

苏一钧, 王 娇, 霍恺森, 等. 甘薯引进种 SSR 遗传多样性分析[J]. 江苏农业学报, 2018, 34(5): 984-997.
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2018.05.004

甘薯引进种 SSR 遗传多样性分析

苏一钧¹, 王 娇¹, 霍恺森², 赵路宽¹, 赵冬兰¹, 唐 君¹, 陈艳丽², 曹清河¹

(1. 江苏徐淮地区徐州农业科学研究所/中国农业科学院甘薯所, 江苏 徐州 221131; 2. 海南大学热带农林学院, 海南 海口 570228)

摘要: 通过 SSR 分子标记, 对 112 份甘薯引进种进行了遗传多样性和群体结构分析, 并与中国地方种进行了聚类比较分析。研究了中国目前保存最多的甘薯引进种间的遗传多样性和亲缘关系, 以及与地方种间的遗传多样性关系。用 SSR 建立研究材料的 0,1 数据库, 用 ntsys-pc 2.10 软件计算遗传距离矩阵并导入 MEGA 6.06 聚类, 利用 STRUCTURE 2.3.4 软件对 112 份引进种进行群体结构分析, 并将 112 份引进种与 58 份中国地方种共 170 份进行聚类分析。结果表明: 112 份材料的平均遗传距离为 0.552, 遗传距离分布在 0.031 到 0.949 范围之内。使用 Neighbor-Joining (NJ) 聚类法, 在遗传距离为 0.442 处将 112 份材料分成 9 个类群, 其中类群 9 又在遗传距离为 0.428 处, 分为 3 个亚群。亚群 IXC 含有 39 份材料, 该亚群主要来自南美洲, 聚类集中, 血缘较为单一。通过群体结构分析将 112 份材料划分成了 2 个群体, 通过对引进种的来源地比较分析, 发现来自南美洲与其他地区种质材料分属于 2 个群体。通过对引进种和地方种共计 170 份甘薯资源聚类比较分析, 发现中国大陆地方种与中国台湾品种间亲缘关系最近, 与东南亚、东北亚、南美洲甘薯引进种间亲缘关系较近, 与国际马铃薯中心、国际热带农业研究所的材料和世界蔬菜中心的材料亲缘关系较远。

关键词: 甘薯引进种; SSR; 遗传多样性; 群体结构

中图分类号: S531.024 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2018)05-0984-14

Genetic diversity analysis of introduced sweetpotato germplasm collections

SU Yi-jun¹, WANG Jiao¹, HUO Kai-sen², ZHAO Lu-kuan¹, ZHAO Dong-lan¹, TANG Jun¹,
CHEN Yan-li², CAO Qing-he¹

(1. Xuzhou Institute of Agricultural Sciences of the Xuhuai District of Jiangsu Province/Sweetpotato Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Xuzhou 221131, China; 2. Institute of Tropical Agriculture and Forestry, Hainan University, Haikou 570228, China)

收稿日期: 2018-02-05

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31461143017, 31371681); 现代农业产业技术体系专项资金项目 (CARS 2017-11-B-02); 国家农作物种质资源平台徐州甘薯子平台项目 (NICGR-062)

作者简介: 苏一钧 (1991-), 男, 山西忻州人, 硕士研究生, 主要从事作物种质资源与生物技术研究。 (E-mail) 642081290@qq.com

通讯作者: 曹清河, (E-mail) cqhe75@yahoo.com; caoqinghe@jaas.ac.cn

Abstract: To understand the genetic relationship among introduced sweetpotato germplasm collections and landraces sweetpotato, genetic diversity and population structure of 112 introduced sweetpotato germplasm collections were analyzed with SSR markers. The 0,1 database of the test materials was established by SSR markers. The ntsys-pc 2.10 software was used to calculate the genetic distance matrix. The genetic distance matrix was imported into MEGA 6.06 to output cluster analysis. The population

structure of 112 introduced species was analyzed using STRUCTURE 2.3.4 software, and the cluster analysis was performed on 12 introduced species and 58 landraces. The results showed that the average genetic distance of 112 accessions was 0.552, and the genetic distance ranged from 0.031 to 0.949. Neighbor-Joining (NJ) cluster analysis could divide 112 accessions into nine groups at 0.442 genetic distance. Among them, the ninth group was divided into three subgroups at 0.428 genetic distance. Subgroup IXC contained 39 materials, and the main source of this subgroup was South America. The clustering of these sweetpotato germplasm collections was concentrated and the blood was comparatively simple. By analysis of population structure, the 112 materials were divided into two groups. Based on the comparative analysis of the origin of introduced species, it was found that germplasm originating from South America and other regions belonged to two groups. Through the cluster analysis of 170 sweetpotato germplasm resources, it was found that the genetic relationship between sweetpotato landraces and sweetpotato in Taiwan was closest, and the genetic relationship between landraces and sweetpotato introduced from Southeast Asia, Northeast Asia and South America was closer, but the landraces were from the sweetpotato introduced from International Potato Center, World Vegetable Center.

Key words: introduced sweetpotato germplasm; SSR; genetic diversity; population structure

甘薯 [*Ipomoea batatas* (L.) Lam] 是世界上第 7 大作物, 中国甘薯产量占世界总产量的 67.3%^[1]。甘薯在中国不但可作为鲜食、保健、菜用、观赏和加工原料用而且也是粮食安全保障与应急的理想作物。甘薯及其近缘野生种起源于中南美洲的广大地区, 所属的旋花科番薯属 (*Ipomoea*) 大约有 600~700 个种^[2-3]。由于国内甘薯育成种的遗传背景狭窄^[4], 引入国外优异种质资源改良现有品种非常必要。因此研究中国目前保存的甘薯引进种遗传多样性成为当务之急。关于甘薯的遗传多样性, 前人已经做过很多研究^[5-8], 但利用 SSR 标记分析甘薯引进种遗传多样性和群体结构的研究尚未见报道。遗传多样性分析, 不仅有利于亲本的选择, 也有助于作物保护和品种改良^[9]。本研究以国家种质徐州甘薯试管苗库保存的 112 份甘薯引进种(截至 2017 年底)为材料, 运用 SSR 分子标记对其进行遗传多样性和群体结构分析, 为了解甘薯引进种之间亲缘关系及群体结构现状提供最新信息, 并利用 58 份甘薯地方种与甘薯引进种进行聚类分析, 解析引进种与地方种间的亲缘关系, 为甘薯育种过程中亲本选配提供参考

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料取自国家种质徐州试管苗库(圃)。甘薯引进种共计 112 份, 编号为 1~112(表 1)。包括北美洲的美国 21 份、多米尼加共和国 1 份、牙买加 1 份, 南美洲的国际马铃薯中心(CIP)12 份、秘鲁 22 份、阿根廷 4 份、委内瑞拉 1 份、巴西 1 份,

非洲的国际热带农业研究所(IITA)7 份、摩洛哥 1 份、马里 1 份, 亚洲的日本 23 份、菲律宾 7 份、世界蔬菜中心(WVC, 以前为亚洲蔬菜研究与发展中心 AVRDC)6 份、中国台湾 2 份、马来西亚 1 份、朝鲜 1 份。甘薯地方种 58 份, 编号为 113~170, 分别来自中国广东 20 份、中国浙江 20 份、中国福建 18 份^[10]。

1.2 甘薯基因组 DNA 提取和扩增

甘薯引进种基因组 DNA 提取、扩增、电泳、银染检测采用苏一钧等^[10]方法。30 对 SSR 引物序列信息引自文献[11], 由上海生工有限公司合成。

1.3 数据统计与分析

112 份甘薯引进种数据统计聚类采用苏一钧等^[10]方法, 用 iTOL (Interactive tree of life)^[12]美化聚类图。用 STRUCTURE 2.3.4^[13]软件对 112 份材料进行群体结构分析, 设置群体数 K 值为 2~10, 每个参数运行 10 次, 每次运行的 Burn-in time 设置为 200 000, 重复次数为 120 000。将 170 份甘薯混合材料进行聚类分析。

2 结果与分析

2.1 甘薯引进种 SSR 遗传多样性分析

用 30 对引物对 112 份甘薯引进种进行 SSR 分析, 共扩增出 199 条多态性条带, 每对引物扩增 1~13 条谱带, 平均每对引物获得 6.63 条多态性条带。其中引物 Z25 获得的多态性条带最多, 为 13 条; C24 获得的多态性条带最少, 为 1 条。112 份材料的平均遗传距离为 0.552, 遗传距离分布在 0.031 到 0.949 范围之内。

表 1 112 份甘薯引进种与 58 份甘薯地方种

Table 1 The list of 112 introduced sweetpotato germplasms and 58 landraces germplasms

编号	名称	来源	编号	名称	来源
1	南瑞苕	美国	44	萨摩光	日本
2	五魁好	美国	45	B1	日本
3	澳墨红	美国	46	BSY147	CIP
4	白星	美国	47	CN941-32	WVC
5	南后	美国	48	CN1108-13	WVC
6	美 24	美国	49	CN1525-11	WVC
7	农林 3 号	日本	50	CN1510-25	WVC
8	农林 31 号	日本	51	PC#9	WVC
9	马里白薯	马里	52	Tc82-2	WVC
10	马六甲	马来西亚	53	TiB4	IITA
11	美国红	美国	54	TiB11	IITA
12	胜利百号	日本	55	TiS1145	IITA
13	高系 14	日本	56	TiS2544	IITA
14	百年纪念	美国	57	TiS70683	IITA
15	Acadian	美国	58	TiS8250	IITA
16	Georgian red	美国	59	TiS3290	IITA
17	UPLB-7	菲律宾	60	九州 101	日本
18	PI286629	菲律宾	61	九州 107	日本
19	UPR-Variega	菲律宾	62	山川紫	日本
20	Copperskin Gold	菲律宾	63	美绿	日本
21	Benguet	菲律宾	64	美 1-109	美国
22	Daja	菲律宾	65	CIP94-13	CIP
23	Lc-Tainan	菲律宾	66	CIP94-21	CIP
24	NAS(美国引)	美国	67	Sumor	CIP
25	台农 18 号	中国台湾	68	America No.7	美国
26	台农 17 号	中国台湾	69	CIP440185	CIP
27	沃克罗火玛	美国	70	PSB SP16	CIP
28	美实	美国	71	PSB SP15	CIP
29	卡墨薯	美国	72	Beauregard	美国
30	农林 10 号	日本	73	AB94078.1	CIP
31	农林 17 号	日本	74	JPKY 001/2	CIP
32	农林 23 号	日本	75	西蒙 1 号	巴西
33	九州 5 号	日本	76	阿根廷	阿根廷
34	九州 37 号	日本	77	黄金千贯	日本
35	中国 28 号	日本	78	SR95.628	CIP
36	日本 516	日本	79	CEMSA74-228	CIP
37	日本 566	日本	80	Wagabolige	秘鲁
38	日本种	日本	81	106212.1	秘鲁
39	水源 84	朝鲜	82	106282.1	秘鲁
40	摩洛哥哥	摩洛哥哥	83	106448.2	秘鲁
41	红东	日本	84	106469.3	秘鲁
42	红隼人	日本	85	106603.1	秘鲁
43	白萨摩	日本	86	106605.1	秘鲁

续表 1 Continued 1

编号	名称	来源	编号	名称	来源
87	106861.3	秘鲁	129	葡萄叶	中国浙江
88	106878.1	秘鲁	130	文城金瓜薯	中国浙江
89	106984.1	秘鲁	131	泰顺金瓜薯	中国浙江
90	187016.2	CIP	132	大藤黄皮	中国浙江
91	188002.1	秘鲁	133	蓬尾	中国广东
92	195037.2	秘鲁	134	保亭种	中国广东
93	199035.7	秘鲁	135	四季种	中国广东
94	199062.1	秘鲁	136	生毛龙	中国广东
95	400039	多米尼加共和国	137	不论春	中国广东
96	Coloroda	阿根廷	138	密草芦仔	中国广东
97	Watson	牙买加	139	接长冬	中国广东
98	401396	委内瑞拉	140	番薯香	中国广东
99	Jewel	阿根廷	141	假山柚	中国广东
100	Camote Rosita	秘鲁	142	赤皮不论春	中国广东
101	Yacori	秘鲁	143	解放薯	中国广东
102	Pato Iqueno	秘鲁	144	禺北白	中国广东
103	Mochero	秘鲁	145	六十日	中国广东
104	Camotillo	秘鲁	146	红藤	中国广东
105	Citarita	秘鲁	147	香薯	中国广东
106	Rompe Costal	秘鲁	148	红五丫	中国广东
107	Huambacho T-1	秘鲁	149	日本薯	中国广东
108	W-119	美国	150	菊花种	中国广东
109	W-216	美国	151	槟榔薯	中国广东
110	Jewel	美国	152	白皮蓬尾	中国广东
111	NCSU 262	美国	153	小红 70 日	中国福建
112	TucumanaMantecosa	阿根廷	154	湖头本	中国福建
113	泰顺黄皮	中国浙江	155	电瓶薯	中国福建
114	金瓜薯	中国浙江	156	竖番番薯芋	中国福建
115	南田黄	中国浙江	157	竹西本	中国福建
116	黄心番	中国浙江	158	猴毛红	中国福建
117	荸荠番	中国浙江	159	脚筒种	中国福建
118	温岭红皮	中国浙江	160	木冬瓜	中国福建
119	长藤白	中国浙江	161	铁丝薯	中国福建
120	铁丝薯	中国浙江	162	南伏	中国福建
121	杭州土种	中国浙江	163	松涛薯	中国福建
122	红毛	中国浙江	164	红心海凤尾	中国福建
123	铁丝藤	中国浙江	165	龙岩 70 日	中国福建
124	大藤番	中国浙江	166	大头黄	中国福建
125	雅潜黄皮	中国浙江	167	北蛟	中国福建
126	长藤红皮白心	中国浙江	168	广园	中国福建
127	温岭黄皮	中国浙江	169	桔仔红	中国福建
128	黄皮娘姨	中国浙江	170	武平农家种 5	中国福建

CIP:国际马铃薯中心; IITA:国际热带农业研究所; WVC:世界蔬菜中心。

2.2 甘薯引进种来源地遗传距离分析

通过计算美国、日本、菲律宾、CIP、WVC、IITA、秘鲁和其他地区的引进种遗传距离矩阵见表 2, 聚类结果见图 1。从表 2 可知国际马铃薯中心与热带农业研究所引进种间遗传距离最小(0.501), 原因可能是这 2 个国际机构间种质交流频繁, 导致了这 2 个机构引进种间遗传距离较小。菲律宾与秘鲁甘

薯种质间遗传距离最大(0.638), 同时菲律宾与其他地区甘薯材料遗传距离均较远, 可能由于菲律宾是岛国, 与外界种质资源交流较少的原因。从图 1 可知在遗传距离为 0.28 处, CIP、IITA、美国、日本聚在了一起, 说明这些地区间甘薯种植资源交流频繁, 亲缘关系较近。

表 2 甘薯引进种来源地遗传距离矩阵

Table 2 Genetic distance matrix of introduced sweetpotato germplasm collections in different origins

来源	美国	日本	菲律宾	国际马铃薯中心(CIP)	世界蔬菜中心(WVC)	国际热带农业研究所(IITA)	其他	秘鲁
美国								
日本	0.527							
菲律宾	0.568	0.570						
国际马铃薯中心(CIP)	0.519	0.503	0.563					
世界蔬菜中心(WVC)	0.602	0.584	0.625	0.578				
国际热带农业研究所(IITA)	0.533	0.526	0.542	0.501	0.581			
其他	0.556	0.553	0.620	0.538	0.589	0.547		
秘鲁	0.576	0.574	0.638	0.540	0.628	0.557	0.530	

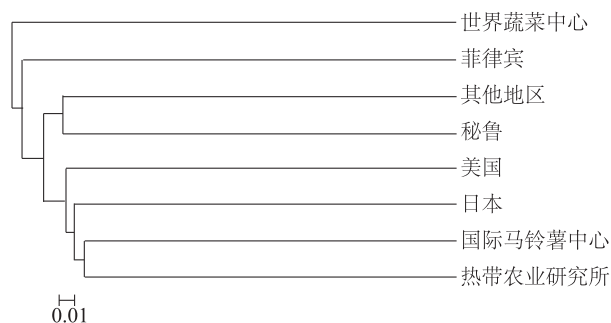


图 1 不同来源地甘薯引进种的遗传距离 UPGMA 聚类图

Fig.1 Different origin of introduced sweetpotato germplasm based on SSR UPGMA clustering

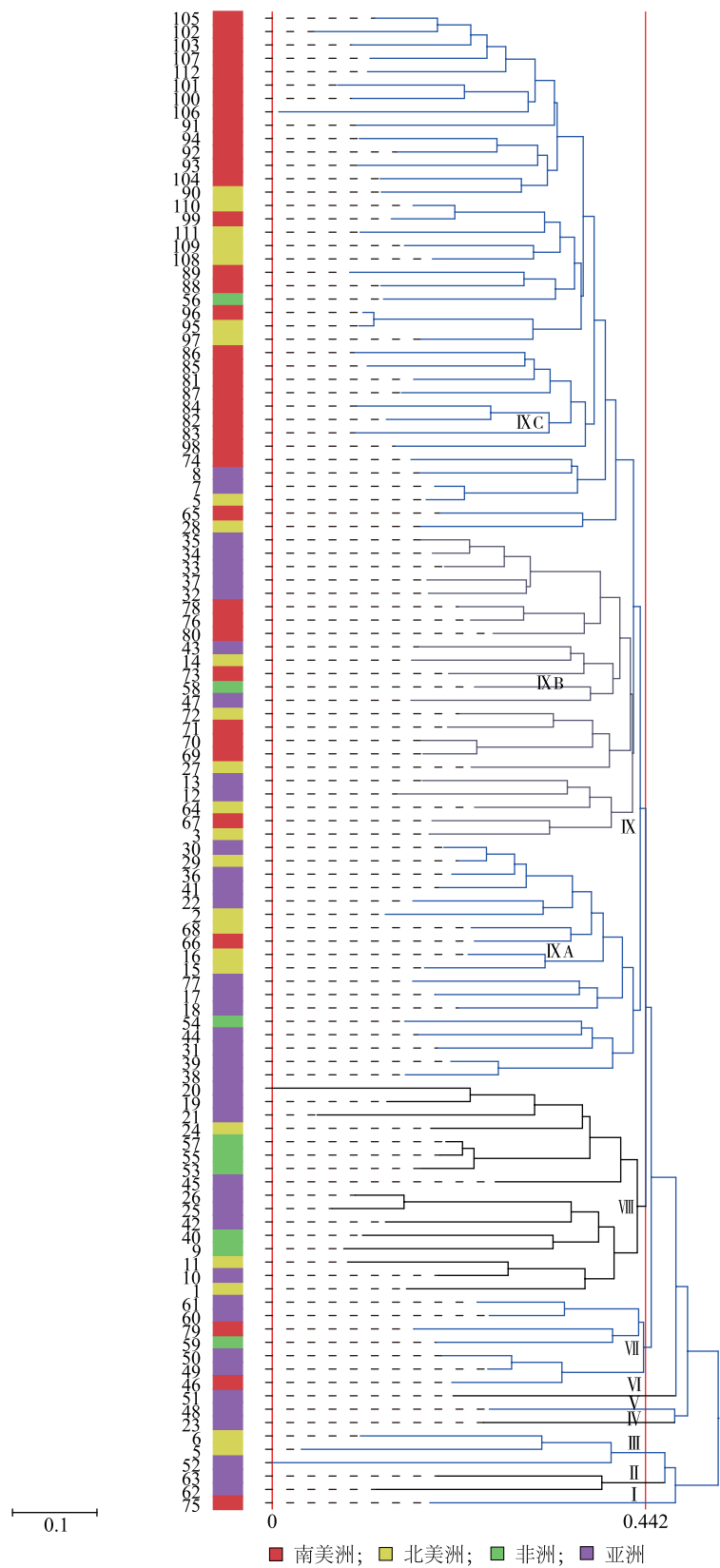
2.3 甘薯引进种聚类分析

112 份甘薯引进种在遗传距离为 0.442 处可划为 9 个类群, 第 9 类群在遗传距离为 0.428 处划分为 3 个亚群(图 2)。其中类群 I、IV、V、VI 均只含 1 份甘薯引进种, 类群 II 含有 2 份材料, 类群 III 包含 3 份材料, 说明这几个类群与其他类群间亲缘关系较远。类群 IX 包含了 80 份甘薯引进种, 说明该类群内种质资源间遗传距离较近, 亲缘关系也较近。类群 I ~ VIII、IX A 主要集中了亚洲、非洲的引进种, 类群

IX A、IX B 引进种来源地最为丰富, 类群 IX C 主要是南美洲的引进种。美国甘薯引进种在类群 III、VIII、IX 均有分布, 聚类最为分散。各类群组成及种质资源来源地信息见表 3。

2.4 甘薯引进种的群体结构分析

随着 K 值(最优分群数)增加, $\ln P(D)$ 没有明显拐点(图 3)。在 $K=2$ 处, ΔK 取最大值, 因此将 112 份甘薯引进种划分为 2 个群体(图 4)。图 5 中红色群体的材料来源地较为广泛; 绿色群体较为单一, 共有 30 份, 分别是 20 份秘鲁、4 份美国、2 份 CIP、1 份热带农业研究所、2 份阿根廷和 1 份牙买加甘薯引进种。当 Q 值 >0.6 时, 105 份甘薯引进种血缘较为单一, 当 Q 值 <0.6 时, 7 份材料划入混合群体^[14], 分别是农林 3 号、农林 31 号、400039、106984.1、CIP94-13、106212.1 和 401396。其中来自委内瑞拉的 401396 种质所含红色血缘较多, 其余 6 份引进种与绿色群体亲缘关系更近。南美洲是甘薯的起源中心, 但在传播过程中亚太地区的甘薯种质已经具有了新的种质特征。将 112 份资源聚类结果与群体结构划分结果比较, 发现二者基本吻合, 即类群 IX C 包含的甘薯引进种与绿色群体基本重合。



I 到Ⅷ表示 8 个类群,IXA、IXB、IXC 为类群 9 的 3 个亚群。1~112 为甘薯引进种,名称见表 1。

图 2 112 份甘薯引进种基于 SSR 遗传距离的 NJ 聚类图

Fig.2 Cluster of 112 introduced sweetpotato germplasm collections based on SSR Neighbor-Joining clustering method

表 3 112 份甘薯引进种基于 SSR NJ 法聚类形成的类群和亚群

Table 3 Groups and subgroups of 112 introduced sweetpotato germplasm collections based on SSR genetic distance clustering

类群	亚群	编号	名称	来源
I		75	西蒙 1 号	巴西
II		62	山川紫	日本
		63	美绿	日本
III		52	Tc82-2	亚蔬中心
		4	白星	美国
		6	美 24	美国
IV		23	Lc-Tainan	菲律宾
V		48	CN1108-13	亚蔬中心
VI		51	PC#9	亚蔬中心
VII		46	BSY147	CIP
		49	CN1525-11	亚蔬中心
		50	CN1510-25	亚蔬中心
		59	TiS3290	热带农业研究所
		79	CEMSA74-228	CIP
		60	九州 101	日本
		61	九州 107	日本
VIII		1	南瑞苕	美国
		10	马六甲	马来西亚
		11	美国红	美国
		9	马里白薯	马里
		40	摩洛哥	摩洛哥
		42	红隼人	日本
		25	台农 18 号	中国台湾
		26	台农 17 号	中国台湾
		45	B1	日本
		53	TiB4	热带农业研究所
		55	TiS1145	热带农业研究所
		57	TiS70683	热带农业研究所
		24	NAS(美国引)	美国
		21	Benguet	菲律宾
		19	UPR-Variega	菲律宾
		20	Copperskin Gold	菲律宾
IX	IX A	38	日本种	日本
		39	水源 84	朝鲜
		31	农林 17 号	日本
		44	萨摩光	日本
		54	TiB11	热带农业研究所
		18	PI286629	菲律宾
		17	UPLB-7	菲律宾
		77	黄金千贯	日本

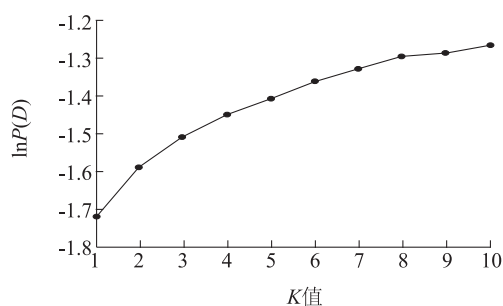
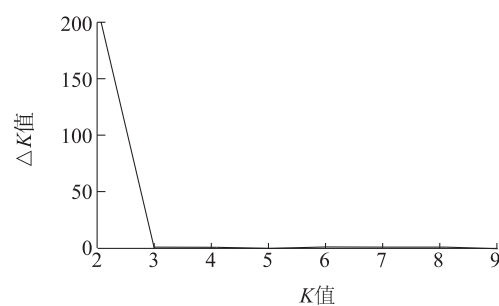
续表 3 Continued 3

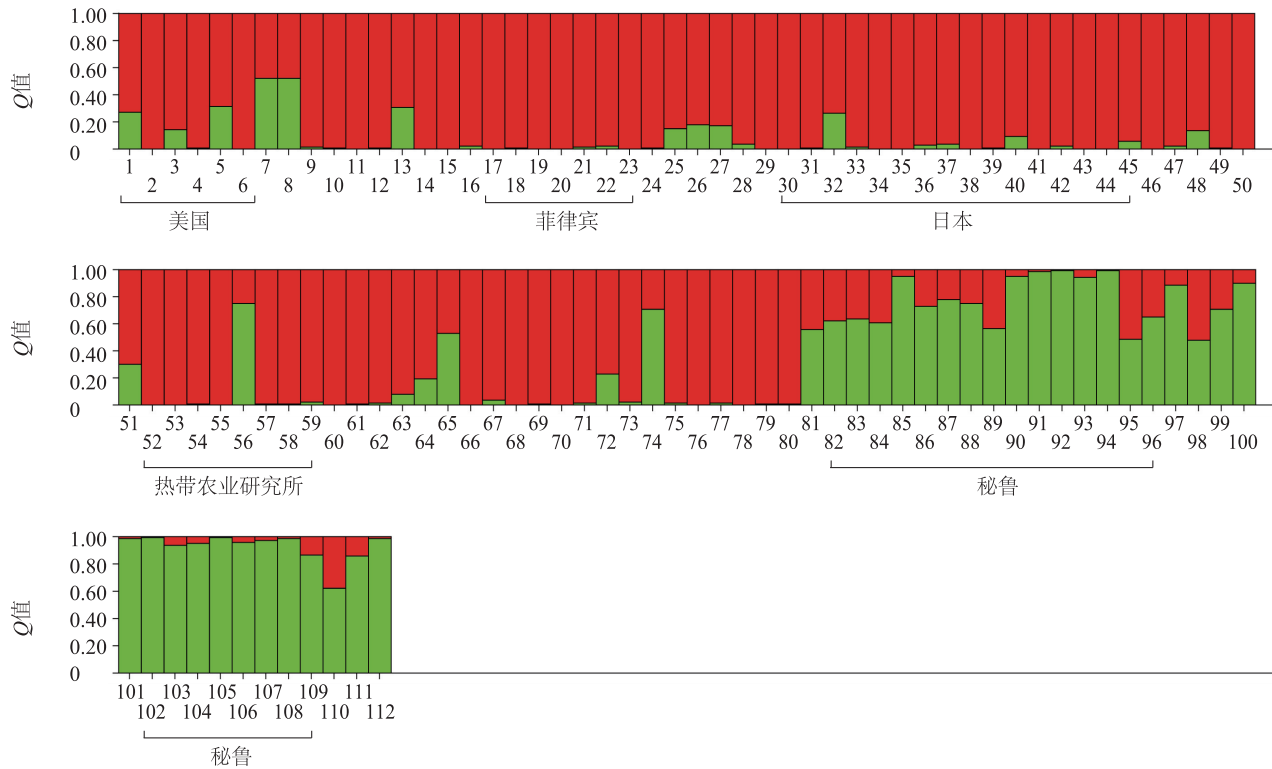
类群	亚群	编号	名称	来源
		15	Acadian	美国
		16	Georgian red	美国
		66	CIP94-21	CIP
		68	America No.7	美国
		2	五魁好	美国
		22	Daja	菲律宾
		41	红东	日本
		36	日本 516	日本
		29	卡墨薯	美国
		30	农林 10 号	日本
	IXB	3	澳墨红	美国
		67	Sumor	CIP
		64	美 1-109	美国
		12	胜利百号	日本
		13	高系 14	日本
		27	沃克罗火玛	美国
		69	CIP440185	CIP
		70	PSB SP16	CIP
		71	PSB SP15	CIP
		72	Beauregard	美国
		47	CN941-32	亚蔬中心
		58	TiS8250	热带农业研究所
		73	AB94078.1	CIP
		14	百年纪念	美国
		43	白萨摩	日本
		80	Wagabolige	秘鲁
		76	阿根廷	阿根廷
		78	SR95.628	CIP
		32	农林 23 号	日本
		37	日本 566	日本
		33	九州 5 号	日本
		34	九州 37 号	日本
		35	中国 28 号	日本
	IXC	28	美实	美国
		65	CIP94-13	CIP
		5	南后	美国
		7	农林 3 号	日本
		8	农林 31 号	日本
		74	JPKY 001/2	CIP
		98	401396	委内瑞拉
		83	106448.2	秘鲁

续表 3 Continued 3

类群	亚群	编号	名称	来源
		82	106282.1	秘鲁
		84	106469.3	秘鲁
		87	106861.3	秘鲁
		81	106212.1	秘鲁
		85	106603.1	秘鲁
		86	106605.1	秘鲁
		97	Watson	牙买加
		95	400039	多米尼加共和国
		96	Coloroda	阿根廷
		56	TiS2544	热带农业研究所
		88	106878.1	秘鲁
		89	106984.1	秘鲁
		108	W-119	美国
		109	W-216	美国
		111	NCSU 262	美国
		99	Jewel	阿根廷
		110	Jewel	美国
		90	187016.2	CIP
		104	Camotillo	秘鲁
		91	188002.1	秘鲁
		92	195037.2	秘鲁
		93	199035.7	秘鲁
		94	199062.1	秘鲁
		106	Rompe Costal	秘鲁
		100	Camote Rosita	秘鲁
		101	Yacori	秘鲁
		112	TucumanaMantecosa	阿根廷
		107	Huambacho T-1	秘鲁
		103	Mochero	秘鲁
		102	Pato Iqueno	秘鲁
		105	Citarita	秘鲁

CIP、ITA、WVC 见表 1 注。

 K 值为最优分群数, $\ln P(D)$ 是 $L(K)$ 的模型选择标准。图 3 随着 K 值的增加 $\ln P(D)$ 值变化趋势Fig.3 Changes of $\ln P(D)$ value with the increase of K value图 4 甘薯种质资源群体结构 K 值曲线Fig.4 K value curve diagram of genetic structure of sweetpotato germplasm collections



1~112:甘薯引进种,见表1。 $K=2$ 。 Q 值:第*i*自交系基因组变异源于第*K*群体的概率。

图5 112份甘薯引进种种质资源遗传结构分析

Fig.5 Analysis on genetic structure of 112 introduced sweetpotato germplasm collections

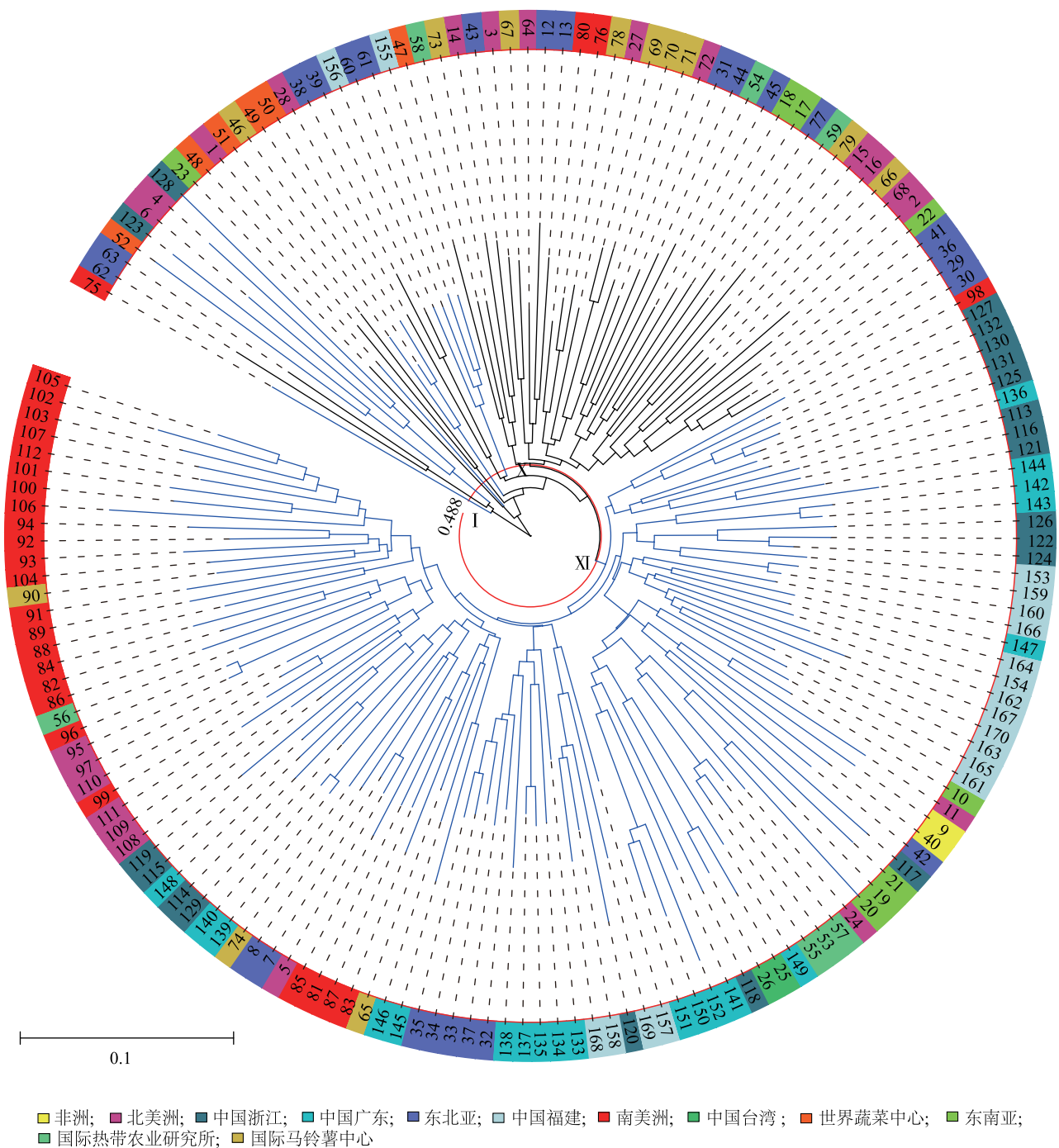
2.5 甘薯引进种与地方种聚类分析

170份甘薯材料在遗传距离为0.488处分为11个类群,其中第XI类群主要包含中国大陆地方种、中国台湾品种、非洲引进种、南美洲引进种(图6)。由表4可知每个类群组成的甘薯引进种和地方种及其来源地信息。中国大陆地方种主要聚类在类群XI中,该类群来源地较为丰富,说明中国大陆地方种具有丰富的遗传多样性。来自中国台湾的甘薯材料和非洲甘薯引进种全部聚类于第XI类群中,中国台湾品种与中国大陆地方种遗传距离最近,说明两者间亲缘关系最近。大部分南美洲引进种与中国甘薯地方种处于同一类群,说明中国地方种与主要南美洲引进种间亲缘关系较近。部分东北亚甘薯材料与中国甘薯地方种处于同一类群,说明这些东北亚甘薯材料与中国地方种有一定的亲缘关系。有4份东南亚材料聚在类群XI中,有4份分散于类群IV和类群X中,说明中国地方种与东南亚甘薯引进种亲缘关系较近。中国地方种与CIP、IITA、WVC甘薯引进种间遗传距离较远,亲缘关系较远。

3 讨论

通过对甘薯引进种与地方种聚类分析发现,中国台湾地区的甘薯材料与中国大陆地方种间亲缘关系最近,而来源于东南亚菲律宾的材料与中国地方种间亲缘关系较近。进一步证实了Roullier等^[15]的研究结果,即中国大陆甘薯是经由菲律宾传入中国台湾地区而后传入中国大陆东南沿海地区的。由聚类结果可进一步推测,甘薯传入中国大陆后,在华南地区形成以广东省为中心的次级分化中心。这可能是由于华南地区纬度和生态环境与甘薯的起源地较为相似,而且多数品种能够开花结实,使甘薯的遗传多样性更为丰富,这也与前期研究结果^[11]一致。

本研究对112份现有甘薯引进种进行了遗传多样性分析,结果表明南美洲的甘薯材料遗传背景较为单一,原因可能是该地区种质被引出的多,引进的少,栽培种多样性较低,造成内部同质性较高。聚类结果显示,来自美国和日本的引进种遗传多样性最为丰富。推测原因是这2个国家甘薯种质资源交流制度较为健全,国际种质交流合作较多。值得注意



顺时针方向在遗传距离为 0.488 处将聚类图划分为类群 I 到 XI, 甘薯种质材料编号 1~170 见表 1。

图 6 112 份引进种与 58 地方种基于 SSR 遗传距离的 N J 的聚类图

Fig.6 Cluster of 112 introduced sweetpotato germplasm collections and 58 landraces based on SSR Neighbor-Joining clustering method

的是,国际热带农业研究所与国际马铃薯中心的甘薯种质资源遗传距离较近,说明国际农业组织间种质资源交流合作较为紧密。从甘薯种质资源群体结构 K 值曲线中可以看出,类群 I 到类群 X 来源地较为广泛,引进种间聚类较为分散,推测原因可能是甘

薯在传入这些地区后,为适应当地气候环境,产生了相应的分化。建议在未来国外引种项目中,应优先考虑引入国际组织及美国、日本等甘薯种质资源,以改善中国甘薯遗传背景狭窄的现状,进一步应用于种质创新和品种改良。

表 4 170 份甘薯种质资源基于 SSR 遗传距离聚类形成的类群

Table 4 Groups of 170 sweetpotato germplasm collections based on SSR genetic distance clustering

类群	编号	名称	来源	类群	编号	名称	来源
I	75	西蒙 1 号	巴西		54	TiB11	热带农业研究所
II	62	山川紫	日本		45	B1	日本
	63	美绿	日本		17	UPLB-7	菲律宾
III	52	Tc82-2	亚蔬中心		18	PI286629	菲律宾
	123	铁丝藤	中国浙江		77	黄金千贯	日本
	4	白星	美国		59	TiS3290	热带农业研究所
	6	美 24	美国		79	CEMSA74-228	CIP
	128	黄皮娘姨	中国浙江		15	Acadian	美国
IV	23	Lc-Tainan	菲律宾		16	Georgian red	美国
V	48	CN1108-13	亚蔬中心		66	CIP94-21	CIP
VI	1	南瑞苕	美国		68	America No.7	美国
	51	PC#9	亚蔬中心				
VII	46	BSY147	CIP		2	五魁好	美国
	49	CN1525-11	亚蔬中心		22	Daja	菲律宾
	50	CN1510-25	亚蔬中心		41	红东	日本
VIII	28	美实	美国		36	日本 516	日本
	38	日本种	日本		29	卡墨薯	美国
	39	水源 84	朝鲜		30	农林 10 号	日本
IX	156	竖番番薯芋	中国福建	XI	98	401396	委内瑞拉
	60	九州 101	日本		127	温岭黄皮	中国浙江
	61	九州 107	日本		132	大藤黄皮	中国浙江
	155	电瓶薯	中国福建		130	文城金瓜薯	中国浙江
X	47	CN941-32	亚蔬中心		131	泰顺金瓜薯	中国浙江
	58	TiS8250	热带农业研究所		125	雅潜黄皮	中国浙江
	73	AB94078.1	CIP		136	生毛龙	中国广东
	14	百年纪念	美国		113	泰顺黄皮	中国浙江
	43	白萨摩	日本		116	黄心番	中国浙江
	3	澳墨红	美国		121	杭州土种	中国浙江
	67	Sumor	CIP		144	禺北白	中国广东
	64	美 1-109	美国		142	赤皮不论春	中国广东
	12	胜利百号	日本		143	解放薯	中国广东
	13	高系 14	日本		126	长藤红皮白心	中国浙江
	80	Wagabolige	秘鲁		122	红毛	中国浙江
	76	阿根廷	阿根廷		124	大藤番	中国浙江
	78	SR95.628	CIP		153	小红 70 日	中国福建
	27	沃克罗火玛	美国		159	脚筒种	中国福建
	69	CIP440185	CIP		160	木冬瓜	中国福建
	70	PSB SP16	CIP		166	大头黄	中国福建
	71	PSB SP15	CIP		147	香薯	中国广东
	72	Beauregard	美国		164	红心海凤尾	中国福建
	31	农林 17 号	日本		154	湖头本	中国福建

续表 4 Continued 4

类群	编号	名称	来源	类群	编号	名称	来源
XI	44	萨摩光	日本	XI	162	南伏	中国福建
	167	北蛟	中国福建		170	武平农家种 5	中国福建
	163	松涛薯	中国福建		165	龙岩 70 日	中国福建
	161	铁丝薯	中国福建		10	马六甲	马来西亚
	11	美国红	美国		9	马里白薯	马里
	40	摩洛哥	摩洛哥		42	红隼人	日本
	117	荸荠番	中国浙江		21	Benguet	菲律宾
	19	UPR-Variega	菲律宾		20	Copperskin Gold	菲律宾
	24	NAS(美国引)	美国		57	TiS70683	热带农业研究所
	53	TiB4	热带农业研究所		55	TiS1145	热带农业研究所
	149	日本薯	中国广东		25	台农 18 号	中国台湾
	26	台农 17 号	中国台湾		118	温岭红皮	中国浙江
	141	假山柚	中国广东		152	白皮蓬尾	中国广东
	150	菊花种	中国广东		151	槟榔薯	中国广东
	157	竹西本	中国福建		169	桔仔红	中国福建
	120	铁丝薯	中国浙江		158	猴毛红	中国福建
	168	广园	中国福建		133	蓬尾	中国广东
	134	保亭种	中国广东		135	四季种	中国广东
	137	不论春	中国广东		138	密草芦仔	中国广东
	32	农林 23 号	日本		37	日本 566	日本
	33	九州 5 号	日本		34	九州 37 号	日本
	35	中国 28 号	日本		145	六十日	中国广东
	146	红藤	中国广东		65	CIP94-13	CIP
	83	106448.2	秘鲁		87	106861.3	秘鲁
	81	106212.1	秘鲁		85	106603.1	秘鲁
	5	南后	美国		7	农林 3 号	日本
	8	农林 31 号	日本		74	JPKY 001/2	CIP
	139	接长冬	中国广东		140	番薯香	中国广东
	129	葡萄叶	中国浙江		114	金瓜薯	中国浙江
	148	红五丫	中国广东		115	南田黄	中国浙江
	119	长藤白	中国浙江		108	W-119	美国
	109	W-216	美国		111	NCSU 262	美国
	99	Jewel	阿根廷		110	Jewel	美国
	97	Watson	牙买加		95	400039	多米尼加共和国
	96	Coloroda	阿根廷		56	TiS2544	热带农业研究所
	86	106605.1	秘鲁		82	106282.1	秘鲁
	84	106469.3	秘鲁		88	106878.1	秘鲁
	89	106984.1	秘鲁		90	187016.2	CIP
	91	188002.1	秘鲁		104	Camotillo	秘鲁
	92	195037.2	秘鲁		93	199035.7	秘鲁
	94	199062.1	秘鲁		106	Rompe Costal	秘鲁
	100	Camote Rosita	秘鲁		101	Yacori	秘鲁
	112	TucumanaMantecosa	阿根廷		107	Huambacho T-1	秘鲁
	103	Mochero	秘鲁		102	Pato Iqueno	秘鲁
	105	Citarita	秘鲁				

参考文献:

- [1] FAOSTAT. Food and agricultural organization from the United Nations[EB/OL]. (2016) [2018-02-01]. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.
- [2] 盛家廉,袁宝忠,邬景禹,等. 我国甘薯品种资源研究现状[J]. 作物品种资源, 1983, 2(40): 2-7.
- [3] KHOURY C K, HEIDER B, CASTANEDA-ALVAREZ N P, et al. Distributions, ex situ conservation priorities, and genetic resource potential of crop wild relatives of sweetpotato [*Ipomoea batatas* (L.) Lam., I. series Batatas] [J]. Frontiers in Plant Science, 2015, 4(6): 251.
- [4] 贺学勤. 中国甘薯地方品种的遗传多样性分析[D]. 北京: 中国农业大学, 2004.
- [5] ZHANG D, ROSSEL G, KRIEGNER A, et al. AFLP assessment of diversity in sweetpotato from Latin America and the Pacific region; Its implications on the dispersal of the crop [J]. Genetic Resources and Crop Evolution, 2004, 51(2): 115-120.
- [6] JARRET R L, AUSTIN D F. Genetic diversity and systematic relationships in sweetpotato [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.] and related species as revealed by RAPD analysis [J]. Genetic Resources and Crop Evolution, 1994, 41(3): 165-173.
- [7] JARRET R L, GAWEL N, WHITEMORE A. Phylogenetic relationships of the sweetpotato [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.] journal of the american society for horticultural science [J]. Genetic Resources and Crop Evolution, 1992, 117(4): 633.
- [8] 罗凯,卢会翔,吴正丹,等. 中国西南地区甘薯主要育种亲本的遗传多样性及群体结构分析[J]. 中国农业科学, 2016, 49(3): 593-608.
- [9] ZAWEDDE B M, GHISLAIN M, MAGEMBE E, et al. Characterization of the genetic diversity of Uganda's sweet potato (*Ipomoea batatas*) germplasm using microsatellites markers [J]. Genetic Resour Crop Evol, 2015, 62(4): 501-513.
- [10] 苏一钧,王娇,戴习彬,等. 303 份甘薯地方种 SSR 遗传多样性与群体结构分析 [J]. 植物遗传资源学报, 2018, 19(2): 202-210.
- [11] ZHAO N, YU X X, JIE Q, et al. A genetic linkage map based on AFLP and SSR markers and mapping of QTL for dry-matter content in sweetpotato[J]. Molecular Breeding, 2013, 32(4): 807-820.
- [12] LETUNIC I, BORK P. Interactive tree of life (iTOL) v3: an online tool for the display and annotation of phylogenetic and other trees [J]. Nucleic Acids Res, 2016, 44(4): 242-245.
- [13] EVANNO G, REGNANT S, GOUDET J. Detecting the number of clusters of individuals using the software STRUCTURE: a simulation study[J]. Molecular Ecology, 2005, 14(8): 2611-2620.
- [14] 吴承来,张倩倩,董炳雪,等. 我国部分玉米自交系遗传关系和遗传结构解析[J]. 作物学报, 2010, 36(11): 1820-1831.
- [15] ROULLIER C, BENOIT L, MCKEY D B, et al. Historical collections reveal patterns of diffusion of sweet potato in Oceania obscured by modern plant movements and recombination [J]. PNAS, 2013, 110(6): 2205-2210.

(责任编辑:张震林)