

# 叶用芥菜种质表型性状的遗传多样性分析

张加强, 骆霞虹, 陈常理, 朱关林, 金关荣

(浙江省萧山棉麻研究所, 杭州 311202)

**摘要:**为有效利用叶用芥菜种质资源,对筛选出的24份叶用芥菜品系资源的11个表型性状,应用相关系数、聚类分析和主成分分析等多元统计方法进行遗传多样性分析。结果表明:叶用芥菜种质资源具有丰富的遗传多样性;11个表型性状平均变异系数为44.74%,叶片数的变异系数最大,为150.80%;净菜率变异系数最小,仅为9.54%。通过系统聚类,将参试的24份品系分为3个类群,第Ⅰ类群有14份材料,第Ⅱ类群有5份材料,第Ⅲ类群有5份材料,各类群性状之间的差异较明显,明确了品系类群间存在的亲缘关系。在主成分分析中,可选取方差累计贡献率为86.62%的前5个主成分来评价24份叶用芥菜品系资源。本研究揭示了叶用芥菜不同品系的表型特异性和遗传多样性,筛选出一些特异品系资源,为高产优质叶用芥菜新品种(系)的选育提供重要的科学依据。

**关键词:**叶用芥菜;表型性状;多样性;聚类分析;主成分分析

## Diversity Analysis of Leaf Mustard Germplasms Based on Phenotypic Traits

ZHANG Jia-qiang, LUO Xia-hong, CHEN Chang-li, ZHU Guan-lin, JIN Guan-rong

(Cotton and Bast Fiber Crops Research Institute of Zhejiang Xiaoshan, Hangzhou 311202)

**Abstract:** To evaluate 30 leaf mustard germplasms, 11 phenotypic traits were investigated and measured. The data were analyzed by cluster analysis and principal component analysis to study the genetic diversity. The results showed that the average coefficient of variation of 11 phenotypic traits was 44.74%, leaf number was the largest and the coefficient of variation was 150.80%, and the smallest coefficient of variation of the percentage of net vegetable was 9.54%. 24 leaf mustard germplasms were divided into three categories through cluster analysis and there was a wide genetic distance between each categories. The 11 phenotypic traits were consolidated into 5 principal components which accounted for 86.62% of total cultivars. The results clearly defined the phenotypic specificity and genetic diversity of leaf mustard germplasms, which screened some specific leaf mustard resources to provide the basis for the higher yields and improved quality breeding.

**Key words:** leaf mustard; phenotypic traits; diversity; cluster analysis; principal component analysis

芥菜是十字花科芸薹属蔬菜,有叶用芥、茎用芥、根用芥、薹用芥等不同类型,叶用芥菜是一类以叶片为主要产品的芥菜,共有11个变种,是我国重要的鲜食和加工蔬菜<sup>[1]</sup>。目前,芥菜新品种(系)的选育仍以传统的杂交育种为主,因此杂交亲本的选配尤为重要<sup>[2-3]</sup>。研究分析作物种质资源的特性及

分类是合理利用叶用芥菜资源、选配亲本组合、提高育种效率的前提条件<sup>[4]</sup>。近年来,尽管各种分子标记技术,如RAPD<sup>[5-6]</sup>、AFLP<sup>[7-8]</sup>、SSR<sup>[9-10]</sup>、SRAP<sup>[10-11]</sup>、ISSR<sup>[12-14]</sup>、SCoT<sup>[15]</sup>被应用于芥菜种质资源的鉴定和分类研究,但由于应用形态性状进行资源分类具有经济、直观和简便快速等优点。因此,形态学标记的利

收稿日期:2014-05-06 修回日期:2014-05-23 网络出版日期:2015-04-10

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20150410.1624.016.html>

基金项目:杭州市萧山区科技计划项目农业科研项目(2012422)

第一作者主要从事麻类和蔬菜作物的遗传育种及分子生物学研究。E-mail: zhangqiang414@126.com

通信作者:金关荣,主要从事麻类和蔬菜等作物的育种、栽培及利用研究。E-mail: jingr0@163.com

用依然是种质资源研究的重要途径和方法,也是分类学研究的重要依据<sup>[16-18]</sup>。

由于叶用芥菜的表型(数量)性状的表现是遗传因素和环境因素综合作用的结果,叶用芥菜表型性状较多,且相互关系比较复杂,致使它们提供的相关信息出现重叠,很难得出简明的规律<sup>[10,19-21]</sup>。研究多个表型性状之间的关系及对受多个性状影响的群体进行分类时,日益广泛地使用主成分分析和聚类分析<sup>[4,22-23]</sup>。主成分分析(principal component analysis)是一种通过降维思想把多个相互关联的表型性状综合为少数几个主成分的多元统计分析法。能够较好地解释群体方差的主要来源,从而获得解释方差的重要性状并简化研究性状,以利于更好地研究群体。采用主成分分析既可以同时提取多个指标的大部分信息,又避免了人为选择评价因子的主观性。聚类分析(cluster analysis)是在对分类的数目和结构不做任何假定的情况下,将分类对象按照一定规则分成若干类群,划分在同一类群中的对象具有较高的相似性,结果稳定,可以真实反映品种的综合性状从而为育种取材提供客观依据。近些年,利用主成分分析和聚类分析对作物种质资源的表型性状进行评价分析在蓖麻、春小麦、大豆、萝卜、番茄、大蒜等许多作物中均有应用,并取得了良好的效果<sup>[24-27]</sup>。

关于对芥菜类蔬菜的植物学性状进行聚类分析的研究,前人已有少量报道。孟秋峰等<sup>[28]</sup>以宁波白叶天菜等 8 个品种的栽培芥菜为材料进行聚类分析,认为综合性状的聚类结果基本符合传统的分类方法。孟秋峰等<sup>[29]</sup>以芥菜的 17 个变种的植物学形态性状进行聚类,这些芥菜种质分为叶用芥菜、茎用芥菜、根用芥菜、薹用芥菜和籽用芥菜等 5 个类群。刘义华等<sup>[30]</sup>把 23 份茎瘤芥品种资源的 15 个表型性状集约在 5 个主因子上,23 份品种资源被分为 5 个类别。方平等<sup>[31]</sup>以 133 个茎瘤芥种质为材料进行表型聚类分析,当遗传距离为 0.21 时将供试材料分成 8 类。王炜勇等<sup>[32]</sup>对 34 份叶用芥菜地方品种资源 60 个表型性状进行聚类,在遗传相似系数 0.23 时,将其划分为 2 大类。尽管人们对芥菜类蔬菜的表型性状的遗传规律进行了较多的研究,但利用主成分分析和聚类分析对叶用芥菜种质资源表型性状的研究却较少。

本研究以 24 份叶用芥菜种质资源为研究材料,通过确定与产量相关的 11 个表型性状指标,进行了叶用芥菜种质资源表型性状的相关性、主成分分析

和聚类分析,旨在了解叶用芥菜种质资源的遗传多样性,为叶用芥菜资源的利用、改良和创新以及杂交组配中的亲本选配提供依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材 料

供试材料为 24 份叶用芥菜种质资源,各材料编号、名称及采集地见表 1。这些种质中有些是本地原有的地方品种,有些是引进后种植年份较长、经长期的自留种栽培而形成的一些类型。

表 1 供试叶用芥菜品系编号、名称与采集地

Table 1 Number, name and origin of leaf mustard cultivars

编号 No.	种质名称 Name	来源地 Origin	编号 No.	种质名称 Name	来源地 Origin
1	小叶大梗菜	宁波市	13	黄筒芥	宁波市
2	黄八仙	杭州市	14	大梗菜	宁波市
3	鄞雪 18	宁波市	15	新黄花芥菜	台州市
4	细叶芥菜	宁波市	16	黄八仙芥菜	杭州市
5	细叶湾头芥	宁波市	17	雪里蕻	宁波市
6	大叶芥菜	杭州市	18	早花芥菜	宁波市
7	黄花芥菜	杭州市	19	改良芥菜	柳州市
8	小叶芥菜	台州市	20	黄芥菜	杭州市
9	精选芥菜	南宁市	21	圆叶大芥菜	重庆市
10	粗梗花芥菜	台州市	22	小叶芥菜	温州市
11	温州芥菜	温州市	23	花叶雪里蕻	郑州市
12	园梗芥菜	南宁市	24	长梗芥菜	温州市

### 1.2 试验方法

**1.2.1 试验设计** 试验材料分别于 2012 年 9 月 24 日和 2013 年 9 月 30 日种植在浙江省萧山棉麻研究所园艺场试验基地,采用随机区组设计,2 次重复,每小区种植 40 株,小区面积 7.8 m<sup>2</sup>,株行距为 30 cm × 30 cm。常规栽培管理。

**1.2.2 性状观测记载** 按照《叶用和薹(籽)用芥菜种质资源描述规范和数据标准》进行性状观察记载和数据采集<sup>[1]</sup>。成熟收获时每小区随机调查 10 株,分别测量株高、株幅、最大叶片叶长、最大叶片叶宽、叶片数、最大叶片叶柄长、最大叶片叶柄宽、最大叶片叶柄厚、单株产量等表型性状,计算平均值、极差、最大值、最小值、标准差和变异系数。

**1.2.3 数据计算与统计处理** 试验数据处理采用 Excel 软件,主成分分析和聚类分析采用 DPS 软件。在 24 份叶用芥菜种质资源的 11 个表型性状测定数

据方差分析差异均达显著水平的基础上,进行主成分分析和聚类分析。聚类分析过程中,数据标准化转换,以欧式距离作为种质间距离,以离差平方和法为聚类方法。

## 2 结果与分析

### 2.1 表型性状的变异性分析

由表 2 可以看出,叶片数的变异系数最大,为 150.80%,变异系数差异极显著;叶柄宽、叶柄厚、株高、叶柄长、单株总重变异系数较大,分别为

66.81%、58.03%、43.21%、38.37%、30.64%,变异系数差异显著;叶长、单产、叶宽、株幅分别为 27.15%、25.91%、23.93%、17.71%,变异明显;净菜率变异系数最小仅为 9.54%。结果表明,不同叶用芥菜品系之间差异很大,各表型性状在不同品系之间表现出了不同程度的多样性,说明通过育种途径改良叶用芥菜产量性状是可行的。

### 2.2 表型性状的相关性分析

相关分析结果(表 3)表明,株高与叶宽、叶柄宽,株幅与叶片数、单产,叶长与叶宽,叶宽与叶柄

表 2 叶用芥菜品系表型性状的变异情况

Table 2 Variations of different phenotypic traits in leaf mustard cultivars resources

性状 Traits	最大值 Max.	最小值 Min.	极差 Range	平均值 Average	标准差 <i>s</i>	变异系数(%) <i>CV</i>
株高(cm)PH	55.7	10.5	45.2	36.57	15.80	43.21*
株幅(cm)PB	68.9	34.3	34.6	44.80	7.93	17.71
叶片数(片)LN	160	5	155	27.83	41.97	150.80**
叶长(cm)LL	53.4	20.2	33.2	31.23	8.48	27.15
叶宽(cm)LW	19.3	7.7	11.6	14.61	3.50	23.93
叶柄长(cm)PL	15.8	1.34	14.46	9.60	3.68	38.37*
叶柄宽(cm)PW	5.41	0.59	4.82	1.96	1.31	66.81*
叶柄厚(cm)PT	1.51	0.2	1.31	0.67	0.39	58.03*
单株总重(g)TWP	1520	168.8	1351.2	1096.83	336.08	30.64*
净菜率(%)NPR	91.2	62.86	28.34	80.49	7.68	9.54
单产(kg/hm <sup>2</sup> )Y	62000	20130	41870	46541.67	12060.14	25.91

\*、\*\* :差异显著( $P < 0.05$ )和差异极显著( $P < 0.01$ )

\* and \*\*: Significant difference at 0.05 and 0.01 levels. PH: Plant height, PB: Plant breadth, LN: Leaf number, LL: Leaf length, LW: Leaf width, PL: Petiole length, PW: Petiole width, PT: Petiole thickness, TWP: Total weight per plant, NPR: Net produce rate, Y: Yield. The same as below

表 3 不同叶用芥菜品系 11 个表型性状间简单相关分析

Table 3 Correlation coefficients among the 11 phenotypic traits

性状 Traits	X(1)	X(2)	X(3)	X(4)	X(5)	X(6)	X(7)	X(8)	X(9)	X(10)	X(11)
X(1)	1										
X(2)	-0.1906	1									
X(3)	-0.0860	0.4571*	1								
X(4)	0.5278**	-0.0225	-0.3268	1							
X(5)	0.4873*	-0.4754*	-0.5068**	0.4156*	1						
X(6)	0.1639	-0.2309	0.1485	-0.0170	-0.085	1					
X(7)	0.4878*	-0.0836	-0.2643	-0.0597	0.3977*	0.0642	1				
X(8)	0.5604**	-0.3142	-0.2496	0.2077	0.4253*	-0.1211	0.5826**	1			
X(9)	-0.2631	0.1304	0.3314	-0.5816**	0.1115	-0.2360	0.0632	-0.0769	1		
X(10)	0.0129	-0.0258	0.0430	-0.3911	0.3779	-0.3439	0.4759*	0.2521	0.7330**	1	
X(11)	-0.0851	0.4041*	0.2084	-0.1781	0.1167	-0.348	0.2186	-0.1396	0.5855**	0.6108**	1

X(1)~X(11)分别代表株高、株幅、叶片数、叶长、叶宽、叶柄长、叶柄宽、叶柄厚、单株总重、净菜率、单产

X(1)~X(11) represent plant height, plant breadth, leaf number, leaf length, leaf width, petiole length, petiole width, petiole thickness, total weight per plant, net produce rate, yield

宽、叶柄厚,叶柄宽与净菜率呈显著正相关;株幅与叶宽呈显著负相关;株高与叶长、叶柄厚,叶柄宽与叶柄厚,单株总重与净菜率、单产,净菜率与单产呈极显著正相关;叶片数与叶宽,叶长与单株总重呈极显著负相关。以上结果说明,要选育高产叶用芥菜品种需将株幅、单株总重及净菜率作为主要的目标性状,但是各性状间存在相互影响制约的关系,只有使其达到一定的平衡,才能培育出优良高产的品种,但应该注意这些性状与其他性状的协调一致。

### 2.3 聚类分析

利用 DPS 7.05 软件,根据 11 个性状在 24 份叶用芥菜种质间的不同表现,以欧氏距离为遗传距离,聚类分析采用离差平方和法,在遗传距离 11.99 处将供试材料聚为 3 大类群(图 1),各种质类群的特征见表 4。

由图 1 可以看出,第 I 类群包括 14 个品系,占 58.33%;第 II 类群包括 5 个品系,占 20.83%;第 III 类群包括 5 个品系,占 20.83%。

由表 4 可知,第 I 类群由 14 个品系组成。其中,变异系数最大的是叶片数,并且组群平均单株总重和单产最高,分别为 1298.29 g 和 51350 kg/hm<sup>2</sup>,属于高产品系,包括品系 1、6、12、14、13、15、19、20、2、5、4、16、3、17;这一类材料表现为叶片数多、株幅大,株高、叶型适中,单株总重和单产最高,说明此类

材料在增产上具有一定的潜力,育种工作中可选择性的作为有增产潜力的亲本材料利用。

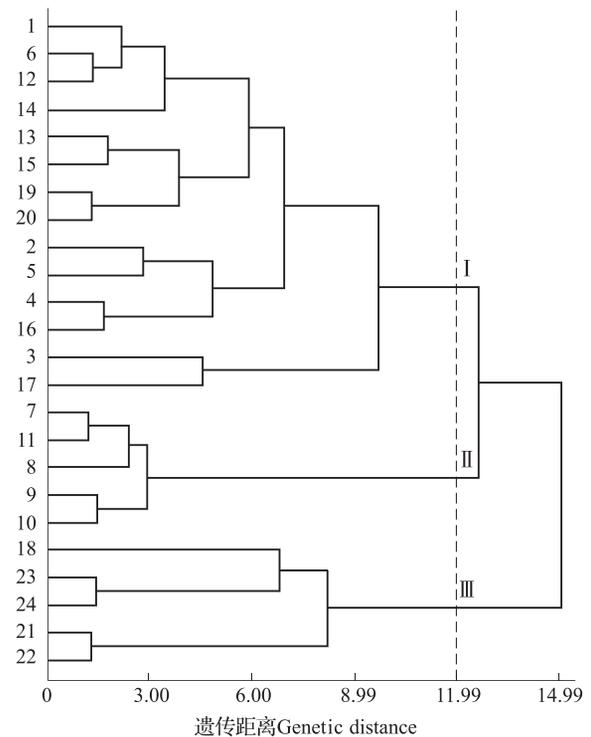


图 1 基于表型性状的 24 份叶用芥菜品系的聚类图

Fig. 1 Clustering analysis of 24 leaf mustard cultivars based on phenotypic traits

表 4 叶用芥菜品系不同类群性状的平均值和变异系数

Table 4 The average value and variation coefficient of traits in different leaf mustard cultivars

类群 Group	第 I 类群 Group I		第 II 类群 Group II		第 III 类群 Group III	
	平均值 Average	变异系数(%) CV	平均值 Average	变异系数(%) CV	平均值 Average	变异系数(%) CV
株高(cm) PH	30.76	53.45	51.28	6.03	38.12	32.80
株幅(cm) PB	45.59	19.23	43.12	6.22	44.30	22.46
叶片数 LN	37.86	140.96	16.40	5.45	11.20	31.82
叶长(cm) LL	29.40	23.00	29.70	13.29	37.88	35.33
叶宽(cm) LW	14.69	25.53	16.34	5.22	12.66	30.92
叶柄长(cm) PL	8.94	48.96	9.84	16.88	11.24	25.39
叶柄宽(cm) PW	1.40	43.43	4.18	21.73	1.30	5.44
叶柄厚(cm) PT	0.51	35.41	1.15	26.61	0.62	85.65
单株总重(g) TWP	1298.29	7.47	1112.00	9.55	517.56	41.37
净菜率(%) NPR	82.20	5.27	87.72	3.06	68.47	5.61
单产(kg/hm <sup>2</sup> ) Y	51350.00	9.67	50566.00	5.53	29054.00	56.02

第 II 类群由 5 个品系组成,分别是品系 7、11、8、9、10。其中,变异系数最大的是叶柄厚;组群平均单产为 50566 kg/hm<sup>2</sup>,属于较高产品系。这一类材

料表现为株高、叶宽、叶柄宽、叶柄厚、净菜率最高,株幅适中、叶片数较多,单株总重和单产较高,说明此类群材料也可作为选育高产的目标亲本加以

利用。

第Ⅲ类群由 5 个品系组成,包括品系 18、23、24、21、22。其中,变异系数最大的是叶柄厚,组群平均单产为 29054.00 kg/hm<sup>2</sup>。这一类材料表现为叶柄最厚,株高、叶型较小,叶片数少,单产最低,所以此类群为丰产性差材料。

## 2.4 主成分分析

对 11 个表型性状进行主成分分析,其中前 5 个主成分的累计贡献率达到 86.6158%。说明这 5 个主成分所包含的要素信息量可以反映出 11 个表型性状指标特征参数的大部分信息(表 5)。

表 5 主成分分析的各性状的特征根和特征向量

Table 5 Principal component analysis eigenvalues and eigenvector of the phenotypic traits

因子 Factor	特征值 Eigenvalue	百分率(%) Contributive rate	累计百分率(%) Cumulative contributive rate
1	3.2241	29.3100	29.3100
2	2.8905	26.2770	55.5871
3	1.3315	12.1044	67.6915
4	1.2604	11.4586	79.1501
5	0.8212	7.4657	86.6158

由表 5 可以看出,在所有构成的主成分性状中,信息主要集中在前 5 个主成分中,其累计方差贡献率为 86.6158%。第 1 主成分贡献率 29.3100% 为最大,其次是主成分 2、主成分 3、主成分 4 和主成分 5,贡献率分别是 26.2770%、12.1044%、11.4586% 和 7.4657%。而从表 6 可知,在第 1 主成分中株高

表 6 入选的特征值和特征向量

Table 6 Eigenvectors of principal component analysis

性状 Traits	因子 1 Factor 1	因子 2 Factor 2	因子 3 Factor 3	因子 4 Factor 4	因子 5 Factor 5
株高 PH	0.4043	0.0962	0.2846	0.3884	0.1595
株幅 PB	-0.3177	-0.0044	0.6094	0.1487	-0.1775
叶片数 LN	-0.3498	-0.0222	0.1564	0.5256	0.1523
叶长 LL	0.3544	-0.1702	0.5140	-0.1637	0.2989
叶宽 LW	0.3760	0.2914	-0.0265	-0.2190	0.4558
叶柄长 PL	0.0866	-0.2336	-0.3372	0.5657	0.4212
叶柄宽 PW	0.2529	0.3569	-0.0066	0.3454	-0.3068
叶柄厚 PT	0.3682	0.2305	0.0109	0.1855	-0.4718
单株总重 TWP	-0.2901	0.4213	-0.1766	0.0041	0.2331
净菜率 NPR	-0.0735	0.5499	-0.1067	-0.0117	0.0270
单产 Y	-0.2230	0.4017	0.3191	-0.0454	0.2712

的特征向量值最大,第 2 主成分中净菜率的特征向量值最大,第 3 主成分中株幅的特征向量值最大,第 4 主成分中叶柄长特征向量值最大,第 5 主成分中叶柄厚的特征向量值最大(负值)。前 5 个主成分包括的 11 个表型性状中的株高、净菜率、株幅、叶柄长、叶柄厚是造成叶用芥菜品系资源表型差异的主要因素,也是叶用芥菜育种中亲本选择评价的主要形态指标。

## 3 讨论

种质资源是现代育种的物质基础。在作物育种中的实践证明,新品种选育有赖于优良基因의发现和利用,因此,作物品种改良的关键是种质资源的有效利用。但是表型性状的鉴定和描述仍然是种质资源研究的最基本的方法和途径,也是分类不可缺少的重要依据之一<sup>[16,18,31]</sup>。本研究结果分析表明:供试的 24 份叶用芥菜的资源,除净菜率外,其余的 10 个主要表型性状的变异系数均在 10% 以上,变异范围为 17.71% ~ 150.80%。可见这些材料表型性状变异丰富,类型广泛,利用已有种质资源,对提高叶用芥菜产量有较大的潜力,具有很好的选择利用前景。相关分析表明,叶用芥菜表型性状间相互关系复杂,各性状间存在不同程度的相关性。要选育高产叶用芥菜品种需主要把株幅、单株总重及净菜率作为主要的目标性状,还应该注意这些性状与其他性状的协调一致。

应用聚类分析结果进行杂种优势预测,选配优势亲本组合,在一定程度上可减少杂交亲本配组上的盲目性,对作物杂种优势利用具有一定的指导意义<sup>[3,29,30,31]</sup>。本研究依据欧氏距离采用离差平方和法对 24 份叶用芥菜品系资源进行了聚类分析,在遗传距离 11.99 处,把 24 份叶用芥菜品系分成 3 个类群,使其性状相近的聚为一类,各个类群具有一定的形态学特征。通过聚类分析,明确了叶用芥菜种质资源的不同类型,根据育种目标可以选择性状互补的亲本配制组合,使叶用芥菜育种中亲本的选配更趋合理化。通过聚类结果可知,组群平均单株总重和单产最高的是第 I 类群,共包括 14 个品系,占资源总数的 58.33%,属于高产品系。这一类材料表现为叶片数最多、株幅最大,株高、叶型适中,单株总重和单产最高,说明此类材料在增产上具有一定的潜力,育种工作中可选择性的作为有增产潜力的亲本材料进行重点开发利用。本研究采用表型性状作为聚类分析的形态学标记,与王炜勇等<sup>[32]</sup>的研究结

果也并不一致,这可能是所用材料不同所致。

主成分分析能够在尽可能保留原有信息的基础上将高维空间中的样本映射到较低维的主成分空间中,同时根据需从中可取较少的总和指标尽可能地反映原来的指标信息<sup>[17,22-27]</sup>。利用主成分分析法将叶用芥菜的11个表型性状指标转化为5个主成分,且这5个主成分能够提供86.6158%以上的信息量,每个主成分都比较客观地反映了各性状之间的相互关系。在选育高产叶用芥菜的重要性状时,首先注意株高,其次是净菜率、株幅、叶柄长、叶柄厚等性状的选择。依据这些性状可以对种质资源进行早期间接评价选择,为叶用芥菜育种工作提供了便利。

本研究仅针对叶用芥菜种质资源的主要表型性状进行分析评价,但表型性状(尤其是数量性状)的表现受环境条件栽培因素影响较大,因此单从形态学上研究遗传多样性具有一定的局限性<sup>[30-31]</sup>,如有些种质存在同名异物的现象,品系8和品系22虽名字都称为小叶芥菜,但收集地不同,从聚类分析结果来看,两个被分入不同的类群。因此,为深入了解所掌握的叶用芥菜种质资源,还需要进一步进行分子水平的研究,这样才能更加全面、准确地对叶用芥菜种质进行客观评价。

#### 参考文献

- [1] 李锡香. 叶用和薹(籽)用芥菜种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008: 74-77
- [2] 刘剑, 方晓燕, 张静恒, 等. 9个茎瘤芥亲本的配合力分析和遗传力估算[J]. 沈阳农业大学学报, 2008, 39(6): 726-729
- [3] 刘义华, 冷蓉, 张召荣. 茎瘤芥(榨菜)表型性状遗传差异研究[J]. 中国农学通报, 2007, 23(3): 329-331
- [4] 赵颖, 宋江华, 汪承刚, 等. 安徽乌塌菜种质资源形态特征多样性分析[J]. 安徽农业大学学报, 2013, 40(3): 449-453
- [5] 乔爱民, 刘佩瑛, 雷建军, 等. 利用RAPD标记鉴定芥菜品种[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 1998, 37(2): 73-76
- [6] Fu J, Zhang M F, Qi X H. Genetic diversity of traditional Chinese mustard crops *Brassica juncea* as revealed by phenotypic differences and RAPD markers[J]. Genet Resour Crop Evol, 2006, 53(7): 1513-1519
- [7] 孟秋峰. 芥菜类蔬菜进化及分类研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2005: 28-34
- [8] Qi X H, Yang J H, Zhang M F. AFLP-based genetic diversity assessment among Chinese vegetable mustards (*Brassica juncea* (L.) Czern) [J]. Genet Resour Crop Evol, 2008, 55(5): 705-711
- [9] 付杰. 中国芥菜遗传多样性与亲缘关系研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2005: 23-28
- [10] 齐晓花. 中国芥菜系统进化研究及重要表型性状的遗传分析[D]. 杭州: 浙江大学, 2009: 43-68
- [11] Wu X M, Chen B Y, Lu G Y, et al. Genetic diversity in oil and vegetable mustard (*Brassica juncea*) landraces revealed by SRAP markers[J]. Genet Resour Crop Evol, 2009, 56(7): 1011-1022
- [12] 刘婷. 芥菜种质资源遗传多样性的RAPD和ISSR分析[D]. 重庆: 西南大学, 2009: 34-38
- [13] 宋明, 刘婷, 汤青林, 等. 芥菜种质资源的RAPD和ISSR分析[J]. 园艺学报, 2009, 36(6): 835-842
- [14] 宋明, 王鹤冰, 孙梓健, 等. 人工老化芥菜种子基因组DNA的ISSR标记[J]. 中国蔬菜, 2010(24): 25-30
- [15] 林清, 龙治坚, 韩国辉, 等. 基于SCoT标记的芥菜种质遗传多样性与指纹图谱[J]. 中国蔬菜, 2013(12): 31-39
- [16] Andrea M, Papa R, Bitocchi E, et al. Genetic diversity, structure and marker-trait associations in a collection of Italian tomato (*Solanum lycopersicum* L.) landraces [J]. Theor Appl Genet, 2008, 116(5): 657-669
- [17] 要燕杰, 高翔, 吴丹, 等. 小麦农艺性状与品质特性的多元分析与评价[J]. 植物遗传资源学报, 2014, 15(1): 38-47
- [18] 徐东旭, 姜翠棉, 宗绪晓. 蚕豆种质资源形态标记遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2010, 11(4): 399-406
- [19] 冷蓉, 刘义华, 张召荣, 等. 茎瘤芥(榨菜)晚播条件下主要表型性状遗传参数分析[J]. 西南农业学报, 2011, 24(2): 677-680
- [20] 刘义华, 冷蓉, 张召荣, 等. 茎瘤芥(榨菜)叶性状的基因效应研究[J]. 西南农业学报, 2010, 23(1): 141-144
- [21] 刘义华, 张召荣, 冷蓉, 等. 茎瘤芥(榨菜)表型性状的相关遗传力与选择指数分析[J]. 中国蔬菜, 2009(16): 36-40
- [22] 韩泽群, 姜波. 加工番茄品种多性状综合评价方法研究[J]. 中国农业科学, 2014, 47(2): 357-365
- [23] 郭丽芬, 徐宁生, 张跃, 等. 云南红花种质资源主要农艺性状的遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2012, 13(2): 219-225
- [24] 方平平, 郑鹭, 陶爱芬, 等. 蓖麻遗传资源产量与品质性状主成分聚类分析及其评价[J]. 福建农林大学学报: 自然科学版, 2011, 40(3): 232-236
- [25] 张礼凤, 李伟, 王彩洁, 等. 山东大豆种质资源形态多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2006, 7(4): 450-454
- [26] 张素君, 邱杨, 宋江萍, 等. 萝卜种质资源耐抽薹性鉴定评价[J]. 植物遗传资源学报, 2014, 15(2): 262-269
- [27] 王海平, 李锡香, 沈楠, 等. 基于表型性状的中国大蒜资源遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2014, 15(1): 26-33
- [28] 孟秋峰, 王毓洪, 任锡亮, 等. 芥菜类蔬菜不同品种园艺学性状初步研究[J]. 现代农业科技, 2006(11): 25-26
- [29] 孟秋峰, 王毓洪, 皇甫伟国, 等. 芥菜类蔬菜植物学性状鉴定及聚类分析[J]. 浙江农业科学, 2006(3): 254-257
- [30] 刘义华, 冷蓉, 张召荣. 茎瘤芥(榨菜)表型性状遗传差异研究[J]. 中国农学通报, 2007, 23(3): 329-331
- [31] 方平, 姚启伦, 陈发波, 等. 茎瘤芥种质的表型遗传多样性分析[J]. 河南农业科学, 2012, 41(9): 114-119
- [32] 王炜勇, 俞少华, 李鲁峰, 等. 浙江省叶用芥菜地方品种的形态多样性[J]. 分子植物育种, 2013, 11(5): 562-570