

网络出版时间:2016-05-03 14:05 DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2016.06.009
网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20160503.1405.018.html

木薯块根不同部位的营养成分研究

魏 艳^{1a,1b},黄 洁^{1a},林立铭^{1a},罗春芳^{1a,2}

(1 中国热带农业科学院 a 热带作物品种资源研究所/农业部木薯种质资源保护与利用重点实验室,
b 科技信息研究所,海南 儋州 571737;2 海南大学 农学院,海南 海口 570228)

【摘 要】 【目的】研究木薯块根中营养成分的分布规律,以提高木薯的综合利用价值。【方法】分别取 6 份木薯种质全薯、薯肉、薯皮的头、中、尾 3 段,测定其 β -胡萝卜素含量及干物质、粗淀粉、粗蛋白、可溶性糖和粗纤维 6 种营养成分的质量分数,并分析不同部位营养成分的相关性。【结果】薯肉的干物质、粗淀粉质量分数分别是薯皮的 1.3~1.8 倍和 1.2~2.8 倍,表现为薯肉>全薯>薯皮;薯皮的 β -胡萝卜素含量及粗蛋白、可溶性糖、粗纤维质量分数分别是薯肉的 1.2~15.3、2.4~6.7、1.2~2.2 和 3.4~7.5 倍,表现为薯皮>全薯>薯肉;薯皮干样的粗淀粉质量分数为 27.1%~69.0%,是薯肉的 32.8%~93.3%;6 份木薯种质的全薯、薯肉、薯皮的头、中、尾 3 段粗蛋白、干物质质量分数均表现为头段>中段>尾段,且差异均达到极显著水平。【结论】木薯薯皮营养成分丰富,应重视木薯薯皮的综合利用。

【关键词】 木薯;块根;薯肉;薯皮;营养成分

【中图分类号】 S533.099 【文献标志码】 A 【文章编号】 1671-9387(2016)06-0053-09

Nutrients in different parts of cassava root

WEI Yan^{1a,1b},HUANG Jie^{1a},LIN Li-ming^{1a},LUO Chun-fang^{1a,2}

(1 a Tropical Crops Genetics Resources Institute,Key Laboratory of Conservation and Utilization of Cassava Genetic Resources, Ministry of Agriculture,b Science and Technology Information Institute,Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences,Danzhou,Hainan 571737,China;2 College of Agronomy,Hainan University,Haikou,Hainan 570228,China)

Abstract: 【Objective】 This paper investigated the distribution of nutrients in cassava root to improve its utilization value. 【Method】 Three separate sections including head,middle,and end of the whole cassava,flesh,and cortex of six cassava germplasm were selected to measure contents of β -carotene and mass fractions of dry matter,starch,crude protein,soluble sugar and crude fiber. The correlation of nutrients in different parts was also analyzed. 【Result】 The mass fractions of dry matter and starch in flesh were 1.3—1.8 and 1.2—2.8 times of those in cortex,and they were in a decreasing order of flesh>whole cassava>cortex. The contents of β -carotene and mass fractions of crude protein,soluble sugar,and crude fiber in cortex were 1.2—15.3,2.4—6.7,1.2—2.2,and 3.4—7.5 times of those in flesh,and they were in a decreasing order of cortex>flesh>whole cassava. The starch mass fraction in dry cortex was 27.1%—69.0%,which was 32.8%—93.3% of that in dry flesh. The mass fractions of dry matter and crude protein in the whole cassava,flesh,and cortex of six cassava germplasm exhibited significant difference and were in the order of head>middle>end. 【Conclusion】 The cortex of Cassava is rich in nutrients and its comprehensive

〔收稿日期〕 2014-11-11
〔基金项目〕 农业部现代木薯产业技术体系建设专项 (CARS-12-hnhj);农业部农业行业标准制定项目“热带作物品种区域试验技术规程—木薯”(ICS 65.020.20)
〔作者简介〕 魏 艳(1985—),女,山东济宁人,硕士,主要从事木薯种质资源的创新与利用研究。E-mail:wei_yan2010@126.com
〔通信作者〕 黄 洁(1966—),男,广东遂溪人,研究员,硕士生导师,主要从事薯类作物育种与栽培研究。
E-mail:hnhjcn@163.com

utilization is worthy to be highlighted.

Key words: cassava; root; flesh; cortex; nutrient

近年来,国内外对作物不同部位的营养成分开展了较多研究,如有人比较了大米与米糠、面粉与小麦麸皮营养成分的差异^[1-5],为利用米糠加工米糠油和米糠蛋白等^[3]、用小麦麸皮加工膳食纤维和多肽等提供了参考依据^[6-8];还有人比较了甘薯、参根、管花肉苁蓉等^[9-11]作物不同部位的营养成分含量。此外,通过研究甘蔗不同节段糖含量,发现自下而上逐节段糖含量呈降低趋势,初步探索了甘蔗糖分的积累与分配规律^[12-13]。

木薯(*Manihot esculenta* Crantz)属于大戟科木薯属,其块根主要用于食用、饲用和加工,是世界上超过 8 亿人口的主粮,木薯块根有 1.0%~2.0%薯外皮、10.0%~14.0%薯内皮(次生韧皮部,以下简称薯皮)和 80.0%~90.0%薯肉(次生木质部)^[14-15]。在木薯营养成分研究方面,徐娟等^[16]评价了 6 份木薯种质的薯肉营养成分,陈晓明等^[17]测定了薯皮的矿质元素含量,魏艳等^[18]、林立铭等^[19]评价了 3 个木薯品系(E24、E1424、F701)薯肉与薯皮的营养成分和矿质元素含量,但国内外有关木薯

全薯、薯肉、薯皮的头、中、尾 3 段营养成分的分析与比较研究尚未见报道。目前,我国木薯加工业的综合利用程度还不高,已严重制约了木薯加工业的良性发展^[20]。为此,本试验选用 6 份木薯种质,分别测定全薯、薯肉、薯皮头、中、尾 3 段的营养成分含量,以期为木薯的综合利用及木薯块根不同部位营养成分积累和分配规律研究提供依据。

1 材料与方法

1.1 材 料

供试材料取自位于海南省儋州市的中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所(简称“品资所”)木薯种质资源圃,6 份木薯种质的来源及用途见表 1。供试木薯均于 2011-11-21 种植,2013-03-22 采样,全生长期为 16 个月。种植地土壤为砖红壤,土壤条件为:pH 6.4,有机质 9.0 g/kg,碱解氮 35.2 mg/kg,速效磷(P₂O₅) 10.1 mg/kg,速效钾(K₂O) 66.8 mg/kg。

表 1 供试木薯种质的来源及用途

Table 1 Source and use of the evaluated germplasm

种质名称 Variety name	种质来源 Source	主要用途 Main use
SC9	中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所选育品种 Tropical Crops Genetics Resources Institute of Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences breeding varieties	食用 Eating
ZM8229	中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所选育品系 Tropical Crops Genetics Resources Institute of Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences breeding varieties	食用 Eating
GR891	广西壮族自治区亚热带作物研究所选育品种 Subtropical Crops Genetics Resources Institute of Guangxi Zhuang Autonomous Region breeding varieties	食用 Eating
SC205	中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所选育品种 Tropical Crops Genetics Resources Institute of Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences breeding varieties	加工 Processing
GR4	广西壮族自治区亚热带作物研究所选育品种 Subtropical Crops Genetics Resources Institute of Guangxi Zhuang Autonomous Region breeding varieties	加工 Processing
NZ199	中国科学院华南植物所选育品种 South China Plants Institute of Chinese Academy Sciences breeding varieties	加工 Processing

1.2 方 法

1.2.1 样品准备 收获木薯时每份种质随机取 3 株,每株随机取 3 条中等长度木薯块根,要求所选块根外观无损、无病虫害;洗净抹干,擦去薯外皮,切取头(离薯柄 2~5 cm)、中(中间 3 cm)、尾(离薯尾 2~5 cm) 3 段,每段均为 3 cm 长;先随机取头中尾的全薯各 3 段,然后将其余的头中尾全薯都剥离为薯肉和薯皮,对全薯、薯肉、薯皮的头中尾 3 段样品

分别切丝;从混合丝样中抽取 100 g 鲜样作为一个处理样品,另外抽取 50 g 鲜样烘干打粉作为一个处理样品,每个处理均 3 个重复。

1.2.2 测定方法 (1)块根形态。参照“热带作物品种区域试验技术规程—木薯”(ICS 65.020.20)^[21]进行相关测定。

(2)鲜样。干物质质量分数采用烘干法^[16]测定; β -胡萝卜素含量采用丙酮提取比色法^[16]测定。

(3)干样。粗淀粉质量分数采用氯化钙-旋光法(GB/T 5514—2008)^[22]测定;粗蛋白质量分数采用凯氏定氮法(GB/T 15673—2009)^[23]测定;可溶性糖质量分数采用蒽酮比色法^[24]测定;粗纤维质量分数采用酸碱消煮法(GB/T 5009—2003)^[25]测定。

1.3 数据处理

试验数据采用 Excel 2007 和 SAS 9.0 进行方

差分析和相关性分析,采用 *t* 检验进行显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不同部位木薯块根的形态

由表 2 可以看出,6 份木薯种质的块根长度为 25.0~31.5 cm,薯皮厚度及薯径均表现为头段>中段>尾段,且差异均达极显著水平。

表 2 木薯块根不同部位的形态特征

Table 2 Morphological characteristics different parts of cassava root

种质名称 Variety name	块根长/cm Root length	薯皮厚/mm Cortex thickness			薯径/cm Root diameter		
		头段	中段	尾段	头段	中段	尾段
		Head sect	Middle sect	End sect	Head sect	Middle sect	End sect
SC9	26.0±5.4	2.9±0.2 ^{aA}	2.5±0.0 ^{bB}	1.8±0.3 ^{cC}	3.6±0.4 ^{aA}	3.2±0.5 ^{bB}	2.3±0.7 ^{cC}
ZM8229	25.0±7.8	2.7±0.0 ^{aA}	2.3±0.3 ^{bB}	1.8±0.1 ^{cC}	3.6±0.8 ^{aA}	3.2±0.5 ^{bB}	2.1±0.5 ^{cC}
GR891	30.2±9.0	3.1±0.2 ^{aA}	2.4±0.1 ^{bB}	1.9±0.3 ^{cC}	5.0±0.9 ^{aA}	4.9±0.8 ^{bB}	3.1±0.6 ^{cC}
SC205	28.2±5.4	2.4±0.1 ^{aA}	2.1±0.1 ^{bB}	1.9±0.1 ^{cC}	3.6±0.7 ^{aA}	3.5±0.5 ^{bB}	2.4±0.6 ^{cC}
GR4	31.5±9.1	1.9±0.3 ^{aA}	1.6±0.0 ^{bB}	1.5±0.1 ^{cC}	4.9±1.0 ^{aA}	4.7±0.7 ^{bB}	3.2±0.7 ^{cC}
NZ199	27.9±3.0	2.1±0.0 ^{aA}	2.0±0.1 ^{bB}	1.7±0.3 ^{cC}	5.2±0.9 ^{aA}	4.9±0.6 ^{bB}	3.2±0.7 ^{cC}

注:薯皮厚或薯径的同行不同小写字母表示各段间差异达显著水平($P<0.05$),不同大写字母表示各段间差异达极显著水平($P<0.01$)。
Note:Different lowercase letters indicate significant difference ($P<0.05$),while different uppercase letters indicate very significant difference ($P<0.01$).

2.2 木薯块根鲜样营养成分分析

2.2.1 干物质质量分数 由表 3 可以看出,6 份木薯种质全薯、薯肉、薯皮的干物质质量分数分别为 35.1%~49.0%,39.2%~51.2%,22.3%~39.1%,薯肉干物质质量分数是薯皮的 1.3~1.8 倍,表现为薯肉>全薯>薯皮,且差异均达到极显著水平。6 份木薯种质全薯、薯皮的干物质质量分数

均表现为头段>中段>尾段,且大部分表现出极显著差异;除 NZ199 薯肉中段与尾段的干物质质量分数相同外,其余 5 份种质薯肉的干物质质量分数均表现为头段>中段>尾段,差异均达到极显著水平。说明木薯块根干物质质量分数存在薯肉>全薯>薯皮、头段>中段>尾段的分布特点。

表 3 木薯块根不同部位干物质质量分数的比较

Table 3 DMC in different parts of cassava root

种质名称 Variety name	全薯 Whole root			薯肉 Flesh			薯皮 Cortex		
	头段	中段	尾段	头段	中段	尾段	头段	中段	尾段
	Head sect	Middle sect	End sect	Head sect	Middle sect	End sect	Head sect	Middle sect	End sect
SC9	49.0±0.2 ^{cC}	46.9±0.0 ^{eE}	45.6±0.7 ^{fF}	51.2±0.0 ^{aA}	50.7±0.2 ^{bB}	48.9±0.1 ^{dD}	39.1±0.1 ^{gG}	38.0±0.1 ^{hH}	35.2±0.0 ^{iI}
ZM8229	42.7±0.1 ^{bB}	37.7±0.3 ^{eE}	35.1±0.0 ^{fF}	44.3±0.0 ^{aA}	41.7±0.2 ^{cC}	40.1±0.1 ^{dD}	27.3±0.0 ^{gG}	24.2±0.2 ^{hH}	22.3±0.0 ^{iI}
GR891	42.1±0.1 ^{cC}	42.0±0.3 ^{dD}	40.0±0.1 ^{eE}	44.7±0.0 ^{aA}	43.0±0.0 ^{bB}	42.1±0.3 ^{cC}	31.3±0.1 ^{fF}	29.2±0.1 ^{gG}	27.4±0.1 ^{hH}
SC205	41.8±0.2 ^{bB}	40.7±0.0 ^{dD}	38.0±0.5 ^{fF}	44.8±0.0 ^{aA}	41.5±0.3 ^{cC}	39.2±0.1 ^{eE}	30.1±0.0 ^{gG}	29.5±0.0 ^{hH}	28.2±0.0 ^{iI}
GR4	40.6±0.2 ^{cC}	40.3±0.0 ^{eE}	38.8±0.0 ^{fF}	43.7±0.1 ^{aA}	42.7±0.2 ^{bB}	40.4±0.0 ^{dD}	26.3±0.0 ^{gG}	26.2±0.0 ^{hH}	24.2±0.0 ^{iI}
NZ199	43.3±0.0 ^{bB}	41.6±0.2 ^{dD}	39.8±0.0 ^{eE}	44.1±0.3 ^{aA}	42.7±0.1 ^{cC}	42.7±0.1 ^{cC}	30.1±0.1 ^{fF}	28.9±0.1 ^{gG}	26.6±0.0 ^{hH}

注:同行不同小写字母表示差异达显著水平($P<0.05$),不同大写字母表示差异达极显著水平($P<0.01$)。表 4~8 同。
Note:Different lowercase letters in each row indicate significant difference ($P<0.05$),while different uppercase letters indicate very significant difference ($P<0.01$). The same for Table 4~8.

2.2.2 β -胡萝卜素含量 由表 4 可以看出,6 份木薯种质全薯、薯肉、薯皮的 β -胡萝卜素含量分别为 0.07~1.69,0.06~0.95,0.33~1.84 mg/hg,薯皮 β -胡萝卜素含量是薯肉的 1.2~15.3 倍,表现为薯皮>全薯>薯肉,且差异均达到极显著水平。比较每一份木薯种质全薯、薯肉、薯皮的头、中、尾 3 段的

β -胡萝卜素含量,虽然绝大多数达到极显著差异,但并无明显的规律性。说明木薯块根 β -胡萝卜素含量存在薯皮>全薯>薯肉的分布特点,但在全薯、薯肉、薯皮的头、中、尾 3 段之间 β -胡萝卜素含量的高低排序未表现出明显的规律性。

表 4 木薯块根不同部位 β 胡萝卜素含量的比较

Table 4 Contents of β -carotene in different parts of cassava root										mg/hg
种质名称 Variety name	全薯 Whole root			薯肉 Flesh			薯皮 Cortex			
	头段 Head sect	中段 Middle sect	尾段 End sect	头段 Head sect	中段 Middle sect	尾段 End sect	头段 Head sect	中段 Middle sect	尾段 End sect	
SC9	1.69±0.00 ^{bB}	0.93±0.02 ^{fF}	1.03±0.11 ^{dD}	0.78±0.11 ^{gG}	0.77±0.13 ^{hH}	0.95±0.04 ^{eE}	1.84±0.16 ^{aA}	0.95±0.02 ^{eE}	1.13±0.03 ^{cC}	
ZM8229	0.07±0.01 ^{bH}	0.25±0.02 ^{eE}	0.26±0.01 ^{dD}	0.06±0.02 ^{iI}	0.16±0.09 ^{gG}	0.19±0.01 ^{fF}	0.64±0.02 ^{aA}	0.49±0.03 ^{bB}	0.42±0.08 ^{cC}	
GR891	0.90±0.14 ^{bB}	0.46±0.05 ^{fF}	0.58±0.06 ^{eE}	0.06±0.01 ^{bH}	0.29±0.02 ^{gG}	0.58±0.04 ^{eE}	0.92±0.03 ^{aA}	0.62±0.04 ^{dD}	0.67±0.03 ^{cC}	
SC205	0.22±0.03 ^{gG}	0.38±0.02 ^{cC}	0.28±0.03 ^{fF}	0.13±0.02 ^{bH}	0.36±0.01 ^{dD}	0.28±0.01 ^{fF}	1.78±0.11 ^{aA}	0.52±0.01 ^{bB}	0.33±0.07 ^{eE}	
GR4	0.43±0.03 ^{dD}	0.43±0.00 ^{dD}	0.43±0.04 ^{dD}	0.24±0.00 ^{fF}	0.16±0.02 ^{gG}	0.39±0.01 ^{eE}	0.78±0.15 ^{bB}	1.84±0.06 ^{aA}	0.47±0.04 ^{cC}	
NZ199	0.55±0.04 ^{eE}	0.50±0.04 ^{fF}	0.60±0.02 ^{dD}	0.21±0.05 ^{bH}	0.29±0.14 ^{gG}	0.19±0.01 ^{iI}	0.94±0.22 ^{bB}	0.61±0.10 ^{cC}	0.98±0.11 ^{aA}	

2.3 木薯块根干样营养成分分析

2.3.1 粗淀粉质量分数 由表 5 可以看出,6 份木薯种质全薯、薯肉、薯皮的粗淀粉质量分数分别为 69.0%~81.3%,72.7%~82.5%,27.1%~69.0%,薯肉粗淀粉质量分数是薯皮的 1.2~2.8 倍,表现为薯肉>全薯>薯皮,且差异达到极显著水

平。比较每一份木薯种质全薯、薯肉、薯皮头、中、尾 3 段的粗淀粉质量分数,虽然绝大多数差异达到极显著水平,但是未表现出明显的规律性排序。说明木薯块根粗淀粉质量分数存在薯肉>全薯>薯皮的分布特点,但在全薯、薯肉、薯皮头、中、尾 3 段的分布无明显的高低排序特点。

表 5 木薯块根不同部位粗淀粉质量分数的比较

Table 5 Contents of starch in different parts of cassava root										%
种质名称 Variety name	全薯 Whole root			薯肉 Flesh			薯皮 Cortex			
	头段 Head sect	中段 Middle sect	尾段 End sect	头段 Head sect	中段 Middle sect	尾段 End sect	头段 Head sect	中段 Middle sect	尾段 End sect	
SC9	69.0±2.5 ^{eE}	75.1±1.7 ^{dD}	76.4±0.0 ^{cC}	81.3±0.0 ^{bB}	76.4±7.4 ^{cC}	82.5±1.7 ^{aA}	55.4±1.7 ^{hH}	56.6±0.0 ^{gG}	64.0±0.0 ^{fF}	
ZM8229	73.9±0.0 ^{cC}	69.0±2.5 ^{dD}	69.0±4.9 ^{dD}	75.1±1.7 ^{bB}	73.9±0.0 ^{cC}	77.6±1.7 ^{aA}	27.1±0.0 ^{gG}	45.6±5.2 ^{eE}	33.3±1.7 ^{fF}	
GR891	71.4±3.5 ^{eE}	75.1±1.7 ^{dD}	81.3±7.0 ^{bB}	78.8±0.0 ^{cC}	78.8±2.5 ^{cC}	82.5±1.7 ^{aA}	64.0±3.5 ^{hH}	67.7±1.7 ^{gG}	69.0±0.0 ^{fF}	
SC205	73.9±3.5 ^{cC}	69.0±3.4 ^{dD}	69.0±3.5 ^{dD}	80.1±1.7 ^{aA}	76.4±0.0 ^{bB}	73.9±2.5 ^{cC}	51.7±0.0 ^{gG}	56.7±0.0 ^{eE}	53.0±5.2 ^{fF}	
GR4	73.9±3.5 ^{eE}	81.3±2.5 ^{bB}	76.4±2.5 ^{dD}	81.3±0.0 ^{bB}	82.5±1.7 ^{aA}	77.6±1.7 ^{cC}	50.5±1.7 ^{hH}	61.6±0.0 ^{fF}	60.3±1.7 ^{gG}	
NZ199	71.4±0.0 ^{dD}	73.9±0.0 ^{bB}	71.4±0.0 ^{dD}	72.7±1.7 ^{cC}	75.1±1.7 ^{aA}	73.9±0.0 ^{bB}	48.0±1.7 ^{fF}	51.7±2.5 ^{eE}	51.7±2.5 ^{eE}	

2.3.2 粗蛋白质质量分数 由表 6 可以看出,6 份木薯种质全薯、薯肉、薯皮的粗蛋白质量分数分别为 3.1%~10.9%,2.0%~8.6%,8.0%~33.3%,薯皮粗蛋白质量分数是薯肉的 2.4~6.7 倍,表现为薯皮>全薯>薯肉,差异达到极显著水平。6 份木薯

种质全薯、薯肉、薯皮粗蛋白质量分数均表现为头段>中段>尾段,且差异达到极显著水平。说明粗蛋白质量分数存在薯皮>全薯>薯肉、头段>中段>尾段的分布特点。

表 6 木薯块根不同部位粗蛋白质量分数的比较

Table 6 Contents of crude protein in different parts of cassava root										%
种质名称 Variety name	全薯 Whole root			薯肉 Flesh			薯皮 Cortex			
	头段 Head sect	中段 Middle sect	尾段 End sect	头段 Head sect	中段 Middle sect	尾段 End sect	头段 Head sect	中段 Middle sect	尾段 End sect	
SC9	6.5±0.1 ^{dD}	4.4±0.3 ^{fF}	3.9±0.3 ^{gG}	5.5±0.0 ^{eE}	3.8±0.0 ^{bH}	2.4±0.0 ^{iI}	18.2±1.8 ^{aA}	16.6±0.2 ^{bB}	12.2±0.9 ^{cC}	
ZM8229	5.3±0.1 ^{dD}	3.3±0.1 ^{fF}	3.1±0.1 ^{gG}	4.3±0.0 ^{eE}	2.8±0.1 ^{bH}	2.2±0.0 ^{iI}	27.7±0.9 ^{aA}	11.2±1.1 ^{bB}	10.7±0.3 ^{cC}	
GR891	10.9±0.1 ^{dD}	7.4±0.1 ^{fF}	6.5±0.3 ^{gG}	8.6±0.4 ^{eE}	5.8±0.5 ^{bH}	5.0±0.2 ^{iI}	33.3±6.6 ^{aA}	23.9±1.7 ^{bB}	18.5±2.4 ^{cC}	
SC205	4.9±0.2 ^{dD}	4.6±0.1 ^{fF}	3.6±0.0 ^{gG}	4.8±0.2 ^{eE}	2.8±0.1 ^{bH}	2.4±0.0 ^{iI}	11.6±0.5 ^{aA}	10.6±0.3 ^{bB}	8.0±0.2 ^{cC}	
GR4	6.9±0.0 ^{dD}	3.7±0.4 ^{fF}	3.1±0.0 ^{gG}	6.2±0.1 ^{eE}	2.9±0.0 ^{bH}	2.0±0.0 ^{iI}	23.5±0.7 ^{aA}	15.2±0.7 ^{bB}	12.8±1.8 ^{cC}	
NZ199	5.6±0.1 ^{dD}	4.3±0.1 ^{eE}	3.5±0.1 ^{gG}	4.0±0.0 ^{fF}	2.6±0.1 ^{bH}	2.5±0.0 ^{iI}	23.8±1.7 ^{aA}	17.3±0.7 ^{bB}	16.8±0.4 ^{cC}	

2.3.3 可溶性糖质量分数 由表 7 可以看出,6 份木薯种质全薯、薯肉、薯皮的可溶性糖质量分数分别为 4.5%~11.6%,3.6%~10.5%,5.2%~15.2%,薯皮可溶性糖质量分数是薯肉的 1.2~2.2 倍,表现为薯皮>全薯>薯肉,且差异达到极显著水平。比较每一份木薯种质全薯、薯肉、薯皮的头、中、

尾 3 段的可溶性糖质量分数,虽然绝大多数差异达到极显著水平,但并无明显的高低排序规律,说明木薯块根可溶性糖质量分数存在薯皮>全薯>薯肉的分布特点,但在全薯、薯肉、薯皮的头、中、尾 3 段之间的分布无明显规律性。

表 7 木薯块根不同部位可溶性糖质量分数的比较

Table 7 Contents of soluble sugar in different parts of cassava root

种质名称 Variety name	全薯 Whole root			薯肉 Flesh			薯皮 Cortex		
	头段 Head sect	中段 Middle sect	尾段 End sect	头段 Head sect	中段 Middle sect	尾段 End sect	头段 Head sect	中段 Middle sect	尾段 End sect
SC9	5.4±0.0 ^{gG}	6.7±0.2 ^{cC}	6.7±0.3 ^{dD}	3.6±0.3 ^{hH}	5.5±0.1 ^{fF}	6.0±0.5 ^{cC}	5.8±0.2 ^{eE}	6.8±0.4 ^{bB}	7.9±0.3 ^{aA}
ZM8229	5.4±0.0 ^{hH}	6.8±0.2 ^{fF}	8.3±0.1 ^{dD}	5.0±0.1 ^{iI}	6.4±0.1 ^{gG}	7.0±0.0 ^{eE}	10.9±0.1 ^{cC}	11.0±0.1 ^{bB}	15.2±0.4 ^{aA}
GR891	4.5±0.1 ^{fF}	5.3±0.0 ^{bB}	5.2±0.2 ^{cC}	4.5±0.0 ^{fF}	5.1±0.3 ^{dD}	4.6±0.0 ^{eE}	5.2±0.1 ^{cC}	6.6±0.1 ^{aA}	6.6±0.3 ^{aA}
SC205	8.1±0.0 ^{fF}	11.6±0.2 ^{dD}	8.1±0.1 ^{fF}	6.8±0.0 ^{hH}	10.5±0.2 ^{eE}	7.5±0.2 ^{gG}	14.3±0.3 ^{aA}	13.0±0.0 ^{cC}	13.5±0.1 ^{bB}
GR4	7.7±0.0 ^{eE}	7.6±0.4 ^{fF}	9.5±0.4 ^{dD}	7.3±0.0 ^{gG}	7.2±0.0 ^{hH}	5.4±0.1 ^{iI}	10.5±0.0 ^{bB}	10.3±0.0 ^{cC}	11.6±0.6 ^{aA}
NZ199	9.3±0.4 ^{dD}	9.0±0.1 ^{eE}	7.0±0.1 ^{hH}	8.8±0.0 ^{fF}	7.4±0.1 ^{gG}	6.8±0.1 ^{iI}	11.8±0.2 ^{bB}	10.6±0.2 ^{cC}	12.5±0.4 ^{aA}

2.3.4 粗纤维质量分数 由表 8 可以看出,6 份木薯种质全薯、薯肉、薯皮的粗纤维质量分数分别为 2.3%~5.1%,1.6%~2.8%,8.4%~19.3%,薯皮粗纤维质量分数是薯肉的 3.4~7.5 倍,表现为薯皮>全薯>薯肉,且差异达到极显著水平。比较每一份木薯种质全薯、薯肉头、中、尾 3 段的粗纤维质量分数,虽然绝大多数差异达到极显著水平,但高低

排序并无明显特点。比较每一份木薯种质薯皮头、中、尾 3 段的粗纤维质量分数,均表现为头段>中段>尾段,且差异均达到极显著水平。说明木薯块根粗纤维质量分数表现出薯皮>全薯>薯肉的分布特点,且薯皮粗纤维质量分数存在头段>中段>尾段的分布特点。

表 8 木薯块根不同部位粗纤维质量分数的比较

Table 8 Contents of crude fiber in different parts of cassava root

种质名称 Variety name	全薯 Whole root			薯肉 Flesh			薯皮 Cortex		
	头段 Head sect	中段 Middle sect	尾段 End sect	头段 Head sect	中段 Middle sect	尾段 End sect	头段 Head sect	中段 Middle sect	尾段 End sect
SC9	4.6±0.3 ^{dD}	3.3±1.0 ^{fF}	3.5±0.1 ^{eE}	2.4±0.1 ^{gG}	1.9±0.2 ^{hH}	1.8±0.4 ^{iI}	17.5±0.0 ^{aA}	14.2±0.0 ^{bB}	11.3±0.0 ^{cC}
ZM8229	5.1±0.1 ^{dD}	4.3±0.4 ^{fF}	4.9±0.0 ^{eE}	2.8±0.2 ^{gG}	2.6±0.2 ^{hH}	2.6±0.2 ^{hH}	19.3±0.0 ^{aA}	18.5±0.0 ^{bB}	17.4±0.0 ^{cC}
GR891	3.2±0.1 ^{dD}	2.8±0.2 ^{eE}	3.2±0.1 ^{dD}	2.5±0.0 ^{fF}	2.3±0.1 ^{gG}	2.5±0.2 ^{fF}	9.1±0.0 ^{aA}	8.5±0.2 ^{bB}	8.4±0.1 ^{cC}
SC205	3.7±0.0 ^{dD}	3.3±0.3 ^{fF}	3.6±0.2 ^{eE}	2.6±0.1 ^{gG}	2.5±0.1 ^{hH}	2.5±0.1 ^{hH}	14.1±0.2 ^{aA}	10.3±0.3 ^{bB}	10.1±0.2 ^{cC}
GR4	2.9±0.3 ^{dD}	2.3±0.4 ^{fF}	2.8±0.5 ^{eE}	2.2±0.1 ^{gG}	1.6±0.4 ^{iI}	2.0±0.2 ^{hH}	12.9±0.3 ^{aA}	9.9±0.2 ^{bB}	8.8±0.4 ^{cC}
NZ199	3.0±0.2 ^{dD}	2.6±0.1 ^{fF}	2.8±0.2 ^{eE}	2.2±0.1 ^{gG}	2.0±0.1 ^{hH}	1.9±0.1 ^{iI}	10.3±0.0 ^{aA}	10.1±2.0 ^{bB}	9.8±0.1 ^{cC}

2.4 木薯块根营养成分的相关性

2.4.1 同一营养成分在木薯不同部位间的相关性

由表 9 可以看出,干物质和粗蛋白质量分数及 β-胡萝卜素含量在薯肉或薯皮的头、中、尾 3 段之间均呈极显著或显著正相关;粗淀粉、可溶性糖质量分数在薯皮的头、中、尾 3 段之间均呈极显著正相关;粗纤维质量分数在薯肉的头、中、尾 3 段之间呈极显著

或显著正相关;粗纤维质量分数在薯皮的头段与中段、中段与尾段之间分别呈极显著和显著正相关。干物质质量分数在薯肉与薯皮的头段与头段、中段与中段、尾段与尾段之间呈极显著或显著正相关;粗蛋白、可溶性糖质量分数在薯肉与薯皮之间的中段与中段(中/中段)呈显著正相关。

表 9 同一营养成分在木薯不同部位间的相关性分析

Table 9 Correlation analysis of each nutrient in different parts of cassava root

营养成分 Nutrient	薯肉 Flesh			薯皮 Cortex			薯肉与薯皮 Flesh and Cortex		
	头/中段 Head/ Middle sect	中/尾段 Middle/ End sect	头/尾段 Head/ End sect	头/中段 Head/ Middle sect	中/尾段 Middle/ End sect	头/尾段 Head/ End sect	头/头段 Head/ Head sect	中/中段 Middle/ Middle sect	尾/尾段 End/ End sect
干物质 Dry matter	0.884**	0.892**	0.917**	0.974**	0.996**	0.967**	0.944**	0.905*	0.846*
β-胡萝卜素 β-carotene	0.847**	0.657*	0.691**	0.907**	0.945**	0.826**	0.568	0.375	0.373
粗淀粉 Crude starch	0.246	-0.294	-0.234	0.872**	0.872**	0.947**	0.513	0.771	0.543
粗蛋白 Crude protein	0.907**	0.921**	0.801**	0.649*	0.865**	0.654*	0.527	0.834*	0.685
可溶性糖 Soluble sugar	0.504	-0.357	-0.006	0.989**	0.907**	0.894**	0.733	0.882*	0.294
粗纤维 Crude fiber	0.671*	0.566*	0.779**	0.723**	0.596*	0.240	0.623	-0.092	0.595

注: * 代表显著性水平($P<0.05$), ** 代表极显著性水平($P<0.01$)。表 10~11 同。
Note: * represents the significance at $P<0.05$ level, while ** represents extreme significance at $P<0.01$ level. The same for Table 10~11.

2.4.2 同一部位不同营养成分间的相关性 木薯块根同一部位不同营养成分之间相关性的分析结果(表 10 和 11)表明,在薯肉的头段、中段或尾段,干物质质量分数与 β 胡萝卜素含量之间呈极显著或显著正相关;在薯肉的尾段, β 胡萝卜素含量与粗淀粉质量分数之间呈显著正相关;在薯皮的尾段,粗淀粉与可溶性糖、粗纤维质量分数之间均呈显著负相关。

表 10 木薯薯肉头、中、尾段营养成分间的相关性分析

Table 10 Correlation analysis of nutrition in flesh head,middle and end

薯肉部位 Part of flesh	营养成分 Nutrient	干物质 Dry matter	β 胡萝卜素 β -carotene	粗淀粉 Crude starch	粗蛋白 Crude protein	可溶性糖 Soluble sugar
头部 Head	干物质 Dry matter					
	β 胡萝卜素 β -carotene	0.923 * *				
	粗淀粉 Crude starch	0.431	0.431			
	粗蛋白 Crude protein	0.013	-0.097	0.489		
	可溶性糖 Soluble sugar	-0.651	-0.383	-0.434	-0.442	
	粗纤维 Crude fiber	-0.015	-0.339	-0.078	-0.086	-0.527
中部 Middle	干物质 Dry matter					
	β 胡萝卜素 β -carotene	0.915 *				
	粗淀粉 Crude starch	0.029	-0.200			
	粗蛋白 Crude protein	0.232	0.201	0.266		
	可溶性糖 Soluble sugar	-0.485	-0.196	-0.082	-0.618	
	粗纤维 Crude fiber	-0.424	-0.191	-0.666	0.074	0.236
尾部 End	干物质 Dry matter					
	β 胡萝卜素 β -carotene	0.847 *				
	粗淀粉 Crude starch	0.612	0.833 *			
	粗蛋白 Crude protein	0.044	0.262	0.535		
	可溶性糖 Soluble sugar	0.341	0.077	-0.299	-0.652	
	粗纤维 Crude fiber	-0.681	-0.430	-0.078	0.361	-0.223

表 11 木薯薯皮头、中、尾段营养成分间的相关性分析

Table 11 Correlation analysis of nutrition in cortex head,middle and end

薯皮部位 Part of cortex	营养成分 Nutrient	干物质 Dry matter	β 胡萝卜素 β -carotene	粗淀粉 Crude starch	粗蛋白 Crude protein	可溶性糖 Soluble sugar
头部 Head	干物质 Dry matter					
	β 胡萝卜素 β -carotene	0.741				
	粗淀粉 Crude starch	0.466	0.420			
	粗蛋白 Crude protein	-0.270	-0.795	-0.022		
	可溶性糖 Soluble sugar	-0.585	-0.012	-0.492	-0.542	
	粗纤维 Crude fiber	-0.171	0.201	-0.673	-0.315	0.094
中部 Middle	干物质 Dry matter					
	β 胡萝卜素 β -carotene	-0.025				
	粗淀粉 Crude starch	0.229	0.379			
	粗蛋白 Crude protein	0.261	0.051	0.700		
	可溶性糖 Soluble sugar	-0.556	-0.116	-0.516	-0.813	
	粗纤维 Crude fiber	-0.076	-0.246	-0.778	-0.543	0.092
尾部 End	干物质 Dry matter					
	β 胡萝卜素 β -carotene	0.693				
	粗淀粉 Crude starch	0.592	0.401			
	粗蛋白 Crude protein	-0.010	0.497	0.474		
	可溶性糖 Soluble sugar	-0.705	-0.607	-0.879 *	-0.536	
	粗纤维 Crude fiber	-0.314	-0.203	-0.857 *	-0.448	0.533

3 讨论与结论

3.1 木薯块根薯皮的利用价值

本试验结果表明,木薯块根干物质、粗淀粉质量分数表现为薯肉>全薯>薯皮, β -胡萝卜素含量与粗蛋白、可溶性糖、粗纤维质量分数表现为薯皮>全

薯>薯肉,这与笔者前期的研究结果一致^[18];且本试验结果还表明,薯皮 β -胡萝卜素含量和粗蛋白、可溶性糖、粗纤维质量分数分别是薯肉的 1.2~15.3, 2.4~6.7,1.2~2.2,3.4~7.5 倍,说明在以上 4 种营养价值方面薯皮优于薯肉。此外,笔者前期研究^[18]及本研究结果表明木薯薯皮的营养价值不亚

于米糠^[3]、小麦麸皮^[26-27];林立铭等^[19]的研究表明,薯皮含有较高的 K、Ca、Mg 等矿质元素;陈晓明等^[17,28]的研究表明,薯皮不仅含有较高的 K、Ca、Na 等矿物质,还含有可作药用的部分生物碱、香豆素及抗胆碱酯酶等重要活性物质。这些事实均说明,木薯皮具有非常高的综合利用价值。

据报道,Zhu 等^[29]通过化学分析及扫描电子显微镜观察,发现木薯茎的干样含 22%~39%的粗淀粉,其中约 95%的淀粉位于木质部,4%的淀粉位于韧皮部,1%的淀粉位于髓部,并因此建议将木薯茎作为生物质能源酒精的加工原料。本试验结果表明,薯皮干样的粗淀粉质量分数为 27.1%~69.0%,是薯肉的 32.8%~93.3%,说明薯皮也含有较高的粗淀粉,值得深入研究薯皮在淀粉和酒精等方面的加工利用价值。由于本研究只采用化学分析方法,有待采用扫描电子显微镜来进一步观察木薯块根粗淀粉的详细分布规律,特别是薯皮(次生韧皮部)是否含有较多的可供加工利用的粗淀粉。

3.2 木薯块根不同部位营养成分的分布特点

甘蔗茎内的蔗糖积累速率决定于蔗糖磷酸合酶(SPS)、蔗糖合酶(SS)、可溶性酸性转化酶(SAI)等蔗糖代谢相关酶的活性平衡,其中 SS 对蔗糖合成的催化活性随着茎节的成熟而下降,SS 分解蔗糖的活性、蛋白质表达随着成熟而升高;此外,合成的蔗糖可作为调控源库代谢的信号分子,调控与蔗糖积累关系密切的蔗糖代谢相关酶(如 SS 和转化酶(Ivr)的 2 个同工酶)以及蔗糖运输蛋白的基因表达,还涉及到蔗糖的跨膜运输能力等^[30-35]。本试验结果表明,木薯块根全薯、薯肉、薯皮的干物质、粗蛋白质量分数以及薯皮粗纤维质量分数均存在头段>中段>尾段的分布特点,且差异均达到极显著水平,与甘蔗茎节段的蔗糖含量自下而上逐节段降低的分布规律近似^[12-13,30]。可见,木薯块根干物质、粗蛋白及粗纤维质量分数的分布特点,可能与块根中某些相关的酶活性、运输蛋白、基因表达、跨膜运输能力等因素有关,这值得进一步研究。

国内外用甘蔗蔗汁的纯度比(即梢部茎蔗汁纯度/中部茎蔗汁纯度),作为判断甘蔗生物学成熟度的指标,纯度比值在 95.0 以上为甘蔗最成熟,在 80.01~95.00 为甘蔗成熟^[36],以上方法可快速准确地反映甘蔗的生物学成熟情况。目前,我国主要采用全薯的水比重法、化学分析法来测定鲜薯的干物率和淀粉质量分数,然后根据木薯周年种植和收获试验的鲜薯产量、鲜薯干物率、淀粉质量分数来推测

木薯成熟期、收获期^[25,37],但在不同品种、不同地区、不同气候和不同栽培条件下,难免出现较大偏差和不够准确的问题。本试验结果表明,木薯块根全薯、薯肉、薯皮的干物质、粗蛋白质量分数以及薯皮粗纤维质量分数均存在头段>中段>尾段的分布特点,且均达到极显著差异水平,那么是否可以进一步探索使用薯块的头、中、尾 3 段的干物质等比值来评价木薯的成熟度和收获期,以随时随地得到准确的鲜薯成熟度指标,从而方便加工企业和种植户准确把握木薯的收获期,这也值得进一步分析和探讨。

虽然本研究涉及的 6 种营养成分在薯肉、薯皮的头、中、尾 3 段之间存在一些显著或极显著的相关关系,但并未发现较强的相关规律,各营养成分的相关性尚有待进一步探究。Burns 等^[38]研究表明,木薯块根化学成分受基因型和环境条件的双重影响,由于本研究仅是对一年一地 6 份木薯种质的取样分析,且木薯生长期为 16 个月,与我国一般 10 个月左右的木薯生长期有较大的时间差距。因此,应通过多年多点 and 更多木薯种质的试验验证,进一步研究以明确木薯块根不同部位营养成分的分布规律。

[参考文献]

- [1] 周丽慧,刘巧泉,顾铭洪.不同粒型稻米碾磨特性及蛋白质分布的比较[J].作物学报,2009,35(2):317-323.
Zhou L H, Liu Q Q, Gu M H. Milling characteristics and distribution of seed storage proteins in rice with various grain shapes [J]. Acta Agronomica Sinica, 2009, 35(2): 317-323. (in Chinese)
- [2] 任顺成,王素雅.稻米中的蛋白质分布与营养分析[J].中国粮油学报,2002,17(6):35-38.
Ren S C, Wang S Y. Distribution and nutritional analysis of rice proteins [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2002, 17(6): 35-38. (in Chinese)
- [3] 石 燕,邹 金,郑为完,等.稻米主要营养成分和矿质元素的分布分析[J].南昌大学学报(工科版),2010,32(4):390-393.
Shi Y, Zou J, Zheng W W, et al. Research on the distribution of nutritional ingredients and mineral elements in rice [J]. Journal of Nanchang University (Engineering & Technology), 2010, 32(4): 390-393. (in Chinese)
- [4] Hayakawa S, Suzuki H, Suzuki T. Radial distribution of amino acids in the milled rice kernel [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1987, 35(4): 607-610.
- [5] 王晓曦,杨献辉,程凤明,等.小麦胚乳结构中蛋白质分布及其对面团流变学特性影响的研究[J].郑州工程学院学报,2001,22(1):63-65.
Wang X X, Yang X H, Cheng F M, et al. Study on protein distribution in wheat endosperm and its impact on dough rheological properties [J]. Journal of Zhengzhou Engineering Institute,

- 2001,22(1):63-65. (in Chinese)
- [6] 曹向宇,刘剑利,侯 萧,等. 麦麸多肽的分离纯化及体外抗氧化功能研究 [J]. 食品科学,2009,30(5):257-259.
Cao X Y,Liu J L,Hou X,et al. Study on purification and antiooxidation *in vitro* of wheat bran peptide [J]. Food Science, 2009, 30(5): 257-259. (in Chinese)
- [7] 张晓娜,王世平,周素梅,等. 小麦麸皮阿拉伯木聚糖碱提工艺条件优化研究 [J]. 核农学报,2008,22(1):60-64.
Zhang X N,Wang S P,Zhou S M,et al. Optimization of alkaline extraction conditions for arabinoxylan from wheat bran [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences,2008,22(1):60-64. (in Chinese)
- [8] 万 萍,尹 莉. 小麦麸皮膳食纤维提取工艺研究 [J]. 成都大学学报(自然科学版),2008,27(2):92-95.
Wan P,Yin L. The technology of extracting dietary fiber from wheat bran [J]. Journal of Chengdu University (Natural Science Edition),2008,27(2):92-95. (in Chinese)
- [9] 贾延宇,师玉忠,田丰贺,等. 甘薯不同段位淀粉的组成及黏度特性研究 [J]. 河南农业科学,2011,40(8):84-86.
Jia Y Y,Shi Y Z,Tian F H,et al. Contents and viscosity properties of extracted starches from different parts of fresh sweet potato tubers [J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2011,40(8):84-86. (in Chinese)
- [10] 张永清. 北沙参根中化学成分分布规律探讨 [J]. 山东中医药大学学报,2002,26(3):221-224.
Zhang Y Q. Study on chemical component distribution characteristics in *Glehnia littoralis* Fr. Schmidt ex Miq. root [J]. Journal of Shandong University of Tcm, 2002, 26(3): 221-224. (in Chinese)
- [11] 郭东锋,郭玉海,黄 勇,等. 管花肉苁蓉不同部位主要矿质元素含量研究 [J]. 安徽农业科学,2009,37(22):10494-10495,10499.
Guo D F,Guo Y H,Huang Y,et al. Study on mineral element contents in different parts of *Cistanche tubulesa* (Schenk) Wight [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences,2009,37(22):10494-10495,10499. (in Chinese)
- [12] 周文灵,江 永,李奇伟,等. 甘蔗蔗糖积累的规律、影响因素及其调控机制的研究进展 [J]. 甘蔗糖业,2011(6):11-17.
Zhou W L,Jiang Y,Li Q W,et al. Advances in the rules,influencing factors and regulatory mechanisms of sucrose accumulation in sugarcane [J]. Sugarcane and Cane sugar,2011(6): 11-17. (in Chinese)
- [13] Brumbley S M,Snyman S J,Gnanasambandam A,et al. Acompendium of transgenic cropplants:sugar,tuber and fiber crops [M]. Oxford,UK:Wiley-Blackwell Publishing,2008.
- [14] Lebot V. Tropical root and tuber crops:cassava,sweet potato,yams and aroids [M]. Wallingford,UK:CABI,2009.
- [15] 黄 洁. 木薯丰产栽培技术 [M]. 海口:三环出版社,2007.
Huang J. The cultivation of cassava [M]. Haikou:Sanhuan Press,2007. (in Chinese)
- [16] 徐 娟,黄 洁. 6 份木薯种质营养成分与食味的初步分析及评价 [J]. 热带作物学报,2013,34(2):373-376.
- Xu J,Huang J. The elementary analysis and evaluation of nutritive content and edible quality on 6 cassava germplasms [J]. Chinese Journal of Tropical Crops,2013,34(2):373-376. (in Chinese)
- [17] 陈晓明,李开绵,台建祥,等. 大戟科木薯皮矿物质及化学成分的波谱分析 [J]. 食品研究与开发,2012,33(1):123-129.
Chen X M,Li K M,Tai J X,et al. The minerals and chemical composition of the spectrum analysis of the tegument of cassava of euphorbiaceae [J]. Food Research and Development, 2012,33(1):123-129. (in Chinese)
- [18] 魏 艳,黄 洁,许瑞丽,等. 木薯肉与木薯皮营养成分的研究初报 [J]. 热带作物学报,2015,36(3):536-540.
Wei Y,Huang J,Xu R L,et al. Primary study of the nutrient contents in the flesh and cortex of cassava root [J]. Chinese Journal of Tropical Crops,2015,36(3):536-540. (in Chinese)
- [19] 林立铭,魏 艳,黄 洁,等. 木薯块根矿质元素分布规律的研究 [J]. 江西农业大学学报,2014,36(5):1086-1090.
Lin L M,Wei Y,Huang J,et al. Study of the mineral elements distribution in cassava root [J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis,2014,36(5):1086-1090. (in Chinese)
- [20] 詹 玲,李宇辉,冯 献. 我国木薯生产加工现状及前景展望 [J]. 农业展望,2010(6):33-36.
Zhan L,Li N H,Feng X. The status of cassava industry production and processing in China and its future prospect [J]. Agricultural Outlook,2010(6):33-36. (in Chinese)
- [21] 中华人民共和国农业部,中国国家标准化管理委员会. NY/T 2446—2013 热带作物品种区域试验技术规程:木薯 [S]. 北京:中国农业出版社,2013.
Ministry of Agriculture of the People's Republic of China, Standardization Administration of China. NY/T 2446—2013 The test technical procedures of tropical crop variety regional: Cassava [S]. Beijing:China Agriculture Press,2013. (in Chinese)
- [22] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. GB/T 5514—2008 粮油检验:粮食、油料中淀粉含量测定 [S]. 北京:中国标准出版社,2008.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of China. GB/T 5514—2008 Inspection of grain and oils:determination of starch content in grain and oil-seeds [S]. Beijing: China Standards Press,2008. (in Chinese)
- [23] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. GB/T 15673—2009 食用菌中粗蛋白含量的测定 [S]. 北京:中国标准出版社,2009.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of China. GB/T 15673—2009 Determination of crude protein in edible mushroom [S]. Beijing: China Standards Press,2009. (in Chinese)
- [24] 张志良. 植物生理学实验指导 [M]. 北京:高等教育出版社,2003:127-128.
Zhang Z L. Plant physiology experiment instruction [M]. Bei-

- jing; Higher Education Press, 2003; 127-128. (in Chinese)
- [25] 中华人民共和国卫生部, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 5009.10—2003 植物类食品中粗纤维的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of China. GB/T 5009—2003 Determination of crude fiber in vegetable foods [S]. Beijing: China Standards Press, 2003. (in Chinese)
- [26] 林 琳. 小麦麸皮的营养成分及其开发利用 [J]. 农业科技与装备, 2010(3): 41-42.
- Lin L. On the nutrient components and its utilization of wheat bran [J]. Agricultural Science & Technology and Equipment, 2010(3): 41-42. (in Chinese)
- [27] 江 晖, 何 珣. 小麦麸皮功能性成分的研究进展 [J]. 安徽农业科学, 2011, 39(2): 834-835.
- Jiang H, He X. Research progress of the functional ingredients of wheat bran [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2011, 39(2): 834-835. (in Chinese)
- [28] 陈晓明, 李开绵, 台建祥, 等. 超声波辅助提取木薯皮活性物质工艺 [J]. 农业工程学报, 2011, 27(S1): 389-396.
- Chen X M, Li K M, Tai J X, et al. Technology of ultrasonic-assisted extracting active substance from cassava peel [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(S1): 389-396. (in Chinese)
- [29] Zhu W, Lestander A, Örborg H, et al. Cassava stems: a new resource to increase food and fuel production [J]. GCB Bioenergy, 2015, 7(1): 72-83.
- [30] 颜克伟, 徐景升, 祁建民. 甘蔗糖代谢及转录组学研究 [C]//中国作物学会. 2012年中国作物学会学术年会论文摘要集. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2012: 36.
- Yan K W, Xu J S, Qi J M. The metabolism and transcriptome studies of Cane sugar [C]//The Crop Science Society of China. The Academic Conference Abstract Set of the Crop Science Society of China. Beijing: China's agricultural science and technology press, 2012: 36. (in Chinese)
- [31] Botha F C, Black K G. Sucrose phosphate synthase and sucrose synthase activity during maturation of internodal tissue in sugarcane [J]. Australian Journal of Plant Physiology, 2000, 27(1): 81-85.
- [32] 刘凌霄, 沈法富, 卢合全, 等. 蔗糖代谢中蔗糖磷酸合成酶 (SPS) 的研究进展 [J]. 分子植物育种, 2005, 3(2): 275-281.
- Liu L X, Shen F F, Lu H Q, et al. Research advance on sucrose phosphate synthase in sucrose metabolism [J]. Molecular Plant Breeding, 2005, 3(2): 275-281. (in Chinese)
- [33] 王俊刚, 赵婷婷, 张树珍, 等. 甘蔗体内的蔗糖转运与运输途径 [J]. 植物生理学通讯, 2008, 44(3): 605-611.
- Wang J G, Zhao T T, Zhang S Z, et al. Sucrose transport and translocation pathways in the sugarcane [J]. Plant Physiology Communications, 2008, 44(3): 605-611. (in Chinese)
- [34] Rohwer J M, Botha F C. Analysis of sucrose accumulation in the sugar cane culm on the basis of *in vitro* kinetic data [J]. J Biochemical Journal, 2001, 358(Part 2): 437-445.
- [35] Schäfer W E, Rohwer J M, Botha F C. Protein-level expression and localization of sucrose synthase in the sugarcane culm [J]. Physiologia Plantarum, 2004, 121(2): 187-195.
- [36] 魏奉盘. 甘蔗的成熟与收获: 四 [J]. 甘蔗糖业, 1979(8): 40-44.
- Wei F P. The mature and harvest of sugar cane: Fourth [J]. Sugarcane and Canesugar, 1979(8): 40-44. (in Chinese)
- [37] 黄 洁, 张伟特, 许瑞丽. 我国木薯周年种植与收获探讨 [J]. 中国热带农业, 2008(2): 36-37.
- Huang J, Zhang W T, Xu R L. The discuss of cassava anniversary grow and harvest in China [J]. China Tropical Agriculture, 2008(2): 36-37. (in Chinese)
- [38] Burns A E, Gleadow R M, Zacarias A M, et al. Variations in the chemical composition of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) leaves and roots as affected by genotypic and environmental variation [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(19): 4946-4956.