

新疆地区欧洲李叶片表型性状多样性及亲缘关系分析

颀刚刚, 欧阳丽婷, 谢 军, 刘贝贝, 耿文娟^①

(新疆农业大学林学与园艺学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

摘要:以新疆塔城、伽师、伊犁和轮台的 21 株欧洲李(*Prunus domestica* Linn.)单株[‘塔城槟子’(‘Tacheng Binzi’) 5 株, ‘伽师酸梅’(‘Jiashi Suanmei’)、‘吾尔江’(‘Wuerjiang’)、‘艾努拉’(‘Ainula’)、‘阿鲁恰’(‘Aluqia’)和‘克孜吾尔江’(‘Keziwuerjiang’)各 1 株, 均为国内栽培型; ‘塔城酸梅’(‘Tacheng Suanmei’) 2 株, 分别为国内栽培型和疑似国内野生型; 欧洲李 5 株, 均为国内野生型; ‘法兰西’(‘French’)、‘斯坦勒’(‘Stanley’)、‘女神’(‘Goddess’)和‘理查德’(‘Richard’)各 1 株, 均为国外引进型]为实验材料, 对其叶片 13 个表型性状(包括 5 个定性指标和 8 个定量指标)进行了比较和分析, 在此基础上进行了主成分分析和聚类分析。结果表明: 供试欧洲李单株叶片表型性状的变异系数为 12.5%~48.5%, 其中, 单叶干质量、叶形、叶缘和单叶面积的变异系数分别为 48.5%、39.4%、39.2%和 37.4%, 明显高于其余表型性状。主成分分析结果表明: 前 4 个主成分的特征值均大于 1, 累计贡献率达 85.311%; 其中, 单叶面积和单叶干质量、叶基和叶尖、叶厚和叶柄长、叶色和叶缘的载荷分别第 1、第 2、第 3 和第 4 主成分中较大。聚类分析结果表明: 在欧氏距离 5.0 处, 供试 21 株单株被分成 3 组, 其中, 5 株国内野生型聚为一组, 1 株国内栽培型(‘阿鲁恰’)及 4 株国外引进型聚为一组, 其余 10 株国内栽培型及 1 株疑似国内野生型聚为一组, 并且, 国内野生型与国内栽培型的亲缘关系较近。研究结果显示: 新疆地区的欧洲李叶片表型性状多样性较高, 单叶干质量、单叶面积、叶形及叶缘是欧洲李多样性分析的主要依据; 并且, 影响欧洲李叶片表型性状的主要因子有单叶面积-单叶干质量因子、叶基-叶尖因子、叶厚-叶柄长因子和叶色-叶缘因子。

关键词: 欧洲李; 叶片表型性状; 多样性; 亲缘关系; 主成分分析; 聚类分析

中图分类号: Q949.751.8; Q944 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2018)03-0072-07

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2018.03.10

Analyses on diversity of leaf phenotypic traits and genetic relationships of *Prunus domestica* in Xinjiang region XIE Ganggang, OUYANG Liting, XIE Jun, LIU Beibei, GENG Wenjuan^① (College of Forestry and Horticulture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2018, 27(3): 72-78

Abstract: Taking 21 individuals of *Prunus domestica* Linn. (5 individuals of ‘Tacheng Binzi’, each individual of ‘Jiashi Suanmei’, ‘Wuerjiang’, ‘Ainula’, ‘Aluqia’ and ‘Keziwuerjiang’, all of them are domestic cultivation type; 2 individuals of ‘Tacheng Suanmei’, which are domestic cultivation type and suspected domestic wild type, respectively; 5 individuals of *P. domestica*, all of them are domestic wild type; each individual of ‘French’, ‘Stanley’, ‘Goddess’ and ‘Richard’, all of them are abroad introduction type) from Tacheng, Jiashi, Yili and Luntai in Xinjiang as experimental materials, their 13 leaf phenotypic traits (including 5 qualitative indexes and 8 quantitative indexes) were compared and analyzed, and on the basis, principal component analysis and cluster analysis were conducted. The results show that coefficients of variation of leaf phenotypic traits of individuals of *P. domestica* tested are 12.5%–48.5%, in which, those of dry weight per leaf, leaf shape, leaf margin and area per leaf are 48.5%, 39.4%, 39.2% and 37.4%, respectively, and obviously higher than those of other phenotypic

收稿日期: 2018-02-06

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31560545); 新疆维吾尔自治区园艺重点学科项目(2016-10758-3); 新疆特色林果果实发育与调控创新团队项目

作者简介: 颀刚刚(1993—), 男, 甘肃天水人, 硕士研究生, 主要从事果树资源方面的研究工作。

^①通信作者 E-mail: gwj0526@163.com

traits. The principal component analysis result shows that eigenvalues of the first four principal components are all above 1, and their accumulative contribution rate reaches 85.311%. In which, loads of area per leaf and dry weight per leaf, leaf base and leaf tip, leaf thickness and petiole length, and leaf color and leaf margin are all larger in the first, the second, the third and the fourth principal components, respectively. The cluster analysis result shows that at Euclidean distance of 5.0, 21 individuals tested are divided into 3 groups, in which, 5 individuals of domestic wild type are clustered into one group, 1 individual of domestic cultivation type ('Aluqia') and 4 individuals of abroad introduction type are clustered into one group, and other 10 individuals of domestic cultivation type and 1 individual of suspected domestic wild type are clustered into one group. In addition, the genetic relationship between domestic wild type and domestic cultivation type is closer. It is suggested that the diversity of leaf phenotypic traits of *P. domestica* in Xinjiang region is higher, and dry weight per leaf, area per leaf, leaf shape and leaf margin are main bases for diversity analysis of *P. domestica*. Moreover, the main factors affecting leaf phenotypic traits of *P. domestica* are area per leaf-dry weight per leaf factor, leaf base-leaf tip factor, leaf thickness-petiole length factor and leaf color-leaf margin factor.

Key words: *Prunus domestica* Linn.; leaf phenotypic trait; diversity; genetic relationship; principal component analysis; cluster analysis

表型(phenotype),又称表现型,是指人们看到的生物有机体结构和功能特性的总和(包括形态特征、细胞结构、解剖结构、生理特性和生态习性等),主要受基因型和环境的影响^[1]。表型多样性是特定群体在其分布区域内不同生境中的表型变异,是遗传多样性和环境多样性综合作用的结果^[2]。植物的表型性状是长期自然选择和进化的结果^[3-5],能够反映植物基因型对环境变化的适应性。在长期的选择压力下,植物的表型性状会发生不可逆变异,并经过稳定遗传后产生新的表型性状,因此,表型变异对植物适应性和进化研究具有重要意义^[6-8]。叶片的表型变异是植物遗传变异的重要特征之一^[9],可用于分析植物资源间的遗传变异和亲缘关系^[10-11],能够在一定程度上揭示植物资源的遗传多样性和亲缘关系。

欧洲李(*Prunus domestica* Linn.)隶属于李属(*Prunus* Linn.),又称洋李、西洋李、脯李、酸梅^[12],果实营养丰富,深受人们喜爱。新疆地区的欧洲李资源非常丰富,包括'塔城酸梅'('Tacheng Suanmei')、'塔城槟子'('Tacheng Binzi')、'伽师酸梅'('Jiashi Suanmei')及众多国外引进品种等^[13]。其中,野生的欧洲李为新疆地区特有的濒危野生果树资源,与栽培的欧洲李间亲缘关系很近^[14]。已经有学者从花粉微观特征、染色体核型特征及分子标记分析等方面^[15-17]对李属植物尤其是新疆地区欧洲李资源的亲缘关系进行了研究,但关于李属植物叶片表型特征的研究却较少^[18],尤其未见基于叶片表型特征的欧洲李资源多样性及亲缘关系的研究报道。

鉴于此,作者对新疆塔城、伽师、伊犁和轮台的

21株欧洲李单株叶片的13个表型性状进行了比较和分析,并在此基础上进行了主成分分析和聚类分析,以期探明新疆地区欧洲李资源的表型多样性及亲缘关系,为深入研究新疆地区欧洲李的分类、遗传多样性及亲缘关系提供研究基础。

1 材料和方法

1.1 材料

供试材料为在新疆地区生长良好且无病虫害的21株欧洲李成年单株,其中,国内栽培型11株,包括'塔城槟子'5株以及'塔城酸梅'、'伽师酸梅'、'吾尔江'('Wuerjiang')、'艾努拉'('Ainula')、'阿鲁恰'('Aluqia')和'克孜吾尔江'('Keziwuerjiang')各1株,编号为P1至P6、P8至P12;疑似国内野生型1株,为'塔城酸梅',编号为P7;国内野生型5株,编号为P13至P17;国外引进型4株,包括'法兰西'('French')、'斯坦勒'('Stanley')、'女神'('Goddess')和'理查德'('Richard')各1株,编号为P18至P21。样株类型及生长地信息见表1。

1.2 方法

于2016年7月在各样株多年生枝条上分别随机剪取3段生长旺盛的枝条,压入标本夹中带回实验室;彻底阴干后,在每段枝条上随机选取完整且健康的成熟叶10枚,编号并观测各表型性状。

参照蒲富慎^[19]的方法观察和记录每枚叶片的叶形、叶尖、叶缘、叶基和叶色,并对上述5个表型性状分别赋值。其中,叶形包括阔椭圆形、卵圆形、椭圆形、

表 1 新疆地区供试欧洲李单株的类型及生长地信息

Table 1 Type and growth site information of individuals of *Prunus domestica* Linn. tested in Xinjiang region

编号 No.	品种(种) Cultivar (species)	类型 Type	生长地信息 Growth site information			
			海拔/m Altitude	纬度 Latitude	经度 Longitude	地点 ¹⁾ Site ¹⁾
P1	塔城槟子 Tacheng Binzi	国内栽培型 Domestic cultivation type	544.4	N46°44'02"	E82°59'38"	TC
P2	塔城槟子 Tacheng Binzi	国内栽培型 Domestic cultivation type	544.9	N46°44'02"	E82°59'47"	TC
P3	塔城槟子 Tacheng Binzi	国内栽培型 Domestic cultivation type	544.2	N46°44'01"	E82°59'46"	TC
P4	塔城槟子 Tacheng Binzi	国内栽培型 Domestic cultivation type	544.3	N46°44'01"	E82°59'47"	TC
P5	塔城槟子 Tacheng Binzi	国内栽培型 Domestic cultivation type	544.6	N46°44'02"	E82°59'47"	TC
P6	塔城酸梅 Tacheng Suanmei	国内栽培型 Domestic cultivation type	543.5	N39°29'59"	E76°50'24"	TC
P7	塔城酸梅 Tacheng Suanmei	疑似国内野生型 Suspected domestic wild type	567.2	N43°30'01"	E83°41'18"	TC
P8	伽师酸梅 Jiashi Suanmei	国内栽培型 Domestic cultivation type	1 201.5	N39°29'30"	E76°50'24"	JS
P9	吾尔江 Wuerjiang	国内栽培型 Domestic cultivation type	971.4	N41°48'25"	E84°15'39"	LT
P10	艾努拉 Ainula	国内栽培型 Domestic cultivation type	971.1	N39°30'01"	E76°50'24"	LT
P11	阿鲁恰 Aluqia	国内栽培型 Domestic cultivation type	972.6	N39°29'59"	E76°50'24"	LT
P12	克孜吾尔江 Keziwuerjiang	国内栽培型 Domestic cultivation type	971.8	N46°42'39"	E82°56'51"	LT
P13	欧洲李 <i>P. domestica</i>	国内野生型 Domestic wild type	1 299.8	N46°44'02"	E82°59'48"	XY
P14	欧洲李 <i>P. domestica</i>	国内野生型 Domestic wild type	1 294.9	N41°48'25"	E84°15'38"	XY
P15	欧洲李 <i>P. domestica</i>	国内野生型 Domestic wild type	1 266.1	N41°48'46"	E84°15'38"	XY
P16	欧洲李 <i>P. domestica</i>	国内野生型 Domestic wild type	1 354.1	N41°48'53"	E84°15'39"	XY
P17	欧洲李 <i>P. domestica</i>	国内野生型 Domestic wild type	1 374.1	N41°48'24"	E84°15'39"	XY
P18	法兰西 French	国外引进型 Abroad introduction type	1 199.2	N43°30'01"	E83°41'49"	JS
P19	斯坦勒 Stanley	国外引进型 Abroad introduction type	1 200.9	N43°30'01"	E83°41'29"	JS
P20	女神 Goddess	国外引进型 Abroad introduction type	1 196.2	N43°22'40"	E82°05'50"	JS
P21	理查德 Richard	国外引进型 Abroad introduction type	971.3	N43°22'38"	E82°05'53"	LT

¹⁾ TC: 塔城地区农业科学研究所 Institute of Agricultural Sciences in Tacheng Prefecture; JS: 伽师县英买里乡阿迪拉村 Adila Village in Yingmaili Town of Jiashi County; LT: 轮台县良种场 Good Seed Farm of Luntai County; XY: 新源县博乐赛山区 Bolesai mountainous area of Xinyuan County.

狭椭圆形和倒披针形,分别赋值为 1、2、3、4 和 5;叶尖包括钝尖、渐尖、锐尖和长突尖,分别赋值为 1、2、3 和 4;叶缘包括细齿状、锯齿状、钝尖状和钝齿状,分别赋值为 1、2、3 和 4;叶基包括狭楔形、楔形和圆形,分别赋值为 1、2 和 3;叶色包括浅绿色、绿色和深绿色,分别赋值为 1、2 和 3。

分别统计每枚叶片主脉左侧和右侧一级叶脉的数量;使用 LI-3000C 便携式叶面积仪(美国 LI-COR 公司)测量单叶面积;使用 AL204-IC 电子天平[精度 0.000 1 g,梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司]称量单叶干质量;使用游标卡尺(精度 0.01 mm)测量每枚叶片的纵径、横径、叶厚和叶柄长。

1.3 数据处理及分析

采用 EXCEL 2010 软件对原始数据进行初步处理;采用 SPSS 19.0 统计分析软件计算表型性状的 KMO 检验值及 Bartlett 球形度检验的 Sig. 值,在此基础上对所有表型性状进行主成分分析,基于欧氏距离对供试的 21 株欧洲李单株进行 Q 型聚类分析,并绘制树状图^[20]。

2 结果和分析

2.1 叶片表型性状分析

2.1.1 定性指标分析 实验结果(表 2)表明:供试 21 株欧洲李单株中,叶形为倒披针形和阔椭圆形的单株最少,分别只有‘艾努拉’(编号 P10)和‘阿鲁恰’(编号 P11)的单株;叶形为狭椭圆形的单株较少,包括‘塔城酸梅’(编号 P6)、“女神”(编号 P20)和‘理查德’(编号 P21)的单株;叶形为卵圆形的单株较多,占供试单株总数的 28.6%,包括‘克孜吾尔江’(编号 P12)和欧洲李(编号 P13 至 P17)的单株;叶形为椭圆形的单株最多,占供试单株总数的 47.6%,包括‘塔城槟子’(编号 P1 至 P5)、“塔城酸梅”(编号 P7)、“伽师酸梅”(编号 P8)、“吾尔江”(编号 P9)、“法兰西”(编号 P18)和“斯坦勒”(编号 P19)的单株。供试 21 株欧洲李单株中,叶尖为长突尖的单株最少,仅 P11 单株;叶尖为钝尖和渐尖的单株较少,前者包括 P10 和 P20 单株,后者包括 P9 和

P12 单株;叶尖为锐尖的单株最多,占供试单株总数的 76.2%,包括 P1 至 P8 以及 P13 至 P20 单株。供试 21 株欧洲李单株中,叶缘为钝尖状的单株最少,仅 P6 单株;叶缘为细齿状的单株较少,包括 P9 和 P11 单株;叶缘为钝齿状的单株较多,占供试单株总数的 19.0%,包括 P7、P10、P19 和 P20 单株;叶缘为锯齿状的单株最多,占供试单株总数的 66.7%,包括其余 14 株单株。供试 21 株欧洲李单株中,叶基为狭楔形的单株最少,仅 P11 单株;叶基为圆形的单株较多,占供试单株总数的 19.0%,包括 P9、P10、P12 和 P14 单株;叶基为楔形的单株最多,占供试单株总数的

76.2%,包括其余 16 株单株。供试 21 株欧洲李单株中,叶色为深绿色的单株最少,仅 P10 单株;叶色为浅绿色的单株较少,包括 P7 和 P12 单株;叶色为绿色的单株最多,占供试单株总数的 85.7%,包括其余 18 株单株。观察发现,供试欧洲李单株叶片的正面和反面均被茸毛。

分析结果表明:供试 21 株欧洲李单株叶形的变异系数最大(39.4%),叶缘的变异系数较大(39.2%),叶尖和叶基的变异系数较小(分别为 25.4%和 22.3%),叶色的变异系数最小(19.7%)。

表 2 新疆地区欧洲李单株叶片表型性状定性指标的比较

Table 2 Comparison on qualitative indexes of leaf phenotypic traits of individuals of *Prunus domestica* Linn. in Xinjiang region

编号 ¹⁾ No. ¹⁾	叶形 Leaf shape	叶尖 Leaf tip	叶缘 Leaf margin	叶基 Leaf base	叶色 Leaf color
P1	椭圆形 Oval	锐尖 Acute	锯齿状 Zigzag	楔形 Wedge	绿色 Green
P2	椭圆形 Oval	锐尖 Acute	锯齿状 Zigzag	楔形 Wedge	绿色 Green
P3	椭圆形 Oval	锐尖 Acute	锯齿状 Zigzag	楔形 Wedge	绿色 Green
P4	椭圆形 Oval	锐尖 Acute	锯齿状 Zigzag	楔形 Wedge	绿色 Green
P5	椭圆形 Oval	锐尖 Acute	锯齿状 Zigzag	楔形 Wedge	绿色 Green
P6	狭椭圆形 Narrow oval	锐尖 Acute	钝尖状 Blunt tip	楔形 Wedge	绿色 Green
P7	椭圆形 Oval	锐尖 Acute	钝齿状 Crenate	楔形 Wedge	浅绿色 Reseda
P8	椭圆形 Oval	锐尖 Acute	锯齿状 Zigzag	楔形 Wedge	绿色 Green
P9	椭圆形 Oval	渐尖 Acuminate	细齿状 Denticulate	圆形 Circular	绿色 Green
P10	阔椭圆形 Broad oval	钝尖 Blunt point	钝齿状 Crenate	圆形 Circular	深绿色 Dark green
P11	倒披针形 Oblanceolate	长突尖 Long acuminate	细齿状 Denticulate	狭楔形 Narrow wedge	绿色 Green
P12	卵圆形 Ovoid	渐尖 Acuminate	锯齿状 Zigzag	圆形 Circular	浅绿色 Reseda
P13	卵圆形 Ovoid	锐尖 Acute	锯齿状 Zigzag	楔形 Wedge	绿色 Green
P14	卵圆形 Ovoid	锐尖 Acute	锯齿状 Zigzag	圆形 Circular	绿色 Green
P15	卵圆形 Ovoid	锐尖 Acute	锯齿状 Zigzag	楔形 Wedge	绿色 Green
P16	卵圆形 Ovoid	锐尖 Acute	锯齿状 Zigzag	楔形 Wedge	绿色 Green
P17	卵圆形 Ovoid	锐尖 Acute	锯齿状 Zigzag	楔形 Wedge	绿色 Green
P18	椭圆形 Oval	锐尖 Acute	锯齿状 Zigzag	楔形 Wedge	绿色 Green
P19	椭圆形 Oval	锐尖 Acute	钝齿状 Crenate	楔形 Wedge	绿色 Green
P20	狭椭圆形 Narrow oval	钝尖 Blunt point	钝齿状 Crenate	楔形 Wedge	绿色 Green
P21	狭椭圆形 Narrow oval	锐尖 Acute	锯齿状 Zigzag	楔形 Wedge	绿色 Green
CV/%	39.4	25.4	39.2	22.3	19.7

¹⁾P1-P5: ‘塔城槟子’ ‘Tacheng Binzi’; P6-P7: ‘塔城酸梅’ ‘Tacheng Suanmei’; P8: ‘伽师酸梅’ ‘Jiashi Suanmei’; P9: ‘吾尔江’ ‘Wuerjiang’; P10: ‘艾努拉’ ‘Ainula’; P11: ‘阿鲁恰’ ‘Aluqia’; P12: ‘克孜吾尔江’ ‘Keziwuerjiang’; P13-P17: 欧洲李 *Prunus domestica* Linn.; P18: ‘法兰西’ ‘French’; P19: ‘斯坦勒’ ‘Stanley’; P20: ‘女神’ ‘Goddess’; P21: ‘理查德’ ‘Richard’. CV: 变异系数 Coefficient of variation.

2.1.2 定量指标分析 实验结果(表 3)表明:供试 21 株欧洲李单株叶片左侧和右侧的一级叶脉数相近,其中,P20 单株叶片左侧和右侧的一级叶脉数均最多,分别为 13.6 和 14.6,而 P12 单株叶片左侧和右侧的一级叶脉数以及 P10 单株叶片右侧的一级叶脉数均最少,分别为 6.3、6.6 和 6.6;供试 21 株欧洲

李单株的单叶面积为 10.13~30.75 cm²,其中,P19 单株的单叶面积最大,P16 单株的单叶面积最小;供试 21 株欧洲李单株的单叶干质量为 0.11~0.41 g,其中,P19 单株的单叶干质量最大,P9 单株的单叶干质量最小;供试 21 株欧洲李单株的叶纵径为 45.17~89.20 mm,其中,P11 单株的叶纵径最长,P16 单株的

叶纵径最短;供试 21 株欧洲李单株的叶横径为 32.58~50.33 mm,其中,P18 单株的叶横径最长,P5 单株的叶横径最短;供试 21 株欧洲李单株的叶柄长为 7.84~21.24 mm,其中,P21 单株的叶柄最长,P5 单株的叶柄最短;供试 21 株欧洲李单株的叶厚为 0.13~0.44 mm,其中,P21 单株的叶片最厚,P11 单

株的叶片最薄。

分析结果表明:供试 21 株欧洲李单株单叶干质量的变异系数最大(48.5%),单叶面积的变异系数较大(37.4%),叶厚、叶柄长、叶纵径及左侧和右侧一级叶脉数的变异系数较小(分别为 28.1%、28.0%、22.8%、21.9%和 20.5%),叶横径的变异系数最小(12.5%)。

表3 新疆地区欧洲李单株叶片表型性状定量指标的比较($\bar{X}\pm SD$)

Table 3 Comparison on quantitative indexes of leaf phenotypic traits of individuals of *Prunus domestica* Linn. in Xinjiang region ($\bar{X}\pm SD$)

编号 ¹⁾ No. ¹⁾	一级叶脉数 Primary vein number		单叶面积/cm ² Area per leaf	单叶干质量/g Dry weight per leaf	叶纵径/mm Leaf vertical diameter	叶横径/mm Leaf horizontal diameter	叶厚/mm Leaf thickness	叶柄长/mm Petiole length
	左侧 Left	右侧 Right						
P1	9.4±1.6	9.0±2.2	15.62±3.46	0.15±0.08	58.29±2.63	35.81±2.35	0.37±0.05	10.72±1.43
P2	8.9±1.6	9.3±1.6	13.44±2.16	0.17±0.04	57.53±3.27	34.42±2.94	0.27±0.05	10.12±0.84
P3	9.2±1.9	9.6±1.6	14.92±3.13	0.16±0.03	60.36±4.18	35.82±4.15	0.42±0.06	8.75±0.84
P4	11.2±2.2	10.1±2.1	16.18±2.04	0.16±0.03	59.02±4.21	39.01±2.54	0.42±0.03	7.84±1.31
P5	8.6±1.2	9.2±1.2	12.30±1.60	0.15±0.03	54.63±2.45	32.58±2.76	0.33±0.05	8.17±1.27
P6	8.1±0.7	8.4±1.0	14.60±2.53	0.21±0.03	62.38±1.40	33.69±3.24	0.30±0.03	15.94±2.16
P7	8.4±1.2	8.0±1.0	16.86±1.13	0.20±0.02	58.24±1.53	40.33±2.00	0.41±0.07	10.56±1.19
P8	9.7±1.3	9.9±1.2	20.65±2.36	0.20±0.03	61.16±3.04	39.23±3.22	0.26±0.08	12.95±2.20
P9	6.7±0.9	7.2±1.1	13.34±1.22	0.11±0.01	59.31±4.83	34.86±1.84	0.16±0.07	18.67±1.68
P10	6.6±1.4	6.6±1.3	18.03±4.65	0.24±0.05	60.10±3.75	43.30±1.46	0.27±0.05	15.37±2.38
P11	8.3±1.2	9.1±1.5	28.94±3.38	0.17±0.04	89.20±2.47	38.03±2.39	0.13±0.06	19.57±1.86
P12	6.3±0.6	6.6±0.6	16.62±1.08	0.17±0.03	63.28±4.16	38.73±2.36	0.17±0.06	16.85±1.28
P13	8.4±1.3	7.6±1.6	11.07±2.51	0.12±0.04	45.73±4.12	34.62±3.43	0.37±0.03	10.88±1.48
P14	8.2±1.2	8.3±1.1	11.82±1.81	0.13±0.03	48.48±4.03	35.45±3.70	0.38±0.06	11.44±1.21
P15	9.0±1.2	8.4±0.8	11.91±2.66	0.12±0.03	46.92±2.67	35.57±2.72	0.33±0.04	9.80±1.71
P16	7.8±0.9	7.5±1.1	10.13±2.17	0.13±0.01	45.17±3.37	33.27±4.50	0.33±0.05	10.93±1.74
P17	8.2±0.8	8.2±0.9	11.67±1.99	0.12±0.02	47.90±2.41	34.55±2.47	0.40±0.05	9.59±1.32
P18	9.7±1.4	10.9±1.6	29.19±2.83	0.33±0.05	84.20±3.57	50.33±3.35	0.29±0.02	16.08±3.68
P19	9.7±1.6	10.1±1.6	30.75±3.43	0.41±0.04	80.91±3.04	46.78±3.30	0.39±0.05	12.44±2.23
P20	13.6±2.3	14.6±2.9	26.69±4.53	0.39±0.08	86.70±3.64	44.16±4.01	0.33±0.05	12.44±1.74
P21	13.1±1.6	13.5±1.7	28.95±4.12	0.34±0.05	85.31±4.02	45.37±2.50	0.44±0.09	21.24±2.05
CV/%	20.5	21.9	37.4	48.5	22.8	12.5	28.1	28.0

¹⁾ P1-P5: ‘塔城槟子’ ‘Tacheng Binzi’; P6-P7: ‘塔城酸梅’ ‘Tacheng Suanmei’; P8: ‘伽师酸梅’ ‘Jiashi Suanmei’; P9: ‘吾尔江’ ‘Wuerjiang’; P10: ‘艾努拉’ ‘Aimula’; P11: ‘阿鲁恰’ ‘Aluqia’; P12: ‘克孜吾尔江’ ‘Keziwuerjiang’; P13-P17: 欧洲李 *Prunus domestica* Linn.; P18: ‘法兰西’ ‘French’; P19: ‘斯坦勒’ ‘Stanley’; P20: ‘女神’ ‘Goddess’; P21: ‘理查德’ ‘Richard’. CV: 变异系数 Coefficient of variation.

2.2 主成分分析

经计算,供试欧洲李单株叶片表型性状的 KMO 检验值为 0.532(高于 0.5), Bartlett 球形度检验的 Sig. 值为 0.000(低于 0.05),符合主成分分析条件。主成分分析结果(表 4)表明:前 4 个主成分的特征值均大于 1,累计贡献率达 85.311%,说明前 4 个主成分可代表新疆地区欧洲李的主要表型特征。

由表 4 可见:第 1 主成分中单叶面积和单叶干质量的载荷较大,分别为 0.177 和 0.175,说明第 1 主成分为单叶面积-单叶干质量因子;第 2 主成分中叶基

和叶尖的载荷较大,分别为 0.325 和 -0.322,说明第 2 主成分为叶基-叶尖因子;第 3 主成分中叶厚和叶柄长的载荷较大,分别为 0.429 和 -0.320,说明第 3 主成分为叶厚-叶柄长因子;第 4 主成分中叶色和叶缘的载荷较大,分别为 0.903 和 -0.247,说明第 4 主成分为叶色-叶缘因子。

2.3 聚类分析

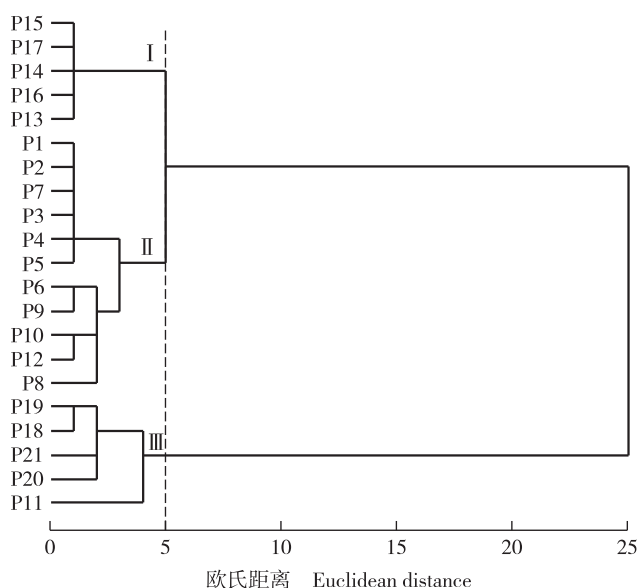
基于欧氏距离对供试 21 株欧洲李单株进行聚类分析,结果(图 1)表明:在欧氏距离 5.0 处,供试单株被分成 3 组,其中,第 I 组包括欧洲李(编号 P13 至

表 4 新疆地区欧洲李单株叶片表型性状的主成分分析结果

Table 4 Result of principal component analysis on leaf phenotypic traits of individuals of *Prunus domestica* Linn. in Xinjiang region

主成分 Principal component	各表型性状的载荷 Load of each phenotypic trait							
	左侧一级叶脉数 Primary vein number on left	右侧一级叶脉数 Primary vein number on right	单叶面积 Area per leaf	单叶干质量 Dry weight per leaf	叶纵径 Leaf vertical diameter	叶横径 Leaf horizontal diameter	叶厚 Leaf thickness	叶柄长 Petiole length
1	0.140	0.157	0.177	0.175	0.169	0.152	0.021	0.080
2	-0.143	-0.114	0.047	0.087	-0.017	0.130	-0.103	0.164
3	0.182	0.099	-0.029	0.042	-0.179	0.023	0.429	-0.320
4	0.139	0.151	-0.077	-0.070	0.002	-0.130	-0.090	0.030

主成分 Principal component	各表型性状的载荷 Load of each phenotypic trait					特征值 Eigenvalue	贡献率/% Contribution rate	累计贡献率/% Accumulative contribution rate
	叶形 Leaf shape	叶尖 Leaf tip	叶缘 Leaf margin	叶基 Leaf base	叶色 Leaf color			
1	0.105	-0.033	0.079	-0.051	0.011	5.390	41.462	41.462
2	-0.208	-0.322	0.172	0.325	0.071	2.599	19.989	61.451
3	-0.239	-0.074	0.275	-0.002	0.086	1.950	15.002	76.453
4	0.036	-0.149	-0.247	-0.041	0.903	1.022	7.858	85.311



P1-P5: ‘塔城槟子’ ‘Tacheng Binzi’; P6-P7: ‘塔城酸梅’ ‘Tacheng Suanmei’; P8: ‘伽师酸梅’ ‘Jiashi Suanmei’; P9: ‘吾尔江’ ‘Wuerjiang’; P10: ‘艾努拉’ ‘Ainula’; P11: ‘阿鲁恰’ ‘Aluqia’; P12: ‘克孜吾尔江’ ‘Keziwuerjiang’; P13-P17: 欧洲李 *Prunus domestica* Linn.; P18: ‘法兰西’ ‘French’; P19: ‘斯坦勒’ ‘Stanley’; P20: ‘女神’ ‘Goddess’; P21: ‘理查德’ ‘Richard’.

图 1 新疆地区欧洲李单株的聚类图
Fig. 1 Cluster diagram of individuals of *Prunus domestica* Linn. in Xinjiang region

P17) 的单株, 均为国内野生型; 第 II 组包括 ‘塔城槟子’ (编号 P1 至 P5)、‘塔城酸梅’ (编号 P6 和 P7)、‘伽师酸梅’ (编号 P8)、‘吾尔江’ (编号 P9)、‘艾努拉’ (编号 P10) 和 ‘克孜吾尔江’ (编号 P12) 的单株, 其中 P7 单株为疑似国内野生型, 其余单株均为国内

栽培型; 第 III 组包括 ‘阿鲁恰’ (编号 P11)、‘法兰西’ (编号 P18)、‘斯坦勒’ (编号 P19)、‘女神’ (编号 P20) 和 ‘理查德’ (编号 P21) 的单株, 其中 P11 单株为国内栽培型, 其余单株均为国外引进型。在欧氏距离 5.0 处, 第 I 组和第 II 组聚在一起, 说明新疆地区欧洲李的国内野生型与国内栽培型的亲缘关系较近, 二者与国外引进型的亲缘关系均相对较远。

进一步分析结果表明: 在第 II 组中, P1 至 P5 单株与 P7 单株首先聚在一起, 说明 ‘塔城槟子’ 和 ‘塔城酸梅’ 的亲缘关系较近; P6 与 P9 单株以及 P10 与 P12 单株分别首先聚在一起, 然后在欧氏距离 2.0 处与 P8 单株聚在一起, 说明 ‘伽师酸梅’ 与 ‘塔城酸梅’、‘吾尔江’、‘艾努拉’ 和 ‘克孜吾尔江’ 的亲缘关系相对较远。在第 III 组中, P18 至 P21 单株首先聚在一起, 然后在欧氏距离 4.0 处与 P11 单株聚在一起, 说明 4 株国外引进型间的亲缘关系相对较近, ‘阿鲁恰’ 与国外引进型间的亲缘关系相对较远。但是, 与其余国内栽培型相比, ‘阿鲁恰’ 与上述国外引进型间的亲缘关系相对较近。

3 讨论和结论

利用表型性状检测植物的遗传变异和多样性简便易行^[21-22], 能够在短期内基本了解植物的遗传变异水平。本研究中, 供试欧洲李单株叶片的正面和反面均被茸毛, 叶形有阔椭圆形、卵圆形、椭圆形、狭椭圆形和倒披针形, 叶尖有钝尖、渐尖、锐尖和长突尖, 叶缘有细齿状、锯齿状、钝尖状和钝齿状, 叶基有狭楔

形、楔形和圆形,叶色有浅绿色、绿色和深绿色;并且,叶片13个表型性状的变异系数大多较高,说明新疆地区欧洲李叶片表型性状的多样性较高。根据各表型性状的变异系数,新疆地区欧洲李叶片的表型变异主要集中在叶形、叶缘、单叶干质量和单叶面积4个表型性状上,变异系数分别为39.4%、39.2%、48.5%和37.4%,明显高于其余表型性状,且这些表型性状不易受到实验操作的影响,因此,在对欧洲李进行多样性分析时更有说服力。

陈进燎等^[23]认为,利用叶片表面特征能够明确野牡丹属(*Melastoma* Linn.)植物相似种的亲缘关系。本研究聚类结果表明:所有国内野生型单株聚为一组,国内栽培型‘阿鲁恰’与所有国外引进型单株聚为一组,其余国内栽培型单株聚为一组,并且,与国外引进型相比,国内野生型与国内栽培型间的亲缘关系更近,这一研究结果与耿文娟^[14]利用SSR分子标记技术分析欧洲李国内野生型和国内栽培型亲缘关系的结果一致。说明研究欧洲李叶片表型特征对分析欧洲李资源间的亲缘关系具有一定的指导意义,也可作为李属植物的鉴别和分类提供依据。

本研究结果显示:新疆地区欧洲李叶片表型性状的多样性较高;单叶面积-单叶干质量因子、叶基-叶尖因子、叶厚-叶柄长因子和叶色-叶缘因子是影响欧洲李叶片表型性状的主要因子;国内栽培型与国内野生型的亲缘关系较近,二者与国外引进型的亲缘关系均较远;并且,叶形、叶缘、单叶干质量和单叶面积可作为新疆地区欧洲李多样性和亲缘关系分析的主要表型性状。但是,由于植物的表型性状易受环境和基因型影响,因此,应结合不同分子标记进一步深入分析欧洲李的遗传变异,以期对欧洲李的遗传变异、种质保存及居群结构研究提供可靠依据。

参考文献:

- [1] 刘长娥,宋祥甫,付子斌,等. 8种湿地植物不同苗龄植株的表型特征及相关性分析[J]. 植物资源与环境学报, 2014, 23(1): 93-98.
- [2] 薛晓东,吾买尔夏提·塔汗,代培红,等. 新疆阿勒泰地区5个大赖草种群的表型多样性分析[J]. 植物资源与环境学报, 2016, 25(2): 85-91.
- [3] 陈家宽,杨继. 植物进化生物学[M]. 武汉:武汉大学出版社, 1994: 153.
- [4] ACKERLY D D, DUDLEY S A, SULTAN S E, et al. The evolution of plant ecophysiological traits: recent advances and future directions [J]. *BioScience*, 2000, 50(11): 979-995.
- [5] ARNTZ M A, DELPH L F. Pattern and process: evidence for the evolution of photosynthetic traits in natural populations [J]. *Oecologia*, 2001, 127(4): 455-467.
- [6] PIGLIUCCI M, MURREN C J, SCHLICHTING C D. Phenotypic plasticity and evolution by genetic assimilation [J]. *The Journal of Experimental Biology*, 2006, 209(12): 2362-2367.
- [7] 蔡一林,刘志斋,王天宇,等. 国内部分玉米地方品种的品质与农艺性状的表型多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2011, 12(1): 31-36.
- [8] 胡标林,万勇,李霞,等. 水稻核心种质表型性状遗传多样性分析及综合评价[J]. 作物学报, 2012, 38(5): 829-839.
- [9] LEISHMAN M R, WESTOBY M, JURADO E. Correlates of seed size variation: a comparison among five temperate floras [J]. *Journal of Ecology*, 1995, 83(3): 517-530.
- [10] 李华锋,滕杰,杨家干,等. 连南栽培型古树资源叶片表型性状遗传多样性及聚类分析[J]. 中国农学通报, 2016, 32(36): 109-114.
- [11] 张元燕,虞木奎,方炎明. 麻栎不同种源的表型性状变异分析[J]. 植物资源与环境学报, 2014, 23(3): 36-44.
- [12] 张加延,周恩. 中国果树志:李卷[M]. 北京:中国林业出版社, 1997: 13.
- [13] 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: 4-7.
- [14] 耿文娟. 野生欧洲李种质资源特性及亲缘关系研究[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学林学与园艺学院, 2011: 107.
- [15] 孙琪,廖康,耿文娟,等. 基于花粉微观特征的新疆欧洲李亲缘关系分析[J]. 果树学报, 2015, 32(3): 393-403.
- [16] 刘雨,廖明安,邱丽娜,等. 李亲缘关系SRAP分析[J]. 热带作物学报, 2014, 35(5): 904-908.
- [17] 孙琪. 野生欧洲李种质资源亲缘关系研究[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学林学与园艺学院, 2015: 33-46.
- [18] 宋恬,朱敏,颜刚刚,等. 新疆野生欧洲李叶片形态及结构研究[J]. 园艺学报, 2015, 42(S1): 2596.
- [19] 蒲富慎. 果树种质资源描述符:记载项目及评价标准[M]. 北京:中国农业出版社, 1990: 87.
- [20] 陈雪燕,王亚娟,雒景吾,等. 陕西省小麦地方品种主要性状的遗传多样性研究[J]. 麦类作物学报, 2007, 27(3): 456-460.
- [21] 杨静,刘海英,钱春荣,等. 黑龙江省水稻品种SSR标记遗传多样性分析[J]. 东北农业大学学报, 2008, 39(6): 1-10.
- [22] 赵庆勇,张亚东,朱镇,等. 采用SSR标记和表型性状聚类对杂交水稻亲本的遗传多样性研究[J]. 杂交水稻, 2010, 25(4): 68-74.
- [23] 陈进燎,兰思仁,吴沙沙,等. 6种野牡丹属植物叶片表面特征及其分类学意义研究[J]. 福建林学院学报, 2013, 33(2): 106-112.

(责任编辑:佟金凤)