

SSR 标记马铃薯育成品种的遗传多样性分析

王 鹏, 李芳弟, 郭天顺, 窦俊焕, 颀炜清, 罗照霞,
齐小东, 杨 晨, 赵中梁, 宋 怡, 吕 汰*

(甘肃省天水市农业科学研究所, 甘肃 天水 741001)

摘 要: 分析 65 份马铃薯(*Solanum tuberosum* L.) 育成品种的遗传关系, 为主食化马铃薯新品种选育中亲本的选配提供理论依据。采用轮筛法从 100 对马铃薯 SSR 引物中筛选出条带清晰、重复性好、多态性较高的引物。利用筛选出的 25 对 SSR 引物对 65 份马铃薯品种的遗传多样性进行扩增分析, 用 NTSYS-pc 2.1 软件分析供试材料的遗传关系。25 对 SSR 引物共扩增出 145 个位点, 其中多态性位点 145 个, 占总扩增位点的 100%。供试材料间的遗传相似系数为 0.60~0.93, 表明供试材料间遗传差异相对较大。UPGMA 聚类结果表明, 在遗传相似系数为 0.60 时, 供试材料被分为两大类, ‘华恩 1 号’单独聚为第一类, 其余 64 份材料聚为第二类; 在遗传相似系数为 0.61 时, 第二类又分为两个亚类, ‘农天 1 号’、‘甘谷紫’、‘天薯 9 号’、‘五龙洋芋’、‘天薯 10 号’聚为第一亚类; 其余 59 份材料聚为第二亚类; 在相似系数为 0.64 时, 第二亚类又分为 2 个亚亚类: 第 1 亚亚类为‘天薯 11 号’、‘青薯 10 号’、‘青薯 6 号’、‘甘谷红’和‘秦州红’, 其余 54 份材料聚为第 2 亚亚类。结果表明, 供试材料中部分品种间亲缘关系较远, 但同一育种单位育成的品种遗传差异较小, 育种中可以充分利用遗传关系较远的马铃薯品种作为亲本材料。

关键词: 马铃薯; SSR 标记; 遗传多样性

Analysis of Genetic Diversity for Potato (*Solanum tuberosum* L.) Varieties Using SSR Markers

WANG Peng, LI Fangdi, GUO Tianshun, DOU Junhuan, XIE Weiqing, LUO Zhaoxia,

QI Xiaodong, YANG Chen, ZHAO Zhongliang, SONG Yi, LU Tai*

(Tianshui Institute of Agricultural Sciences, Tianshui, Gansu 741001, China)

Abstract: Genetic diversity of 65 potato varieties was analyzed using SSR markers. This information will provide a theoretical basis for breeding new potato varieties. A round sieving method was used for selecting polymorphic primers with distinct and repeatable bands from 100 pairs of potato SSR primers. In total, 25 pairs of polymorphic SSR primers were selected to identify the genetic diversity of tested materials. The genetic relationship of 65 potato varieties was analyzed by NTSYS-pc 2.1. A total of 145 alleles were identified, of which 145 were polymorphic, and the polymorphic rate was 100%. The genetic similarity coefficient of 65 potato cultivars was from 0.60 to 0.93, suggesting that the tested materials had a rich genetic diversity. Un-weighted pair group method using arithmetic average (UPGMA) cluster analysis showed that 65 potato varieties were grouped into two categories at the similarity coefficient of 0.60, based on

收稿日期: 2018-07-24

基金项目: 甘肃省自然科学基金项目(1606RJZA178); 甘肃省重大科技专项计划(17ZD2NA016); 现代农业产业技术体系专项资金(CARS-10); 甘肃省现代农业马铃薯产业技术体系项目(GARS-03-P02); 天水市科技支撑计划(主粮化马铃薯新品种选育及加工品质分析研究); 甘肃省农业生物技术研究与应用开发项目(GNSW-2014-1)。

作者简介: 王鹏(1980-), 男, 硕士, 副研究员, 主要从事马铃薯育种工作。

***通信作者(Corresponding author):** 吕汰, 研究员, 主要从事马铃薯育种与栽培技术研究工作, E-mail: lvtai123@163.com。

25 SSR primers. The genotype 'Huaen 1' was grouped into the category I alone, while the other 64 genotypes were grouped into the category II. At the similarity coefficient of 0.61, the category II was further grouped into two classes. 'Nongtian 1', 'Ganguzi', 'Tianshu 9', 'Wulongyangyu', and 'Tianshu 10' were grouped into class 1, while other 59 genotypes were grouped into class 2. Moreover, the class 2 was grouped into two subclasses when the similarity coefficient was at 0.64, 'Tianshu 11', 'Qingshu 10', 'Qingshu 6', 'Ganguhong', and 'Qinzhonghong' being grouped into subclass 1, while other 54 genotypes being grouped into subclass 2. The results showed that some varieties had far relationship and varieties from the same breeding unit had narrow genetic difference. The potato varieties with far genetic relationship could be fully utilized as better parent resources in the potato breeding.

Key Words: potato (*Solanum tuberosum* L.); SSR marker; genetic diversity

随着马铃薯主粮化发展和加工业企业兴起的需要, 育成的品种除具备抗病、高产特性外, 还需适宜食品加工(炸片、炸条、淀粉、全粉)和鲜薯出口。甘肃省天水市农业科学研究所由于马铃薯种质资源保存与利用滞后, 育种缺乏优质亲本, 现已育成品种主要以甘肃省平凉市庄浪县农机推广中心育成的品种‘庄薯3号’和甘肃省天水市农业科学研究所自育品系‘天99-5-4’为亲本。

种质的价值决定于种质自身的遗传多样性、可利用性和有效性^[1]。在育种实践中, 环境及人为因素的影响使得选择过程操作起来较为困难, 而利用DNA指纹差异则可直接提供与目标性状有关的DNA水平信息, 避免了环境干扰, 从而大大提高了杂交育种对亲本及后代理想单株的选择效率^[2]。国外分子标记技术用于马铃薯遗传多样性研究较早^[3-6]。近年来, Gavrilenko等^[7]利用SSR标记技术对237份具有栽培马铃薯特性的种质和155份具有野生种特性并接近栽培种种质的遗传多样性进行分析, 并分析其与野生种的遗传关系, 结果表明, 所有的材料聚为A、B两大类, A类包括了具有二倍体、三倍体和四倍体的栽培种和部分具有野生型亲本的种质, B类包括大部分的野生型种质和杂交栽培种。国内分子标记技术用于马铃薯遗传多样性研究相比国外较晚^[8-14]。Wang Fang等^[15]利用AFLP分子标记技术对123份引自国际马铃薯中心(CIP)及部分国内育成马铃薯品种进行遗传多样性分析, 结果表明, CIP引进马铃薯种质遗传多样性丰富, 中国马铃薯品种遗传相似度较高, 遗传基础狭窄, 可以利用CIP资源来拓宽中国马铃薯狭窄的遗传基础。

为了扩大马铃薯种质资源基因库, 迎合中国马

铃薯主食化发展及对主食化品种的需求, 甘肃省天水市农业科学研究所近两年收集并引进不同基因型的马铃薯资源。为进一步将这些资源材料用于马铃薯育种亲本的选配中, 本研究利用引进的国内育成马铃薯品种以及甘肃省主要育成的部分马铃薯品种, 用SSR分子标记检测方法对其遗传关系进行研究, 明确甘肃省部分马铃薯栽培品种与引进马铃薯品种的遗传多样性, 为拓宽甘肃省马铃薯育成品种遗传基础提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 参试材料

马铃薯品种共计65个(表1), 包括甘肃省育成品种14个, 引进马铃薯品种47个, 甘肃省天水市地方品种4个。

1.2 马铃薯基因组DNA的提取

摘取马铃薯田间幼嫩叶片, 利用改良的CTAB法^[16]提取马铃薯基因组DNA。用1.0%琼脂糖凝胶电泳检测DNA样品的质量和完整性。

1.3 SSR引物筛选

采用轮筛法筛选多态性较好的引物, 第1轮随机选取‘天薯11号’和‘中薯18号’, SSR引物来自于公开发表的文献^[6,17,18], 从100对引物中筛选出在两份材料间有条带的引物; 第2轮以5份材料(‘天薯10号’、‘陇薯7号’、‘中薯10号’、‘云薯506’、‘丽薯10号’)进一步筛选出多态性指数较高的引物, 引物多态性指数PPB(Percentage of polymorphic bands): $PPB(\%) = (K/N) \times 100$, (其中K为扩增多态性条带数, N为扩增条带总数)。用筛选出的多态性指数较高的SSR引物对供试马铃薯品种进行扩增分析。

表 1 供试材料名称及来源
Table 1 Names and sources of materials

编号 Code	名称 Name	亲本组合 Parent combination	来源 Source
1	农天 1 号 Nongtian 1	99-5-4 × 庄薯 3 号	甘肃省天水市农业科学研究所
2	陇薯 8 号 Longshu 8	大西洋 × L9705-9	甘肃省农业科学院马铃薯研究所
3	天薯 12 号 Tianshu 12	91-26-116 × 85-6-14	甘肃省天水市农业科学研究所
4	陇薯 7 号 Longshu 7	91-26-116 × 85-6-14	甘肃省农业科学院马铃薯研究所
5	天薯 9 号 Tianshu 9	91-26-116 × 85-6-14	甘肃省天水市农业科学研究所
6	天薯 11 号 Tianshu 11	天薯 7 号 × 庄薯 3 号	甘肃省天水市农业科学研究所
7	天薯 10 号 Tianshu 10	庄薯 3 号 × 郑薯 1 号	甘肃省天水市农业科学研究所
8	青薯 10 号 Qingshu 10	387521.3 × Aphrodite	青海省农业科学院作物研究所
9	甘谷红 Ganguhong	—	甘肃省天水市甘谷县
10	甘谷紫 Ganguzi	—	甘肃省天水市甘谷县
11	五龙洋芋 Wulongyangyu	—	甘肃省天水市麦积区
12	陇薯 10 号 Longshu 10	庄薯 3 号 × 菲多利	甘肃省农业科学院马铃薯研究所
13	秦州红 Qinzhouhong	—	甘肃省天水市秦州区
14	青薯 6 号 Qingshu 6	固 33-1 × 92-9-44	青海省农业科学院作物研究所
15	克新 6 号 Kexin 6	S41956 × 96-56	黑龙江省农业科学院克山分院
16	米拉 Mira	Capella × B.R.A.089	青海省农业科学院作物研究所
17	早大白 Zaodabai	五里白 × 74-128	辽宁省本溪市马铃薯研究所
18	大西洋 Atlantic	B5141-6 × Wauseon	甘肃省定西市农业科学院
19	中薯 8 号 Zhongshu 8	W953 × FL475	中国农业科学院蔬菜花卉研究所
20	苏兰 1 号 Sulan 1	—	乐陵希森马铃薯产业集团有限公司
21	希森 6 号 Xisen 6	Shepody × XS9304	乐陵希森马铃薯产业集团有限公司
22	希森 5 号 Xisen 5	FL-02 × E003-3	乐陵希森马铃薯产业集团有限公司
23	陇薯 6 号 Longshu 6	武薯 86-6-14 × 陇薯 4 号	甘肃省农业科学院马铃薯研究所
24	红玫瑰 Hongmeigui	Alaska × ACP1691	乐陵希森马铃薯产业集团有限公司
25	丽薯 6 号 Lishu 6	A10-39 × NS40-37	云南省丽江市农业科学研究所
26	延薯 4 号 Yanshu 4	莫斯科列思基茎尖剥离	吉林省延边朝鲜族自治州农业科学研究院
27	鄂马铃薯 11 号 Emalingshu 11	552 × DY4-2-10	湖北省农业科学院粮食作物研究所
28	肯德 Kondor	Uurgenta × Depesc	山西省农业科学研究院
29	青薯 7 号 Qingshu 7	92-32-42 × 92-5-2	青海省农业科学院作物研究所
30	云薯 605 Yunshu 605	S03-3317 × CIP3221	云南省农业科学院经济作物研究所
31	虎头 Hutou	紫山药 × 小叶子	山西省农业科学研究院
32	中薯 18 号 Zhongshu 18	C91.628 × C93.154	中国农业科学院蔬菜花卉研究所
33	延薯 9 号 Yanshu 9	延薯 8 号 × 早大白	吉林省延边朝鲜族自治州农业科学研究院
34	中薯 7 号 Zhongshu 7	中薯 2 号 × 冀张薯 4 号	中国农业科学院蔬菜花卉研究所

续表1
Continued Table 1

编号 Code	名称 Name	亲本组合 Parent combination	来源 Source
35	克新22号 Kexin 22	Amylex × 8y-220/1	黑龙江省农业科学院克山分院
36	中薯19号 Zhongshu 19	92.187 × C93.154	中国农业科学院蔬菜花卉研究所
37	延薯8号 Yanshu 8	早大白 × 延薯4号	吉林省延边朝鲜族自治州农业科学研究院
38	鄂马铃薯5号 Emalingshu 5	393143-12 × NS51-5	湖北省农业科学院粮食作物研究所
39	华恩1号 Huaen 1	“395049”杂交组合后代	华中农业大学
40	中薯10号 Zhongshu 10	F79055 × ND860-2	中国农业科学院蔬菜花卉研究所
41	延薯7号 Yanshu 7	延薯4号 × 早大白	吉林省延边朝鲜族自治州农业科学研究院
42	宣薯5号 Xuanshu 5	Vytok × 387136.14	宣威市马铃薯种薯研发中心
43	川凉薯7号 Chuanliangshu 7	IX-55-6 × 390344-8	四川省凉山州西昌农业科学研究所
44	毕薯2号 Bishu 2	合作88 × 米拉	贵州省毕节地区农业科学研究所
45	延薯10号 Yanshu 10	延薯7号 × 早大白	吉林省延边朝鲜族自治州农业科学研究院
46	中薯3号 Zhongshu 3	京丰1号 × BF67A	中国农业科学院蔬菜花卉研究所
47	庄薯4号 Zhuangshu 4	庄99-2-1 × 小白花	甘肃省庄浪县农机推广中心
48	讷薯16号 Neshu 16	-	青海省农业科学院作物研究所
49	青薯2号 Qingshu 2	高原4号 × 玛古拉	青海省农业科学院作物研究所
50	云薯201 Yunshu 201	S95-105 × 内薯7号	云南省农业科学院经济作物研究所
51	冀张薯14号 Jizhangshu 14	克新3号 × 金冠	河北省高寒作物研究所
52	蒙薯10号 Mengshu 10	呼单81-118 × 呼单80-298	内蒙古呼盟农业科学研究所
53	中薯11号 Zhongshu 11	Aminca × Chaleur	中国农业科学院蔬菜花卉研究所
54	冀张薯8号 Jizhangshu 8	720087 × X4.4	河北省高寒作物研究所
55	陇薯13号 Longshu 13	K299-4 × L0202-2	甘肃省农业科学院马铃薯研究所
56	蒙薯17号 Mengshu 17	呼单82-246 × 呼单81-118	内蒙古呼盟农业科学研究所
57	郑薯7号 Zhengshu 7	Favorita × 郑薯5号	河南省郑州市蔬菜研究所
58	希森3号 Xisen 3	Favorita × 豫马铃薯1号	乐陵希森马铃薯产业集团有限公司
59	天薯13号 Tianshu 13	99-5-4 × 95-7-5	甘肃省天水市农业科学研究所
60	陇薯12号 Longshu 12	L9712-2 × L0202-2	甘肃省农业科学院马铃薯研究所
61	青薯9号 Qingshu 9	387521.3 × Aphrodite	青海省农业科学院作物研究所
62	费乌瑞它 Favorita	ZPC50-35 × ZPC55-37	甘肃省定西市农业科学院
63	冀张薯12号 Jizhangshu 12	大西洋 × 99-6-36	河北省高寒作物研究所
64	夏波蒂 Shepody	F58050 × Bake King	青海省农业科学院作物研究所
65	农天2号 Nongtian 2	99-5-4 × 天薯7号	甘肃省天水市农业科学研究所

注：‘甘谷红’、‘甘谷紫’、‘五龙洋芋’、‘秦州红’和‘讷薯16号’为地方品种，‘苏兰1号’为国外引进品种，亲本未知。
Note: 'Ganguhong', 'Ganguzi', 'Wulongyangyu', 'Qinzhouhong' and 'Neshu 16' are land races, and 'Sulan 1' is an introduced variety. The parents of these varieties are unknown.

1.4 PCR扩增和电泳检测

1.4.1 PCR扩增体系

PCR反应在Eppendorf Master-cycler PCR扩增

仪上进行。SSR反应体系和程序按照Ghislain等^[6]的方法，SSR-PCR体系(10 μL)：2 × Taq PCR Master Mix (中科瑞泰生物科技有限公司)5 L，10 ng/μL上游引

物和下游引物各 1 μ L, 100 ng/ μ L 模板 DNA 1 μ L, ddH₂O 2 μ L。反应条件: 94 $^{\circ}$ C 预变性 4 min; 94 $^{\circ}$ C 变性 1 min, 复性(以引物最适退火温度而定) 50 s, 72 $^{\circ}$ C 延伸 1 min, 35 个循环; 72 $^{\circ}$ C 延伸 10 min。

1.4.2 PAGE 凝胶电泳检测

采用 8% 非变性聚丙烯酰胺凝胶对 PCR 产物进行电泳(恒功率 70 W 电泳 1.5 h)。凝胶染色步骤: ddH₂O 漂洗 2~3 min, 2 g/L 硝酸银染色 15 min, 蒸馏水漂洗 30 s, 20 g/L 氢氧化钠中加入 37% 甲醛 4 mL 显色至条带清晰可见, 蒸馏水漂洗, 照相。

1.5 SSR 数据统计分析

对扩增后清晰、稳定、易读的条带采用‘0-1’系统记录其位置, 在相同的迁移位置上有带记‘1’, 无

带记‘0’, 构建‘0,1’二元数据矩阵。利用 NTSYS-pc 2.1 遗传多样性分析软件计算供试材料之间的遗传相似系数, 按照 UPGMA (Un-weighted pair group method using arithmetic averages) 方法进行聚类分析, 并通过 Tree plot 模块生成聚类图。

2 结果与分析

2.1 SSR 多态性引物筛选

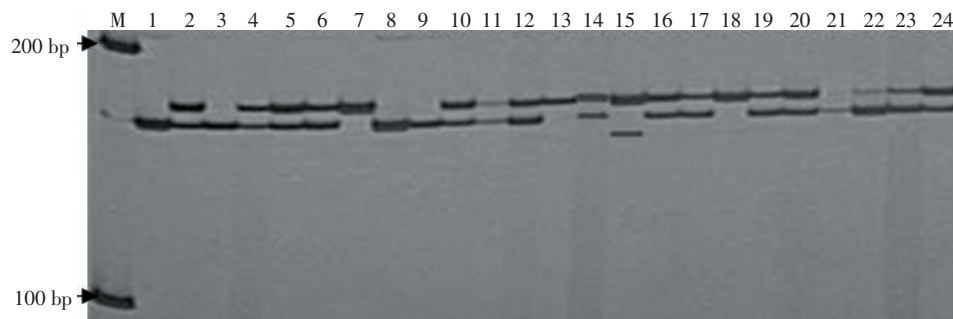
筛选出 25 对多态性指数较高的马铃薯 SSR 引物(表 2)。

2.2 SSR 标记多态性分析

利用筛选出的 25 对多态性指数较高的 SSR 引物, 对 65 份马铃薯品种进行 SSR 扩增分析。扩增

表 2 马铃薯品种 SSR 分析的多态性引物序列
Table 2 Polymorphic primer sequences of potato variety SSR analysis

引物名称 Names of Primers	引物序列(5'-3') Primer sequence		多态性条带数 Number of polymorphic band	条带总数 Total band	多态性指数(%) Polymorphism index
	正向引物(5'-3') Forward primers (5'-3')	反向引物(5'-3') Reverse primers (5'-3')			
S7	CACTGGCTGACCCTGAACTC	GACAAAATTACAGGAATGCAAA	7	7	100
S151	GCTGCTAAACACTCAAGCAGAA	CAACTACAAGATTCCATCCACAG	8	8	100
S170	CGCAAATCTTCATCCGATTC	TCCGGCGGATAATACTTGTT	6	6	100
S189	CCTGTAGAACAGCAGTGCTC	TCCGCCAAGACTGATGCA	6	6	100
S180	ACTGCTGTGGTTGGCGTC	ACGGCATAGATTGGAAGCATC	7	7	100
SSR111	TTCTTCCCTTCCATCAGTTCT	TTTGCTGCTATACTGCTGACA	9	9	100
STM3023	AAGCTGTTACTTGATTGCTGCA	GTTCTGGCATTTCATCTAGAGA	8	8	100
STM2013	TTCGGAATTACCCTCTGCC	AAAAAAGAACGCGCACG	4	4	100
STM1104	TGATTCTCTTGCCTACTGTAATCG	CAAAGTGCTGTGAAGCTGTGA	3	3	100
STM1016	TTCTGATTTTCATGCATGTTCC	ATGCTTGCCATGTGATGTGT	5	5	100
STGBSS	AATCGGTGATAAATGTGAATGC	ATGCTTGCCATGTGATGTGT	3	3	100
STWAX-2	CCCATAATACTGTGATGAGCA	GAATGTAGGAAACATGCATGA	8	8	100
SSR594	TTCGTTGAAGAAGATGATGCTC	CAAAGAGAAACAAGCATCCAAGA	3	3	100
STM3012	CAACTCAAACCAGAAGGCCAAA	GAGAAATGGGCACAAAAAACA	7	7	100
STM1106	TCCAGCTGATTGGTTAGGTTG	ATGCCAATCTACTCGTCATGG	3	3	100
STI022	TCTCCAATTACTTGATGGACCC	CAATGCCATACACGTGGCTA	7	7	100
STI049	GGAAGTCCTCAACTGGCTG	TCAACTATATGCCTACTGCCCAA	5	5	100
STI019	TCCCTGTGCCTTGAACAAT	TGGGAAAAGGTACAAAGACGA	6	6	100
STI033	TGAGGGTTTTTCAGAAAGGGA	CATCCTTGCAACAACCTCCT	7	7	100
STI005	CTAATTTGATGGGAAGCGA	CGGAGATAAAACCCAAGTCC	12	12	100
STI008	CATCTCCTTCACCTGCTCCT	CGACAAAGGAGGAAATCCAA	4	4	100
STI060	ACTTCTGCATCTGGTGAAGC	GGTCTGGATTCCAGGTTG	4	4	100
STI024	CGCCATTCTCTCAGATCACTC	GCTGCAGCAGTTGTTGTTGT	6	6	100
STI052	TCATCACAACGTGACCCCA	GGGCTTGAATGATGTGAAGCTC	3	3	100
STI041	CTCTGTTTCTCTAATCGCCGTA	AAGCGTTGCCACCGCCA	4	4	100
总计 Total			145	145	100



M: DNA Marker I; 1~24: 样品序号同表1。

M: DNA Marker I; 1~24: Codes are the same as in table 1.

图1 引物STI052对部分马铃薯品种的SSR扩增

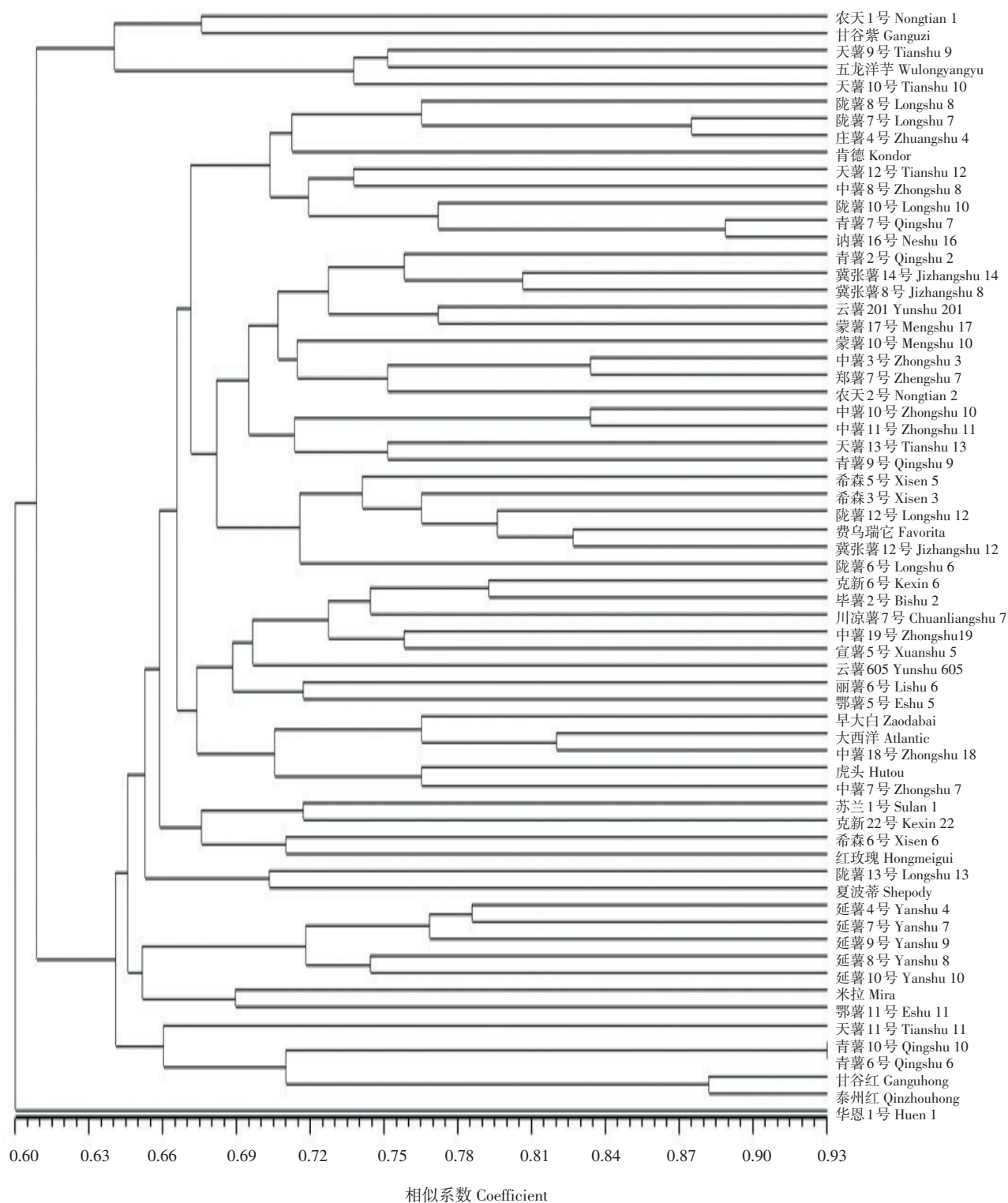
Figure 1 SSR amplification of some potato varieties by Primer STI052

结果显示, 25对引物共检测出145个清晰、稳定、易读的条带, 引物扩增条带数为3~12个, 平均每对引物扩增出5.88个条带, 其中, 多态性条带145个, 平均多态性比率为100%。引物STI005扩增出的条带数最多(12个), 扩增条带数最少的为引物STM1104、STGBSS、SSR594、STM1106和STI052, 条带总数均为3个(表2)。图1为引物STI052对部分马铃薯基因型的扩增结果。

2.3 供试马铃薯品种的亲缘关系

用NTSYS-pc 2.1数据分析软件计算了65份供试马铃薯品种两两之间的遗传相似系数(Genetic similarity, GS)在0.60~0.93, 平均遗传相似系数为0.76。基于遗传相似系数用类平均法(UPGMA)对供试材料进行聚类, 结果表明(图2), 在GS为0.60时, 供试材料分为两大类, ‘华恩1号’单独聚为一类, 该品种为华中农业大学、湖北恩施中国南方马铃薯研究中心从杂交组合‘395049’的子代实生系中选择优良单株经无性繁殖而成的品种。其余64份材料聚为第二类; 在GS为0.61时, 第二类又分为两个亚类, ‘农天1号’、‘甘谷紫’、‘天薯9号’、‘五龙洋芋’、‘天薯10号’聚为第一亚类; 其余59份材料聚为第二亚类; ‘农天1号’、‘天薯9号’和‘天薯10号’为甘肃省天水市农业科学研究所先后选育的品种, ‘农天1号’和‘天薯10号’共同亲本是‘庄薯3号’, 其中, ‘甘谷紫’和‘五龙洋芋’均为

天水地方品种。在GS为0.64时, 第二亚类又分为2个亚亚类: 第1亚亚类为‘天薯11号’、‘青薯10号’、‘青薯6号’、‘甘谷红’和‘秦州红’, 其中, 青海省农业科学院作物研究所育成的‘青薯10号’和‘青薯6号’相似系数最高, 达0.93, 搜集于甘肃省天水市不同的两个县区的地方品种‘甘谷红’和‘秦州红’相似系数较高, 达0.88, 其外观(薯型、薯皮、芽眼等)有一定的相似性, 其余54份材料聚为第2亚亚类: 在GS为0.65时, ‘延薯系列(延薯4、7、8、9、10)’、‘鄂马铃薯11号’和‘米拉’7份材料被聚为一组, 在GS为0.66时, ‘陇薯13号’和‘夏波蒂’, ‘红玫瑰’、‘希森6号’、‘克新22号’和‘苏兰1号’分别聚在一起, 其余41份材料(占供试材料的63.08%): 在GS为0.67时, ‘中薯7号’、‘虎头’、‘中薯18号’、‘大西洋’、‘早大白’、‘鄂薯5号’、‘丽薯6号’、‘云薯605’、‘宣薯5号’、‘中薯19号’、‘川凉薯7号’、‘毕薯2号’和‘克新6号’13份材料聚在一起, 在GS为0.68时, ‘青薯2号’、‘冀张薯14号’、‘冀张薯8号’、‘云薯201’、‘蒙薯17号’、‘蒙薯10号’、‘中薯3号’、‘郑薯7号’、‘农天2号’、‘中薯10号’、‘中薯11号’、‘天薯13号’、‘青薯9号’、‘希森5号’、‘希森3号’、‘陇薯12号’、‘费乌瑞它’、‘冀张薯12号’和‘陇薯6号’19份材料聚为一组, 在GS为0.70时, ‘陇薯8号’、‘陇薯7号’、‘庄薯4号’、‘肯德’、‘天薯12号’、‘中薯8号’、‘陇薯



10号’、‘青薯7号’和‘讷薯16号’9份材料聚在一起。来自于美国的薯片加工型品种‘大西洋’、来自于德国的中晚熟品种‘米拉’、来自于加拿大的薯条加工型品种‘夏波蒂’与国内育成品种的遗传差异并不十分明显,这可能是由于这些品种被引进国内后,将其作为亲本反复利用,与国内育成品种做过很多杂交,因此,育成品种中有其血缘,遗传关系较近,遗传差异较小。

就供试马铃薯品种的遗传距离(Genetic distance, GD)来看,乐陵希森马铃薯产业集团有限公司育成的早熟马铃薯品种‘希森3号’与甘肃省天水市农业科学研究所育成的晚熟淀粉加工型品种(淀粉含量达19.44%)‘天薯10号’、甘肃农业大学与天水市农业科学研究所合作育成的鲜食菜用型马铃薯品种‘农天1号’遗传距离最大($GD = 1.000\ 0$),‘希森3号’与‘天薯9号’差异也较大;‘天薯10号’与‘红玫瑰’、‘希森3号’与‘五龙洋芋’亲缘关系最远,遗传距离最大,均为0.922 4,‘农天1号’与早熟品种‘费乌瑞它’($GD = 0.862\ 5$)、‘红玫瑰’、‘延薯4号’、‘云薯605’遗传差异均较大,亲缘关系较远;‘天薯10号’与‘延薯10号’($GD = 0.853\ 7$)、‘肯德’、‘夏波蒂’的亲缘关系均较远,遗传距离均大于0.800 0,其次,‘天薯10号’与‘米拉’、‘延薯9号’、‘蒙薯10号’、‘陇薯12号’、‘中薯7号’、‘中薯19号’、‘苏兰1号’、‘希森5号’、‘中薯3号’、‘云薯605’遗传差异也较大,‘天薯10号’和‘农天1号’是当地育种单位重要的育种亲本,在马铃薯杂交育种中,可以利用‘天薯10号’、‘农天1号’与上述遗传差异较大的品种进行杂交选配工作,进而为选育出综合性状优异的马铃薯新品种奠定基础。部分供试马铃薯品种的遗传距离见表3。

3 讨 论

马铃薯品种来源、遗传距离和遗传背景差异较大的在聚类图(图2)中被分离出聚为一类,如‘华恩1号’、‘天薯11号’、‘鄂马铃薯11号’等。来源相同或同一育种单位的育成品种,遗传差异较小、距离较近,如甘肃天水地方品种和育成品种‘农天1号’、‘天薯9号’、‘天薯10号’、‘甘谷紫’和‘五龙洋

芋’聚在一起,‘延薯4号’、‘延薯7号’、‘延薯8号’、‘延薯9号’和‘延薯10号’聚在一起,‘青薯10号’和‘青薯6号’、‘青薯7号’和‘讷薯16号’、‘中薯10号’和‘中薯11号’、‘蒙薯10号’和‘蒙薯17号’、‘冀张薯8号’和‘冀张薯12号’分别聚在一起。这可能由于相同栽培区域和各育种单位集中化利用亲本,所以同一个育种单位培育的品种大多聚在相同类群中,该结果与时启冬等^[19]和段艳凤等^[20]的研究结果一致。比如,‘延薯9号’是吉林省延边朝鲜族自治州农业科学研究院以‘延薯8号’为母本、‘早大白’为父本育成的中晚熟品种,‘延薯7号’是以‘延薯4号’为母本、‘早大白’为父本,有性杂交获得实生籽,经过各世代鉴定筛选而育成。所以都聚在一起,由此也证明了SSR分子标记方法在作物品种血缘关系分析中的准确性与可靠性。

在本研究中有些聚类分析结果与实际的亲缘关系不太符合,如‘青薯10号’和‘青薯6号’在本研究中相似系数较高,两个品种均为青海省农业科学院作物研究所先后选育而成,‘青薯10号’是从国际马铃薯中心(CIP)引进杂交组合(‘387521.3’ $\times$ ‘Aphrodite’)材料‘C92.140-05’中选出优良单株ZT,后经系统选育而成,而‘青薯6号’亲本为‘固33-1’和‘92-9-44’(‘73-21-1’ $\times$ ‘Desiree’),两个品种没有共同的亲本,此结果的产生可能与研究中所选的SSR引物及其数量有关,扩增获得的多态性条带有限,不能充分表现出材料之间真实的遗传关系。

也有不同来源的品种相似性较高,如‘大西洋’和‘中薯18号’、‘费乌瑞它’和‘冀张薯12号’、‘中薯3号’和‘郑薯7号’、‘陇薯7号’和‘庄薯4号’等,‘中薯18号’是中国农业科学院蔬菜花卉研究所用‘C91.628’ $\times$ ‘C93.154’选育的品种,‘大西洋’亲本为‘B5141-6’(Lenape) $\times$ ‘Wauseon’,是1978年由农业部和中国农业科学院引入中国,这很可能是不同育种单位间相互引种,共用亲本,使得这些品种具有共同的血缘,遗传差异较小。但是,部分血缘关系较近的品种相似性却不高,比如,早熟品种‘郑薯7号’为河南省郑州市蔬菜研究所利用‘费乌瑞它’为母本、‘豫马铃薯1号’为父本育成,炸片加工型品种‘大西洋’为‘冀张薯12号’的母本,可是,

表3 部分供试马铃薯品种的遗传距离
Table 3 Genetic distance of some potato varieties

品种 Variety	农天1号 Nongtian 1	陇薯8号 Longshu 8	天薯12号 Tianshu 12	陇薯7号 Longshu 7	天薯9号 Tianshu 9	天薯11号 Tianshu 11	天薯10号 Tianshu 10
农天1号 Nongtian 1	0.000 0						
陇薯8号 Longshu 8	0.503 1	0.000 0					
天薯12号 Tianshu 12	0.523 4	0.306 7	0.000 0				
陇薯7号 Longshu 7	0.409 9	0.252 0	0.270 2	0.000 0			
天薯9号 Tianshu 9	0.695 5	0.428 1	0.395 8	0.497 9	0.000 0		
天薯11号 Tianshu 11	0.531 1	0.374 9	0.432 8	0.321 9	0.439 7	0.000 0	
天薯10号 Tianshu 10	0.696 9	0.613 8	0.683 3	0.627 5	0.447 5	0.635 4	0.000 0
青薯10号 Qingshu 10	0.522 6	0.443 2	0.454 4	0.467 6	0.339 4	0.414 8	0.626 9
甘谷红 Ganguhong	0.576 8	0.405 4	0.354 5	0.331 3	0.443 3	0.334 7	0.709 3
甘谷紫 Ganguzi	0.494 4	0.509 2	0.454 4	0.513 0	0.552 0	0.454 8	0.663 3
五龙洋芋 Wulongyangyu	0.520 3	0.553 4	0.549 3	0.652 1	0.369 5	0.579 3	0.506 9
陇薯10号 Longshu 10	0.624 3	0.347 3	0.278 6	0.291 8	0.382 3	0.438 3	0.568 0
秦州红 Qinzhouhong	0.489 2	0.340 6	0.342 9	0.304 7	0.382 5	0.297 1	0.500 4
青薯6号 Qingshu 6	0.483 3	0.385 0	0.352 7	0.385 3	0.361 2	0.364 2	0.669 8
克新6号 Kexin 6	0.535 3	0.327 8	0.295 5	0.308 7	0.477 8	0.398 5	0.652 8
米拉 Mira	0.619 6	0.408 9	0.376 7	0.369 6	0.533 4	0.365 1	0.788 5
早大白 Zaodabai	0.601 5	0.322 9	0.342 8	0.303 8	0.384 6	0.342 9	0.510 9
大西洋 Atlantic	0.589 3	0.293 9	0.312 9	0.291 6	0.434 3	0.347 2	0.588 3
中薯8号 Zhongshu 8	0.597 7	0.398 6	0.264 6	0.310 5	0.428 3	0.302 9	0.563 4
苏兰1号 Sulan 1	0.612 2	0.422 2	0.432 4	0.424 1	0.476 0	0.414 8	0.740 3
希森6号 Xisen 6	0.634 1	0.326 3	0.411 8	0.404 3	0.547 9	0.497 4	0.648 8
希森5号 Xisen 5	0.668 6	0.360 8	0.366 2	0.236 3	0.508 3	0.360 0	0.757 4
陇薯6号 Longshu 6	0.628 8	0.449 6	0.395 8	0.387 9	0.536 8	0.481 4	0.648 1
红玫瑰 Red Rose	0.712 8	0.385 8	0.477 2	0.414 3	0.711 0	0.589 4	0.922 4
丽薯6号 Lishu 6	0.611 3	0.430 8	0.417 9	0.319 9	0.494 0	0.357 8	0.646 6
延薯4号 Yanshu 4	0.700 4	0.457 9	0.425 7	0.379 4	0.608 4	0.491 0	0.719 7
鄂薯11号 Eshu 11	0.509 3	0.476 2	0.367 0	0.398 8	0.500 2	0.381 1	0.721 8
肯德 Kondor	0.537 3	0.328 9	0.315 0	0.291 8	0.543 5	0.382 2	0.824 0
青薯7号 Qingshu 7	0.565 2	0.340 6	0.308 4	0.271 9	0.485 7	0.312 6	0.682 8
云薯605 Yunshu 605	0.634 0	0.350 4	0.336 1	0.386 3	0.534 2	0.318 2	0.745 7
虎头 Hutou	0.707 0	0.386 1	0.372 9	0.445 4	0.514 9	0.420 7	0.556 4
中薯18号 Zhongshu 18	0.574 1	0.306 1	0.342 8	0.320 9	0.425 4	0.393 3	0.632 2
延薯9号 Yanshu 9	0.624 3	0.529 6	0.392 0	0.445 9	0.648 9	0.477 5	0.783 1

在本研究中, ‘郑薯7号’与其母本早熟品种‘费乌瑞它’、‘冀张薯12号’与‘大西洋’却相聚较远, 这可能是杂交后代中群体分离比较大, 使其与亲本间发生了较大的遗传差异。

马铃薯在中国属于外来作物, 因此, 马铃薯种质资源十分有限, 本研究通过对甘肃省主要育成马铃薯品种和引进品种的遗传多样性进行分析, 发现部分引进主食用马铃薯品种与甘肃省育成品种遗传差异较大, 是较好的亲本资源, 应加大其今后在马铃薯育种中的应用。

[参 考 文 献]

- [1] Machida-Hirano R. Diversity of potato genetic resources [J]. *Breeding Science*, 2015, 65(1): 26-40.
- [2] 段绍光, 金黎平, 谢开云, 等. 分子标记及其在马铃薯遗传育种中的应用 [J]. *种子*, 2003(5): 100-103.
- [3] Kawchuk L M, Lynch D R, Thomas J, *et al.* Characterization of *Solanum tuberosum* simple sequence repeats and application to potato cultivar identification [J]. *American Potato Journal*, 1996, 73(8): 325-335.
- [4] Coombs J J, Frank L M, Douches D S. An applied fingerprinting system for cultivated potato using simple sequence repeats [J]. *American Journal of Potato Research*, 2004, 81(4): 243-250.
- [5] Norero N, Malleville J, Huarte M, *et al.* Cost efficient potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivar identification by micro-satellite amplification [J]. *Potato Research*, 2002, 45: 131-138.
- [6] Ghislain M, Spooner D M, Rodriguez F, *et al.* Selection of highly informative and user-friendly microsatellites (SSRs) for genotyping of cultivated potato [J]. *Theoretical and Applied Genetics*, 2004, 108(5): 881-890.
- [7] Gavrilenko T, Antonova O, Shuvalova A, *et al.* Genetic diversity and origin of cultivated potatoes based on plastid microsatellite polymorphism [J]. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 2013, 60(7): 1997-2015.
- [8] 邸宏, 金黎平, 陈伊里. 马铃薯新型栽培种资源遗传多样性的 RAPD 分析 [J]. *园艺学报*, 2004, 31(3): 384-386.
- [9] 刘福翠, 谭学林, 郭华春. 云南省马铃薯品种资源的 RAPD 分析 [J]. *西南农业学报*, 2004(2): 200-204.
- [10] 孙伟. 马铃薯种质资源遗传多样性研究 [D]. 长沙: 湖南农业大学, 2006.
- [11] 邸宏, 刘昭军, 陈伊里. 抗 PVY 马铃薯品种遗传多样性的 RAPD 分析 [J]. *分子植物育种*, 2006, 4(2): 238-242.
- [12] 杨志平. 马铃薯 (*S. tuberosum* L.) 种质资源的遗传多样性研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2006.
- [13] 李凤云, 盛万民, 刘昭军, 等. 马铃薯品种遗传多样性的 AFLP 分析 [J]. *中国农学通报*, 2007, 23(8): 58-61.
- [14] 徐敏. 马铃薯审定品种系谱分析及遗传多样性研究 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2007.
- [15] Wang F, Li F, Wang J. Genetic diversity of Chinese and CIP Potato (*Solanum tuberosum* L.) germplasm assessed by amplified fragment length polymorphism (AFLP) markers [J]. *Potato Research*, 2013, 56(3): 167-178.
- [16] Gawel N J, Jarret R L. A modified CTAB DNA extraction procedure for Musa and Ipomoea [J]. *Plant Molecular Biology Reporter*, 1991, 9(3): 262-266.
- [17] Feingold S, Lloyd J, Norero N, *et al.* Mapping and characterization of new EST-derived microsatellites for potato (*Solanum tuberosum* L.) [J]. *Theoretical and Applied Genetics*, 2005, 111: 456-466.
- [18] Milbourne D, Meyer R C, Collins A J, *et al.* Isolation, characterisation and mapping of simple sequence repeat loci in potato [J]. *Molecular Genetics and Genomics*, 1998, 259: 233-245.
- [19] 时启冬, 石瑛, 李欣. 东北地区部分马铃薯品种遗传多样性的 SSR 分析 [J]. *中国农学通报*, 2014, 30(21): 240-245.
- [20] 段艳凤, 刘杰, 卞春松, 等. 中国 88 个马铃薯审定品种 SSR 指纹图谱构建与遗传多样性分析 [J]. *作物学报*, 2009, 35(8): 1451-1457.