃₀	31.34 a	52.83 b	20.47 b	104.64 b	7.41 a	13.08 b	3.77 b	24.26 b	43.88 a	33.21 b	7.95 b	85.04 b
N ₁₉₅	30.04 a	60.49 a	23.20 a	113.73 a	7.79 a	15.86 a	4.52 a	28.17 a	45.05 a	40.52 a	9.04 a	94.61 a

薯水平，N₁₃₀、N₁₉₅ 块根钾积累量与其他处理的差异也显著，但 N₁₃₀ 块根钾积累量与 N₁₉₅ 的差异不显著。说明增施氮肥可促进木薯对氮、磷、钾养分的吸收与积累。

2.4 施氮量对木薯氮肥利用效率的影响

表 4 显示，木薯氮肥农学利用率、氮肥生理利用率、氮肥偏生产力及氮素块根生产效率随施氮量的增加而显著下降；氮肥吸收利用率和氮素收获指数随施氮量的增加先增而后降，其中均以 N₁₃₀ 最高，分别比 N₁₉₅ 提高 11.37%、15.38%，且显著高于其他处理。说明持续增加施氮量会降低木薯氮肥利用效率。

2.5 施氮量对土壤有效养分含量的影响

表 5 显示，木薯种植前后种植地碱解氮、有效磷

及速效钾含量随土层深度的增加而明显递减，但种植后各处理种植地有效养分含量明显不同。在不同土层，种植后碱解氮含量随施氮量的增加而明显增加，但 0～15 cm 土层，N₀、N₆₅ 碱解氮显著低于种植前，分别减少 12.26 mg/kg 和 6.80 mg/kg，而 N₁₃₀ 和 N₁₉₅ 碱解氮含量与种植前基本持平；15～30 cm 土层，N₀、N₆₅ 碱解氮含量仍不同程度低于种植前，而 N₁₃₀ 和 N₁₉₅ 碱解氮显著高于种植前，分别增加 4.26 mg/kg 和 15.46 mg/kg；30～45 cm 土层，N₀、N₆₅ 及 N₁₃₀ 碱解氮含量与种植前基本持平，而 N₁₉₅ 碱解氮显著高于种植前，增加了 8.38 mg/kg。种植后不同处理各土层有效磷和速效钾含量随施氮量的增加而下降，但均高于种植前。0～15 cm 和 15～30 cm 土层，各处理有

表 4 不同施氮量处理木薯氮肥利用效率
Table 4 The nitrogen utilization efficiency by cassava in the different treatments with various nitrogen application rates

处理	氮肥农学利用率 (kg/kg)	氮肥生理利用率 (kg/kg)	氮肥吸收利用率 (%)	氮肥偏生产力 (kg/kg)	氮素块根生产效率 (kg/kg)	氮素收获指数
N ₀	—	—	—	—	—	—
N ₆₅	19.08 a	118.32 a	16.12 c	349.44 a	255.49 a	0.27 b
N ₁₃₀	17.64 b	87.47 b	20.17 a	182.82 b	227.13 b	0.30 a
N ₁₉₅	12.72 c	70.24 c	18.11 b	122.84 c	210.62 c	0.26 b

表 5 不同施氮量处理各土层有效养分含量(mg/kg)
Table 5 The contents of available nutrients in the soil of the different treatments with various nitrogen application rates

处理	碱解氮			有效磷			速效钾		
	0～15 cm	15～30 cm	30～45 cm	0～15 cm	15～30 cm	30～45 cm	0～15 cm	15～30 cm	30～45 cm
种植前	96.01 a	71.55 c	56.63 bc	23.65 e	11.64 d	3.98 b	78.03 d	61.15 d	47.04 b
N ₀	83.75 c	64.34 d	54.35 c	31.24 a	17.25 a	4.22 a	90.51 a	76.37 a	54.04 a
N ₆₅	89.21 b	68.45 c	57.02 bc	29.47 b	15.08 b	4.10 ab	86.78 ab	72.25 b	53.95 a
N ₁₃₀	94.93 a	75.81 b	58.62 b	27.03 c	14.17 c	4.05 ab	83.96 bc	66.34 c	49.12 b
N ₁₉₅	98.37 a	87.01 a	65.01 a	25.00 d	13.81 c	3.99 b	82.00 c	64.98 c	48.33 b

效磷和速效钾含量与种植前的差异均达显著水平,其中 0 ~ 15 cm 土层的有效磷和速效钾分别增加 1.35 ~ 7.59 mg/kg 和 3.97 ~ 12.48 mg/kg, 15 ~ 30 cm 土层的有效磷和速效钾分别增加 2.17 ~ 5.61 mg/kg 和 3.83 ~ 15.22 mg/kg; 30 ~ 45 cm 土层, N_0 有效磷和速效钾含量及 N_{65} 速效钾含量与种植前的差异也达显著水平。说明不施或少施氮肥会引起种植地尤其是表层土壤有效氮亏缺, 过量施氮则引起种植地尤其是中、下层土壤有效氮盈余; 同时, 种植地各土层有效磷和速效钾明显盈余, 其中不施或少施氮肥的效应尤为明显。

3 讨论与结论

氮是木薯物质形成与累积的主要限制因子, 氮养分水平影响木薯光合作用及同化产物的形成, 在一定范围内增施氮肥可增强木薯光合能力、促进木薯生长、提高物质累积量及增加块根产量^[1-4,6-8]; 但氮肥施用量超过一定范围时, 木薯生长后期地上部分营养生长仍然旺盛, 不利于块根膨大和淀粉积累, 导致根冠比降低和块根产量下降^[1,4,7-8]。本研究表明, 增加施氮量, 木薯块根干物质累积量先增加后下降, 其中以施氮 130 kg/hm² 的最高, 而茎、叶干物质累积量持续显著增加, 这与陆小静等^[1,4,7-8]研究结果相似。说明过量施用氮肥不利于木薯块根产量的形成。

木薯生长过程中吸收的养分主要由土壤和施肥提供。据报道, 施用氮肥可提高木薯叶片氮、磷及钾浓度或提高木薯各生育期植株氮、磷及钾含量^[2,11]; 也有报道, 施用氮肥可以提高木薯植株氮和钾含量, 但对磷含量的影响因生育期和品种而异^[9]; 高志红等^[4]认为, 增施氮肥可以提高木薯植株氮含量, 但对磷和钾含量影响不明显。而多数研究认为, 适当比例的氮、磷及钾配合施用, 既可提高木薯植株的氮、磷及钾含量, 又可增加木薯植株氮、磷及钾积累量^[2,4-5]。本研究表明, 施用氮肥可以提高木薯各器官氮、磷及钾含量, 但增加施氮量, 木薯各器官磷、钾含量及叶片氮含量呈增加趋势, 而块根氮含量先增加后略下降, 这与前人^[2,4-5,9,11]研究结果不完全一致, 原因可能是土壤肥力、施肥量及栽培品种不同。研究还发现, 增施氮肥木薯氮、磷、钾积累量显著增加, 这主要是增施氮肥满足了木薯生长对氮养分的需求, 更利于木薯生长发育, 也间接促进木薯对其他养分吸收的缘故。此外, 施氮 195 kg/hm² 的块根氮积累量略低于施氮 130 kg/hm² 的, 这可能是施氮过量引起木薯后期茎叶旺盛生长而使氮素未能有效转移至地下部分积累的缘故, 但具体机理有待应用稳定性同位素 ¹⁵N 示踪进行研究。

关于氮肥利用效率的研究, 因涉及氮素的吸收、同化、转运、再利用等多个过程而相对复杂。有研究表明, 我国木薯氮肥利用率为 9.2% ~ 34.61%, 具体因栽培条件、栽培品种及施肥量而异^[10,15]。本研究表明, 木薯氮肥吸收利用率为 16.12% ~ 20.17%, 处于前人研究的中间值^[10,15]; 另外, 增加施氮量, 木薯氮肥利用效率多数指标呈下降趋势, 与前人研究棉花^[12]、玉米^[13]、马铃薯^[14]、木薯^[15]、水稻^[20-21]等结果相似。说明单一增施氮肥不利于提高木薯氮肥利用效率。但研究发现, 施氮 195 kg/hm² 的氮肥吸收利用率显著高于施氮 65 kg/hm² 的, 这是由于施氮 195 kg/hm² 的木薯茎叶积累较多氮素所致。

土壤速效养分主要来自土壤有机质矿化和施入土壤中的肥料速效成分。李琰琰等^[16]认为, 增加施氮量, 表层土壤速效氮显著增加, 但各土层速效磷、速效钾及深层土壤速效氮的变化因土层深度而异; 王淑娟等^[17]认为, 表层土壤矿质氮含量随施氮量的增加而明显增加, 但有效磷显著降低, 速效钾变化不明显。张潇潇等^[18]则认为, 增施氮肥并不能明显增加表层土壤速效养分含量。本研究发现, 增加施氮量, 不同土层碱解氮明显增加, 有效磷和速效钾明显下降, 与前人^[16-18]研究结果不尽相同, 原因可能是土壤质地、土壤肥力、施肥深度、施肥量、作物根系分布深度及作物吸收养分数量不同的缘故。研究还发现, 与种植前比较, 施氮 65 kg/hm² 的表层土壤碱解氮含量明显下降, 说明施氮量不足; 而不同处理各土层有效磷、速效钾及施氮 195 kg/hm² 处理的碱解氮不同程度增加, 说明相应氮、磷及钾肥施用已过量, 因此生产中需适当减量施用, 但具体减少量有待研究。此外, 施氮量不足时 0 ~ 15 cm 土层有效氮严重亏缺, 而施氮过量时 15 ~ 45 cm 土层有效氮显著盈余, 这一方面可能是由于木薯是浅根作物而主要吸收表层土壤养分的缘故^[22], 另一方面是易溶性氮肥向下淋洗移动的结果^[16]。因此, 易溶性、易迁移性肥料在木薯施用时应适当浅施。可见, 综合木薯干物质积累、养分吸收利用及土壤有效养分平衡考虑, 本研究条件下木薯施氮量应控制在 130 kg/hm² 为宜, 而磷肥(P₂O₅ 65 kg/hm²)、钾肥(K₂O 130 kg/hm²)可适量减施。但与其他省区研究^[1,3-4]得出的木薯适宜施氮量相比, 本研究条件下木薯适宜施氮量较低, 其差异可能是本研究条件下基础土壤碱解氮含量较其他研究^[1,3-4]高 13 ~ 28 mg/kg, 并且本研究条件下木薯播种期较其他研究^[1,3-4]晚约 1 个月的缘故。因此, 木薯适宜施氮量与具体栽培条件密切相关。

参考文献：

- [1] 陆小静, 许瑞丽, 闫庆祥, 等. 氮磷钾配施对木薯产量和淀粉含量的效应研究[J]. 热带作物学报, 2013, 34(12): 2 331–2 335
- [2] 黄巧义, 唐拴虎, 陈建生, 等. 氮磷钾配比对木薯养分吸收动态及产量影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(4): 947–956
- [3] 林洪鑫, 袁展汽, 刘仁根, 等. 不同氮磷钾处理对木薯产量、养分积累利用及经济效益的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(6): 1 457–1 465
- [4] 高志红, 陈晓远, 林昌华, 等. 不同施肥水平对木薯氮磷钾养分积累、分配及其产量的影响[J]. 中国农业科学, 2011, 44(8): 1 637–1 645
- [5] 谭宏伟, 周柳强, 谢如林, 等. 木薯对氮、磷、钾、镁、锌、硼的吸收特性及施肥效应[J]. 南方农业学报, 2013, 44(1): 81–86
- [6] 谭丽霞, 曾建华, 吴宇佳, 等. 木薯氮磷钾肥优化施用技术研究[J]. 广东农业科学, 2012, 39(12): 66–68
- [7] 黄巧义, 唐拴虎, 陈建生, 等. 木薯物质累积特征及其施肥效应[J]. 作物学报, 2013, 39(1): 126–132
- [8] 唐拴虎, 陈建生, 黄巧义, 等. 坡岗地木薯氮磷钾养分用量优化研究[J]. 广东农业科学, 2010, 37(3): 13–16
- [9] 黄巧义, 唐拴虎, 陈建生, 等. 木薯氮磷钾营养特性及其施肥效应研究[J]. 中国生态农业学报, 2014, 22(10): 1 156–1 164
- [10] 张永发, 杜前进, 张冬明, 等. 木薯营养规律的研究[J]. 湖南农业科学, 2009(5): 77–80
- [11] Nguyen H, Schoenau J J, Nguyen D, et al. Effects of long-term nitrogen, phosphorus, and potassium fertilization on cassava yield and plant nutrient composition in north Vietnam[J]. Journal of Plant Nutrition, 2002, 25(3): 425–442
- [12] 张允昔, 陈宜, 崔爱花, 等. 不同施氮量对棉花产量和氮肥利用率的影响[J]. 江西农业大学学报, 2014, 36(6): 1 202–1 206
- [13] 葛均筑, 李淑娅, 钟新月, 等. 施氮量与地膜覆盖对长江中游春玉米产量性能及氮肥利用效率的影响[J]. 作物学报, 2014, 40(6): 1 081–1 092
- [14] 李利. 不同施氮量对马铃薯氮素吸收、积累及利用的影响[J]. 山西农业科学, 2012, 40(12): 1 292–1 295
- [15] 易小平, 唐树梅, 张振文, 等. 几种作物盆栽模拟氮淋失的研究[J]. 华南热带农业大学学报, 2001, 7(3): 5–9
- [16] 李琰琰, 刘国顺, 向金友, 等. 氮营养水平对植烟土壤养分含量及土壤酶活性的影响[J]. 中国烟草学报, 2011, 17(2): 39–43
- [17] 王淑娟, 田霄鸿, 李硕, 等. 长期地表覆盖及施氮对冬小麦产量及土壤肥力的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(2): 291–299
- [18] 张潇潇, 钱慧慧, 吴祥颖, 等. 沟灌方式和施肥水平对甜糯玉米产量、土壤养分和酶活性的影响[J]. 节水灌溉, 2014(6): 1–4, 8
- [19] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002
- [20] 周亮, 荣湘民, 谢桂先, 等. 不同氮肥施用对双季稻产量及氮肥利用率的影响[J]. 土壤, 2014, 46(6): 971–975
- [21] 邓中华, 明日, 李小坤, 等. 不同密度和氮肥用量对水稻产量、构成因子及氮肥利用率的影响[J]. 土壤, 2015, 47(1): 20–25
- [22] 郑玉, 黄洁, 范伟锋, 等. 施肥深度对木薯产量性状的影响[J]. 江西农业学报, 2011, 23(11): 135–136

Effects of Nitrogen Application Rates on Nutrient Absorption by Cassava and Soil Available Nutrient Balance

WEI Jianfeng¹, CHEN Tao², CEN Zhongyong³, WEI Dongping^{1*}, HU Jiangru¹

(1 *Lushan College of Guangxi University of Science and Technology, Liuzhou, Guangxi 545616, China*; 2 *Guangxi Subtropical Crops Research Institute, Nanning 530001, China*; 3 *Department of Chemistry and Life Science, Hechi University, Yizhou, Guangxi 546300, China*)

Abstract: From the viewpoint of efficient fertilization, a field experiment was conducted to investigate the effects of nitrogen (N) application rates on dry matter accumulation and nutrient absorption of cassava and the contents of soil available nutrients. The results showed that the dry matter accumulation of stems and leaves increased significantly with the increase of N application rates, while the yield of root tubers increased with N application rates firstly, reached the maximum value at N 130 kg/hm² and then decreased with the further increase in N application rates. The maximum yield of cassava was increased by 18.13% compared to control with no nitrogen fertilizer applied. The increase in N application rates led to the accumulation of phosphorus and potassium in cassava organs and nitrogen accumulation in stems and leaves of cassava. However, nitrogen accumulation in root tubers increased firstly, reached the maximum value and then decreased with the further increase in N application rates. The agronomic and physiological use efficiency and partial factor productivity of applied nitrogen decreased significantly with the increase in N application rates. Nitrogen recovery efficiency reached the maximal value at 130 kg/hm², and was increased by 11.37% to 25.12% compared with other treatments. After cassava harvest, the alkali-hydrolyzed nitrogen content increased obviously with increasing nitrogen application, but available phosphorus and potassium contents decreased. The available phosphorus and potassium nutrients in the soil of all treatments, as well as the available nitrogen in the soil of the treatment with N 195 kg/hm² were obviously surplus. In conclusion, the optimum application amount of nitrogen for cassava was 130 kg/hm².

Key words: Cassava; Nitrogen application rates; Soil; Nutrients; Dry matter; Nitrogen utilization efficiency