

木薯种质资源在云南的形态多样性 及其形态标记聚类分析

李月仙^{1,2} 刘倩¹ 严炜¹ 宋记明¹ 段春芳¹
沈绍斌¹ 张林辉^{1,2} 娄予强¹ 刘光华¹

1. 云南省农业科学院热带亚热带经济作物研究所, 保山 678000;

2. 云南省保山市全心农业科技有限公司, 保山 678000

摘要 利用形态标记对来自菲律宾、云南、海南等 6 个地方的 50 份木薯种质资源进行形态多样性及形态标记聚类分析, 为木薯育种选配亲本提供参考, 同时促进云南木薯种质资源研究利用和种质创新。形态多样性分析结果表明, 木薯种质资源在云南的形态变异系数最大的是叶脉色, 达 85.5%; 其次是结薯集中度, 为 75.76%; 最小的是中间裂叶长度, 为 9.33%; 多样性指数最大的是中间裂叶长度, 为 5.64; 最小的是烂根情况, 为 2.58, 平均为 5.34; 总体表现出较高的遗传多样性。聚类分析结果显示, 遗传距离为 0~1.22, 平均为 0.80, 试验材料之间遗传多样性丰富, 遗传差异大, 并在欧氏距离 1.00 处可将 50 份木薯种质资源划分为 6 大类: 第 I 类包括 33 份材料, 此类筛选出淀粉含量较高的有 9 份, 鲜薯产量较高的 8 份, 其中淀粉含量最高的是 SC11, 达 36.7%, 且叶片较特殊; 第 II 类包括 12 份材料, 此类淀粉含量较低, 鲜薯产量较高的有 3 份; 第 III 类包括 2 份材料, 以鲜薯产量较高为主; 第 IV 类材料 F876, 淀粉含量相对高, 鲜薯产量最高, 分别是 29.78% 和 238.5 t/hm²; 第 V 类材料 GR024-7, 鲜薯产量相对较高, 达 145.5 t/hm²; 第 VI 类材料为 H502; 亲缘关系最近的为 S4 和 E361, 其次是 F556 和 F821, 与其他种质亲缘关系较远的是 F876、GR024-7 和 H502, 且后两者间亲缘关系较近, 性状相似。

关键词 木薯; 种质资源; 形态标记; 多样性; 聚类分析

中图分类号 S 533.502.4 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2018)03-0010-09

木薯 (*Manihot esculenta* Crantz) 为大戟科 (Euphorbiaceae) 木薯属 (*Manihot*) 植物, 在热带和亚热带地区广为栽培, 其主要用途是饲用、食用和加工成各种地方特色食品及工业产品。木薯是异花授粉作物, 加上长期的无性繁殖, 导致其基因型高度杂合, 这种杂合性增加了木薯遗传变异的多样性, 为育种者提供了良好的亲本选择机会, 但同时也增加了木薯育种工作的困难, 主要表现在限制了木薯遗传改良进度及遗传多样性研究的匮乏方面。因此, 摸清木薯的遗传背景显得尤为重要。种质资源是作物育种的重要物质基础, 木薯种质资源的研究主要是对农艺性状和形态学性状进行观测及根据育种需要对某些抗性 or 品质性状进行系统鉴定和特定性状评价, 为育种者利用种质创新提供科学依据。形态标记是利用植物外部特征的表现进行的一种标记手

段, 可将不同表型的种质资源区分开^[1], 已广泛应用于种质资源的鉴定、评价与研究利用^[2]。目前, 已见从分子水平对木薯种质资源遗传多样性研究的报道^[3-8], 但通过形态学标记手段, 并采用聚类分析方法对木薯种质资源进行鉴定、评价的研究极少见报道, 在云南则未见报道。近年来, 虽然加大了对云南木薯种质资源收集保存工作力度, 但未对其分类、多样性和亲缘关系进行深入研究, 从而影响了木薯种质资源的进一步开发和利用。为此, 本研究通过对云南省农业科学院热带亚热带经济作物研究所 (以下简称“云南省农科院热经所”) 保存的 50 份木薯种质资源的 38 项农艺性状进行测定和描述, 并进行形态标记聚类分析, 以期对云南木薯种质资源的创新利用及优良品种选育提供理论依据。

收稿日期: 2017-08-23

基金项目: 国家木薯产业技术体系保山综合试验站 (No. CARS-11-YNLGH); 云南省技术创新人才培养对象 (2017HB131); 农业部保山热带作物科学观测实验站建设项目

李月仙, 副研究员, 研究方向: 作物资源与育种, E-mail: liyuexian2008@126.com

通信作者: 刘光华, 研究员, 研究方向: 作物遗传育种, E-mail: rjsglh@vip.126.com

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料为收集、保存在云南省农业科学院热经所基地木薯引种观察圃的木薯种质资源，分别来自云南省澜沧县、中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所(以下简称“海南品资所”)、广西亚热带作物研究所等6个地方,共计50份(表1)。

1.2 试验方法

1)形态指标测定。供试材料于2014年3月种植于云南省农业科学院热带亚热带经济作物研究所潞江坝基地,2015年2月收获,田间试验分为3个区组,每个区组为1个重复,每个小区种植15个单株,株行距 $0.8\text{ m} \times 1.0\text{ m}$,区组内小区随机区组排列。形态性状测定包括株型、整齐度、茎分叉情况等38项指标,木薯的性状鉴定及其生长期记载根据文献[9-10]进行。收获时每份种质每个小区随机选择10株进行产量、株高、茎粗等形态指标的测定。

2)形态标记性状的分类及编码。形态特征指标包括:①数量性状:不进行编码,使用实际测量的数值进行数学运算;②二元性状:为2种性状,分别用0和1进行编码;③多态性状:大于等于3种以上的形态性状,按规定值编码。

3)统计分析。试验数据采用Excel 2003及SAS 9.0软件处理,使用欧氏距离和类平均法(UP-GMA)进行聚类分析^[11]。

2 结果与分析

2.1 木薯种质资源在云南的形态多样性

对参试种质资源的形态(图1至图3)特征进行测定,并作多样性比较和统计分析(表2),结果表明,木薯种质资源在云南的性状表现呈不同程度的多样性。参试资源形态变异系数最大的是叶脉色,达85.5%,其次是结薯集中度,为75.76%,最小的是中间裂叶长度,为9.33%。多样性指数最大的是中间裂叶长度,为5.64,最小的是烂根情况,为2.58,平均为5.34,总体上表现出较高的遗传多样性。

2.2 木薯种质资源在云南的形态标记聚类分析

对参试种质资源的形态进行聚类分析(图4),结果显示:供试材料的遗传距离为0~1.22,平均为0.80,表明供试材料之间遗传多样性丰富,遗传差异大。在欧式距离1.00处将参试木薯品种(系)材料

划分为6大类(由上而下):

第Ⅰ类包括33份材料,该类材料整体表现为株型张开型、整齐度中等整齐;幼茎颜色浅绿,成熟主茎外皮色灰白、灰绿、红褐;顶端未展开嫩叶颜色浅紫绿,第一片完全展开的叶颜色紫绿,裂片叶形呈倒卵披针形,裂片裂叶7片,平均叶面积大小 110.0 cm^2 以上;有花(果);块根形状纺锤形,块根外皮色红褐,块根内皮颜色紫红,块根肉质乳黄色,鲜薯平均产量 $\geq 60\text{ t/hm}^2$,鲜薯平均淀粉含量 $\geq 26.0\%$,属于高产、高淀粉含量的木薯品种(系),其中SC11含量最高,达36.7%,平均收获指数 ≥ 0.6 ,可为选择高产、高淀粉含量及其他性状的木薯亲本提供材料。第Ⅰ类中,S4和E361首先聚到一起,说明两者亲缘关系较近;其次是F556和F821,而与其他参试材料亲缘关系相对较远的是SC11,且单独聚为一类,叶缘微卷曲是该材料典型特征之一,是形态标记最主要的特征之一;与其他材料亲缘关系最远的是I547,该种质主要特征为幼茎颜色浅黄绿,成熟主茎外皮红褐色,裂片叶形长椭圆形,有花,块根外皮色黄褐色,鲜薯产量 60 t/hm^2 ,鲜薯淀粉含量29.9%,淀粉含量相对较高,可为木薯育种选择亲缘关系远及互补性状亲本提供参考依据。在欧式距离0.92处该类材料分为4个亚群,A亚类包括20份材料,B亚类9份,C亚类3份,D亚类1份。

第Ⅱ类包括12份材料,该类材料整体表现为茎分三叉,整齐度为中度整齐;幼茎生长为“之”字形,幼茎颜色紫红,成熟主茎外皮色灰白;顶端未展开嫩叶颜色淡绿,第一片完全展开叶颜色紫绿,裂片叶形倒卵披针形,裂片裂叶数9片;有花(果);块根形状圆锥-圆柱形,块根外皮色红褐,块根内皮颜色紫红和乳黄,块根水平伸长及结薯分散;抗倒性强,抗寒性强-中;平均株高291.3 cm,平均茎粗31.78 mm,大部分材料鲜薯产量 $\geq 60\text{ t/hm}^2$,鲜薯淀粉含量均 $\leq 20\%$,属低淀粉含量品种(系),可为木薯育种选择低淀粉含量的亲本提供参考。在第Ⅱ类中,来自海南品资所的木薯品系H873和G15在此亚群中首先聚到一起,说明两者间亲缘关系较近,且两者间除嫩叶及叶柄颜色不同外,其他指标基本相同;而来自海南品资所的木薯品系F10与其他参试材料亲缘关系较远,说明形态性状与其他材料基本不同。在欧式距离0.92处该类材料分为2个亚群,E亚群包括9份材料,F亚群3份。

表 1 木薯试验材料种名及来源

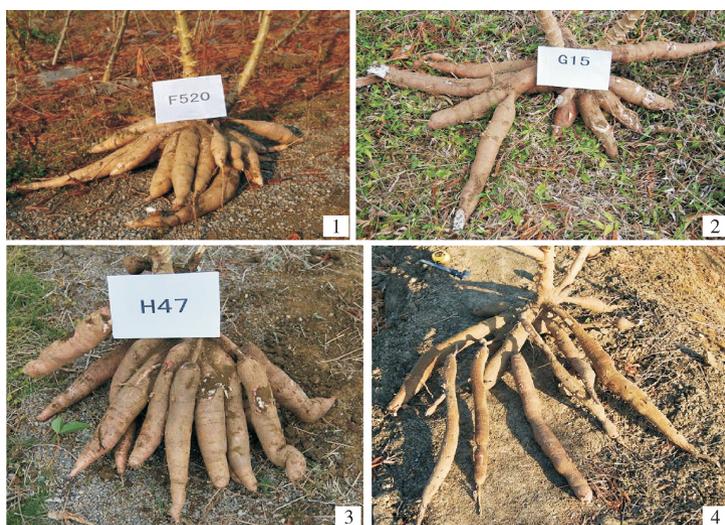
Table 1 Species name and source of experiment material cassava

编号 Number	种名 Species	来源 Source	编号 Number	种名 Species	来源 Source	编号 Number	种名 Species	来源 Source
1	SC8	海南品资所 Tropical Crops Genetic Resources Institute, Hainan	2	F648	海南品资所 Tropical Crops Genetic Resources Institute, Hainan	3	F154	海南品资所 Tropical Crops Genetic Resources Institute, Hainan
4	F106	海南品资所 Tropical Crops Genetic Resources Institute, Hainan	5	SC5	海南品资所 Tropical Crops Genetic Resources Institute, Hainan	6	F556	海南品资所 Tropical Crops Genetic Resources Institute, Hainan
7	SC7	海南品资所 Tropical Crops Genetic Resources Institute, Hainan	8	F709	海南品资所 Tropical Crops Genetic Resources Institute, Hainan	9	F642	海南品资所 Tropical Crops Genetic Resources Institute, Hainan
10	SC9	海南品资所 Tropical Crops Genetic Resources Institute, Hainan	11	F775	海南品资所 Tropical Crops Genetic Resources Institute, Hainan	12	F671	海南品资所 Tropical Crops Genetic Resources Institute, Hainan
13	SC6	海南品资所 Tropical Crops Genetic Resources Institute, Hainan	14	F359	海南品资所 Tropical Crops Genetic Resources Institute, Hainan	15	F821	海南品资所 Tropical Crops Genetic Resources Institute, Hainan
16	F978	海南品资所 Tropical Crops Genetic Resources Institute, Hainan	17	F181	海南品资所 Tropical Crops Genetic Resources Institute, Hainan	18	F876	海南品资所 Tropical Crops Genetic Resources Institute, Hainan
19	8639	海南品资所 Tropical Crops Genetic Resources Institute, Hainan	20	F520	海南品资所 Tropical Crops Genetic Resources Institute, Hainan	21	I545	海南品资所 Tropical Crops Genetic Resources Institute, Hainan
22	H867	海南品资所 Tropical Crops Genetic Resources Institute, Hainan	23	H360	海南品资所 Tropical Crops Genetic Resources Institute, Hainan	24	H798	海南品资所 Tropical Crops Genetic Resources Institute, Hainan
25	H873	海南品资所 Tropical Crops Genetic Resources Institute, Hainan	26	GR024-7	海南品资所 Tropical Crops Genetic Resources Institute, Hainan	27	G15	海南品资所 Tropical Crops Genetic Resources Institute, Hainan
28	H609	海南品资所 Tropical Crops Genetic Resources Institute, Hainan	29	H680	海南品资所 Tropical Crops Genetic Resources Institute, Hainan	30	H47	海南品资所 Tropical Crops Genetic Resources Institute, Hainan

续表 1 Continued from Table 1

编号 Number	种名 Species	来源 Source	编号 Number	种名 Species	来源 Source	编号 Number	种名 Species	来源 Source
31	H782	海南品资所 Tropical Crops Genetic Resources Institute, Hainan	32	H502	海南品资所 Tropical Crops Genetic Resources Institute, Hainan	33	H629	海南品资所 Tropical Crops Genetic Resources Institute, Hainan
34	H971	海南品资所 Tropical Crops Genetic Resources Institute, Hainan	35	F10	海南品资所 Tropical Crops Genetic Resources Institute, Hainan	36	CM1210-10	海南品资所 Tropical Crops Genetic Resources Institute, Hainan
37	瑞士 F21 Swiss F21	海南品资所 Tropical Crops Genetic Resources Institute, Hainan	38	SC11	海南品资所 Tropical Crops Genetic Resources Institute, Hainan	39	I547	海南品资所 Tropical Crops Genetic Resources Institute, Hainan
40	S4	广西农业科学院经济作物研究所 Cash Crops Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences	41	H631	海南品资所 Tropical Crops Genetic Resources Institute, Hainan	42	E361	海南品资所 Tropical Crops Genetic Resources Institute, Hainan
43	黄金木薯 (GY) Golden cassava	菲律宾东达沃省 East Dava Province, Philippines	44	E497	广西亚热带作物研究所 Guangxi Subtropical Crops Research Institute	45	H1039	海南品资所 Tropical Crops Genetic Resources Institute, Hainan
46	H495	海南品资所 Tropical Crops Genetic Resources Institute, Hainan	47	I582	海南品资所 Tropical Crops Genetic Resources Institute, Hainan	48	H1024	海南品资所 Tropical Crops Genetic Resources Institute, Hainan
49	孟连引 Menglian	云南孟连县福福乡 Rufu Menglian County, Yunnan	50	越南引 green Vietnam green	越南 Vietnam			

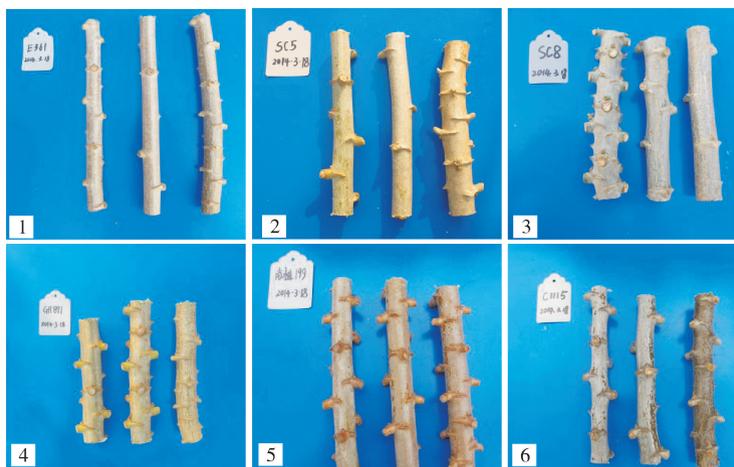
注：材料来源于海南品资所有 45 份，广西农业科学院经济作物研究所 1 份，广西亚热带作物研究所 1 份，国外 2 份，云南 1 份，其中华南 (SC) 系列 6 份，F 系列 15 份，H 系列 15 份，I 系列 3 份，E 系列 2 份，G 系列 1 份，其他 8 份。不同系列分别表示不同年份。Notes: Forty-five materials were from Tropical Crop Germplasm Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences. One material was from Cash Crops Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences. One material was from Guangxi Subtropical Crop Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences. Two materials were exotic. One material was from Yunnan Province. Six materials of them belong to SC Series, fifteen of them belong to H Series, three of them belong to I Series, two of them belong to E Series, and the other 8 materials belong to others series. Different series mean different years.



1:水平伸长、集中; 2:水平伸长、分散; 3:垂直、集中; 4:无规则。1: Horizontal elongation, concentrated; 2: Horizontal elongation, dispersed; 3: Vertical, concentrated; 4: Irregular.

图 1 块根分布、结薯集中度

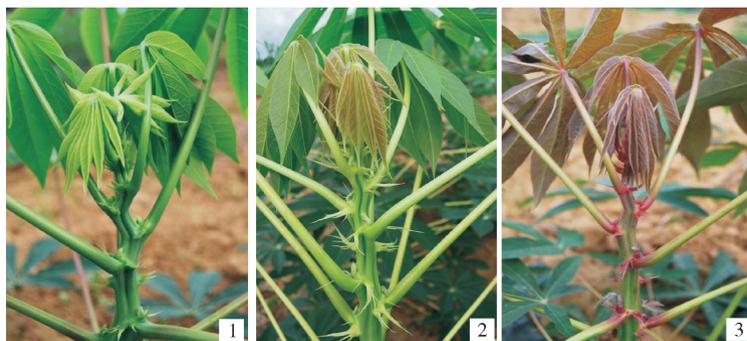
Fig.1 Storage root distribution, storage root concentration



1:灰白; 2:灰黄; 3:灰绿; 4:黄褐; 5:红褐; 6:褐。1: Pale; 2: Sallow; 3: Celadon; 4: Tan; 5: Reddish brown; 6: Brown.

图 2 成熟主茎颜色

Fig.2 Mature main stem skin color



1:淡绿; 2:浅紫; 3:紫。1: Light green; 2: Light purple; 3: Purple.

图 3 顶端未展开嫩叶颜色

Fig.3 Top unexpanded young leaf color

表2 木薯种质资源在云南的形态多样性

Table 2 Morphological diversity of cassava germplasm resources in Yunnan Province

性状 Traits	最小值 Minium	最大值 Maxium	平均值 Average	标准差 Standard devision	变异系数/% Coefficient of variation	多样性指数 Diversity index
株型 Plant shape	1	5	2.38	0.97	40.61	5.54
整齐度 Orderliness	1	3	1.88	0.69	36.66	5.55
茎分叉 Stem bifurcation	3	4	3.28	0.45	13.83	5.63
幼茎生长情况 Growth of young stems	/	/	/	/	/	4.25
幼茎颜色 Young stem color	1	13	5.44	3.72	68.29	5.30
成熟主茎外皮色 Mature main stem skin color	1	10	4.04	2.40	59.37	5.41
成熟主茎内皮色 Mature main stem inner skin color	1	7	2.56	1.67	65.15	5.37
顶端未展开嫩叶颜色 Top unexpanded young leaf color	1	7	3.00	1.65	55.12	5.42
第一片完全展开的叶颜色 The first expanded leaf color	1	10	3.24	2.37	73.13	5.31
叶脉色 Vein color	1	9	3.62	3.10	85.53	5.14
裂片叶形 Lobe shape	1	8	4.66	1.80	38.68	5.53
裂片裂叶数(片) Number of lobes (Pieces)	5	9	7.68	1.11	14.51	5.63
中间裂叶长度/cm Middle crack length	16.7	25.3	20.85	1.95	9.33	5.64
中间裂叶宽度/cm Middle crack width	3.7	8.4	5.47	0.80	14.62	5.63
叶面积/cm ² Leaf area	57.1	213.7	113.37	25.11	22.15	5.61
叶的长宽比 Leaf length and width ratio	3	6.5	3.93	0.65	16.51	5.63
叶柄颜色 Petiole color	1	10	5.30	2.82	53.26	5.41
是否有花(果) With (Or without) flower (Fruit)	0	1	0.78	0.42	53.65	5.29
块根分布 Storage root distribution	1	3	2.28	0.57	25.13	5.60
结薯集中度 Storage root concentration	0	1	0.64	0.48	75.76	5.00
烂根情况 Rotten situation of root	/	/	/	/	/	2.58
块根形状 Storage root shape	1	5	3.04	1.28	42.01	5.51
块根缢痕 Storage root constriction	/	/	/	/	/	4.09
块根表皮 Storage root epidermis	0	1	0.72	0.45	62.99	5.17
块根外皮色 Storage root skin color	1	7	4.64	1.16	24.92	5.59
块根内皮颜色 Storage root inner skin color	1	6	3.30	1.42	42.96	5.51
块根肉质色 Storage root flesh color	1	5	1.50	0.79	52.60	5.48
抗倒性 Lodging resistance	1	7	6.12	1.62	26.54	5.58
抗寒性(级) Cold resistance (Level)	3	7	5.92	1.23	20.71	5.61
株高/cm Plant height	132.6	356.4	271.81	48.28	17.76	5.62
茎粗/mm Stem diameter	21.53	42.09	31.46	4.97	15.80	5.63
第一分枝高/cm First branch height	19.0	219.0	122.43	41.41	33.82	5.56
单株茎叶鲜质量/kg Single plant freshmass of stem and leaves	1.2	18.8	7.26	5.35	73.60	5.26
单株鲜薯数(条) Single plant storage root number	2.5	18.8	8.76	4.32	49.36	5.47
单株块根鲜质量/kg Single plant storage root fresh mass	2.2	19.1	5.59	2.82	50.38	5.50
鲜薯淀粉含量/% Starch content of fresh storage root	12.6	36.7	23.43	5.37	22.92	5.61
收获指数 Harvest index	0.35	0.80	0.57	0.10	16.70	5.62

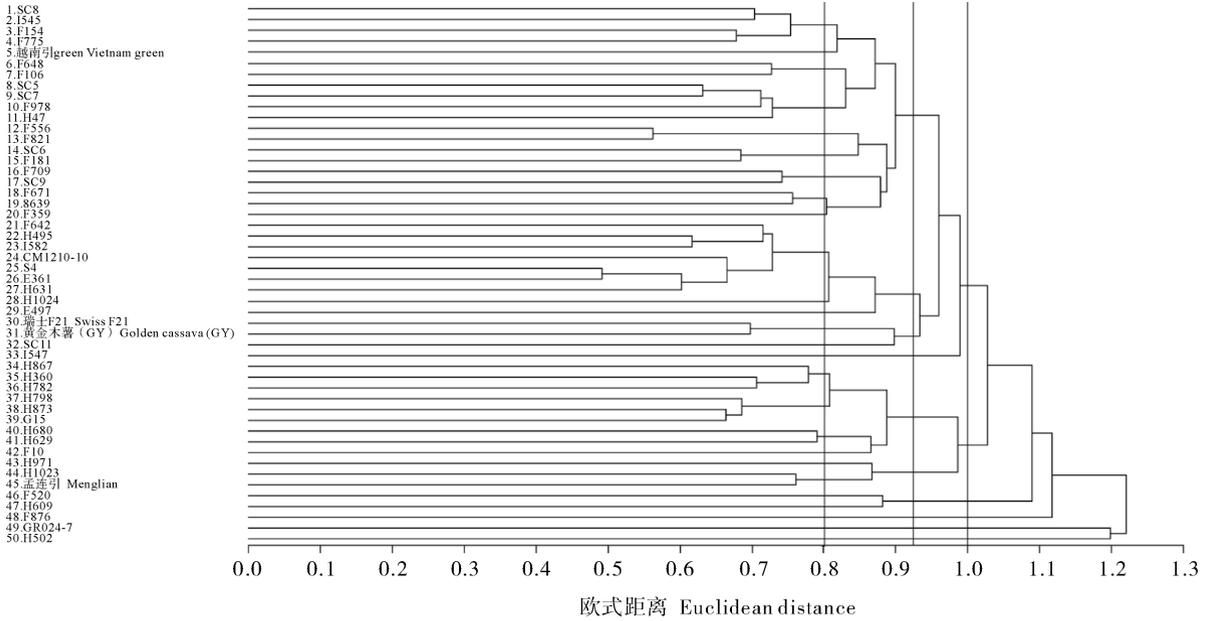


图 4 云南木薯种质资源形态标记欧式距离类平均法聚类

Fig.4 Euclidean distance method tree of cassava germplasm resource morphological marker in Yunnan Province

第Ⅲ类材料是 F520 和 H609,都来自海南品资所木薯品系。该类材料整体表现裂片叶形倒卵披针形,块根形状圆锥-圆柱形,块根分布水平伸长,结薯集中;株高、茎粗中等,淀粉含量偏低,鲜薯产量分别是 81 t/hm² 和 111 t/hm²,属淀粉含量相对低、高产品系。该类材料叶的颜色深浅不同,其他基本相同,推断两者亲缘关系较近,可为木薯育种选配亲缘关系较近、低淀粉、高产量的亲本提供参考。

第Ⅳ类材料是 F876,来自海南品资所木薯品系。株型张开型,茎分枝四叉,且第一分枝高度中等,为 110.0 cm;幼茎颜色灰绿,成熟主茎外皮色灰黄,而内皮紫色;顶端未展开嫩叶紫色,第一片完全展开叶绿色,裂片叶形拱形,且裂叶数 5 片,叶面积 125.2 cm²,叶长宽比 3.7,叶柄颜色红带乳黄;有花,块根分布无规则,块根表皮粗糙,块根外皮色红褐,内皮紫红,肉质白色;鲜薯产量 238.5 t/hm²,在所有参试品种(系)中为最高产品系,鲜薯淀粉含量 29.78%,收获指数 0.53,基于这些特征该材料单独聚为一类,且与其他参试品种(系)亲缘关系较远,可为木薯育种选配高产、高淀粉含量、亲缘关系较远的亲本提供参考。

第Ⅴ类材料是 GR024-7,来自海南品资所木薯品种(系),主要表现出株型张开型,茎分枝六叉,幼茎生长呈直立线型,幼茎颜色深绿,成熟主茎外皮褐色,成熟主茎内皮深绿;顶端未展开嫩叶颜色淡绿,

裂片叶形长椭圆形,为 7 片,叶面积 161.6 cm²,叶柄颜色红带绿,无花;块根形状长圆锥形,块根表皮粗糙,且块根外皮色红褐,内皮淡乳黄,肉质淡乳黄;抗倒及抗寒性强,鲜薯产量 145.5 t/hm²,鲜薯淀粉含量 18.2%,属高产低淀粉含量品系,所以单独聚为一类,且与其他参试品种(系)亲缘关系相对最远,可为木薯育种选配高产、低淀粉含量、亲缘关系较远的亲本提供参考。

第Ⅵ类材料是 H502,为来自海南品资所木薯品系 H 系列。该材料为伞型株型,茎分枝四叉,成熟主茎外皮色红褐,内皮色其他,裂片叶形倒卵披针形,且裂叶数为 7 片,块根形状圆锤-圆柱形,株高、茎粗为中等,鲜薯产量 76.5 t/hm²,淀粉含量 19.0%,属于高产低淀粉含量品系,收获指数 0.55。该材料单独聚为一类,且与其他参试品种(系)亲缘关系相对最远。

3 讨论

3.1 木薯特异种质筛选

形态性状可在一定程度上反映种质间本质的差异^[12]。本研究所选性状有利于准确地选择特异的种质资源^[13],因此,选择出高淀粉、叶缘微卷曲的特异种质 1 份,该品种为 SC11,可能是在云南干热河谷区环境生长下出现的特有特征,以前未见相关报道。

3.2 木薯种质资源遗传多样性

形态性状是遗传因素及环境因素共同作用的结果,可真实地表现资源间的遗传多样性。笔者采用38项形态性状对50份云南木薯种质资源进行形态性状多样性分析,结果表明:参试资源在云南的性状表现出多样性,其中,形态变异系数最大的是叶脉色,达85.5%;第二是结薯集中度,为75.76%;最小的是中间裂叶长度,为9.33%。多样性指数最大的是中间裂叶长度,为5.64,最小的是烂根情况,为2.58,平均为5.34,总体上表现出较高的遗传多样性,这与谢荣誉等^[14]对31份木薯种质资源的鉴定评价及遗传多样性分析在叶片形状、茎秆颜色、块根分布等方面均表现出较丰富的遗传多样性结果一致;与齐兰等^[15]的研究结果一致,说明表型性状与SRAP标记对遗传多样性的研究有一定相关性^[16],而与邹积鑫等^[17]的研究结果不一致,可能是由于形态性状易受环境及人为因素的影响,尤其是数量性状很难剔除环境的影响。

3.3 木薯形态标记聚类分析

本研究对50份云南木薯种质资源进行形态标记聚类分析,结果显示遗传距离为0~1.22,平均为0.80,表明供试材料之间遗传多样性丰富,遗传差异大,这与曾霞等^[8]的研究结果基本一致。周慧文等^[18]采用SCoT分子标记法对28份木薯种质资源进行了遗传多样性鉴定,将28份木薯种质资源主要聚为5大类,聚类结果与材料来源有一定相关性,与本研究非相同来源的聚为一类的结果不一致,可能是由于引种频繁所致。本研究在欧式距离1.00处可将所有参试木薯品种(系)材料划分为6大类,使形态特征一致的材料聚为一类,从而克服主观判断的弊端^[19]。

本研究针对云南木薯种质资源的形态性状进行分析,明确了木薯种质资源的不同类型及亲缘关系最近的为S4和E361,其次是F556和F821,而与其他种质亲缘关系较远的是F876、GR024-7和H502,且后者间亲缘关系较近,性状相似,由此,可根据育种目标选择具有性状互补、优良性状、特异性状及亲缘关系较远的个体作为亲本,使木薯育种亲本的选配更明确。要深入了解木薯种质资源,还需要从遗传学本质上深入研究才能使木薯种质资源得到充

分利用。

参 考 文 献

- [1] 张超凡,黄艳岚,周虹.甘薯形态标记聚类分析研究[J].湖南农业科学,2010(17):9-11.
- [2] SCHAAL B A, LEVERICH W J, ROGSTAD S H. Comparison of methods for assessing genetic variation in plant conservation biology[M]//FALK D A, HOLSINGER K E. Genetics and conservation of rare plants. New York: Oxford University Press, 1991.
- [3] 薛月寒,吴文婧,叶剑秋,等.木薯种质的遗传多样性评价及高产种质初级筛选[J].植物遗传资源学报,2014,15(1):74-83.
- [4] 谢向誉,陆柳英,曾文丹,等.木薯单株产量与主要农艺性状进行相关性研究[J].中国农学通报,2014,30(27):223-228.
- [5] 赖杭桂,朱楠楠,陈庚华,等.5个木薯品种的农艺相关性状及亲缘性分析[J].热带农业科学,2011,31(7):29-33.
- [6] 王明,肖鑫辉,安飞飞,等.利用SSR标记分析木薯遗传多样性[J].热带农业科学,2015,35(11):38-44.
- [7] 彭靖茹,甘志勇,黎萍,等.木薯种质资源遗传多态性ISSR分子标记的研究[J].安徽农业科学,2012,40(7):3877-3880.
- [8] 曾霞,庄南生,李开绵.应用RAPD技术对44份木薯材料的遗传背景进行的研究[J].热带作物学报,2003,24(2):59-64.
- [9] 中华人民共和国农业部.木薯种质资源描述规范:NY/T 1943-2010[S].北京:中国农业出版社,2011.
- [10] 叶剑秋.木薯种质资源形态图谱[M].北京:中国农业出版社,2011.
- [11] 唐燕琼,韩汉鹏.SAS统计分析教程[M].北京:中国农业出版社,2006:107-112.
- [12] 黄萍,马朝宏,颜谦,等.引进甘薯资源形态标记的聚类分析[J].西南农业学报,2010,23(6):1809-1812.
- [13] 丁厚栋,张尧锋,余华胜.甘蓝型油菜种质资源的农艺性状聚类分析[J].华北农学报,2009,24(增刊):103-105.
- [14] 谢荣誉,陆柳英,曾文丹,等.31份木薯种质资源的鉴定评价及遗传多样性分析[J].南方农业学报,2017,48(3):393-400.
- [15] 齐兰,王文泉,张振文,等.木薯种质资源的遗传多样性分析与评价[J].热带作物学报,2010,31(10):1661-1668.
- [16] ESPOSITO M A, MARTIN E A, CRAVERO V P, et al. Characterization of pea accessions by SRAP's markers[J]. Sci Hort, 2007, 113: 329-335.
- [17] 邹积鑫,李开绵,王文泉.微卫星分子标记在木薯种质资源遗传分析中的应用[J].华南热带农业大学学报,2005,11(2):1-5.
- [18] 周慧文,单建伟,冯斗,等.SCoT分子标记技术在木薯遗传多样性分析中的应用[J].热带作物学报,2015,36(8):1440-1444.
- [19] 王俊娥,王赞,王运琦,等.山羊豆种质资源形态多样性分析[J].植物遗传资源学报,2008,9(2):201-205.

Morphological diversity and clustering analysis of cassava germplasm resources in Yunnan Province

LI Yuexian^{1,2} LIU Qian¹ YAN Wei¹ SONG Jiming¹ DUAN Chunfang¹
SHEN Shaobin¹ ZHANG Linhui^{1,2} LOU Yuqiang¹ LIU Guanghua¹

1. *Institute of Tropical and Subtropical Economy, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Baoshan 678000, China;*

2. *Quanxin Agricultural Science and Technology Co., Ltd, Yunnan Province, Baoshan 678000, China*

Abstract Morphological diversity and clustering analysis of 50 cassava germplasm resources collected from 6 places in the Philippines country, Yunnan and Hainan provinces were analyzed with morphological markers. The results showed that among the morphological variation coefficient of cassava germplasm resources in Yunnan, vein color had the highest variation with 85.5%; the second was storage root concentration with 75.76%; the lowest was middle crack length with 9.33%. The middle of the crack length had the largest diversity index with 5.64 and the smallest one was rotten situation with 2.58. The average index was 5.34, overall showing a high genetic diversity. The results of clustering analysis showed that the genetic distance ranged from zero to 1.22, with the average of 0.80. The genetic diversity between the materials tested was rich and the genetic difference was significant. Fifty cassava germplasm resources were divided into 6 categories at Euclidean distance of 1.00. Clade I is consisted of 33 materials, 9 of them had high starch content and 8 of them had high fresh root weight. Among them SC11 had the highest starch content of 36.7% with special leaves. Clade II included 12 materials with low starch content, 3 of them had high fresh weight. Clade III was made up of 2 materials mainly with high fresh root weight. Clade IV material F876 had higher starch content of 29.78% and highest fresh root yield of 238.5 t/hm². Clade V material GR024-7 had higher fresh root yield of 145.5 t/hm². Clade VI was material H502. The genetic relationship was the closest between S4 and E361, followed by F556 and F821. F876, GR024 and H502 were far from other germplasm, although GR024 and H502 had close genetic relationship and similar characters. It will provide the reference for selecting cassava breeding parent and promoting the utilization/innovation of cassava germplasm resources in Yunnan Province.

Keywords cassava; germplasm resource; morphological marker; diversity; clustering analysis

(责任编辑:张志钰)