

内蒙古不同种源山杏核仁性状表型多样性

段国珍¹ 田有亮¹ 白淑兰¹ 何炎红¹ 代海燕² 薛海峰¹ 李济阳¹ 靳雅¹
白玉娥^{1*}

(¹ 内蒙古农业大学林学院, 呼和浩特 010000; ² 内蒙古生态与农业气象中心, 呼和浩特 010000)

摘要 山杏是内蒙古地区的生态经济型树种, 对其进行多样性研究可为新品种的选育、遗传改良提供理论依据。本文以内蒙古地区 10 个种源山杏为研究对象, 分别对杏核与杏仁共 10 个表型性状进行多元分析。结果表明: 山杏各表型性状在种源间和种源内均存在极显著差异; 10 个种源各性状平均变异系数为 16%, 变异幅度为 9%~28%; 种源间平均表型分化系数达 61.56%, 大于种源内分化系数, 变异主要来源于种源间; 山杏核仁表型性状的 Simpson 多样性指数为 0.839~0.862, Shannon 多样性指数为 2.855~3.016, 杏核多样性指数平均值均大于杏仁; 表型性状与经度、温度、降水量以及海拔呈显著相关, 表现出一定的地带性规律; 对表型性状进行系统聚类分析, 将 10 个种源划分为 3 大类群, 与地理生态因子表现出一致性。

关键词 山杏; 种源; 杏核; 杏仁; 表型多样性

Phenotypic diversity of *Prunus armeniaca* stone and almond in Inner Mongolia. DUAN Guo-zhen¹, TIAN You-liang¹, BAI Shu-lan¹, HE Yan-hong¹, DAI Hai-yang², XUE Hai-feng¹, LI Ji-yang¹, JIN Ya¹, BAI Yu-e^{1*} (¹Forestry College of Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010000, China; ²Inner Mongolia Ecological and Agricultural Meteorological Center, Hohhot 010000, China).

Abstract: Apricot is an ecological and economic tree species in Inner Mongolia, and the study of its diversity can provide theoretical foundation for the selection and genetic improvement of new varieties of the apricot. Taking apricot from 10 provenances as the object, a multivariate analysis was conducted on the phenotypic characters of apricot stone and almond. The results showed that extremely significant difference appeared both among and within provenances. The average variation coefficient of each characteristic of 10 provenances reached 16%, with a range of 9%–28%. The average coefficient of phenotypic differentiation among provenances achieved 61.56%, which was higher than the coefficient of phenotypic differentiation within provenances, indicating that the differentiation derived mainly from inter-provenances. The Simpson diversity index and Shannon diversity index of the apricot's phenotypic character of stone and almond ranged from 0.839 to 0.862 and 2.855 to 3.016 respectively, and the average value of diversity index from the apricot stone was all higher than that of the almond. There existed a clear correlation between phenotypic character and longitude, temperature, precipitation and altitude, which showed obvious zonal patterns. Meanwhile, by systematical cluster analysis on the phenotypic characteristics of apricot, the 10 provenances were grouped into 3 categories, being consistent with the geographical factors.

Key words: *Prunus armeniaca*; provenance; apricot stone; almond; phenotypic diversity.

山杏(*Prunus armeniaca*),为落叶灌木或小乔木(王利兵,2010)。它有较强的适应性,如耐干旱、耐瘠薄、根系发达,萌蘖能力强,生长快,病虫害少,它的枝叶、果、核、仁都具有较高的经济价值(孟辉,2009),其中山杏仁因富含脂肪酸、蛋白质、苦杏仁苷等营养物质,利用价值极高,产业化开发潜力巨大(李科友,2003),是我国干旱缺水地区生态经济型乡土树种(张志东,2013)。

我国山杏天然林分布的范围极广,各分布区域的立地条件多种多样,形成了特有的生理生态特性,无论在表型还是遗传基因方面都存在一定的差异。通过形态学标记研究植物群体的表型多样性,不仅有助于了解环境因子对物种的影响,同时还可以揭示遗传因素与自然因素的关系(左力辉等,2015)。植物种子是植物有性生殖的重要组成部分(杨玲等,2009),其形态特征主要受到遗传因素控制,而在不同的分布区域也会由于适应不同的生境而产生分化(García *et al.*, 2000),从而形成丰富的变异类型。所以研究植物种子的表型多样性在一定程度下可揭示其遗传多样性。

内蒙古是我国北方山杏天然林主要分布地区,种质资源丰富,但目前对其研究较少,研究也仅限对资源的初步调查,其中包文泉(2013)对内蒙古山杏进行了重要性状的遗传变异评价与优株选择的研究,对于内蒙古山杏群体多样性方面的研究未见报道。

本文以内蒙古 10 个山杏种源为研究对象,测定了杏核与杏仁共 10 个表型性状,旨在揭示内蒙古山杏杏核与杏仁的变异程度及变异规律,为内蒙古仁用杏产业化、杏仁的合理利用、选育以及遗传改良提

供重要的理论基础。

1 研究地区与研究方法

1.1 试验地概况

本试验从内蒙古林木良种繁育中心的山杏种质资源圃取材(简称资源圃),该资源圃位于内蒙古呼和浩特市和林格尔县,111°26′52″ E—112°18′11″ E, 39°58′11″ N—40°41′31″ N,海拔 1302 m。该区地形地貌多样,包含山、丘、川,整体地形呈东高西低、南高北低的态势。属于中温带半干旱大陆性季风气候,近 5 年平均气温 6.7 ℃,1 月最冷,平均气温 -12.9 ℃,7 月最热,平均气温 22.7 ℃,年平均降水量 376 mm(滕晓华,2015)。2006 年收集内蒙古不同种源地的山杏种子,第二年进行育苗,2008 年春季将一年生苗按种源栽植并建立资源圃,该资源圃共包括 12 个种源,380 个家系,6000 株山杏单株。

1.2 试验材料

2013 年 7 月从生长 6 年的资源圃取样,选取 10 个种源的山杏进行分析,每个种源选取 10 个家系,每个家系选择 5 株成熟树木,单株果实结实量不少于 500 g,共 500 株山杏,选择标准均为随机选取。从当地气象局查阅近 30 年的原种源地地理环境因子信息,见表 1;原种源地在内蒙古的分布情况如图 1。

1.3 试验方法

1.3.1 性状测定方法 每株山杏树随机采摘 500 g 以上新鲜果实,将其编号带回实验室,每株随机选择 10 颗果实,外果皮与果肉去掉阴干后,测量杏核性状指标;敲开杏核取出杏仁,测量杏仁性状指标。利用精度为 0.01 g 的电子天平称量单核质量与单仁质

表 1 10 个山杏种源原地理位置及主要生态因子
Table 1 Original locations and main ecological factors of 10 apricot provenances

盟市	旗县	种源	经度 (E)	纬度 (N)	海拔 (m)	年平均 气温 (℃)	1 月平均 气温 (℃)	7 月平均 气温 (℃)	无霜期 (d)	年平均 降水量 (mm)
通辽市	扎鲁特旗	金门山	120°54′	44°34′	265	7.1	-12.4	24.1	140	371
	科左后旗	木道吐	122°21′	42°58′	248	6.8	-13.1	23.4	155	420
赤峰市	敖汉旗	四家子	119°55′	42°17′	588	7.0	-11.8	23.0	140	428
	克什克腾旗	白音敖包	117°32′	43°15′	1002	3.3	-16.7	20.5	116	389
	阿鲁科尔沁旗	巴彦花镇	120°03′	43°53′	374	6.5	-14.1	23.9	133	346
兴安盟	科右前旗	察尔森	122°03′	46°05′	275	5.6	-14.9	23.2	136	437
	科右中旗	巴彦胡舒镇	121°28′	45°03′	249	6.7	-13.0	23.9	150	366
呼和浩特市	土默特左旗	万家沟	111°09′	40°41′	1020	7.6	-11.1	23.2	142	392
巴彦淖尔市	乌拉特前旗	乌拉山	108°39′	40°44′	1020	8.6	-10.0	24.7	145	220
乌兰察布市	凉城县	马头山	112°31′	40°31′	1257	5.9	-12.3	21.2	126	406



图1 10个山杏种源原源地分布示意图
Fig.1 Distribution of 10 apricot provenances

量,精度为 0.01 mm 的数字游标卡尺测量杏核与杏仁的纵径、横径以及侧径,并计算出仁率=(单仁质量/单核质量)×100%,硬壳质量=单核质量-单仁质量。

1.3.2 数据处理 参考巢式设计模型(李斌等, 2002),对山杏 10 个核仁表型性状的数据进行方差分析。巢式设计模型的线性模型为:

$$X_{ijk}=\mu+\alpha_i+\beta_{j(i)}+\varepsilon_{ijk}$$

其中, $i=1,2,\cdots,a;j=1,2,\cdots,b;k=1,2,\cdots,n;\mu$ 为总体平均值; α_i 为第 i 个种群的效应值, $\beta_{j(i)}$ 为第 i 个种群内第 j 个个体效应值, ε_{ijk} 为第 ijk 个观测值的误差。

在方差分析的基础上,采用 Duncan 新复极差法作多重比较(Duncan, 1955)。为了与基因分化系数(G_{ST})相对应,葛颂等(1988)用下列公式作为表型分化系数:

$$V_{ST}=\delta_{u/s}^2/(\delta_{u/s}^2+\delta_s^2)$$

其中, $\delta_{u/s}^2$ 为种群间方差分量, δ_s^2 为种群内方差分量,

表2 内蒙古山杏核与仁表型性状方差分析

Table 2 Variance analysis of phenotypic traits of apricot stone and almond in Inner Mongolia

性状	均方(自由度)			F 值	
	种群间	种群内	随机误差	种群间	种群内
单核质量	15.452(9)	0.727(80)	0.043	356.806 **	16.791 **
单核纵径	391.086(9)	49.083(80)	2.785	140.441 **	17.626 **
单核横径	850.597(9)	22.667(80)	2.287	371.917 **	9.911 **
单核侧径	70.238(9)	6.818(80)	0.681	103.195 **	10.017 **
硬壳质量	8.467(9)	0.315(80)	0.025	344.968 **	12.853 **
单仁质量	1.884(9)	0.188(80)	0.008	225.429 **	22.55 **
单仁纵径	225.887(9)	17.147(80)	1.404	160.875 **	12.212 **
单仁横径	306.973(9)	14.528(80)	1.047	293.163 **	13.875 **
单仁侧径	63.818(9)	8.749(80)	0.515	123.82 **	16.975 **
出仁率	0.997(9)	0.05(80)	0.004	235.237 **	11.833 **

** $P<0.01$ 。

V_{ST} 表示群体间变异占遗传总变异的百分比。

采用 BIO-Dap 软件计算各种源各性状的多样性指数:

Simpson 多样性指数:

$$D=1-\sum P_i^2$$

Shannon 多样性指数:

$$H=-\sum P_i\log_2P_i$$

其中, P_i 为某性状第 i 个代码值出现的概率。

所有数据均用 Excel 软件进行统计,运用 SPSS 19.0 进行巢式方差分析、相关性分析、聚类分析并计算平均值、标准差以及变异系数。

2 结果与分析

2.1 杏核与杏仁表型性状差异

由表 2 可知,杏核与杏仁 10 个性状在种源间与种源内均存在极显著差异($P<0.01$),说明内蒙古山杏核仁有丰富的形态变异类型。

由表 3 可知,种源间不同性状的均值比较结果表明:土默特左旗种源除单核纵径、单仁纵径以及出仁率外各表型性状均为最大,单核质量达到 1.24 g;凉城县种源的单核纵经与单仁纵径是最大的,说明凉城县种源的山杏属于长圆形;出仁率最大的是扎鲁特旗种源与阿鲁科尔沁旗种源,达到 0.44,扎鲁特旗种源的其他性状均为最小,而乌拉特前旗种源的单仁质量、单仁侧径、出仁率为最小,硬壳质量最大,说明乌拉特前旗种源山杏种实不饱满。

2.2 杏核与杏仁表型性状变异

对 10 个种源 10 个表型性状的变异系数进行比较,由表 4 可知,10 个表型性状在种源间的变异系

表 3 种源间不同性状的均值、标准差以及多重比较
Table 3 Multiple comparison of the mean, standard deviation of different traits of apricot stone and almond from different provenances

种源	单核质量(g)	单核纵径(mm)	单核横径(mm)	单核侧径(mm)	硬壳质量(g)
敖汉旗	1.19+0.29 b	17.46+1.95 c	17.10+1.70 c	9.86+0.95 b	0.68+0.20 b
土默特左旗	1.24+0.33 a	17.89+2.11 b	17.63+2.12 a	10.11+1.08 a	0.74+0.23 a
科左后旗	0.79+0.17 g	16.15+2.03 e	14.60+1.41 g	9.07+0.77f g	0.45+0.12 e
克什克腾旗	1.13+0.23 c	17.46+1.75 c	17.35+1.49 b	9.70+0.90 c	0.68+0.17 b
乌拉特前旗	1.06+0.24d e	17.44+1.81 c	15.27+1.82 f	9.71+1.09 c	0.76+0.20 a
科右前旗	0.93+0.26 e	16.33+2.21 de	15.58+1.73 e	9.24+0.90 e	0.56+0.21 cd
扎鲁特旗	0.71+0.16 h	15.21+1.61 f	13.77+1.40 h	8.99+0.75 g	0.37+0.11 f
阿鲁科尔沁旗	0.81+0.19 g	16.24+2.01 e	14.58+1.57 g	9.11+0.77 f	0.42+0.12 e
科右中旗	0.91+0.21 f	16.58+1.95 d	15.33+1.53 f	9.37+0.92 d	0.51+0.15 d
凉城县	1.07+0.24 cd	18.22+1.90 a	16.87+1.56 d	9.24+0.81 e	0.64+0.17 c

种源	单仁质量(g)	单仁纵径(mm)	单仁横径(mm)	单仁侧径(mm)	出仁率(%)
敖汉旗	0.51+0.14 a	12.65+1.35 c	11.33+1.30 a	6.53+0.98 a	43+8 c
土默特左旗	0.50+0.14 a	13.00+1.40 b	11.45+1.31 a	6.44+1.00 a	41+7 d
科左后旗	0.34+0.08 d	11.59+1.31 f	9.78+1.00 d	5.93+0.72 c	44+6 bc
克什克腾旗	0.44+0.10 b	12.62+1.14 c	11.06+0.94 b	6.09+0.80 b	40+6 e
乌拉特前旗	0.30+0.11 e	11.62+1.41 f	9.04+1.20 f	4.98+0.77 e	29+9 f
科右前旗	0.41+0.12 c	12.40+1.34 d	9.73+1.36 d	6.08+0.88 b	40+9 de
扎鲁特旗	0.34+0.08 d	11.03+1.16 g	9.28+0.90 e	6.19+0.70 b	48+7 a
阿鲁科尔沁旗	0.39+0.10 c	11.69+1.45 f	9.73+1.16 d	6.53+0.74 a	48+7 a
科右中旗	0.40+0.09 c	12.05+1.32 e	10.30+1.06 c	6.17+0.73 b	44+6 b
凉城县	0.43+0.12 b	13.18+1.43 a	11.03+1.17 b	5.75+0.85 d	40+7 de

同列不同字母表示不同种源间差异显著 ($P<0.05$)。

数范围为 9%~28%,平均变异系数为 16%,其中硬壳质量的变异系数最大为 28%,单仁质量次之,为 27%,单核质量与出仁率的变异系数也大于平均变异系数,单核侧径的变异系数最小为 9%,其他 5 个性状均小于平均变异系数 16%,说明杏核和杏仁的质量性状的变异要比纵径、横径、侧径的变异更广泛。10 个种源各性状平均变异系数相比,乌拉特前旗种源所有性状的平均变异系数最大,达到 19%,其次为科右前旗的 18%,克什克腾旗种源最小为 14%,各种源所有性状的平均变异系数相差较小,说

明山杏的变异类型分布较均匀。

2.3 杏核与杏仁表型性状种源间分化

由表 5 可知,核仁表型性状在种源间的表型分化系数变化幅度为 41.21%~80.12%,其中单核横径的表型分化系数最大,单核纵径的表型分化系数(V_{st})最小为 41.21%,除单核纵径外其余 9 个性状种源间变异均大于种源内变异。10 个表型性状的种源间平均表型分化系数为 61.56%,种源内的贡献为 38.44%,说明内蒙古山杏杏核和杏仁各性状的变异主要来自种源间。

表 4 不同种源不同性状的变异系数(%)
Table 4 Variation coefficients (%) of different traits of apricot stone and almond of different provenances

性状	敖汉旗	土默特左旗	科左后旗	克什克腾旗	乌拉特前旗	科右前旗	扎鲁特旗	阿鲁科尔沁旗	科右中旗	凉城县	种源平均
单核质量	24	27	22	20	23	24	23	23	23	22	23
单核纵径	11	12	13	10	10	13	11	12	12	10	11
单核横径	10	12	10	9	12	10	10	11	10	9	10
单核侧径	10	11	8	9	11	9	8	8	10	9	9
硬壳质量	29	31	27	25	26	32	30	29	29	27	28
单仁质量	27	28	24	23	37	27	24	26	23	28	27
单仁纵径	11	11	11	9	12	11	11	12	11	11	11
单仁横径	11	11	10	8	13	13	10	12	10	11	11
单仁侧径	15	16	12	13	15	14	11	11	12	15	14
出仁率	19	17	14	15	31	23	15	15	14	18	18
性状平均	17	18	15	14	19	18	15	16	15	16	16

表 5 内蒙古山杏核仁表型性状方差分量及种源间表型分化系数

Table 5 Variance components and phenotypic differentiation coefficient of apricot stone and almond traits among provenances in Inner Mongolia

性状	方差分量			方差分量百分比(%)			表型分化系数 (%)
	种源间	种源内	随机误差	种源间	种源内	随机误差	
单核质量	0.031	0.015	0.043	34.83	16.85	48.31	67.39
单核纵径	0.727	1.037	2.785	15.98	22.80	61.22	41.21
单核横径	1.777	0.441	2.287	39.45	9.79	50.77	80.12
单核侧径	0.139	0.136	0.681	14.54	14.23	71.23	50.55
硬壳质量	0.019	0.007	0.025	37.25	13.73	49.02	73.08
单仁质量	0.004	0.004	0.008	25.00	25.00	50.00	50.00
单仁纵径	0.473	0.350	1.404	21.24	15.72	63.04	57.47
单仁横径	0.727	0.301	1.047	35.04	14.51	50.46	70.72
单仁侧径	0.178	0.177	0.515	20.46	20.34	59.20	50.14
出仁率	0.003	0.001	0.004	37.50	12.50	50.00	75.00

2.4 杏核与杏仁表型性状多样性指数

由表 6 可知,杏核与杏仁共 10 个表型性状的 Simpson 多样性指数 D 变化范围为 0.839~0.862, Shannon 指数 H 的范围由 2.855~3.016,杏核的多样性指数 $D(0.854)$ 、 $H(2.960)$ 均大于杏仁性状的多样性指数 $D(0.849)$ 、 $H(2.939)$,表明杏核与杏仁相比遗传多样性较高,性状间分布较均匀;山杏 10 个种源的平均多样性指数 H 、 D 分别为 2.921、0.849,说明种群间存在较高的多样性;各种源的多样性指数差异较小,与变异系数结果一致。

2.5 杏核与杏仁表型性状与地理生态因子相关分析

对山杏 10 个核仁表型性状和地理生态因子进行相关性分析,结果表明(表 7),单果质量、单核纵径、单核横径、硬壳质量、单仁纵径分别与海拔呈显著相关;单核纵径与纬度呈极显著负相关,硬壳质量

与纬度呈显著正相关;单核纵径、硬壳质量分别与经度呈显著负相关,出仁率与经度呈极显著负相关;单核横径、单仁纵径、单仁横径分别与 7 月平均气温呈显著负相关;单仁侧径与年平均降水量呈正相关。

2.6 杏核与杏仁表型性状的聚类分析

对内蒙古 10 个种源山杏的杏核、杏仁 8 个表型性状数据(硬壳质量、出仁率为计算值,计算性状不参与聚类)进行聚类分析,如图 2 可知:在平方 Euclidean 距离 $M=10$ 时,10 个种源分为三大类群,第一大类包括 4 个种源,该类群的特点为单核质量较大,出仁率居中,地理位置海拔较高;第二大类包括 5 个种源,该类群单核质量较小,有较高的出仁率,处于内蒙古东部地区,海拔较低;第三大类为乌拉特种源,表现出特异性,该区海拔较高,其单核质量较大,出仁率最小,说明种实不够饱满。

表 6 内蒙古山杏核仁表型多样性指数

Table 6 Phenotypic diversity index of apricot stone and almond in Inner Mongolia

性状	Simpson 多样性指数 D	Shannon 多样性指数 H	种源	Simpson 多样性指数 D	Shannon 多样性指数 H
单核质量	0.853	2.951	敖汉旗	0.854	2.951
单核纵径	0.862	3.016	土默特左旗	0.849	2.902
单核横径	0.860	3.000	凉城县	0.852	2.941
单核侧径	0.848	2.929	科右中旗	0.849	2.929
硬壳质量	0.850	2.906	阿鲁科尔沁旗	0.850	2.929
单仁质量	0.839	2.855	科左后旗	0.852	2.919
单仁纵径	0.860	3.003	克什克腾旗	0.853	2.941
单仁横径	0.856	2.985	乌拉特前旗	0.840	2.864
单仁侧径	0.849	2.948	科右前旗	0.845	2.909
出仁率	0.843	2.905	扎鲁特旗	0.851	2.931
平均值	0.852	2.950	平均值	0.849	2.921

表 7 核仁表型性状与地理生态因子相关分析
Table 7 Correlation analysis between phenotypic traits of apricot stone and almond and geographical ecological factors

	经度	纬度	海拔	年平均气温	1 月平均气温	7 月平均气温	无霜期	年平均降水量
单核质量	-0.623	-0.590	0.758 *	-0.072	0.201	-0.449	-0.326	0.029
单核纵径	-0.734 *	-0.739 *	0.886 **	-0.073	0.240	-0.527	-0.363	-0.054
单核横径	-0.457	-0.476	0.715 *	-0.326	-0.038	-0.674 *	-0.469	0.288
单核侧径	-0.582	-0.518	0.588	0.121	0.302	-0.167	-0.102	-0.132
硬壳质量	-0.763 *	0.643 *	0.805 **	0.049	0.306	-0.316	-0.243	-0.226
单仁质量	-0.036	-0.152	0.296	-0.296	-0.124	-0.510	-0.352	0.598
单仁纵径	-0.363	-0.383	0.640 *	-0.356	-0.083	-0.697 *	-0.467	0.434
单仁横径	-0.182	-0.356	0.492	-0.357	-0.097	-0.679 *	-0.381	0.534
单仁侧径	0.551	0.362	-0.387	-0.256	-0.346	-0.124	-0.108	0.658 *
出仁率	0.732 *	0.489	-0.617	-0.203	-0.352	0.013	0.036	0.567

* $P<0.05$, ** $P<0.01$ 。

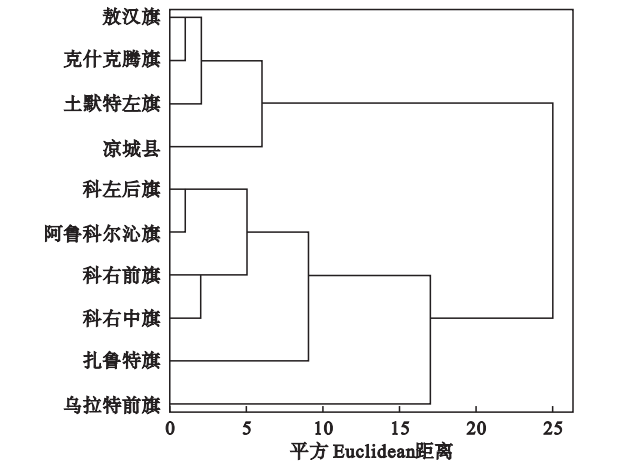


图 2 山杏 10 个种源核仁表型性状的聚类分析
Fig.2 Cluster analysis of phenotypic traits of apricot stone and almond in 10 provenances

3 讨 论

通过对内蒙古 10 个种源山杏的杏核与杏仁 10 个表型性状的研究发现,核仁性状在种源间和种源内均存在显著差异,10 个性状的平均表型分化系数为 61.56%,种源间的变异大于种源内 (38.44%),变异主要来自种源间,这与杜松 (*Juniperus rigida*) (66.63%) (刘雨,2011)、蒙古栎 (*Quercus mongolia*) (56.09%) (李文英,2003)、山苍子 (*Litsea cubeba*) (60.19%) (田胜平,2012) 的研究结果种源是变异的主要来源相似。表型性状的变异既受遗传控制,又与环境因素息息相关 (Mratinić *et al.*, 2011)。内蒙古地区气候干燥,风沙较大且环境条件复杂多样,如文中的 10 个种源地环境各异,有岩石山、土山、沙地等不同类型的地理地貌,山杏天然林经过长期的自然选择而形成多样的基因型,又因为种子受到较高的遗传控制,使得核仁性状在种源间产生显著差异,

表型分化程度高,同时本试验采样区为种质资源圃,500 株山杏的立地条件及栽培管理条件是一致的,即环境对其影响一致,所以表型性状间存在的差异及分化应该主要来自种质的不同。山杏自交不亲和 (刘梦培等,2014),在同一资源圃各种源间杂交机率变大,花粉直感现象也有一定的影响 (杨立峰,2001),或者种源内本身就存在一些容易受环境影响的基因,这些原因均有可能导致种源内产生分化。

变异系数的大小表示因变量的离散程度,系数越大说明变异程度越大。山杏种源间质量性状 (单核质量、单仁质量、硬壳质量) 的平均变异系数为 26%,大于形态性状 (单核纵径、横径、侧径与单仁纵径、横径、侧径) 的平均变异系数 11%,说明核仁质量性状的表型多样性更丰富,有较大的遗传改良潜力,这与毛桃 (*Prunus davidiana*) (杨鑫,2013)、野生櫻桃李 (*Prunus divaricata*) (周龙等,2011) 的研究结果相似。

山杏 10 个种源的核仁性状的平均多样性指数 H 、 D 分别为 2.921、0.849,高于新疆野苹果 (*Malus sieversii*) (H : 1.476) (王宪璞等,2016)、寒地梨 (H : 0.707, D : 0.775) (张冰冰等,2009)、五角枫 (*Acer mono*) (H : 2.678, D : 0.903) (张翠琴等,2015) 的研究结果,这与山杏较强的适应性有关,可适应不同种源地的生长环境,山杏核仁各性状的多样性指数相差较小,与变异系数结果 (不同种源各性状的变异系数变幅较小) 一致。

山杏核仁表型性状并未与所有的地理生态因子有相关关系,10 个种源所处地理位置分别为内蒙古的东北和西南地区,西南地区种源的海拔较高,核仁性状随着地理生态因子的变化表现为西南地区种源的核仁质量与形态性状要优于东北地区种源,可能

与西南地区整体温度高于东北地区有关。该结果与光皮木瓜(*Chaenomeles sinensis*) (岳华峰等, 2015) 的种子与地理生态因子相关分析的结果相似。聚类分析结果也证实了该结果, 其中乌拉特前旗种源表现出特异性, 该种源海拔较高, 杏核较大, 出仁率最小, 说明内果皮相较其他种源较厚。在调查期间发现, 乌拉特前旗种源的生长环境极其恶劣, 温度常年高于其他种源, 降雨量较低, 为了适应干旱的环境, 该地区的山杏枝条刺化严重, 叶片较小, 叶尾尖消失, 种子生长发育期, 形成坚实的硬壳以便保护种子的正常生长。

总之, 种源间及种源内丰富的核仁表型多样性是内蒙古山杏种质遗传资源多样性的基础和保证, 是育种的宝贵材料。

4 结 论

内蒙古 10 个种源山杏核仁表型性状在种源间与种源内均存在极显著差异; 种群间平均表型分化系数为 61.56%, 变异主要来源于种源间; 10 个种源所有性状的平均变异系数为 16%, 质量性状的变异大于形态性状变异; 山杏 10 个种源的平均多样性指数 H 、 D 分别为 2.921、0.849, 说明种群间存在较高的多样性; 随着经纬度的增加, 山杏核仁越小, 硬壳越薄, 海拔越高, 核仁越大, 硬壳越厚, 即内蒙古西南地区种源山杏核仁相比东北地区大, 出仁率低; 10 个种源可划分为 3 个类群, 第一类群包括敖汉旗、克什克腾旗、土默特左旗、凉城县, 该类群山杏核仁最大, 出仁率居中, 第二大类包括 5 个种源, 分别为科左后旗、阿鲁科尔沁旗、科右中旗、科右前旗、扎鲁特旗, 该类群特点为核仁最小, 出仁率最大, 第三类为乌拉特前旗种源, 该类山杏核仁出仁率最低, 硬壳较厚, 该类可被选为抗旱树种, 聚类分析支持相关分析结果。未来对内蒙古不同种源山杏的利用应根据不同的目的进行选择, 在内蒙古山杏群体多样性的研究中应该继续从山杏其他器官、组织等的形态学标记以及分子标记进行深入研究, 为内蒙古山杏丰富的种质资源的开发利用提供理论与实践基础。

参考文献

包文泉. 2013. 内蒙古地区山杏重要性状遗传变异评价及优良株选择(硕士学位论文). 呼和浩特: 内蒙古农业大学.
葛 颂, 王明庶, 陈岳武. 1988. 用同工酶研究马尾松群体的遗传结构. 林业科学, **24**(4): 399–409.
李 斌, 顾万春, 卢宝铭. 2002. 白皮松天然群体种实性状表型多样性研究. 生物多样性, **10**(2): 181–187.

李科友, 史清华, 朱海兰, 等. 2003. 苦杏仁的综合开发利用. 西北林学院学报, **18**(3): 63–65.
李文英. 2003. 蒙古栎天然群体遗传多样性研究(博士学位论文). 北京: 北京林业大学.
刘 雨. 2011. 宁夏贺兰山杜松(*Juniperus regida*) 表型多样性与化感作用研究(硕士学位论文). 杨凌: 西北农林科技大学.
刘梦培, 杜红岩, 傅建敏, 等. 2014. 内蒙古居群抗寒西伯利亚杏繁殖生态学研究. 西北植物学报, **34**(6): 1143–1151.
孟 辉. 2009. 山杏资源概况及国内外研究进展. 中国林副特产, (4): 100–101.
滕晓华. 2015. 和林格尔县林地保护利用功能分区及利用方向. 内蒙古林业调查设计, **38**(4): 1–2.
田胜平, 汪阳东, 陈益存, 等. 2012. 山苍子天然种群叶片和种实性状的表型多样性. 生态学杂志, **31**(7): 1665–1672.
王利兵. 2010. 我国 3 种杏的地理分布及其植物学性状. 林业科学研究, **23**(3): 435–439.
王宪璞, 吴玉霞, 何天明. 2016. 新疆野苹果果实若干性状的遗传多样性分析. 中国野生植物资源, **35**(1): 19–23.
杨 玲, 沈海龙, 梁立东, 等. 2009. 不同产区野生花楸果实和种子的表型多样性. 东北林业大学学报, **37**(2): 8–10.
杨 鑫, 杨家全, 陈 红, 等. 2013. 贵州野生毛桃果核性状的遗传多样性分析. 西北植物学报, **33**(11): 2225–2231.
杨立峰. 2001. 杏树花粉直感现象研究. 河北果树, (3): 10–12.
岳华峰, 李相宽, 杨超伟, 等. 2015. 不同产地光皮木瓜果实和种子表型性状多样性. 东北林业大学学报, **43**(11): 52–55.
张冰冰, 宋洪伟, 刘慧涛, 等. 2009. 寒地梨种质资源表型多样性研究. 果树学报, **26**(3): 287–293.
张翠琴, 姬志峰, 林丽丽, 等. 2015. 五角枫种群表型多样性研究. 生态学报, **35**(16): 5343–5352.
张志东. 2013. 内蒙古地区山杏良种选育分析. 内蒙古科技与经济, (18): 52–53.
周 龙, 胡建芳, 许 正, 等. 2011. 野生樱桃李天然群体果实形态多样性分析. 吉林农业大学学报, **33**(6): 637–642, 653.
左力辉, 张文林, 邱 彤, 等. 2015. 新疆野苹果叶形性状变异及其与 SSR 标记关联分析. 园艺学报, **42**(4): 759–768.
Duncan DB. 1955. Multiple range and multiple F tests. *Biometrics*, **11**: 1–42.
García D, Zamora R, Gómez JM, et al. 2000. Geographical variation in seed production, predation and abortion in *Juniperus communis* throughout its range in Europe. *Journal of Ecology*, **88**: 435–446.
Mratinić E, Popovski B, Milošević T, et al. 2011. Analysis of morphological and pomological characteristics of apricot germplasm in FYR Macedonia. *Journal of Agricultural Science & Technology*, **13**: 1121–1134.

作者简介 段国珍, 女, 1990 年生, 博士研究生, 主要从事植物种质资源良种选育、分子遗传育种等研究。E-mail: 18848110959@163.com

责任编辑 张 敏