

内蒙古西伯利亚杏种质资源表型多样性研究

尹明宇¹, 高福玲², 乌云塔娜¹

(¹ 国家林业局泡桐研究开发中心/中国林业科学研究院经济林研究开发中心, 郑州 450003; ² 河南省经济林和林木种苗工作站, 郑州 450003)

摘要: 为了明确内蒙古西伯利亚杏 (*Armeniaca sibirica* (L.) Lam.) 种质资源表型性状的变异特点和多样性, 对来自 14 个种源的 143 份西伯利亚杏种质资源的 37 个表型性状进行聚类、相关性、主成分等分析。结果表明, 内蒙古西伯利亚杏表型性状的变异系数均值为 20.38%, 单果重的变异系数 (56.69%) 最大, 果形指数的变异系数 (7.99%) 最小, 数量性状的 Shannon-weaver 多样性信息指数 (2.648) 大于质量性状 (0.265); 各部位数量性状变异系数大小顺序为叶 > 果 > 核 > 仁, 多样性信息指数大小顺序为叶 > 核 > 仁 > 果。基于 37 个表型性状数据, 将种质资源分为 4 个类群: 第 I 类群核仁大且饱满, 适用于选育大仁品种; 第 II 类群核壳薄, 出仁率高, 丰产潜力大; 第 III 类群核壳厚, 适用于选育核壳用品种; 第 IV 类群果实、果核、核仁均大但核仁不饱满, 适用于改良并选育仁用杏品种。数量性状的前 6 个主成分累计方差贡献率达到 87.20%, 反映的信息与聚类分析和相关分析结果基本一致。核干重、仁干重、出核率、出仁率等经济性性状受果核性状指标的影响较大, 结合相关性分析和主成分分析, 23 个数量性状可简化为单果重、核干重、仁干重、核侧径、核壳厚、仁横径、果形指数、核形指数、仁形指数等 9 个主要性状。以上结果为西伯利亚杏的资源评价和品种选育提供了重要的物质基础和理论依据。

关键词: 西伯利亚杏; 遗传多样性; 评价指标; 育种类群

High-Level Genetic Diversity of Siberian Apricot (*Armeniaca sibirica*) in Inner Mongolia Revealed by Phenotyping

YIN Ming-yu¹, GAO Fu-ling², WUYUN Ta-na¹

(¹ China Paulownia Research Center, State Forestry Administration/Non-Timber Forest Research and Development Center, Chinese Academy of Forestry, Zhengzhou 450003; ² Henan Workstation of Economic Forest and Seedling, Zhengzhou 450003)

Abstract: The variation and the relationship of *Armeniaca sibirica* (L.) Lam. in Inner Mongolia were revealed by phenotyping. Cluster analysis, correlation analysis, principal component analysis were applied to analyze the 37 phenotypic traits of 143 individuals from 14 populations of *Armeniaca sibirica* (L.) Lam. The results showed that there were significant differences in genetic variation with average variation coefficient of 20.38%. The variation coefficient of single fruit weight was highest (56.69%), while the variation coefficient of fruit shape index was smallest (7.99%). The Shannon-Wiener information index of quantitative traits (2.648) was higher than qualitative traits (0.265), and which showed that there was high phenotypic diversity in *Armeniaca sibirica* (L.) Lam. The degree of variation coefficient was highest for leaf, followed by fruit and nutlet, but lowest for kernel. The degree of the Shannon-Wiener information index was highest for leaf, followed by nutlet and kernel, but lowest for fruit. The tested *Armeniaca sibirica* (L.) Lam. individuals could be divided into four groups according to the cluster analysis. The kernels of first group were large and full, thin shell and high kernel rate were appeared in second group, the shells of third group were thick, large fruits and large nutlets as well as large kernels were appeared in the fourth group. Principal component analysis showed that the six principal components added up to 87.20% of the variation, with similarities to results of cluster

收稿日期: 2016-04-26 修回日期: 2016-05-26 网络出版日期: 2017-02-17

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20170217.1425.034.html>

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划项目 (2013BAD14B02)

第一作者主要从事仁用杏资源评价和育种方面的研究。E-mail: ymy920916@163.com

通信作者: 乌云塔娜, 主要从事经济林育种和林业生物技术方面的研究。E-mail: tanatanan@163.com

analysis and correlation analysis. A significant relationship had occurred between phenotypic traits and some economic traits, like nutlet rate and kernel rate. Nine phenotypic traits, including single fruit weight, weight of dry nutlet, weight of dry kernel, nutlet side diameter, shell thickness, kernel horizontal diameter, fruit shape index, nutlet shape index, kernel shape index, were evaluated among the tested genetic resources. Phenotypic variation of *Armeniaca sibirica* (L.) Lam. in Inner Mongolia was rich, this will facilitate the studies of the genetic resources and breeding theoretically and practically.

Key words: *Armeniaca sibirica* (L.) Lam. ; genetic diversity; phenotypic evaluation index; breeding groups

西伯利亚杏 (*Armeniaca sibirica* (L.) Lam.) 为蔷薇科 (Rosaceae) 李亚科 (Subfam Prunoideae) 杏属 (*Armeniaca* Stop.) 植物^[1], 主要分布在西伯利亚、蒙古和我国内蒙古、辽宁、河北等省区, 多为野生或半野生状态集中成片生长^[2]。内蒙古是我国西伯利亚杏的主要分布区之一, 但是近几年来, 荒漠化的加重以及全球气候的变化使西伯利亚杏种质资源受到严重侵蚀, 遗传多样性逐渐丧失^[3], 再加上现有种质良莠不齐, 严重制约着西伯利亚杏育种和改良工作的开展。因此, 开展西伯利亚杏种质资源的遗传多样性研究, 对现有种质资源进行调查鉴定和分类, 对内蒙古地区西伯利亚杏种质的资源收集、管理、发掘、利用等具有重要且现实的意义。

利用表型性状进行种质资源的遗传多样性研究, 揭示种群的遗传结构与变异类型, 得到优良育种类型群, 是品种选育工作的核心^[4]。前人已通过系统的表型多样性研究方法对新疆杏^[5]、黄麻^[6]、野生秋子梨^[7]、柿^[8]、桃^[9]、陆地棉^[10]、无患子^[11]等大量树种进行了研究, 并解释了各个树种的遗传变异规律, 为选育工作指明了方向。自然杂交, 不同地区间的相互引种以及环境因素的影响促使西伯利亚杏产生了丰富的变异类型, 形成了极为丰富的种质资源, 目前对西伯利亚杏的研究多集中于生长生殖^[12-13]、经济性状^[14]、食品医药应用^[15]和抗寒性等方面^[16]。在资源评价方面, 主要通过蛋白质电泳谱带^[17]、SOD 和 POD 同工酶特征酶带^[18]、杏核表型特征^[19]和分子标记^[20]对西伯利亚杏亲缘关系进行分析, 而西伯利亚杏的育种工作急需要在系统的表型多样性分析基础上, 进一步得到有实际意义的育种类型群, 为良种选育提供资源。

本研究利用 37 个表型性状对 143 份西伯利亚杏种质资源进行系统的聚类、相关性、主成分等分析, 旨在揭示内蒙古西伯利亚杏的变异规律和多样性水平, 结合各性状的综合表现形成特定用途的育种类型群, 探寻出核率、出仁率等经济性性状的影响指标, 并筛选出主要表型指标, 为西伯利亚杏种质资源的综合评价和有针对性的选育工作提供科学依据和物

质基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料及样本采集

试验材料取自内蒙古呼和浩特市林木良种繁育中心收集保存的来自内蒙古 14 个种源地的西伯利亚杏资源, 结合多年田间观察和试验筛选出 143 份适应性好的种质为材料, 种源地和资源数量分别为凉城(9)、扎赉特旗(8)、科右中旗(10)、阿鲁科尔沁旗(9)、克什克腾旗(9)、乌拉山(10)、乌兰浩特察尔森(9)、科左后旗(8)、扎鲁特旗(9)、土默特左旗万家沟(20)、敖汉旗(9)、巴林右旗(5)、和林格尔县 1(18)、和林格尔县 2(10), 种质编号依次为 1~143, 每份种质 6 个重复。分别于 2012 年及 2013 年每年果实成熟的 7-8 月份对试验材料进行系统性评价鉴定。每一单株从东西南北 4 个方向随机采摘健康、无病虫害的果实、成熟叶片各 10 个低温保鲜带回实验室备用。

1.2 性状调查与测定

参照《杏种质资源描述规范和数据标准》^[21]和《植物新品种特异性、一致性、稳定性测试指南: 杏》以及《中国果树志: 杏卷》^[22]共选取了 14 个描述性表型性状, 对各性状进行数量化处理以后进行频率分析。共选取 23 个数量性状, 用电子天平(精确到 0.01 g)测果重、核干重、仁干重, 用游标卡尺(精确到 0.01 mm)测叶长、叶宽、叶柄长、叶尖长、果纵径、果横径、果侧径、核纵径、核横径、核侧径、核壳厚、仁纵径、仁横径、仁侧径等性状。根据叶片长宽、果实的纵径、横径, 核的纵径、横径, 仁的纵径、横径分别计算叶形指数、果形指数、核形指数和仁形指数; 根据单果重、核干重和仁干重计算出核率和出仁率。

1.3 数据处理

对描述性表型性状进行赋值(表 1), 将其数量化, 统计各性状类型所占的比例, 并计算各性状的均值、标准差、变异系数、Shannon-weaver 多样性指数, 计算公式如下:

$$H = -\sum (P_i) (\log 2P_i)^{[23]}$$

表1 西伯利亚杏种质资源描述性表型性状及记载标准

Table 1 Descriptive phenotypic traits and recorded standard of Siberian apricot resources

序号 No.	表型性状 Phenotypic traits	测定方法和记载标准 Determination methods and standards
1	叶表颜色 Color of leaf surface	1. 浅绿(2.29%)、2. 绿(92.65%)、3. 深绿(5.07%)
2	叶背颜色 Color of leaf back	1. 浅绿(95.92%)、2. 绿(4.08%)
3	叶基 Leaf base	1. 楔形(8.50%)、2. 圆形(79.90%)、3. 截形(10.13%)、4. 心形(1.47%)
4	叶缘 Leaf margin	1. 钝锯齿状(70.92%)、2. 粗锯齿状(13.89%)、3. 细锯齿状(15.20%)
5	叶形状 Leaf shape	1. 卵圆形(17.65%)、2. 倒卵圆形(1.14%)、3. 椭圆形(8.50%)、4. 圆形(32.35%)、5. 阔圆(40.30%)
6	叶尖形状 Shape of leaf apex	1. 钝尖(0.33%)、2. 渐尖(4.25%)、3. 急尖(0.89%)、4. 短突尖(28.59%)、5. 长尾尖(65.85%)
7	果实形状 Fruit shape	1. 扁圆形(1.63%)、2. 圆形(16.34%)、3. 卵圆形(27.45%)、 4. 椭圆形(47.06%)、5. 长圆形(4.41%)、6. 心脏形(3.10%)
8	果实对称性 Fruit symmetry	1. 对称(89.22%)、2. 不对称(10.78%)
9	果顶 Top of fruit	1. 凹(9.48%)、2. 平(83.33%)、3. 凸(7.19%)
10	果核饱满程度 Nutlet satiation	1. 不饱满(10.29%)、2. 中等(48.69%)、3. 饱满(41.01%)
11	核黏/离 Nuclear stick/from	1. 黏(6.54%)、2. 半离(26.47%)、3. 离(66.99%)
12	核形状 Nutlet shape	1. 扁圆形(25.16%)、2. 圆形(26.96%)、3. 卵圆形(37.42%)、 4. 倒卵圆形(5.23%)、5. 椭圆(4.74%)、6. 长圆形(0.49%)
13	核面 Nutlet surface	1. 平滑(21.24%)、2. 中(59.15%)、3. 粗糙(19.61%)
14	仁味 Taste of kernel	1. 苦(100%)、2. 甜(0%)

括号内数据表示在总样品中所占比例

The data in bracket means the proportion of each type of descriptive phenotypic trait

其中, H 为 Shannon-weaver 多样性指数, P_i 为样品中属于第 i 种个体的比例,如样品中个体数为 N ,第 i 种个体数为 n_i ,则 $P_i = n_i/N$ 。

对数量性状利用 Excel2007 软件和 SPSS20.0 软件进行数据整理与分析,分别计算 Shannon-weaver 多样性指数等指标,并以此分析不同西伯利亚杏种质资源间的表型变异和多样性;对不同种质资源利用欧氏遗传距离,采用离差平方和法(Ward's method)进行聚类分析。

2 结果与分析

2.1 描述性表型性状多样性

内蒙古西伯利亚杏资源叶片、果实、果核、核仁描述性表型性状的特征状况见表2,结果表明内蒙古各地区的种质变异类型多且差异较大,多样性比较丰富,14个描述性表型性状合计50个类型中只有仁味的“甜”类型没有出现,其他49个类型均存在。由各性状不同类型所占比例,可以看出内蒙古西伯利亚杏主要描述性表型性状特征如下:叶形状为阔圆形(40.30%)或圆形(32.35%);叶尖形状为长尾尖(65.85%)或短突尖(28.59%);果实形状以椭圆形(47.06%)为主,卵圆形(27.45%)和圆形

(16.34%)次之;果核形状以卵圆形(37.42%)为主,圆形(26.96%)和扁圆形(25.16%)次之。其他性状特征显示内蒙古西伯利亚杏叶片表面绿色,叶片背面浅绿色,叶基部圆形,叶缘钝锯齿状;果实两侧对称,果顶平,果肉易离核;果核较饱满,核面较平滑;仁味苦,少有甜。

由表2可知,西伯利亚杏描述性表型性状间表现出不同程度的多样性。变异系数的平均值为20.15%。核形状的变异系数(30.88%)最大,其余性状的变异系数都在30%以下,其中,叶尖形状的变异系数(12.98%)最小。Shannon-weaver 多样性指数的平均值为0.265。核形状的多样性指数(0.501)最大,其次为核面的多样性指数(0.475)和叶形状的多样性指数(0.442),其余性状的多样性指数都在0.4以下,其中,叶尖形状的多样性指数(0.027)最小。核形状与叶形状具有相对较高的多样性,叶尖形状则相对较为稳定。

2.2 数量性状多样性

内蒙古西伯利亚杏资源叶片、果实、果核、核仁数量性状的特征状况见表3,对23个数量性状进行遗传多样性分析的结果表明,变异系数的平均值为20.62%,其中单果重的变异系数(56.69%)最大,

表 2 西伯利亚杏描述性表型性状的多样性

Table 2 Diversity of Siberian apricot resources in descriptive phenotypic traits

描述性表型性状	均值	标准差	极小值	极大值	极差	变异系数(%)	多样性指数
Descriptive phenotypic traits	Mean	SD	Min.	Max.	Range	CV	DI
叶表颜色 LSC	1.02	0.14	1	3	2	14.06	0.125
叶背颜色 LBC	1.02	0.14	1	2	1	14.06	0.058
叶基 LB	2.04	0.41	1	4	3	20.00	0.302
叶缘 LM	2.04	0.41	1	3	2	20.00	0.352
叶形状 LS	3.91	1.04	1	5	4	26.55	0.442
叶尖形状 LAS	4.68	0.61	1	5	4	12.98	0.027
果形状 FSH	1.01	0.18	1	6	5	17.56	0.097
果实对称性 FSY	1.01	0.18	1	2	1	17.56	0.147
果顶 FT	2.33	0.52	1	3	2	22.13	0.322
果核饱满程度 NS	2.33	0.52	1	3	2	22.13	0.338
核黏/离 NS/NF	2.71	0.50	1	3	2	18.49	0.257
核形状 NSH	2.33	0.72	1	6	5	30.88	0.501
核面 NSU	1.96	0.50	1	3	2	25.58	0.475

LSC; Leaf surface color, LBC; Leaf back color, LB; Leaf base, LM; Leaf margin, LS; Leaf shape, LAS; Leaf apex shape, FSH; Fruit shape, FSY; Fruit symmetry, FT; Top fruit, NS; Nutlet satiation, NS/NF; Nuclear stick/from, NSH; Nutlet shape, NSU; Nutlet surface

表 3 西伯利亚杏数量性状的多样性

Table 3 Diversity of Siberian apricot resources in quantitative traits

	数量性状	均值	标准差	极小值	极大值	极差	变异系数(%)	多样性指数	
	Quantitative traits	Mean	SD	Min.	Max.	Range	CV	DI	
叶	叶长(mm) LL	58.50	12.04	23.17	92.03	68.86	20.58	2.779	
Leaf	叶宽(mm) LW	46.07	10.57	14.98	76.32	61.34	22.94	2.813	
	叶柄长(mm) PL	22.64	5.74	5.60	42.30	36.70	25.35	2.713	
	叶尖长(mm) LAL	13.96	4.77	4.09	34.41	30.32	34.16	2.633	
	叶形指数 LSI	1.28	0.13	0.95	1.77	0.82	9.92	2.447	
	果实	果纵径(mm) FVD	20.96	2.82	15.10	35.93	20.83	13.48	2.681
Fruit	果横径(mm) FHD	17.73	2.75	13.20	31.28	18.08	15.51	2.516	
	果侧径(mm) FSD	21.70	2.93	15.62	34.45	18.83	13.49	2.747	
	果形指数 FSI	1.19	0.09	0.68	1.51	0.83	7.99	2.726	
	单果重(g) SFW	4.94	2.80	1.06	21.10	20.04	56.69	2.459	
果核	核纵径(mm) NVD	17.10	2.27	7.19	24.46	17.27	13.27	2.691	
	Nucleus	核横径(mm) NHD	15.95	2.13	7.07	34.60	27.53	13.34	2.560
Nucleus	核侧径(mm) NSD	9.85	1.09	4.47	13.78	9.31	11.02	2.584	
	核壳厚(mm) ST	1.22	0.42	0.32	3.36	3.36	34.75	2.774	
	核形指数 NSI	1.08	0.11	0.78	1.49	0.71	10.19	2.451	
	核干重(g) NDW	0.85	0.26	0.31	1.98	1.98	30.34	2.770	
	出核率 NR	0.18	0.06	0.06	0.37	0.31	34.99	2.797	
	核仁	仁纵径(mm) KVD	12.81	1.67	5.91	18.38	12.47	13.04	2.670
		Kernel	仁横径(mm) KHD	10.66	1.53	4.86	16.44	11.58	14.33
Kernel	仁侧径(mm) KSD	6.80	1.07	2.93	9.76	6.83	15.77	2.820	
	仁形指数 KSI	1.21	0.14	0.73	1.75	1.02	11.57	2.420	
	仁干重(g) KDW	0.31	0.09	0.13	1.39	1.26	29.41	2.571	
	出仁率 KR	0.38	0.09	0.13	0.57	0.44	22.89	2.659	

LL; Leaf length, LW; Leaf width, PL; Petiole length, LAL; Leaf apex length, LSI; Leaf shape index, FVD; Fruit vertical diameter, FHD; Fruit horizontal diameter, FSD; Fruit side diameter, FSI; Fruit shape index, SFW; Single fruit mass, NVD; Nutlet vertical diameter, NHD; Nutlet horizontal diameter, NSD; Nutlet side diameter, ST; Sheel thickness, NSI; Nutlet shape index, NDW; Nutlet dry Mass, NR; Nutlet rate, KVD; Kernel vertical diameter, KHD; Kernel horizontal diameter, KSD; Kernel side diameter, KSI; Kernel shape index, KDW; Kernel dry Mass, KR; Kernel rate

变异幅度为 1.06 ~ 21.10 g,其次为出核率的变异系数(34.99%),变异幅度为 0.06 ~ 0.37;果形指数的变异系数(7.99%)最小,变异幅度为 0.68 ~ 1.51。从不同的部位来看,叶的变异系数(22.59%)最大,其次是果实的变异系数(21.43%)和果核的变异系数(21.01%),核仁的变异系数(17.84%)最小。Shannon-weaver 多样性指数的平均值为 2.648,较描述性表型性状的大,说明内蒙古西伯利亚杏种质资源的数量性状的遗传多样性比描述性表型性状更加丰富,其中,以仁侧径的多样性指数(2.820)最大,其次是叶宽(2.813);以仁形指数的多样性指数(2.420)最小,其次是叶形指数(2.447)和核形指数(2.451)。

Shannon-weaver 多样性指数和遗传变异系数的分析结果表明,参试西伯利亚杏不同材料间各性状差异较大,综合描述性表型性状和数量性状的统计分析结果可以看出,内蒙古西伯利亚杏种质资源的遗传背景较丰富,可以为西伯利亚杏新品种的选育提供优良的种质基础。

2.3 聚类分析

根据 37 个表型性状在 143 份西伯利亚杏种质资源间的不同表现,以平均欧氏距离为遗传距离,采用离差平方和法(Ward's method)进行聚类分析,在遗传距离为 10 处将参试种质资源分为 4 大类群,从上到下依次为第 I 类、第 II 类、第 III 类和第 IV 类,结果见图 1,各类种质类群特征见表 4。

第 I 类群包括 53 份材料,主要特征是叶片大,叶长 67.58 mm、叶宽 53.52 mm、叶柄长 26.25 mm、叶尖长 17.57 mm,均高于其他类群;类群的果实较大,果纵径 21.25 mm、果横径 18.01 mm、果侧径 22.86 mm,仅次于第 IV 类群;类群的核形状更加接近圆形,核横径 17.25 mm,高于其他类群,核形指数 0.95,为所有类群中最小;类群的核仁最大且最饱满,仁横径 11.90 mm、仁侧径 7.41 mm、仁干重 0.36 g,均高于其他类群,仁形指数 1.21,为所有类群中最小。叶基、叶形状、叶尖形状、果核饱满程度的性状值均高于其他类群,果顶的性状值均低于其他类群。综合各性状,此类群的叶片大,果实较大,果核与核仁大且饱满,是选育大仁型资源的优良类群。

第 II 类群包括 48 份材料,主要特征是叶片较大,叶长 58.10 mm、叶宽 45.04 mm、叶尖长 14.90 mm,仅次于第 I 类群,高于其他类群;类群的果实较小,果纵径 19.68 mm,为所有类群最小,果横径 16.59 mm、

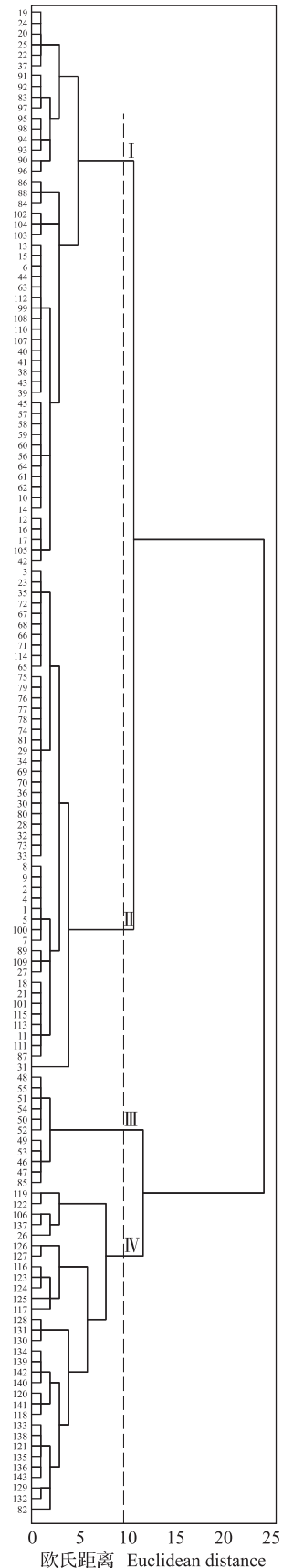


图 1 西伯利亚杏种质资源基于 37 个表型性状的聚类图
 Fig. 1 Cluster dendrogram of Siberian apricot resources based on 37 phenotypic traits

表 4 西伯利亚杏不同类群的表型特征

Table 4 Phenotypic traits of Siberian apricot in different germplasm groups

表型性状 Phenotypic traits	第 I 类 Group I			第 II 类 Group II			第 III 类 Group III			第 IV 类 Group IV		
	均值	标准差	变异系数	均值	标准差	变异系数	均值	标准差	变异系数	均值	标准差	变异系数
	Mean	SD	(%) CV	Mean	SD	(%) CV	Mean	SD	(%) CV	Mean	SD	(%) CV
叶长(mm)LL	67.58	6.33	0.09	58.10	5.35	0.09	36.79	4.49	0.12	55.92	10.34	0.18
叶宽(mm)LW	53.52	6.37	0.12	45.04	4.47	0.10	26.67	4.33	0.16	44.53	8.43	0.19
叶柄长(mm)PL	26.25	3.08	0.12	22.19	2.68	0.12	11.83	1.65	0.14	24.16	4.38	0.18
叶尖长(mm)LAL	17.57	3.00	0.17	14.90	1.57	0.11	7.37	0.69	0.09	8.64	2.92	0.34
叶形指数 LSI	1.27	0.12	0.09	1.30	0.06	0.05	1.40	0.08	0.06	1.26	0.09	0.07
果纵径(mm)FVD	21.25	1.54	0.07	19.68	1.16	0.06	20.85	1.19	0.06	26.53	3.47	0.13
果横径(mm)FHD	18.01	1.02	0.06	16.59	0.98	0.06	16.32	0.91	0.06	23.96	3.34	0.14
果侧径(mm)FSD	22.86	1.32	0.06	20.45	1.50	0.07	19.94	0.98	0.05	26.99	3.49	0.13
果形指数 FSI	1.18	0.07	0.06	1.19	0.06	0.05	1.28	0.06	0.05	1.11	0.08	0.08
单果重(g)SFW	3.22	2.22	0.69	3.41	1.30	0.38	1.27	1.79	1.41	10.66	4.19	0.39
核纵径(mm)NVD	17.33	1.74	0.10	16.18	1.65	0.10	18.27	1.25	0.07	19.37	2.29	0.12
核横径(mm)NHD	17.25	1.19	0.07	14.99	1.55	0.10	15.66	0.66	0.04	17.07	1.94	0.11
核侧径(mm)NSD	10.22	0.69	0.07	9.26	0.77	0.08	10.36	0.56	0.05	10.69	0.95	0.09
核壳厚(mm)ST	1.15	0.26	0.22	1.01	0.25	0.25	1.79	0.46	0.26	1.49	0.33	0.22
核形指数 NSI	0.95	0.16	0.17	1.08	0.08	0.07	1.15	0.07	0.06	1.15	0.14	0.12
核干重(g)NDW	0.92	0.18	0.19	0.72	0.12	0.16	0.94	0.11	0.12	1.11	0.26	0.23
出核率 NR	0.20	0.05	0.24	0.22	0.06	0.27	0.29	0.03	0.23	0.10	0.10	0.30
仁纵径(mm)KVD	13.29	1.43	0.11	12.19	1.19	0.10	13.20	1.14	0.09	13.67	1.44	0.11
仁横径(mm)KHD	11.90	0.98	0.08	10.01	0.99	0.10	9.79	0.46	0.05	10.23	0.91	0.09
仁侧径(mm)KSD	7.41	0.77	0.10	6.57	0.84	0.13	6.46	0.52	0.08	5.59	0.82	0.15
仁形指数 KSI	1.21	0.27	0.22	1.22	0.06	0.05	1.35	0.09	0.06	1.33	0.15	0.11
仁干重(g)KDW	0.36	0.06	0.17	0.30	0.06	0.18	0.22	0.03	0.14	0.32	0.08	0.25
出仁率 KR	0.38	0.06	0.15	0.43	0.05	0.11	0.24	0.04	0.16	0.30	0.07	0.23
叶表颜色 LSC	2.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	2.10	0.40	0.19
叶背颜色 LBC	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.16	0.37	0.32
叶基 LB	2.17	0.61	0.28	1.94	0.32	0.17	2.00	0.00	0.00	1.97	0.87	0.44
叶缘 LM	1.91	0.35	0.19	2.21	0.41	0.19	2.00	0.00	0.00	1.87	0.56	0.30
叶形状 LS	4.38	0.63	0.14	3.83	0.81	0.21	1.82	0.75	0.41	3.48	1.26	0.36
叶尖形状 LAS	4.91	0.30	0.06	4.81	0.39	0.08	3.45	0.69	0.20	4.03	0.80	0.20
果形状 FSH	3.64	0.68	0.19	3.27	0.61	0.19	3.73	1.01	0.27	3.19	1.72	0.54
果实对称性 FSY	1.04	0.19	0.19	1.02	0.14	0.14	1.00	0.00	0.00	1.61	0.50	0.31
果顶 FT	1.89	0.32	0.17	2.00	0.21	0.10	2.18	0.40	0.19	1.97	0.66	0.33
果核饱满程度 NS	2.40	0.49	0.21	2.29	0.54	0.24	2.36	0.50	0.21	1.97	0.66	0.33
核黏/离 NS/NF	2.45	0.67	0.27	2.85	0.36	0.12	2.36	0.67	0.29	2.13	0.72	0.34
核形状 NSH	2.74	1.13	0.41	2.42	0.71	0.29	2.27	0.65	0.28	3.13	1.54	0.49
核面 NSU	2.02	0.54	0.27	1.88	0.49	0.26	2.00	0.45	0.22	2.03	0.55	0.27

果侧径 20.45 mm, 仅高于第 III 类群, 低于其他类群; 类群的果核小, 核纵径 16.18 mm、核横径 14.99 mm、核侧径 9.26 mm、核壳厚 1.01 mm、核干重 0.72 g, 均为所有类群中最小; 类群的仁小, 仁纵径 12.19 mm, 为所有类群中最小, 仁横径 10.01 mm、仁干重 0.30 g,

仅高于第 III 类群, 低于其他类群, 出仁率 0.43 是最高的。叶缘和核黏离程度的性状值高于其他类群, 叶基和核面的性状值低于其他类群。综合各性状, 此类群叶片较大, 果核、果仁小, 核壳薄, 出仁率高, 果肉离核, 核面光滑。

第Ⅲ类群包括 11 份材料,主要特征是叶片小,叶长 36.79 mm、叶宽 26.67 mm、叶柄长 11.83 mm、叶尖长 7.37 mm,均低于其他类群,叶形指数 1.40 最高;类群的果实小,果纵径 20.85 mm,仅高于第Ⅱ类群,果横径 16.32 mm、果侧径 19.94 mm、单果重 1.27 g,均低于其他类群;类群的果核较大,核纵径 18.27 mm、核侧径 10.36 mm,仅次于第Ⅳ类群,核形指数 1.15、核壳厚 1.79 mm、出核率 0.29,高于其他类群;核仁小,仁横径 9.79 mm、仁干重 0.22 g、出仁率 0.24,均低于其他类群,仁纵径 13.20 mm 仅高于第Ⅱ类群,仁侧径 6.46 mm 仅高于第Ⅳ类群,仁形指数 1.35 高于其他类群。叶形状、叶尖形状、果核形状的性状值低于其他类群,果实形状、果顶的性状值高于其他类群。综合各性状,此类群叶子小,叶形倒卵形,果实小,果核大,核壳厚,出核率高,核仁小,出仁率低,可用于特殊核壳用资源的选育。

第Ⅳ类群包括 31 份材料,主要特征是叶片较大,叶长 55.92 mm、叶宽 44.53 mm、叶尖长 8.64 mm,远高于第Ⅲ类群,而低于其他类群,叶形指数 1.26 最小;类群的果实大,果纵径 26.53 mm、果横径 23.96 mm、果侧径 26.99 mm、单果重 10.66 g,均高于其他类群,果形指数 1.11 最低;类群的果核大,核纵径 19.37 mm、核侧径 10.69 mm、核干重 1.11 g、核形指数 1.15,均高于其他类群,出核率 0.10 低于其他类群;类群的核仁较大,仁纵径 13.67 mm 高于其他类群,仁横径 10.23 mm、仁干重 0.32 g,仅次于第Ⅰ类群,出仁率 0.30 仅高于第Ⅲ类群。叶表面颜色、叶背面颜色、果实对称性、果核形状、核面的性状值高于其他类群,叶缘、叶形状、核黏离程度的性状值低于其他类群。综合各性状,此类群的叶子较大且圆,果实很大且圆,果核卵圆形大但出核率低,核仁大不饱满,出仁率低,核面粗糙。

2.4 相关性分析和主成分分析

表 5 表明,西伯利亚杏 23 个数量表型性状间大多存在显著和极显著相关性。与经济特性相关的核干重、仁干重、出核率、出仁率等性状与其他性状相关性较强。其中核干重与果纵径、果侧径、核纵径、核横径、核侧径、果横径、单果重、仁纵径、仁干重、核壳厚、仁横径、仁形指数呈极显著正相关关系($P < 0.01$),与叶柄长和出核率呈显著正相关关系($P < 0.05$),与出仁率、叶尖长、仁侧径呈极显著负相关关系($P < 0.01$)。仁干重与核干重、叶长、核横径、仁横径、叶柄长、叶宽、出仁率、果侧径、叶尖长、单果重、仁纵径呈极显著正相关关系($P < 0.01$),与核侧

径、果横径、果纵径、核纵径呈显著正相关关系($P < 0.05$),与核形指数呈极显著负相关关系($P < 0.01$)。出核率与核壳厚、核侧径呈极显著正相关关系($P < 0.01$),与核干重呈显著正相关关系($P < 0.05$),与出仁率、叶柄长、叶长呈极显著负相关关系($P < 0.01$)。出仁率与叶尖长、仁干重、叶长、叶宽呈极显著正相关关系($P < 0.01$),与仁侧径呈显著正相关($P < 0.05$),与核壳厚、核纵径、果纵径、核侧径、核干重、果横径、仁纵径、果侧径、核形指数、核横径、单果重、仁形指数、出核率均呈极显著负相关关系($P < 0.01$)。这表明核干重受果实和果核性状的影响较核仁性状大;仁干重受果核和核仁性状的影响较果实性状大;出核率主要受果核性状的影响;出仁率受果核性状的影响较核仁性状大,而在果核性状中,核壳厚对出仁率影响最大。

根据 134 份西伯利亚杏资源的 23 个数量表型性状,应用主成分分析法分析不同性状在资源构成中的重要性,得到其特征值的贡献率和累计贡献率如表 6 所示,可以看出,前 6 个主成分的累计贡献率达到 87.20%,包含了表型性状的大部分信息,可以代替原来 23 个性状的信息。第 1 主成分(PC1)主要包含果纵径、果横径、果侧径、单果重、核纵径、核横径、核侧径、核壳厚、核干重等,表征的是果实和果核性状;同理,第 2 主成分(PC2)主要表征叶和核仁性状;第 3 主成分(PC3)主要表征果形指数和出核率;第 4 主成分(PC4)主要表征仁形指数、核形指数、果形指数等形状因子;第 5 主成分(PC5)主要表征叶形指数;第 6 主成分(PC6)主要表征仁干重、出仁率、核干重等经济指标。PC1 和 PC2 的贡献率分别是 39.72% 和 20.44%,以 PC1 和 PC2 分别绘制不同数量性状主成分值散点图和不同种质主成分值样点图(图 2、图 3)。图 2 揭示了不同数量性状之间的关系,核干重与果纵径、果横径、果侧径、单果重、核纵径在 PC1 主成分值上基本一致,仁干重与核横径、仁侧径、叶尖长在 PC2 主成分值上基本一致;出核率与核侧径、核干重在 PC2 主成分值上基本一致;出仁率与仁干重和仁侧径在 PC2 主成分值上较接近,这些结果同各性状相关性分析结果相吻合。图 3 揭示了不同种质之间的差异,图中所显示的 4 个类群和种质资源聚类分析形成的 4 个类群性状特征一致,更直观反映了各种质的综合评价结果。从而在性状选择中达到简化变量的目的,在育种工作中根据主成分排序综合评价资源优劣更加便捷、高效。

表 5 西伯利亚杏表型性状间的相关性
Table 5 Correlation coefficients between phenotypic traits of Siberian apricot

表型性状 Phenotypic traits	叶长 LL	叶宽 LW	叶柄长 PL	叶尖长 LAL	叶形 指数 LSI	果形 指数 FSI	果侧径 FSD	果横径 FHD	果纵径 FVD	单果重 SFW	核纵径 NVD	核横径 NHD	核侧径 NSD	核壳厚 ST	核形 指数 NSI	核干重 NDW	出核率 NR	仁纵径 KVD	仁横径 KHD	仁侧径 KSD	仁形 指数 KSI	仁干重 KDW	
叶长	1																						
叶宽	0.920**	1																					
叶柄长	0.824**	0.838**	1																				
叶尖长	0.736**	0.596**	0.466**	1																			
叶形指数	-0.126	-0.492**	-0.326**	0.119	1																		
果纵径	-0.001	0.024	0.223**	-0.463**	-0.110	1																	
果横径	0.049	0.082	0.259**	-0.461**	-0.153	0.913**	1																
果侧径	0.200*	0.212*	0.378**	-0.293**	-0.134	0.896**	0.941**	1															
果形指数	-0.180*	-0.222**	-0.238**	0.120	0.198*	-0.135	-0.521**	-0.418**	1														
单果重	-0.024	0.012	0.194*	-0.460**	-0.147	0.795**	0.848**	0.805**	-0.398**	1													
核纵径	-0.050	-0.012	0.134	-0.330**	-0.084	0.747**	0.541**	0.578**	0.238**	0.469**	1												
核横径	0.304**	0.335**	0.388**	0.044	-0.154	0.502**	0.451**	0.631**	0.398**	0.398**	0.633**	1											
核侧径	0.087	0.136	0.159	-0.199*	-0.107	0.497**	0.496**	0.540**	0.417**	0.417**	0.577**	0.696**	1										
核壳厚	-0.316**	-0.270**	-0.226**	-0.498**	-0.017	0.444**	0.374**	0.336**	0.042	0.276**	0.471**	0.306**	0.447**	1									
核形指数	-0.413**	-0.301**	-0.266**	-0.461**	-0.157	0.232**	0.159	0.010	0.094	0.160	0.319**	-0.188*	0.066	0.214*	1								
核干重	0.054	0.091	0.185*	-0.270**	-0.101	0.699**	0.608**	0.690**	-0.033	0.602**	0.676**	0.657**	0.632**	0.458**	0.125	1							
出核率	-0.210**	-0.157	-0.221**	-0.168*	-0.027	0.015	-0.022	-0.034	0.123	-0.033	0.035	0.046	0.224**	0.404**	0.113	0.168*	1						
仁纵径	0.147	0.215**	0.298**	-0.088	-0.176*	0.585**	0.384**	0.487**	0.270**	0.290**	0.834**	0.674**	0.592**	0.323**	0.204*	0.582**	0.069	1					
仁横径	0.458**	0.495**	0.445**	0.396**	-0.196*	0.057	0.013	0.219**	0.063	-0.033	0.241**	0.765**	0.474**	0.038	-0.357**	0.274**	-0.026	0.460**	1				
仁侧径	0.276**	0.322**	0.170*	0.462**	-0.145	-0.493**	-0.487**	-0.384**	0.121	-0.497**	-0.249**	0.118	0.212*	-0.188*	-0.327**	-0.226**	0.003	0.044	0.566**	1			
仁形指数	-0.063	-0.023	-0.014	-0.199*	-0.073	0.358**	2.400**	0.191*	0.153	0.241**	0.389**	-0.016	0.104	0.113	0.370**	0.247**	0.083	0.386**	-0.264**	-0.245**	1		
仁干重	0.451**	0.408**	0.414**	0.329**	-0.055	0.174*	0.181*	0.338**	-0.098	0.247**	0.169*	0.448**	0.208*	-0.121	-0.287**	0.502**	-0.101	0.245**	0.420**	0.048	-0.029	1	
出仁率	0.298**	0.223**	0.158	0.504**	0.055	-0.536**	-0.443**	-0.397**	-0.052	-0.290**	-0.546**	-0.300**	-0.494**	-0.642**	-0.374**	-0.474**	-0.279**	-0.436**	0.020	0.194*	-0.285**	0.391**	1

* 与 ** 分别表示在 $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 水平上的显著相关

* and ** indicate significant correlation at $P < 0.05$ and $P < 0.01$, respectively

表 6 西伯利亚杏表型性状的主成分分析

Table 6 Principal component analysis of phenotypic traits of Siberian apricot

表型性状 Phenotypic traits	主成分 Component					
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
叶长 LL	0.01	0.86	-0.21	0.33	0.07	-0.17
叶宽 LW	0.05	0.87	-0.18	0.33	-0.20	0.00
叶柄长 PL	0.30	0.72	-0.23	0.35	0.01	-0.19
叶尖长 LAL	-0.60	0.67	0.03	0.21	0.12	-0.14
叶形指数 LSI	-0.15	-0.33	0.11	-0.13	0.77	-0.45
果纵径 FVD	0.95	-0.11	-0.10	0.10	0.04	-0.01
果横径 FHD	0.92	-0.08	-0.34	-0.04	-0.01	-0.04
果侧径 FSD	0.93	0.08	-0.27	-0.06	0.10	-0.03
果形指数 FSI	-0.30	-0.09	0.71	0.30	0.20	0.08
单果重 SFW	0.93	-0.04	-0.25	-0.11	0.04	-0.04
核纵径 NVD	0.85	-0.07	0.40	0.17	0.03	0.00
核横径 NHD	0.70	0.50	0.26	-0.33	0.11	-0.07
核侧径 NSD	0.76	0.25	0.34	-0.26	-0.13	-0.12
核壳厚 ST	0.70	-0.22	0.22	-0.22	-0.09	0.14
核形指数 NSI	0.31	-0.63	0.23	0.54	-0.10	0.08
核干重 NDW	0.88	0.15	0.16	-0.01	0.10	0.22
出核率 NR	-0.67	0.08	0.54	0.05	0.07	0.15
仁纵径 KVD	0.73	0.21	0.47	0.24	0.11	-0.04
仁横径 KHD	0.18	0.76	0.39	-0.38	0.00	-0.06
仁侧径 KSD	-0.42	0.50	0.49	-0.25	-0.34	-0.10
仁形指数 KSI	0.34	-0.05	0.14	0.71	0.03	0.01
仁干重 KDW	0.28	0.58	-0.10	-0.06	0.40	0.61
出仁率 KR	-0.75	0.31	-0.27	-0.05	0.26	0.27
特征值 Eigen value	9.13	4.70	2.38	1.85	1.12	0.87
贡献率 (%) Contributive percentage	39.72	20.44	10.35	8.03	4.89	3.78
累计贡献率 (%) Total percentage	39.72	60.16	70.50	78.53	83.42	87.20

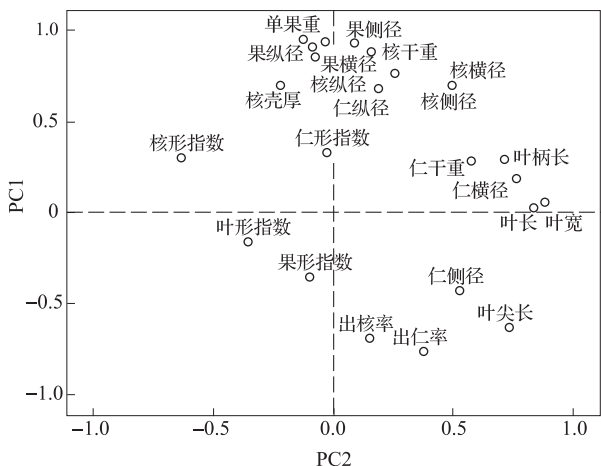


图 2 西伯利亚杏 23 个数量性状的
第 1 和第 2 主成分值散点图

Fig. 2 Principal component values of PC 1 and PC 2 of 23 quantitative traits of Siberian apricot

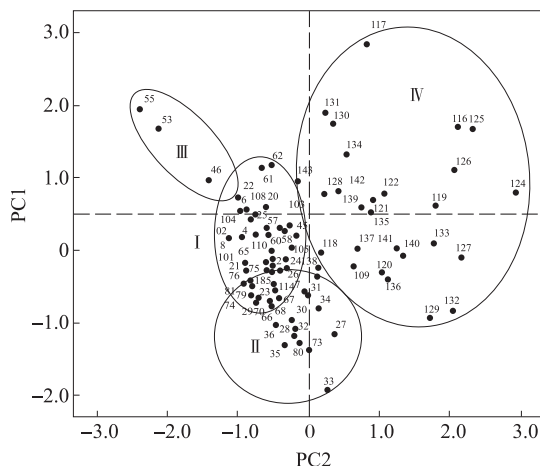


图 3 143 份西伯利亚杏资源数量性状的
第 1 和第 2 主成分值样点图

Fig. 2 Principal component values of PC 1 and PC 2 of 143 Siberian apricot resources based on quantitative traits

3 讨论

内蒙古地处我国北疆,属于温带大陆性季风气候,是西伯利亚杏的主要分布区之一,调查表明该地区西伯利亚杏资源主要分布于大兴安岭南麓东坡和阴山山脉中段大青山南坡的低山丘陵和灌丛草原上。本研究选取了 143 份保存于内蒙古呼和浩特林木良种繁育中心的西伯利亚杏资源,资源来自于 14 个涵盖该地区几乎所有西伯利亚杏分布区域的不同种源,样品范围广泛且消除了生态环境的影响;单株树龄都在 8 年以上,能够反映不同种源的资源特性;调查测定的表型性状共计 37 个,涉及叶片、果实、果核、核仁等,内容较为全面系统,从变异系数和 Shannon-weaver 多样性指数两个不同角度反映资源的多样性,结果更加准确可靠。变异系数越大说明性状在个体之间的差异越大,遗传多样性程度越高,该性状的选择潜力就越大^[23]。已有研究表明,自然杂交、不同地域间相互引种以及环境因素的影响造成了西伯利亚杏形态特征差异明显,变异类型较多^[24]。

内蒙古各地西伯利亚杏资源表型性状变异类型多、程度高、幅度大,存在丰富的多样性。14 个描述性表型性状中,只有仁味的“甜”类型没有出现,而河北青龙曾发现 6 株甜仁山杏^[25],说明“甜仁”在西伯利亚杏中为极少数的特殊变异;其他 49 个类型均有分布,变异系数在 12.98% ~ 30.88% 之间,多样性指数在 0.027 ~ 0.501 之间,其中核形主要为卵圆形、圆形和扁圆形,苗兴军^[26]的研究结果显示西伯利亚杏的核形为均一的卵圆形与本研究结果不符,这一差异可能与其只在赤峰一处采样所造成的狭隘性有关;23 个数量性状变异系数为 7.99% ~ 56.69%,高于新疆杏 (*Armeniaca vulgaris* Lam.) 的 6.16% ~ 54.48%^[27]和辽西山杏 (*Prunus sibirica* L.) 的 7.80% ~ 41.20%^[28],体现了较高度度的遗传变异,Shannon-weaver 多样性指数为 2.420 ~ 2.820,不同性状间的差异比新疆杏的 1.927 ~ 3.930 略小,体现了较高度度且较一致的多样性;各数量性状的极差相差均在 2 倍以上,展现较大的变异幅度,尤其以单果重、出仁率、仁干重、出核率与核壳厚等与经济相关的性状为甚;各部位数量性状变异程度大小顺序为叶 > 果 > 核 > 仁,多样性顺序为叶 > 核 > 仁 > 果,与辽西山杏的变异程度果 > 仁 > 叶 > 核有所不同,可能是取材范围的差异所致;西伯利亚杏的单果重、核干重、仁干重变异较大而纵径、横径、侧径、形态指数相对稳定,这与对无患子 (*Sapindus mukorossi*

Gaertn.)^[29]和毛楝 (*Cornus walteri* Wangerin)^[30]表型性状的研究结果一致。变异系数和 Shannon-weaver 多样性指数在反应种质资源的多样性时具有不同的内涵,但在内蒙古西伯利亚杏的不同性状上的表现基本一致,说明西伯利亚杏种质资源的表型性状无论从变异程度上,还是从分级和数量分布上均呈现丰富的多样性。这为西伯利亚杏拓展新种质,选育不同需求的品种提供重要种质基础。

系统的形态学性状描述和鉴定是种质资源研究的最基本的方法和最便捷的途径^[31]。赵海娟等^[32]对 219 份普通杏种质资源进行聚类分析,分为 6 个类群,分别体现了叶片和单果重的大小以及果实品质的好坏。本研究利用 37 个表型性状对 143 份西伯利亚杏种质进行聚类分析,得到 4 大类群,初步明确了各类群特征,可以满足不同育种目标。4 大类群中,第 I 类群可用于选育丰产、大仁型品种;第 II 类群可用于选育核壳薄,核面光滑,出仁率高的丰产品种;第 III 类群可用于抗寒性育种以及特殊用途核壳资源的选育;第 IV 类群的核仁性状优异,是选育仁用杏新品种的优良类群。

大果核、大核仁、高出核率、高出仁率是西伯利亚杏的主要选育目标,分析经济性性状与其他性状的相关性为良种选育指明方向。当相关系数大于 0.707 或小于 -0.707 时,可以用相关性状中的一个描述、推测另一个性状的变异情况^[33]。通过对西伯利亚杏表型性状的相关性分析发现,叶片、果实、果核、核仁各部分内部的性状相关性极显著,其中叶片和果实内部各性状间的相关系数都在 0.8 以上,且干核重、干仁重、出核率和出仁率等经济性性状与大多数性状间呈显著或极显著相关关系,这为西伯利亚杏表型性状的简化及主要性状的选择奠定了基础。本研究表明核干重受果实和果核性状的影响较大,选育大果核资源应从果实大、果核大、仁侧径小等性状特征出发;仁干重受果核和核仁性状的影响较大,选育大核仁资源应从果核大、核仁大、核形指数低等性状特征出发;出核率主要受果核性状影响,选育高出核率资源应从核侧径大、核干重大等性状特征出发;出仁率受果核性状的影响较大,选育高出仁率资源应从仁干重大、仁侧径大、核壳薄、核形指数小、仁形指数小等性状特征出发,这些结果同刘梦培等^[34]对甜仁仁用杏的研究结果相吻合。

本文对 37 个表型性状进行调查研究,全面系统但工作量大,筛选、简化性状指标对育种工作来说有

现实意义。主成分分析能将许多指标整合压缩成少量的反映较多信息的综合指标^[35-36]。对内蒙古西伯利亚杏 23 个数量表型性状进行主成分分析发现,前 6 个主成分累计方差贡献率已达到 87.20%,可以综合反映 23 个性状的信息。其中,果实、果核、核仁中表征大小和质量的性状贡献率大于形状指数的贡献率,这与表型性状遗传变异分析结果相吻合;基于前两个主成分值的性状散点图(图 2)和种质样点图(图 3)结果分别与性状相关性分析和种质聚类分析结果相吻合,说明了用主成分分析对表型指标进行简化、筛选是可行、有效的。综合相关性分析和主成分分析从 23 个数量性状中筛选出了 9 个有代表性的主要表型性状,依次为单果重、核干重、仁干重、核侧径、核壳厚、仁横径、果形指数、核形指数、仁形指数。该研究结果为西伯利亚杏资源评价和选育工作提供了简便、有效的理论依据。

综上所述,本研究全面系统地调查了内蒙古西伯利亚杏种质资源状况,并分析了其表型变异和多样性,利用形态特征对资源进行了聚类分析,得到了 4 个不同用途的育种类群,同时对 23 个数量性状进行相关性分析和主成分分析,找到出核率、出仁率等经济性性状的影响因素,并筛选出了 9 个主要表型性状简化了鉴定工作,为该地区的资源保护、优良资源的挖掘及新品种的选育提供了重要的物质基础和理论依据。

参考文献

- [1] 俞德浚. 中国植物志:第三十八卷[M]. 北京:科学出版社,1986:24-31
- [2] 余海滨. 不同地理种源西伯利亚杏在辽西地区引种适应性研究[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2014
- [3] 曹扬. 内蒙古自治区西伯利亚杏种质资源保存库建设分析[J]. 内蒙古林业调查设计,2014,37(3):103-105
- [4] 李因刚,柳新红,马俊伟,等. 浙江楠种群表型变异[J]. 植物生态学报,2014,38(12):1315-1324
- [5] 刘娟,廖康,曼苏尔·那斯尔,等. 新疆杏种质资源表型多样性研究[J]. 果树学报,2014,31(6):1047-1056
- [6] 张加强,陈常理,骆霞虹,等. 26 份黄麻种质资源产量性状的主成分聚类分析及其评价[J]. 植物遗传资源学报,2016,17(3):475-482
- [7] 安萌萌,王艳廷,宋杨,等. 野生秋子梨(*Pyrus ussuriensis* Maxim)果实性状的遗传多样性[J]. 中国农业科学,2014,47(15):3034-3043
- [8] 梁玉琴,韩卫娟,张嘉嘉,等. 河南省柿种质资源表型多样性研究[J]. 中国农业大学学报,2015,20(1):74-85
- [9] 蔡志翔,严娟,沈志军,等. 桃种质资源托叶长度评价与分级体系的建立[J]. 植物遗传资源学报,2016,17(3):461-465
- [10] 董承光,王娟,周小凤,等. 基于表型性状的陆地棉种质资源遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报,2016,17(3):438-446
- [11] 刁松峰,邵文豪,姜景民,等. 基于种实性状的无患子天然群体表型多样性研究[J]. 生态学报,2014,34(6):1451-1460
- [12] 郎莹,张光灿,张征坤,等. 不同土壤水分下西伯利亚杏光合作用光响应过程及其模拟[J]. 生态学报,2011,31(16):4499-4508
- [13] 刘梦培,杜红岩,傅建敏,等. 内蒙古居群抗寒西伯利亚杏繁殖生态学[J]. 西北植物学报,2014,34(6):1143-1151
- [14] 包文泉,乌云塔娜,尹明宇. 内蒙古野生西伯利亚杏优良单株果核性状的遗传变异分析[J]. 经济林研究,2014,32(4):13-17
- [15] Abd El-Aal M H, Hamza M A, Rahma E H. Invitro digestibility, physico-chemical and functional properties of apricot kernel proteins[J]. Food Chem, 1986, 19:197-211
- [16] 张睿,魏安智,杨恒,等. 甜仁山杏优株幼果抗寒性研究[J]. 西北植物学报,2005,25(12):2510-2513
- [17] 李明,赵忠,杨吉安,等. 黄土高原不同县域西伯利亚杏种质遗传多样性研究[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2011,39(2):143-149
- [18] 刘青华,刘明国,赵桂玲,等. 16 个西伯利亚杏无性系 POD 及 PPO 同工酶的比较研究[J]. 辽宁林业科技,2007,34(4):16-18
- [19] 李迎超,王利兵,尹杰,等. 西伯利亚杏杏核自然变异与类型划分[J]. 核农学报,2013,27(9):1371-1377
- [20] Wang Z, Kang M, Liu H, et al. High-level genetic diversity and complex population structure of Siberian apricot (*Prunus sibirica* L.) in China as revealed by nuclear SSR markers[J]. PLoS One, 2014, 9(2):1-13
- [21] 刘宁,刘威生. 杏种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京:中国农业出版社,2006:9-26
- [22] 张加延,张钊. 中国果树志:杏卷[M]. 北京:中国林业出版社,2003:93-559
- [23] 聂石辉,彭琳,王仙,等. 鹰嘴豆种质资源农艺性状遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报,2015,16(1):64-70
- [24] 李丽锋,刘明国,李立新. 辽西地区西伯利亚杏立地条件的主成分数量化分析[J]. 生物数学学报,2008,23(4):687-694
- [25] 王同坤,张立彬,刘桂森,等. 山杏新品种“甜仁山杏”[J]. 园艺学报,2004,31(6):834
- [26] 苗兴军. 山杏苦杏仁苷含量差异及苦杏仁油安全性评价[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2014
- [27] 刘娟,廖康,刘欢,等. 新疆野杏种质资源表型性状多样性研究[J]. 西北植物学报,2015,35(5):1021-1030
- [28] 赵桂玲,刘明国,刘立新,等. 辽西高产西伯利亚杏间接选种数量性状指标的确定[J]. 辽宁林业科技,2004,31(2):5-8
- [29] 刁松峰,邵文豪,姜景民,等. 无患子实生群体种实表型性状变异研究[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2014,42(5):75-83
- [30] 康永祥,赵宝鑫,贡玉洁,等. 毛桃天然群体种实表型多样性研究[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2011,39(9):107-117
- [31] He C, Poysa V, Yu K. Development and characterization of simple sequence repeat (SSR) markers and their use in determining relationships among *Lycopersicon esculentum* cultivars[J]. Theor Appl Genets, 2003, 106(2):363-373
- [32] 赵海娟,刘威生,刘宁,等. 普通杏(*Prunus armeniaca*)种质资源数量性状的遗传多样性分析[J]. 果树学报,2014,31(1):20-29
- [33] Skinner D Z, Baughan G R, Auricht G, et al. A method for the efficient management and utilization of large germplasm collections[J]. Crop Sci, 1999, 39(4):1237-1242
- [34] 刘梦培,杜红岩,朱高浦,等. 甜仁用杏果实形态主要评价指标的选择[J]. 中南林业科技大学学报,2014,34(3):38-42
- [35] 郭宝林,杨俊霞,李永慈,等. 主成分分析法在仁用杏品种主要经济性状选种上的应用研究[J]. 林业科学,2000,37(6):53-56
- [36] 董明亮,高嘉玥,孙文婷,等. 北京市华北落叶松优树群体遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报,2016,17(4):616-624