

基于 30 个形态性状的 中国杏属 (*Armeniaca* Scop.) 植物分类学研究

王家琼^{1a,2,①}, 吴保欢^{1a,①}, 崔大方^{1a,②}, 羊海军^{1b}, 黄 峥³, 齐安民⁴

(1. 华南农业大学: a. 林学与风景园林学院, b. 公共基础课实验教学中心, 广东 广州 510642; 2. 重庆市云阳县森林资源监测中心, 重庆 404500; 3. 国家林业局中南林业调查规划设计院, 湖南 长沙 410014; 4. 重庆市云阳县果品产业发展局, 重庆 404500)

摘要: 基于与叶和果实相关的 30 个形态性状(包括 20 个定性性状和 10 个定量性状)对中国杏属 (*Armeniaca* Scop.) 11 种 3 变种进行了 UPGMA 聚类分析和主成分分析;在主成分分析基础上,构建了中国杏属植物的 OTU 散点图;并且,结合降水量分布图绘制了中国杏属植物分布图。聚类分析结果显示:供试杏属植物被分成 2 支。若包含毛叶梅(*A. mume* var. *goethartiana* Koehne),则毛叶梅、梅(*A. mume* Sieb.)、洪平杏(*A. hongpingensis* C. L. Li)以及政和杏(*A. zhengheensis* J. Y. Zhang et M. N. Lu)聚为一支,其余 8 种 2 变种聚为另一支;若不包含毛叶梅,梅则被划分在后一个分支中。主成分分析结果显示:前 3 个主成分的累计贡献率仅 60.318 0%,说明中国杏属植物的形态性状具有较大的遗传变异;在前 3 个主成分中,树高、叶片下表面被毛情况、叶长/叶柄长比值、叶长/叶宽比值、果核形状、叶宽、果核宽、叶柄长、果柄长和叶缘锯齿形状的绝对权重值均在 0.7 以上,表明这 10 个性状在中国杏属植物的分类学研究中具有重要作用。OTU 散点图显示:中国杏属植物在二维散点图上的分类结果与其聚类结果基本一致,并且,其聚类结果中的各分支在三维散点图上也能够明显区分,说明可以采用前 3 个主成分中绝对权重值较高的性状对中国杏属植物进行分类。分布图显示:杏属植物遍布中国各省(区),且主要集中分布在 400 和 800 mm 等降水量线之间的区域。结合上述研究结果及他人的研究成果,支持“将藏杏 [*A. holosericea* (Batal.) Kost.] 作为杏 (*A. vulgaris* Lam.) 的 1 个变种”以及“将政和杏作为梅的 1 个变种”的分类处理,并支持“将洪平杏作为独立种”的分类处理。此外,建议将仙居杏(*A. xianjuxing* J. Y. Zhang et X. Z. Wu) 和华仁杏(*A. cathayana* D. L. Fu et al) 作为杏属的栽培种。

关键词: 杏属; 形态性状; UPGMA 聚类分析; 主成分分析; OTU 散点图; 分类学修订

中图分类号: Q949.751.8 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2016)03-0103-09

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2016.03.13

Taxonomic study on *Armeniaca* Scop. species in China based on thirty morphological characters

WANG Jiaqiong^{1a,2,①}, WU Baohuan^{1a,①}, CUI Dafang^{1a,②}, YANG Haijun^{1b}, HUANG Zheng³, QI Anmin⁴ (1. South China Agricultural University: a. College of Forestry and Landscape Architecture, b. Center of Experimental Teaching for Common Basic Courses, Guangzhou 510642, China; 2. Forest Resources Monitoring Center of Yunyang County, Chongqing 404500, China; 3. Central South Forest Inventory and Planning Institute of State Forestry Administration, Changsha 410014, China; 4. Fruit Industry Development Bureau of Yunyang County, Chongqing 404500, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2016, 25(3): 103-111

Abstract: According to thirty morphological characters (including twenty qualitative and ten quantitative characters) related to leaf and fruit, UPGMA cluster analysis and principal component analysis on eleven species and three varieties of *Armeniaca* Scop. in China were carried out. On the basis of principal

收稿日期: 2015-11-17

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31370246)

作者简介: 王家琼(1985—),女,重庆奉节人,硕士研究生,主要从事资源植物学研究。

吴保欢(1991—),男,广东汕尾人,硕士研究生,主要从事系统与演化植物学研究。

①并列第一作者

②通信作者 E-mail: cuidf@scau.edu.cn

component analysis, OTU scatter diagrams of *Armeniaca* species in China were constructed. In addition, distribution map of *Armeniaca* species in China was drawn by combining precipitation distribution map. Cluster analysis results show that *Armeniaca* species tested are divided into two branches. In case of including *A. mume* var. *goethartiana* Koehne, *A. mume* var. *goethartiana*, *A. mume* Sieb., *A. hongpingensis* C. L. Li and *A. zhengheensis* J. Y. Zhang et M. N. Lu are clustered in one branch, other eight species and two varieties are clustered in another branch. If don't include *A. mume* var. *goethartiana*, *A. mume* is divided into the latter branch. Principal component analysis result shows that cumulative contribution rate of the first three principal components is only 60.318 0%, indicating that there are great genetic variations in morphological characters of *Armeniaca* species in China. Among the first three principal components, absolute weight values of height, hair covering status of leaf lower surface, leaf length/petiole length ratio, leaf length/leaf width ratio, endocarp shape, leaf width, endocarp width, petiole length, fruit stalk length and leaf margin serrate shape all are above 0.7, meaning that these ten characters play an important role in taxonomic study on *Armeniaca* species in China. OTU scatter diagrams show that classification result of *Armeniaca* species in China in two-dimensional scatter diagram is basically identical with their cluster result, besides, all branches in their cluster result also can be distinguished obviously in three-dimensional scatter diagram, indicating that some characters with high absolute weight value in the first three principal components can be used to classify *Armeniaca* species in China. Distribution map shows that *Armeniaca* species distribute in all provinces of China, and mainly concentratively distribute in regions between 400 and 800 mm isohyets of precipitation. Combining with above and other research results, it is in support of taxonomic treatments of "taking *A. holosericea* (Batal.) Kost. as a variety of *A. vulgaris* Lam." and "taking *A. zhengheensis* as a variety of *A. mume*", and in support of taxonomic treatment of "taking *A. hongpingensis* as an independent species". Otherwise, it is proposed to take *A. xianjuxing* J. Y. Zhang et X. Z. Wu and *A. cathayana* D. L. Fu et al as cultivated species in *Armeniaca*.

Key words: *Armeniaca* Scop.; morphological characters; UPGMA cluster analysis; principal component analysis; OTU scatter diagram; taxonomic revision

杏属 (*Armeniaca* Scop.) 植物原产于中国, 为蔷薇科 (Rosaceae) 李亚科 (Subfam. Prunoideae) 果树中的一类重要树种。据《Flora of China》^[1] 记载, 分布在中国的杏属植物有 10 种。根据史料记载和考古发现, 杏树在中国的栽培历史悠久, 已经有 3 500 多年的栽培史。作为杏的原生起源中心之一, 中国拥有丰富的种质资源。全世界的栽培杏品种约有 3 000 余个, 中国有近 2 000 个品种, 并且多为杏 (*Armeniaca vulgaris* Lam.)、山杏 [*A. sibirica* (Linn.) Lam.]、东北杏 [*A. mandshurica* (Maxim.) Skv.] 和梅 (*A. mume* Sieb.) 的变种和变型, 种质资源十分丰富^[2]。

目前, 研究者们对李亚科的分类还存在诸多分歧。众多研究者采用 Rehder^[3] 的分类系统对李亚科植物进行分类, 将核果类归入 *Prunus* Linn. 属中, 并进一步分成 5 个亚属, 即李亚属 (Subg. *Prunophora*)、桃亚属 (Subg. *Amygdalus*)、樱桃亚属 (Subg. *Cerasus*)、稠李亚属 (Subg. *Padus*) 和桂樱亚属 (Subg. *Laurocerasus*); 《中国植物志》^[4] 则将核果类 (李亚科) 分为桃属 (*Amygdalus* Linn.)、杏属 (*Armeniaca* Mill.)、李属 (*Prunus* Linn.)、樱属 (*Cerasus* Mill.)、稠李属

(*Padus* Mill.) 和桂樱属 (*Laurocerasus* Tourn. ex Duh.) 6 个属, 《Flora of China》^[1] 也坚持这一观点。

近几年来, 染色体核型分析、孢粉学分析、同工酶分析及各种分子标记 (包括 RFLP、RAPD、AFLP、SSR、ISSR 等) 技术已经被广泛应用于杏属果树的种质资源评价、品种鉴定和分类、基因定位及基因组图谱构建等研究领域, 并取得了很多研究成果^[5-22], 但是这些研究涉及的种类较少, 并且关于杏属属下分类及演化的研究报道甚为少见。此外, 迄今为止尚未见关于杏属属内野生种亲缘关系的全面的研究报道。

鉴于此, 作者对中国科学院植物研究所标本馆、中国科学院华南植物园标本馆和华南农业大学植物标本馆馆藏的《Flora of China》^[1] 中收录的中国杏属的 9 种 2 变种以及仙居杏 (*A. xianjuxing* J. Y. Zhang et X. Z. Wu)、华仁杏 (*A. cathayana* D. L. Fu et al) 和毛叶梅 (*A. mume* var. *goethartiana* Koehne) 共 11 种 3 变种的 30 个形态性状进行数量统计分析, 在此基础上, 对中国杏属植物进行 UPGMA 聚类分析和主成分分析, 并在主成分分析基础上对中国杏属植物进行 OTU 散点图分析; 此外, 还结合降水量分布图对中国

杏属植物进行地理分布分析,以期能够较全面探讨中国杏属植物种间的亲缘关系,明确其地理分布格局,并为杏属植物的分类学研究提供数量分类学证据。

1 材料和方法

1.1 材料

以中国科学院植物研究所植物标本馆(PE)、中国科学院华南植物园标本馆(IBSC)和华南农业大学植物标本馆(CANT)馆藏的杏属11种3变种的腊叶标本为研究对象,各种类的凭证标本信息如下所述。

1) 华仁杏:HNZZ2014001,傅大立,CANT。

2) 紫杏[*A. dasycarpa* (Ehrh.) Borkh.]:0096,新喀,PE;74,新喀,PE;84,新东,PE。

3) 藏杏[*A. holosericea* (Batal.) Kost.]:1595,川西队,PE;60218,李国风,PE;2894,姜恕,PE;2959,姜恕,PE;40,俞德浚,PE;49,俞德浚,PE;5616,肖简文,PE;3079,安明先,PE;5550,崔友文,PE;5551,崔友文,PE;25,采集人不详,PE;3452,川经济,PE。

4) 洪平杏(*A. hongpingensis* C. L. Li):34031,采集人不详,PE。

5) 李梅杏(*A. limeixing* J. Y. Zhang et Z. M. Wang):96-2,张加延,PE。

6) 东北杏:L-24,王家琼,CANT;L-29,王家琼,CANT;180,朱有昌等,PE;无采集号,Y. Yabe,PE;1252,K. I 635,PE;47,C. Y. Wu,PE;492,朱有昌等,PE;329,朱有昌等,PE;3,董延开,PE;无采集号,P. C. Tsoong,PE;1308,王崇书,IBSC。

7) 光叶东北杏[*A. mandshurica* var. *glabra* (Nakai) T. T. Yu et L. T. Lu]:L-1,王家琼,CANT;L-2,王家琼,CANT;61,野田光藏,PE;222,朱有昌,PE;296,吉林通化组,PE;302,牡丹江队,PE;566,中德队,PE。

8) 梅:16,关克俭,PE;61,采集人不详,PE;2298,王名金,PE;96,M. Chen 陈谋,PE;2455,赖书绅,PE;650324,杨祥学,PE;831,海南东队,PE;93252,陈立卿,PE;71776,王启无,PE;525,费德罗夫斯基,PE;1907,毛品一,PE;65030,俞绍文,PE;51433,采集人不详,PE;718,付国勋,PE;761,张永田,PE;1268,倪志诚,PE;4576,章绍尧,PE;26524,浙江植物资源普查队,PE;16887,刘正宇,PE;1133,金佛山考察队,PE;587,管中天,PE;1201,叶国栋,PE;301,何国生,PE;

8829,邓良,PE;265,粤73,PE;16,陈少卿,IBSC;2214,石国良,IBSC;10390,邓良,IBSC;19077,黄淑美,IBSC。

9) 毛叶梅:PP2015452,吴保欢,CANT。

10) 山杏:F29,王家琼,CANT;F30,王家琼,CANT;F32,王家琼,CANT;H22,王家琼,CANT;H30,王家琼,CANT;2508,采集人不详,PE;4096,采集人不详,PE;4099,采集人不详,PE;6334,采集人不详,PE;166,采集人不详,PE;1115,采集人不详,PE;504,野田光藏,PE;52,赵、杨、李、姚,PE;139,刘锺龄,PE;375,张玉良,PE;2635,付沛云,PE;2866,崔友文,PE;1996,H. W. Kung,PE;123,俞德浚,PE;5531,刘慎谔,PE;2680,王薇等,PE;599,朱有昌,PE;975,林长清,PE;792,T. Tang,IBSC;8196,刘慎谔,IBSC;1221,王战,IBSC。

11) 毛杏(*A. sibirica* var. *pubescens* Kost.):2511,何叶琪,PE;12967,刘瑛,PE;5384,关克俭,PE;5889,关克俭,PE;1303,黄河队,PE;1547,关克俭,PE;522,黄河队,PE;1915,黄河队,PE;1869,黄河队,PE;1088,W. Y. Hisa,PE;1486,T. Tang,PE;502,关克俭,PE;751,T. Tang,PE;8870,黄河队,PE;8735,黄河队,PE;5,俞德浚,PE;0045,秦岭队,PE;1238,Y. Y. Pai,PE。

12) 仙居杏:无采集号(标本号1719349),张加延,PE;ZJXJ2014002,吴相祝,CANT。

13) 杏:5,曹子余,PE;41278,H. Fchow,PE;1046,T. N. Lion,PE;40036,H. Fchow,PE;517,标本室,PE;3230,采集人不详,PE;125,俞德浚,PE;433,李劲唐,PE;2538,付沛云,PE;K907,K. C. Kuan,PE;12063,刘瑛,PE;7207,采集人不详,PE;7216,采集人不详,PE;7980,付坤俊,PE;10049,秦岭队,PE;3,俞德浚,PE;2875,K. T. Fu,PE;2,石庆辉,PE;5261,黄河队,PE;160,杨传瑜,PE;2795,T. T. Yu,PE;2764,T. T. Yu,PE;2792,T. T. Yu,PE;1426,Y. Z. Sun,PE;10026,蒋兴麟,PE;87240,王启无,PE;15057,刘慎谔,PE;74-348,林有润,IBSC;0250,杨仕煊,IBSC。

14) 政和杏(*A. zhengheensis* J. Y. Zhang et M. N. Lu):PP2015215,吴保欢,CANT;96-1,张加延,PE。

1.2 方法

通过查阅杏属植物标本,确定对30个形态性状进行分析,其中定量性状有10个,定性性状有20个,定量性状采用测量尺和游标卡尺进行测量,定性性状

采用肉眼和放大镜进行观察。定量性状包括树高、叶长、叶宽、叶长/叶宽比值、叶柄长、叶长/叶柄长比值、果柄长、果核长、果核宽、果核长/果核宽比值;定性性状包括生活型(灌木和乔木分别赋值为0和1)、叶基部形状(宽楔形、近心形和圆形分别赋值为0、1和2)、脉腋被毛情况(无毛和有毛分别赋值为0和1)、叶柄被毛情况(无毛和有毛分别赋值为0和1)、叶片上表面被毛情况(无毛和有毛分别赋值为0和1)、叶片下表面被毛情况(无毛和有毛分别赋值为0和1)、叶尖形状(渐尖和尾尖分别赋值0和1)、叶片形状(宽卵形至圆卵形、长圆形至椭圆形、近圆形及倒卵形分别赋值为0、1、2和3)、叶缘锯齿形状(圆钝、细小和尖锐分别赋值为0、1和2)、枝上刺的情况(无刺和有刺分别赋值为0和1)、叶脉中下部被毛情况(无毛和有毛分别赋值为0和1)、果实形状(扁圆形、近圆形以及卵形倒卵形分别赋值为0、1和2)、果肉开裂情况(不开裂和开裂分别赋值为0和1)、果实颜色(黄色、红色和绿色分别赋值为0、1和2)、果核形状(卵形至椭圆形及扁球形分别赋值为0和1)、果核基部形状(对称和不对称分别赋值为0和1)、果核顶端形状(尖、圆形以及扁平分别赋值为0、1和2)、果核表面纹饰(粗糙有网纹、光滑和蜂窝分别赋值为0、1和

2)、果核腹棱形状(锐利、圆和微钝分别赋值为0、1和2)、嫩枝颜色(绿色与红或褐色分别赋值为0和1)。

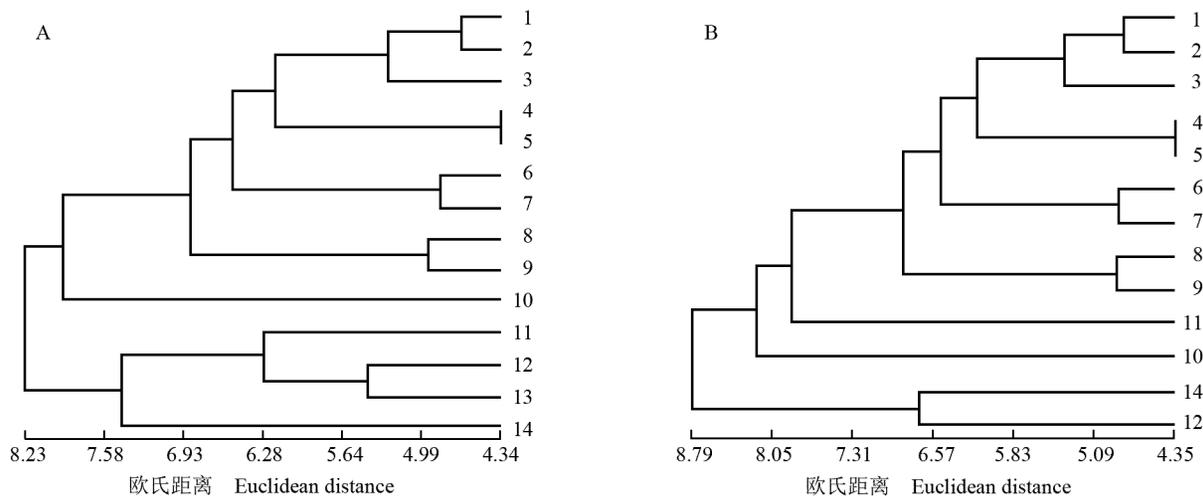
除少数种或变种的馆藏量太少以实际观测标本数为基准外,其余种或变种均观测15份标本,共观测标本143份。另有极少数性状数据来源于文献^[1,23-25]。样本选取原则:保存较好,能提供完整的特征性状;采集时间尽量一致,至少保证为果熟期;具有代表性,广布种应避免集中在同一地区。经筛选后可作为统计分析的标本有94份。定量性状结果取平均值;定性性状则以性状表现在观测统计中超过60%以上为准,即在统计的标本中,某一性状在60%以上样本中均出现则认为该性状得到表现。

基于30个形态性状数据,采用NTSYSpc 2.1软件对中国杏属植物进行UPGMA聚类分析和主成分分析,并在主成分分析基础上构建OTU散点图;此外,还结合降水量分布图对各种类进行地理分布分析。

2 结果和分析

2.1 中国杏属植物的聚类分析

基于与叶和果实相关的30个形态性状,对中国杏属11种3变种进行聚类分析,结果(图1)显示:包



1: 杏 *A. vulgaris* Lam.; 2: 华仁杏 *A. cathayana* D. L. Fu et al; 3: 藏杏 *A. holosericea* (Batal.) Kost.; 4: 紫杏 *A. dasycarpa* (Ehrh.) Borkh.; 5: 李梅杏 *A. limeixing* J. Y. Zhang et Z. M. Wang; 6: 山杏 *A. sibirica* (Linn.) Lam.; 7: 毛杏 *A. sibirica* var. *pubescens* Kost.; 8: 东北杏 *A. mandshurica* (Maxim.) Skv.; 9: 光叶东北杏 *A. mandshurica* var. *glabra* (Nakai) T. T. Yu et L. T. Lu; 10: 仙居杏 *A. xianjuxing* J. Y. Zhang et X. Z. Wu; 11: 梅 *A. mume* Sieb.; 12: 政和杏 *A. zhengheensis* J. Y. Zhang et M. N. Lu; 13: 毛叶梅 *A. mume* var. *goethartiana* Koehne; 14: 洪平杏 *A. hongpingensis* C. L. Li.

A: 包含毛叶梅的聚类分析结果 Result of cluster analysis including *A. mume* var. *goethartiana*; B: 不含毛叶梅的聚类分析结果 Result of cluster analysis excluding *A. mume* var. *goethartiana*.

图1 基于30个形态性状的中国杏属植物UPGMA聚类分析结果

Fig. 1 Result of UPGMA cluster analysis on *Armeniaca* Scop. species in China based on thirty morphological characters

含和不含毛叶梅的聚类结果略有不同。

包含毛叶梅的聚类分析结果(图1-A)显示:供试杏属植物被分成2支,其中一支包括梅、洪平杏、政和杏以及毛叶梅;另一支包括杏、华仁杏、藏杏、紫杏、李梅杏、山杏、毛杏、东北杏、光叶东北杏和仙居杏。在欧氏距离6.28处,供试杏属植物则被分成6支,其中,洪平杏和仙居杏分别单独成为一支,梅、毛叶梅和政和杏聚为一支,东北杏和光叶东北杏聚为一支,山杏和毛杏成聚为一支,杏、华仁杏、藏杏、李梅杏和紫杏聚为一支。

不含毛叶梅的聚类分析结果(图1-B)显示:供试杏属植物也被分成2支,但与图1-A相比,梅的聚类结果发生明显变化。洪平杏以及政和杏聚为一支,梅与其他10个种和变种聚为另一支。在欧氏距离6.57处,供试杏属植物也被分成6支,其中,梅、仙居杏、洪平杏以及政和杏分别单独成为一支,东北杏和光叶东北杏聚为一支,其余7个种和变种聚为一支。

2.2 中国杏属植物的主成分分析

基于30个形态性状、采用NTSYSpc 2.1软件对供试的杏属植物进行主成分分析,结果见表1。

表1 基于30个形态性状的中国杏属植物的主成分分析

Table 1 Result of principal component analysis on *Armeniaca* Scop. species in China based on thirty morphological characters

主成分 Principal component	不同性状的绝对权重值 ¹⁾ Absolute weight value of different characters ¹⁾								
	H	LF	L _L	W _L	L _L /W _L	L _P	L _L /L _P	LBS	HCSVA
1	0.916 6	0.377 1	0.606 1	-0.084 8	0.706 9	-0.463 4	0.798 2	0.280 1	0.492 6
2	0.264 9	0.562 3	0.417 2	0.875 5	-0.414 1	0.724 6	-0.496 0	0.179 8	-0.083 4
3	0.090 7	-0.487 9	-0.502 0	-0.123 8	-0.253 4	-0.197 6	-0.114 3	0.263 2	0.434 9
4	0.036 2	-0.132 2	0.218 5	0.140 5	0.260 3	-0.070 4	0.183 2	0.022 4	0.496 0
5	0.033 3	-0.018 8	0.054 5	-0.370 6	0.327 5	-0.319 3	0.152 8	-0.647 3	0.023 2
主成分 Principal component	不同性状的绝对权重值 ¹⁾ Absolute weight value of different characters ¹⁾								
	HCSP	HCSLUS	HCSLLS	LAS	LS	LMSS	TSB	HCSMLPV	FS
1	0.385 3	0.328 8	0.877 3	0.437 9	0.338 0	-0.273 4	0.325 4	0.698 9	-0.056 3
2	0.280 9	0.226 5	-0.120 4	-0.390 9	-0.400 5	0.094 0	-0.637 1	0.086 7	-0.154 1
3	0.499 1	0.424 1	0.178 1	-0.395 0	-0.693 2	-0.732 1	-0.053 3	0.605 9	-0.579 6
4	0.386 2	-0.453 8	-0.151 5	0.299 3	-0.336 4	0.116 3	0.179 6	0.203 9	-0.090 9
5	0.200 7	0.105 9	0.008 9	-0.229 5	-0.006 1	-0.333 1	-0.154 8	0.044 0	0.223 3
主成分 Principal component	不同性状的绝对权重值 ¹⁾ Absolute weight value of different characters ¹⁾								
	MSS	FC	L _{FS}	ES	EBS	EAS	ESO	EVRS	L _E
1	-0.588 2	-0.384 9	0.221 8	-0.746 3	-0.575 0	-0.186 9	0.158 0	0.568 4	0.680 2
2	-0.181 7	-0.120 6	0.569 4	0.139 0	-0.273 6	0.282 6	-0.654 3	0.202 3	0.603 2
3	0.055 8	0.550 1	-0.730 8	-0.179 4	0.104 0	0.417 0	-0.159 6	-0.212 0	0.113 0
4	0.219 4	-0.584 7	0.126 9	0.467 8	-0.060 9	0.722 5	0.401 3	0.254 7	-0.241 2
5	-0.091 7	0.084 7	0.167 7	0.395 7	0.722 2	-0.245 4	-0.285 6	0.453 3	0.124 2
主成分 Principal component	不同性状的绝对权重值 ¹⁾ Absolute weight value of different characters ¹⁾			特征值 Eigenvalue	贡献率/% Contribution rate	累计贡献率/% Cumulative contribution rate			
	W _E	L _E /W _E	TC						
	1	0.510 5	0.677 1	0.405 1	8.193 7	27.312 1	27.312 1		
2	0.731 4	-0.099 7	-0.575 6	5.467 7	18.225 4	45.537 5			
3	0.184 4	-0.140 6	0.114 1	4.434 2	14.780 5	60.318 0			
4	-0.002 2	-0.654 3	-0.124 7	2.993 9	9.979 4	70.297 4			
5	0.168 4	-0.113 1	-0.483 7	2.444 6	8.148 6	78.445 9			

¹⁾ H: 树高 Height; LF: 生活型 Life form; L_L: 叶长 Leaf length; W_L: 叶宽 Leaf width; L_P: 叶柄长 Petiole length; LBS: 叶基部形状 Leaf base shape; HCSVA: 脉腋被毛情况 Hair covering status of vein axils; HCSP: 叶柄被毛情况 Hair covering status of petiole; HCSLUS: 叶片上表面被毛情况 Hair covering status of leaf upper surface; HCSLLS: 叶片下表面被毛情况 Hair covering status of leaf lower surface; LAS: 叶尖形状 Leaf apex shape; LS: 叶片形状 Leaf shape; LMSS: 叶缘锯齿形状 Leaf margin serrate shape; TSB: 枝上刺的情况 Thorn status on branch; HCSMLPV: 叶脉中下部被毛情况 Hair covering status of middle and lower part of vein; FS: 果实形状 Fruit shape; MSS: 果肉开裂情况 Mesocarp splitting status; FC: 果实颜色 Fruit color; L_{FS}: 果柄长 Fruit stalk length; ES: 果核形状 Endocarp shape; EBS: 果核基部形状 Endocarp base shape; EAS: 果核顶端形状 Endocarp apex shape; ESO: 果核表面纹饰 Endocarp surface ornamentation; EVRS: 果核腹棱形状 Endocarp ventral rib shape; L_E: 果核长 Endocarp length; W_E: 果核宽 Endocarp width; TC: 嫩枝颜色 Twig color.

由表1可见:前3个主成分累计贡献率仅为60.318 0%,前4个主成分累计贡献率为70.297 4%,前5个主成分累计贡献率为78.445 9%,表明各性状指标的累计贡献率增长较慢,中国杏属植物的形态性状具有较大的遗传变异。

由表1还可见:第1主成分中树高、叶片下表面被毛情况、叶长/叶柄长比值、叶长/叶宽比值和果核形状的绝对权重值均较高,分别为0.916 6、0.877 3、0.798 2、0.706 9和-0.746 3,说明这些性状是中国杏属植物分类的主要性状;第2主成分中叶宽、果核宽和叶柄长的绝对权重值较高,分别为0.875 5、0.731 4和0.724 6,说明这些性状在中国杏属植物分类中具有重要作用;在第3主成分中,果柄长和叶缘锯齿形状的绝对权重值较高,分别为-0.730 8和-0.732 1,说明这些性状在中国杏属植物分类中有较大作用。

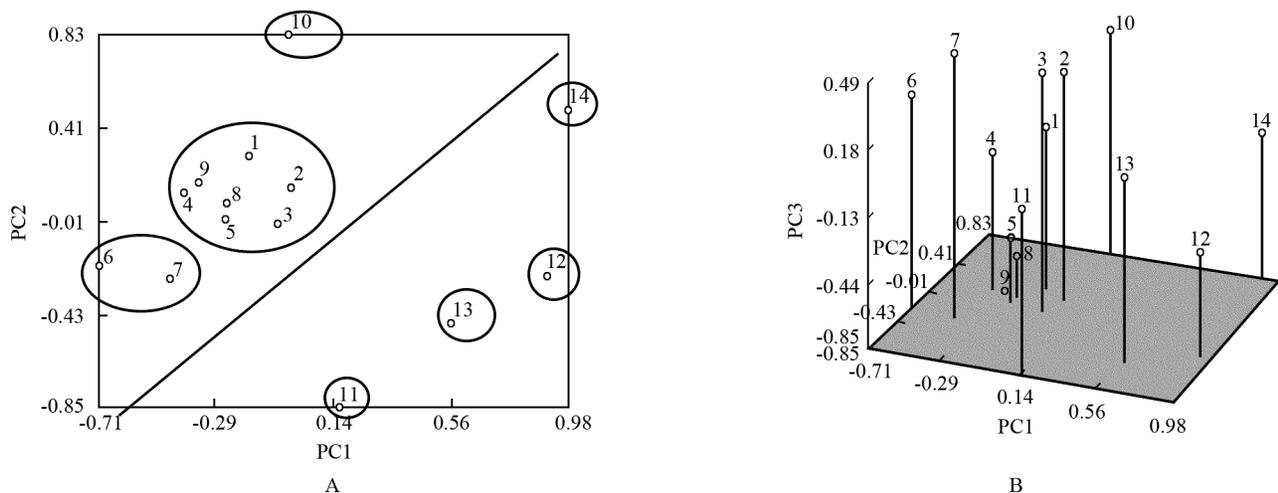
2.3 中国杏属植物的 OTU 散点图分析

在主成分分析基础上构建的中国杏属植物 OTU

散点图,结果见图2。其中,图2-A是以前2个主成分(PC1和PC2)构建的中国杏属植物 OTU 二维散点图,图2-B是以前3个主成分(PC1、PC2和PC3)构建的中国杏属植物 OTU 三维散点图。

由图2-A可以看出:供试的中国杏属11种3变种被分成7类,基本上与UPGMA聚类结果一致;并且,这7类可被归为不明显的2大类,其中,梅处在中间地带,毛叶梅介于梅与政和杏和洪平杏的中间地带,说明可以从这一角度解释毛叶梅加入后造成的UPGMA聚类结果的改变。另外,由图2-A还可以看出,包含杏的这一类在图中的内部关系分辨率比较低,无法有效区分。

由图2-B可以看出:虽然李梅杏与东北杏和光叶东北杏的距离较近,但是在UPGMA聚类结果中的各分支均能在此图中得到明显的区分,说明可以利用前3个主成分中绝对权重值较高的性状对中国杏属植物进行分类。



1: 杏 *A. vulgaris* Lam.; 2: 华仁杏 *A. cathayana* D. L. Fu et al.; 3: 藏杏 *A. holosericea* (Batal.) Kost.; 4: 紫杏 *A. dasycarpa* (Ehrh.) Borkh.; 5: 李梅杏 *A. limeixing* J. Y. Zhang et Z. M. Wang; 6: 山杏 *A. sibirica* (Linn.) Lam.; 7: 毛杏 *A. sibirica* var. *pubescens* Kost.; 8: 东北杏 *A. mandshurica* (Maxim.) Skv.; 9: 光叶东北杏 *A. mandshurica* var. *glabra* (Nakai) T. T. Yu et L. T. Lu; 10: 仙居杏 *A. xianjuxing* J. Y. Zhang et X. Z. Wu; 11: 梅 *A. mume* Sieb.; 12: 政和杏 *A. zhengheensis* J. Y. Zhang et M. N. Lu; 13: 毛叶梅 *A. mume* var. *goethartiana* Koehne; 14: 洪平杏 *A. hongpingensis* C. L. Li.

A: 二维散点图 Two-dimensional scatter diagram; B: 三维散点图 Three-dimensional scatter diagram.

图2 基于主成分分析构建的中国杏属植物 OTU 散点图
Fig. 2 OTU scatter diagram of *Armeniaca* Scop. species in China based on principal component analysis

2.4 中国杏属植物的地理分布分析

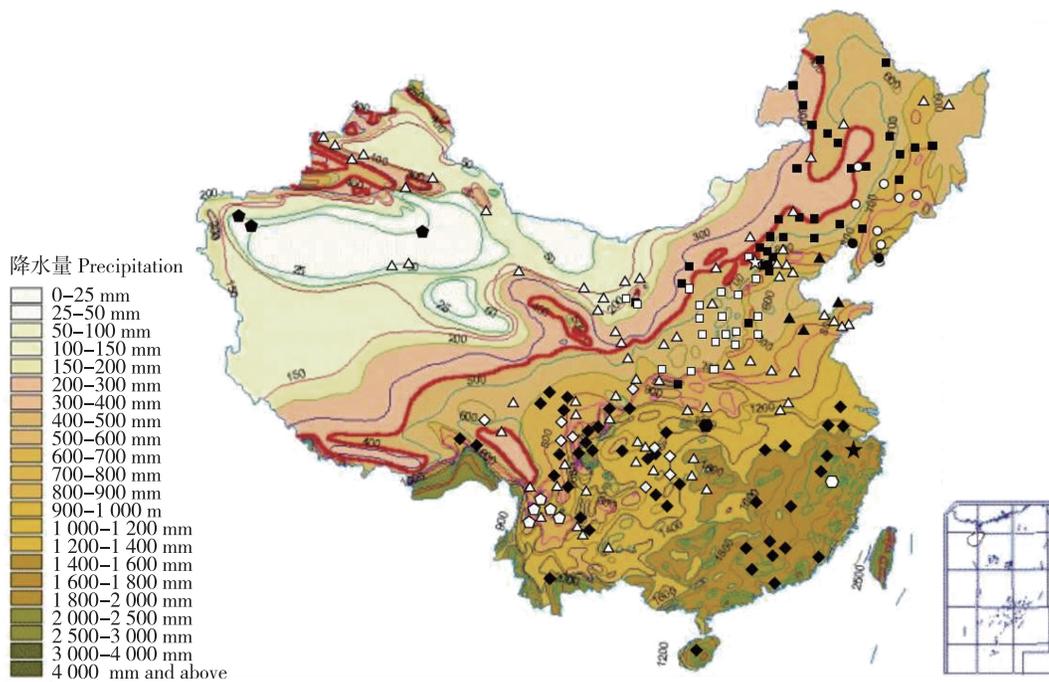
根据相关标本的采集记录和文献记载的分布记录^[23-29],结合中国降水量分布图绘制中国杏属植物的分布图,结果见图3。

由图3可见:杏属植物遍布中国各省(区),主要集中在400和800 mm等降水量线之间的区域,这一区域恰好是中国半干旱区与半湿润区的过渡区域。其中,杏是分布最广的种类,在新疆、陕甘宁地

区、华北、东北、华东、华中和西南及青藏等地均有分布;山杏和毛杏大致沿着400和800 mm等降水量线之间的区域呈狭长分布,其中山杏主要分布在东北和华北地区,毛杏则主要分布在华北至陕甘一带;东北杏和光叶东北杏的分布则局限在东北地区800和1 000 mm等降水量线之间的区域;藏杏分布区处于杏和梅分布的重叠位置,主要分布在四川地区,其周边省份陕西、甘肃、青海、西藏、云南和贵州也有分布。

由图3还可见:梅分布在年降水量800 mm以上的区域,横跨西南和华南,南至海南,北达秦岭一带,

与杏和藏杏在西南地区形成明显的重叠分布区;毛叶梅分布在云南西北部;李梅杏在环渤海地区种植较多;紫杏仅在新疆霍城和库尔勒有种植;华仁杏、仙居杏、洪平杏及政和杏则呈明显的狭域分布,分别仅在某一个县域内有分布。其中,华仁杏分布于河北逐鹿县;仙居杏分布于浙江仙居县;洪平杏仅分布于神农架林区,处于杏、藏杏和梅的重叠分布区;政和杏则只分布于福建政和县,种群极小,在野外仅发现5株大树。并且,李梅杏、紫杏、仙居杏和华仁杏均未发现野生种群。



△: 杏 *A. vulgaris* Lam.; ☆: 华仁杏 *A. cathayana* D. L. Fu et al; ◇: 藏杏 *A. holosericea* (Batal.) Kost.; ●: 紫杏 *A. dasycarpa* (Ehrh.) Borkh.; ▲: 李梅杏 *A. limeixing* J. Y. Zhang et Z. M. Wang; ■: 山杏 *A. sibirica* (Linn.) Lam.; □: 毛杏 *A. sibirica* var. *pubescens* Kost.; ○: 东北杏 *A. mandshurica* (Maxim.) Skv.; ●: 光叶东北杏 *A. mandshurica* var. *glabra* (Nakai) T. T. Yu et L. T. Lu; ★: 仙居杏 *A. xianjuxing* J. Y. Zhang et X. Z. Wu; ◆: 梅 *A. mume* Sieb.; ○: 政和杏 *A. zhengheensis* J. Y. Zhang et M. N. Lu; ◇: 毛叶梅 *A. mume* var. *goehartiana* Koehne; ●: 洪平杏 *A. hongpingensis* C. L. Li.

图3 中国降水量及杏属植物分布示意图
Fig. 3 Precipitation and distribution map of *Armeniaca* Scop. species in China

3 讨论和结论

包满珠等^[30]认为洪平杏应为梅的变种。本研究结果表明,与杏和山杏等相比,洪平杏与梅的亲缘关系确实较近,但是在欧氏距离6.28处,洪平杏仍然自成一支,因此,本研究结果支持《Flora of China》中“将

洪平杏作为独立种”的分类处理。聚类分析结果表明山杏和毛杏聚为一支,东北杏和光叶东北杏聚为一支,推测这可能与它们分别拥有相对独立的地理分布有关。从聚类分析结果还可以看出:藏杏与杏及华仁杏聚为一支,表明它们具有较近的亲缘关系。藏杏的分布区几乎完全与杏在西南的分布区相重叠,这也印证了上述聚类结果;杏的分布十分辽阔,并且在形态

上具有较多变异。王利兵^[26]认为杏的叶片大小与地理分布相关;Hagen等^[17]基于 AFLP 分子标记的研究结果表明藏杏和杏的栽培品种能够较好地聚为一类。综合上述研究结果,本研究结果支持“将藏杏作为杏的1个变种”的分类处理,若 *Armeniaca* 属并入 *Prunus* 属时可使用 *Prunus vulgaris* var. *holosericea* Batal. 这一拉丁学名。

毛叶梅兼具梅、政和杏及洪平杏的形态特征,其叶片形状近似梅,果柄也和梅一样短,但其叶片密被锈色毛,这与政和杏及洪平杏的叶片特征相近。总体来看,毛叶梅的形态特征呈现从梅到洪平杏至政和杏的过渡状态。UPGMA 聚类分析结果表明:加入毛叶梅对聚类结果有很大影响,在欧氏距离 6.28 处,政和杏与毛叶梅聚为 1 个小支,此小支又与梅聚为 1 个大支。从政和杏与毛叶梅的分布来看,它们的分布区均属于梅的分布范围,因此,本研究结果支持“将政和杏作为梅的 1 个变种”的分类处理,若 *Armeniaca* 属并入 *Prunus* 属时可使用 *Prunus mume* var. *zhengheensis* (J. Y. Zhang et M. N. Lu) D. F. Cui et B. H. Wu 这一拉丁学名。

目前,按照用途可将国内用作果树的杏属种类分成 3 类,即食用杏、仁用杏和加工用杏^[31],其中,仁用杏是以生产杏仁为主要经济产品的杏品种或实生品系^[32]。一般认为,仁用杏为杏和山杏的自然杂交后代^[9,15,32-33];傅大立等^[34]认为仁用杏可能直接起源于华仁杏;刘有春等^[35]认为仁用杏可能存在多种起源;章秋平等^[32]认为仁用杏的种质十分复杂,上述起源均有可能。本研究的聚类结果显示华仁杏和杏聚为一支,表明华仁杏与杏的形态特征相近,据此推测二者可能具有较近的亲缘关系。从分布来看,华仁杏的分布范围仅限于河北逐鹿,此处为山杏和杏的天然分布区,两者在此处还有大量栽培种植,并且尚未发现华仁杏有野生种群存在,据此认为华仁杏并不是自然意义上的分类单位,而是生产杏仁的杏属种类的栽培种。

吴相祝等^[36]在 1997 年的报道中指出,仙居杏是历经 10 年而选育出的杏的地方品种;张铁华等^[37]认为仙居杏休眠期的需冷量极低,并可在设施果树生产上发挥重要的作用。中国长江中下游地区具有较为久远的杏栽植历史^[38],然而仙居杏的分布仅限于浙江仙居县,且多栽植于农家宅园旁,至今尚未发现其野生群落。据此认为,虽然仙居杏在聚类结果中自成

一支,且其形态性状与其他杏属种类也具有一定的差异,但更适合作为杏属的栽培种。

主成分分析结果显示:可以利用前 3 个主成分中绝对权重值较高的性状对中国杏属植物进行区分,但前 3 个主成分的累计贡献率增长较为缓慢,说明中国杏属植物的形态性状具有较大的遗传变异。同时,在基于前 2 个主成分构建的 OTU 二维散点图中,供试杏属植物的划分结果基本上与聚类结果一致。

综上所述,基于 30 个形态性状的聚类分析结果对中国杏属植物的分类学研究有一定意义,且其聚类分析结果与地理分布具有一定的相关性;树高、叶片下表面被毛情况、叶长/叶柄长比值、叶长/叶宽比值、果核形状、叶宽、果核宽、叶柄长、果柄长和叶缘锯齿形状在中国杏属植物的分类中具有重要作用;支持“将藏杏作为杏的 1 个变种”以及“将政和杏作为梅的 1 个变种”的分类处理,并支持“将洪平杏作为独立种”的分类处理;另外,建议将仙居杏和华仁杏作为杏属的栽培种。

致谢:中国科学院植物研究所标本馆杜玉芬老师和林祁研究员以及华南植物园标本馆曾飞燕老师在查阅标本过程中提供了帮助,中国林业科学研究院经济林研究开发中心傅大立研究员和浙江省仙居县林业局吴相祝先生提供了华仁杏和仙居杏的标本,在此一并致谢!

参考文献:

- [1] WU Z Y, RAVEN P H, HONG D Y. Flora of China: Vol. 9 [M]. Beijing: Science Press, 2003: 396-401.
- [2] 张加延, 张 钊. 中国果树志: 杏卷 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2003.
- [3] REHDER A. Manual of Cultivated Trees and Shrubs [M]. New York: The Macmillan Company, 1940.
- [4] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志: 第三十八卷 [M]. 北京: 科学出版社, 2003: 24-29.
- [5] 冯晨静, 张元慧, 徐秀英, 等. 14 份杏种质的 ISSR 分析 [J]. 河北农业大学学报, 2005, 28(5): 52-55.
- [6] 何天明. 中国普通杏 (*Prunus armeniaca*) 种质资源遗传多样性及紫杏 (*P. dasycarpa*) 起源研究 [D]. 泰安: 山东农业大学园艺科学与工程学院, 2006.
- [7] 廖明康, 郭丽霞, 张 平, 等. 新疆杏属植物过氧化物酶儿茶酚氧化酶同工酶分析 [J]. 西北农业学报, 1994, 3(2): 81-86.
- [8] 廖明康, 张 平, 郭丽霞, 等. 新疆杏属植物花粉形态的观察 [J]. 西北农业学报, 1994, 3(4): 13-16.
- [9] 吕英民, 吕增仁, 高锁柱. 应用同工酶进行杏属植物演化关系和分类的研究 [J]. 华北农学报, 1994, 9(4): 69-74.
- [10] 吕增仁, 郭振怀, 肖健忠, 等. 山杏和杏的核型分析 [J]. 辽宁

- 果树, 1986(1): 2-5.
- [11] 罗新书, 陈学森, 郭延奎, 等. 杏品种孢粉学研究[J]. 园艺学报, 1992, 19(4): 319-325.
- [12] 沈 向, 郭卫东, 吴燕民, 等. 杏43个品种资源的RAPD分类[J]. 园艺学报, 2000, 27(1): 55-56.
- [13] 汪祖华, 陆振翔, 郭 洪. 李、杏、梅亲缘关系及分类地位的同工酶研究[J]. 园艺学报, 1991, 18(2): 97-101.
- [14] 王 然, 王成荣, 潘季淑, 等. 蔷薇科若干种核果类果树植物的核型分析[J]. 莱阳农学院学报, 1992, 9(2): 123-129.
- [15] 王玉柱, 孙浩元, 杨 丽, 等. 杏属植物种间亲缘关系的RAPD分析[J]. 中国农学通报, 2006, 22(5): 53-56.
- [16] GOGORCENA Y, PARFITT D E. Evaluation of RAPD marker consistency for detection of polymorphism in apricot[J]. Scientia Horticulturae, 1994, 59: 163-167.
- [17] HAGEN L S, KHADARI B, LAMBERT P, et al. Genetic diversity in apricot revealed by AFLP markers: species and cultivar comparisons[J]. Theoretical and Applied Genetics, 2002, 105: 298-305.
- [18] HORMAZA J I. Molecular characterization and similarity relationships among apricot (*Prunus armeniaca* L.) genotypes using simple sequence repeats[J]. Theoretical and Applied Genetics, 2002, 104: 321-328.
- [19] ARADHYA M K, WEEKS C, SIMON C J. Molecular characterization of variability and relationships among seven cultivated and selected wild species of *Prunus* L. using amplified fragment length polymorphism[J]. Scientia Horticulturae, 2004, 103: 131-144.
- [20] TAKEDA T, SHIMADA T, NOMURA K, et al. Classification of apricot varieties by RAPD analysis[J]. Engei Gakkai Zasshi, 1998, 67: 21-27.
- [21] ZHEBENTYAYEVA T N, SIVOLAP Y M, GEIBEL M, et al. Genetic diversity of apricot determined by isozyme and RAPD analyses[J]. Acta Horticulturae, 2000, 538: 525-529.
- [22] ZHEBENTYAYEVA T N, REIGHARD G L, GORINA V M, et al. Simple sequence repeat (SSR) analysis for assessment of genetic variability in apricot germplasm[J]. Theoretical and Applied Genetics, 2003, 106: 435-444.
- [23] 张加延, 吴相祝. 杏属(蔷薇科)一新种[J]. 植物研究, 2009, 29(1): 1-2.
- [24] 傅大立, 李炳仁, 傅建敏, 等. 中国杏属一新种[J]. 植物研究, 2010, 30(1): 1-3.
- [25] 张加延, 吕亩南, 王志明. 杏属二新种[J]. 植物分类学报, 1999, 37(1): 105-109.
- [26] 王利兵. 我国3种杏的地理分布及其植物学性状[J]. 林业科学研究, 2010, 23(3): 435-439.
- [27] 汪长进, 王 越. 大理州果梅种质资源调查及分类研究[J]. 西部林业科学, 1993(3): 43-46.
- [28] 杨红花, 陈学森, 冯宝春, 等. 李梅杏类种质资源的RAPD分析[J]. 果树学报, 2007, 24(3): 303-307.
- [29] 傅立国, 陈潭清, 郎楷永, 等. 中国高等植物: 第6卷[M]. 青岛: 青岛出版社, 2001.
- [30] 包满珠, 陈俊愉. 梅及其近缘种数量分类初探[J]. 园艺学报, 1995, 22(1): 67-72.
- [31] 俞德浚. 中国果树分类学[M]. 北京: 农业出版社, 1979: 51-53.
- [32] 章秋平, 刘威生, 刘 宁, 等. 基于形态性状的仁用杏种质资源分类研究[J]. 果树学报, 2015, 32(3): 385-392.
- [33] 刘 宁, 刘威生, 赵 锋, 等. 我国仁用杏主产区生产发展概述[J]. 北方果树, 2004(z1): 48-49.
- [34] 傅大立, 刘梦培, 傅建敏, 等. 华仁杏种级分类地位的SSR分析[J]. 中南林业科技大学学报(自然科学版), 2011, 31(3): 60-64.
- [35] 刘有春, 刘威生, 刘 宁, 等. 基于花粉形态数量分类的核果类系统关系研究[J]. 植物遗传资源学报, 2010, 11(5): 645-649.
- [36] 吴相祝, 李世春. 杏地方品种——仙居杏[J]. 果树实用技术与信息, 1997(1): 16-17.
- [37] 张铁华, 张加延. 综述几个特异的果树资源和新品种[M]//张加延. 李杏资源研究与利用进展(五). 北京: 中国林业出版社, 2008: 164-167.
- [38] 刘 权, 刘 华, 王明昌. 我国南方杏栽培历史问题的讨论[J]. 果树学报, 1998, 15(1): 74-77.

(责任编辑: 佟金凤)