

# 不同株型木薯品种干物质生产和氮素累积及利用特征比较

林洪鑫, 袁展汽\*, 肖运萍, 汪瑞清, 吕丰娟, 张志华

(江西省农业科学院土壤肥料与资源环境研究所/农业农村部长江中下游作物生理生态与耕作重点实验室, 江西南昌 330200)

**摘要:** 【目的】理想株型和氮素高效利用是作物育种和引种的重要指标。作物生长发育和形态建成特征与产量形成和氮素积累密切相关。研究不同株型木薯品种的干物质生产与分配、氮素积累与利用、产量形成等方面的差异, 以期筛选出高产、氮素高效利用的株型和品种, 为木薯高产栽培和氮素高效利用提供理论依据。

【方法】试验以紧凑型品种华南 205 (SC205)、华南 8 号 (SC8)、桂热 4 号 (GR4)、新选 048 (XX048) 和伞型品种华南 9 号 (SC9)、华南 12 号 (SC12) 为材料, 于块根形成初期 (种植后 70 天)、膨大初期 (种植后 110 天)、膨大中期 (种植后 175 天) 和成熟期 (种植后 240 天) 取样, 分析干物质和氮素吸收积累量。【结果】紧凑型品种的生物产量、鲜薯产量、单株薯重和收获指数较伞型品种分别提高 16.42%、36.85%、43.93% 和 40.00%。随着生育时期的推进, 叶片的干物质和氮素分配比例随之下降, 块根的干物质和氮素分配比例以及茎秆的氮素分配比例随之提高, 而茎秆的干物质分配比例相对稳定。紧凑型品种地上部的干物质和氮素分配比例在块根形成初期高于伞型品种, 而在块根膨大期低于伞型品种。紧凑型品种的氮素利用效率、氮肥偏生产力 and 氮素收获指数较伞型品种分别提高了 28.91%、35.67% 和 36.00%, 而 100 kg 鲜薯需氮量较伞型品种降低了 27.27%。通径分析表明, 块根生长后期的干物质生产量和氮素积累量对总量的贡献最大, 块根生长中期其次, 块根生长前期第三, 苗期最小。在块根成熟期, 紧凑型品种地下部的干物质和氮素分配比例较伞型品种分别提高了 10.85 和 9.13 个百分点。相关分析表明, 块根生长后期的干物质和氮素积累量、生物产量、单株薯重和收获指数与鲜薯产量呈极显著正相关。【结论】紧凑型品种地上部的干物质和氮素分配比例在块根形成初期高于伞型品种, 而在块根膨大期低于伞型品种。紧凑型品种的产量和氮素利用效率较高, 而伞型品种的产量和氮素利用效率较低。在生产中, 宜选择株型紧凑的木薯品种, 以利于木薯高产和氮素高效利用。

**关键词:** 木薯; 品种; 株型; 干物质生产; 氮素积累及利用

## Comparison of dry matter production, nitrogen accumulation and utilization of cassava cultivars with different plant types

LIN Hong-xin, YUAN Zhan-qi\*, XIAO Yun-ping, WANG Rui-qing, LÜ Feng-juan, ZHANG Zhi-hua  
(*Soil and Fertilizer & Resources and Environment Institute, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Crop Ecophysiology and Farming System for the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Nanchang 330200, China*)

**Abstract:** 【Objectives】 Ideotype and N high efficiency are important indicators for crop breeding and introduction. Crop growth, development and morphogenesis are closely related to yield formation and N accumulation. The differences of dry matter production and distribution, N accumulation and utilization and yield formation among cassava cultivars with different plant types were studied for the screening of the ideotype and cultivars. 【Methods】 The tested cassava cultivars included compact-type of SC205, SC8, GR4, XX048 and umbrella-type of SC9, SC12 in a field experiment, which was conducted in Fuzhou, Jiangxi Province. At the initial forming, initial and middle expanding and maturing stages of tuber (70, 110, 175, 240 days after planting),

收稿日期: 2019-10-16 接受日期: 2020-02-03

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项“国家木薯产业技术体系南昌综合试验站”(CARS-11-JXLHX); 江西省农业科学院博士启动基金(2019ICBS003)。

联系方式: 林洪鑫 E-mail: lhxtfs@163.com; \* 通信作者 袁展汽 E-mail: yuanzhanqi@126.com

plant samples were collected for the measurement of dry matter production and N accumulation, and tuber yield were weighed at harvest. **【 Results 】** The biomass, fresh tuber yield, tuber weight per plant and harvest index of compact-type cultivars were 16.42%, 36.85%, 43.93% and 40.00% higher than those of umbrella-type ones. With the development of cassava, the proportion of leaf dry matter and N distribution were decreased, those of tuber dry matter, tuber N distribution and stem N distribution increased, while the stem dry matter distribution ratio was relatively stable. The above-ground distribution ratios of dry matter and N in compact-type cultivars at the initial forming stage of tuber were higher than those of umbrella type ones, but lower than umbrella-type ones at the tuber expansion stage. N utilization efficiency, N partial factor productivity and N harvest index of compact-type cultivars were 28.91%, 35.67% and 36.00% higher than those of umbrella-type ones, respectively, while the N requirement of 100 kg-fresh tuber was 27.27% lower. According to the path analysis, dry matter production and N accumulation in late tuber growth stage contributed the most to the total, followed by those at the middle tuber growth stage, and then at the early tuber growth stage and the least in the seedling stage. At tuber maturity stage, the under-ground allocation ratio of dry matter and nitrogen in the compact-type cultivars were increased by 10.85 and 9.13 percentage points, respectively. Dry matter and N accumulation in the late tuber growth stage, biomass, tuber weight per plant and harvest index were significantly and positively correlated with fresh tuber yields. **【 Conclusions 】** The above-ground allocation ratios of dry matter and N of compact-type cultivars are higher than those of umbrella-type ones at the tuber initiation stage, but lower at the tuber expansion stage. The compact-type cultivars have higher yield and N utilization efficiency, so enjoy more priorities for the breeding of new cultivars.

**Key words:** cassava; cultivar; plant type; dry matter production; N accumulation and utilization

木薯 (*Manihot esculenta* Crantz) 是大戟科木薯属热带薯类作物, 是世界三大薯类作物之一, 也是全球 10 亿人的主要粮食。随着木薯产业的不断发展, 木薯种植区域不断向北推移, 在江西抚州和鹰潭地区形成了木薯产业化。江西的土壤和气候条件适宜种植木薯, 但生长期有限, 无法越冬生长。筛选出适宜江西种植的优良品种是木薯产业发展的重要前提之一。木薯品种在不同生态区域的适应性有所不同<sup>[1]</sup>。研究表明, SC8<sup>[2-3]</sup>、SC205<sup>[2-3]</sup>、H867<sup>[3]</sup>、GR024-2<sup>[3]</sup>和 H1312<sup>[3]</sup>等品种或品系适宜江西种植。欧珍贵等<sup>[4]</sup>研究认为, 新选 048、GR3、SC5、GR911、SC8 和 GR6 适宜贵州推广种植。氮素利用效率是作物遗传育种和高产氮高效栽培的重要指标<sup>[5]</sup>, 与作物干物质生产和有效分配关系密切, 其分配数量和方向受栽培管理调控<sup>[6]</sup>。氮素积累是同化物合成和积累的基础<sup>[7]</sup>, 氮高效品种具有较高的氮素积累量或氮素利用效率<sup>[8]</sup>, 且氮素向收获器官的分配比例明显大于氮低效品种<sup>[9]</sup>。黄巧义等<sup>[10]</sup>认为, 不同木薯品种的氮素营养特性存在差异, 而不同品种的生物量积累动态相似<sup>[11]</sup>。谭宏伟等<sup>[12]</sup>发现, 木薯不同生育时期的氮素吸收和利用效率存在显著差异, 尤以块根膨大期的氮素积累量大。木薯薯长、薯径、茎径、收获指

数、单株鲜薯重和生物产量是决定鲜薯产量的主要指标<sup>[3]</sup>, 生物产量、收获指数和最大薯径与鲜薯产量呈极显著正相关<sup>[14]</sup>。黄堂伟等<sup>[15]</sup>研究表明, 株高、茎径与鲜薯产量紧密相关, 而薯长、薯径和薯数与鲜薯产量无明显关系。可见, 前人对于木薯品种适宜性、鲜薯产量、农艺指标及相互关系进行了较多的研究, 而对不同株型木薯品种的干物质生产和氮素累积及利用特征的研究较少。本试验以紧凑型品种 SC205、SC8、GR4、XX048 和伞型品种 SC9、SC12 为材料, 研究不同株型木薯品种的鲜薯产量及构成、干物质生产与分配和氮素积累与利用等特征的差异, 以期筛选出适宜江西种植的株型和品种, 进而为木薯高产栽培和养分高效利用提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

于 2016 和 2017 年, 在国家木薯产业技术体系南昌综合试验站试验示范基地的同一田块开展试验, 试验地位于江西省南昌市东乡区圩上桥镇。试验田为红壤旱地, 2016 年试验前的基础土壤理化性质为 pH 4.32、有机质 22.70 g/kg、全氮 1.32 g/kg、全磷 3.27 g/kg、全钾 9.01 g/kg、碱解氮 63.4 mg/kg,

有效磷 67.8 mg/kg 和速效钾 166 mg/kg。2017 年试验前的基础土壤理化性质为 pH 4.49、有机质 21.95 g/kg、全氮 1.28 g/kg、全磷 3.12 g/kg、全钾 8.93 g/kg、碱解氮 60.9 mg/kg、有效磷 68.8 mg/kg 和速效钾 159 mg/kg。

## 1.2 试验设计

供试木薯品种包括华南 205 (SC205, 紧凑型)、华南 8 号<sup>[16]</sup> (SC8, 紧凑型)、华南 9 号<sup>[17]</sup> (SC9, 伞型)、华南 12 号<sup>[18]</sup> (SC12, 伞型)、桂热 4 号<sup>[19]</sup> (GR4, 紧凑型) 和新选 048<sup>[20]</sup> (XX048, 紧凑型)。木薯种植规格 100 cm × 75 cm, 采用随机区组排列, 小区面积 33.75 m<sup>2</sup>, 3 次重复。N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 施用量分别为 165、82.5 和 180 kg/hm<sup>2</sup>。氮肥按基肥: 壮苗肥: 结薯肥 5: 3: 2 施用, 钾肥按 5: 2: 3 比例施用, 磷肥作基肥一次性施用。基肥于木薯种植时, 点施于种茎两端 5~10 cm 处 (株间); 壮苗肥在种植后 30 天, 点施于幼苗两端 (行间); 结薯肥于种植后 70 天点施于木薯植株两端 (株间)。氮、磷、钾肥分别为尿素、钙镁磷肥和氯化钾。木薯于 2016 和 2017 年的 3 月下旬种植, 11 月下旬收获。木薯苗高 20 cm 时间苗, 每蔸木薯保留 1 株壮苗, 剪除多余的幼苗。其他管理同一般常规栽培。

## 1.3 测定项目与方法

干物质生产量: 于块根形成初期 (种植后 70 天)、膨大初期 (种植后 110 天)、膨大中期 (种植后 175 天) 和成熟期 (种植后 240 天), 根据木薯平均株高, 每小区取代表性植株 3 株, 洗净泥土, 将植株分成茎秆、叶片和块根 3 部分, 待茎秆截断和块根切片后, 用样品纸袋分别包装, 其中茎秆和叶片置于烘箱 105℃ 杀青 30 min, 80℃ 下烘干至恒重后称重, 块根则置于 50℃ 下烘干至恒重后称重。

植株氮素含量: 植株样品粉碎后, 采用 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 消煮—凯氏定氮法测定氮素含量。

淀粉含量、鲜薯产量及其构成: 于块根成熟期, 每小区取代表性木薯植株 3 株, 选择薯径均匀的块根用于淀粉含量的测定。于块根成熟期, 每小区选择中间连续 5 株植株, 考查单株薯数、单株薯重和单株茎叶鲜重。实收各小区的块根产量, 并根据收获时的实际株数计算鲜薯产量。

## 1.4 计算公式与数据处理

鲜生物产量 = (单株薯重 + 单株茎叶鲜重) × 单位面积实际株数;

收获指数 = 单株薯重 / (单株茎叶鲜重 + 单株薯重);

生物产量 = 茎秆干物质生产量 + 叶片干物质生产量 + 块根干物质生产量;

氮素积累总量 = 茎秆氮素积累量 + 叶片氮素积累量 + 块根氮素积累量;

氮素收获指数 = 块根氮素积累量 / 氮素积累总量;

氮素利用效率 (kg/kg) = 鲜薯产量 / 氮素积累总量;

100 kg 鲜薯需氮量 (kg) = 氮素积累总量 / 鲜薯产量 × 100;

氮肥偏生产力 (kg/kg) = 单位面积鲜薯产量 / 单位面积施氮量。

2016 和 2017 年 6 个木薯品种的鲜薯产量变化趋势一致, 文中除鲜薯产量外的试验数值均为两年数据的平均值 ± 标准差, 采用 Excel 和 DPS 7.05 进行数据分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同株型木薯品种产量及其构成

2016 和 2017 年 6 个木薯品种的鲜薯产量变化趋势一致 (表 1)。不同株型间, 紧凑型品种的鲜薯产量显著高于伞型品种, 较伞型品种提高 36.85%。不同品种间, 紧凑型品种 XX048、GR4 和 SC8 的鲜薯产量显著高于伞型品种 SC12 和 SC9; 紧凑型品种

表 1 不同株型木薯品种鲜薯产量 (t/hm<sup>2</sup>)

Table 1 Fresh tuber yields of cassava cultivars with different plant types

年份 Year	紧凑型 Compact type				平均 Average	伞型 Umbrella type			株型差异 Variation of plant type
	SC205	SC8	GR4	XX048		SC9	SC12	平均 Average	
2016	36.71 c	39.75 b	41.35 b	47.59 a	41.35	26.59 d	34.95 c	30.77	**
2017	35.58 c	38.18 b	38.38 b	45.99 a	39.53	24.58 d	33.12 c	28.85	**

注 (Note): 同行数据后不同字母表示品种间差异达到 5% 显著水平 Values followed by different letters in a row mean significant difference among cultivars at the 5% level; \*\*— $P < 0.01$ .

SC205 的鲜薯产量与伞型品种 SC12 无显著差异, 但显著高于伞型品种 SC9。

不同株型间, 紧凑型品种的单株薯重、薯数、鲜生物产量和收获指数显著高于伞型品种, 而伞型品种的淀粉含量显著高于紧凑型品种 (表 2)。紧凑型品种的单株薯重和收获指数较伞形品种分别提高 43.93% 和 40.00%。不同品种间, 紧凑型品种 XX048、GR4 和 SC205 的薯数显著多于伞型品种 SC12 和 SC9; 紧凑型品种 SC8 的淀粉含量显著高于伞型品种 SC12, 而伞型品种 SC9 的淀粉含量显著高

于紧凑型品种 XX048、GR4 和 SC205。紧凑型品种 SC8、XX048、SC205 和 GR4 的收获指数均显著高于伞型品种 SC12 和 SC9。相关分析表明, 单株薯重、鲜生物产量和收获指数与鲜薯产量呈极显著正相关 ( $r = 0.9510^{**}$ 、 $0.8028^{**}$  和  $0.8377^{**}$ )。

## 2.2 不同株型木薯品种干物质生产特性

不同株型间进行比较, 紧凑型品种的生物产量和块根生长中、后期的干物质生产量均显著高于伞型品种, 而苗期和块根生长前期的干物质生产量显著低于伞型品种 (表 3)。紧凑型品种的生物产量较伞

表 2 不同株型木薯品种的产量构成

Table 2 Yield composition of cassava cultivars with different plant types

株型 Plant type	品种 Cultivar	薯数 Tuber number	薯重 (kg/plant) Tuber weight	淀粉含量 (%) Starch content	鲜生物产量 (t/hm <sup>2</sup> ) Fresh biomass	收获指数 Harvest index
紧凑型 Compact type	SC205	12.33 ± 0.40 a	2.79 ± 0.04 cd	26.75 ± 0.11 b	61.47 ± 1.74 c	0.61 ± 0.17 b
	SC8	8.77 ± 0.24 d	2.89 ± 0.15 bc	27.91 ± 0.13 a	67.30 ± 2.09 bc	0.67 ± 0.16 a
	GR4	12.47 ± 0.20 a	2.98 ± 0.20 ab	27.36 ± 0.25 b	70.19 ± 1.52 b	0.57 ± 0.09 b
	XX048	12.17 ± 0.37 a	3.64 ± 0.23 a	25.57 ± 0.47 c	74.85 ± 0.42 a	0.65 ± 0.43 a
	平均 Average	11.44	3.08	26.90	68.45	0.63
伞型 Umbrella type	SC9	9.77 ± 0.57 c	1.77 ± 0.38 e	28.27 ± 0.19 a	56.70 ± 1.89 c	0.42 ± 0.07 c
	SC12	10.92 ± 0.61 b	2.51 ± 0.24 d	27.17 ± 0.37 b	70.72 ± 1.25 b	0.47 ± 0.16 c
	平均 Average	10.35*	2.14**	27.72*	63.71*	0.45**

注 (Note): 同列数据后不同字母表示品种间差异达到 5% 显著水平 Values followed by different letters in a column mean significant difference among cultivars at the 5% level; \*\*— $P < 0.01$ , \*— $P < 0.05$ .

表 3 不同株型木薯品种主要生育阶段干物质生产特性 (t/hm<sup>2</sup>)

Table 3 Dry matter production characteristics in main growth stages of cassava cultivars with different plant types

株型 Plant type	品种 Cultivar	生物产量 Biomass	苗期 Seedling stage	块根生长前期 Early tuber growth stage	块根生长中期 Middle tuber growth stage	块根生长后期 Late tuber growth stage
紧凑型 Compact type	SC205	18.67 ± 0.39 c	0.69 ± 0.08 b	3.10 ± 0.23 c	8.24 ± 0.63 bc	6.65 ± 0.09 d
	SC8	21.39 ± 0.60 b	0.44 ± 0.01 c	2.56 ± 0.14 d	9.95 ± 0.63 a	8.44 ± 0.10 c
	GR4	21.44 ± 0.69 b	0.64 ± 0.05 b	2.99 ± 0.17 c	8.27 ± 0.36 bc	9.55 ± 0.55 b
	XX048	24.68 ± 0.11 a	0.84 ± 0.08 a	3.61 ± 0.28 b	9.01 ± 0.79 ab	11.22 ± 0.48 a
	平均 Average	21.55	0.65	3.07	8.87	8.97
伞型 Umbrella type	SC9	18.64 ± 0.84 c	0.63 ± 0.07 b	3.22 ± 0.10 c	8.62 ± 0.39 b	6.18 ± 0.48 d
	SC12	18.37 ± 0.67 c	0.86 ± 0.09 a	4.23 ± 0.17 a	7.19 ± 0.83 c	6.10 ± 0.08 d
	平均 Average	18.51**	0.75*	3.73*	7.91**	6.14**

注 (Note): 苗期—种植期~块根形成初期, 块根生长前期—块根形成初期~膨大初期, 块根生长中期—块根膨大初期~膨大中期, 块根生长后期—块根膨大中期~块根成熟期; 同列数据后不同字母表示品种间差异达到 5% 显著水平。Seedling stage—Seeding time to tuber initial forming stage; Earlier tuber growth stage—Tuber initial forming stage to tuber initial expanding stage; Middle tuber growth stage—Tuber initial expanding stage to tuber middle expanding stage; Late tuber growth stage—Tuber middle expanding stage to tuber maturing stage. Values followed by different letters in a column indicate significant difference among cultivars at the 5% level. \*\*— $P < 0.01$ , \*— $P < 0.05$ .

形品种提高 16.42%。不同品种间比较, 紧凑型品种 XX048、SC8 和 GR4 的生物产量显著高于伞型品种 SC9 和 SC12。苗期, 紧凑型品种 XX048 和伞型品种 SC12 的干物质生产量显著高于其他 4 个品种, 伞型品种 SC9 显著高于紧凑型品种 SC8; 块根生长前期, 伞型品种 SC12 的干物质生产量最高, 紧凑型品种 SC8 最低; 块根生长中期, 紧凑型品种 SC8 的干物质生产量最高, 伞型品种 SC12 最低; 块根生长后期, 紧凑型品种 XX048 的干物质生产量最高, 伞型品种 SC12 最低。可见, 在苗期和块根生长前期伞型品种 SC12 生长较快, 在块根生长中期紧凑型品种 SC8 生长较快, 在块根生长后期紧凑型品种 GR4 生长较快, 在整个生育时期紧凑型品种 XX048 都生长较快。通径分析表明, 块根生长后期的干物质生产量对木薯生物产量的贡献最大, 中期其次, 前期第三, 苗期最小, 直接通径系数分别为 0.8444、0.3736、0.2345 和 0.0622。相关分析表明, 块根生长后期干物质生产量、生物产量与鲜薯产量呈极显著正相关 ( $r = 0.8694^{**}$ 、 $0.8556^{**}$ ), 而苗期、块根生长前期和中期的干物质生产量与鲜薯产量无显著相关性。块根生长中、后期的干物质生产量与生物产量呈极显著正相关 ( $r = 0.5493^{**}$ 、 $0.9638^{**}$ ), 而苗期、块根生长前期的干物质生产量与生物产量无显著相

关性。

### 2.3 不同株型木薯品种干物质分配特征

随着木薯生育时期的推进, 叶片的干物质分配比例随之下降, 块根的干物质分配比例随之提高, 而茎秆的干物质分配比例相对稳定 (图 1)。块根形成初期, 不同部位的干物质分配比例为叶片 > 茎秆 > 块根, 紧凑型 and 伞型品种的分配比例分别为 66.22%、20.54%、13.25% 和 61.71%、21.46%、16.83%。可见, 块根形成初期, 紧凑型品种地上部的干物质分配比例高于伞型品种, 地下部的分配比例低于伞型品种。块根膨大初期, 不同部位的干物质分配比例为叶片 > 块根 > 茎秆, 紧凑型 and 伞型品种的分配比例分别为 38.47%、41.47%、20.06% 和 36.86%、36.70%、26.44%。块根膨大中期, 不同部位的干物质分配比例为块根 > 叶片 > 茎秆, 紧凑型 and 伞型品种的分配比例分别为 58.86%、22.12%、19.01% 和 48.10%、24.21%、27.69%。块根成熟期, 不同部位的干物质分配比例为块根 > 茎秆 > 叶片, 紧凑型 and 伞型品种的分配比例分别为 62.75%、23.22%、14.02% 和 51.90%、30.67%、17.43%。可见, 在整个块根膨大期, 紧凑型品种地下部的干物质分配比例高于伞型品种, 地上部的分配比例低于伞型品种。

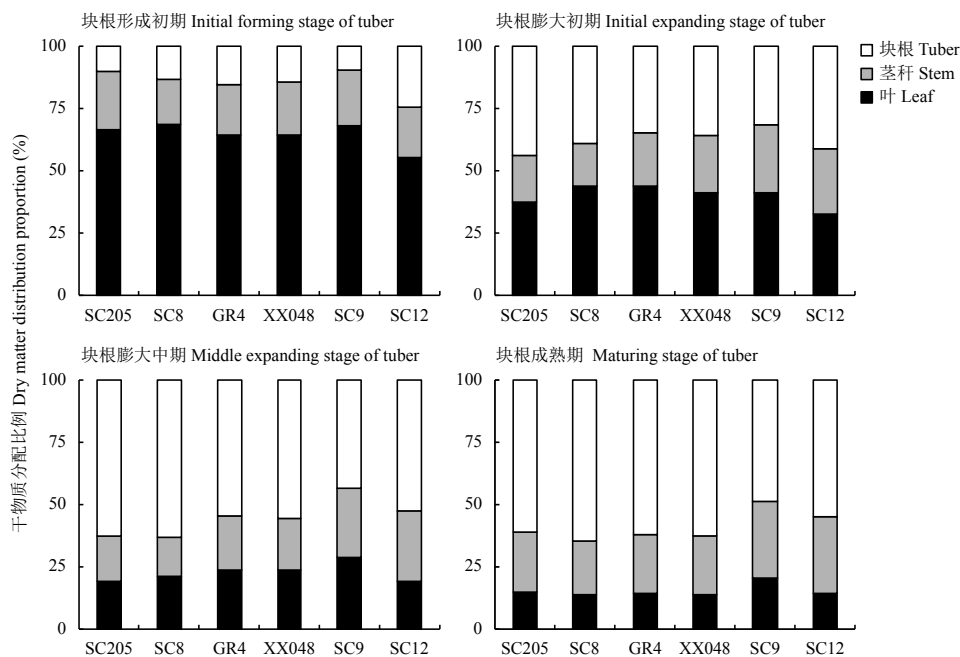


图 1 不同株型木薯品种主要生育期干物质在茎、叶和块根中的分配率

Fig. 1 Proportion of dry matter distribution in leaves, stems and tubers in the main growth stages of cassava cultivars with different plant types

[注 (Note): 品种 SC205、SC8、GR4 和 XX048 为紧凑型 Cultivar SC205, SC8, GR4 and XX048 belong to compact plant type; 品种 SC9、SC12 为伞型 Cultivar SC9 and SC12 belong to umbrella plant type.]

在块根形成初期和膨大初期, 叶片的干物质分配比例最高, 而在块根膨大中期和成熟期, 块根的干物质分配比例最高。随木薯生育时期的推进, 地上部干物质分配比例逐步下降, 紧凑型品种 4 个时期的分配比例分别为 86.76%、58.53%、41.14% 和 37.25%, 而伞型品种分别为 83.17%、63.30%、51.90% 和 48.10%。在块根形成初期, 紧凑型品种地上部的干物质分配比例高于伞型品种, 而在块根膨大期紧凑型品种地下部的干物质分配比例高于伞型品种。在块根成熟期, 紧凑型品种地下部的干物质分配比例较伞型品种提高 10.85 个百分点。

#### 2.4 不同株型木薯品种氮素积累特性

不同株型间, 紧凑型品种的氮素积累总量显著高于伞型品种 (表 4)。不同品种间, 紧凑型品种 XX048 的氮素积累总量显著高于其他 5 个品种, 伞型品种 SC9 又显著高于其他 4 个品种, 紧凑型品种 SC8 和 GR4 显著高于紧凑型品种 SC205 和伞型品种 SC12。苗期和块根生长前期, 氮素积累量以伞型品种 SC12 最高, 紧凑型品种 SC8 最低。块根生长中期, 氮素积累量以伞型品种 SC9 最高, 伞型品种 SC12 最低。块根生长后期, 氮素积累量以紧凑型品种 XX048 最高, 紧凑型品种 SC205 最低。通径分析表明, 块根生长后期的氮素积累对氮素积累总量的贡献最大, 生长中期其次, 生长前期第三, 苗期第四。苗期和根块生长前、中和后期的通径系数分别

为 0.1636、0.3176、0.5418 和 0.6857。块根生长后期的氮素积累量与鲜薯产量呈极显著正相关 ( $r = 0.6252^{**}$ ), 而苗期、块根生长前期和中期的氮素积累量与鲜薯产量无显著相关性。块根生长中、后期的氮素积累量与氮素积累总量呈极显著正相关 ( $r = 0.6043^{**}$ 、 $0.8665^{**}$ ), 而苗期、块根生长前期的氮素积累量与氮素积累总量无显著相关性。

#### 2.5 不同株型木薯品种氮素分配特征

随着木薯生育时期的推进, 叶片的氮素分配比例随之下降, 而茎秆和块根的氮素分配比例随之提高 (图 2)。块根形成初期和膨大初期, 不同部位的氮素分配比例均为叶片 > 茎秆 > 块根。块根形成初期, 紧凑型 and 伞型品种的分配比例分别为 79.98%、12.63%、7.40% 和 77.01%、13.33%、9.65%。块根膨大初期, 紧凑型 and 伞型品种的分配比例分别为 70.56%、14.88%、14.56% 和 67.97%、18.66%、13.37%。可见, 在块根形成初期, 紧凑型品种地上部的氮素分配比例高于伞型品种, 而地下部低于伞型品种。块根膨大中期和成熟期, 不同部位的氮素分配比例均为叶片 > 块根 > 茎秆。在块根膨大中期, 紧凑型 and 伞型品种的氮素分配比例分别为 53.18%、30.61%、16.21% 和 57.30%、22.00%、20.69%。在块根成熟期, 紧凑型 and 伞型品种的氮素分配比例分别为 37.65%、34.11%、26.89% 和 44.51%、24.98%、30.46%。可见, 在块根整个膨大

表 4 不同株型木薯品种主要生育阶段氮素积累量 ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )

Table 4 N accumulation in main growth stages of cassava cultivars with different plant types

株型 Plant type	品种 Cultivar	氮素积累总量 Total N accumulation	苗期 Seedling stage	块根生长前期 Early tuber growth stage	块根生长中期 Middle tuber growth stage	块根生长后期 Late tuber growth stage
紧凑型 Compact type	SC205	192.80 ± 1.32 d	24.42 ± 1.14 b	61.35 ± 7.56 bc	82.50 ± 7.95 b	24.53 ± 2.85 d
	SC8	213.23 ± 1.32 c	15.77 ± 0.94 c	59.88 ± 4.73 c	92.84 ± 0.75 ab	44.74 ± 5.67 c
	GR4	231.33 ± 3.55 c	23.37 ± 1.60 b	63.10 ± 1.87 bc	84.72 ± 0.20 b	60.15 ± 6.82 b
	XX048	264.77 ± 5.34 a	28.26 ± 2.27 a	69.99 ± 11.21 bc	92.17 ± 5.41 ab	74.35 ± 8.87 a
	平均 Average	225.53	22.96	63.58	88.06	50.94
伞型 Umbrella type	SC9	244.16 ± 0.75 b	25.23 ± 2.37 ab	73.84 ± 3.52 ab	103.22 ± 0.80 a	41.87 ± 3.06 c
	SC12	195.45 ± 3.55 d	28.50 ± 2.32 a	83.35 ± 8.56 a	57.93 ± 11.92 c	25.66 ± 9.24 d
	平均 Average	219.81*	26.87*	78.60**	80.58*	33.77**

注 (Note): 苗期—种植期~块根形成初期, 块根生长前期—块根形成初期~膨大初期, 块根生长中期—块根膨大初期~膨大中期, 块根生长后期—块根膨大中期~块根成熟期; 同列数据后不同字母表示品种间差异达到 5% 显著水平。Seedling stage—Seeding time to tuber initial forming stage; Earlier tuber growth stage—Tuber initial forming stage to tuber initial expanding stage; Middle tuber growth stage—Tuber initial expanding stage to tuber middle expanding stage; Late tuber growth stage—Tuber middle expanding stage to tuber maturing stage. Values followed by different letters in a column indicate significant difference among cultivars at the 5% level. \*\*— $P < 0.01$ , \*— $P < 0.05$ .

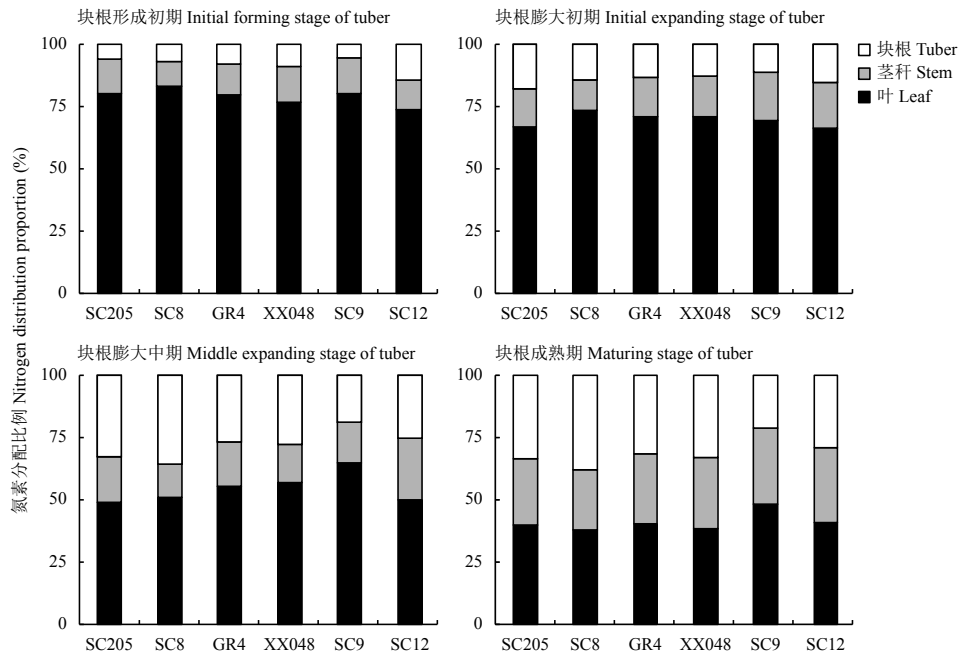


图 2 不同株型木薯品种主要生育期氮素在茎、叶和块根中的分配率

Fig. 2 Proportion of N allocation in leaves, stems and tubers in the main growth stages of cassava with different plant types

[注 (Note): 品种 SC205、SC8、GR4 和 XX048 为紧凑型 Cultivar SC205, SC8, GR4 and XX048 belong to compact plant type; 品种 SC9 和 SC12 为伞型 Cultivar SC9 and SC12 belong to umbrella plant type.]

期, 紧凑型品种地下部的氮素分配比例高于伞型品种, 而地上部低于伞型品种。随木薯生育时期的推进, 地上部的氮素分配比例逐步下降, 紧凑型品种 4 个生育期的分配比例分别为 92.61%、85.44%、69.39% 和 65.89%, 而伞型品种分别为 90.34%、86.63%、78.00% 和 75.02%。在块根形成初期, 紧凑型品种地上部的氮素分配比例高于伞型品种, 而块根整个膨大期地上部氮素分配比例低于伞型品种。在块根成熟期, 紧凑型品种地下部的氮素分配比例较伞型品种提高 9.13 个百分点。

## 2.6 不同株型木薯品种氮素利用特征

不同株型间比较, 紧凑型品种的氮素利用效率、氮肥偏生产力和氮素收获指数显著高于伞型品种 (表 5), 分别提高了 28.91%、35.67% 和 36.00%。而 100 kg 鲜薯需氮量显著低于伞型品种, 下降了 27.27%。不同品种间, 紧凑型品种 SC8 和 SC205 的氮素利用效率显著高于伞型品种 SC12 和 SC9; 紧凑型品种 GR4 和 XX048 的氮素利用效率显著高于伞型品种 SC9。伞型品种 SC9 的 100 kg 鲜薯需氮量显著高于紧凑型品种; 伞型品种 SC12 的 100 kg 鲜薯需氮量显著高于紧凑型品种 SC205。紧凑型品种 XX048、GR4 和 SC8 的氮肥偏生产力显著高于伞型品种 SC12 和 SC9; 紧凑型品种 SC205 的氮肥偏生产

力显著高于伞型品种 SC9。紧凑型品种 SC8、XX048、GR4 和 SC205 的氮素收获指数显著高于伞型品种 SC12 和 SC9。可见, 紧凑型品种 SC205 和 SC8 的氮素利用效率较高, 100 kg 鲜薯需氮量较低, 属于氮素高效型品种。紧凑型品种 XX048 和 GR4 的氮肥偏生产力较高。紧凑型品种 XX048、GR4 和伞型品种 SC12 属于氮素中效型品种。伞型品种 SC9 的 100 kg 鲜薯需氮量较高, 氮素利用效率、氮肥偏生产力和氮素收获指数偏低, 属于氮素低效型品种。

## 2.7 植株和块根的形态特征

不同株型间比较, 紧凑型品种的株高和茎径矮于伞型品种 (表 6), 株高的差异达显著水平。不同品种间, 伞型品种 SC12 和紧凑型品种 XX048 的株高显著高于其他 4 个品种; 紧凑型品种 GR4 和伞型品种 SC9 的株高显著高于紧凑型品种 SC205 和 SC8。伞型品种 SC12 的茎径显著大于其他 5 个品种; 紧凑型品种 GR4、SC205 和 XX048 的茎径大于紧凑型品种 SC8 和伞型品种 SC9。紧凑型品种 SC8、XX048 的薯长显著大于其他 4 个品种; 紧凑型品种 SC8、XX048 和伞型品种 SC12 的薯径大于其他 3 个品种。相关分析表明, 木薯薯长与鲜薯产量呈显著正相关 ( $r = 0.4723^*$ ), 而株高、茎径和薯径与鲜薯产量无显著相关性。

表 5 不同株型木薯品种氮素效率  
Table 5 N efficiency of cassava with different plant types

株型 Plant type	品种 Cultivar	氮素利用效率 (kg/kg) N use efficiency	100 kg 鲜薯需氮量 (kg) N for 100 kg-fresh tubers	氮肥偏生产力 (kg/kg) N partial factor productivity	氮素收获指数 N harvest index
紧凑型 Compact type	SC205	187.49 ± 4.21 a	0.53 ± 0.01 d	219.06 ± 3.42 c	0.34 ± 0.00 b
	SC8	182.74 ± 4.33 a	0.55 ± 0.01 cd	236.15 ± 4.76 b	0.38 ± 0.00 a
	GR4	172.30 ± 3.77 b	0.58 ± 0.01 b	241.62 ± 8.99 b	0.32 ± 0.01 b
	XX048	176.72 ± 0.54 b	0.57 ± 0.00 bc	283.57 ± 4.85 a	0.33 ± 0.03 b
	平均 Average	179.81	0.56	245.10	0.34
伞型 Umbrella type	SC9	104.76 ± 3.27 c	0.96 ± 0.03 a	155.05 ± 6.10 d	0.21 ± 0.01 d
	SC12	174.22 ± 7.86 b	0.57 ± 0.03 bc	206.26 ± 5.56 c	0.29 ± 0.02 c
	平均 Average	139.49**	0.77**	180.66**	0.25*

注 (Note): 同列数据后不同字母表示品种间差异达到 5% 显著水平 Values followed by different letters in a column mean significant difference among cultivars at the 5% level; \*\*— $P < 0.01$ , \*— $P < 0.05$ .

### 3 讨论

#### 3.1 不同株型木薯品种的干物质生产特性

合理的干物质生产量是决定作物产量高低的重要基础。El-Sharkawy<sup>[21]</sup>研究认为, 木薯定植 2 个月内干物质积累速度非常缓慢, 2 个月后积累速度加快, 至成熟期积累速度又转慢, 收获时绝大部分干物质都积累于块根中。Olaleye 等<sup>[22]</sup>研究认为, 木薯茎叶生长制衡着块根生长。适当的施氮量既能促进木薯源叶生长, 又能促进块根分化和膨大, 而低氮不利于源叶生长, 过量施氮又会引起茎叶生长过旺和块根分化受抑制<sup>[23]</sup>。本研究发现, 随着生育时期的推进, 木薯叶片的干物质分配比例随之下降, 块根的干物质分配比例也随之提高, 而茎秆的干物质分

配比例相对稳定。黄巧义等<sup>[11]</sup>研究认为, 大株型 SC5 和小株型 SC205 的物质吸收积累动态具有一定相似性, 呈现近似“S”形积累模式, 即在苗期和块根形成期, 植株干物质优先积累在地上部, 随着块根的逐渐膨大, 地下部物质积累量快速提高, 成熟期下部的生物量超过地上部。本研究表明, 木薯干物质分配比例在块根形成初期为叶片 > 茎秆 > 块根, 块根膨大初期为叶片 > 块根 > 茎秆, 块根膨大中期为块根 > 叶片 > 茎秆, 块根成熟期为块根 > 茎秆 > 叶片。本研究还表明, 在块根形成初期, 紧凑型品种地上部干物质分配比例高于伞型品种, 而在块根整个膨大期, 地上部干物质分配比例低于伞型品种。随着生育时期的推进, 木薯地上部干物质分配比例逐步下降, 紧凑型品种 4 个生育期干物质分

表 6 不同株型木薯品种的植株和块根形态特征  
Table 6 Morphology of plants and tuber of cassava cultivars with different plant types

株型 Plant type	品种 Cultivar	株高 (cm) Plant height	茎径 (mm) Stem diameter	薯长 (cm) Tuber length	薯径 (mm) Tuber diameter
紧凑型 Compact type	SC205	219.34 ± 2.54 c	33.28 ± 0.52 b	27.45 ± 0.61 bc	37.54 ± 0.68 b
	SC8	214.27 ± 1.07 c	29.95 ± 0.35 c	32.22 ± 0.99 a	40.09 ± 0.25 a
	GR4	238.70 ± 1.30 b	33.85 ± 0.15 b	27.25 ± 0.24 bc	34.69 ± 0.18 c
	XX048	256.17 ± 5.04 a	34.30 ± 0.10 b	31.19 ± 1.33 a	40.08 ± 0.54 a
	平均 Average	232.12	32.85	29.53	38.10
伞型 Umbrella type	SC9	241.14 ± 4.47 b	30.74 ± 0.56 c	29.17 ± 1.58 b	34.39 ± 0.74 c
	SC12	254.04 ± 0.63 a	37.03 ± 0.88 a	25.69 ± 1.26 c	40.72 ± 0.36 a
	平均 Average	247.59*	33.89 <sup>NS</sup>	27.43 <sup>NS</sup>	37.56 <sup>NS</sup>

注 (Note): 同列数据后不同字母表示品种间差异达到 5% 显著水平 Values followed by different letters in a column mean significant difference among cultivars at the 5% level; \*\*— $P < 0.01$ , \*— $P < 0.05$ , NS—不显著 Not significant.



配比例分别为 86.76%、58.53%、41.14% 和 37.25%，而伞型品种分别为 83.17%、63.30%、51.90% 和 48.10%。黄巧义等<sup>[11]</sup>研究还发现，分枝早且多、茎叶生长旺盛的大株型品种 (SC5) 物质累积速率大于小株型品种 (SC205)。本研究发现，伞型品种 SC12 在苗期和根块生长前期生长较快，紧凑型品种 SC8 和 GR4 分别在生长中、后期生长较快，紧凑型品种 XX048 在整个生育时期都生长较快。可见，不同株型木薯品种在不同生育期的生长势不同。总体看来，紧凑型品种顶端分叉少，块根膨大期向块根转移的干物质比例高，具有较高的收获指数，而伞型品种顶端有分叉，块根膨大期向块根转移的干物质比例低，具有较低的收获指数。通径分析表明，块根生长后期的干物质生产量对总量的贡献最大。在本试验条件下，块根生长后期干物质生产量、生物产量与鲜薯产量呈极显著正相关 ( $r = 0.8694^{**}$ 、 $0.8556^{**}$ )，而苗期、块根生长前期和中期的干物质生产量与鲜薯产量无显著相关性。

### 3.2 不同株型木薯品种的氮素积累及利用特征

氮素是植物生长发育过程中必需的大量元素之一，是植物生产中的主要限制因子，植物体内的氮素水平能够影响植物的生理生化过程及生长发育。高志红等<sup>[24]</sup>研究认为，适当比例的氮磷钾肥配合施用能显著增加木薯植株的氮含量和积累量，且氮素在木薯种植后 6 个月内持续积累，结薯初期达最高峰，随后积累量持续下降，积累动态呈倒“V”形。本研究发现，随着木薯生育时期的推进，叶片氮素的分配比例随之下降，块根和茎秆氮素的分配比例随之提高。随着木薯生育期的推进，地上部氮素分配比例逐步下降，紧凑型品种在 4 个生育期地上部氮素分配比例分别为 92.61%、85.44%、69.39% 和 65.89%，而伞型品种分别为 90.34%、86.63%、78.00% 和 75.02%。块根形成初期，紧凑型品种地上部的氮素分配比例高于伞型品种，而块根膨大期，紧凑型品种地上部氮素分配比例低于伞型品种。有研究表明<sup>[25]</sup>，不同施肥组合条件下，100 kg 鲜薯需氮量为 0.75~1.11 kg，平均氮素收获指数为 0.25~0.41。本研究发现，紧凑型品种的氮素收获指数为 0.34，100 kg 鲜薯需氮量为 0.56 kg，伞型品种的氮素收获指数为 0.25，100 kg 鲜薯需氮量为 0.77 kg。还有研究表明，施氮能显著增加木薯根茎叶等组织的氮含量和氮积累量，提高氮素吸收强度，并改变氮素养分的分配特性<sup>[26]</sup>。施肥与耕作技术能提高木薯植株养分积累量及块根中的养分分配比例<sup>[27]</sup>。本研究

表明，块根形成初期和膨大初期，氮素分配比例均为叶片 > 茎秆 > 块根，而块根膨大中期和成熟期，氮素分配比例均为叶片 > 块根 > 茎秆。可见，在本试验条件下，木薯叶片的氮素分配比例一直较高，而块根氮素分配比例在后期逐步提高。还有研究表明<sup>[28]</sup>，高密度条件下先玉 335 (XY335) 玉米品种表现出明显较高的物质积累能力、花后物质运转效率及氮素利用效率，在春播条件下具有明显的高氮高效的品种特征。本研究表明，紧凑型品种氮素利用效率较高，而 100 kg 鲜薯需氮量较低，属于氮素高效型品种；伞型品种 100 kg 鲜薯需氮量较高，而氮素利用效率、氮肥偏生产力和氮素收获指数偏低，属于氮素低效型品种。康亮等<sup>[29]</sup>研究认为，氮高效品种根系对硝态氮的亲合力几乎是氮低效品种的两倍，在氮素胁迫条件下，氮高效品种可形成优于氮低效品种的根系构型。在木薯北移种植区江西，紧凑型品种的分叉少或顶端少量分叉，株型紧凑，地上部和地下部生长协调，氮素养分利用效率和氮素收获指数较高，而伞型品种分叉或多级分叉，株型结构差，地上部茎叶生长旺盛，造成氮素利用效率和氮素收获指数偏低。因此，在生产中，要根据木薯的生长发育特性进行田间管理，通过整理分枝分叉合理控制木薯地上部茎叶生长。

## 4 结论

随着木薯生育时期的推进，叶片的干物质分配比例随之下降，块根的干物质分配比例随之提高，而茎秆的干物质分配比例相对稳定。在块根形成初期，紧凑型品种地上部的干物质和氮素分配比例高于伞型品种，而在块根整个膨大期紧凑型品种地下部的干物质和氮素分配比例高于伞型品种。在木薯北移区域 (江西)，紧凑型品种的氮素利用效率、氮素收获指数、氮肥偏生产力和产量较高，100 kg 鲜薯需氮量较低。伞型品种的 100 kg 鲜薯需氮量较高，产量、氮素利用效率、氮肥偏生产力和氮素收获指数偏低。在实际生产中，宜选择有利于高产和氮高效利用的株型紧凑的木薯品种。

### 参 考 文 献:

- [1] 刘倩, 刘光华, 宋记明, 等. 6 个木薯品种在云南不同地区的适应性研究初报[J]. 西部林业科学, 2018, 47(1): 39-46.  
Liu Q, Liu G H, Song J M, et al. Preliminary study on adaptability of 6 manihot esculenta varieties in different regions of Yunnan[J]. Journal of West China Forestry Science, 2018, 47(1): 39-46.
- [2] 袁展汽, 林洪鑫, 古碧, 等. 北移江西种植的木薯品种鲜薯产量及淀

- 粉品质差异研究[J]. *热带作物学报*, 2011, 32(11): 2007–2011.
- Yuan Z Q, Lin H X, Gu B, *et al.* Yield and starch quality of cassava cultivars planted in Jiangxi Province[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2011, 32(11): 2007–2011.
- [3] 林洪鑫, 袁展汽, 刘仁根, 等. 灰色系统理论在木薯引种评价上的应用[J]. *中国农学通报*, 2014, 30(33): 94–100.
- Lin H X, Yuan Z Q, Liu R G, *et al.* Evaluation on cassava varieties with grey system theory[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2014, 30(33): 94–100.
- [4] 欧珍贵, 杨龙, 罗春芳, 等. 15 个木薯品种 (材料) 比较试验研究[J]. *江西农业学报*, 2017, 29(12): 14–18.
- Ou Z G, Yang L, Luo C F, *et al.* Comparative tests for 15 cassava varieties (materials)[J]. *Acta Agricultura Jiangxi*, 2017, 29(12): 14–18.
- [5] 张福锁, 米国华, 刘建安. 玉米氮效率遗传改良及其应用[J]. *农业生物技术学报*, 1997, 2(5): 112–117.
- Zhang F S, Mi G H, Liu J A. Advances in the genetic improvement of nitrogen efficiency in maize[J]. *Journal of Agricultural Biotechnology*, 1997, 2(5): 112–117.
- [6] 马国胜, 薛吉全, 路海东, 等. 密度对不同类型饲用玉米光合产物积累与转运的影响[J]. *华北农学报*, 2006, 21(3): 46–50.
- Ma G S, Xue J Q, Lu H D, *et al.* Effect of density on accumulation and transformation of photosynthesis product of different type forage corn[J]. *Acta Agricultura Boreali-Sinica*, 2006, 21(3): 46–50.
- [7] 叶东靖, 高强, 何文天, 等. 施氮对春玉米氮素利用及农田氮素平衡的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2010, 16(3): 552–558.
- Ye D J, Gao Q, He W T, *et al.* Effect of N application on N utilization and N balance in spring maize[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2010, 16(3): 552–558.
- [8] 王玲敏, 叶优良, 陈范骏, 等. 施氮对不同品种玉米产量、氮效率的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2012, 20(5): 529–535.
- Wang L M, Ye Y L, Chen F J, *et al.* Effect of nitrogen fertilization on maize yield and nitrogen efficiency of different maize varieties[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2012, 20(5): 529–535.
- [9] 周江明, 赵琳, 董越勇, 等. 氮肥和栽植密度对水稻产量及氮肥利用率的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2010, 16(2): 274–281.
- Zhou J M, Zhao L, Dong Y Y, *et al.* Nitrogen and transplanting density interactions on the rice yield and N use rate[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2010, 16(2): 274–281.
- [10] 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): 1156–1164.
- Huang Q Y, Tang S H, Chen J S, *et al.* Cassava nutritive characteristics of NPK and effect of fertilizer application[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2014, 22(10): 1156–1164.
- [11] 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.
- Huang Q Y, Tang S H, Chen J S, *et al.* Characteristics of dry matter accumulation and effect of fertilizer application in cassava[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2013, 39(1): 126–132.
- [12] 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.
- Tan H W, Zhou L Q, Xie R L, *et al.* Fertilization effects and nutrient absorption characteristics of nitrogen, phosphorus, potassium, magnesium, zinc, and boron on cassava[J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2013, 44(1): 81–86.
- [13] 林洪鑫, 刘仁根, 袁展汽, 等. 北移区木薯品种产量特征的相关分析[J]. *江西农业学报*, 2016, 28(12): 1–7.
- Lin H X, Liu R G, Yuan Z Q, *et al.* Correlation analysis of yield characteristics of cassava varieties planted in Jiangxi Province[J]. *Acta Agricultura Jiangxi*, 2016, 28(12): 1–7.
- [14] 林洪鑫, 袁展汽, 刘仁根, 等. 江西红壤旱地木薯农艺性状与产量的关系初步研究[J]. *中国农学通报*, 2011, 27(27): 204–208.
- Lin H X, Yuan Z Q, Liu R G, *et al.* Preliminary study on the relationship of cassava agronomic characters with yield in red soils upland of Jiangxi Province[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27(27): 204–208.
- [15] 黄堂伟, 罗兴录, 单忠英, 等. 不同木薯品种生理特性及产量比较研究[J]. *江苏农业科学*, 2018, 46(8): 64–69.
- Huang T W, Luo X L, Shan Z Y, *et al.* Comparative study on physiological characteristics and yield of different cassava varieties[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2018, 46(8): 64–69.
- [16] 叶剑秋, 黄洁, 陈丽珍, 等. 木薯新品种华南 8 号的选育[J]. *热带作物学报*, 2006, 27(4): 19–24.
- Ye J Q, Huang J, Chen L Z, *et al.* Breeding of a new cassava variety SC8[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2006, 27(4): 19–24.
- [17] 黄洁, 单荣芝, 李开绵, 等. 优质鲜食木薯新品种华南 9 号[J]. *中国热带农业*, 2006, (5): 47–48.
- Huang J, Shan R Z, Li K M, *et al.* New high-quality fresh tapioca variety SC9[J]. *China Tropical Agriculture*, 2006, (5): 47–48.
- [18] 叶剑秋, 黄洁, 陈松笔, 等. 木薯新品种华南 12 号的选育[J]. *热带作物学报*, 2014, 35(11): 2121–2128.
- Ye J Q, Huang J, Chen S B, *et al.* Breeding of a new cassava cultivar SC No.12[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2014, 35(11): 2121–2128.
- [19] 李军, 田益农, 盘欢, 等. 木薯品种桂热 4 号的选育及栽培要点[J]. *南方农业学报*, 2014, 45(7): 1183–1187.
- Li J, Tian Y N, Pan H, *et al.* Breeding of a new cassava variety GR4 and its cultivation technologies[J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2014, 45(7): 1183–1187.
- [20] 罗兴录. 木薯新品种新选 048 选育与应用[J]. *中国农学通报*, 2009, 25(24): 501–505.
- Luo X L. Report on applying and breeding of new cassava cultivar Xinxuan 048[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2009, 25(24): 501–505.
- [21] El-Sharkawy M A. Cassava biology and physiology[J]. *Plant Molecular Biology*, 2004, 56: 481–501.
- [22] Olaleye A O, Akinyemi S O, Tijani-Eniola H, *et al.* Influence of potassium fertilizer on yield of plantain intercropped with cassava on an oxic paleustalf in southwestern Nigeria[J]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2006, 37(7–8): 925–938.
- [23] 蒋强, 康亮, 张晓, 等. 不同施氮水平对木薯源库关系的影响[J]. *西南农业学报*, 2016, 29(9): 2162–2166.
- Jiang Q, Kang L, Zhang X, *et al.* Effects of nitrogen level on source-sink relationship of cassava[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2016, 29(9): 2162–2166.
- [24] 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): 1637–1645.
- Gao Z H, Chen X Y, Lin C H, *et al.* Effect of fertilizer application rates on cassava N, P, K accumulations and allocation and yield in sloping lands of north Guangdong[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2011, 44(8): 1637–1645.
- [25] 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): 1457–1465.
- Lin H X, Yuan Z Q, Liu R G, *et al.* Effects of different N, P and K treatments on yield, nutrient accumulation and utilization and economic benefit of cassava[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2012, 18(6): 1457–1465.
- [26] 刘备, 孙海东, 吴炳孙, 等. 施氮量对木薯氮素营养特性及产量形成的影响[J]. *热带作物学报*, 2016, 37(7): 1254–1260.
- Liu B, Sun H D, Wu B S, *et al.* Effects of nitrogen application on nitrogen nutrition characteristics and yield formation in cassava[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2016, 37(7): 1254–1260.
- [27] 韦彩会, 何永群, 李婷婷, 等. 施肥与耕作技术集成对木薯养分积累、分配及淀粉含量的影响[J]. *南方农业学报*, 2016, 47(5): 632–637.
- Wei C H, He Y Q, Li T T, *et al.* Effects of fertilization tillage technology integration on nutrient accumulation and distribution, and starch content of cassava[J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2016, 47(5): 632–637.
- [28] 周培禄, 任红, 齐华, 等. 氮肥用量对两种不同类型玉米杂交种物质生产及氮素利用的影响[J]. *作物学报*, 2017, 43(2): 263–276.
- Zhou P L, Ren H, Qi H, *et al.* Effects of nitrogen application rates on dry matter productivity and nitrogen utilization of different type maize hybrids[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2017, 43(2): 263–276.
- [29] 康亮, 梁琼月, 姚一华, 等. 不同氮效率木薯品种根系形态、构型及氮吸收动力学特征[J]. *植物营养与肥料学报*, 2019, 25(11): 1920–1928.
- Kang L, Liang Q Y, Yao Y H, *et al.* Root morphology, configuration and nitrogen absorption kinetics of cassava cultivars with different nitrogen efficiencies[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2019, 25(11): 1920–1928.