

内蒙古西伯利亚杏核仁表型变异及优株选择

尹明宇, 刘慧敏, 包文泉, 赵罕, 乌云塔娜

(中国林业科学研究院经济林研究开发中心, 河南 郑州 450003)

摘要: [目的]以西伯利亚杏优良单株为选择目标,结合地理生态因子对核仁表型和成分性状的变异规律进行研究,明确内蒙古西伯利亚杏核仁形态及成分的变异特点和地理变异规律,并在此基础上进行不同类型优良单株的选择。[方法]结合单株产量高、生长势好等指标,对来自内蒙古地区的10个西伯利亚杏种源中筛选出的217个单株的核纵径、核横径、核侧径、核壳厚、核形指数、核干质量、仁纵径、仁横径、仁侧径、仁形指数、仁干质量、出仁率、产仁量、粗脂肪、粗蛋白、苦杏仁苷等16个形态及成分性状进行方差分析、多重比较、相关分析、聚类分析、主成分分析,筛选不同类型的优良单株。[结果]表明:(1)西伯利亚杏各性状存在较大变异,变异范围为8.94%~68.27%,核形态的变异系数(16.87%)大于仁成分(14.61%)和仁形态(14.14%),质量和成分性状的变异程度高于大小和形状指数。(2)产仁量、仁干质量、出仁率、粗脂肪、粗蛋白、苦杏仁苷等主要经济性状在种源间差异极显著,将种源分为5类,第Ⅰ类群产仁量高、仁大;第Ⅱ类群出仁率高,粗蛋白含量高;第Ⅲ类群粗脂肪和苦杏仁苷含量高;第Ⅳ类群各项指标都较低;第Ⅴ类群产仁量高、粗脂肪和苦杏仁苷含量高。(3)核、仁性状之间存在广泛的相关性,且产仁量、苦杏仁苷、粗脂肪分别与纬度、经度、年平均气温密切相关。(4)前6个主成分贡献率达到80.716%,按5%入选率分别筛选出9种类型的优良单株各11株,各类型优株主成分得分值的现实增益为146.12%~199.22%,具有显著的优异性。[结论]内蒙古西伯利亚杏在广泛且多样的地理环境中形成了丰富的核仁表型和成分的变异,且不同种源以及不同个体间存在极显著差异;利用主要经济性状对种源进行了聚类分析,得到5个具有不同经济特征的育种类群;主要经济性状与表型以及地理环境因素密切相关。

关键词: 西伯利亚杏; 形态性状; 仁成分; 优株选择

中图分类号: S722.5

文献标识码: A

文章编号: 1001-1498(2017)06-0961-08

Phenotypic Variation and Superior Individual Selection of Siberian Apricot (*Armeniaca sibirica*) in Inner Mongolia

YIN Ming-yu, LIU Hui-min, BAO Wen-quan, ZHAO Han, WUYUN Ta-na

(Non-Timber Forest Research and Development Center of Chinese Academy of Forestry, Zhengzhou 450003, Henan, China)

Abstract: [Objective] The variations in morphology and composition of *Armeniaca sibirica* and their relationship with distributions were studied in order to select the superior individuals with different types based on these variations. [Method] The vertical diameter, horizontal diameter, side diameter, sheel thickness, shape index, dry mass of nutlet, the vertical diameter, horizontal diameter, side diameter, shape index, dry mass, rate, yield, ether extract of kernel, and the crude protein and nitrilosides of 217 individuals selected from 10 populations in Inner Mongolia were surveyed based on growth vigor and yield. Variance analysis, multiple comparisons, cluster analysis, correlation analysis, principal component analysis were applied to analyze 16 phenotypic traits. Then the superior individuals with different types were selected. [Result] (1) The results showed that there existed large variations in

收稿日期: 2016-12-20 修回日期: 2017-03-30

基金项目: 国家“十二五”课题支撑仁用杏和巴旦杏高效生产研究与示范(2013BAD14B02)。

作者简介: 尹明宇(1992—),男,河南新乡人,在读硕士;E-mail:yymy920916@163.com。

* 通讯作者: 乌云塔娜(1975—),女,内蒙古通辽人,教授,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。

nutlet and kernel traits, and the variations coefficient ranged from 8.94% to 68.27%. The variation coefficient of nutlet morphological traits (16.87%) was higher than that of kernel morphological traits (14.14%) and kernel composition (14.61%). The variation degrees of mass and composition were higher than that of the size and shape. (2) There were significant differences in phenotypic variations among populations. The populations could be divided into five groups according to the cluster analysis based on kernel yield, weight of dry kernel, kernel rate, ether extract, crude protein, and nitrilosides. The kernel yield and dry kernel weight of group I were high, higher kernel rate and crude protein were appeared in group II, the ether extract and nitrilosides of group III were higher, all the traits of group IV were lower, the higher kernel yield, ether extract and nitrilosides were appeared in the group V. (3) Significant correlation was observed among traits. The kernel yield, nitrilosides and ether extract were respectively correlated to annual mean air temperature, latitude and longitude. (4) Principal component analysis showed that six principal components added up to 80.716% of the variation. The superior individuals of nine types are selected, in top 5% (11 individuals). The realized gains of superior individuals in each type were 146.12% ~ 199.22%. [**Conclusion**] There are abundant phenotypic diversity and composition diversity of *A. sibirica* in Inner Mongolia adapted to diverse site conditions. And there are significantly differences in phenotypic variation among populations and individuals. The cluster analysis of main economic characters divided populations into five breeding groups with different economic characteristics. Significant correlation was observed among main economic characters, phenotypic traits and geographical environment factors.

Keywords: *Armeniaca sibirica*; morphological traits; kernel composition; superior individual selection

西伯利亚杏 (*Armeniaca sibirica* (L.) Lam.) 为蔷薇科李亚科杏属植物^[1], 在我国主要分布于内蒙古、辽宁等省区的低山丘陵和灌木草原上, 抗逆性强, 是抗旱、抗寒(可低至 -35℃)、抗风沙的“先锋”树种^[2]。同时, 西伯利亚杏也具有极高的附加价值, 其中杏仁富含脂肪酸(45.64%)、蛋白质(28%)、苦杏仁苷(4.5%)^[3]、维生素、无机盐、膳食纤维及人体所需的微量元素, 是重要的木本油料树种和植物蛋白资源, 西伯利亚杏种植是内蒙古地区防风固沙、脱贫致富的重要产业之一。西伯利亚杏多处于野生半野生状态, 生产上缺乏良种, 目前对西伯利亚杏的研究多集中在表型性状变异^[4]、生殖生态^[5]、油成分^[6]、蛋白功能特性^[7]、抗寒性^[8]等方面。在优株选育方面, 有专家对辽西^[9]和庆阳^[10]地区进行了晚花、丰产优株选择, 对于苦杏仁主产区内蒙古的种质资源缺少全面系统的研究。

植物表型变异是基因表达和所处环境交互作用的结果, 研究表型变异格局及其与地理生态因子的关系, 有助于了解遗传因素和环境因素在植物生态适应中的相互作用^[11]。本研究以西伯利亚杏优良单株为选择目标, 以内蒙古地区 10 个种源为研究对象, 结合地理生态因子对核仁表型和成分性状的变异规律进行研究, 应用主成分分析法评选不同育种方向的优良单株, 为西伯利亚杏仁用定向良种选育

工作提供基础。

1 材料和方法

1.1 材料来源和样品采集

试验材料取自内蒙古林木良种繁育中心, 中心收集保存了来自内蒙古各地的西伯利亚杏资源(采集优树种子播种繁殖), 结合单株产量高、生长势好等指标筛选出 217 株初选单株为材料, 种源地和单株数量见表 1。于果实成熟的 7—8 月份对试验材料进行采集测定, 每 1 单株从东西南北 4 个方向随机采摘健康、无病虫害的果实 40 个, 低温保鲜带回实验室用于测量核形态、仁形态和仁成分, 采全树果实测算产仁量(仁干质量)。

1.2 核、仁形态性状及仁成分的测定

参照《杏种质资源描述规范和数据标准》^[12]和《中国果树志: 杏卷》^[13]选择与经济特性紧密相关的 16 个表型性状。用电子天平精确到 0.01 g 测核干质量、仁干质量, 用游标卡尺精确到 0.01 mm 测核纵径、核横径、核侧径、核壳厚、仁纵径、仁横径、仁侧径。根据核的纵径、横径, 仁的纵径、横径分别计算核形指数和仁形指数。根据核干质量和仁干质量计算出仁率。用电子秤精确到 0.1 g 测量单株仁干质量得到产仁量。粗蛋白含量参照 GB/T14772 - 2008 方法, 取 0.3 g 研磨后杏仁样品, 加 2 g 催化剂(硫酸

表1 西伯利亚杏10个种源的地理位置及主要气候因子

Table 1 Geographical locations and main climatic conditions for 10 *Armeniaca sibirica* populations

种群 Population	数量 Number	编号 Populat - ion ID	纬度 Latitude (N)	经度 Longitude (E)	年平均气 温 AMAT /℃	年日照时数 AMSD /h	海拔 Altitude / m	年降水量 AP /mm	无霜期 Frost-free days/d
科左后旗 HLRB	18	P1	43.62°	122.58°	5.8	2 889	308	452	148
巴林右旗 BRB	23	P2	43.52°	118.65°	4.9	2 882	1 100	358	121
扎赉特旗 JLB	6	P3	47.35°	123.63°	3.4	3 000	362	400	125
科右中旗 HRMB	13	P4	45.08°	112.78°	6.3	2 900	876	355	122
察尔森镇 CT	11	P5	46.20°	122.05°	3.9	3 100	686	485	120
扎鲁特旗 JUB	30	P6	44.92°	121.45°	6.6	2 883	224	380	130
万家沟 WJG	27	P7	40.68°	111.15°	5.9	2 872	1 050	400	157
敖汉旗 AHB	9	P8	42.03°	119.87°	6.1	2 800	575	407	140
凉城县 LC	24	P9	40.52°	112.48°	5.0	2 900	1 400	400	120
和林格尔县 HC	56	P10	40.38°	111.82°	6.2	2 942	1 160	393	118

Notes: AMAT, annual mean air temperature; AMSD, annual mean sunshine duration; AP, annual precipitation; AHB, Aohan Banner; BRB, Bairin Right Banner; CT, Charlson town; HC, Horinger County; HLRB, Horqin Left Rear Banner; HRMB, Horqin Right Wing Middle Banner; JLB, Jalaid Banner; JUB, Jarud Banner; LC, Liangcheng County; WJG, Tumotuzuqi Wanjiagou.

铜与硫酸钾 1:30 混匀)和 7 mL 浓硫酸,用消化炉(上海瑞正仪器设备有限公司)消化 1 h 后冷却定容至 50 mL 得到样液,再利用 SEAL AutoAnalyzer3 流动注射分析仪进行测定;粗脂肪含量参照 GB/T17377-2008 方法,利用索氏提取装置(欣维尔公司)测定,称取一定量种仁于滤纸筒中,包好后置于索氏提取器,并加入适量石油醚(30~60℃),加热抽提,抽提至提取器内的石油醚用玻璃片检查点滴实验无油迹为止。然后旋转蒸发仪回收乙醚,抽提瓶于 105℃ 干燥以除去残余的石油醚,冷却后即得油样;苦杏仁苷含量利用高效液相色谱仪 Shimadzu LC-20AD 来测定^[3],色谱柱:Hypersil C18 (4.6 mm × 250 mm, 5 μm),柱温:40℃,紫外吸收检测器检测波长:210 nm 色谱条件;流动相:甲醇:乙腈:水:冰醋酸=1:1:16:0.02 流速:0.8 mL·min⁻¹;在以上色谱条件下苦杏仁苷峰与相邻组分色谱峰得到完全分离,理论板数按苦杏仁苷色谱峰计算(柱长 150 mm)。成分测定均进行 3 次重复。

数据处理在 Excel 2010 中完成,方差分析、多重比较、相关分析、聚类分析、主成分分析等都在 SPSS 20.0 软件中完成。

2 结果与分析

2.1 核、仁性状的变异

西伯利亚杏核、仁的形态和仁主要成分的特征状况见表 2,对 16 个核、仁性状进行多样性分析的结果表明,西伯利亚杏核、仁性状的平均变异系数为 18.63%,各性状的变化范围为 8.94%~68.27%。

其中产仁量的变异系数(68.27%)最大,各单株产量变化在 27.84~854.41 g 之间,其次为核壳厚(31.26%)、核干质量(27.11%)和仁干质量(21.50%),变异系数均大于 20%;仁形指数的变异系数(8.94%)最小,变化在 0.97~1.57 之间,其次为核形指数(9.02%)、粗脂肪(9.12%),变异系数均小于 10%;仁成分中粗蛋白(18.08%)和苦杏仁苷(16.63%)的变异系数较大而粗脂肪变异系数(9.12%)较小。核形态的变异系数(16.87%)大于仁形态的变异系数(14.14%),而仁成分的变异系数(14.61%)与仁形态相近。综上所述,西伯利亚杏产仁量、核干质量、仁干质量、出仁率、仁成分等主要经济性状变异丰富,具有较大选择潜力。

2.2 种源间主要经济性状的变异和聚类

表 3 为西伯利亚杏的主要经济性状在 10 个种源间的变异分析。经 F 值检验,6 个主要经济性状在种源间都存在极显著差异($P < 0.01$)。各性状的平均值、标准偏差和多重比较结果表明,仁干质量在种源间的变化在 0.28~0.40 g 之间,较大的是察尔森(P5)、敖汉旗(P8)、凉城(P9)种源;出仁率在种源间的变化在 31.36%~46.72%之间,较大的是扎鲁特旗(P6)、科右中旗(P4)种源;产仁量在种源间的变化在 115.17~276.46 g 之间,最大的是敖汉旗(P8)种源;粗脂肪在种源间的变化在 45.65%~51.47%之间,最大的是和林格尔县(P10)种源;粗蛋白在种源间的变化在 20.93%~30.55%之间,最大的是察尔森(P5)种源;苦杏仁苷在种源间的变化在 4.75%~5.96%之间,最大的是和林格尔县(P10)

表2 西伯利亚杏核、仁表型的多样性

Table 2 Diversity of nutlet and kernel phenotypic traits of *Armeniaca sibirica*

性状 Traits	均值 Mean	标准差 SD	极小值 MIN	极大值 MAX	极差 Range	变异系数 CV/%	变异系数均值 Mean CV /%
核纵径 NVD /mm	17.37	2.08	10.02	24.46	14.44	11.96	
核横径 NHD /mm	15.72	1.81	11.20	22.24	11.04	11.54	
核侧径 NSD /mm	9.66	1.00	7.29	16.34	9.05	10.35	
核壳厚 ST /mm	1.06	0.33	0.40	2.05	1.65	31.26	16.87
核形指数 NSI	1.12	0.10	0.86	1.44	0.58	9.02	
核干质量 NDM /g	0.90	0.25	0.45	2.00	1.55	27.11	
仁纵径 KVD /mm	12.64	1.41	7.10	16.82	9.72	11.14	
仁横径 KHD /mm	10.26	1.13	6.54	13.59	7.05	11.06	
仁侧径 KSD /mm	6.33	0.82	4.42	9.13	4.71	13.00	
仁形指数 KSI	1.24	0.11	0.97	1.57	0.60	8.94	14.14
仁干质量 KDM /g	0.35	0.08	0.20	0.67	0.47	21.50	
出仁率 KR/%	39.76	7.62	20.16	56.99	36.83	19.17	
产仁量 KY/g	257.89	176.07	27.84	854.41	826.57	68.27	-
粗脂肪 EE/%	48.70	4.44	29.32	57.65	28.33	9.12	
粗蛋白 CP/%	25.45	4.60	14.89	38.97	24.08	18.08	14.61
苦杏仁苷 Nitrilosides /%	5.29	0.88	3.00	7.77	4.77	16.63	

Notes: CP, crude protein; EE, ether extract; KDM, kernel dry mass; KHD, kernel horizontal diameter; KR, kernel rate; KSD, kernel side diameter; KSI, kernel shape index; KVD, kernel vertical diameter; KY, kernel yield; NDM, nutlet dry mass; NHD, nutlet horizontal diameter; NSD, nutlet side diameter; NSI, nutlet shape index; NVD, nutlet vertical diameter; ST, sheel thickness; * * , $P < 0.01$.

表3 西伯利亚杏 10 个种源核仁主要经济性状的平均值、标准偏差及多重比较

Table 3 The mean value, standard deviation and multiple comparison of nutlet and kernel traits of 10 *Armeniaca sibirica* populations

种群 Population	仁干质量 KDM /g	出仁率 KR /%	产仁量 KY/g	粗脂肪 EE /%	粗蛋白 CP/%	苦杏仁苷 Nitrilosides /%
P1	0.35 ± 0.08 ^{bc}	39.76 ± 4.26 ^b	115.17 ± 83.06 ^a	47.48 ± 3.72 ^a	28.39 ± 3.88 ^{de}	4.99 ± 0.73 ^{ab}
P2	0.36 ± 0.05 ^{bc}	41.02 ± 5.53 ^b	195.99 ± 137.45 ^{ab}	45.65 ± 4.93 ^a	28.41 ± 3.47 ^{de}	4.75 ± 0.74 ^a
P3	0.28 ± 0.06 ^a	41.00 ± 5.29 ^b	131.97 ± 79 ^a	47.06 ± 4.07 ^a	23.35 ± 2.16 ^{ab}	4.75 ± 1.11 ^a
P4	0.38 ± 0.06 ^{bc}	46.22 ± 5.36 ^c	164.72 ± 106.68 ^{ab}	48.48 ± 2.84 ^{ab}	27.35 ± 3.64 ^{cd}	4.9 ± 0.81 ^{ab}
P5	0.4 ± 0.1 ^c	43.79 ± 5.55 ^{bc}	122.41 ± 103.98 ^a	45.96 ± 3.32 ^a	30.55 ± 3.75 ^e	5.03 ± 0.67 ^{ab}
P6	0.33 ± 0.08 ^{ab}	46.72 ± 5.34 ^c	166.69 ± 75.46 ^{ab}	50.73 ± 3.32 ^{bc}	25.28 ± 3.59 ^{bc}	5.46 ± 0.66 ^{bc}
P7	0.35 ± 0.07 ^{bc}	40.53 ± 7.65 ^b	184.48 ± 116.32 ^{ab}	50.99 ± 2.97 ^{bc}	22.77 ± 3.71 ^{ab}	5.49 ± 0.61 ^{bc}
P8	0.4 ± 0.08 ^c	40.44 ± 2.05 ^b	276.46 ± 5.56 ^b	47.76 ± 2.96 ^a	26.6 ± 2.86 ^{cd}	5.3 ± 0.74 ^{ab}
P9	0.4 ± 0.1 ^c	43.38 ± 8.11 ^{bc}	229.6 ± 127.01 ^{ab}	48.01 ± 3.6 ^a	26.6 ± 4.42 ^{cd}	5.35 ± 0.93 ^{ab}
P10	0.32 ± 0.06 ^{ab}	31.36 ± 5.48 ^a	251.98 ± 172.04 ^{ab}	51.47 ± 3.24 ^c	20.93 ± 2.84 ^a	5.96 ± 0.79 ^c
F 值 F value	4.338 **	12.947 **	2.672 **	8.931 **	18.620 **	7.323 **

注:种源编号见表1。表型性状缩写见表2。同列不同字母表示在0.05水平上差异显著。

Notes: See Table 1 for numbers of populations, Table 2 for abbreviations of phenotypic traits, and different letters in the same column indicated significant difference at 0.05 level.

种源。对10个种源用组间连接法进行聚类,得到聚类图(图1),根据核、仁主要经济性状可以分为5类,第I类群包含敖汉旗(P8)、凉城(P9)种源,特点是产仁量高、仁大;第II类群包含科左后旗(P1)、察尔森(P5)、巴林右旗(P2)、科右中旗(P4)种源,特点是出仁率高,粗蛋白含量高;第III类群包含扎鲁特旗(P6)、万家沟(P7)种源,特点是粗脂肪和苦杏仁苷含量高;第IV类群包含扎赉特旗(P3)种源,各项

指标都较低;第V类群为和林格尔县(P10),产仁量高、粗脂肪和苦杏仁苷含量高。

2.3 主要经济性状与形态及地理生态因子的相关性

表4表明,西伯利亚杏6个主要经济性状与形态性状相关性较强。其中产仁量与核横径、核壳厚呈极显著正相关关系($P < 0.01$),与核干质量、核侧径、仁纵径、仁横径呈显著正相关关系($P < 0.05$);仁干质量与仁纵径、仁横径、仁侧径、核干质量、核纵

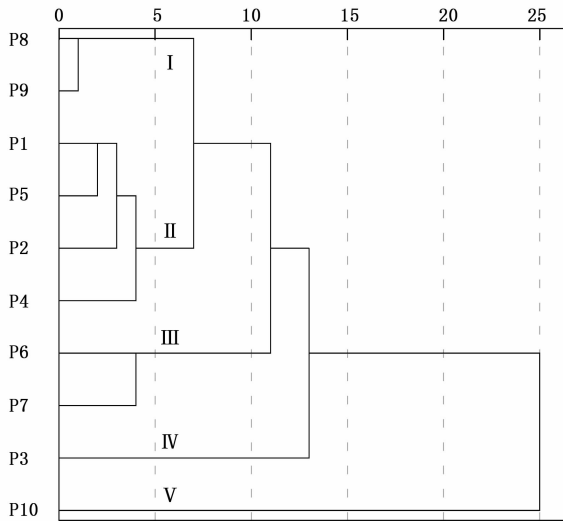


图1 基于杏仁性状的西伯利亚杏种源聚类分析
(种源同表1)

Fig. 1 Cluster dendrogram of *Armeniaca sibirica* populations based on the nutlet and kernel traits (Population see Table 1)

径、核横径、核侧径呈极显著正相关关系 ($P < 0.01$); 出仁率与仁干质量和仁侧径呈极显著正相关关系 ($P < 0.01$), 与核纵径、核横径、核侧径、核干质量、核壳厚、仁纵径呈极显著负相关关系 ($P < 0.01$)。仁成分方面, 粗脂肪与仁纵径、核纵径、核壳厚呈极显著正相关关系 ($P < 0.01$), 与核侧径呈显著正相关关系 ($P < 0.05$); 粗蛋白与出仁率呈极显著正相关关系 ($P < 0.01$), 与仁干质量呈显著正相关关系 ($P < 0.05$), 与核纵径、核侧径、核壳厚、仁纵径呈极显著负相关关系 ($P < 0.01$), 与核干质量、核形指数呈显著负相关关系 ($P < 0.05$); 苦杏仁苷与核纵径、核侧径、核壳厚、核干质量、粗脂肪呈极显著正相关关系 ($P < 0.01$), 与仁纵径呈显著正相关关系 ($P < 0.05$), 与出仁率和粗蛋白呈极显著负相关关系 ($P < 0.01$)。这表明产仁量和出仁率受核性状的影响较仁性状大; 仁干质量受仁性状的影响较核性状大; 粗脂肪和苦杏仁苷正相关且都与粗蛋白负相关。

表4 西伯利亚杏主要经济性状与形态及地理生态因子的相关性分析

Table 4 Analysis of correlation between economic characters and geo-ecological factors in *Armeniaca sibirica* populations

性状 Traits	仁干质量 KDM	出仁率 KR	粗脂肪 EE	粗蛋白 CP	苦杏仁苷 Nitrilosides	产仁量 KY
核纵径 NVD	0.437 **	-0.371 **	0.247 **	-0.246 **	0.177 **	0.134
核横径 NHD	0.407 **	-0.259 **	0.080	-0.029	0.075	0.220 **
核侧径 NSD	0.313 **	-0.327 **	0.157 *	-0.179 **	0.223 **	0.187 *
核壳厚 ST	0.015	-0.588 **	0.186 **	-0.334 **	0.312 **	0.213 **
核形指数 NSI	-0.002	-0.114	0.100	-0.136 *	-0.046	-0.071
核干质量 NDM	0.609 **	-0.541 **	0.080	-0.145 *	0.208 **	0.162 *
仁纵径 KVD	0.519 **	-0.218 **	0.261 **	-0.227 **	0.138 *	0.155 *
仁横径 KHD	0.650 **	-0.090	0.111	-0.029	0.037	0.154 *
仁侧径 KSD	0.335 **	0.332 **	0.097	0.103	-0.054	0.092
仁形指数 KSI	0.011	-0.111	0.029	-0.115	0.063	-0.006
仁干质量 KDM	1	0.175 **	-0.077	0.164 *	-0.073	0.112
出仁率 KR		1	-0.111	0.246 **	-0.316 **	-0.069
粗脂肪 EE			1	-0.676 **	0.198 **	0.054
粗蛋白 CP				1	-0.338 **	-0.070
苦杏仁苷 Nitrilosides					1	0.046
纬度 Latitude	-0.174	0.517	-0.532	0.467	-0.709 *	-0.810 **
经度 Longitude	-0.048	0.500	-0.582	0.581	-0.713 *	-0.703 *
年平均气温 AMAT	-0.002	0.138	0.703 *	-0.396	0.452	0.459
年日照时数 AMSD	0.297	0.014	-0.103	0.220	-0.109	0.230
海拔 Altitude	0.231	-0.425	0.266	-0.319	0.519	0.629
年降雨量 AP	-0.253	-0.401	-0.178	0.005	0.025	-0.300
无霜期 Frost-free season	0.332	0.1	-0.107	0.349	-0.027	-0.049

注:性状缩写见表2。*与**分别表示在 $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 水平上的显著相关。

Notes: See Table 2 for abbreviations of traits. AMAT, annual mean air temperature; AMSD, annual mean sunshine duration; AP, annual precipitation. * and ** indicate significant correlation at $P < 0.05$ and $P < 0.01$, respectively.

6个主要经济性状与种源地理生态因子间的相关性密切, 产仁量与纬度呈极显著负相关关系 ($P < 0.01$), 与经度呈显著负相关关系 ($P < 0.05$); 粗脂肪与年平均气温呈显著正相关关系 ($P < 0.05$); 苦

杏仁苷与经度、纬度呈显著负相关关系 ($P < 0.05$)。这表明内蒙古西南部地区较东北部地区种源的产仁量、苦杏仁苷和粗脂肪含量高, 而出仁率和粗蛋白含量较低, 年平均气温、海拔越高、年日照时数越低的

种源粗脂肪和苦杏仁苷含量越高,粗蛋白含量越低。

2.4 主成分分析及优株选择

对西伯利亚杏核、仁性状进行主成分分析(表5),第一主成分(PC-1)主要包含核干质量、核纵径、仁纵径、仁横径、核横径、核侧径、核壳厚等,表征核、仁表型;第二主成分(PC-2)主要包含仁干质量、粗蛋白、出仁率等,表征粗蛋白;第三主成分(PC-3)主要包含核形指数、仁形指数、出仁率等,表征核、仁形

态;第四主成分(PC-4)主要包含粗脂肪、仁侧径等,表征粗脂肪;第五主成分(PC-5)表征产仁量;第六主成分(PC-6)主要包含苦杏仁苷、核侧径等,表征苦杏仁苷。根据主成分得分进行优株选择^[14],从表6可以看出,以5%入选率筛选出不同类型的优良单株,现实增益均值为159.26%,最高为高产型优良单株(199.22%),最低为高苦杏仁苷型优良单株(146.12%),具有显著的优异性。

表5 西伯利亚杏核仁性状的主成分分析

Table 5 Principal component analysis of nutlet and kernel traits of *Armeniaca sibirica*

性状 Traits	主成分 Principal component					
	PC-1	PC-2	PC-3	PC-4	PC-5	PC-6
核纵径 NVD	0.881	-0.086	0.280	-0.229	-0.050	-0.081
核横径 NHD	0.685	0.320	-0.270	-0.022	-0.019	-0.282
核侧径 NSD	0.632	0.057	-0.155	0.259	0.142	0.405
核壳厚 ST	0.632	-0.372	-0.395	-0.081	0.131	0.095
核形指数 NSI	0.103	-0.440	0.727	-0.207	0.075	0.170
核干质量 NDM	0.883	0.049	-0.171	-0.217	-0.086	0.048
仁纵径 KVD	0.869	0.057	0.372	-0.112	-0.008	-0.059
仁横径 KHD	0.749	0.519	0.021	0.084	-0.171	-0.071
仁侧径 KSD	0.101	0.489	0.399	0.510	0.176	0.338
仁形指数 KSI	0.193	-0.582	0.485	-0.316	0.224	0.007
仁干质量 KDM	0.574	0.623	0.228	-0.115	-0.080	0.057
出仁率 KR	-0.471	0.511	0.489	0.228	0.047	-0.068
产仁量 KY	0.258	0.076	-0.144	0.165	0.862	-0.260
粗脂肪 EE	0.344	-0.377	0.234	0.646	-0.185	-0.314
粗蛋白 CP	-0.345	0.589	-0.051	-0.520	0.145	0.239
苦杏仁苷 Nitrilosides	0.307	-0.395	-0.235	0.296	-0.046	0.490
特征值 Eigen value	5.146	2.600	1.847	1.464	0.973	0.885
贡献率 Contributive percentage	32.162	16.248	11.541	9.148	6.084	5.532
累计贡献率 Total percentage	32.162	48.410	59.951	69.100	75.184	80.716

注:性状缩写见表2。Notes:See Table 2 for abbreviations of traits.

表6 西伯利亚杏9种不同类型优良单株的主成分得分和现实增益

Table 6 The principal component scores and realized genetic gains of 9 types of *Armeniaca sibirica* superior individuals

排名 Rank	高产型 High-yield type		高脂肪型 High-ether extract type		高蛋白型 High-protein type		高苦杏仁苷型 High-nitrilosides type		高产高脂肪型 High-yield-ether extract type		高产高蛋白型 High-yield-protein type		高产高苦杏仁苷型 High-yield-nitrilosides type		高产高脂肪高苦杏仁苷型 High-yield-ether extract-nitrilosides type		复合型 Compound type	
	株号 No.	Y5	株号 No.	Y4	株号 No.	Y2	株号 No.	Y6	株号 No.	Y45	株号 No.	Y25	株号 No.	Y56	株号 No.	Y456	株号 No.	Y
1	177	3.533	209	2.339	64	2.613	150	3.428	213	0.302	150	0.494	150	0.287	150	0.413	76	1.311
2	213	3.043	80	2.219	150	2.440	17	2.596	209	0.253	106	0.489	17	0.195	209	0.348	150	1.294
3	207	3.038	105	2.069	106	2.296	128	2.201	177	0.248	64	0.425	213	0.182	213	0.298	151	1.029
4	169	3.036	125	1.987	130	2.135	194	1.803	150	0.223	105	0.370	212	0.181	105	0.253	130	0.915
5	212	2.951	95	1.984	105	2.101	209	1.718	105	0.218	151	0.348	207	0.161	205	0.234	64	0.907
6	29	2.549	89	1.904	50	1.845	83	1.674	106	0.209	130	0.346	174	0.141	17	0.228	211	0.841
7	26	2.209	120	1.865	3	1.818	174	1.536	72	0.185	54	0.339	169	0.135	125	0.193	3	0.749
8	158	1.982	85	1.856	11	1.732	108	1.533	207	0.180	50	0.320	29	0.135	72	0.188	119	0.678
9	106	1.908	205	1.767	146	1.697	159	1.533	125	0.180	26	0.312	209	0.135	80	0.182	110	0.677
10	193	1.773	119	1.720	151	1.668	191	1.522	120	0.175	49	0.304	20	0.133	83	0.182	146	0.673
11	25	1.607	83	1.506	76	1.646	70	1.378	80	0.174	158	0.279	177	0.116	119	0.177	65	0.654
M	-	2.512	-	1.929	-	1.999	-	1.902	-	0.213	-	0.366	-	0.164	-	0.245	-	0.884
m	-	0.839	-	0.759	-	0.770	-	0.773	-	0.087	-	0.147	-	0.062	-	0.099	-	0.329
ΔG /%	-	199.22	-	154.24	-	159.59	-	146.12	-	146.43	-	149.65	-	161.93	-	147.59	-	168.56

3 讨论

对10个种源进行核仁表型以及成分性状的研究发现,不同种源以及不同个体间存在极显著差异,各性状的变异系数在8.94%~68.27%之间,高于辽西地区山杏(*Armeniac sibirica* (L.) Lam)的7.80%~41.20%^[15]以及新疆地区杏(*Armeniaca vulgaris* Lam.)的6.16%~54.48%^[16]。核、仁性状的平均变异系数大小顺序为:核表型(16.87%)>仁成分(14.61%)>仁表型(14.14%),表征质量的产仁量、核干质量、仁干质量等性状变异系数均值为38.96%,而表征形状的核形指数、仁形指数等性状变异系数均值仅为8.94%,表明西伯利亚杏质量变异程度较大,而形状较为稳定,这与对核桃(*Juglans regia* Linn.)^[17]、板栗(*Castanea mollissima* Bl.)^[18]和无患子(*Sapindus mukorossi* Gaertn.)^[19]等经济树种的研究结果一致。产仁量的变异系数(68.27%)最高,粗蛋白(18.08%)和苦杏仁苷(16.63%)的变异高于粗脂肪(9.12%),这一关系在无患子^[14]中也存在。产仁量、核干质量、仁干质量、出仁率、仁成分等主要经济性状变异程度较高,在选择上更有潜力,这为西伯利亚杏的仁用良种选育提供了丰富的物质基础。不同种源间各经济性状的差异均达到极显著水平,通过聚类分析将各个种源进行分类,进一步确定科右中旗(P4)扎鲁特旗(P6)为高出仁率型种源;察尔森(P5)为大仁、高蛋白型种源;敖汉旗(P8)、凉城(P9)为大仁、高产型种源;和林格尔县(P10)为高产高脂肪高苦杏仁苷型种源,以上种源可以满足不同育种目标。西伯利亚杏核、仁性状丰富的变异为不同性状优良单株提供了丰富的选择空间,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。

西伯利亚杏是以杏仁、杏仁油和杏仁蛋白为经济目的,因此优良的经济特性要建立在单株高产的基础上。本研究表明产仁量与出仁率受核性状影响较大,仁干质量同时受仁与核的影响,因此选育高产和高仁干质量资源应该从核大、仁大出发,选高出仁率从核小、核壳薄、仁大、仁侧径大出发。粗脂肪和苦杏仁苷呈极显著正相关且都与粗蛋白呈极显著负相关,三种物质主要受核性状影响,选高脂肪高苦杏仁苷资源应从核大、仁纵径大出发,选高蛋白资源应从核小、仁大、出仁率高出发,经济性状和表型的相关性为资源评价和杂交亲本的配置提供了依据。7

个生态因子中,只有纬度、经度和年平均气温对西伯利亚杏主要经济性状的影响达到显著水平,产仁量、苦杏仁苷与纬度和经度呈负相关,粗脂肪与年平均气温呈相关,即内蒙古西南部地区较东北部地区种源的产仁量、苦杏仁苷和粗脂肪含量高,年平均气温和海拔越高的种源粗脂肪和苦杏仁苷含量越高,粗蛋白含量越低。西伯利亚杏主要性状地理上经纬并存的变异趋势与五角枫(*Acer mono Maxim.*)^[20]类似,而粗脂肪含量与年平均气温的显著关系在黄连木(*Pistacia chinensis Bunge*)^[21]、无患子^[22]等油料树种中并不显著。

本研究利用16个核仁性状对西伯利亚杏217个单株进行主成分分析,得到前6个主成分的贡献率达到80.72%,能较好地反映西伯利亚杏核仁大小、产仁量、出仁率、仁成分等主要经济性状特性。分别计算高产型、高脂肪型、高蛋白型、高苦杏仁苷型、高产高脂肪型、高产高蛋白型、高产高苦杏仁苷型、高产高脂肪高苦杏仁苷型以及复合型共9种优树类型的主成分得分值,以5%的入选率对每种类型进行优良单株的选择。得到了现实增益较高,有显著优异性的优良单株。这表明,本研究利用主成分分析法选出的不同利用目标的优良单株可以作为无性系扩繁和无性系区域测定的基础材料。

4 结论

本研究对217个单株的16个核、仁形态性状和成分性状进行研究分析,结果表明产仁量、核干质量、仁干质量、出仁率、仁成分等主要经济性状变异程度较高,且不同种源以及不同个体间存在极显著差异;利用主要经济性状对种源进行了聚类分析,得到5个具有不同经济特征的育种类群;主要经济性状与表型以及地理环境因素密切相关;在主成分分析的基础上进行不同经济类型优良单株的选择,具有显著优越性。以上为西伯利亚杏的仁用良种选育提供了丰富的物质材料。

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] 曹扬. 内蒙古自治区山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.
- [3] 包文泉. 内蒙古地区山杏重要性状遗传变异评价及优株选择[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2013.
- [4] 包文泉, 乌云塔娜, 尹明宇. 内蒙古野生山杏优良单株果核性

- 状的遗传变异分析[J]. 经济林研究, 2014, 32 (4): 13 - 17.
- [5] 刘梦培, 杜红岩, 傅建敏, 等. 内蒙古居群抗寒山杏繁殖生态学
研究[J]. 西北植物学报, 2014, 34 (6): 1143 - 1151.
- [6] 马玉花, 赵 忠, 李科友, 等. 超临界 CO₂ 流体萃取杏仁油工
艺研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23 (4): 272 - 275.
- [7] 薛 蕾, 李大文, 尉 芹, 等. 苦杏仁蛋白的功能特性[J]. 食
品科学, 2013, 34 (7): 70 - 75.
- [8] 张 睿, 魏安智, 杨 恒, 等. 甜山杏优良幼果抗寒性研究[J].
西北植物学报, 2005, 25 (12): 2510 - 2513.
- [9] 韩玉芬, 赵桂玲, 董胜君, 等. 山杏优良单株性状的观测[J].
辽宁林业科技, 2007(3): 39 - 40.
- [10] 王三英, 王继林, 张宝琳, 等. 山杏优良单株的选择初报[J].
甘肃林业科技, 2012, 37 (4): 23 - 25.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 刁松锋, 邵文豪, 姜景民, 等. 基于种实性状的无患子优良单
株选择[J]. 东北林业大学学报, 2014, 42 (4): 6 - 10.
- [15] 赵桂玲, 刘明国, 刘立新, 等. 辽西高产山杏间接选种数量性
状指标的确定[J]. 辽宁林业科技, 2004(2): 5 - 8.
- [16] 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.
- [17] 王金星, 潘 刚, 王 滑, 等. 西藏核桃叶片和坚果表型多样
性及其相关关系研究[J]. 林业科学研究, 2012, 25 (2): 236
- 240.
- [18] 马玉敏, 陈学森, 何天明, 等. 中国板栗 3 个野生居群部分表
型性状的遗传多样性[J]. 园艺学报, 2008, 35 (12): 1717
- 1726.
- [19] 刁松锋, 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.
- [20] 张翠琴, 姬志峰, 林丽丽. 五角枫种群表型多样性[J]. 生态学
报, 2015, 35 (16): 5343 - 5352.
- [21] 吴志庄, 鲜宏利, 尚忠海, 等. 黄连木天然群体果实含油率的
地理变异[J]. 林业科学, 2009, 45 (5): 69 - 73.
- [22] 邵文豪, 刁松锋, 董汝湘, 等. 无患子种实形态及经济性状的
地理变异[J]. 林业科学研究, 2013, 26 (5): 603 - 608.

(责任编辑:彭南轩)