

肉质色不同萝卜遗传多样性的 SSR 分子标记分析

方平¹, 陈发波¹, 姚启伦¹, 吕发生²

(¹长江师范学院生命科学与技术学院, 涪陵 408100; ²涪陵区农业科学研究所, 涪陵 408100)

摘要:利用微卫星(SSR)标记技术,从600对SSR引物中筛选86对扩增条带清晰的引物,检测了来自我国不同地区37个肉质不同颜色萝卜品种的遗传多样性。86对引物共扩增到976个条带,每对引物扩增出2~17个条带,平均为10.7个,其中多态性条带892个,多态性条带比例为91.39%;共检测出753个基因型,每对引物检测2~20个基因型,平均8.7个,其中有效基因型443.99,有效基因型比例为58.96%;Shannon多态性指数变幅为0.44~2.77,平均1.76。当相似系数为0.81时,可将供试萝卜分成3类,第I类包括6份白色肉质萝卜,第II类包括3份红色肉质萝卜和6份白色肉质萝卜,第III类包括22份红色肉质萝卜。各红色肉质萝卜品种间的遗传相似系数有97%大于0.80,而各白色肉质萝卜品种间的遗传相似系数有91%大于0.80。红色肉质萝卜遗传多样性略低于白色肉质萝卜,红色肉质萝卜与白色肉质萝卜间平均相似系数为0.83,说明不同肉色的萝卜间亲缘关系较密切,在分类上红色肉质萝卜可能是白色萝卜的一个变种。

关键词:萝卜;红色肉质;白色肉质;SSR标记;遗传多样性

Genetic Diversity of Radish(*Raphanus sativus* L.) with Different Fleshy Colors Based on SSR Data

FANG Ping¹, CHEN Fa-bo¹, YAO Qi-lun¹, LV Fa-sheng²

(¹ Department of Life Sciences, Yangtze Normal University, Fuling 408100;

² Research Institute for Agricultural Sciences of Fuling Region, Fuling 408100)

Abstract: Genetic diversity of 37 radishes(*Raphanus sativus* L.) with different fleshy colors collected from different areas of China was investigated using 86 SSR primers with distinct amplified bands. 86 SSR primers from 600 pairs of SSR primers in *Brassica* produced stable amplified bands and 976 bands were detected among the 37 accessions with 892 polymorphic bands, accounting for 91.39%. The mean number of alleles was 8.7 with a range from 2 to 20. The effective allelic number was 443.99 and accounted for 58.96%. Shannon's index varied from 0.44 to 2.77 with an average of 1.76. On the basis of the genetic similarity coefficients, clustering analysis separated the 37 accessions into three groups. The cluster analysis showed that the accessions could be classified into three clusters when the genetic similarity was 0.81. Cluster I included six accessions of which are the white fleshy radishes, cluster II consisted of three red fleshy radishes and six white fleshy radishes, and cluster III composed by 22 accessions of which are the radishes with red fleshy. Genetic similarity coefficients of over 0.80 in the red and white fleshy radishes were 97 and 91%, respectively. The results indicated that there was somewhat higher variation in the red than in the white fleshy radishes. The genetic similarity coefficient between the red and white fleshy radishes was 0.83, indicating genetically close relationship in radishes with different fleshy colors. In addition, it was deduced that the former may be a variant of the latter.

Key words: Radish; Red fresh; White fresh; SSRs; Genetic diversity

萝卜在中国是栽培历史悠久的大众化蔬菜,已有2700年以上的历史。目前中国萝卜种植面积为

收稿日期:2011-05-07 修回日期:2011-08-17

基金项目:重庆市自然科学基金重点项目(CQ CSTC 2009BA1031);教育部科学技术重点项目(KJ091316);重庆市教委科研项目(KJ091308)

作者简介:方平,本科,副教授,主要从事榨菜及萝卜研究

通讯作者:陈发波,博士,农艺师

120 万 hm^2 左右,居国内蔬菜种植面积第 3 位^[1]。萝卜在世界范围广泛栽培,而中国是世界上萝卜品种最多的国家,在长期的历史演化中形成了丰富多样的植物学性状,如不同的肉质根大小、肉质根形状、肉质根颜色、叶型和叶色等。中国萝卜肉质根皮色主要有白、红、绿三种,肉色主要有两种,即红色与白色^[2-4]。生产上作为蔬菜栽培的萝卜一般为白皮白肉的白萝卜(图 1-A),也是起源较早、分布最广和栽培面积最大的萝卜类型,肉质根一般不含花青素;红皮白肉萝卜(图 1-B)在中国南方栽培较多,产量较高,但皮所含萝卜红色素很少;绿皮红肉的心里美类萝卜(图 1-C)根皮不含萝卜红色素,肉质部分萝卜红色素含量较低,主要在中国北方栽培;而心皮全红的萝卜(图 1-D)以涪陵红心萝卜最为独特,因其富含天然色素——萝卜红而备受关注。据

历史记载,涪陵红心萝卜只有 100 多年的栽培历史,主产重庆市涪陵区,邻近市县及四川、贵州和云南等省也有零星栽培^[2]。近年来,科研工作者对白色肉质萝卜资源进行了广泛的研究与利用^[5-8],但由于红色肉质根萝卜种质资源的分布区域性较强,故对其的研究报道相对较少,且多为萝卜红色素提取及萝卜红色素性质方面的研究^[9],仅吕发生等^[10]、Wang 等^[11]、任雪松等^[12]、张丽^[13]对红色肉质根萝卜一些性状的遗传做过初步的研究,从而制约了红色肉质萝卜资源的开发与利用。为此,本文以 37 份肉质根肉色不同萝卜为材料,旨在通过 SSR 分子标记分析,探讨供试材料的遗传多样性和遗传进化问题,以期为红色肉质萝卜种质资源保护与利用提供一定理论依据。

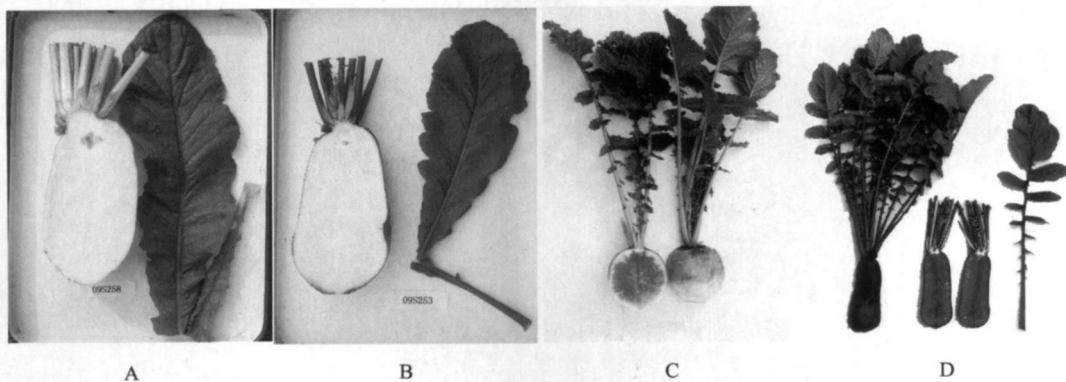


图 1 四种不同颜色肉质萝卜

Fig. 1 Four radish with different fleshy colors

A: 白皮白心萝卜; B: 红皮白心萝卜; C: 绿皮红心萝卜; D: 红皮红心萝卜

A: white radish with white fleshy, B: red radish with white fleshy, C: green radish with red fleshy, D: red radish with red fleshy

1 材料与方法

1.1 供试材料

以在重庆、云南、四川、河南等地收集的 24 份红皮红肉萝卜、1 份绿皮红肉萝卜、4 份红皮白肉萝卜和 8 份白皮白肉萝卜品种共 37 份萝卜为供试材料,材料来源及品种主要特性见表 1。

1.2 SSR 分析

1.2.1 DNA 提取 于花期每份材料选 10 株典型植株取上部新鲜叶片,每个植株叶片取 2g 混合后,采用 2 × CTAB 法提取并纯化基因组 DNA。

1.2.2 SSR 扩增 采用 15 μl PCR 反应体系,包括 1 × buffer, 2.5 $\mu\text{mol/L}$ MgCl_2 、150 $\mu\text{mol/L}$ DNTP、0.2 $\mu\text{mol/L}$ 引物、1U Tag 酶,100 ng DNA 模板。将反应液在振荡器混匀后,加入 18 μl 矿物油覆盖。反

应程序: 95 $^{\circ}\text{C}$ 预变性 5min, 1 个循环; 95 $^{\circ}\text{C}$ 预变性 40s, 65 $^{\circ}\text{C}$ 退火 30s, 72 $^{\circ}\text{C}$ 延伸 1min, 共 11 个循环; 95 $^{\circ}\text{C}$ 预变性 40s, 52 $^{\circ}\text{C}$ 退火 40s, 72 $^{\circ}\text{C}$ 延伸 1min, 共 30 个循环, 72 $^{\circ}\text{C}$ 再延伸 1min; 4 $^{\circ}\text{C}$ 保存 5min。PCR 扩增产物用 6% 变性聚丙烯酰胺, 75W、50 $^{\circ}\text{C}$ 电泳 1h 后银染。

1.3 统计分析

根据筛选出的具有多态性的引物扩增结果,将表现出多态性的扩增谱带数量化,在相同迁移位置上,有带记为 1,无带记为 0,缺失记为 9,建立数据库。用 NTSYSpc2.1 软件计算 GS,利用 GS 按 UPGMA 方法进行聚类分析, $GS = 2N_{ij} / (N_i + N_j)$, N_{ij} 是材料 i 和 j 之间共同的等位基因, $(N_i + N_j)$ 是两个材料所有的等位基因数^[14]。用 POPGENE 3.2 软件统计基因型数、有效基因、基因型频率及 Shannon 多态性指数。

表 1 材料来源及主要特征性状

Table 1 Resource and morphological characteristics of the accessions

编号 Code	名称 Name	来源 Resource	主要特征性状 Morphological characteristics			
			叶色 Color of leaf	叶形 Shape of leaf	肉质根皮色 Color of skin	肉质根肉色 Color of fleshy
1	罗云胭脂红	重庆涪陵地方品种	深绿	板	红色	红色
2	礁石胭脂红	重庆涪陵地方品种	绿	花	红色	红色
3	胭脂红 1 号	重庆涪陵地方品种	绿	花、板	红色	红色
4	涪陵红心 3 号	重庆市涪陵区农科所选育常规种	绿	板	红色	红色
5	百胜红心	重庆涪陵地方品种	绿	花	红色	红色
6	堡子胭脂红	重庆涪陵地方品种	绿	板	红色	红色
7	通海红心萝卜	云南通海常规种	绿	板	红色	红色
8	08A11	重庆市涪陵区农科所选育杂交种	绿	板	红色	红色
9	李渡胭脂红 1 号	重庆涪陵地方品种	绿	花	红色	红色
10	胭脂红 2 号	重庆涪陵地方品种“罗云胭脂红”选系	绿	花	红色	红色
11	胭脂红 3 号	重庆涪陵地方品种	深绿	花	红色	红色
12	焦岩胭脂萝卜 1 号	重庆涪陵地方品种	绿	花	红色	红色
13	焦岩胭脂萝卜 2 号	重庆涪陵地方品种	淡绿	花	红色	红色
14	惠民胭脂萝卜	重庆涪陵地方品种	深绿	板	红色	红色
15	08A04	重庆市涪陵区农科所选育杂交种	绿	板	红色	红色
16	涪陵胭脂红萝卜	中国农科院蔬菜花卉所	绿	板	红色	红色
17	李渡胭脂红 2 号	重庆涪陵地方品种	绿	花	红色	红色
18	铜锣胭脂红萝卜	重庆涪陵地方品种	绿	花、板	红色	红色
19	新妙萝卜	重庆涪陵地方品种	红	花	红色	红色
20	08A52	重庆涪陵地方品种	绿	花	红色	红色
21	涪陵红心 1 号	重庆涪陵常规种	绿	花	红色	红色
22	08WS12	重庆市涪陵区农科所选育杂交种	绿	板	红色	红色
23	08S103	重庆市涪陵区农科所选育杂交种	绿	花	红色	红色
24	涪陵红心 2 号	重庆市涪陵区农科所选育常规种	淡绿	花	红色	红色
25	北京心里美	北京地方品种	深绿	花	紫色	红色
26	精品红优萝卜	绵阳市涪城区正兴种业经营部	绿	板	红色	白色
27	成都满身红萝卜	成都市新农业武侯种苗研究所	绿	板	红色	白色
28	民权红	河南省民权县民权种业有限公司	绿	花	红色	白色
29	蜀信川红一号	四川蜀信种业有限公司	绿	板	红色	白色
30	特大砂罐萝卜	成都合手区园艺种业经营部	淡绿	板	白色	白色
31	正兴热萝卜	绵阳市正兴种业	深绿	板	白色	白色
32	改良春不老萝卜	绵阳市正兴种业	淡绿	板	白色	白色
33	太空耐热萝卜	苏州市蔬菜种子子公司	深绿	板	白色	白色
34	太空 1 号萝卜	苏州市蔬菜种子子公司	深绿	板	白色	白色
35	德日 3 号	河南省民权县民权种业有限公司	深绿	花	白色	白色
36	玉田早	河北省玉田县地方品种	深绿	花	白色	白色
37	秦菜一号	西北农业大学选育	深绿	花	白色	白色

2 结果与分析

2.1 扩增条带及相似系数

根据芸薹作物网 (<http://www.brassica.info>) 公布的十字花科共同引物合成了 600 对引物,并从

600 对引物中筛选出 86 对扩增条带清晰、具明显多态性的共同引物。从扩增结果(表 2)看,86 对引物共扩增出 976 个条带,每对引物扩增到 2~17 个条带,平均 10.7 个,其中多态性条带 892 个,多态性条带比例为 91.39%;86 对引物共检测到 753 个基因

型, 每对引物检测到 2 ~ 20 个基因型, 平均 8.7 个, 其中有效基因型 443.99 个, 有效基因型比例为 58.96%。统计分析表明, Shannon 多态性指数变幅

为 0.44 ~ 2.77, 平均 1.76; 各材料间的遗传相似系数变幅为 0.75 ~ 0.90, 平均 0.84, 遗传相似系数有 95.0% 大于 0.80。

表 2 引物名称及扩增结果

Table 2 The name and amplified results for each SSR primer detected in 37 accessions

编号 Code	引物名称 Primer name	扩增条带数 Amplified bands	基因型 Genotypes	有效基因 Effect genes	Shannon 指数 Shannon's index
1	sORA43	11	14	6.37	2.24
2	sORA26	11	8	3.53	1.63
3	sORA21b	11	4	2.15	1.02
4	SSRO110-C10	6	5	3.21	1.34
5	SSR O110-D01	9	4	2.77	1.17
6	SSR O113-E08	10	12	7.65	2.22
7	SSR O111-D12	15	16	9.57	2.49
8	SSR Ra2-G05	11	13	7.73	2.26
9	SSR Ra2-G03	10	8	4.26	1.71
10	SSR Ra2-G02	10	4	2.44	1.36
11	SSR Ni2-F11	5	8	4.43	1.72
12	SSR Ni2-F07	11	9	4.01	1.73
13	SSR Ra2-G04	10	16	11.50	2.59
14	SSR Ra2-F11	9	5	4.08	1.50
15	SSR Ni4-G09B	10	12	8.10	2.56
16	SSR O113-G05	13	9	5.45	1.89
17	SSR Ra1-H02	5	7	3.08	1.40
18	SSR O110-B07	10	12	5.78	2.07
19	SSR O110-B02	13	11	8.32	2.28
20	BRMS-008	14	13	4.43	1.99
21	SSR Ni4-D08	13	11	3.99	1.80
22	SSR O110-D08	13	11	8.72	2.29
23	SSR O110-D11	12	10	6.43	2.07
24	SSR Ni2-A01	9	11	7.48	2.17
25	SSR Na12-A07	15	9	5.87	1.94
26	SSR Ni4-C02	13	10	6.14	2.02
27	SSR Ni4-C09	12	10	3.28	1.66
28	SSR Ni3-F01	11	7	5.25	1.77
29	SSR Ni3-F02	11	4	1.25	0.45
30	SSR Ni3-G07	5	8	4.16	1.69
31	SSR Ni4-A06	8	12	7.32	2.19
32	SSR Ni2-C01	9	10	6.08	2.00
33	SSR Ni2-D06	9	5	3.36	1.36
34	SSR Ni2-F04	7	10	5.45	1.92
35	SSR Ni2-D08	12	7	3.57	1.51
36	SSR Na10-B07	12	5	1.93	1.00
37	SSR Ni3-D04	8	9	3.19	1.58
38	SSR Ni3-D09	8	5	2.97	1.31
39	SSR Ni3-C08	11	6	3.57	1.46
40	SSR Na10-A09	9	7	5.05	1.76
41	SSR Na10-C01	9	8	2.58	1.39

续表

编号 Code	引物名称 Primer name	扩增条带数 Amplified bands	基因型 Genotypes	有效基因 Effect genes	Shannon 指数 Shannon's index
42	SSR Ra2-C07	9	9	6.25	2.01
43	SSR Ra2-C03	11	11	8.95	2.27
44	SSR Ra2-A05	10	7	5.54	1.80
45	SSR Ra2-A04	12	7	5.41	1.76
46	SSR Ni4-D10	14	11	6.74	2.12
47	SSR Ni4-G04	15	20	12.56	2.77
48	SSR Ni2-G06	13	10	7.17	2.09
49	SSR Ni2-F12	13	7	3.31	1.44
50	SSR OI10-F08	9	9	4.64	1.77
51	SSR OI10-G06	18	9	2.57	1.41
52	SSR Ni4-A09	14	11	7.73	2.18
53	SSR Ni4-A07	13	9	3.73	1.64
54	SSR Ra2-D09	7	5	3.52	1.41
55	SSR Ra2-E03	16	11	8.40	2.23
56	SSR OI11-C10	11	16	12.33	2.63
57	SSR OI11-C02	11	8	4.52	1.71
58	SSR OI10-D09	2	2	1.73	0.44
59	SSR OI10-A05	11	14	9.71	2.43
60	SSR Na10-C08	13	10	3.54	1.69
61	SSR Na10-C03	12	6	3.15	1.37
62	SSR Ni4-A02	16	7	3.95	1.63
63	SSR Ni2-G08	11	6	4.03	1.55
64	SSR Ni2-F02	11	6	2.93	1.30
65	BN12A	15	7	4.23	1.68
66	BRMS-024	16	11	6.81	2.13
67	FITO 066	18	11	7.73	2.18
68	BRMS-025	14	6	3.92	1.54
69	BRMS-026	15	13	8.95	2.34
70	SSR Ra2-H10	18	7	5.68	1.82
71	SSR Ra3-H10	16	7	5.25	1.77
72	BN9A	18	7	3.75	1.57
73	SSR Ni4-D12	12	4	1.64	0.72
74	SSR OI10-H12	11	9	6.08	1.95
75	FITO 099	9	7	3.28	1.42
76	FITO 035	13	6	4.58	1.65
77	SSR Ni4-F09	8	10	6.95	2.08
78	SSR Ni4-F02	13	8	5.05	1.83
79	SSR Ra2-C01	18	6	4.80	1.66
80	SSR Ni4-E08	10	5	2.58	1.19
81	SSR Ra2-H06	12	7	1.95	1.11
82	FITO 156	8	7	4.40	1.65
83	SSR OI09-A06	8	9	6.08	1.98
84	SSR Ni2-F06	17	10	5.25	1.91
85	FITO 081	9	9	2.87	1.55
86	BRMS-020	6	8	3.25	1.50
总计 Total		976	750	443.99	
平均 Mean		11.34	8.7	5.1627	1.76

以上结果表明,参试萝卜材料间相似程度较高,遗传差异较小,且红皮红心萝卜与绿皮红心萝卜之间以及红皮白心萝卜和白皮白心萝卜之间遗传相似程度相对更高,因此可以将供试材料初步划分为红色肉质萝卜和白色肉质萝卜。

2.2 红色肉质萝卜遗传多样性

25 份红色肉质萝卜扩增出 924 个条带,每对引物扩增到 2~16 个条带,平均 10.2 个,其中多态性条带 787 个,多态性条带比例为 85.17%;86 对引物共检测到 648 个基因型,每对引物检测到 2~15 个基因型,平均 4.87 个,其中有效基因型 419,有效基因型比例为 64.66%。统计分析表明,Shannon 多态性指数变幅为 0.44~2.49,平均 1.68;红色肉质萝卜间的遗传相似系数变幅为 0.77~0.90,平均 0.85,各材料间的遗传相似系数有 97% 大于 0.80。

2.3 白色肉质萝卜遗传多样性

12 份白色肉质萝卜扩增出 818 个条带,每对引物扩增到 2~16 个条带,平均为 9.0 个,其中多态性条带 587 个,多态性条带比例为 71.76%;86 对引物共检测到 482 个基因型,每对引物检测到 2~11 个基因型,平均 5.6 个,其中有效基因型 362,有效基因型比例为 75.10%。统计分析表明,Shannon 多态

性指数变幅为 0.29~2.37,平均 1.46;白色肉质萝卜间的遗传相似系数变幅为 0.75~0.89,平均 0.83,各材料间的遗传相似系数有 91% 大于 0.80。

2.4 红色肉质萝卜与白色肉质萝卜的遗传多样性比较

分析表明,红色肉质萝卜遗传多样性略低于白色肉质萝卜,但差异较小,红色肉质萝卜与白色肉质萝卜间平均相似系数为 0.83,说明不同肉色的萝卜间亲缘关系较密切。

2.5 聚类分析

聚类结果(图 2)表明,当相似系数为 0.81 时,可将供试萝卜分成 3 类。第 I 类包括 26、27、28、30、31 和 32 共 6 份萝卜材料,占参试材料的 16.21%,且均为白色肉质萝卜,其中红皮白心萝卜 3 份,白皮白心萝卜 3 份;第 II 类包括 4、11、23、29、33、34、35、36 和 37 共 9 份萝卜材料,占参试材料的 24.32%,其中红皮红心萝卜 3 份,红皮白心萝卜 1 份,白皮白心萝卜 5 份;第 III 类包括 1、2、3、5、6、7、8、9、10、12、13、14、15、16、17、18、19、20、21、22、24、和 25 共 22 份萝卜材料,占参试材料的 59.46%。且均为红色肉质萝卜,其中绿皮红心萝卜 1 份,红皮红心萝卜 21 份。

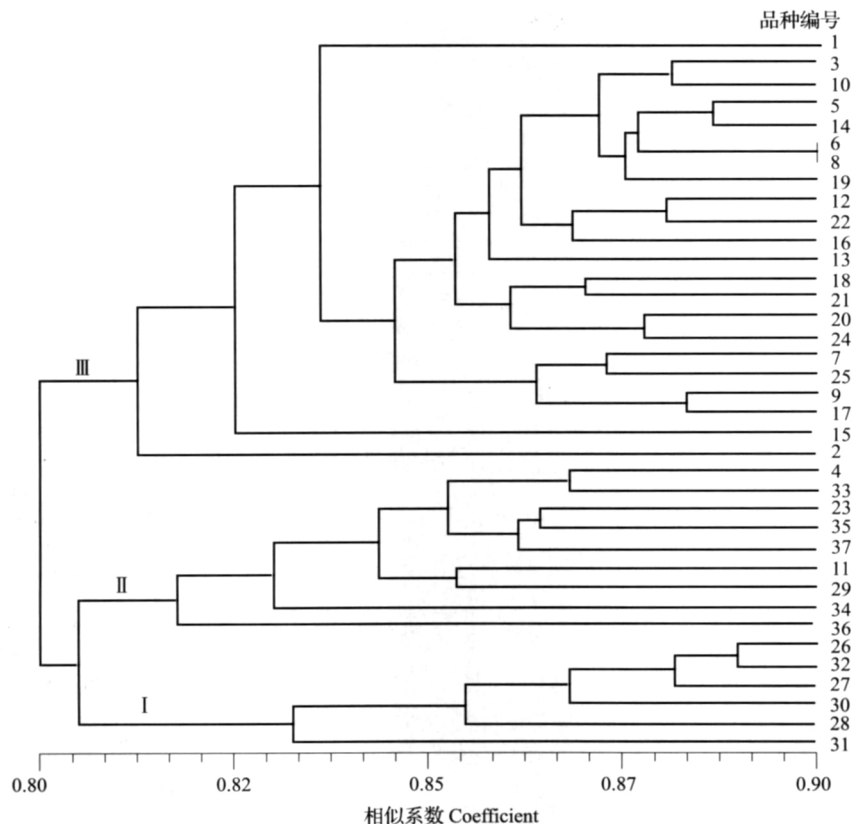


图 2 基于 SSR 的遗传相似数的聚类图

Fig. 2 Dendrogram of 37 accessions constructed from SSR marker-based genetic similarity

从聚类分析结果可见,多数来源地相同的种质表现出较为密切的亲缘关系,如来自于四川绵阳市正兴种业的红皮白心萝卜和白皮白心萝卜都在第 I 类。分类结果与萝卜皮的颜色相关较小,第 I 类和第 II 类都包括红皮和白皮的萝卜,第 III 类有红皮和绿皮两种萝卜。而分类结果与萝卜肉质颜色较密切,第 I 类全为白色肉质萝卜,第 II 类主要为白色肉质萝卜,第 III 类全为红色肉质萝卜。

3 讨论

本研究 SSR 分子标记说明供试材料间相似程度较高,遗传差异较小,不同颜色萝卜间遗传关系较密切,这与孔秋生等^[15-16]对 56 份来源于不同国家和地区的栽培萝卜种质进行 RAPD 和 AFLP 分析结果相一致。李鸿渐等^[17]根据萝卜春化试验,把栽培萝卜分成 4 个系统 10 个亚系 23 个品种群,各种群间遗传差异较大。Rabbanil 等^[18]对巴基斯坦的 30 个萝卜品种进行分类研究,结果表明巴基斯坦的萝卜品种在根与叶的形态以及生理特性上存在最大的差异。Wang 等^[19]用 221 个 AFLP 引物对 65 个欧洲和亚洲的萝卜品种进行分析,结果表明,供试材料可以分成 4 类,各类群间遗传差异较大。本研究利用 SSR 标记可将供试材料分为 3 类,且类群间遗传差异较小,这可能与取材的范围有关,其中红色肉质萝卜主要是重庆市涪陵区农科所选育的材料和杂交种,其间难免有血缘的交叉,其他材料是否存在同种异名的问题,也值得进一步探讨。这一问题在今后萝卜种质资源,尤其是红皮红色肉质萝卜资源的收集保存中值得引起育种者的高度重视。

萝卜根皮色是萝卜分类中的重要性状。Pradhan 等^[20]利用 10 对引物对 7 个萝卜品种进行 RAPD 分析,发现不同基因型之间 RAPD 标记存在差异,并且这种差异与表型特征相关,萝卜按照表型进行分类比按照地理起源进行分类更为可靠。孔秋生等^[16]利用筛选出的 8 对引物对 56 份来源于不同国家和地区的栽培萝卜种质的亲缘关系进行了 AFLP 分析,结果表明,基于分子标记的分类与种质的表型基本吻合。Zhu 等^[21]利用 RAPD、AFLP 与 SRAP 三种分子标记对 17 个国内外萝卜品种进行种质鉴定与遗传多样性分析表明, RAPD 与 SRAP 分析聚类结果与基于形态学的分类基本一致,采用不同的分子标记揭示的遗传距离存在一定程度差异,多种分子标记综合分析萝卜品种之间的遗传关系更加准确、可靠。而本研究中,所用 SSR 分子标记虽能在不同萝卜间扩展出较多的条带,检测到不同萝卜间的遗传差异,但不能完全把不同

皮色和肉色的萝卜区分开来,这可能与分子标记和引物的特异性有关。因此,在继后的研究中,除注意适合分子标记的选择外,还应同时加强引物特异性的筛选,这样才有可能取得更为准确可靠的分类结果。

参考文献

- [1] 汪隆植,何启伟. 中国萝卜 [M]. 北京: 科学技术文献出版社, 2005: 13-14
- [2] 连勇,张纪增. 我国主要萝卜地方品种的形态和类型 [J]. 中国蔬菜, 1991(6): 27-29
- [3] 陈惠明,周长久. 萝卜酯酶同工酶与品种亲缘关系的研究 [J]. 湖南农业大学学报, 1999 25(3): 191-193
- [4] Zhao L P, Liu L W, Gong Y Q, et al. Cultivar fingerprinting in radish (*Raphanus sativus*) with SRAP and AFLP marker [J]. Bulle Bota Res 2007 27(6): 687-714
- [5] 吕发生,谭革新,勾治琴,等. 红心萝卜种资源的现状与对策 [J]. 中国种业, 2002(11): 43
- [6] Yamane K, Na L, Ohnishi O. Chloroplast DNA variations of cultivated radish and its wild relatives [J]. Plant Sci 2005 168: 627-634
- [7] Madhou P, Wells A, Pang E C K, et al. Genetic variation in populations of Western Australian wild radish [J]. Austr J Agric Res, 2005 56(10): 1079-1087
- [8] Yamane K, Lu N, Ohnishi O. Multiple origins and high genetic diversity of cultivated radish inferred from polymorphism in chloroplast simple sequence repeats [J]. Japane Soci Breed 2009 59(1): 55-65
- [9] 吕发生,谭革新,罗永统,等. 红心萝卜色素分布规律初步研究 [J]. 西南农业学报, 2006 19(2): 276-279
- [10] 吕发生,谭革新,胡代文,等. 十个涪陵红心萝卜种群的观察比较 [J]. 长江蔬菜, 2002(9): 40
- [11] Wang N, Kitamoto N, Ohsawa R, et al. Genetic diversity of radish (*Raphanus sativus*) germplasms and relationships among worldwide accessions analyzed with AFLP markers [J]. Breed Sci, 2008 58(2): 107-112
- [12] 任雪松,李成琼,宋洪元,等. 胭脂萝卜种子纯度的 RAPD 检测研究 [J]. 西南农业大学学报: 自然科学版, 2005 27(6): 837-840
- [13] 张丽. 萝卜几个主要植物学性状的遗传 [J]. 中国蔬菜, 2006(10): 10-12
- [14] Smith J S C, Chin E C L, Shu H, et al. An evaluation of the utility of SSR loci as molecular makers in maize (*Zeamays L.*): Comparisons with data from RFLPs and pedigree [J]. Theor Appl Genet, 1997 95: 163-173
- [15] 孔秋生,李锡香,向长萍. 萝卜种质资源亲缘关系的 RAPD 分析 [J]. 植物遗传资源学报, 2004 5(2): 156-160
- [16] 孔秋生,李锡香,向长萍,等. 栽培萝卜种质亲缘关系的 AFLP 分析 [J]. 中国农业科学, 2005 38(5): 1017-1023
- [17] 李鸿渐,汪隆植,张谷雄. 以春化特性为基础的萝卜品种分类的探讨 [J]. 南京农学院学报, 1983 3: 31-35.
- [18] Rabbanil M A, Murakami Y, Kuginuki Y, et al. Genetic variation in radish (*Raphanus sativus L.*) germplasm from Pakistan using morphological traits and RAPDs [J]. Genet Res Crop Evol, 1998, 45: 307-316
- [19] Wang N, Kitamoto N, Ohsawa R, et al. Genetic diversity of radish (*Raphanus sativus*) germplasms and relationships among worldwide accessions analyzed with AFLP markers [J]. Breed Sci, 2008 58(2): 107-112
- [20] Pradhan A, Yan G P, Lummer J A. Development of DNA fingerprinting keys for the Identification of Radish Cultivars [J]. Austr J Exp Agric 2004 44: 95-102
- [21] Zhu X W, Liu L W, Song X Y, et al. Analysis of genetic diversity of radish (*Raphanus sativus L.*) germplasm with RAPD, AFLP and SRAP markers [D]. IHC. Seoul, Korea, 2006