

# 中国南方豆梨形态多样性研究

刘超,曹玉芬\*,霍红亮,齐丹,张莹,董星光,田路明,徐家玉

(中国农业科学院果树研究所,辽宁兴城 125100)

**摘要:**【目的】了解中国南方豆梨资源的分布现状,并对其进行形态多样性评价。【方法】2017年9月3—16日,9月23日—10月1日和10月30日—11月16日,前往浙江、湖南、湖北、广东、广西和江西6省的豆梨原生境采集豆梨资源78份,采用巢式方差分析、方差分析、主成分分析、聚类分析及邓肯氏多重比较分析等方法对其叶片以及果实等16个表型性状进行研究。【结果】我国南方豆梨资源具有丰富的表型多样性,其叶片和果实的8个质量性状的多样性指数的范围为0.56~1.04,8个数量性状的平均变异系数为19.85%,其中叶柄长度的最大,达到37.48%,果形指数的最小(8.1%)。主成分分析表明,前7个主成分对应的特征值均大于1,其累计贡献率达70.804%,表明前7个主成分能较好的解释所有变量所包含的全部遗传信息。聚类分析的结果表明,在欧式距离系数为9.9处,可将78份豆梨材料聚为五大类。【结论】不同性状变异系数相差较大,供试豆梨资源不同居群间存在着丰富的变异。

**关键词:**豆梨;种质资源;表型多样性;聚类分析;中国南方

中图分类号:S661.2

文献标志码:A

文章编号:1009-9980(2019)06-0677-12

## Analysis of morphological diversity of *Pyrus calleryana* Dcne. in Southern China

LIU Chao, CAO Yufen\*, HUO Hongliang, QI Dan, ZHANG Ying, DONG Xingguang, TIAN Luming, XU Jiayu

(Institute of Pomology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Xingcheng 125100, Liaoning, China)

**Abstract:** 【Objective】The objective of the study was to investigate the distribution of *Pyrus calleryana* Dcne. and assess morphological diversity of the species in southern China. 【Methods】We referred to the floras of China, floras of several provinces and articles published in recent 10 years on the resources of wild fruit trees, and the data of Chinese Virtual Herbarium for selecting the regions to investigate. From September 3 to 16, September 23 to October 1, and October 30 to November 16, 2017, we went to Zhejiang, Hunan, Hubei, Guangdong, Guangxi and Jiangxi provinces and collected 78 *P. calleryana* resources. Variance analysis, principal component analysis, cluster analysis and Duncan's multiple comparative analysis were carried out to study 19 morphological traits of the leaves and fruits of the species. 【Results】The results showed that there were abundant morphological diversity of *P. calleryana* in southern China. The diversity index of the eleven descriptive traits of branches, leaves and fruits was 0.56-1.04, among them the diversity indices of the shape of leaf base (1.04), the leaf extension state (0.96), and the fruit core position (0.93) were higher. The diversity indices of the annual branch color (0.87), the leaf bud attitude (0.63), the leaf bud apical feature (0.30), the leaf shape (0.75), the leaf apex shape (0.56), the leaf margin (0.82), the fruit shape (0.71) and the fruit bottom color (0.88) were relatively lower. Among the eight quantitative traits, the difference of the length of carpodium and fruit shape index among the populations reached a very significant level, indicating that there were wide differences in the lengths of carpodium stalk and fruit shape indices among the populations, and the differences of fruit transverse diameter and fruit longitudinal diameter within and between populations reached signifi-

收稿日期:2018-10-16

接受日期:2019-03-22

基金项目:现代农业产业技术体系建设专项(CARS-29-01);中国农业科学院科技创新工程(CAAS-ASTIP)

作者简介:刘超,男,在读硕士研究生,研究方向为梨资源调查与评价。Tel:13188502836, E-mail:renshengsanjianshi@126.com

\*通信作者 Author for correspondence. E-mail:yfcaas@263.net

cant levels, indicating that there were wide variations in the fruit transverse diameter and the fruit longitudinal diameter in the groups and between the populations. The F values among populations were higher than those within populations in all quantitative traits. There were more genetic variation between the populations of *P. calleryana* than those within the populations. The average coefficient of variations of the eight quantitative traits was 19.85, among them the length of petiole was the largest (37.48%), followed by the length of carpodium (19.75%) and the leaf width (19.40%), and the fruit shape index was the smallest (8.1%). The morphological diversity of the populations varied greatly. The average coefficient of variations of the populations collected from Guangxi and Hubei was the largest, 18.47% and 18.61% respectively, indicating that the dispersal degree of each traits index of the population was larger, while the average coefficient of variations of the populations collected from Guangdong was the smallest, only 11.93%, indicating that the variation of Guangdong population was small. The results of multiple comparative analysis of 8 quantitative traits showed that the leaf length and the leaf width of the populations collected from Hubei were significantly larger than those of other populations, indicating that there were mostly large leaf individuals of *P. calleryana* in Hubei. The leaf shape index of Hubei population was significantly larger than that of Zhejiang population, suggesting that the leaves of *P. calleryana* from Hunan and Hubei were mostly oblong, while those from Zhejiang were mostly short circle, and the Length of petiole of Hubei population was significantly larger than that of Guangdong population. The fruit shape indices of Zhejiang and Hubei populations were significantly higher than that of Hunan, Jiangxi, Guangdong and Guangxi, populayions, indicating that the fruits of *P. calleryana* in Zhejiang and Hubei were mostly oblong, while those from Hunan, Jiangxi, Guangdong and Guangxi were mostly oblate. The Length of petiole of Zhejiang populations was significantly longer than that of other populations, indicating that the petioles of *P. calleryana* in Zhejiang were longer than that of the populayions from other areas. The principal component analysis of 8 quantitative traits showed that the Eigenvalue of the first seven principal components were all over 1, and the cumulative contribution rate was 70.804, indicating that the first seven principal components could better explain all the genetic information of the all variables. The cluster analysis of 19 phenotypic characters of 78 *P. calleryana* showed that when the distance coefficient was 9.9, 78 *P. calleryana* could be grouped into five categories. The first category consisted of the materials from Hubei and Zhejiang; the second category consisted of the materials from Hunan; the third category included all the materials from Jiangxi and the materials from Quanzhou county of Guangxi; the fourth category included the materials from Guangdong; and the fifth category included the materials from Huanjiang County, Yizhou City, Bama County and Ningming County of Guangxi. 【Conclusion】The coefficient of variation of different characters varied greatly, and there were abundant variations among different populations of *P. calleryana* resources.

**Key words:** *Pyrus calleryana* Dcne.; Genetic resources; Phenotypic diversity; Cluster analysis; Southern China

豆梨(*Pyrus calleryana* Dcne.)为蔷薇科梨属落叶乔木,被认为是最古老的梨属种之一<sup>[1-2]</sup>原产于中国,广泛分布于山东、河南、江苏、浙江、江西、安徽、湖北、湖南、福建、广东、广西等省。在越南北部也有分布,适生于温暖潮湿气候<sup>[3-4]</sup>。豆梨为多用途树种,具有药用、材用和观赏价值,其根、叶、和果实均可入药。根、叶具有润肺止咳、清热解毒的功效;果实具有健胃消食、涩肠止痢的功效<sup>[5]</sup>。豆梨的材质优良、木材坚硬、纹理致密,可供制作高档家具,也可用于

雕刻图章和制作手工艺品<sup>[6]</sup>。豆梨是中国南方梨树的常用砧木之一,根深,根系发达,耐贫瘠,对土壤的适应性强,在黏重土壤上生长良好,抗旱、耐涝、抗腐烂病,与中国梨和西洋梨的亲性和都很好<sup>[7]</sup>,在进行砧木育种的过程中具有重要作用。

种质资源多样性是开展育种工作的基础,利用形态性状来研究种质资源的多样性水平已成为当前评价多样性水平的有效途径之一<sup>[8-11]</sup>。然而豆梨作为一种分布广泛且极具利用价值的野生果树资源,

至今为止对其开展的相关研究报道甚少。刘晶<sup>[12]</sup>调查发现,浙江省豆梨野生居群集中分布在119.65°—121.60°E,28.23°—29.87°N,并且不同豆梨分布点之间及同一豆梨分布点内部单株间表型多样性丰富,其单果质量、果实横径、果实纵径等方面均存在明显的差异,其中单果质量在群体内和群体间的变异程度最高。笔者对收集于我国南方部分地区的78份豆梨资源进行了表型多样性分析,旨在深入了解我国南方地区豆梨资源的多样性水平,为更加科学合理的利用豆梨资源奠定基础。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

查阅中国植物志、各省植物志和近10 a(年)发表的有关野生果树资源的文章,结合中国数字植物标本馆(<http://www.cvh.ac.cn/>)的资料选择拟调查的地域,在此基础上通过电话和邮件联系县级农林部门,咨询县域范围内野生豆梨的具体分布情况。对得到的信息进行初步筛选后,最终确定考察的范围及路线<sup>[13]</sup>,并于2017年9月3—16日,2017年9月23日—10月1日和2017年10月30日—11月16日,前往浙江、湖南、湖北、广东、广西和江西6省的豆梨原生境共收集豆梨资源78份(表1),其中浙江9份(序号为1~9),湖南6份(序号为10~15),湖北12份(序

表1 供试豆梨种质资源信息及来源  
Table 1 The source and information of the *P. calleryana*

群体(样本量) Region(Size)	样本号 Code	来源 Locality	经度Latitude(N)/ 纬度Longitude(E)	群体(样本量) Region(Size)	样本号 Code	来源 Locality	经度Latitude(N)/ 纬度Longitude(E)
浙江 Zhejiang(9)	FY1	富阳 Fuyang	119.85°/29.86°	广东 Guangdong(4)	LH40	罗湖 Luohu	114.19°/22.58°
	FY2	富阳 Fuyang	119.90°/29.91°		LH41	罗湖 Luohu	114.19°/22.58°
	FY3	富阳 Fuyang	119.90°/29.91°		LH42	罗湖 Luohu	114.19°/22.58°
	FY4	富阳 Fuyang	119.90°/29.91°		LH43	罗湖 Luohu	114.19°/22.58°
	FY5	富阳 Fuyang	119.63°/30.00°	广西 Guangxi(35)	HJ44	环江 Huanjiang	108.48°/25.19°
	SZ6	嵊州 Shengzhou	120.83°/29.55°		HJ45	环江 Huanjiang	108.48°/25.19°
	SZ7	嵊州 Shengzhou	120.83°/29.55°		HJ46	环江 Huanjiang	108.48°/25.19°
	SZ8	嵊州 Shengzhou	120.83°/29.55°		HJ47	环江 Huanjiang	108.48°/25.18°
	XC9	新昌 Xinchang	121.07°/29.38°		HJ48	环江 Huanjiang	108.48°/25.18°
湖南 Hunan(6)	YL10	岳麓 Yuelu	112.88°/28.17°		HJ49	环江 Huanjiang	108.48°/25.18°
	YC11	宜章 Yizhang	112.75°/25.21°		HJ50	环江 Huanjiang	108.48°/25.18°
	YC12	宜章 Yizhang	112.75°/25.21°		HJ51	环江 Huanjiang	108.49°/25.18°
	YX13	永兴 Yongxing	113.07°/26.10°		YZ52	宜州 Yizhou	108.72°/24.44°
	YX14	永兴 Yongxing	113.07°/26.10°		YZ53	宜州 Yizhou	108.72°/24.44°
	YX15	永兴 Yongxing	113.07°/26.10°		YZ54	宜州 Yizhou	108.72°/24.44°
湖北 Hubei(12)	XN16	咸安 Xian'an	114.20°/29.88°	YZ55	宜州 Yizhou	108.72°/24.44°	
	JY17	嘉鱼 Jiayu	114.12°/30.02°	YZ56	宜州 Yizhou	108.72°/24.44°	
	JY18	嘉鱼 Jiayu	114.12°/30.02°	YZ57	宜州 Yizhou	108.72°/24.44°	
	CY19	崇阳 Chongyang	114.12°/29.47°	YZ58	宜州 Yizhou	108.72°/24.44°	
	LT20	罗田 Luotian	115.53°/31.17°	YZ59	宜州 Yizhou	108.72°/24.44°	
	YS21	英山 Yingshan	115.80°/30.97°	YZ60	宜州 Yizhou	108.72°/24.44°	
	YS22	英山 Yingshan	115.79°/30.95°	YZ61	宜州 Yizhou	108.72°/24.44°	
	YS23	英山 Yingshan	115.79°/30.95°	BD62	巴东 Badong	107.29°/29.99°	
	YS24	英山 Yingshan	115.80°/30.95°	BD63	巴东 Badong	107.29°/29.99°	
	YS25	英山 Yingshan	115.90°/31.08°	BD64	巴东 Badong	107.29°/29.99°	
	JX26	江夏 Jiangxia	114.12°/30.35°	BD65	巴东 Badong	107.29°/29.99°	
	JX27	江夏 Jiangxia	114.15°/30.35°	BD66	巴东 Badong	107.29°/29.99°	
江西 Jiangxi(12)	YD28	于都 Yudu	115.65°/26.15°	BD67	巴东 Badong	107.29°/29.99°	
	YD29	于都 Yudu	115.65°/26.15°	BD68	巴东 Badong	107.29°/29.99°	
	YD30	于都 Yudu	115.65°/26.15°	NM69	宁明 Ningming	107.32°/21.03°	
	YD31	于都 Yudu	115.65°/26.15°	NM70	宁明 Ningming	107.32°/21.87°	
	YD32	于都 Yudu	115.65°/26.15°	QZ71	全州 Quanzhou	111.01°/25.74°	
	YD33	于都 Yudu	115.65°/26.15°	QZ72	全州 Quanzhou	111.01°/25.74°	
	YD34	于都 Yudu	115.65°/26.15°	QZ73	全州 Quanzhou	111.01°/25.74°	
	YD35	于都 Yudu	115.65°/26.15°	QZ74	全州 Quanzhou	111.01°/25.74°	
	YD36	于都 Yudu	115.65°/26.15°	QZ75	全州 Quanzhou	111.01°/25.74°	
	YD37	于都 Yudu	115.65°/26.15°	QZ76	全州 Quanzhou	111.01°/25.74°	
	YD38	于都 Yudu	115.65°/26.15°	QZ77	全州 Quanzhou	111.01°/25.74°	
	YD39	于都 Yudu	115.65°/26.15°	QZ78	全州 Quanzhou	111.01°/25.74°	

号为 16~27), 江西 12 份(序号为 28~39), 广东 4 份(序号为 40~43), 广西 35 份(序号为 44~78)。

## 1.2 方法

2017 年 9 月初开始, 在豆梨果实成熟期进行表型性状的调查。调查过程中, 豆梨的 16 个性状指标中, 叶片形状、叶尖形状以及果实形状等 8 个目测性状直接在野外进行目测调查, 记录每个性状每株豆梨材料的赋值, 对典型植株的形态特征进行拍照和描述, 而叶长、叶宽以及果实横径等 8 个测量性状分别取回叶片和果实室内利用游标卡尺进行测定, 测定标准参照曹玉芬<sup>[14]</sup>编著的《梨种质资源描述规范和数据标准》。按照图 1 所示标准, 用游标卡尺测量叶片长度、叶片宽度、果实横径和果实纵径。叶形指数=叶片长/叶片宽; 果形指数=果实纵径/果实横径。

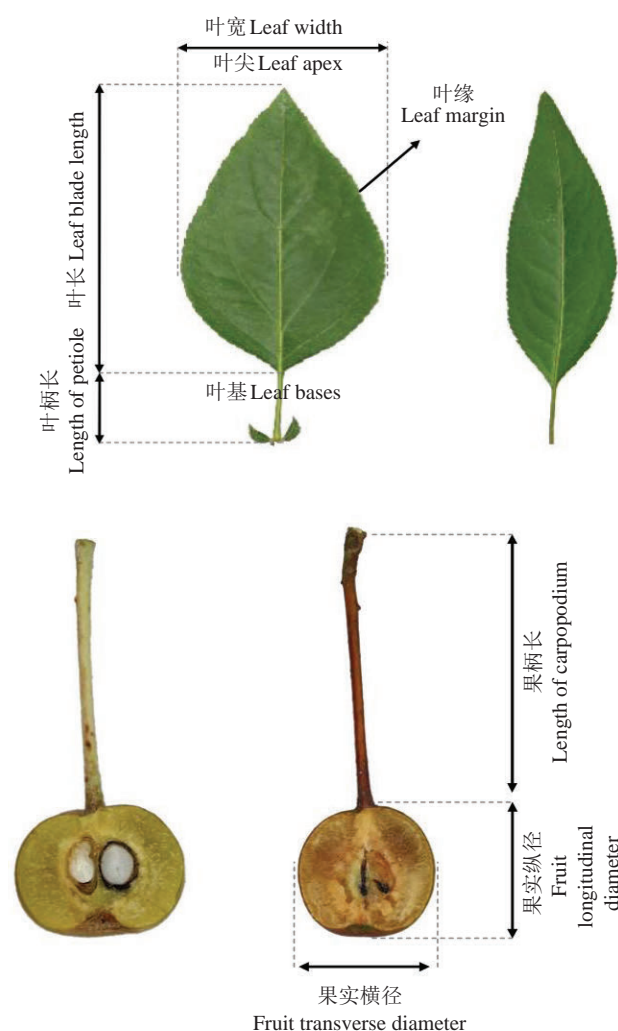


图 1 中国豆梨叶片和果实基本线性测量概述

Fig. 1 Overview of the leaf and fruit of the basic linear measurements

## 1.3 数据分析

对于质量性状, 分别统计描述性状在各群体的分布数及分布频率, 以及总分布数及频率。各性状的遗传多样性采用多样性指数( $H'$ )进行评价, 其计算公式为:  $H' = -\sum P_i \ln P_i$ , 式中  $P_i$  表示第  $i$  级别内材料份数占总份数的百分比<sup>[15]</sup>。

对各数量性状, 参照李斌等<sup>[16]</sup>的方法, 应用 SAS 9.2 软件进行巢式方差分析。线性模型为:  $Y_{ijk} = \mu + S_i + T_{(ij)} + e_{ijk}$ ; 式中  $Y_{ijk}$  为第  $i$  个居群第  $j$  个单株第  $k$  个观测值;  $\mu$  为总均值;  $S_i$  为居群效应(固定);  $T_{(ij)}$  为居群内单株效应(随机);  $e_{ijk}$  为试验误差。数量性状变异系数(CV)表示性状离散程度。  $CV(\%) = s/x \times 100$ , 式中:  $x$  为性状平均值,  $s$  为标准差。利用 SPSS 软件对所有数量性状进行方差分析、主成分分析及 LSD 邓肯多重比较分析。

参照 Hegay 等<sup>[17]</sup>的方法, 对所有表型性状进行重新编码, 从而进一步分析种质资源间的遗传差异, 对于质量性状按照该性状存在或缺失编码为 1 和 0; 对于数量性状按照邓肯氏多重比较在 0.05 的显著水平下分析划分的不同邓肯式子集, 对个体在子集中的存在或缺失编码为 1 和 0 的二进制矩阵。所有表型数据的二进制 1/0 数据矩阵, 利用 NTSys version 2.10e<sup>[18]</sup> 基于欧氏遗传距离(Euclidean genetic distance)的非加权算术平均组对法(UPGMA)。并利用 GenAlEx6.5<sup>[19]</sup> 对所有样品进行基于遗传距离的主坐标分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 豆梨种质资源描述性状分析

通过计算豆梨资源 11 个描述性状的表型多样性指数, 结果表明(表 2): 豆梨资源表型多样性指数差异较大, 其中叶基形状(1.04)、叶面伸展状态(0.96)、果心位置(0.93)具有较高的多样性指数; 而一年生枝颜色(0.87)、叶芽姿态(0.63)、叶芽顶端特征(0.30)、叶片形状(0.75)、叶尖形状(0.56)、叶缘(0.82)、果实形状(0.71)及果实底色(0.88)的多样性指数相对较低, 总体平均多样性指数为 0.77, 不同性状间目测性状的变化范围为 0.56~1.04。

对于不同群体而言, 群体间描述性状存在较大差异(表 3), 所有样品的一年生枝条颜色主要为红褐色(75.64%)。叶芽姿态主要为斜生(80.77%)。叶芽顶端特征主要为尖(83.33%)。叶片形状主要



表2 豆梨质量性状调查描述及多样性指数

Table 2 Description and Shannon-Weaver diversity index of *P. calleryana*

形态性状 Morphology character	描述 Description						多样性指数 <i>H'</i>
一年生枝颜色 Annual branch color	1 灰黄色 Grayish yellow	2 绿色 Green	3 灰褐色 Taupe	4 黄褐色 Yellow brown	5 绿褐色 Green brown	6 红褐色 Reddish brown	0.87
叶芽姿态 Leaf bud attitude	1 贴生 Attached	2 斜生 Oblique	3 离生 Free				0.63
叶芽顶端特征 Leaf bud apical feature	1 尖 Speculate	2 钝 Blunt					0.30
叶片形状 Leaf shape	1 圆形 Round	2 卵圆形 Ovate	3 椭圆形 Elliptic	4 披针形 Lanceolate			0.75
叶尖形状 Shape of leaf apex	1 渐尖 Acuminate	2 钝尖 Blunt	3 急尖 Acute	4 长尾尖 Long cauda			0.56
叶基形状 LBS Shape of leaf bases	1 狭楔形 Narrow cuneate	2 楔形 Cuneate	3 宽楔形 Wide cuneate	4 圆形 Roune	5 截形 Truncate	6 心形 Cordate	1.04
叶缘 Leaf margin	1 全缘 Entire	2 圆锯齿 Cenature	3 钝锯齿 Cenation	4 锐锯齿 Sharp serrated	5 复锯齿 Compound serrated		0.82
叶面伸展状态 Leaf extension state	1 平展 Flat	2 抱合 Obvolvent	3 反卷 Warp	4 波浪 Wave			0.96
果实形状 Fruit shape	1 扁圆形 Oblate	2 圆形 Roune	3 长圆形 Long roune	4 卵圆形 Ovate	5 倒卵形 Obovate		0.71
果实底色 Bottom color of fruit	1 绿黄 Green yellow	2 黄色 Yellow	3 黄绿 Olivine	4 绿色 Green	5 黄褐 Yellow brown	6 褐色 Brown	0.88
果心位置 Fruit core position	1 近梗端 Proximal stem end	2 中位 Median	3 近萼端 Near calyx end				0.93
平均值 Mean							0.77

为卵圆形(62.82%)和椭圆形(34.61%)。来自浙江(100%)、湖北(66.67%)、广东(50%)和广西(68.57%)的样本主要为卵圆形叶片,湖南(83.33%)和江西的样本主要为椭圆形叶片。豆梨叶片的叶尖形状主要为急尖(57.69%)和渐尖(42.31%),浙江(100%)、湖南(66.67%)、湖北(100%)和广东(100%)的样本叶尖形状主要为急尖,而江西(100%)和广西(54.29%)的样本主要为渐尖。对于叶基形状,湖南的样本多为楔形(100%),浙江(88.89%)、湖北(33.33%)、江西(58.33%)广东(50%)和广西(77.14%)的样本多为宽楔形。来自浙江(77.78%)、广西(68.57%)的样本主要为圆锯齿叶缘,而湖南(66.67%)、湖北(83.33%)、江西(100%)和广东(100%)的样本主要为钝锯齿叶缘。对于叶面伸展状态,浙江(88.89%)、湖北(58.33%)、江西(75%)和广西(51.43%)的样本多为波浪形,而湖南(66.67%)的则多为抱合形。

对于果实性状来说,豆梨的果实形状主要以扁圆形(61.54%)和圆形(32.05%)为主,其他形状只占少数。来自浙江(88.89%)、湖南(83.33%)、湖北(91.67%)、广东(75%)、广西(65.71%)的样本果实底色主要为褐色,而江西(58.33%)样本果实底色主要为黄褐。多种样品果心位置主要为近萼端

(60.26%),在浙江(100%)、湖南(66.67%)、湖北(91.67%)广西(51.43%)主要为近萼端,江西(66.675%)主要为中位。

## 2.2 豆梨种质资源数量性状分析

对变异系数的分析(表4)表明,豆梨8个数量性状的平均变异系数(CV)为8.10%~37.48%,性状离散程度较低,其中叶柄长度的(37.48%)最大,其次为果柄长度(19.75%)和叶片宽度(19.40%),说明叶柄长度、果柄长度和叶片宽度这3个性状的变异幅度较大,而果形指数的最小(8.1%),表明果形指数的变异幅度较小。豆梨叶片相关4个性状平均变异系数为22.54%,果实相关4个性状平均变异系数为14%,这说明豆梨果实相关性状的变异最大。通过对豆梨不同居群间表型性状平均变异系数的对比得知,广西(18.47%)和湖北(18.61%)的平均变异系数最大,表明该群体各性状指标间的离散程度较大,性状最不稳定;而广东(11.93%)群体的平均变异系数最小,性状最稳定。

多重比较结果(表4)显示,湖北的叶长和叶宽均显著大于其他群体,说明湖北多为大叶形豆梨。湖南、湖北群体的叶形指数均显著大于浙江群体,说明来自湖南、湖北的豆梨叶片多为长圆形,而浙江的多为短圆形。叶柄长度湖北(3.89 cm)群体显著大

表 3 描述性状在各群体的分布数  
Table 3 Distribution (frequency/%) of qualitative traits in each population

性状和描述级 Phenotype traits and distribution scale		群体(Population)						总样本 Total
		浙江 Zhejiang	湖南 Hunan	湖北 Hubei	江西 Jiangxi	广东 Guangdong	广西 Guangxi	
一年生枝颜色 Annual branch color	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	3(50)	3(25)	0	0	1(2.86)	7(8.97)
	4	0	0	2(16.67)	0	1(25)	4(11.43)	7(8.97)
	5	3(33.33)	0	2(16.67)	0	0	0	5(6.41)
	6	6(66.67)	3(50)	5(41.66)	12(100)	3(75)	30(88.24)	59(75.64)
叶芽姿态 Leaf bud attitude	1	0	0	3(25)	0	0	5(14.29)	8(10.26)
	2	7(77.78)	6(100)	8(66.67)	9(75)	4(100)	29(82.86)	63(80.77)
	3	2(22.22)	0	1(8.33)	3(25)	0	1(2.86)	7(8.97)
叶芽顶端特征 Leaf bud apical feature	1	4(44.44)	5(83.33)	10(83.33)	10(83.33)	4(100)	32(91.43)	65(83.33)
	2	5(55.56)	1(16.67)	2(16.67)	2(16.67)	0	3(8.57)	13(16.67)
叶片形状 Leaf shape	1	0	0	1(8.33)	0	1(25)	0	2(2.56)
	2	9(100)	1(16.67)	8(66.67)	5(41.67)	2(50)	24(68.57)	49(62.82)
	3	0	5(83.33)	3(25)	7(58.33)	1(25)	11(31.43)	27(34.61)
叶基形状 Shape of leaf bases	1	0	0	1(8.33)	0	0	0	1(1.28)
	2	0	6(100)	2(16.67)	5(41.67)	1(25)	5(14.29)	19(24.36)
	3	8(88.89)	0	4(33.33)	7(58.33)	2(50)	27(77.14)	48(61.54)
	4	1(11.11)	0	3(0.25)	0	1(25)	2(5.71)	7(8.97)
	5	0	0	2(16.67)	0	0	1(2.86)	3(3.85)
叶尖形状 Shape of leaf apex	1	0	2(33.33)	0	12(100)	0	19(54.29)	33(42.31)
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	9(100)	4(66.67)	12(100)	0	4(100)	16(45.71)	45(57.69)
叶缘 Leaf margin	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	7(77.78)	2(33.33)	0	0	0	24(68.57)	33(42.31)
	3	1(11.11)	4(66.67)	10(83.33)	12(100)	4(100)	11(31.43)	42(53.85)
	4	1(11.11)	0	2(16.67)	0	0	0	3(3.85)
叶面伸展状态 Leaf extension state	1	0	1(16.67)	4(33.33)	3(25)	2(50)	6(17.14)	16(20.51)
	2	1(11.11)	4(66.67)	1(8.33)	0	0	11(31.43)	17(21.79)
	3	0	0	0	0	0	0	0
	4	8(88.89)	1(16.67)	7(58.33)	9(75)	2(50)	18(51.43)	45(57.69)
果实形状 Fruit shape	1	5(55.56)	5(83.33)	3(25)	8(66.67)	4(100)	23(65.71)	48(61.54)
	2	2(22.22)	0	7(58.33)	4(33.33)	0	12(34.29)	25(32.05)
	3	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0	0
	5	2(22.22)	1(16.67)	2(16.67)	0	0	0	5(6.41)
果实底色 Bottom color of fruit	1	0	0	0	0	0	1(2.86)	1(1.28)
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	1(8.33)	0	0	2(5.71)	3(3.85)
	4	0	0	0	0	0	0	0
	5	1(11.11)	1(16.67)	0	7(58.33)	1(25)	9(25.71)	19(24.36)
	6	8(88.89)	5(83.33)	11(91.67)	5(41.67)	3(75)	23(65.71)	55(70.51)
果心位置 Fruit core position	1	0	0	1(8.33)	1(8.33)	0	4(11.43)	6(7.69)
	2	0	2(33.33)	0	8(66.67)	2(50)	13(37.14)	25(32.05)
	3	9(100)	4(66.67)	11(91.67)	3(25)	2(50)	18(51.43)	47(60.26)

于广东(2.65 cm)群体。果实表型性状中,果实横径和果实纵径在各群体间没有显著差异。浙江和湖北的果形指数显著高于湖南、江西、广东和广西群体,说明来自浙江和湖北的豆梨多为长圆形果实,而湖南、江西、广东和广西的豆梨果实多为扁圆形。浙江

的果柄长度(2.97 cm)显著大于其余群体,说明浙江的豆梨多为长果柄,其余地区均为短果柄。

巢式方差分析可以揭示种内和种间的变异,对豆梨资源6个居群78株个体的8个数量性状进行巢式方差分析(表4)表明,果柄长度和果形指数在群

表4 各群体数量性状的方差分析及变异系数  
Table 4 ANOVA analysis and coefficient of variation (CV%) on quantitative in each population

群体 Population code	参数 Parameter	叶片长度 Leaf length/cm	叶片宽度 Leaf width/cm	叶形指数 Leaf shape index	叶柄长度 Length of petiole/cm	果实横径 Fruit transverse diameter/cm	果实纵径 Fruit longitudinal diameter/cm	果形指数 Fruit shape index	果梗长度 Length of carpodium	均值 Average
浙江 Zhejiang	极值Range	6.14~9.60	3.65~6.62	1.24~1.68	1.54~5.59	1.20~1.38	1.15~1.36	0.87~1.08	2.31~3.45	
	平均值Mean±SD	7.56±1.05 ab	5.24±0.91 ab	1.47±0.16 b	3.67±1.43 ab	1.28±0.06 a	1.23±0.07 a	0.96±0.05a	2.97±0.35 a	
	CV/%	13.94	17.27	10.78	38.99	4.45	6.03	5.51	11.78	13.79
湖南 Human	极值Range	6.21~9.75	3.78~5.88	1.44~2.10	2.26~4.57	1.05~1.35	0.89~1.29	0.82~0.96	1.87~3.70	
	平均值Mean±SD	8.10±1.24 ab	4.59±0.85 b	1.79±0.21 a	2.96±0.84 ab	1.22±0.10 a	1.08±0.13 a	0.89±0.05 bc	2.52±0.66 b	
	CV/%	15.29	18.49	11.79	28.43	7.89	11.98	5.56	26.26	17.05
湖北 Hubei	极值Range	5.51~11.20	3.21~7.26	1.37~3.00	1.85~6.15	1.02~1.51	0.97~1.32	0.87~1.10	1.53~3.29	
	平均值Mean±SD	8.43±1.73 a	5.37±1.19 a	1.70±0.41 a	3.89±1.35 a	1.17±0.13 a	1.12±0.09 a	0.96±0.06 a	2.57±0.46 b	
	CV/%	20.59	22.11	24.07	34.71	10.78	7.65	6.56	17.86	18.61
江西 Jiangxi	极值Range	5.50~8.50	3.50~5.50	1.36~1.67	2.50~2.80	0.98~1.60	0.91~1.44	0.79~1.05	1.96~2.96	
	平均值Mean±SD	7.13~±0.89 b	4.61±0.64 b	1.55±0.09 ab	2.63±0.11 b	1.28±0.18 a	1.11±0.16 a	0.87±0.07 c	2.41±0.34 b	
	CV/%	12.44	13.82	5.62	4.20	14.22	14.34	7.67	13.89	13.13
广东 Guangdong	极值Range	6.20~8.42	3.70~5.41 ab	1.34~2.03	1.50~3.13	1.15~1.43	0.93~1.22	0.79~0.85	1.66~1.92	
	平均值Mean±SD	7.34±0.79 ab	4.76±0.69	1.58±0.28 ab	2.65±0.67 b	1.28±0.12 a	1.06±0.13 a	0.82±0.03 c	1.79±0.09 c	
	CV/%	10.77	14.47	17.76	25.18	9.11	12.13	3.11	5.29	11.96
广西 Guangxi	极值Range	5.05~10.81	3.33~6.50	1.30~2.05	1.46~4.27	0.90~1.56	0.84~1.42	0.78~1.06	2.09~3.58	
	平均值Mean±SD	7.34±1.22 b	4.56±0.78 b	1.62±0.20 ab	2.60±0.73 b	1.23±0.20 a	1.13±0.18 a	0.92±0.06 b	2.65±0.38 b	
	CV/%	16.68	17.18	12.40	27.88	15.92	15.70	6.51	14.15	18.47
总样本 Total	极值Range	5.05~11.20	3.21~7.26	1.24~3.00	1.46~6.15	0.90~1.60	0.84~1.44	0.78~1.10	1.53~3.70	
	平均值Mean±SD	7.36±1.31	4.71±3.21	1.58±1.24	2.80±1.05	1.23±0.17	1.06±0.15	0.86±0.07	2.37±0.47	
	CV/%	17.84	19.40	15.79	37.48	13.62	14.53	8.10	19.75	19.85
群体间F值 F value among population		1.882	1.70	1.511	3.348*	3.428*	3.346*	5.01**	6.002**	
群体内F值 F value within population		1.213	0.997	0.681	0.74	1.749*	1.742*	0.803	1.070	

注:a,b,c为Duncan's grouping 表示值,字母相同者为差异不显著。\*\* $p < 0.01$ ,\* $p < 0.05$ 。  
Note: The letters a, b, c represent Duncan's grouping value and the different among population with same letter is not significant. \*\* $p < 0.01$ , \* $p < 0.05$ .

体间存在极显著差异,表明果柄长度和果形指数在群体间存在广泛差异。果实横径和果实纵径在群体内和群体间存在显著差异,说明果实横径和果实纵径在群体内和群体间两个层次上均存在广泛的变异,其他性状指标差异不显著。并且在所有数量性状中群体间的  $F$  值均大于群体内的  $F$  值,说明中国豆梨群体间相对于群体内存在更大的遗传变异。

### 2.3 形态学性状的主成分分析

19 个形态学性状的主成分分析表明,前 7 个主成分对应的特征值均大于 1,其累计贡献率达 70.804%(表 5),表明前 7 个主成分能解释绝大部分的形态学性状变异。第 1 主成分的特征值为 3.092,方差贡献率最大为 16.274%,其主成分载荷为正且

较高的为叶片宽度、叶片长度、果实形状、叶柄长度和果梗长度,说明这 5 个性状与第 1 主成分有较强的正相关。第 2 主成分的特征值为 2.626,方差贡献率为 13.823%,与其呈较强正相关的有叶芽姿态、叶芽顶端特征、叶基形状、叶面伸展状态,呈较强负相关的为果心位置和果实纵径。第 3 主成分的特征值 1.962,方差贡献率为 10.327%,与其呈较强正相关的为果实横径,呈较强负相关的为果实底色。第 4 主成分的特征值为 1.843,方差贡献率为 9.701%,与其呈较强正相关的为叶形指数,呈较强负相关的为一年生枝颜色和叶尖形状。第 5 主成分的特征值为 1.503,方差贡献率为 7.912%,与其呈较强正相关的为叶片形状和果形指数。第 6 主成分的特征值为

表 5 各主成分的特征值、贡献率及特征向量

Table 5 The eigenvalue, contribution rate and eigenvector of each principal component

形态学性状 Phenotype traits	主成分特征向量 Eigenvector of the principal component						
	1	2	3	4	5	6	7
一年生枝颜色 Annual branch color	-0.174	0.155	0.042	<u>-0.665</u>	0.354	0.034	-0.319
叶芽姿态 Leaf bud attitude	-0.223	<u>0.578</u>	0.189	-0.253	0.337	-0.199	0.222
叶芽顶端特征 Leaf bud apical feature	0.127	<u>0.404</u>	0.148	-0.201	0.243	0.228	0.221
叶片形状 Leaf shape	-0.351	0.271	0.204	0.437	<u>0.509</u>	-0.048	-0.194
叶基形状 Shape of leaf bases	0.204	<u>0.613</u>	0.100	0.130	-0.041	0.487	-0.219
叶尖形状 Shape of leaf apex	0.231	-0.124	-0.198	<u>-0.510</u>	-0.411	0.267	<u>0.389</u>
叶缘 Leaf margin	-0.235	0.489	0.033	0.296	-0.131	<u>0.526</u>	0.203
叶面伸展状态 Leaf extension state	0.232	<u>0.410</u>	-0.129	-0.225	0.141	0.236	-0.381
果实形状 Fruit shape	<u>0.531</u>	-0.044	-0.322	-0.043	0.401	0.115	0.215
果实底色 Bottom color of fruit	0.009	-0.083	<u>-0.577</u>	0.375	0.163	-0.185	-0.192
果心位置 Fruit core position	0.041	<u>-0.436</u>	-0.411	0.296	0.016	0.428	-0.265
叶片长度 Leaf length/cm	<u>0.676</u>	0.353	0.141	0.383	-0.108	-0.326	0.033
叶片宽度 Leaf width/cm	<u>0.784</u>	0.337	-0.011	0.098	-0.268	-0.259	-0.142
叶形指数 Leaf shape index	-0.336	-0.035	0.165	<u>0.513</u>	0.180	0.107	0.475
叶柄长度 Length of petiole/cm	<u>0.749</u>	0.322	-0.061	0.137	0.002	0.107	0.087
果实横径 Fruit transverse diameter/cm	0.253	-0.456	<u>0.754</u>	0.066	-0.041	0.193	-0.165
果实纵径 Fruit longitudinal diameter/cm	0.460	<u>-0.601</u>	0.479	0.043	0.229	0.256	-0.063
果形指数 Fruit shape index	0.410	-0.310	-0.468	-0.059	<u>0.530</u>	0.086	0.210
果梗长度 Length of carpodium	<u>0.443</u>	-0.161	0.346	-0.113	0.315	-0.171	0.127
特征值 Eigenvalue	3.092	2.626	1.962	1.843	1.503	1.303	1.123
方差贡献率 Variance contribution rate/%	16.274	13.823	10.327	9.701	7.912	6.855	5.911
累计贡献率 Cumulative contribution rate/%	16.274	30.097	40.424	50.125	58.037	64.893	70.804

注:下划线指示特征值较大的性状。

Note: The underline indicates the traits with higher eigenvalue.

1.303,方差贡献率为 6.855%,与其呈较强正相关的为叶缘。第 7 主成分的特征值为 1.123,方差贡献率为 5.911%,与其呈较强正相关的为叶尖形状。

### 2.4 聚类分析

根据形态调查结果,利用 NTsys 软件采用欧式遗传距离矩阵和 UPGMA 法对 78 份豆梨资源的 19 个表型性状进行聚类分析,构建系统聚类图。由图

2 可知,在欧式距离系数为 12.03 处,可将 78 份豆梨材料聚为 2 个大类,其中来自湖北和浙江的材料彼此间的遗传分化较小,表型性状较为一致而聚为一大类 I;而来自于湖南、江西、广东、和广西的材料之间遗传距离较小,亲缘关系较近被聚为另一大类群 II。在欧式距离系数为 9.9 处,可将 78 份豆梨材料聚为 5 类,第一类为来自湖北和浙江的材料;第二类



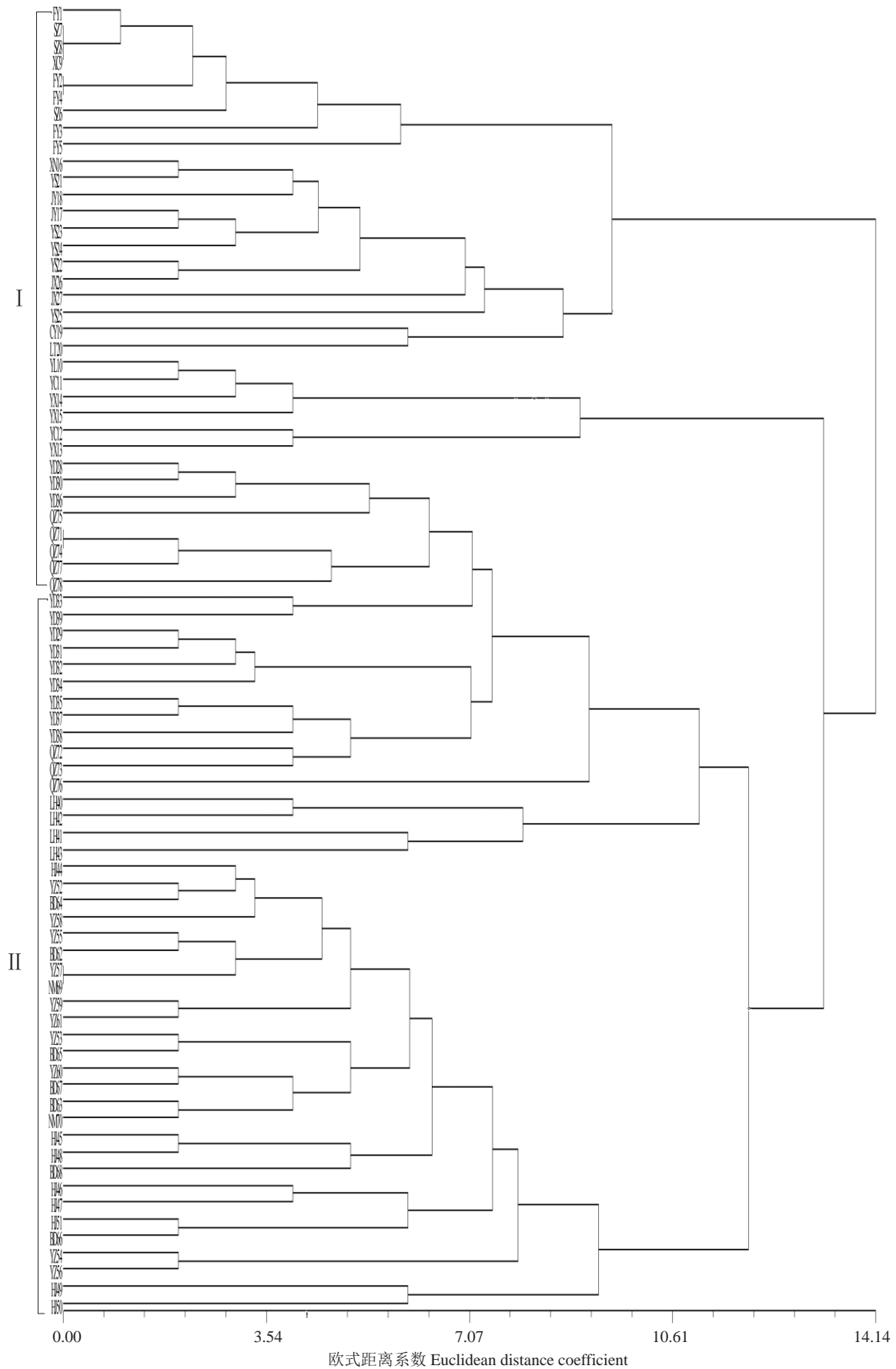


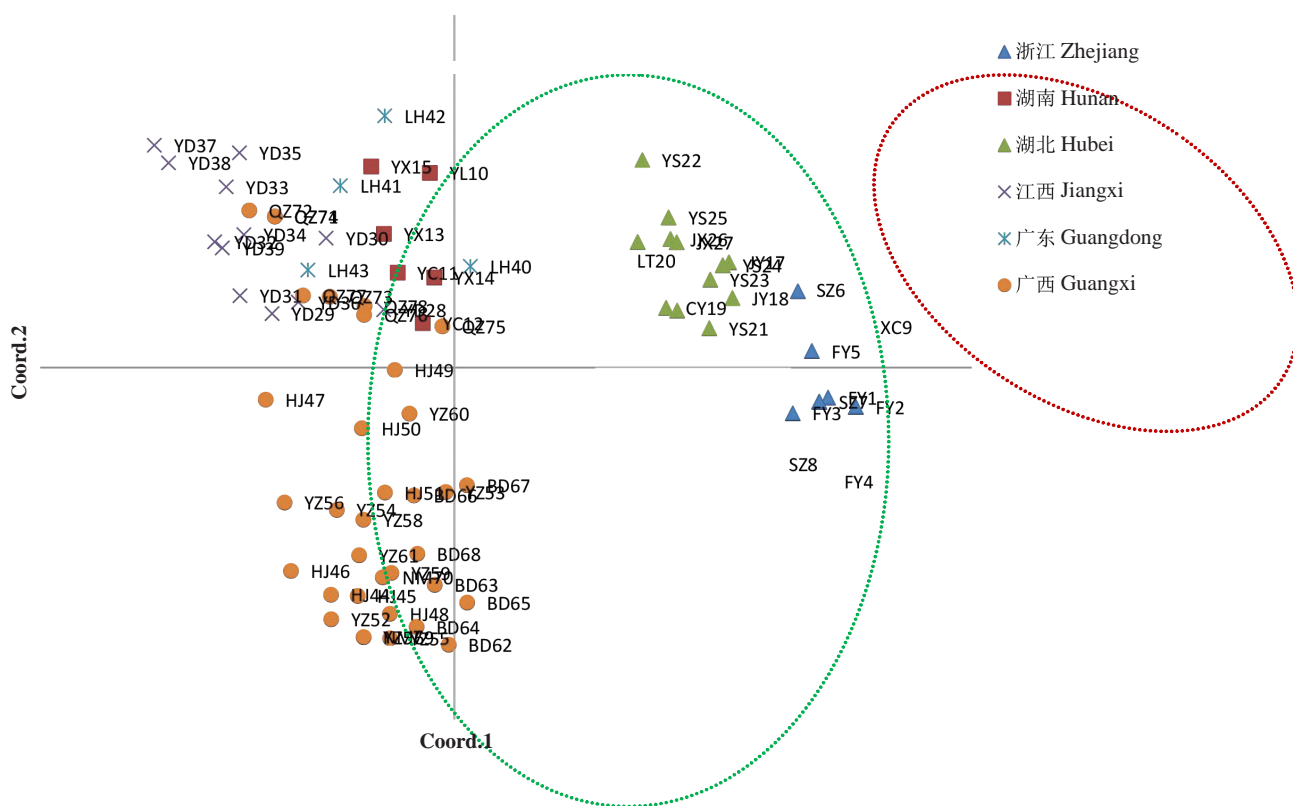
图2 78份豆梨资源表型性状的聚类分析

Fig. 2 The clustering figure of 78 *P. calleryana* base on morphological characters

为来自湖南的材料;第三类包括江西的全部材料和广西全州县的材料;第四类为广东的材料;第五类包括广西环江县、宜州市、巴马县和宁明县的材料,其分类结果几乎是按照地域来进行聚类的,表明不同地域的生态环境对豆梨资源的表型性状具有一定的影响,相似的地理环境往往导致材料间发生了相似的遗传变异。但是浙江和湖北之间隔着安徽的南部和江西的部分地域,这两个省的样品聚到一起以及江西的材料和广西的材料聚在一起可能的原因是小

气候所致,通过查阅世界气候数据库(<http://www.worldclim.org/>)可以发现浙江和湖北、广西全州县和江西豆梨采集点的气候条件较为类似,因此发生相似的变异,从而在进行聚类时聚为了一类。

除此之外,利用 GenAlex 软件基于遗传距离的主坐标分析(PCoA)也得到了类似的结果,湖北和浙江的种质资源间的遗传距离较小被聚为一大类群,湖南、江西、广东和广西的种质资源则被聚为另一类群(图 3)。



图中对应编号材料名称见表 1;Coord.1 和 Coord.2 对应第 1 主成分和第 2 主成分;红色和绿色的虚线圈表示差别较大的类群。

The code of the corresponding material names are shown in Table 1; Coord.1 and Coord.2 refer to the first and second principal component, respectively. The dotted circles with red and green color delimit the different major clusters.

图 3 基于表型数据的 78 份豆梨资源的主坐标(PCoA)分析

Fig. 3 Principal coordinates analysis (PCoA) of 78 accessions in *P. calleryana* base on morphologic data

### 3 讨 论

#### 3.1 豆梨资源居群间及居群内的形态学变异

表型多样性是研究种群在其分布区域内环境条件下的表型变异,是基因型和环境互作的结果,表型变异必然蕴涵着遗传变异,表型变异越大,可能存在的遗传变异越大,也是进行遗传多样性研究最基本的组成部分<sup>[20]</sup>。对遗传多样性的研究可以揭示物种

或种群的进化史,能为濒危物种的保护和利用提供科学依据,是人工驯化和遗传育种研究的基础,也是揭示种群适应性的有效途径之一<sup>[21]</sup>。通过对豆梨资源 6 个居群的研究发现:不论是在枝条、叶片还是果实方面,豆梨资源均表现出丰富的表型多样性,且遗传变异主要来源于居群间。该结果与宗宇等<sup>[13]</sup>对野生杜梨的研究结果类似,表明不同地理区域的豆梨资源具有较高的遗传变异。此外刘晶<sup>[22]</sup>利用 SSR 标

记对中国豆梨种质资源的研究也发现了较高的遗传多样性。群体间的变异高于群体内的变异,这反应了群体G(基因)×E(环境)的复杂性及其适应环境压的广泛程度,是不同环境选择的结果,是群体分化的源泉<sup>[22]</sup>,说明了不同地区复杂多变的气候特点造就了豆梨形态性状的多样性。多样性指数是评价种质资源多样性的重要指标,已经广泛应用于表型性状中描述性状的多样性评价<sup>[23]</sup>。对豆梨11个描述性状的分析发现,多样性指数较高的表型特征为叶片形状(1.04)、叶面伸展状态(0.96)以及果心位置(0.93),说明这些性状具有较为丰富的变异信息,在评价豆梨资源表型多样性方面具有重要的应用价值。变异系数反应性状在居群内与居群间的变异情况,变异系数越大,性状的离散程度越大,性状越不稳定。豆梨居群8个数量性状的平均变异系数为19.85%,4个叶片相关性状平均变异系数为22.54%,其中叶柄长度(37.48%)的变异系数最大,4个果实相关性状平均变异系数为14%,果梗长度(19.75%)的变异系数最大,由此可以看出中国豆梨资源表型变异丰富,具有较高的遗传多样性,从而为豆梨的亲本选育提供了丰富的亲本材料,为资源的有效开发利用提供了较大的可选空间。

### 3.2 豆梨资源表型性状的聚类分析

基于欧式遗传距离矩阵的UPGMA聚类分析发现中国豆梨资源的聚类结果与其群体的地理分布格局有较高的相关性,在欧式距离系数为13.43处,78份豆梨资源被聚为两大类,第一类为来自湖北和浙江的材料;第二类为来自湖南、江西、广东和广西的材料,PCoA的分析结果也表明分布于中国浙江和湖北的群体与分布于湖南、江西、广东和广西的群体具有明显的遗传结构差异,形成两个大的生态型分布区。对于表型性状的多样性分析同样发现无论是描述性状还是数量性状,这两大分布区资源的表型性状间存在着较大的差异。类群I资源的叶片形状多表现为卵圆形、宽楔形叶基、较大的叶片长度和叶片宽度、叶柄长度较长而且具有较大的果形指数;而类群II的豆梨资源表现为钝锯齿形叶缘、扁圆形果实、叶片长度和叶片宽度较小、叶柄长度较短同时具有较小的果形指数。豆梨种质资源出现这种分化的情况可能与不同地域的生态环境有一定的关系,植物的表型特征是环境和遗传综合作用的结果,环境的变化往往导致豆梨资源的表型性状发生一定的

改变,而相似的地理环境往往导致材料间发生相似的遗传变异。

### 参考文献 References:

- [1] RUBTSOV G A. Geographical distribution of the genus *Pyrus* and trends and factors in its evolution[J]. *American Naturalist*, 1944, 78(777):358-366.
- [2] CHALICE J S, WESTWOOD M N. Numerical taxonomic studies of the genus *Pyrus* using both chemical and botanical characters[J]. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 2010, 67(2): 121-148.
- [3] 俞德浚,陆玲娣,谷粹芝. 中国植物志. 第36卷[M]. 北京: 科学出版社, 1974.  
YU Dejun, LU Lingdi, GU Cuizhi. *Flora reipublicae populais sinicae*. Volume 36[M]. Beijing: Science Press, 1974.
- [4] 贾支. 中国果树 第三卷 梨[M]. 科学通报, 1963(10):74.  
JIA Zhi. *Chinese fruit trees · pear* [M]. *Chinese Science Bulletin*, 1963(10):74.
- [5] 李祝成,陈勤,何宗能,郭晓玲. 豆梨丰产稳产栽培技术[J]. 中国热带农业, 2011(3):59-60.  
LI Zhucheng, CHEN Qin, HE Zongneng, GUO Xiaoling. Cultivation techniques for high yield and stable yield of *Pyrus calleryana* Decne.[J]. *China Tropical Agriculture*, 2011(3):59-60.
- [6] 蒋学莉,史锋厚,沈永宝,仲磊,卢克成. 豆梨资源的保护与开发利用[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(3):162-165.  
JIANG Xueli, SHI Fenghou, SHEN Yongbao, ZHONG Lei, LU Kecheng. Protection and development of *Pyrus calleryana* resource[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2015, 43(3):162-165.
- [7] 陶爱群. 豆梨离体再生体系建立与 *rolB* 基因转化研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2008.  
TAO Aiqun. Study on the establishment of *in vitro* regeneration system from *P. calleryana* Decne. and *rolB* gene transformation [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2008.
- [8] 冯涛,张红,陈学森,张艳敏,何天明,冯建荣,许正. 新疆野苹果果实形态与矿质元素含量多样性以及特异性状单株[J]. 植物遗传资源学报, 2006, 7(3):270-276.  
FENG Tao, ZHANG Hong, CHEN Xuesen, ZHANG Yanmin, HE Tianming, FENG Jianrong, XU Zheng. 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*, 2006, 7(3):270-276.
- [9] 刘玉皎,宗绪晓. 青海蚕豆种质资源形态多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2008, 9(1):79-83.  
LIU Yujiao, ZONG Xuxiao. Morphological diversity analysis of faba bean (*Vicia faba* L.) germplasm resources from Qinghai[J]. *Journal of Plant Genetic Resource*, 2008, 9(1):79-83.
- [10] 聂石辉,彭琳,王仙,季良. 鹰嘴豆种质资源农艺性状遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2015, 16(1):64-70.  
NIE Shihui, PENG Lin, WANG Xian, JI Liang. Genetic diversity

- ty of agronomic traits in chickpea (*Cicer arietinum* L.)germplasm resources[J]. Journal of Plant Genetic Resource, 2015, 16(1):64-70.
- [11] 潘存祥,许勇,纪海波,李玉明,陈年来. 西瓜种质资源表型多样性及聚类分析[J]. 植物遗传资源学报, 2015, 16(1):59-63.  
PAN Cunxiang, XU Yong, JI Haibo, LI Yuming, CHEN Nianlai. Phenotypic diversity and clustering analysis of watermelon germplasm[J]. Journal of Plant Genetic Resource, 2015, 16(1): 59-63.
- [12] 刘晶. 中国豆梨与川梨的遗传多样性和群体遗传结构研究[D]. 杭州:浙江大学, 2013.  
LIU Jing. Studies on genetic diversity and structure of *Pyrus calleryana* and *P. vashia* in China[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2013.
- [13] 宗宇,孙萍,牛庆丰,滕元文. 中国北方野生杜梨分布现状及其形态多样性评价[J]. 果树学报, 2013, 30(6):918-923.  
ZONG Yu, SUN Ping, NIU Qingfeng, TENG Yuanwen. Distribution situation and assessment of morphological diversity of wild *Pyrus betulaeifolia* in Northern China[J]. Journal of Fruit Science, 2013, 30(6):918-923.
- [14] 曹玉芬. 梨种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京:中国农业出版社, 2006.  
CAO Yufen. Descriptors and data standard for pear (*Pyrus* spp.) [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2006.
- [15] SHANNON C E, WEAVER W. The mathematical theory of communication[M]. Urbana: University of Lllinois Press, 1949: 3-14.
- [16] 李斌,顾万春,卢宝明. 白皮松天然群体种实性状表型多样性研究[J]. 生物多样性, 2002, 10(2):181-188.  
LI Bin, GU Wanchun, LU Baoming. A study on phenotypic diversity of seeds and cones characteristics in *Pinus bungeana*[J]. Biodiversity Science, 2002, 10(2):181-188.
- [17] HEGAY S, GELETA M, BRYNGELSSON T. Genetic diversity analysis in *Phaseolus vulgaris* L. using morphological traits[J]. Genetic Resources & Crop Evolution, 2014, 61(3):555-566.
- [18] 肖亮,蒋建雄,易自力,艾辛,覃静萍,刘树玲,陈智勇,林聪. 广西省芒野生居群表型多样性研究[J]. 草业学报, 2013, 22(4): 43-45.  
XIAO Liang, JIANG Jianxiong, YI Zili, AI Xin, QIN Jingping, LIU Shuling, CHEN Zhiyong, LIN Cong. A study on phenotypic diversity of *Miscanthus sinensis* natural population in Guangxi province[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2013, 22(4):43-45.
- [19] PEAKALL R, SMOUSE P E. GENALEX 6: genetic analysis in Excel, population genetic software for teaching and research[J]. Molecular Ecology Notes, 2006, 6(1):288-295.
- [20] 刘维,陈芬,陈雨,潘大建,范芝兰,陈建西,李晨. 粤北普通野生稻表型多样性研究[J]. 广东农业科学, 2010, 37(8):21-24.  
LIU Wei, CHEN Fen, CHEN Yu, PAN Dajian, FAN Zhilan, CHEN Jianyou, LI Chen. Phenotype diversity of ordinary wild rice in north of Guangdong[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2010, 37(8):21-24.
- [21] 曾杰,郑海水,甘四明,白嘉雨. 广西南桦天然居群的表型变异[J]. 林业科学, 2005, 41(2):59-65.  
ZENG Jie, ZHENG Haishui, GAN Siming, BAI Jiayu. Phenotypic variation in natural populations of *Betula alnoides* in Guangxi, China[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2005, 41(2):59-65.
- [22] 庞广昌,姜冬梅. 群体遗传多样性和数据分析[J]. 林业科学, 1995, 31(6):543-550.  
PANG Guangchang, JIANG Dongmei. Population genetic diversity and data analysis[J]. Scientia Silvae Sinicae, 1995, 31(6): 543-550.
- [23] PETRUCCELLI R, GANINO T, CIACCERI L. Phenotypic diversity of traditional cherry accessions present in the Tuscan region[J]. Scientia Horticulturae, 2013, 150(2):334-347.