

网络出版时间:2022-09-06 13:30 DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2023.03.004
网络出版地址:https://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20220905.1754.001.html

行距配置对木薯薯块产量及薯构型的影响

魏云霞¹, 韦卓文¹, 黄 洁¹, 王 娟¹, 李 天¹, 何冯光²

(1 中国热带农业科学院 热带作物品种资源研究所/农业农村部木薯种质资源保护与利用重点实验室, 海南 海口 571101;
2 中国热带农业科学院 农业机械研究所, 广东 湛江 524091)

【摘 要】【目的】研究不同行距配置对木薯产量、品质及薯构型的影响, 优化木薯机械化种植与收获模式的农艺农机参数。【方法】以我国主栽的机械化木薯品种华南 205(SC205)为材料, 采用田间试验, 平地模拟机械化种植模式, 设等行距(0.8+0.8) m(CK)及宽窄行(1.0+0.5) m(T1)、(1.0+0.6) m(T2)、(1.0+0.7) m(T3)、(1.2+0.4) m(T4)、(1.2+0.5) m(T5)、(1.2+0.6) m(T6)共 7 种行距配置, 于收获期测定薯块产量、薯块可溶性糖和淀粉含量、薯块性状及薯构型。【结果】1) 两年中, T6 木薯鲜薯产量、薯干产量均最高, 较 T1 显著增产 19.19%~24.89% 和 19.61%~30.56%。2) T6 木薯块根的可溶性糖和淀粉积累量均处于较高水平, 较 T1 分别明显提高 21.38%~31.38% 和 27.67%~31.51%。3) 两年中, T1 垂直行向半幅宽均最窄, 为 19.72~20.50 cm, 且薯长均最短, 为 13.01~14.57 cm。4) 当收获单株的垂直行向半幅宽为 30.0 cm、深度为 25.0 cm 时, 所有处理均可收获 98.50% 以上的鲜薯产量, 其中 T6 收获的鲜薯产量最高, 达 41.79 t/hm², 收获比例为 99.42%。【结论】在木薯品种 SC205 平地机械化种植模式中, 推荐(1.2+0.6) m 的宽窄行配置, 收获机在窄行间的双行作业幅宽为 120.0 cm、深度为 25.0 cm。

【关键词】 木薯; 行距配置; 薯块产量; 薯构型; 农艺农机参数

【中图分类号】 S533

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2023)03-0029-10

Influence of row spacing on cassava storage root yield and configuration

WEI Yunxia¹, WEI Zhuowen¹, HUANG Jie¹, WANG Juan¹,
LI Tian¹, HE Fengguang²

(1 Tropical Crops Genetic Resources Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences/Key Laboratory of Conservation and Utilization of Cassava Genetic Resources, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Haikou, Hainan 571101, China;
2 Agricultural Machinery Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Zhanjiang, Guangdong 524091, China)

Abstract: 【Objective】Effects of different row spacings on cassava storage root yield, quality, storage root character, and storage root configuration (SRC) were studied to obtain optimal parameters for mechanized planting and harvesting mode. 【Method】Variety SC205, widely cultivated across South China and appropriate for mechanization, was used as the test material. A flat field experiment with seven row spacings of equal row spacing (0.8+0.8) m (CK), wide-narrow spacing (1.0+0.5) m (T1), (1.0+0.6) m (T2), (1.0+0.7) m (T3), (1.2+0.4) m (T4), (1.2+0.5) m (T5), and (1.2+0.6) m (T6) was conducted. The storage root yield, contents of root soluble sugar and starch, characteristics and configuration of fresh tubers were determined at harvest stage. 【Result】1) Within 2 years, fresh root yield (FRY) and dry root yield (DRY) of T6 were the highest, and the difference between T6 and T1 was significant. Compared with

【收稿日期】 2022-01-20

【基金项目】 财政部和农业农村部国家现代农业产业技术体系项目(CARS-11-hnhj); 国家重点研发计划专项(2020YFD1000600)

【作者简介】 魏云霞(1989—), 女, 河南淅川人, 助理研究员, 硕士, 主要从事木薯栽培研究。E-mail: mydearxiaowei@126.com

【通信作者】 黄 洁(1966—), 男, 广东遂溪人, 研究员, 硕士生导师, 主要从事木薯高产栽培技术研究。E-mail: hnhjcn@163.com

T1, T6 significantly increased FRY and DRY by 19.19%—24.89% and 19.61%—30.56%, respectively. 2) Compared to T1, soluble sugar and starch accumulation in the storage root of T6 were significantly increased by 21.38%—31.38% and 27.67%—31.51%, respectively. 3) Within 2 years, T1 had the narrowest half width across row direction and the shortest storage root length of 19.72—20.50 cm and 13.01—14.57 cm, respectively. 4) When the harvesting half width across row direction per plant was 30.0 cm and the harvesting depth was 25.0 cm, more than 98.50% fresh storage root weight could be harvested in all treatments. T6 had the highest fresh root weight of 41.79 t/hm² with FRY of 99.42%. **【Conclusion】** The wide-narrow spacing (1.2+0.6) m model was recommended for mechanized planting of cassava variety of SC205 on flat field, and 120.0 cm harvesting width and 25.0 cm depth were suggested for double rows harvesting machine within narrow rows.

Key words: cassava; row spacing; storage root yield; storage root configuration; agronomic-machinery parameters

木薯为世界三大薯类作物之一,广泛用作粮食、饲料、工业原料^[1]。同时,木薯作为我国热区重要的淀粉、酒精和粮饲作物,在“一带一路”的东南亚、非洲等国家具有重要的科技支撑作用^[2]。目前我国木薯生产主要依靠人工作业,机械化程度低,人工费占总成本的 64.7%以上,其中收获环节人工费占总人工成本比例高达 45.5%~62.3%^[3-4],生产成本低、效率低、效益低,已成为木薯产业发展的瓶颈。在当前生产水平下,要提高木薯生产效率及经济效益,必须提高机械化程度,尤其是收获、种植环节^[3-4]。农艺农机结合是发展机械化的基础,利于木薯机械的设计、优化^[5]。木薯块根的形态及空间分布特征是影响收获机工作性能的重要因素之一,是木薯收获机块根拔起机构的设计基础和重要依据^[6-8]。目前国内关于木薯机械研制、设计的理论研究较多^[9-11],但农艺与农机融合,特别是针对农艺参数的研究尚且不足。

实际生产中,木薯主要采用等行距、宽窄行等栽培模式,尤以等行距 0.7 m~1.0 m 居多^[9-10]。行距配置直接影响作物群体冠层结构、光能利用、库容、物质积累等,对作物产量具有重要的调节作用^[11-12]。黄洁等^[13]指出,木薯的株行距为 0.6~0.8 m 有利于提高淀粉产量、鲜薯产量,而 1.2~1.4 m 有利于提高单株薯数、单株鲜薯质量。王玉梅等^[9]建议海南省木薯栽培宜采用(1.0+0.8) m 的宽窄行种植。张林辉等^[14]则针对不同株型的木薯品种,推荐 0.8~1.2 m 的行距配置。随着机械化发展的需求,近年来我国研发了多种木薯作业机械,主要以 66.2 kW 轮式拖拉机为牵引动力,但是作业机组与木薯种植行距不匹配,以致拖拉机收获作业时因行走轮碾压木薯行造成的块根损失率高达 17%^[15],现虽已

有一定的改进,仍需进一步优化。本研究针对我国主栽机械化木薯品种华南 205(SC205),开展平地不同行距配置的薯构型研究,旨在探索高产高效、宜机械化作业的种植模式及其相匹配的种植、收获参数,以期促进农艺农机融合,加快木薯机械化的推广应用,提升木薯生产效率和效益。

1 材料与方法

1.1 试验地概况和试验材料

试验于 2017 年 3 月至 2018 年 12 月,在海南省儋州市中国热带农业科学院试验场六坡基地进行。试验地土壤为花岗岩风化物母质发育的砖红壤,土壤质地为黏质壤土,耕层厚度 19 cm,耕层土壤基本理化性质为:pH 5.24,有机质含量 20.15 g/kg,全氮含量 0.86 g/kg,全磷含量 0.16 g/kg,全钾含量 6.57 g/kg,碱解氮含量 89.25 mg/kg,速效磷含量 38.16 mg/kg,速效钾含量 98.50 mg/kg。

供试木薯品种为华南 205(SC205),由中国热带农业科学院选育,国内主栽机械化品种之一,植株直立,不分枝或极少高位分枝。

1.2 试验设计

试验采用随机区组设计,设 7 种行距配置,分别为等行距(0.8+0.8) m(CK)以及宽窄行(1.0+0.5) m(T1)、(1.0+0.6) m(T2)、(1.0+0.7) m(T3)、(1.2+0.4) m(T4)、(1.2+0.5) m(T5)、(1.2+0.6) m(T6),3 次重复;株距均为 0.8 m。种植时间分别为 2017-03-22、2018-03-23,收获时间分别为 2018-01-10、2018-12-27。种植前,选取芽眼健康、长 20 cm 的种茎,行向为东西向,平放种植,种植深度 8.0 cm。每小区种植 6 行木薯,每行 6 株。种植后 60 d 间苗,每株留 2 条主茎。试验各处理均不

施肥。

1.3 测定项目及方法

参考苏必孟等^[16]、魏云霞等^[17]的薯构型测量指标调查方法,在 2 个试验年份的木薯收获期,各小区选取 8 株木薯,距离植株>50.0 cm 的外围,先挖开表土和外围泥土,再慢慢刨土,尽量不伤及薯块,直至裸露出完整的薯构型,调查其行向半幅宽、垂直行向半幅宽、薯长、薯径,同时参考黄洁等^[18]的方法,调查单株结薯数、单株鲜薯质量、薯干产量;2018-12-27 木薯收获期,增加调查其中 4 株木薯不同垂直行向半幅宽的薯数和鲜薯质量,以及 4 株木薯不同层深的薯数、鲜薯质量。同时,称量各小区 16 株木薯的鲜薯质量、茎叶鲜质量,将样品分别切碎或擦丝,用四分法保留 400 g 鲜样,称鲜质量,烘干称干质量;薯块样品称取干质量后粉碎、过筛,蒽酮比色法测定薯块可溶性糖和淀粉含量^[19]。

薯构型测量指标及方法如下。

薯尖:薯块尾部直径 1.0 cm 处。为统一标准,并避免模糊的测量概念,剔除薯块尾部的尖细部分以及纤维根等无效部分。

薯长(cm):薯柄至薯尖的长度。薯柄明显,则从薯柄与薯肉交界处为始;薯柄不明显,则从种茎与薯肉交界处为始。

薯径(mm):薯块最粗部位的直径。

行向半幅宽(cm):薯尖与种茎中点之间,在行向上的最大水平长度,分前半幅和后半幅,求平均值。

垂直行向半幅宽(cm):薯尖与种茎中心线之间,垂直于行向的最大水平宽度,分左半幅和右半幅,求平均值。

不同垂直行向半幅宽的薯数和鲜薯质量:沿种茎中心线分别至种茎左、右两侧(即种植行两侧)薯尖的最大垂直水平宽度,划分为 0~25.0,25.1~30.0,30.1~35.0,≥35.1 cm 共 4 个范围,统计每株木薯位于不同范围内的薯尖数,记为不同垂直行向半幅宽范围的薯数,按不同范围立体切分薯块后,称其不同范围内的鲜质量,分别计算各范围内的薯数占比、鲜薯质量占比和鲜薯产量。各范围薯数占比=相应范围内的薯数/4 个范围内的薯数总和×100%;各范围鲜薯质量占比=相应范围内的鲜薯质量/4 个范围内的鲜薯质量总和×100%;各范围鲜薯产量=鲜薯产量×相应范围内的鲜薯质量占比。

不同垂直深度的薯数和鲜薯质量:从地面至薯尖水平面的垂直深度,划分为 0~20.0,20.1~25.0,25.1~30.0,≥30.1 cm 共 4 个范围,统计每

株木薯位于不同垂直深度的薯尖数,记为不同垂直深度的薯数,逐层立体切分薯块后,称其不同范围内的鲜薯质量,分别计算各范围内的薯数占比、鲜薯质量占比和鲜薯产量。

其他测量指标及方法如下。

单株结薯数:木薯收获期,调查每株木薯薯径大于 3 cm 的薯数。

单条薯鲜质量=单株鲜薯质量/单株结薯数。

鲜薯产量:各小区除保护行植株外的 16 株木薯总鲜薯质量,换算成单位面积的鲜薯产量。

薯干产量=鲜薯产量×(158.3×鲜薯在空气中的质量/(鲜薯在空气中的质量-鲜薯在水中的质量)-142.0)。

经济系数=鲜薯产量/(鲜薯产量+茎叶鲜质量)。

收获机双行作业宽度=推荐收获的单株垂直行向半幅宽×2+窄行行距。

1.4 数据分析

采用 Excel 2013 软件计算数据,SPSS 20.0 软件统计分析,AI、CAD、Originpro8 软件绘图,LSD 法检验 $P<0.05$ 水平上的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 行距配置对木薯鲜薯产量及其构成的影响

由表 1 可见,两年木薯鲜薯产量、薯干产量均表现为 T6 最高,且显著高于 T1,2017 年 T6 的鲜薯和薯干产量较 T1 显著增产 24.89%和 30.56%,2018 年显著增产 19.19%和 19.61%;其他处理间差异不显著。两年木薯茎叶鲜质量为 T1、CK 较高,T5 最低,且 2017 年茎叶鲜质量表现为 T1、CK、T4 显著高于 T5。从产量构成看,T6 有利于提高木薯单株结薯数,其中 2017 年 T6 结薯数显著高于 T1,2018 年 T6 结薯数显著高于其余处理;2017 年 T6 单条薯鲜质量显著高于 T1。T6 木薯经济系数最高,2017 年显著高于 CK、T1,2018 年显著高于 T1。

2.2 行距配置对木薯薯块品质的影响

由表 2 可以看出,各处理两年木薯薯块可溶性糖含量无显著差异。木薯薯块淀粉含量在 2017 年表现为 T3 最高,较其他处理提高 1.96%~6.82%,显著高于 T1、T5、T6;2018 年各处理间无显著差异。木薯薯块可溶性糖积累量 2017 年表现为 T6 显著高于 T1,2018 年则表现为 T2 显著高于 T1;木薯薯块淀粉积累量 2017 年表现为 T6 显著高于 T1、T2、T5,2018 年则表现为 T2、T3、T6、T4 显著高于

T1;2017 年 T6 的可溶性糖积累量和淀粉积累量较 高 21.38%和 27.67%。
T1 显著提高 31.38%和 31.51%,2018 年较 T1 提

表 1 行距配置对木薯产量及产量构成的影响

Table 1 Effects of different row spacings on fresh root yield and yield components							
年份 Year	处理 Treatment	产量/(t·hm ⁻²) Yield		产量构成 Yield components		茎叶鲜质量/ (t·hm ⁻²) Fresh stem and leaf yield	经济系数 Economic coefficient
		鲜薯 Fresh root	薯干 Dry root	单株结薯数 Roots per plant	单条薯鲜质量/g Fresh weight per root		
2017	CK	48.78 ab	17.42 ab	13.05 ab	271.40 ab	50.09 a	0.49 b
	T1	44.18 b	15.24 b	11.54 b	234.73 b	51.42 a	0.46 c
	T2	47.42 ab	16.25 b	12.63 ab	257.04 ab	45.32 ab	0.51ab
	T3	51.17 ab	17.49 ab	12.76 ab	284.82 ab	46.56 ab	0.52 ab
	T4	51.64 ab	18.07 ab	12.46 ab	275.84 ab	48.06 a	0.52 ab
	T5	47.39 ab	16.28 b	12.61 ab	288.24 a	38.86 b	0.55 a
2018	T6	55.17 a	19.90 a	13.71 a	296.10 a	43.89 ab	0.56 a
	CK	40.61 ab	15.38 ab	11.88 b	219.60 a	32.74 a	0.55 ab
	T1	35.27 b	14.97 b	11.04 b	198.81 a	32.62 a	0.52 b
	T2	40.59 ab	17.57 ab	11.96 b	240.88 a	29.74 a	0.58 a
	T3	38.92 ab	16.41 ab	11.50 b	253.58 a	30.66 a	0.56 a
	T4	40.92 ab	17.19 ab	10.67 b	248.03 a	29.69 a	0.58 a
	T5	36.67 ab	15.52 ab	11.38 b	239.30 a	27.67 a	0.57 a
	T6	42.04 a	17.90 a	13.42 a	227.82 a	29.10 a	0.59 a

注:同列数据后标不同小写字母表示差异达到 $P<0.05$ 显著水平。CK. (0.8+0.8) m;T1. (1.0+0.5) m;T2. (1.0+0.6) m;T3. (1.0+0.7) m;T4. (1.2+0.4) m;T5. (1.2+0.5) m;T6. (1.2+0.6) m。下同。
Note:Different lowercase letters mean significant difference at the $P<0.05$ probability level. CK. (0.8+0.8) m;T1. (1.0+0.5) m;T2. (1.0+0.6) m;T3. (1.0+0.7) m;T4. (1.2+0.4) m;T5. (1.2+0.5) m;T6. (1.2+0.6) m. The same below.

表 2 行距配置对木薯薯块品质的影响

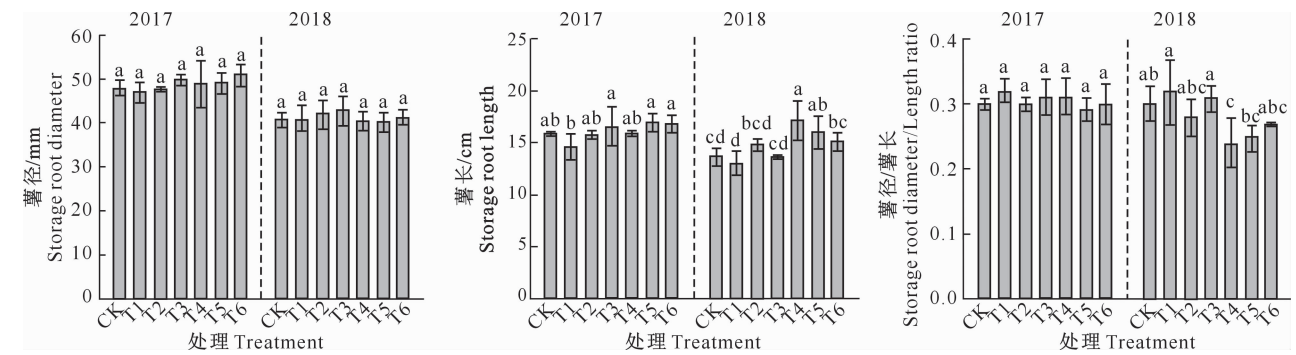
Table 2 Effects of different row spacings on quality of cassava storage root					
年份 Year	处理 Treatment	含量/% Content		积累量/(t·hm ⁻²) Accumulation	
		可溶性糖 Soluble sugars	淀粉 Starch	可溶性糖 Soluble sugars	淀粉 Starch
2017	CK	5.49 a	76.33 ab	0.95 ab	13.30 abc
	T1	5.79 a	74.19 b	0.89 b	11.28 c
	T2	5.94 a	77.31 ab	0.97 ab	12.56 bc
	T3	5.55 a	78.83 a	0.96 ab	13.79 ab
	T4	5.73 a	76.82 ab	1.03 ab	13.89 ab
	T5	6.07 a	73.80 b	0.99 ab	12.01 bc
2018	T6	5.83 a	74.59 b	1.16 a	14.84 a
	CK	3.28 a	52.81 a	0.51 ab	8.08 ab
	T1	3.27 a	47.33 a	0.49 b	7.01 b
	T2	3.89 a	51.92 a	0.67 a	9.05 a
	T3	3.90 a	54.43 a	0.63 ab	8.96 a
	T4	3.30 a	50.84 a	0.56 ab	8.74 a
	T5	3.32 a	49.91 a	0.51 ab	7.74 ab
	T6	3.35 a	49.96 a	0.59 ab	8.95 a

2.3 行距配置对木薯薯块性状的影响

由图 1 可知,两年中,各处理木薯薯块的薯径、薯长、薯径/薯长值分别为 40.27~51.02 mm、13.01~16.97 cm、0.24~0.32;各处理薯径无显著差异;薯长均以 T1 最短,为 13.01~14.57 cm,显著短于大部分处理;薯径/薯长值均以 T1 最大,在 2018 年显著大于 T4、T5 处理。

2.4 行距配置对木薯结薯半幅宽的影响

由图 2 可知,两年中,各处理行向半幅宽、垂直行向半幅宽分别为 22.50~27.51 cm、19.72~26.96 cm。2017 年各处理行向半幅宽无显著差异,2018 年表现为 T3、T1 显著窄于 T4;两年中,T1 垂直行向半幅宽均最窄,为 19.72~20.50 cm。



图柱上标不同小写字母表示差异达 $P<0.05$ 显著水平。下同

Different lowercase letters mean significant difference at the $P<0.05$ probability level. The same below

图 1 行距配置对木薯薯块性状的影响

Fig. 1 Effects of different row spacings on characters of cassava storage root

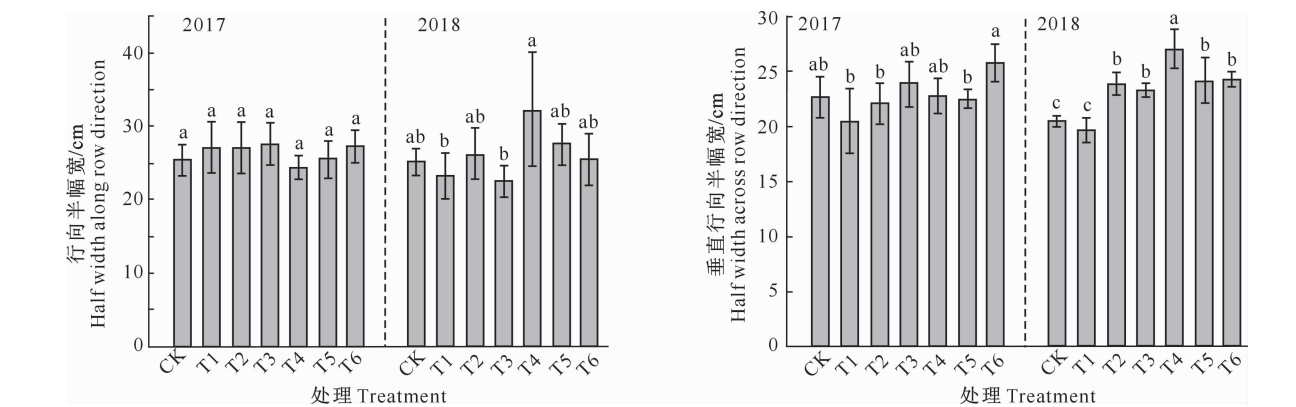


图 2 行距配置对木薯结薯半幅宽的影响

Fig. 2 Effects of different row spacings on half width of cassava storage root

2.5 行距配置对木薯结薯数和鲜薯产量分配的影响

2.5.1 垂直行向 由图 3 可知,各处理垂直行向的木薯薯数和鲜薯产量主要集中于 0~25.0 cm 半幅宽范围内,薯数占比、鲜薯质量占比及鲜薯产量分别为 89.33%~95.36%, 96.92%~99.21% 和 34.98~41.18 t/hm²。0~30.0 cm 垂直行向半幅宽范围内,各处理木薯薯数占比、鲜薯质量占比及鲜薯产量分别为 94.08%~99.36%, 98.61%~99.96% 和 35.26~41.82 t/hm²;各处理 0~30.0 cm 垂直行向半幅宽范围的薯数占比明显高于其在 0~25.0 cm 垂直行向半幅宽范围的薯数占比,可有效减少薯块损伤,其中 T6 薯数占比虽最低,但鲜薯质量占比达 99.44%,且收获的鲜薯产量最高,较其余处理提高 3.43%~18.61%。30.1~35.0 cm 和 ≥35.1 cm 垂直行向半幅宽范围内,各处理木薯薯数占比、鲜薯质量占比及鲜薯产量均极低,仅为 0.64%~5.92%, 0.04%~1.39% 和 0.01~0.55 t/hm²。

2.5.2 垂直深度 由图 4 可知,各处理垂直深度的

木薯薯数和鲜薯产量主要集中于 0~20.0 cm 内,薯数占比、鲜薯质量占比及鲜薯产量分别为 88.31%~94.21%, 97.27%~99.57% 和 34.37~41.50 t/hm²。0~25.0 cm 垂直深度范围内,各处理木薯薯数占比、鲜薯质量占比及鲜薯产量分别达 97.30%~100.00%, 98.62%~100.00% 和 34.82~42.03 t/hm²,较 0~20.0 cm 垂直深度明显提高薯数占比,可有效减少薯块损伤,其中 T6 鲜薯产量最高,较其余处理提高 2.82%~20.71%。25.1~30.0 cm 和 ≥30.1 cm 垂直深度范围内,各处理薯数占比、鲜薯质量占比及鲜薯产量均极低,仅为 0.00%~2.70%, 0.00%~1.38% 和 0.00~0.45 t/hm²。

综合考虑垂直行向(收获半幅宽)和垂直深度(收获深度)两个方向,当收获单株的垂直行向半幅宽为 30.0 cm、垂直深度为 25.0 cm 时,各处理木薯薯数占比、鲜薯质量占比及鲜薯产量分别为 93.06%~96.71%, 98.50%~99.72% 和 34.77~41.79 t/hm²;所有处理均可收获 98.50% 以上的鲜薯产量,其中 T6 收获的鲜薯产量最高,达 41.79 t/hm²,收获比例为 99.42%。

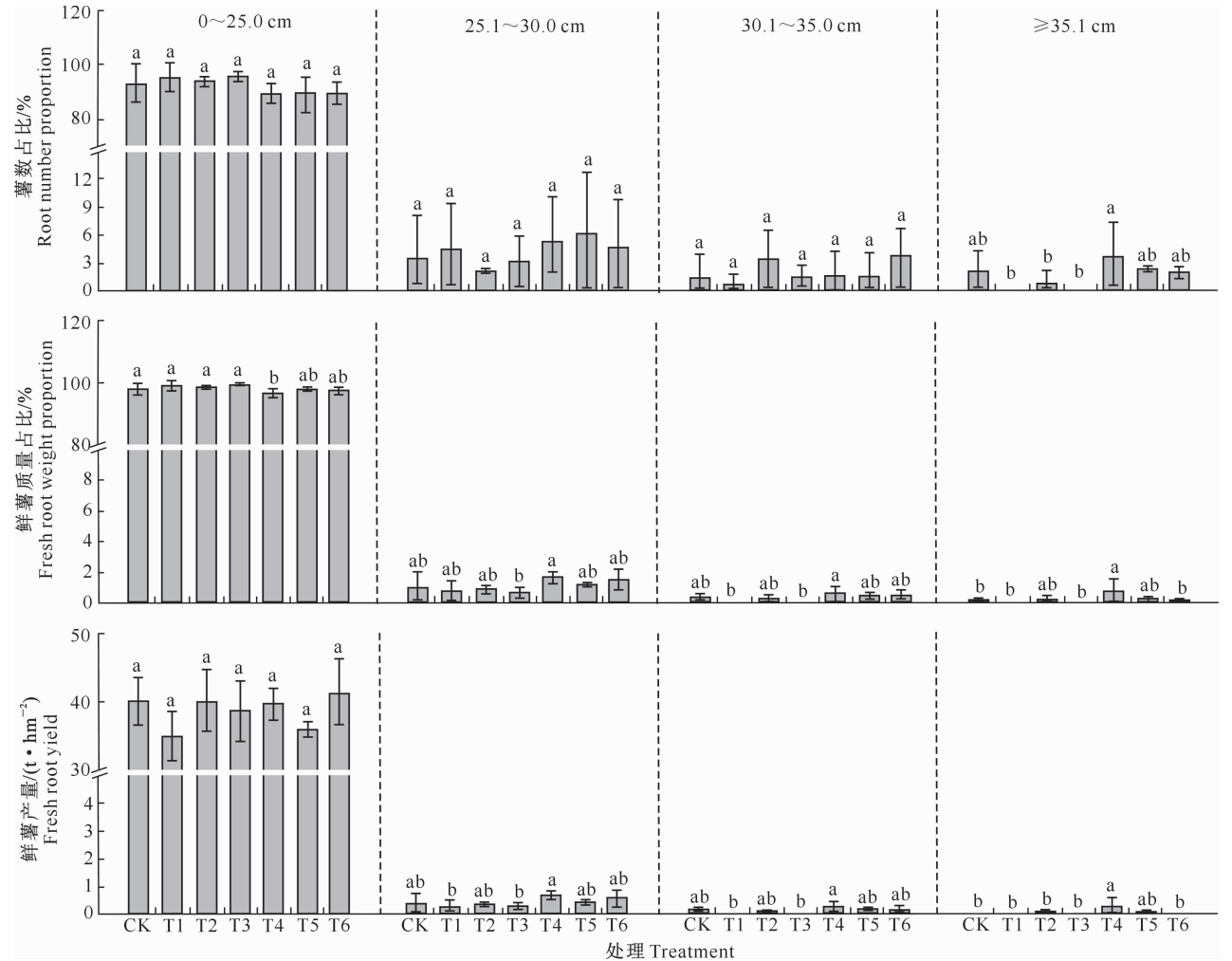


图 3 行距配置对垂直行向半幅宽薯数和鲜薯产量的影响(2018 年)

Fig. 3 Effects of different row spacings on root number and fresh root yield in different half width range across row direction (in 2018)

3 讨 论

3.1 不同行距配置对鲜薯产量及品质的影响

不同行距配置会影响作物的种植密度、群体结构、根系特性、微气候环境等,对作物产量潜力起到重要的调节作用^[11,20-21]。单作木薯鲜薯产量的最佳种植密度与品种、生育期等密切相关^[22-23]。黄洁等^[24]推荐我国木薯适宜种植密度为 10 000~20 000 株/hm²,李兆贵等^[25]指出华南 5 号木薯的适宜种植密度为 8 250~10 500 株/hm²,澳大利亚推荐木薯种植密度为 10 000 株/hm²^[21],Silva 等^[26]指出巴西阿拉卡斯主栽木薯品种获得最佳薯干产量的种植密度为 12 361 株/hm²。本研究中,CK、T1、T2、T3、T4、T5、T6 行距配置的种植密度分别为 15 625, 16 667, 15 625, 14 706, 15 625, 14 706 和 13 889 株/hm²,均高于前述研究的种植密度,其原因是本试验采用适宜机械化作业的直立紧凑型品种,且考虑到

拖拉机轮距局限在 1.8 m 内,则便于机械化作业的双行木薯行距总和应≤1.8 m。两年试验中,种植密度最小的 T6 鲜薯产量、薯干产量均显著高于种植密度最大的 T1,其中鲜薯增产 19.19%~24.89%;同时,T6 较其余处理增产鲜薯 2.72%~16.41%,未达差异显著水平;种植密度为 15 625 株/hm² 的 CK、T2、T4 及 14 706 株/hm² 的 T3、T5 间均无显著差异。这主要是由于,当作物的种植密度达到一定水平后,继续增加密度时群体优势<单株劣势,反而引起作物产量下降^[27]。此外,密植条件下的宽窄行种植有助于改善群体植株的冠层结构,提高叶片光合性能,从而增产,但密度过高增产效果不明显^[28]。对于宽行距一致,窄行距不断扩大的 T1、T2、T3 和 T4、T5、T6 两组处理,整体上,两组处理两年的鲜薯产量均无显著差异,但表现为 T1 较明显低于 T2、T3, T5 较明显低于 T4、T6,对于密度较高的 T1、T2、T3 处理,可能行距配置已不能起

到明显的效果,这种差异可能主要与种植密度有关^[27,29]。对于 T4、T5、T6,一方面与种植密度有关^[27];另一方面与行距配置有关,一定范围内较大的宽行与窄行行距差,更有利于发挥产量潜力^[29-30],

密度效应和行距效应二者相互协调,使得 T4、T6 均可获得较高的产量水平。木薯不同行距配置下的种植密度效应、行距效应的定量分析,还有待于进一步研究。

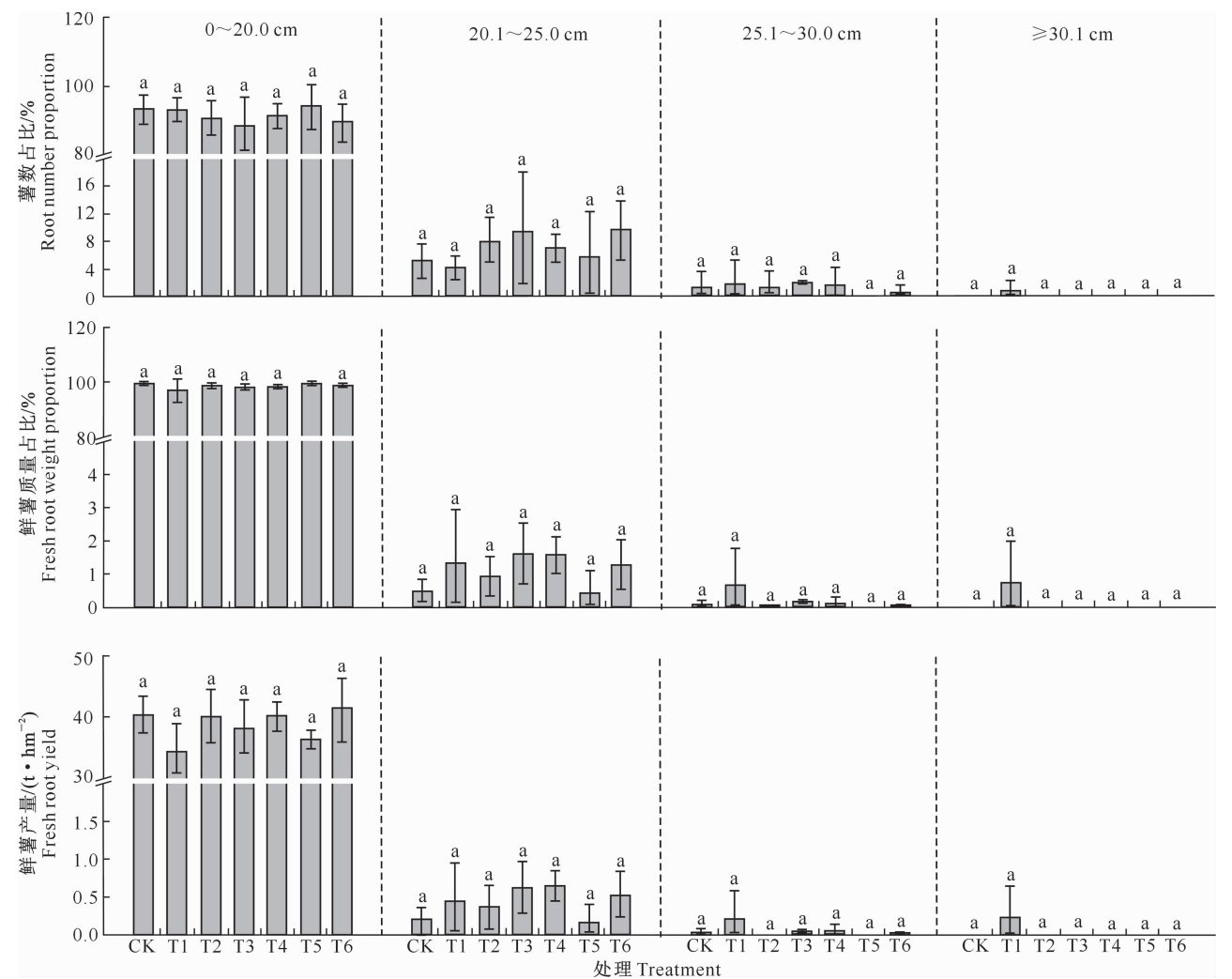


图 4 行距配置对垂直深度薯数和鲜薯产量的影响(2018 年)

Fig. 4 Effects of different row spacings on root number proportion and fresh root weight under different soil depth (in 2018)

前人大量的研究表明,较低的种植密度会增加单株结薯数,提高块根质量^[13,31],且随着种植密度的增加,木薯的经济系数降低^[23,26];董二伟等^[12]指出,宽行距结合适宜密度能提高高粱籽粒库容量,促进淀粉的累积。本研究中,种植密度最小的 T6 鲜薯产量最高,较其他处理有利于提高单株结薯数及经济系数,同时 T6 处理的单条薯鲜质量、薯径、薯长均处于较高水平;两年中,各处理块根的可溶性糖和淀粉含量均无显著差异,而 T6 处理块根的可溶性糖和淀粉积累量均处于较高水平,较 T1 分别明显提高 21.38%~31.38%,27.67%~31.51%,与前人研究结果^[12-13,26,31]较为一致。总之,综合分析本试验的鲜薯产量变化趋势,在机械化作业的固定

轮距参数内,采用宽窄行时,较窄的窄行距会减产,而适当扩大窄行距有利于增产,本研究推荐 T6 为 SC205 最优增产提质行距配置。今后有必要不断优化良种配良法的适宜种植密度及其合理的株行距配置研究,实现木薯最佳增产提质效果。

3.2 木薯机械化种植与收获的农艺农机参数探讨

本研究中,T1 处理薯长最短、垂直行向半幅宽均最窄,可能与 T1 处理种植密度最大,而过高的种植密度会抑制根系在土壤中的分布有关^[32]。分析 T1 的薯构型,虽然较为适宜机械化收获,但其鲜薯产量、淀粉产量偏低,所以不适宜推荐为机械化种植模式;增产提质最优的 T6 处理及其余处理结薯半幅宽略宽,但均符合目前木薯收获机的作业参数要

求^[33]。综合来看,不同行距配置处理薯块特性、结薯半幅宽的差异主要可能与种植密度和宽窄行配置的协调有关。针对木薯的块根分布,孙佑攀^[34]研究表明,SC7、SC8 木薯块根主要分布在 0~31 cm 垂直深度,块根幅宽分布在 0~62 cm 的块根束达 80%以上;Amponsah 等^[35]对 5 个不同木薯品种的研究发现,木薯块根的平均垂直深度、行向半幅宽、垂直行向半幅宽分别为 21.6~29.4 cm、29.8~49.6 cm 和 23.9~40.4 cm;Odigboh 等^[36]指出,木薯根系主要分布于 0~30 cm 垂直深度;杨之曦^[37]调查 SC5 的块根垂直深度、最大结薯半幅宽均值分别为 27.3 cm 和 40.6 cm。本研究各处理行向半幅宽、垂直行向半幅宽的均值分别为 22.50~27.51 cm 和 19.72~26.96 cm,块根主要分布于 0~25.0 cm 垂直深度。前人研究中木薯结薯较深较宽的原因是包括了不适宜机械化作业的部分品种,而本研究选用的是适宜中国机械化生产的主栽木薯品种,因此结薯相对较浅较窄。此外,不同研究结果之间木薯块根分布的差异,主要与种植品种、种植方法、土壤类型等有关。机械收获木薯必须控制挖掘深度和宽度,以不漏挖为准,太深则出土量增加,功率消耗激增,而太浅或过窄则薯块损伤率和漏薯率上升^[8]。苏必孟等^[16]通过对广东湛江机械化平种 3 个典型机械化木薯品种薯构型的分析,推荐单株收获半幅宽 35.0 cm、垂直深度 25.0 cm^[16];魏云霞等^[17]在海南通过对平地不同种茎排布方式的薯构型研究,推荐 NZ199 单株收获半幅宽 30.0 cm、垂直深度 25.0 cm;本研究通过对海南平地不同行距配置的薯构型研究,当收获垂直行向半幅宽、垂直深度分别达 30.0 cm、25.0 cm 时,各处理均可收获 98.50%以上的鲜薯产量,高于机收明薯率 $\geq 95\%$ 的标准^[38],故推荐 SC205 单株收获半幅宽 30.0 cm、垂直深度 25.0 cm。不同地区推荐收获参数差异的原因是,湛江为疏松沙壤土且行距为 90 cm,块根生长条件优于海南的黏土窄行,故推荐的单株收获半幅宽较宽。

木薯机械化收获时,对位不正导致的侧断、入土深度不够导致的铲断、机具结构自身缺陷导致的折断是碎薯的 3 大原因^[39]。近年来,我国农机科研人员瞄准生产上主流动力设备 66.2 kW 拖拉机,研发了旋耕起垄机、联合种植机、收获机等以其为牵引动力的木薯机械^[5,33],该型拖拉机内轮距、轮胎宽分别为 118 cm、45 cm^[40]。本研究中(1.2+0.6) m 宽窄行配置,拖拉机可跨窄行作业,宽行内供轮胎行走,

行走轮两侧均留有足够的距离,最大程度避免收获作业时轮胎压到木薯块根,可有效降低断薯,起垄种植方式下机械化实操断薯损失率小于 5%,可较好地同时实现机械化种植及收获,促进农机农艺的高度融合^[5]。本研究中,各处理在 0~30.0 cm 垂直行向半幅宽范围、0~25.0 cm 垂直深度范围内的鲜薯质量占比均无明显差异,而相应范围的鲜薯产量存在明显差异,可见一定范围内的鲜薯产量差异主要与行距配置引起的总鲜薯产量差异有关。综合考虑鲜薯产量、淀粉产量及不同立体空间的鲜薯产量占比和鲜薯产量,推荐(1.2+0.6) m 宽窄行配置为最适宜机械化作业的高产高效模式,结合行距参数分析,建议收获机在窄行的双行作业宽度 120.0 cm、深度 25.0 cm。此外,通过系统梳理前期的木薯农艺农机结合研究^[16-17,35],发现在筛选更耐密植以及更为浅生窄幅的薯构型品种、结薯更集中的行距和株距配置等方面,存在较大提升空间,深入研究将有助于进一步提高收获机的浅收窄收作业参数,最终提高其作业效率和质量。

4 结 论

本试验条件下,两年均以 T6 鲜薯产量、薯干产量最高,同时 T6 的块根可溶性糖和淀粉积累量均处于较高水平。当收获单株的垂直行向半幅宽为 30.0 cm、垂直深度为 25.0 cm 时,所有行距配置均可收获 98.50%以上的鲜薯产量,其中 T6 收获的鲜薯产量最高,达 41.79 t/hm²,收获比例为 99.42%。综上分析,在 SC205 平地机械化种植模式中,推荐(1.2+0.6) m 的宽窄行配置,收获机在窄行的双行作业幅宽为 120.0 cm、深度为 25.0 cm。

[参考文献]

- [1] 魏云霞,苏必孟,黄洁,等.施钾对木薯产量和品质及大中微量元素吸收的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2017,45(9):46-54.
Wei Y X, Su B M, Huang J, et al. Effects of potassium application on yield, quality and absorption of macro-, meso-, micro-nutrients of cassava [J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2017, 45(9): 46-54.
- [2] 钟永恒,陆柏益,李开锦.木薯质量安全、营养品质与加工利用新进展[J].中国食品学报,2019,19(6):284-292.
Zhong Y H, Lu B Y, Li K M. Research advances on the safety, nutrition and processing of cassava [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2019, 19(6): 284-292.
- [3] 梁海波,黄洁,魏云霞,等.基于农户尺度的木薯产量差及生产限制因素分析[J].云南农业大学学报(自然科学),2017,32

- (6):975-984.
- Liang H B, Huang J, Wei Y X, et al. Analysis of yield gap and limiting factors for cassava on the farmland [J]. Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science), 2017, 32 (6):975-984.
- [4] 梁海波, 黄洁, 郁昌的, 等. 广东省木薯主产区产量差及限制因素分析 [J]. 江西农业大学学报, 2017, 39(1):18-27.
- Liang H B, Huang J, Yu C D, et al. An analysis of cassava yield gap and its limiting factors in the main producing areas of Guangdong Province [J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2017, 39(1):18-27.
- [5] 邓干然, 何晓明, 吕以志, 等. 木薯宽窄双行起垄栽培模式及机械化种植技术研究 [J]. 广东农业科学, 2019, 46(5):142-148.
- Deng G R, He X M, Lü Y Z, et al. Study on wide and narrow double-row ridging cultivation mode and mechanized planting of cassava [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2019, 46(5):142-148.
- [6] 余瑞明. 挖拔式木薯收获机关键部件的研究 [D]. 海口:海南大学, 2015.
- Yu R M. Studies on key components of digging-pulling cassava harvester [D]. Haikou: Hainan University, 2015.
- [7] 杨望, 蔡敢为, 杨坚, 等. 木薯块根拔起力的力学模型和数学模型分析 [J]. 农业工程学报, 2011, 27(11):95-100.
- Yang W, Cai G W, Yang J, et al. Mechanical and mathematical model analysis of uprooted force on cassava storage root [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(11):95-100.
- [8] 张周强. 木薯收获机挖掘铲的设计分析研究 [D]. 南宁:广西工业学院, 2012.
- Zhang Z Q. The research of design and analysis about digging shovel of cassava harvester [D]. Nanning: Guangxi Institute of Technology, 2012.
- [9] 王玉梅, 刘子凡, 黄洁, 等. 株行距配置对木薯生物量和产量性状的影响 [J]. 南方农业学报, 2014, 45(8):1369-1374.
- Wang Y M, Liu Z F, Huang J, et al. Effects of plant spacing and row spacing on biomass and yield traits of cassava [J]. Journal of Southern Agriculture, 2014, 45(8):1369-1374.
- [10] 覃双眉, 李明. 国内外木薯种植机械研究进展 [J]. 安徽农业科学, 2011, 39(8):5016-5018.
- Qin S M, Li M. Review on the development of cassava planting machinery at home and abroad [J]. Journal of Anhui Agricultural Science, 2011, 39(8):5016-5018.
- [11] 白晶, 张春雨, 丁相鹏, 等. 行距配置和覆反光膜对夏玉米产量及光能利用的影响 [J]. 中国农业科学, 2020, 53(19):3942-3953.
- Bai J, Zhang C Y, Ding X P, et al. Effects of row spacing and mulching reflective film on the yield and light utilization of summer maize [J]. Scientia Agricultural Sinica, 2020, 53(19):3942-3953.
- [12] 董二伟, 王劲松, 武爱莲, 等. 行距和密度对高粱籽粒灌浆、淀粉及氮磷钾累积特征的影响 [J]. 作物学报, 2021, 47(12):2459-2470.
- Dong E W, Wang J S, Wu A L, et al. Effects of row space and plant density on characteristics of grain filling, starch and NPK accumulation of sorghum grain of different parts of panicle [J]. Acta Agronomica Sinica, 2021, 47(12):2459-2470.
- [13] 黄洁, 王萍, 许瑞丽, 等. 株行距和施肥量对木薯产量和生长的影响 [J]. 热带作物学报, 2009, 30(9):1271-1275.
- Huang J, Wang P, Xu R L, et al. Effect of planting density and fertilization on yield and growth of cassava [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2009, 30(9):1271-1275.
- [14] 张林辉, 宋记明, 李月仙, 等. 不同株型木薯品种的不同种植密度试验 [J]. 中国热带农业, 2015(63):69-72.
- Zhang L H, Song J M, Li Y X, et al. Experiment on different planting densities of cassava varieties with different plant types [J]. Tropical Agriculture in China, 2015(63):69-72.
- [15] 吕以志, 黄应强, 李晓菲, 等. 振动链式木薯挖掘收获机的性能试验与分析 [J]. 现代农业装备, 2017(5):39-42.
- Lü Y Z, Huang Y Q, Li X F, et al. Performance test and analysis of the vibrating-chain cassava excavating harvester [J]. Modern Agricultural Equipment, 2017(5):39-42.
- [16] 苏必孟, 王娟, 黄洁, 等. 木薯的薯构型及其对机械收获的影响 [J]. 热带作物学报, 2019, 40(10):2029-2033.
- Su B M, Wang J, Huang J, et al. Storage root configuration of cassava and the influence for mechanized harvesting [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2019, 40(10):2029-2033.
- [17] 魏云霞, 刘丽娟, 黄洁, 等. 种茎排布对木薯鲜薯产量及薯构型的影响 [J]. 热带作物学报, 2021, 42(10):2890-2897.
- Wei Y X, Liu L J, Huang J, et al. Influence of different stake layouts on cassava fresh root yield and storage root configuration [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2021, 42(10):2890-2897.
- [18] 黄洁, 陆小静, 叶剑秋, 等. 热带作物品种区域试验技术规程 木薯: NY/T 2446—2013 [S]. 北京: 中国农业出版社, 2014.
- Huang J, Lu X J, Ye J Q, et al. Technical regulations for the regional tests of tropical crop varieties-cassava: NY/T 2446—2013 [S]. Beijing: China Agriculture Press, 2014.
- [19] 高俊凤. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2006:144-148.
- Gao J F. Plant physiology experiment instruction [M]. Beijing: Higher Education Press, 2006:144-148.
- [20] 石德杨, 李艳红, 夏德军, 等. 种植密度对夏玉米根系特性及氮肥吸收的影响 [J]. 中国农业科学, 2017, 50(11):2006-2017.
- Shi D Y, Li Y H, Xia D J, et al. Effects of planting density on root characteristics and nitrogen uptake in summer maize [J]. Scientia Agricultural Sinica, 2017, 50(11):2006-2017.
- [21] Tsay J S, Fukai S, Wilson G L. The response of cassava (*Manihot esculenta*) to spatial arrangement and to soybean intercrop [J]. Field Crops Research, 1987, 16(1):19-31.
- [22] Enyi B A C. Growth rates of three cassava (*Manihot esculenta* Crantz) under varying population densities [J]. Journal of Agricultural Science, 1973, 81(1):15-28.
- [23] Cock J H, Wholey D, Gutierrez de Las Casas O. Effect of spacing on cassava (*Manihot esculenta*) [J]. Experimental Agriculture, 1977, 13(3):289-299.

- [24] 黄洁,周建国.木薯间套作与高效利用技术[M].海口:海南出版社,2015:47-75.
Huang J, Zhou J G. Intercropping and high benefit utilization of cassava [M]. Haikou: Hainan Publishing House, 2015: 47-75.
- [25] 李兆贵,陶汉宏,韦家华.不同密度及施肥水平对木薯华南5号产量的影响[J].广西农学报,2009,24(6):16-17,23.
Li Z G, Tao H H, Wei J H. The influences of different planting density and fertilizer application on the yield of cassava Huanan No. 5 [J]. Journal of Guangxi Agriculture, 2009, 24(6): 16-17, 23.
- [26] Silva T S, Silva P S L, Braga J D, et al. Planting density and yield of cassava roots [J]. Revista Ciência Agronômica, 2013, 44(2): 317-324.
- [27] 徐宗贵,孙磊,王浩,等.种植密度对旱地不同株型春玉米品种光合特性与产量的影响[J].中国农业科学,2017,50(13):2463-2475.
Xu Z G, Sun L, Wang H, et al. Effects of different planting densities on photosynthetic characteristics and yield of different variety types of spring maize on dryland [J]. Scientia Agricultural Sinica, 2017, 50(13): 2463-2475.
- [28] 肖继兵,刘志,孔凡信,等.种植方式和密度对高粱群体结构和产量的影响[J].中国农业科学,2018,51(22):4264-4276.
Xiao J B, Liu Z, Kong F X, et al. Effects of planting pattern and density on population structure and yield of sorghum [J]. Scientia Agricultural Sinica, 2018, 51(22): 4264-4276.
- [29] 王玉,赵财,樊志龙,等.行距及密度影响玉米密植潜力的干物质累积和产量构成机制[J].中国生态农业学报,2020,28(5):652-661.
Wang Y, Zhao C, Fan Z L, et al. Characteristics of dry matter accumulation and yield formation of dense planting maize in different row spacings [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2020, 28(5): 652-661.
- [30] 姜兴芳,陶洪斌,郑志芳,等.株行距配置对玉米根系性状及产量的影响[J].玉米科学,2013,21(2):116-121.
Jiang X F, Tao H B, Zheng Z F, et al. Effect of spacing allocation on the root system characters and yield of maize [J]. Chinese Journal of Maize Sciences, 2013, 21(2): 116-121.
- [31] Oliveira E C, Campos de Almeida L H, Zucareli C, et al. Analysis of cassava growth at different harvest times and planting densities [J]. Semina: Ciências Agrárias, 2019, 40(1): 113-126.
- [32] 陈延玲,吴秋平,陈晓超,等.不同耐密性玉米品种的根系生长及其对种植密度的响应[J].植物营养与肥料学报,2012,18(1):52-59.
Chen Y L, Wu Q P, Chen X C, et al. Root growth of maize varieties with different densities and its response to planting density [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2012, 18(1): 52-59.
- [33] 李国杰,邓干然,郑爽,等.4UMG-140型拨辊式木薯收获机的设计与试验[J].现代农业装备,2021,42(2):28-33.
Li G J, Deng G R, Zheng S, et al. Design and experiment of 4UMG-140 poking roller type cassava harvester [J]. Modern Agricultural Equipment, 2021, 42(2): 28-33.
- [34] 孙佑攀.挖拔式木薯收获机及其夹持输送机构的研究[D].海口:海南大学,2012.
Sun Y P. Research on digging-pulling cassava harvester and its clamping-conveying mechanism [D]. Haikou: Hainan University, 2012.
- [35] Amponsah S K, Bobobee E Y H, Agyare W A, et al. Mechanical cassava harvesting as influenced by seedbed preparation and cassava variety [J]. Applied Engineering in Agriculture, 2014, 30(3): 391-403.
- [36] Odigboh E U. Cassava production, processing and utilization [C]//Chan J H T. Handbook of Tropical Foods. New York: Marcel Dekker, 1983, 145-200.
- [37] 杨之曦.木薯块根的生物特性和种植环境对机械收获的影响[J].安徽农业科学,2017,45(33):213-217.
Yang Z X. Effects of biological characteristics and planting environment of cassava root tubers on mechanized harvesting [J]. Journal of Anhui Agricultural Science, 2017, 45(33): 213-217.
- [38] 黄洁,魏云霞,欧珍贵,等.能源木薯生产技术规程:NB/T 30341—2015[S].北京:中国农业出版社,2016.
Huang J, Wei Y X, Ou Z G, et al. Technical specification for the production of energy cassava: NB/T 30341—2015 [S]. Beijing: China Agriculture Press, 2016.
- [39] 黄晖,张园,李明,等.降低木薯收获机碎薯率的机械结构改进[J].农机化研究,2013,35(8):119-124.
Huang H, Zhang Y, Li M, et al. The improvement of mechanical structure relating to root damage rate for cassava harvester [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2013, 35(8): 119-124.
- [40] 邓干然,黄洁,黄应强,等.木薯宽窄行种植及配套机械化技术研究[J].现代农业装备,2018,39(5):22-25.
Deng G R, Huang J, Huang Y Q, et al. Experimental study on wide-narrow row planting and mechanization of cassava [J]. Modern Agricultural Equipment, 2018, 39(5): 22-25.