



中文核心期刊
中国科技核心期刊
中国科学引文数据库来源期刊
中国核心学术期刊
中国农业核心期刊

ISSN 2095-1191

CODEN NNXAAB

南方农业学报

Nanfang Nongye Xuebao

第48卷 第2期 2017年2月

Journal of Southern Agriculture

Vol.48 No.2 Feb. 2017

2

2017



广西壮族自治区农业科学院 主办

Sponsored by Guangxi Academy of Agricultural Sciences

科学出版社 出版

Published by Science Press

野生和栽培木薯叶片的营养及饲料价值研究

杨 龙^{1,2}, 张冠冬^{1,3}, 宋雁超¹, Andrew Westby⁴, 李开绵¹, 陈松笔^{1*}

(¹中国热带农业科学院 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, 海南 儋州 571737; ²贵州省亚热带作物研究所, 贵州 兴义 562400; ³华中农业大学 植物科学技术学院, 武汉 430070; ⁴Natural Resources Institute, Greenwich University, Chatham ME4 4TB, UK)

摘要:【目的】研究不同木薯种质叶片的营养成分差异,为木薯叶作为饲料资源开发利用提供参考。【方法】测定8个木薯种质(3个野生种和5个栽培种)功能叶片的粗脂肪、粗蛋白、可溶性糖、淀粉、类胡萝卜素和氢氰酸(HCN)含量,并利用Western blotting测定功能叶片相关蛋白酶(UGPase、AGPase、GBSSI和Linamarase)的表达水平。【结果】8个木薯种质中,野生种*Manihot cecropiaefolia* Phhl功能叶片的淀粉、可溶性糖和类胡萝卜素含量最高,分别为2.5 g/100 gDW、30.0 g/100 gDW和91.9 mg/100 gFW,蛋白质和HCN含量中等;栽培种SC9功能叶片蛋白质和可溶性糖含量中等,HCN含量最低,仅167 mg/kgFW。Western blotting分析结果表明,*M. cecropiaefolia* Phhl叶片糖和淀粉代谢通路的关键酶UGPase、AGPase和GBSSI表达水平最高,SC9 HCN代谢通路的关键酶Linamarase表达水平最低,各蛋白质表达水平与相关生理指标变化趋势一致。通过主成分分析结果可看出,叶片淀粉和可溶性糖含量较高的木薯种质,粗脂肪含量较低;可溶性糖、粗蛋白和类胡萝卜素含量较高的木薯种质,HCN含量较低。【结论】野生木薯*M. cecropiaefolia* Phhl完全展开功能叶片的综合营养价值较高,可考虑作为畜禽和蚕用饲料资源开发利用;栽培种木薯SC9新鲜叶片HCN含量较低,也可优先作为蚕用饲料。

关键词: 木薯; 野生种; 栽培种; 叶片; 营养成分; 蛋白质表达; 饲料价值

中图分类号: S533.099

文献标志码: A

文章编号: 2095-1191(2017)02-0238-08

Nutrient and feed value analysis in leaves of cassava wild species and cultivars

YANG Long^{1,2}, ZHANG Guan-dong^{1,3}, SONG Yan-chao¹, Andrew Westby⁴,
LI Kai-mian¹, CHEN Song-bi^{1*}

(¹Tropical Crops Genetic Resources Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences/Key Laboratory of Ministry of Agriculture for Germplasm Resources Conservation and Utilization of Cassava, Danzhou, Hainan 571737, China; ²Guizhou Subtropical Crops Research Institute, Xingyi, Guizhou 562400, China; ³College of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; ⁴Natural Resources Institute, Greenwich University, Chatham ME4 4TB, UK)

Abstract: [Objective] In order to provide reference for developing cassava leaves as feed resources, nutritional components in leaves of cassava wild species and cultivars were studied. [Method] Nutritional components including crude lipid, crude protein, soluble sugar, starch, carotenoid and HCN contents in functional leaves of eight cassava germplasms (three cassava wild species and five cultivars) were determined. The expression levels of proteases (UGPase, AGPase, GBSSI and Linamarase) were determined using Western blotting method. [Result] Among eight cassava germplasms, wild species *Manihot cecropiaefolia* Phhl contained the highest starch content in functional leaves, which was 2.5 g/100 gDW, the highest soluble sugar content which was 30.0 g/100 gDW and the highest carotenoid content which was 91.9 mg/100 gFW, but protein and hydrocyanic acid contents were at moderate level. Cultivar SC9 contained moderate protein and soluble sugar contents in functional leaves, and the lowest HCN content which was 167 mg/kgFW. According to Western blotting analysis, expression levels of key enzymes, UGPase, AGPase and GBSSI, for sugar and starch metabolic pathway were the highest in *M. cecropiaefolia* Phhl; while key enzyme Linamarase for SC9 HCN metabolic pathway was the lowest. Expression levels of all proteins were in accordance with related physiological indexes variation trend. Principal component analysis revealed that, the cassava germplasms with high starch and soluble sugar content in leaf were tend to contain low crude lipid content; and the ones with high soluble sugar, crude protein and carotenoid contents would contain low HCN content. [Conclusion] Comprehensive nutritional value of functional leaves in cassava wild species *M. cecropiaefolia* Phhl is high, which may be developed as feed resources for livestock and silkworm. HCN content in cultivar SC9 fresh leaf is low, thus it can be used as feed for silkworm.

Key words: cassava; wild species; cultivar; leaf; nutrient content; protein expression; feed value

收稿日期: 2016-09-01

基金项目: 海南省创新创业人才启动基金——中英非研究挑战基金项目 (AgriTT Research Challenge Fund, Reference: 1561); 中国热带农业科学院科技攻关专题项目 (1630032015005)

作者简介: *为通讯作者, 陈松笔(1966-), 研究员, 主要从事木薯分子育种和蛋白质组学研究工作, E-mail: songbichen@catas.cn. 杨龙(1987-), 主要从事木薯分子遗传育种研究工作, E-mail: yanglong0913@163.com

0 引言

【研究意义】木薯(*Manihot esculenta* Crantz)是热带地区广泛种植的经济作物, 是全世界热带地区近8亿人口的重要粮食作物(Prochnik et al., 2012)。木薯以收获块根为主, 其茎叶为主要副产品, 在非洲、拉丁美洲和东南亚国家, 有将木薯嫩叶浸水除去氢氰酸(HCN)后作蔬菜食用的习惯; 在我国, 木薯茎叶主要用作饲料、菌类培养基和肥料等。木薯茎叶鲜产量与块根产量相当, 嫩茎叶干粉蛋白质含量与大豆相当, 营养成分丰富, 木薯叶风干后水分含量为9.7%, 含粗蛋白13.6%、粗脂肪7.1%、粗纤维19.7%、无氮浸出物47.2%和粗灰分7.5%, 且富含钙、镁、铁、锰和锌, 是一种营养全面、产量很高的饲料(冯乾, 1997)。合理开发木薯嫩茎叶作为动物蛋白饲料, 能有效解决我国热带地区牧草资源短缺等问题。但由于不同品种木薯叶片的蛋白质和矿物元素存在明显差异(李开绵等, 1999; 高超, 2011; 王定发等, 2016), 因此, 分析比较不同木薯种质叶片的营养成分差异, 筛选出适合作为饲料的木薯种质, 对缓解饲料粮不足及提高木薯种植收益均具有重要意义。【前人研究进展】木薯叶粉是良好的蛋白质和氨基酸来源, 且含有较丰富的矿物质和维生素, 可作为畜禽类的部分饲料来源(陈小微等, 1992; 吴世林等, 1993; 石俭省和王振权, 1996)。高超(2011)对木薯叶粉的淀粉、蛋白质、粗脂肪、粗纤维及矿质元素等营养成分进行分析, 指出木薯叶中粗蛋白含量高于一般的植物和果蔬, 其蛋白质价值可与鸡蛋蛋白相媲美; 粗脂肪和粗纤维含量也明显高于其他叶菜类; 矿物质及微量元素锰、铁、锌含量较高, 其营养价值接

近苜蓿草粉, 是南亚热带地区值得挖掘的草粉资源; 但木薯叶片中磷和铜元素较缺乏, 应加以补充。冀凤杰等(2015)研究指出, 木薯叶营养成分的变异与木薯品种、植物年龄和木薯茎叶比例有关, 除含有一般营养成分外, 还富含胡萝卜素和黄酮类化合物等具保健性功能的成分。王定发等(2016)研究了华南5号、华南7号、华南8号、华南9号和华南205等5个木薯品种茎叶的营养成分, 结果表明, 华南7号木薯茎叶的干物质、粗蛋白、粗脂肪、碳水化合物及钙、磷、铁、铜、锌、锰的含量均较高, 而粗灰分、粗纤维和单宁含量低, 是饲料资源开发利用的首选。周璐丽等(2016)研究了华南7号木薯生长期6~11月茎、叶营养成分的动态变化, 并对其营养价值进行评价, 结果表明, 华南7号木薯茎叶含有较高营养成分, 具有较高的体外产气量和干物质消化率, 适于作为饲料进行开发利用。【本研究切入点】目前关于野生种和栽培种木薯叶片的研究, 多集中在光合特性和蛋白质表达差异方面(张杨, 2012; 宋红艳等, 2015; 张振文等, 2016), 而针对两者叶片营养成分差异分析及其饲料价值的研究鲜见报道。【拟解决的关键问题】比较8个木薯种质(3个野生种和5个栽培种)功能叶片营养成分和蛋白质表达水平的差异, 以期筛选出适合作为饲料的木薯种质, 为木薯叶作为饲料资源开发利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料来自中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所儋州农业部木薯种质资源圃, 具体种质来源及用途见表1。

表 1 野生和栽培木薯种质来源及主要用途

Table 1 Major germplasm resources and application of cassava wild species and cultivars

种质类型	种质名称	种质来源	主要用途
Germplasm resource type	Germplasm name	Germplasm resource	Application
野生种	<i>Manihot glaziovii</i> M.A.-Su	加勒比海岸	饲用和蚕用
Wild species	<i>Manihot cecropiaefolia</i> Phhl	印尼	饲用和蚕用
	<i>Manihot glaziovii</i> M.A.-Dan	国际热带农业中心	饲用和蚕用
栽培种	SC9	中国热带农业科学院品种资源研究所	食用
Cassava cultivar	SC205二倍体	中国热带农业科学院品种资源研究所	工业用
	SC205四倍体	中国热带农业科学院品种资源研究所	工业用
	CAS36-0	巴西农牧研究所	食用
	CAS36-12	巴西农牧研究所	食用

1.2 试验方法

1.2.1 材料准备 试验用木薯于2015年3月15日种植, 常规栽培管理, 植后180 d测定叶片形态指标, 功能叶片展开长度及裂片数量、长度和宽度的测量参照叶剑秋(2011)的方法。同时选取外观完好、无病虫害的新鲜功能叶片, 先清洗干净组织表面污物, 剪碎(去掉

中脉), 混匀待用; 随机取一部分称重, 105 ℃杀青30 min, 75 ℃烘干至恒重, 得到干样和鲜样的比重, 然后粉碎, 过筛待用。

1.2.2 木薯功能叶片营养成分测定 采用索氏提取法测定粗脂肪含量(林宏凤, 2002), 采用粗凯氏定氮法测定蛋白质含量(张允刚和房伯平, 2006), 采用蕙

酮比色法测定可溶性糖和淀粉含量(陈会鲜等, 2014),采用浸提法(无水乙醇:丙酮=1:1)测定类胡萝卜素含量(黄秋蝉等,2013),采用硝酸银滴定法测定HCN含量(陈建新等,1993)。

1.2.3 木薯功能叶片相关蛋白酶表达水平测定 木薯功能叶片与糖、淀粉代谢相关的蛋白酶AGPase、UGPase和GBSSI及与HCN含量相关的Linamarase蛋白酶表达水平测定参照Li等(2010)的Western blotting方法。AGPase(AS111739)和UGPase(AS05086)抗体购自Agrisera公司,GBSSI和Linamarase抗体均由GenScript公司根据木薯基因组数据库(<https://phytozome.jgi.doe.gov/pz/portal.html>)提供的蛋白质序列合成。

1.3 统计分析

利用Excel 2013和DPS 7.05对数据进行处理和统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同木薯种质功能叶片形态特征观察

由图1可看出,野生种和栽培种木薯功能叶片均是掌状深裂直达基部,但裂片形态特征差别明显,3种野生种木薯功能叶的裂片均为拱形,SC9、CAS36-0和CAS36-12为倒卵披针形,SC205二倍体为线形,SC205四倍体为戟形。同时由表2可看出,3种野生种木薯的叶展长度及裂片长度和宽度均明显大于栽培种。

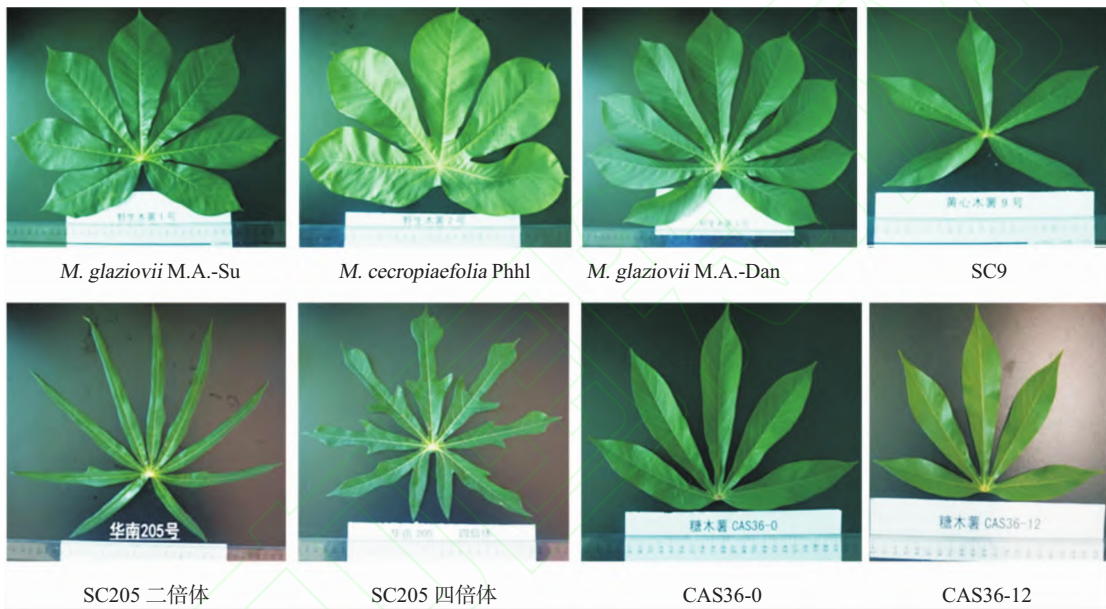


图 1 不同木薯种质功能叶片形态特征

Fig.1 Morphological characteristics of functional leaves of different cassava germplasms

表 2 野生种和栽培种木薯功能叶片展开长度及裂片数量、长度和宽度

Table 2 Spread length, lobe number, lobe length and lobe width of functional leaves of cassava wild species and cultivars

木薯种质 Cassava germplasm	叶展长度(cm) Leaf length	裂片数量(片) Lobe number	裂片长度(cm) Lobe length	裂片宽度(cm) Lobe width
<i>M. glaziovii</i> M.A.-Su	30.1±7.4	3~9	17.2±3.6	7.8±1.3
<i>M. cecropiaefolia</i> Phhl	28.0±4.2	3~8	15.7±1.8	7.1±0.9
<i>M. glaziovii</i> M.A.-Dan	32.7±5.2	3~9	18.0±2.3	8.2±1.1
SC9	22.3±4.9	3~7	13.3±2.8	4.2±1.2
SC205二倍体 SC205 diploid	24.2±4.4	5~9	15.1±3.1	2.3±0.5
SC205四倍体 SC205 autotetraploid	22.2±2.9	5~8	12.7±1.9	5.1±0.6
CAS36-0	20.0±4.9	3~9	13.2±1.8	3.3±0.3
CAS36-12	21.6±5.3	3~9	13.5±2.6	3.4±0.7

2.2 不同木薯种质功能叶片主要营养成分及HCN含量

2.2.1 粗脂肪和蛋白质含量 由图2-A可看出,8个木薯种质中,栽培种SC205二倍体和SC9的粗脂肪含量较高,分别为17.3和16.7 g/100 gDW;野生种*M. cecropiaefolia* Phhl和栽培种CAS36-0的粗脂肪含量较低,分别为10.9和11.1 g/100 gDW。3个野生种木薯中,*M. glaziovii* M.A.-Dan粗脂肪含量最高,其次为

M. glaziovii M.A.-Su,*M. cecropiaefolia* Phhl粗脂肪含量最低,三者间差异达显著水平($P<0.05$,下同)。5个栽培种木薯中,CAS36-0和CAS36-12的粗脂肪含量较低,两者间差异不显著($P>0.05$,下同),但均显著低于其他栽培种质。

由图2-B可看出,8个木薯种质中,栽培种SC205四倍体和野生种*M. glaziovii* M.A.-Dan的粗蛋白含量较

高,分别为25.5和24.7 g/100 gDW,两者间差异不显著,但均显著高于其他木薯种质;栽培种CAS36-12的粗蛋白含量最低,仅18.1 g/100 gDW。3个野生种木薯中,*M. glaziovii* M.A.-Dan粗蛋白含量最高,其次是*M.*

cecropiaefolia Phhl,*M. glaziovii* M.A.-Su粗蛋白含量最低,三者间差异显著。5个栽培种木薯中,SC205四倍体的粗蛋白含量显著高于其他种质,其他4个栽培种间差异不显著。

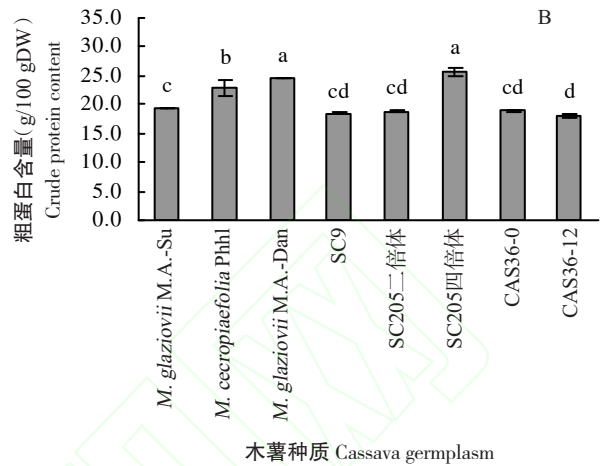
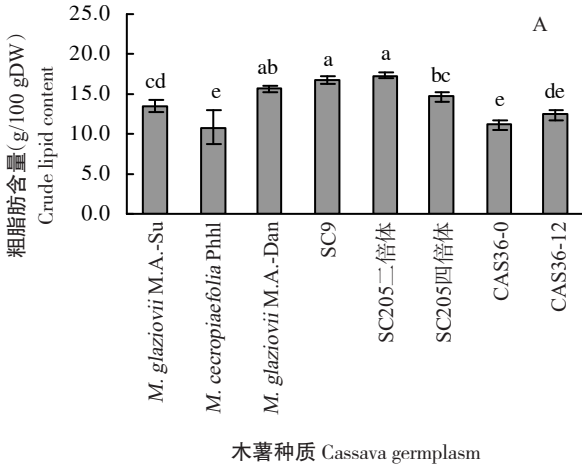


图2 不同木薯种质功能叶片粗脂肪(A)和粗蛋白(B)含量

Fig.2 Crude lipid(A) and crude protein(B) contents of functional leaves of different cassava germplasms

图中不同小写字母表示木薯种质间差异显著($P < 0.05$)。下同

Different lowercase letters in the figure represented significant differences among cassava germplasms($P < 0.05$). The same was applied in subsequent figures

2.2.2 可溶性糖和淀粉含量 由图3-A可看出,8个木薯种质中,野生种*M. cecropiaefolia* Phhl、*M. glaziovii* M.A.-Su和栽培种CAS36-0的可溶性糖含量较高,分别为30.0、29.6和29.1 g/100 gDW。3个野生种木薯中,*M. glaziovii* M.A.-Dan的可溶性糖含量最低,为26.5 g/100 gDW,显著低于其他野生种质;5个栽培种木薯中,CAS36-0可溶性糖含量最高,显著高于其他栽培种,其

余4个栽培种间差异不显著。

由图3-B可看出,8个木薯种质中,野生木薯*M. cecropiaefolia* Phhl、*M. glaziovii* M.A.-Su和栽培种CAS36-0的淀粉含量较高,分别为2.5、2.4和2.5 g/100 gDW,显著高于野生种*M. glaziovii* M.A.-Dan和栽培种SC205四倍体,但与其他种质差异不显著。野生种*M. glaziovii* M.A.-Dan淀粉含量最低,显著低于其他种质。

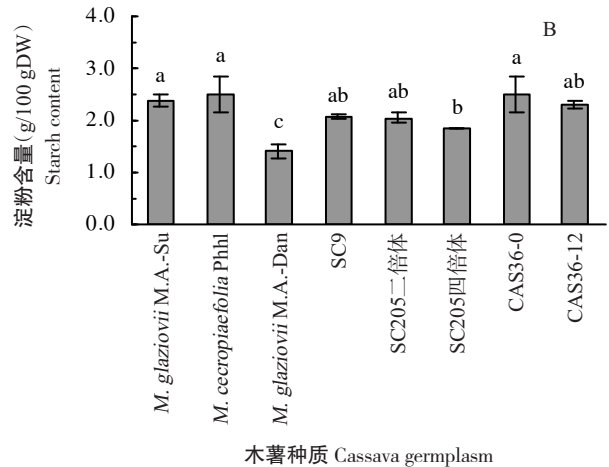
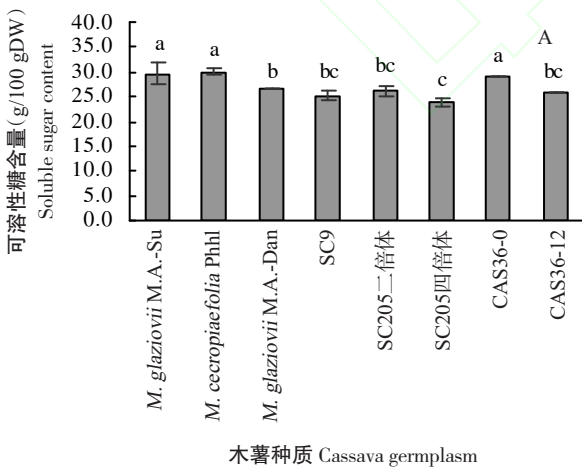


图3 不同木薯种质功能叶片可溶性糖(A)和淀粉(B)含量

Fig.3 Soluble sugar(A) and starch(B) contents of functional leaves of different cassava germplasms

2.2.3 类胡萝卜素和HCN含量 由图4-A可看出,8个木薯种质中,野生种*M. cecropiaefolia* Phhl的类胡萝卜素含量最高,为91.9 mg/100 gFW,显著高于其他种质。3个野生种木薯中,*M. glaziovii* M.A.-Su和*M. glaziovii*

M.A.-Dan的胡萝卜素含量差异不显著。5个栽培种木薯中,CAS36-0的类胡萝卜素含量最高,为43.6 mg/100 gFW,除与CAS36-12差异不显著外,显著高于其他栽培种;SC205四倍体的类胡萝卜素含量最低,但与SC205

二倍体及野生种 *M. glaziovii* M.A.-Su 和 *M. glaziovii* M.A.-Dan 间无显著差异。

由图4-B可看出,8个木薯种质中,栽培种CAS36-12和CAS36-0的HCN含量较高,分别为274和245 mg/kgFW,二者与野生种 *M. cecropiaefolia* Phhl 和栽培种SC205

二倍体无显著差异,但显著高于其他种质。野生种 *M. glaziovii* M.A.-Su 和栽培种SC9的HCN含量较低,分别为169和167 mg/kgFW,二者与野生种 *M. glaziovii* M.A.-Dan 和栽培种SC205四倍体差异不显著,但显著低于其他种质。

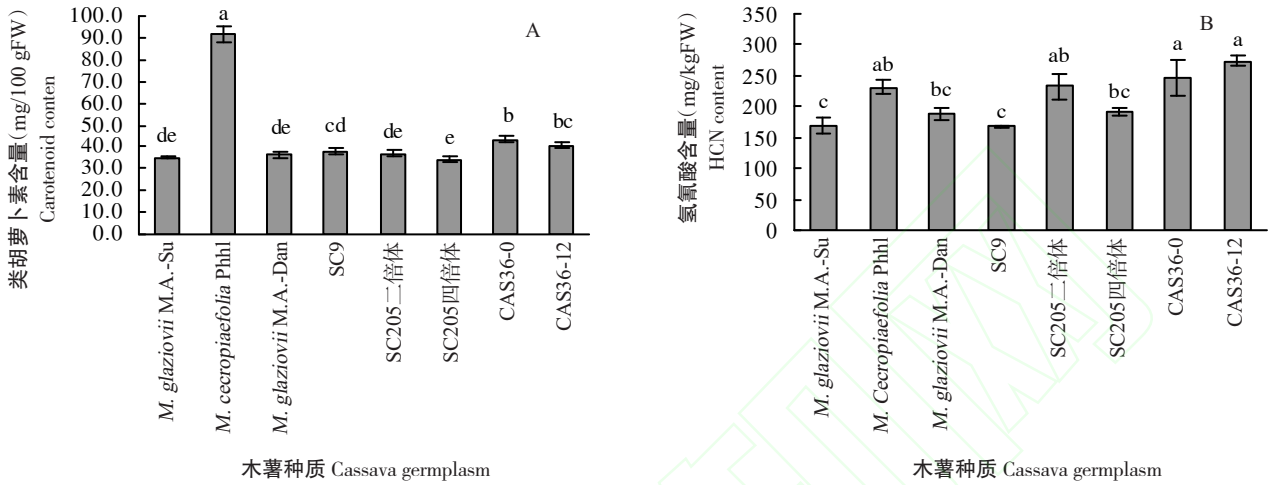


图4 不同木薯种质叶片类胡萝卜素(A)和HCN(B)含量
Fig.4 Carotenoid(A) and HCN(B) contents of leaves of different cassava germplasm

2.3 不同木薯种质叶片蛋白质表达水平分析结果

糖代谢通路的关键蛋白酶UGPase、淀粉合成通路的关键蛋白酶AGPase、GBSSI及HCN代谢通路的关键蛋白酶Linamarase在野生与栽培木薯叶片中的表达水平见图5。在8个木薯种质中,UGPase在野生种 *M. cecropiaefolia* Phhl 中的表达水平最高,在栽培种SC9中的表达水平最低(图5-A)。AGPase在野生种 *M. cecropiaefolia* Phhl 中的表达水平最高,在栽培种CAS36-0中的表达水平最低(图5-B)。GBSSI在野生种 *M. ce-*

cropiaefolia Phhl 中的表达水平最高,在栽培种SC205二倍体和SC9中的表达水平最低(图5-C)。Linamarase在栽培种CAS36-0中的表达水平最高,在栽培种SC9中的表达水平最低(图5-D)。叶片各蛋白质表达水平与相关生理指标变化趋势(图3和图4-B)一致。

2.4 功能叶片主要营养指标间的相关性分析结果

对8个木薯种质功能叶片的粗脂肪、粗蛋白、可溶性糖、淀粉、类胡萝卜素和HCN含量6项指标进行相关性分析,结果(表3)表明,6个指标间均无显著相关性。

表3 木薯叶片主要营养指标间的相关性分析

Table 3 Correlation analysis of major nutrition indexes in cassava leaves

指标 Item	类胡萝卜素含量 Carotenoid concent	粗蛋白含量 Crude protein concent	粗脂肪含量 Crude lipid concent	可溶性糖含量 Soluble sugar concent	淀粉含量 Starch concent	HCN含量 HCN concent
类胡萝卜素含量 Carotenoid concent	1.000					
粗蛋白含量 Crude protein concent	0.167	1.000				
粗脂肪含量 Crude lipid concent	-0.592	0.011	1.000			
可溶性糖含量 Soluble sugar concent	0.582	-0.180	-0.660	1.000		
淀粉含量 Starch concent	0.480	-0.578	-0.694	0.636	1.000	
HCN含量 HCN concent	0.305	-0.322	-0.508	0.127	0.437	1.000

2.5 功能叶片主要营养指标的主成分分析结果

对8个木薯种质的粗脂肪、粗蛋白、可溶性糖、淀粉、胡萝卜素和HCN含量6项指标进行主成分分析。由表4可知,前三个主成分的累积贡献率为88.875%,已基本反映8个木薯种质的营养成分信息。同时由表4和表5可知,第一主成分的特征值为3.141,贡献率为52.346%,特征向量为较高正值的指标有淀粉含量和可溶性糖含量,特征向量为较高负值的指标有粗脂肪

含量,说明淀粉和可溶性糖含量较高的木薯种质,其粗脂肪含量较低;第二主成分的特征值为1.349,贡献率为22.489%,特征向量为较高正值的指标有粗蛋白含量和类胡萝卜素含量,特征向量为较高负值的指标有HCN和淀粉含量,说明粗蛋白和类胡萝卜素含量较高的木薯种质,其HCN含量较低;第三主成分的特征值为0.842,贡献率为14.041%,特征向量为较高正值的指标有HCN含量,特征向量为较高负值的指标有可

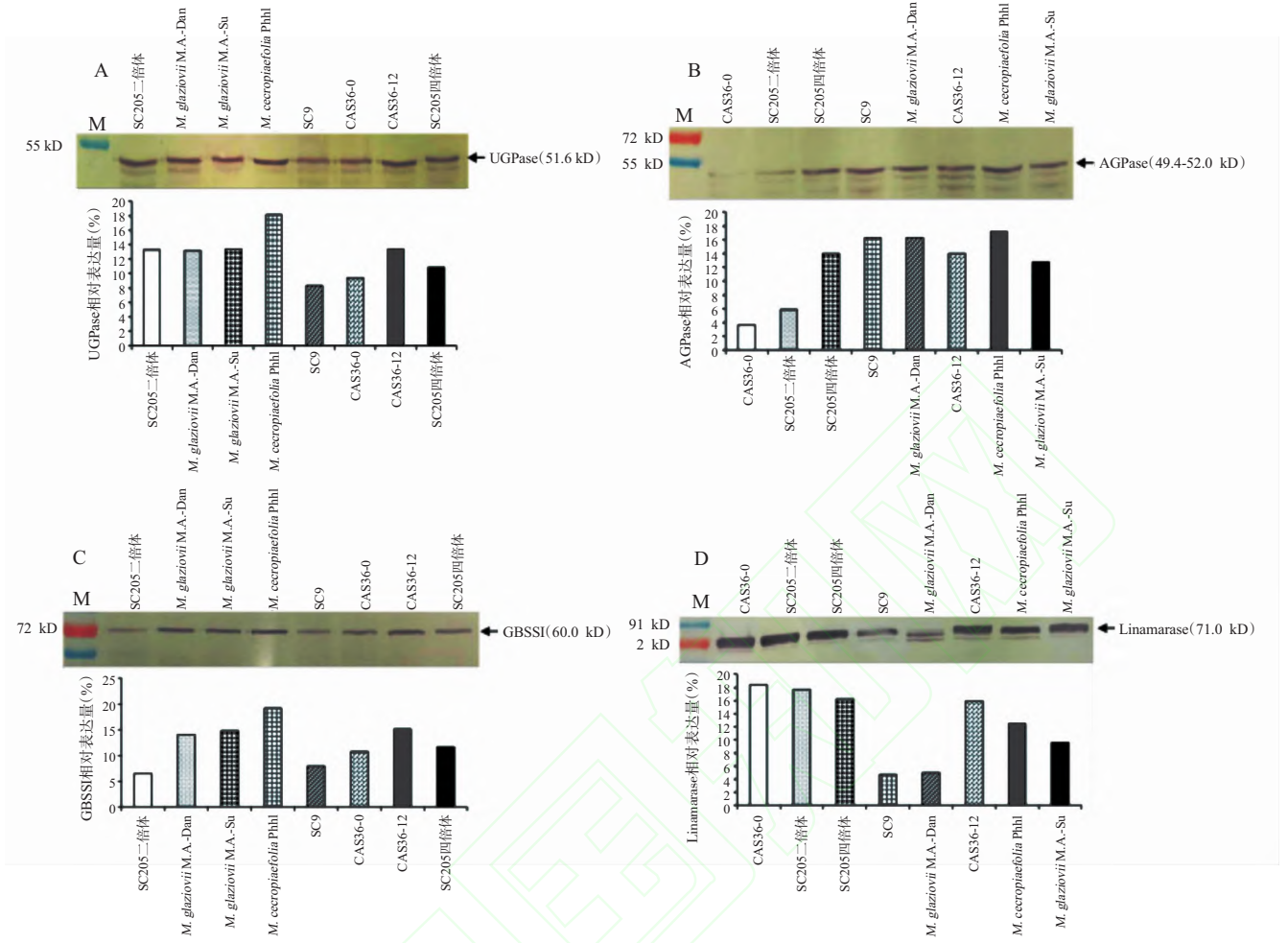


图 5 不同木薯种质功能叶片UGPase(A)、AGPase(B)、GBSSI(C)和Linamarase(D)蛋白酶的表达水平

Fig.5 Expression levels of UGPase(A),AGPase(B),GBSSI(C) and Linamarase(D) of different cassava germplasm

溶性糖含量,说明HCN含量较高的木薯种质,其可溶性糖含量较低。

表 4 主成分的特征值和累积贡献率

Table 4 Eigenvalue of principal component and cumulative contribution rates

主成分 Principal component	初始特征值 Initial eigenvalue		
	特征值 Eigenvalue	贡献率(%) Contribution rate	累积贡献率(%) Cumulative contribution rate
一 One	3.141	52.346	52.346
二 Two	1.349	22.489	74.835
三 Three	0.842	14.041	88.875
四 Four	0.379	6.323	95.198
五 Five	0.238	3.974	99.173
六 Six	0.050	0.827	100.000

3 讨论

野生木薯的特点是不长薯块,叶片大,在我国南亚热带地区,尤其是海南省,一年四季生长旺盛,地上部分生物量大,很适合刈割作为畜禽饲料用。本研究结果显示,8个木薯种质中,野生木薯*M. cecropiaefolia*

表 5 木薯功能叶片主要营养指标主成分分析结果

Table 5 Principal component analysis of major nutrition indexes in cassava functional leaves

因子 Factor	特征向量 Feature vector		
	1	2	3
类胡萝卜素含量 Carotenoid content	0.4014	0.4481	0.0757
粗蛋白含量 Crude protein content	-0.1941	0.7691	0.2422
粗脂肪含量 Crude lipid content	-0.4909	-0.2036	-0.1580
可溶性糖含量 Soluble sugar content	0.4455	0.1846	-0.5013
淀粉含量 Starch content	0.5017	-0.2488	-0.1971
HCN含量 HCN content	0.3317	-0.2652	0.7877

Phhl具有淀粉、类胡萝卜素和可溶性糖含量高,蛋白质和HCN含量中等的特点,Western blotting分析结果也表明其糖和淀粉代谢通路关键酶UGPase、AGPase和GBSSI在所有种质中表达水平最高,与其淀粉、类胡萝卜素和可溶性糖含量较高的结果相对应。韦秉兴等(1992)研究表明,叶片总糖、蔗糖和萜烯类挥发性物质分别作为摄食因子和诱食因子,其含量高决定蚕类对叶片的喜食程度,而类胡萝卜素是重要的萜烯类化合物(秦艳青等,2014)。野生木薯*M. cecropiaefolia*

Phhl的类胡萝卜素含量是其他7种木薯种质的2倍以上,其可溶性糖含量也最高,因此推测该种质可作为一种良好的畜禽和蚕用饲料。

木薯叶中含有HCN、单宁和植酸等抗营养因子,其中叶部和茎部HCN含量约占全株含量的2.1%和36.0%,但经过加工去除HCN的木薯叶可直接食用(Fasuyi, 2005)。本研究结果显示,栽培种木薯SC9新鲜功能叶片虽然蛋白质和可溶性糖含量中等,但HCN含量最低,Western blotting分析结果也证实SC9的HCN代谢通路关键酶Linamarase表达水平最低。说明栽培木薯SC9的新鲜叶片可优先作为蚕用饲料加以利用。

本研究的主成分分析结果表明,叶片淀粉和可溶性糖含量较高的木薯种质,其粗脂肪含量较低;可溶性糖、粗蛋白和类胡萝卜素含量较高的木薯种质,其HCN含量较低。因此,今后在选育可作为畜禽和蚕用饲料的木薯种质时,应注重选育淀粉、可溶性糖和粗蛋白含量较高的种质,并通过对其叶片的开发利用,进一步提高木薯利用价值,延长其产业链。

4 结论

本研究结果表明,野生木薯*M. Cecropiaefolia* Phhl完全展开功能叶片的综合营养价值较高,经加工去除HCN后可考虑作为畜禽和蚕用饲料资源开发利用;栽培种质SC9虽综合营养价值中等,但新鲜叶片HCN含量较低,也可优先作为蚕用饲料。

参考文献:

陈会鲜,罗兴录,袁圣勇,刘兴淋,黄以致,杨鑫,郭雅静,樊吴静. 2014. 不同木薯品种茎叶可溶性糖与块根淀粉积累特性研究[J]. 南方农业学报,45(6):972-979.

Chen H X, Luo X L, Yuan S Y, Liu X L, Huang Y Z, Yang X, Guo Y J, Fan W J. 2014. Characteristics of starch accumulation in root tuber and soluble sugar in the stems and leaves of different cassava[J]. Journal of Southern Agriculture, 45(6):972-979.

陈建新,刘国帼,刘家运,黄金榴,蒋宗勇. 1993. 不同时期及不同品种木薯氢氰酸含量分析[J]. 广东畜牧兽医科技, (2):7-8.

Chen J X, Liu G G, Liu J Y, Huang J L, Jiang Z Y. 1993. Analysis of cassava hydrocyanic acid content of different periods and different varieties[J]. Guangdong Journal of Animal and Veterinary Science, (2):7-8.

陈小薇,蒋宗勇,沈应然,吴世林. 1992. 木薯对鸡的营养价值评定[J]. 广东畜牧兽医科技, (3):1.

Chen X W, Jiang Z Y, Shen Y R, Wu S L. 1992. Nutrient value of cassava for chicken[J]. Guangdong Journal of Animal and Veterinary Science, (3):1.

冯乾. 1997. 养猪好饲料——木薯叶[J]. 云南农业, (11):18.

Feng Q. 1997. Pig feed——Cassava leaves[J]. Yunnan Agriculture, (11):18.

高超. 2011. 木薯叶营养成分及其膨化食品的研究[D]. 郑州:河南工业大学.

Gao C. 2011. Studies on cassava leaf nutritional content and its puffed food[D]. Zhengzhou:Henan University of Technology.

黄秋蝉,许元明,韦友欢,曾振芳. 2013. 常见桑科榕属植物叶片类胡萝卜素含量的比较分析[J]. 中国园艺文摘, (6):1-3.

Huang Q C, Xu Y M, Wei Y H, Zeng Z F. 2013. Comparative analysis of leaf carotenoids content of the common *Moraceae Ficus* plants[J]. Chinese Horticulture Abstracts, (6):1-3.

冀凤杰,侯冠彧,张振文,王定发,李茂,周汉林. 2015. 木薯叶的营养价值、抗营养因子及其在生猪生产中的应用[J]. 热带作物学报, 36(7):1355-1360.

Ji F J, Hou G Y, Zhang Z W, Wang D F, Li M, Zhou H L. 2015. Nutritional value, anti-nutrient components of cassava leaf and its application in pig production[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 36(7):1355-1360.

李开绵,林雄,黄洁,张伟特,许瑞丽. 1999. 木薯饲用型品种的筛选[J]. 热带作物学报, 20(4):62-70.

Li K M, Lin X, Huang J, Zhang W T, Xu R L. 1999. Selection of feed cassava varieties (*Manihot esculanta* Crantz)[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 20(4):62-70.

林宏凤. 2002. 椰子果皮的水分、粗脂肪、粗蛋白质、粗纤维的测定[J]. 琼州大学学报, 9(2):73-75.

Lin H F. 2002. Determination of moisture, crude fat, crude protein, crude fiber of coconut peel[J]. Journal of Qiongzhou University, 9(2):73-75.

秦艳青,李爱军,杨兴友,贾玉红,耿宗泽. 2014. β -胡萝卜素的降解方法及其降解物在卷烟加香中的应用[J]. 江苏农业科学, 42(5):220-222.

Qin Y Q, Li A J, Yang X Y, Jia Y H, Geng Z Z. 2014. The application of beta carotene degradation method of pigment and its degradation products in perfuming cigarette[J]. Jiangsu Agriculture Science, 42(5):220-222.

石俭省,王振权. 1996. 木薯叶粉饲喂肉鸭效果及影响其利用因素的研究[J]. 广西农业大学学报, 15(2):109-114.

Shi J S, Wang Z Q. 1996. A study of the feeding effects of cassava leaf meal on meat-type ducks and the limiting factors on its use[J]. Journal of Guangxi Agricultural University, 15(2):109-114.

宋红艳,安飞飞,杨龙,吕亚. 2015. 木薯野生近缘种W14与栽培种SC8的光合参数及相关蛋白质表达水平分析[J]. 热带作物学报, 36(5):933-936.

Song H Y, An F F, Yang L, Lü Y. 2015. Parameters and protein expression level analysis on photosynthesis in wild relative of cassava and cassava cultivar[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 36(5):933-936.

王定发,陈松笔,周汉林,周璐丽,侯冠彧. 2016. 5种木薯茎叶营养成分比较[J]. 养殖与饲料, (6):48-50.

Wang D F, Chen S B, Zhou H L, Zhou L L, Hou G Y. 2016.

- Comparison of nutritional components in stems and leaves of 5 kinds of cassava[J]. *Animal Breeding and Feed*, (6): 48-50.
- 韦秉兴, 刘建辉, 屈达才. 1992. 不同饲料对蓖麻蚕(*Attacus cynthia ricini* B)蚕体和蚕丝成份的影响[J]. *广西蚕业通讯*, 29(2): 10-14.
- Wei B X, Liu J H, Qu D C. 1992. Effects of different feeds on *Attacus cynthia ricini* B silkworm body and silk components [J]. *Guangxi Sericulture Communication*, 29(2): 10-14.
- 吴世林, 沈应然, 蒋宗勇, 陈小薇, 梁玉华. 1993. 木薯叶粉和木薯渣对猪营养价值评定[J]. *广东畜牧兽医科技*, (1): 6-7.
- Wu S L, Shen Y R, Jiang Z Y, Chen X W, Liang Y H. 1993. Nutrient value of cassava leaf powder and manioc waste for pig[J]. *Guangdong Journal of Animal and Veterinary Science*, (1): 6-7.
- 叶剑秋. 2011. 木薯种质资源形态图谱[M]. 北京: 中国农业出版社: 46.
- Ye J Q. 2011. Morphology of Cassava Germplasm Resources [M]. Beijing: China Agriculture Press: 46.
- 张杨. 2012. 木薯光合生理、结构及相关基因表达特征的初步研究[D]. 海口: 海南大学.
- Zhang Y. 2012. The primary study on photosynthesis in aspect of physiology, structure and transcriptome in leaf of cassava (*Manihot esculenta*) [D]. Haikou: Hainan University.
- 张允刚, 房伯平. 2006. 甘薯种质资源描述规范和数据标准 [M]. 北京: 中国农业出版社.
- Zhang Y G, Fang B P. 2006. Description Specification and Data Standard of Sweet Potato Germplasm Resources [M]. Beijing: China Agriculture Press.
- 张振文, 罗秀芹, 林立铭, 陈松笔. 2016. 近缘两个木薯品种块根蛋白质组比较分析[J]. *江西农业学报*, 28(5): 1-6.
- Zhang Z W, Luo X Q, Lin L M, Chen S B. 2016. Comparative analysis of proteomics in tuberous roots between two kindred cassava varieties[J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 28(5): 1-6.
- 周璐丽, 王定发, 张振文, 陈松笔, 周汉林. 2016. 华南 7 号木薯茎叶营养价值评价[J]. *热带作物学报*, 37(12): 2245-2249.
- Zhou L L, Wang D F, Zhang Z W, Chen S B, Zhou H L. 2016. Nutritional value of stems and leaves of *Manihot esculenta* Crantz cv. South China 7 [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 37(12): 2245-2249.
- Li K M, Zhu W L, Zeng K, Zhang Z W, Ye J Q, Ou W J, Rehman S, Heuer B, Chen S B. 2010. Proteome characterization of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) somatic embryos, plantlets and tuberous roots [J]. *Proteome Science*, 8: 10.
- Prochnik S, Marri P R, Desany B, Rabinowicz P D, Kodira C, Mohiuddin M, Rodriguez F, Fauquet C, Tohme J, Harkins T, Rokhsar D S, Rounsley S. 2012. The cassava genome: Current progress, future directions [J]. *Tropical Plant Biology*, 5(1): 88-94.
- Fasuyi A O. 2005. Nutrient composition and processing effects on cassava leaf (*Manihot esculenta*, Crantz) antinutrients [J]. *Pakistan Journal of Nutrition*, 4(1): 37-42.

(责任编辑 王 晖)