

新疆野杏种质资源表型性状多样性研究

刘娟, 廖康*, 刘欢, 曹倩, 孙琪, 赵世荣

(新疆农业大学 特色果树研究中心, 乌鲁木齐 830052)

摘要: 为了明确新疆野杏种质资源的遗传多样性和变异特点, 以新疆伊犁地区 3 个野杏居群为研究对象, 采集了 135 个单株样品, 测定其植株 35 个形态特征相关指标, 利用 DPS 7.05 软件对表型指标和主成分进行分析, 采用 UPGMA 法对 3 个居群的欧氏距离进行聚类分析。结果显示: (1) 数值性状和非数值性状的 Simpson 和 Shannon-weaver 指数均为霍城居群最高(0.979 9、4.729 9; 0.981 9、4.770 1), 巩留居群居中(0.975 5、4.385 7; 0.978 6、4.416 0), 新源居群最小(0.944 7、3.241 9; 0.945 2、3.277 1), 说明霍城居群的表型最丰富, 巩留居群居中, 新源居群的表型多样性最差。(2) 各居群间不同性状变异系数的变异幅度在 6.16%~54.58% 之间, 大部分性状的变异系数都在 10% 以上; 霍城居群和新源居群均为果形指数的变异系数最小, 遗传较稳定, 巩留居群叶片长宽比的变异系数最小; 3 个居群均以硬度的变异系数最大, 另有单果重、鲜核重和壳厚的变异系数也普遍较大。(3) 新源居群与巩留居群间的欧氏距离为 20.445 3, 其亲缘关系最远; 霍城居群与新源居群间的欧氏遗传为 19.218 6, 其亲缘关系最近。(4) 35 个性状的主成分分析中前 14 个主成分的累计贡献率为 80.64%, 说明叶片长度、叶片宽度、叶片长宽比、叶基形态、叶尖形态、着色类型、单果重、鲜核重、鲜仁重、果实形状、可溶性固形物等是造成新疆野杏表型差异的主要因素。

关键词: 新疆; 野杏; 表型性状; 遗传多样性

中图分类号: Q348

文献标志码: A

Phenotypic Diversity of Wild Apricot Germplasm Resources in Xinjiang

LIU Juan, LIAO Kang*, LIU Huan, CAO Qian, SUN Qi, ZHAO Shirong

(Research Center for Xinjiang Characteristic Fruit Tree in Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: In order to explore the diversity and variation characteristics of phenotypic characters of wild apricot germplasm resources in Xinjiang, 135 individual samples of three wild apricot germplasms populations in Xinjiang were taken as the experiment materials in this paper. And the relevant indicators of the plant morphological characteristics were measured. Phenotypic index and principal component analysis were analysed by DPS 7.05 software, and the euclidean distance were calculated, too. The clustering analysis that based on euclidean distance of three populations were analysed by MEGA 3.1 software with UPGMA method. The results were showed: (1) simpson and Shannon-weaver index of numerical and non-numerical characteristics of Huocheng population were all the highest (0.979 9, 0.979 9; 0.981 9, 0.981 9), Gongliu population was in the middle (0.975 5, 0.975 5; 0.978 6, 0.978 6), Xinyuan population was the smallest (0.944 7, 0.944 7; 0.945 2, 0.945 2). The phenotypic diversity of Huocheng population was the richest, Gongliu population was in the middle, and the phenotypic diversity of Xinyuan population was the least. (2)

收稿日期: 2014-11-21; 修改稿收到日期: 2015-03-16

基金项目: 新疆维吾尔自治区科技计划(201130102); 国家公益性行业科研专项(201304701); 新疆维吾尔自治区果树重点学科基金

作者简介: 刘娟(1987—), 女, 在读博士研究生, 主要从事果树种质资源学研究。E-mail: liujuanxnd@163.com

* 通信作者: 廖康, 教授, 博导, 主要从事果树资源及栽培生理研究。E-mail: liaokang01@163.com

The variation coefficient of phenotypic characters of different populations were between 6.16%—54.58%. Most variation coefficients of phenotypic characters were all more than 10%. In Huocheng and Xinyuan populations, the variation coefficient of the shape index was the minimum. But in Gongliu population, the variation coefficient of leaf aspect ratio was the minimum. The variation coefficients of hardness of three populations were all the maximum. Otherwise, the variation coefficients of fruit weight, nuclear fresh weight and shell thickness were generally larger. (3) The genetic distance between Xinyuan population and Gongliu population was the biggest with 20.445 3, the genetic relationship of them was the farthest. The genetic distance between Huocheng population and Xinyuan population was least for 19.218 6, and the genetic relationship of them was close. (4) In the principal component analysis of 35 characters, the cumulative contribution rate of 14 principal components was 80.64%. The leaf length, leaf width, leaf aspect ratio, shape of leaf base, shape of leaf apex, fruit weight, fresh nuclear weight, fresh kernel weight, fruit shape and soluble solids were the main factors that cause the apricot germplasm phenotypic differences.

Key words: Xinjiang; wild apricot; phenotypic character; genetic diversity

新疆野杏 (*Armeniaca vulgaris* Lam.) 属蔷薇科 (Rosaceae) 杏属植物 (*Armeniaca* Mill.)^[1], 是一种珍贵的野生果树资源, 被认为是世界栽培杏的原生起源种群, 对世界栽培杏的驯化起过决定性的作用^[2]。伊犁地区是中国野杏的重要集中地, 其分布范围与数量仅次于野苹果^[3], 1984 年中国将伊犁野杏列入濒危植物保护名录^[4], 对这一种质的遗传多样性进行研究可为杏的新品种选育奠定基础。表型多样性研究已成为种质资源研究的重要内容, 也是物种遗传多样性研究的重要组成部分^[5], 是遗传多样性与环境多样性的综合体现, 其观测方法简单、直观, 所以大多数植物种质的鉴定目前仍是根据植物表型特征来进行区分、分类和命名^[6]。已有通过系统的表型多样性方法对苹果^[7]、梅^[8]、毛樱桃^[9]、野生秋子梨^[10]、野生櫻桃李^[5]、野生巴旦杏^[6]、野生苹果^[11]、板栗^[12]和山楂^[13]等树种进行了研究, 并从一定程度上揭示了各树种遗传变异的规律。但对新疆野杏表型多样性的研究较少, 仅在何天明的研究中略有报道^[2], 本研究以分布于新疆伊犁地区霍城县大西沟、新源县博尔赛和巩留县伊力格代 3 个主要分布区的野杏种质资源为试材, 对叶片、果实、果核和果仁等组织的形态特征进行观测, 分析不同居群及群体形态性状的多样性和变异特点, 为野杏种质资源保护与利用提供依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

2012~2013 年, 以新疆伊犁地区霍城县、新源县和巩留县的山区自然分布的野杏实生株系为试料, 共计 3 个居群, 135 个单株样本, 分别进行 GPS 定位, 各取样地内单株间距离为 100 m 以上, 以避免采集到亲缘关系较近的植株, 各居群详细取样情况见表 1。

1.2 观测方法

以《杏种质资源描述规范和数据标准》^[14]为参考依据, 从叶片、果实、果核、种仁方面详细调查形态特征, 各指标重复观测 10 次, 具体观测项目指标及方法见表 2。

1.3 数据处理

依据《杏种质资源描述规范和数据标准》^[14]将非数值型性状数值化, 对非数值型性状进行赋值 (表 2), 利用 DPS 7.05 数据处理软件计算 Simpson 多样性指数和 Shannon-Weaver 多样性指数; 利用 Excel 2007 和 DPS 7.05 数据处理软件, 分别计算数值性状的平均值、标准差、变异系数、最大值、最小值、极值、Simpson 和 Shannon-Weaver 多样性指数; 利用 DPS 7.05 软件将各数值进行标准化处理, 进行主成分分析, 并计算欧氏遗传距离, 再利用 MEGA

表 1 新疆野杏种质资源取样信息

Table 1 Information of wild apricot resources in Xinjiang

采样点 Location	采样数(份) Sample size	海拔 Altitude/m	纬度 Latitude	经度 Longitude
霍城县大西沟 Huocheng Daxigou	84	1 112.0~1 175.8	N44.42°~44.44°	E80.76°~80.79°
新源县博尔赛 Xinyuan Boersai	17	1 240.2~1 312.8	N43.50°~43.52°	E83.69°~83.70°
巩留县伊力格代 Gongliu Yiligedai	34	1 144.5~1 418.8	N43.37°~43.38°	E82.09°~82.12°

表 2 新疆野杏种质资源形态性状观测项目及记载标准

Table 2 Observation project and recorded standard of wild apricot resources morphological characters in Xinjiang

序号 No.	观测项目 Observation project	数据类型 Data type	测定方法和记载标准 Determination method and standard
1	叶片长度 Leaf length/cm	数值性状 Numerical characteristics	直尺测量 Measure by ruler
2	叶片宽度 Leaf width/cm	数值性状 Numerical characteristics	直尺测量 Measure by ruler
3	叶柄长度 Petiole length/cm	数值性状 Numerical characteristics	直尺测量 Measure by ruler
4	叶片长宽比 Leaf length/width	数值性状 Numerical characteristics	叶片长/宽 Leaf length/wide
5	叶片颜色 Color of leaf	多态 Polymorphic	1=浅绿;2=绿;3=深绿;4=紫红 1=Light green;2=Green;3=Dark green;4=Purple
6	叶背绒毛 Leaf back down	二态 Dimor-phism	0=无;1=有 0=No;1=Have
7	叶片形状 Leaf shape	多态 Polymorphic	1=卵圆;2=倒卵圆;3=椭圆;4=圆;5=阔圆 1=Egg circle;2=Pour egg circle;3=Elliptic;4=Round;5=Wide circle
8	叶基形态 Shape of leaf base	多态 Polymorphic	1=楔形;2=圆形;3=截形;4=心形 1=Cuneate;2=Round;3=Cross-sectional shape;4=Heart
9	叶尖形态 Shape of leaf apex	多态 Polymorphic	1=钝尖;2=渐尖;3=突尖;4=长尾尖 1=Blunt tip;2=Taper;3=Acuminate;4=Long tail tip
10	叶缘形态 Shape of leaf margin	多态 Polymorphic	1=钝锯齿;2=粗锯齿;3=细锯齿;4=复锯齿 1=Obtuse serrate;2=Coarsely serrate;3=Fine toothed;4=Double serrate
11	叶面状态 Status of leaf surface	多态 Polymorphic	1=平展;2=卷曲;3=皱缩 1=Open;2=Crimp;3=Shrinking
12	果实形状 Fruit shape	多态 Polymorphic	1=扁圆;2=圆;3=卵圆;4=椭圆;5=心脏形;6=不规则 1=Flat;2=Round;3=Egg circle;4=Elliptic;5=Heart shape;6=Irregular
13	果顶 Top of fruit	多态 Polymorphic	1=凹入;2=平;3=圆凸;4=尖圆 1=Recess;2=Flat;3=Round convex;4=Round
14	果面茸毛 Fuzz of fruit surface	二态 Dimor-phism	0=无;1=有 0=No;1=Have
15	整齐度 Uniformity	多态 Polymorphic	1=不整齐;2=一般;3=整齐 1=Irregular;2=Ordinary;3=Orderliness
16	对称性 Symmetry	二态 Dimor-phism	1=不对称;2=对称 0=Asymmetrical;1=Asymmetrical
17	着色程度 Painting degree	多态 Polymorphic	0=无;1=少;2=中;3=多 0=No;1=Few;2=Medium;3=Much
18	着色类型 Painting form	多态 Polymorphic	0=无;1=点;2=片;3=条 0=No;1=Point;2=Slices;3=Strip.
19	肉色 Color of fruit flesh	多态 Polymorphic	1=白;2=淡黄;3=黄;4=黄绿;5=橙 1=White;2=Light yellow;3=Yellow;4=Yellow green;5=Orange
20	风味 Relish of fruit	多态 Polymorphic	1=酸;2=甜酸;3=酸甜;4=甜 1=Acid;2=Pickled;3=Sour and sweet;4=Sweet
21	汁液 Juice of fruit	多态 Polymorphic	1=少;2=中;3=多 1=Less;2=Middle;3=Much
22	单果重 Fruit weight/g	数值性状 Numerical characteristics	天平称量 The weighing scales
23	果形指数 Fuit shape index	数值性状 Numerical characteristics	果实纵径/横径 Fruit longitudinal diameter/cross diameter
24	硬度 Firmness/(kg·cm ⁻²)	数值性状 Numerical characteristics	GY-1 型硬度计测量 GY-1 hardness measurement meter measure
25	可溶性固形物 Soluble solids content/%	数值性状 Numerical characteristics	手持测糖仪测量 Hand sugar measurement gauge measure
26	核粘离 Nuclear stick from	多态 Polymorphic	1=粘;2=半离;3=离 1=Stick;2=Half away;3=Leave
27	鲜核重 Weight of fresh nuclear/g	数值性状 Numerical characteristics	天平称量 The weighing scales
28	核形指数 Nutlet shape index	数值性状 Numerical characteristics	果核纵径/横径 Nutlet longitudinal diameter/cross diameter
29	核形 Nutlet shape	多态 Polymorphic	1=扁圆;2=圆形;3=卵圆;4=倒卵圆;5=椭圆;6=心脏 1=Flat;2=Round;3=Egg circle;4=Pour egg circle;5=Elliptic;6=Heart
30	核面 Nutlet surface	多态 Polymorphic	1=平滑;2=较平滑;3=粗糙 1=Smooth;2=A smooth;3=Coarse
31	壳厚 Sheel thickness/mm	数值性状 Numerical characteristics	游标卡尺测量 Measure by vernier caliper
32	仁形指数 Kemel shape index	数值性状 Numerical characteristics	果核纵径/横径 Kemel longitudinal diameter/cross diameter
33	鲜仁重 Weight of fresh kernel/g	数值性状 Numerical characteristics	天平称重 The weighing scales
34	仁味 Taste of kernel	二态 Dimor-phism	1=苦;2=甜 1=Bitter;2=Sweet
35	仁饱满 Kernel satiation	多态 Polymorphic	1=饱满;2=一般;3=不饱满 1=Full;2=General;3=Not full

3.1 数据处理软件的类平均法(UPGMA)对欧氏遗传距离进行聚类分析。

2 结果与分析

2.1 居群间表型多样性分析

22 个非数值型性状的 Simpson 指数(表 3),除了叶背绒毛、叶基形态、对称性和仁饱满 4 个性状,

其它 18 个性状均为霍城居群最大,巩留居群居中,新源居群最小;叶背绒毛的 Simpson 指数为新源居群最大,巩留居群居中,霍城居群最小;叶基形态和对称性的 Simpson 指数为巩留居群最大,霍城居群居中,新源居群最小;3 个居群果面茸毛的 Simpson 指数相等;仁饱满的 Simpson 指数为新源居群最大,霍城居群居中,巩留居群最小。对于Shannon-

表 3 新疆野杏非数值型性状的多样性指数分析

Table 3 Diversity index analysis of non numeric characters of wild apricot in Xinjiang

性状 Character	居群 Population			
	指数 Index	霍城 Huocheng	新源 Xinyuan	巩留 Gongliu
叶片颜色 Color of leaf	1	0.977 2	0.934 8	0.972 2
	2	4.777 8	3.292 5	4.433 3
叶背绒毛 Leaf back down	1	0.987 3	1.000 0	0.987 7
	2	4.725 5	3.321 9	4.392 8
叶片形状 Leaf shape	1	0.973 1	0.921 1	0.965 2
	2	4.597 8	3.133 2	4.321 2
叶基形态 Shape of leaf base	1	0.981 5	0.952 4	0.982 8
	2	4.730 0	3.240 2	4.375 2
叶尖形态 Shape of leaf apex	1	0.975 7	0.928 7	0.968 8
	2	4.781 8	3.305 6	4.413 8
叶缘形态 Shape of leaf margin	1	0.974 9	0.927 5	0.969 0
	2	4.687 9	3.229 6	4.372 9
叶面状态 Status of leaf surface	1	0.975 6	0.966 9	0.973 4
	2	4.807 4	3.321 9	4.459 4
果实形状 Fruit shape	1	0.967 2	0.902 1	0.964 3
	2	4.613 6	3.080 1	4.328 4
果顶 Top of fruit	1	0.970 2	0.918 7	0.963 7
	2	4.635 0	3.210 6	4.318 8
果面茸毛 Fuzz of fruit surface	1	0.964 2	0.948 9	0.959 9
	2	4.807 4	3.321 9	4.459 4
整齐度 Uniformity	1	0.977 0	0.941 2	0.971 7
	2	4.746 4	3.219 5	4.385 8
对称性 Symmetry	1	0.981 8	0.952 4	0.984 1
	2	4.719 5	3.240 2	4.378 8
着色程度 Painting degree	1	0.978 2	0.926 3	0.973 0
	2	4.780 6	3.184 2	4.420 2
着色类型 Painting form	1	0.978 9	0.941 2	0.974 8
	2	4.784 4	3.239 1	4.436 1
肉色 Color of fruit flesh	1	0.970 1	0.910 9	0.962 8
	2	4.735 3	3.206 6	4.392 4
风味 Relish of fruit	1	0.969 6	0.909 4	0.964 1
	2	4.643 2	3.105 4	4.246 4
汁液 Juice of fruit	1	0.976 6	0.941 2	0.970 1
	2	4.699 5	3.239 1	4.344 2
核粘 Nuclear stick from	1	0.975 9	0.931	0.969 2
	2	4.801 1	3.321 9	4.459 4
核形 Nutlet shape	1	0.969 3	0.912 1	0.961 1
	2	4.727 7	3.256 8	4.385 6
核面 Nutlet surface	1	0.982 6	0.931 6	0.973 0
	2	4.707 7	3.208 7	4.346 2
仁味 Taste of kernel	1	0.968 9	0.952 4	0.963 4
	2	4.807 4	3.321 9	4.459 4
仁饱满 Kernel satiation	1	0.990 5	1	0.982 9
	2	4.741 4	3.321 9	4.356 6
平均 Average	1	0.979 9	0.944 7	0.975 5
	2	4.729 9	3.241 9	4.385 7

注:表中指数列内 1 为 Simpson 指数;2 为 Shannon-weaver 指数。

Note: Index column in this table, 1 means Simpson index; 2 means Shan-non-weaver index.

Weaver 指数来说,22 个非数值型性状的 Shannon-Weaver 指数均为霍城居群最大,巩留居群居中,新源居群最小。从平均值来看,无论是 Simpson 指数还是 Shannon-Weaver 指数,均表现为霍城居群最高(0.979 9 和 4.729 9),巩留居群居中(0.975 5 和 4.385 7),新源居群最小(0.944 7 和 3.241 9)。结果表明,野杏非数值型性状的表型多样性表现为霍城居群最丰富,巩留居群次之,新源居群相对最差。

对于 13 个数值型性状的 Simpson 指数来说(表 4),叶片长度(0.969 0)、叶片宽度(0.970 5)、叶柄长度(0.977 4)、叶片长宽比(0.990 5)、单果重(0.964 7)、果形指数(1.000 1)、硬度(0.966 7)、可溶性固形物(0.966 2)、核形指数(0.994 0)和仁形指数(0.988 8)10 个性状均为霍城居群最高,巩留居群居中,新源居群最低;鲜核重(0.987 4)和壳厚(0.989 0)两个性状表现为巩留居群最高,霍城居群居中,新源居群最低;只有鲜仁重(1.067 4)表现为新源居群最高,巩留居群居中,霍城居群最低。13 个数值型性状的 Shannon-Weaver 指数(表 4)均表现为霍城居群最高,巩留居群居中,新源居群最低。从平均值来看,均表现为霍城居群最高(0.981 9, 4.770 1),其次为巩留居群(0.978 6, 4.416 0),新源居群最低(0.945 2, 3.277 1)。结果表明,霍城居群的数值型性状的表型多样性最丰富,巩留居群次之,新源居群的数值型性状的表型多样性最差,这与非数值型性状的结果一致。

2.2 居群间的变异与遗传稳定性

由表 4 可知,各数值型性状在不同居群内的变异系数差异均较大,变异幅度分别为:霍城居群在 6.16%~42.22%之间,新源居群在 7.39%~54.58%之间,巩留居群在 6.71%~32.49%之间;3 个居群变异系数的平均值表现为新源居群最大(23.36%),霍城居群居中(20.28%),巩留居群最小(20.15%);各居群不同性状的变异系数在 6.16%~54.58%之间,每个居群只有个别性状的变异系数低于 10%,其余都在 10%以上。说明各性状在居群内变异分化较明显,且新源居群的变异分化要大于霍城居群和巩留居群。

3 个居群内不同性状间的平均值差异也较大,结合标准差和变异系数来看,霍城居群和新源居群均为果形指数的遗传性较稳定,巩留居群内叶片长宽比的遗传性较稳定;3 个居群均以硬度的变异系数最大,另有单果重、鲜核重和壳厚的变异系数也普遍较大,遗传稳定性相对较差。

表 4 新疆野杏数值性状标准差、变异系数及多样性指数分析
Table 4 Standard deviation,variable coefficient and diversity index of numeric characters of wild apricot in Xinjiang

居群 Population	叶片长度 Leaf length /cm	叶片宽度 Leaf width /cm	叶柄长度 Petiole length /cm	叶片长宽比 Leaf length/ width	单果重 Fruit weight /g	果形指数 Fruit shape index	硬度 Firmness /(kg·cm ⁻²)	可溶性固形物 Soluble solids content/%	鲜核重 Weight of fresh nuclear/g	核形指数 Nutlet shape index	壳厚 Shell thickness /mm	仁形指数 Kernel shape index	鲜仁重 Weight of fresh kernel/g	平均值 Average
1	6.828 6	5.158 3	2.527 4	1.333 8	10.818 7	0.994 9	4.059 5	14.523 8	1.660 1	1.182 9	1.436 9	1.396 0	0.521 8	4.209 3
2	7.096 7	5.053 3	2.796 7	1.408 2	8.848 3	1.017 4	7.023 3	17.658 3	1.638 0	1.158 3	1.208 0	1.328 4	0.618 0	4.729 2
3	6.898 5	5.240 9	2.718 2	1.319 2	7.126 5	1.013 1	8.306 2	18.186 3	1.273 5	1.170 3	1.229 5	1.376 3	0.432 1	4.714 0
标准差 Standard deviation	1 0.651 8	0.654 7	0.356 1	0.125 7	3.092 9	0.061 3	1.713 8	1.763 7	0.408 1	0.110 5	0.368 8	0.212 6	0.110 6	0.953 2
2	0.925 7	0.404 1	0.809 6	0.175 8	2.616 9	0.075 2	3.833 1	3.914 7	0.381 6	0.164 4	0.349 1	0.133 7	0.149 8	1.341 1
3	0.591 6	0.415 7	0.388 1	0.096 0	2.057 2	0.076 1	2.698 3	3.986 8	0.301 0	0.078 5	0.269 0	0.104 5	0.084 0	1.163 3
变异系数 Variable coefficient	1 9.55	12.69	14.09	9.42	28.59	6.16	42.22	12.14	24.58	9.34	25.66	15.23	21.2	20.28
2	13.04	8.00	28.95	12.48	29.58	7.39	54.58	22.17	23.29	14.19	28.90	10.07	24.24	23.36
3	8.58	7.93	14.28	6.71	28.87	7.51	32.49	21.92	23.64	7.28	21.88	7.59	19.44	20.15
最大值 Maximum value	1 8.033 3	6.533 3	3.133 3	1.558 8	19.193 0	1.125 0	8.466 7	18.833 3	2.560 0	1.375 2	2.063 3	2.284 9	0.810 0	6.467 8
2	9.200 0	5.566 7	4.566 7	1.780 6	13.766 7	1.191 0	14.833 0	23.750 0	2.253 3	1.602 2	1.870 0	1.658 2	0.8266 7	2.732 0
3	8.033 3	6.000 0	3.433 3	1.496 9	10.893 0	1.190 5	13.873 3	26.500 0	1.926 7	1.302 3	1.680 0	1.589 5	0.616 7	3.030 0
最小值 Minimum value	1 5.300 0	3.766 7	1.733 3	1.115 8	5.533 3	0.844 1	2.066 7	11.333 3	0.903 3	0.980 7	0.856 7	1.085 6	0.316 7	2.732 0
2	6.166 7	4.100 0	2.066 7	1.200 0	6.326 7	0.935 9	3.000 0	11.167 0	1.193 3	1.019 8	0.630 0	1.230 2	0.416 7	3.030 0
3	6.033 3	4.466 7	2.066 7	1.087 8	4.110 0	0.886 5	3.766 7	12.455 6	0.816 7	1.027 1	0.746 7	1.214 5	0.293 3	2.847 4
极差 Range	1 2.733 3	2.766 7	1.400 0	0.443 0	13.660 0	0.281 0	6.400 0	7.500 0	1.656 7	0.394 4	1.206 7	1.199 4	0.493 3	3.735 9
2	3.033 3	1.466 7	2.500 0	0.580 6	7.440 0	0.255 1	11.833 3	12.583 3	1.060 0	0.582 4	1.240 0	0.427 9	0.410 0	4.330 4
3	2.000 0	1.533 3	1.366 7	0.409 2	6.783 3	0.304 0	10.106 7	14.044 5	1.110 0	0.275 2	0.933 3	0.375 0	0.323 3	4.139 6
Simpson 指数	1 0.969 0	0.970 5	0.977 4	0.990 5	0.964 7	1.000 1	0.966 7	0.966 2	0.983 4	0.994 0	0.986 5	0.988 8	1.033 5	0.981 9
2	0.911 3	0.917 6	0.925 6	0.967 3	0.902 3	0.997 6	0.885 8	0.900 7	0.953 3	0.983 1	0.973 0	0.972 3	1.067 4	0.945 2
3	0.960 6	0.962 6	0.969 9	0.988 4	0.957 0	0.999 1	0.955 2	0.954 9	0.987 4	0.992 9	0.989 0	0.986 9	1.064 9	0.978 6
Shannon-Weaver 指数	1 4.800 9	4.796 1	4.793 4	4.801 2	4.750 5	4.804 7	4.693 4	4.797 3	4.764 9	4.801 3	4.761 5	4.792 8	4.776 1	4.770 1
2	3.311 4	3.317 6	3.272 6	3.312 1	3.267 2	3.318 5	3.143 8	3.289 4	3.287 2	3.309 9	3.267 1	3.315 7	3.283 3	3.277 1
3	4.454 5	4.455 1	4.445 4	4.455 7	4.402 7	4.455 6	4.383 9	4.427 3	4.421 0	4.456 3	4.426 1	4.455 4	4.433 9	4.416 0

注:表中居群列 1 为霍城居群,2 为新源居群,3 为巩留居群。
Note:Population column in this table,1 stands for Huo Cheng population,2 for Xinyuan population,3 for Gongliu population.

2.3 居群间的遗传关系

3 个居群两两之间的欧氏距离在 19.218 6~20.445 3 之间(表 5),其平均值为 19.792 6,说明居群间的表型亲缘关系相对较远。其中,新源居群和巩留居群之间的欧氏距离最远,为 20.445 3;霍城居群和新源居群间的欧氏距离最小,为 19.218 6。由此可以得出,霍城居群和新源居群的亲缘关系最近,遗传分化程度小;新源居群和巩留居群的亲缘关系最远,遗传分化程度大。

根据表 5 的欧氏距离,利用 MEGA 3.1 软件,采用 UPGMA 聚类法对野杏资源 3 个天然居群进行聚类分析(图 1)。以距离系数 10 为标准,3 个居群可聚为两类:霍城居群和新源居群聚为第 1 类,巩留居群为第 2 类;当距离系数为 9.5 时,3 个居群各自聚为一类。从聚类图看出,霍城居群和新源居群亲缘关系最近。

2.4 天然群体的主成分分析

在 35 个主成分因子中前 14 个特征值的累计贡献率为 80.64%(表 6)。其中第 1 主成分占 15.37%,有较高载荷值的性状指标依次是单果重、鲜核重、壳厚、鲜仁重、风味和硬度;第 2 主成分占 8.93%,有较高载荷值的性状指标依次是叶片长宽比、叶基形态、叶片形状、叶片长度和叶片宽度,称之为叶片性状因子;第 3 主成分占 8.41%,有较高载荷值的性状指标依次是果形指数、叶片长度、仁饱满度、可溶性固形物和果顶;第 4 主成分占 6.85%,有较高载荷值的性状指标依次是果形、着色类型、核粘离、硬度和风味;第 5

主成分占 6.00%,有较高载荷值的性状指标依次是叶片宽度、叶片长度、汁液、着色类型和叶柄长度;第 6 主成分占 5.43%,有较高载荷值的性状指标依次是单果重、仁饱满度、可溶性固形物、硬度和肉色;第 7 主成分占 5.02%,有较高载荷值的性状指标依次是鲜核重、核粘离、果形、叶缘形态和叶尖形态;第 8 主成分占 4.59%,有较高载荷值的性状指标依次是叶片颜色、鲜仁重、叶背绒毛、叶尖形态和风味;第 9 主成分占 4.08%,有较高载荷值的性状指标依次是仁味、壳厚、叶尖形态、肉色和可溶性固形物;第 10 主成分占 3.93%,有较高载荷值的性状指标依次是可溶性固形物、叶片颜色、风味、叶背绒毛和肉色;第 11 主成分占 3.43%,有较高载荷值的性状指标依次是果面茸毛、叶背绒毛、果顶、核形和核面;第 12 主成分占 3.24%,有较高载荷值的性状指标依次是叶背绒毛、果面茸毛、汁液、仁味和着色类型;第 13 主成分占 2.73%,有较高载荷值的性状指标依次是叶缘形态、仁味、叶片颜色、着色类型和核粘离;第 14 主成分占 2.65%,有较高载荷值的性状指标依次是果面茸毛、核面、仁味、肉色和核形(表 6)。根据特征根、贡献率和累计贡献率的基本情况表明,各性状主成分累计贡献率较分散,累计增加较缓慢。

3 讨论

3.1 居群的表型多样性及亲缘关系

Kostina 等将栽培杏的 700 个品种划分为 4 个地理生态群^[15],各生态群的杏品种之间在树体和果实等方面由于长期的生态适应发生了明显的性状差异^[16],新疆野杏作为世界杏的起源种,其遗传多样性极为丰富。从研究结果可以看出,新疆野杏种质资源的不同性状在不同的居群之间表现出了不同程度的多样性。非数值性状的 Simpson 指数和 Shannon-Weaver 指数表现为霍城居群最高,巩留居群居中,新源居群最小;数值性状的 Simpson 指数和 Shannon-Weaver 指数均表现为霍城居群最高,其次为巩留居群,新源居群最低。说明霍城居群的表型多样性最丰富,巩留居群居中,新源居群的表型多样性最差,所以在进行资源保护时要优先保护霍城居群。

欧氏距离反映居群间的遗传分化程度和亲缘关系的远近,是衡量居群间物种种源变异水平的重要指标。3 个居群间表型性状的欧氏距离在 19.218 6~20.445 3,新源居群和巩留居群的亲缘关系最远,遗传分化程度大,二者间的欧氏距离为 20.445 3;

表 5 新疆野杏 3 个居群间基于 35 个表型性状的欧氏距离

Table 5 Euclidean distance of 3 populations of wild apricot resources in Xinjiang for 35 phenotypic traits

居群 Population	霍城 Huocheng	新源 Xinyuan	巩留 Gongliu
霍城 Huocheng	—		
新源 Xinyuan	19.218 6	—	
巩留 Gongliu	19.713 8	20.445 3	—

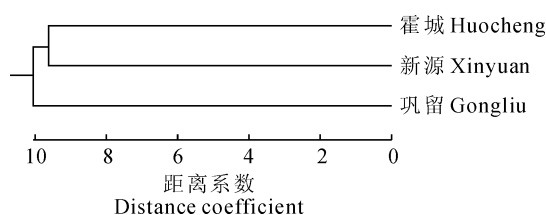


图 1 新疆野杏 3 个居群的 UPGMA 聚类图

Fig. 1 Dendrogram of UPGMA method cluster analysis of wild apricot in Xinjiang

表6 新疆野杏主成分特征值、贡献率、累积贡献率及主成分的负荷量分析

Table 6 Analysis on matrix eigenvalue, percentage of variance, cumulative contribution rate and load capacity of principal component of wild apricot in Xinjiang

项目 tems	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	因子6 Factor 6	因子7 Factor 7	因子8 Factor 8	因子9 Factor 9	因子10 Factor 10	因子11 Factor 11	因子12 Factor 12	因子13 Factor 13	因子14 Factor 14
特征值 Eigenvalue	5.379 5	3.123 9	2.942 2	2.388 6	2.099	1.899 1	1.755 5	1.605 1	1.427 7	1.374 9	1.202	1.133 8	0.955 5	0.929
百分率 Percentage/%	15.369 9	8.925 6	8.406 2	6.853	5.997 2	5.425 9	5.015 7	4.586	4.079	3.928 3	3.434 2	3.239 4	2.729 9	2.654 3
累计百分率 Cumulative percentage/%	15.369 9	24.295 4	32.701 6	39.554 6	45.551 8	50.977 7	55.993 4	60.579 4	64.658 4	68.586 7	72.020 9	75.260 3	77.990 2	80.644 5
叶片长度 Leaf length/cm	0.168 3	-0.198 4	0.321 8	0.093 8	0.296 8	-0.093 7	0.116 3	0.007 2	0.18	-0.119 5	0.027 9	-0.038	-0.150 1	0.032 9
叶片宽度 Leaf width/cm	0.124 8	0.186 6	0.169 2	-0.088 4	0.469 1	0.001 9	0.089	-0.152 4	0.116 3	-0.243	0.010 3	0.133 2	-0.022 7	-0.001 6
叶柄长度 Petiole length/cm	0.152 9	0.310 2	0.223 7	-0.095 5	0.263 9	-0.050 6	-0.006	-0.154 9	0.136 4	0.075 7	0.073 6	0.095 2	0.035 2	0.190 2
叶片长宽比 Leaf length/width	0.042 7	-0.398 1	0.154 4	0.181 4	-0.218 1	-0.092 6	0.038 8	0.177 7	0.035 6	0.127 3	0.008 3	-0.205	-0.116 5	0.015 9
叶片颜色 Color of leaf	0.126 7	-0.024 5	-0.000 9	-0.019 3	0.205 4	0.038 8	0.043 8	0.400 2	-0.204 9	0.339	-0.154 5	-0.005 5	0.329 9	0.053 6
叶背绒毛 Leaf back down	0.049 8	0.114 3	-0.024 5	-0.013 4	-0.103 2	-0.121 3	0.13	0.359 7	0.047 9	0.289 8	0.358 5	0.411 9	-0.117 5	0.086 5
叶片形状 Leaf shape	-0.085 8	-0.342 3	0.149 4	0.188 3	0.057 2	0.036 1	0.176 6	-0.037	-0.240 3	-0.078 7	-0.040 5	0.195 2	0.074 2	-0.214 5
叶基形态 Shape of leaf base	0.114 2	0.379 9	-0.233 2	-0.119 2	0.056 1	0.036 6	-0.040 3	0.095 3	0.136 6	0.073 5	0.002 4	-0.194	-0.037	0.237
叶尖形态 Shape of leaf apex	0.092 3	-0.125 1	0.131 4	-0.139 7	-0.129 7	-0.167 1	-0.251 4	0.295 8	0.282 9	-0.116 5	0.002 2	-0.085 1	-0.176	0.046 9
叶缘形态 Shape of leaf margin	-0.035 2	-0.176 4	-0.139 1	0.186 5	0.029 1	0.111 1	-0.297 5	0.006 7	-0.075 8	-0.131 7	0.202 5	-0.194 9	0.547 5	0.228 5
叶面状态 Status of leaf surface	0.163 9	0.110 2	0.104 6	-0.037 3	0.130 8	0.019 6	0.108 8	-0.161 5	-0.237 1	0.055 3	0.094 4	-0.31	0.032 1	-0.130 8
果实形状 Fruit shape	-0.142 5	0.152 2	-0.010 5	0.351 7	0.012 6	-0.034 6	-0.335 4	-0.108 9	0.233 4	0.029 7	0.042	0.091 3	-0.106 8	-0.020 9
果顶 Top of fruit	-0.221 9	-0.022 8	0.234 3	0.204 2	-0.121 7	0.013 6	-0.171	-0.092 6	0.030 2	-0.011 5	-0.264 6	-0.169 5	-0.025 8	0.048
果面茸毛 Fuzz of fruit surface	0.056 9	0.083 2	0.122 3	-0.084 3	-0.002 5	-0.144 4	-0.131 4	0.036 8	-0.030 8	-0.023 7	-0.615 7	0.337 5	0.118 8	0.399
整齐度 Uniformity	0.132 9	-0.038 3	-0.024 2	0.111 1	0.067 5	0.123 2	0.007 8	0.129 2	-0.020 4	0.253 7	0.012 8	-0.042	-0.081	0.252 4
对称性 Symmetry	0.206 4	-0.024 9	0.008 1	0.126 5	-0.013 9	0.212 9	0.108 9	0.104 4	-0.162 7	-0.107 9	-0.207 5	0.213 7	-0.226 1	0.047 3
着色程度 Painting degree	0.054 6	0.184 5	-0.035 3	0.222 4	-0.228 9	0.007 8	0.246 1	-0.168 9	0.221 2	-0.175 9	-0.159	-0.002 9	0.066	0.141 1
着色类型 Painting form	0.022 1	0.098 3	-0.013 6	0.307 8	-0.274 3	0.054 1	0.216 4	0.038 2	0.092	-0.175 9	0.054 6	0.252 5	0.291 4	0.060 2

续表 6 Continued Table 6

	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	因子 6 Factor 6	因子 7 Factor 7	因子 8 Factor 8	因子 9 Factor 9	因子 10 Factor 10	因子 11 Factor 11	因子 12 Factor 12	因子 13 Factor 13	因子 14 Factor 14
肉色 Color of fruit flesh	0.174 7	0.034 1	-0.033 7	0.218 8	-0.061 2	0.254 6	0.124 9	0.091 8	0.261 1	-0.275 5	-0.194	0.036 1	-0.172 9	-0.277 5
风味 Relish of fruit	0.254 8	0.001 7	-0.054	0.243 4	0.064 8	-0.073 8	0.054 2	-0.288 5	-0.110 8	0.335 7	-0.012 1	-0.053 8	-0.028 9	-0.022 3
汁液 Juice of fruit	0.157 7	-0.054 7	-0.169 1	0.183 6	0.276 6	0.145 3	-0.149 5	0.148 8	0.162 6	-0.120 8	0.085 5	-0.312 6	0.137 7	-0.245 8
单果重 Fruit weight/g	0.363 1	0.109 2	0.064 9	0.041 3	-0.052 1	0.433 8	-0.127	0.126 3	-0.024 8	-0.118 9	-0.011	0.001 5	-0.05	-0.000 8
果形指数 Fruit shape index	-0.188 1	0.161 2	0.349 6	0.129 2	-0.022 4	0.146 6	-0.191 7	0.011 4	0.031 7	0.062 7	0.076 6	0.057	-0.008 8	0.020 4
硬度 Firmness/(kg · cm ⁻²)	-0.222 4	-0.003 5	0.076 6	-0.256 4	-0.109 9	0.320 6	-0.015 2	0.045 5	0.175 4	-0.075 4	0.123 6	0.017 2	-0.116 3	-0.006 5
可溶性固形物 Soluble solids content/%	-0.064	-0.115 7	0.295 1	-0.022 6	0.164	0.360 4	0.009 7	-0.206 2	0.260 2	0.413 4	-0.132 9	0.062 6	0.076 4	0.111 2
特征向量 Eigen vectors	-0.026 6	-0.008 8	0.012 2	0.279 6	-0.032 5	-0.066 5	0.356 4	0.084 5	0.152 3	-0.169 9	0.048 6	-0.100 2	0.256 8	-0.061 1
核鲜重 Weight of fresh nuclear/g	0.321 3	0.084 3	0.169 9	0.056 1	-0.203 1	-0.040 2	0.366 4	-0.094 9	-0.034 4	0.004 5	0.125 8	-0.013 8	0.101 9	-0.063 5
核形指数 Nutlet shape index	-0.189 7	0.113 6	0.180 1	0.215 5	0.091 9	-0.161 8	0.032 2	0.135 1	-0.106 3	0.043 9	0.069 1	-0.026 1	0.031 1	-0.022 9
核形 Nutlet shape	-0.172 9	0.125 2	0.155 6	0.203 8	0.215 3	-0.009 4	0.096 4	0.087 3	0.167 3	0.074 9	0.248 3	-0.208 5	0.008 8	0.253
核面 Nutlet surface	0.122 7	-0.080 1	0.207 9	-0.158 6	-0.242 3	0.163 1	0.123 2	-0.184 2	-0.053	0.227 4	0.223 9	-0.014	0.034 2	0.358 9
壳厚 Shell thickness/mm	0.296 8	0.044 1	0.184 6	-0.089 6	-0.150 6	0.115 6	-0.133 9	-0.055 1	-0.301 6	-0.075	0.059 3	0.125 6	0.037	-0.131
仁形指数 Kernel shape index	-0.155 6	0.177 1	0.234	0.087 8	0.057 9	-0.046 4	0.028 4	0.213 4	0.115 9	0.071	-0.057 5	0.010 9	-0.121 8	0.045 4
仁鲜重 Weight of fresh kernel/g	0.281 2	-0.021 2	0.043 4	0.158 5	-0.093 1	-0.186 9	-0.057 8	0.364 5	0.171 9	0.035 7	0.078 6	-0.056 7	0.048 7	0.102 9
仁味 Taste of kernel	0.017 2	-0.094 8	-0.165 8	0.158	0.053 7	0.089 8	-0.002 5	-0.201	-0.340 7	-0.150 6	0.185 1	0.260 2	-0.381 5	0.339 7
仁饱满 Kernel satiation	0.033 9	0.175 9	0.315 8	-0.088 1	-0.114 7	0.362 1	-0.165 1	-0.060 5	-0.086 3	0.010 8	0.036 9	0.173 4	0.116 2	-0.172 8

霍城居群和新源居群的亲缘关系最近,遗传分化程度小,二者间的欧氏距离为 19.218 6。

对于野杏 3 个居群的遗传多样性和亲缘关系所表现的这种关系,可能与样本量的大小也有关系,样本量大所涵盖的表型表现较多,从而多样性就丰富,反之,如果样本量小,有可能所搜集的表型表现会不够全面,从而导致多样性相对较差,这就需要在今后的研究中对其进一步进行研究验证。同时,由于表型性状受环境条件及主观因素影响很大,所以通过形态来分析果树表型多样性具有一定的局限性,最好结合同工酶标记、分子标记等不受环境及主观因素影响的方法对表型多样性进行鉴定。

3.2 居群的遗传及变异

表型等性状既具有变异性又具有稳定性,受其本身的遗传组成和生态环境两方面的影响,是生物适应其生态环境的表现形式^[17]。表型变异必然蕴藏着遗传变异,表型变异越大,可能存在的遗传变异越大^[18]。根据标准差和变异系数的数值大小可以判断各个居群各数值型表型性状的变异幅度^[19]。若居群间表型性状的平均值相差较多,单看标准差并不能准确地说明居群某一表型性状的变幅大小,为了更客观准确地说明各性状的变异程度,还要结合变异系数来分析,变异系数是品种间表型性状变异程度的反映,越大说明该表型性状在品种间的差异越大,遗传多样性越丰富,越有可能利用该性状来鉴别品种,变异系数小说明遗传稳定性较好,不易受到环境等因素的影响^[20-21]。本研究中 13 个数值型性状的标准差、变异系数和极差的研究结果可以看出:同一性状在居群间均有较大的差异,且同一居群内的各个性状也有较大差异,变异系数的变异幅度

在 6.16%~54.58% 之间,只有个别性状的变异系数低于 10%,其余都在 10% 以上,各性状在居群间变异分化较明显。霍城居群和新源居群均为果形指数的遗传性较稳定,巩留居群内叶片长宽比的遗传性较稳定;3 个居群均以硬度的变异系数最大,另有单果重、鲜核重和壳厚的变异系数也普遍较大,遗传稳定性相对较差,与前人研究基本一致。冯涛等^[22]认为新疆野苹果不同居群均以果实纵径、横径及果形指数等形态性状的变异相对稳定;周龙等^[5]也发现野生櫻桃李各天然群体间各个性状中果形指数的变异系数最小,最为稳定。

3.3 表型性状的主成分分析

主成分分析是指将原来较多的指标简化为少数几个新的综合指标的多元统计方法^[23],其主要作用是将多个变量通过线性组合构成为数不多的新变量,而且每个新变量尽可能包含原始变量的信息。本研究在构成主成分的信息中筛选出了 14 个性状主分量,包含的总遗传信息为 80.64%,表明叶片长度、叶片宽度、叶片长宽比、叶基形态、叶尖形态、着色类型、单果重、鲜核重、鲜仁重、果实形状、可溶性固形物等性状是造成野杏种质表型差异的主要因素。以往的一些研究,周龙等^[5]从 14 个主成分因子中提出前 6 个特征值,其累计贡献率为 88.76%,说明主成分因子足以代表原始因子所代表的大部分信息,而本研究中根据各自特征根、贡献率和累计贡献率的基本情况表明,提取出的 14 个主成分的累计贡献率较分散,累计增加较缓慢,主成分分析得出的主分量反应总体遗传信息的能力相对较弱,在材料选择时不能把主分量作为唯一的评价标准。

参考文献:

- [1] 俞德俊. 落叶果树分类学[M]. 上海:上海科学技术出版社,1984:67.
- [2] 何天明. 中国普通杏(*Prunus armeniaca*)种质资源遗传多样性及杏杏(*P. dasycarpa*)起源的研究[D]. 山东泰安:山东农业大学,2006:6.
- [3] 廖 康. 新疆野生果树资源研究[M]. 乌鲁木齐:新疆人民出版社,2013:133.
- [4] LIU W, CHEN X S, LIANG Q, et al. Interspecific hybridization of *Prunus persica* with *P. armeniaca* and *P. salicina* using embryo rescue [J]. *Plant Cell Tissue and Organ Culture*, 2007, **88**(3): 289—299.
- [5] ZHOU L(周 龙), HU J F(胡建芳), XU ZH(许 正), et al. Analysis on fruit phenotypic diversity of natural populations in *Prunus divaricata* [J]. *Journal of Jilin Agricultural University* (吉林农业大学学报), 2011, **33**(6): 637—642 (in Chinese).
- [6] ZENG B(曾斌), LUO SH P(罗淑萍), LI J(李 疆), et al. Study on phenotypic diversity of morphologic characteristics of *Amygdalus ledebouriana* Schlecht. leaves in Xinjiang [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences* (新疆农业科学), 2008, **45**(2): 221—224 (in Chinese).

- [7] XING L M(邢丽敏), HUAI X T(槐心体), ZHANG X ZH(张新忠), *et al.* Genetic diversity in morphology, stress tolerance and graft-compatibility among species, ecotypes and their segregation within populations of apple rootstock resources[J]. *Journal of Fruit Science* (果树学报), 2013, **30**(4): 516–525 (in Chinese).
- [8] SHEN Y Y(沈玉英), DING X J(丁夏君), GAO ZH H(高志红), *et al.* Analysis of genetic diversity in *Prunus mume* based on mathematic classification of morphologic characters[J]. *Journal of Fruit Science* (果树学报), 2011, **28**(5): 802–807 (in Chinese).
- [9] YANG X(杨鑫), YANG J Q(杨家全), CHEN H(陈红), *et al.* Genetic diversity analysis on the characteristics of fruit cores of wild peaches in Guizhou[J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.* (西北植物学报), 2013, **33**(11): 225–231 (in Chinese).
- [10] AN M M(安萌萌), WANG Y T(王艳廷), SONG Y(宋杨), *et al.* Genetic diversity of fruit phenotypic traits of wild *Pyrus ussuriensis* Maxim[J]. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 2014, **47**(15): 3034–3043 (in Chinese).
- [11] LIU J(刘静), ZHOU Q H(周庆和), SUN H W(孙海伟), *et al.* Study on the phenotype biodiversity of Xinjiang wild apples (*Malus sieversii*) [J]. *Journal of Fruit Science* (果树学报), 2004, **21**(4): 285–288 (in Chinese).
- [12] MA Y M(马玉敏), CHEN X S(陈学森), HE T M(何天明), *et al.* Genetic diversity of morphological traits in wild populations of *Castanea mollissima* Blume[J]. *Acta Horticulturae Sinica* (园艺学报), 2008, **35**(12): 1717–1726 (in Chinese).
- [13] JIANG Y L(姜英林), DONG W X(董文轩). Diversity analysis of morphological characters in hawthorn germplasm resources[J]. *Northern Fruits* (北方果树), 2009, (1): 8–10 (in Chinese).
- [14] 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: 12–24.
- [15] KOSTINA K F. Application of phytogeographical method to apricot classification[J]. *Trud. Nikit Bot. Sad.*, 1964: 37.
- [16] 孙家正. 南疆栽培杏部分表型性状遗传多样性研究[D]. 山东泰安: 山东农业大学, 2010: 6.
- [17] JIANG X B(江锡兵), GONG B CH(龚榜初), LIU Q ZH(刘庆忠), *et al.* Phenotypic diversity of important agronomic traits of local cultivars of Chinese chestnut[J]. *Acta Horticulturae Sinica* (园艺学报), 2014, **41**(4): 641–652 (in Chinese).
- [18] MENG CH(孟超), ZHENG X(郑昕), JI ZH F(姬志峰), *et al.* Phenotypic diversity of natural population of *Acer grosser* in Shanxi[J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.* (西北植物学报), 2013, **33**(11): 2232–2240 (in Chinese).
- [19] GUO CH Y(郭传友), HUANG J Q(黄坚钦), WANG ZH(王正), *et al.* Phenotypic diversity of fruit characters in *Carya dabieshanensis* [J]. *Nonwood Forest Research* (经济林研究), 2007, **25**(3): 15–18 (in Chinese).
- [20] THEIMER T C. Intraspecific variation in seed size affects scatterhoarding behavior of an Australian tropical rain-forest rodent[J]. *Journal of Tropical Ecology*, 2003, **19**(1): 95–98.
- [21] WANG L R(王力荣), ZHU G R(朱更瑞), FANG W CH(方伟超). The evaluating criteria of some botanical quantitative characters of peach genetic resources[J]. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 2005, **38**(4): 770–776 (in Chinese).
- [22] FENG T(冯涛), ZHANG H(张红), CHEN X S(陈学森), *et al.* Genetic diversity of fruit morphological traits and content of mineral element in *Malus sieversii* (Ldb.) Roem. and its elite seedlings[J]. *Journal of Plant Genetic Resources* (植物遗传资源学报), 2006, **7**(3): 270–276 (in Chinese).
- [23] 纪海波. 西瓜种质资源表型多样性研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2013: 6.

(编辑: 潘新社)