

# 浙江省柿种质资源果实形状多样性研究

孙维敏, 徐 阳, 龚榜初\*, 吴开云

(中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 杭州 311400)

**摘要:** [目的] 揭示浙江省柿种质资源果实表型性状及柿果地理分布特点, 为柿果选育提供参考依据。[方法] 通过对浙江省 73 份柿种质资源的 23 个果实性状测定, 研究果实表型性状及性状间的相关关系, 并利用主成分分析 (PCA) 及 PCA 得分图对果形进行分类, 分析柿果地理分布特点。[结果] 柿果表型性状差异较大, 变异系数为 10.05%~48.45%, 果实质量、果实体积、果实纵截面面积、果实横截面面积、果实纵径、果实横径及果形指数均值分别为 103.34 g、108.44 cm<sup>3</sup>、26.58 cm<sup>2</sup>、26.54 cm<sup>2</sup>、5.91 cm、5.84 cm 和 1.03; 单粒种子质量、单粒种子体积、种子长度、种子宽度、种子厚度、种子长宽比、种子个数、种子占果实体积比均值分别为 0.90 g、0.97 cm<sup>3</sup>、21.80 mm、11.43 mm、5.07 mm、1.94、4.30 粒和 4.24%; 髓心质量、髓心体积、髓心高、髓心顶宽、髓心基宽、髓心高顶宽比、髓心高基宽比和髓心占果实体积比均值分别为 2.11 g、2.62 cm<sup>3</sup>、28.65 mm、6.32 mm、12.16 mm、4.80、2.50 和 2.67%。果实、种子及髓心大小相关系数为 0.36~0.78, 果形指数与种子长宽比、髓心高顶宽比及髓心高基宽比相关系数分别为 0.86、0.90 和 0.88, 表明果实各部分间的大小具有正相关关系, 形状具有相似性。对 16 个原始性状指标进行主成分分析, 前 2 个主成分 (75.64%) 可表示柿果表型性状的大小和形状指标。PCA 得分图与表型性状各区间重合率较高, 可较好地表示果实表型性状的大小及形状指标, 将柿果形状分为大果长形、小果长形、小果扁形和大果扁形四大类。杭嘉湖平原扁形果占 66.67%, 以大果扁平为主 (41.67%), 浙西丘陵地区以大果长形为主 (41.67%), 金衢盆地扁平果形占 71.43%, 浙南山地以小果长形为主 (48%)。[结论] 浙江省柿种质资源果实表型性状丰富, 柿果各部分之间大小和形状具有相关性, 长果形主要分布在山区, 而扁果形分布地较为平坦。

**关键词:** 柿; 种质资源; 果实形状

**中图分类号:** S759.3

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-1498(2019)05-0042-09

园艺作物中, 果实形状和大小是消费者考虑的重要因素, 如在椰枣 (*Phoenix dactylifera* L.)<sup>[1]</sup> 和黄瓜 (*Cucumis sativus* L.)<sup>[2]</sup> 的销售、加工过程中, 果实大小和形状是果实品质分级的主要依据。随着劳动力成本增加, 果品机械化采收和加工是未来农产品产业化发展的方向, 而果品采收和加工机械主要基于果品的大小和形状设计<sup>[3]</sup>, 因此, 研究果品的大小和形状对于产业的发展具有重要意义。

柿 (*Diospyros kaki* Thunb.) 系柿科 (Ebenaceae) 柿属 (*Diospyros* L.) 中主要经济树种, 原产于中国, 是我国重要的特色水果之一<sup>[4]</sup>。尽管柿果表型性状变异与多样性研究较为丰富, 然而柿果形方面的研

究尚处于起步阶段<sup>[5-6]</sup>。相比苹果 (*Malus pumila* L.) 和葡萄 (*Vitis vinifera* L.), 柿果形状变异较大<sup>[6]</sup>, 国家行业标准<sup>[7]</sup> 将柿果分为长椭圆、椭圆、圆形等 11 个形状。Katayama-Ikegami 等通过比较‘罗田甜柿’ (C-PCNA) 与完全涩柿 (PCA)、日本甜柿 (J-PCNA) 杂交子代果实形状后发现, 甜柿子代相比非完全甜柿子代果形更为扁平<sup>[8]</sup>。Maeda 等将 156 份柿品种进行分析得出, 果形指数作为主要影响因素可较好表征柿果形状<sup>[6]</sup>。目前有关柿果实形状与果实各部分间的相关性研究尚未见报道。

柿子房上位, 为中轴胎座, 子房一般含 4 个心皮, 具 8 个心室, 胚珠倒生<sup>[9-10]</sup>。胚珠着生在心皮内

收稿日期: 2018-12-17 修回日期: 2019-02-18

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金重点项目“柿提质增效关键技术研究” (CAF-YBB2017ZA004-3); 浙江省农业(果品)新品种选育重大科技专项“柿枣新品种选育” (2016C02052-10)

\* 通讯作者: 龚榜初. E-mail: gongbc@126.com

侧沿腹缝处的胎座上,后经受精作用胚珠发育成种子,子房发育成果实,胎座则发育成髓心<sup>[10]</sup>。性状不是单独进化的,一个性状或遗传背景的改变可能会导致其它性状的变化<sup>[11]</sup>,果实各部分间存在协同发育,果实性状与果实各部分间往往存在一定的相关性,如苹果中种子数影响着果实形状<sup>[12-13]</sup>;然而柿果形状与种髓间的相关性尚需进一步系统研究。有报道指出,环境因子包括温度、湿度及光照条件会对苹果果形指数产生影响<sup>[14-15]</sup>;高张莹等以东北到华北的核桃楸(*Juglans mandshurica* Maxim.)种群为对象,分析了地理形态因子与果核变异的关系,发现果核变异主要受温度、湿度及经度的影响<sup>[16]</sup>;王小平等对来自种质资源圃不同种源的白皮松(*Pinus bungeana* Zucc.)球果及种子形态特征分析得出,同一种源间差异不明显,不同种源间的球果和种子有地理变异差异<sup>[17]</sup>。

浙江省西南地势为数千米以上高峰,中部以丘陵为主,大小盆地错落,东北部为冲积平原<sup>[18]</sup>。该省地形多变,各地形元素充足,探索经济树种果实形状分布特点具有重要的研究意义。通过研究组前期研究发现,浙江省柿种质资源丰富,表型性状变异较大<sup>[5]</sup>。本研究对浙江省原产的73份柿种质资源成熟期的果样进行测定分析,进一步揭示柿果表型性状及性状间的相关关系,探究浙江省柿果形状地理分布特点,为今后柿果选育提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

本研究的73份柿种质原产于浙江省各地,采集原产地树龄70 a以上的老树枝条,记录农家品种名,无名称的依产地采集先后顺序进行编号,通过嫁接繁殖收集在浙江省兰溪市苗圃柿种质资源圃(29.14° N, 119.47° E)。2017年9—12月采集果样(73份柿种质名称及采样时间表略)。根据国家行业标准<sup>[19]</sup>,将全树约有60%柿果达到固有颜色(即果色转为黄色),果实稍硬及种子颜色变褐等特点定为果实成熟期。采样参考Hideaki等<sup>[20]</sup>、Maeda等<sup>[6]</sup>的方法,成熟期内采集满足采样标准果实,各个种质采取30个柿果进行表型性状测定。

### 1.2 测定项目与方法

1.2.1 仪器设备 电子天平(YP502N型,测量精度0.01 g,上海精密科学仪器有限公司);游标卡尺(0~150 mm,测量精度0.01 mm,上海安亭科学仪

器厂);便携式激光叶面积仪(CI-202型,美国CID公司)。

#### 1.2.2 测定方法

1.2.2.1 果实表型性状测定 果实质量采用百分之一电子天平进行称量;果实体积采用排水法测定,即计算水面高度差与圆柱容器底面积乘积得到果实体积。选取果实匀称且无病虫害果,用游标卡尺测量果实纵经和果实横径(图1a);果形指数即果实纵经与果实横径之比;用激光叶面积仪扫描果实最大纵截面、最大横截面面积,果实纵截面、横截面如图1b所示。

1.2.2.2 髓心相关指标测定 髓心质量采用百分之一电子天平进行称量;髓心体积采用排水法计算;髓心占果实体积比即髓心与果实体积比。髓心基宽、顶宽以及髓心高测量部位如图1c所示;髓心高基宽比表示髓心高与髓心基宽之比;髓心高顶宽比表示髓心高与髓心顶宽之比;髓心高均宽比表示髓心高与髓心均宽之比。

1.2.2.3 种子相关指标测量 选取果实中发育正常种子进行测量,去除干瘪、败育种子。种子总质量和总体积即单果内果实总质量与总体积,并统计单果内种子粒数;单粒种子质量与单粒种子体积为种子总质量与种子总体积分别和种子粒数之比;种子长度、宽度测量部位如图1d所示。

### 1.3 数据处理

采用Excel2016软件进行数据简要分析,利用OriginLab2017及R-3.5.0软件进行相关图形制作。

## 2 结果与分析

### 2.1 柿种质资源果实表型性状分析

通过对浙江省原产的73份柿种质资源成熟期的果样进行分析,发现果实、种子及髓心表型指标变异系数介于10.05%~48.45%之间(表1),说明供试柿子种质资源果实表型性状变异类型丰富。

果实性状:果实质量、果实体积、果实纵横截面面积、果实纵横径及果形指数是反映果实大小的重要指标。果实大小变异系数为16.64%~42.49%,均大于10.00%,离散程度较大。‘萧山1号’的果实质量和果实体积最大,分别为233.87 g和262.76 cm<sup>3</sup>;‘庆元4号’的果实质量和果实体积最小,分别为27.31 g和28.10 cm<sup>3</sup>。果实纵横截面面积、果实纵横径及果形指数是果实形状指标,果形指数越接近1.00,柿果形态越接近圆形;取值大则偏长

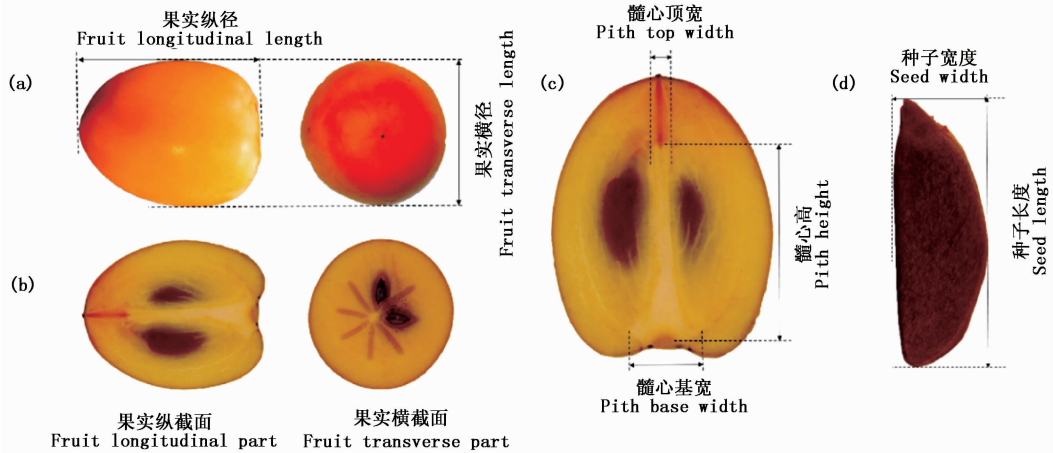


图1 果实表型性状测量  
Fig.1 Measurement of phenotypic traits

表1 柿种质资源果实表型性状

Table 1 Phenotypic traits of persimmon germplasm resources

性状 Traits	均值 Mean	最大值 Max	最小值 Min	标准差 SD	极差 R	变异系数 CV/%
果实质量 Fruit mass( <i>FM</i> )/g	103.34	233.87	27.31	41.94	206.56	40.58
果实体积 Fruit volume( <i>FV</i> )/cm <sup>3</sup>	108.44	262.76	28.10	46.08	234.66	42.49
果实纵截面面积 Fruit longitudinal area( <i>FLA</i> )/cm <sup>2</sup>	26.58	47.03	10.66	7.20	36.37	27.10
果实横截面面积 Fruit transverse area( <i>FTA</i> )/cm <sup>2</sup>	26.54	50.46	10.87	8.92	39.59	33.60
果实纵径 Fruit longitudinal length( <i>FL</i> )/cm	5.91	8.72	3.58	1.01	5.14	17.04
果实横径 Fruit transverse length( <i>FT</i> )/cm	5.84	8.18	3.82	0.97	4.36	16.64
果形指数 Fruit shape index( <i>FI</i> )	1.03	1.49	0.77	0.19	0.72	18.86
单粒种子质量 Seed mass( <i>SM</i> )/g	0.90	1.51	0.56	0.21	0.95	22.66
单粒种子体积 Seed volume( <i>SV</i> )/cm <sup>3</sup>	0.97	1.55	0.58	0.22	0.97	22.26
种子长度 Seed length( <i>SL</i> )/mm	21.80	27.11	15.96	2.94	11.15	13.48
种子宽度 Seed width( <i>SWI</i> )/mm	11.43	15.24	8.62	1.47	6.62	12.83
种子厚度 Seed thickness( <i>ST</i> )/mm	5.07	6.59	4.02	0.51	2.57	10.05
种子长宽比 Seed shape index( <i>SI</i> )	1.94	2.80	1.27	0.39	1.53	20.23
种子个数 Seed quantity( <i>SQ</i> )/粒	4.30	6.70	1.70	1.10	5.00	25.84
种子占果实体积比 Seed to fruit volume ratio( <i>SFV</i> )/%	4.24	14.01	1.65	2.05	12.36	48.45
髓心质量 Pith mass( <i>PM</i> )/g	2.11	5.16	0.51	0.69	4.65	32.76
髓心体积 Pith volume( <i>PV</i> )/cm <sup>3</sup>	2.62	6.12	0.61	0.90	5.51	34.40
髓心高 Pith height( <i>PH</i> )/mm	28.65	52.29	15.44	7.47	36.85	26.07
髓心顶宽 Pith top width( <i>PT</i> )/mm	6.32	10.10	3.54	1.37	6.56	21.71
髓心基宽 Pith base width( <i>PB</i> )/mm	12.16	19.13	6.23	2.56	12.90	21.01
髓心高顶宽比 Ratio of height to top width of pith( <i>RHT</i> )	4.80	10.85	2.19	1.83	8.66	38.12
髓心高基宽比 Ratio of height to base width of pith( <i>RHB</i> )	2.50	5.51	1.19	1.00	4.32	39.79
髓心占果实体积比 Pith to fruit volume ratio( <i>PFV</i> )/%	2.67	5.33	0.97	1.01	4.36	37.95

形,反之偏扁圆形。本研究中,果实纵截面面积、果实横截面面积均值分别为26.58、26.54 cm<sup>2</sup>,果实纵径、果实横径分别为5.91、5.84 cm,果形指数均值为1.03,表明大部分柿果果形偏圆。果实纵截面面积最大为‘淳安9号’47.03 cm<sup>2</sup>,最小为‘庆元2号’的10.66 cm<sup>2</sup>;果实横截面面积最大为‘萧山1号’的50.46 cm<sup>2</sup>,最小为‘庆元4号’的10.87 cm<sup>2</sup>。‘淳安9号’果实纵径最长,为8.72 cm,‘庆元4号’果实纵

径最短,为3.58 cm;果实横径最长为‘萧山1号’的8.18 cm,最短为‘牛奶柿’的3.82 cm。果形指数最大为‘磐安14号’的1.49,为长形果;果形指数最小为水柿的0.77,为扁圆形果。

种子性状:单粒种子质量、单粒种子体积、种子长度、种子宽度和种子厚度均值分别为0.90 g、0.97 cm<sup>3</sup>、21.80 mm、11.43 mm和5.07 mm,变异系数最大为单粒种子质量和单粒种子体积,分别为22.66%



和22.26%。种子长宽比均值为1.94,种子偏长形,最大为‘磐安14号’的2.80,最小为‘龙游1号’的1.27。平均每个果实含有4.30粒种子,含有的种子个数最多为‘遂昌4号’的6.70粒,最少为‘扁柿’的1.70粒。种子占果实体积比均值约为4.24%,变异系数为48.45%,种子占果实体积比最大为‘庆元2号’的14.01%,最小为‘淳安9号’的1.65%。

**髓心性状:**73份柿种质资源髓心全为实心,髓心性状的表型变异系数为21.01%~39.79%,均大于10.00%,变异类型丰富。髓心质量和髓心体积均值分别为2.11 g、2.62 cm<sup>3</sup>;髓心质量和髓心体积最大为‘建德1号’的5.16 g和6.12 cm<sup>3</sup>,最小为‘庆元4号’的0.51 g和0.61 cm<sup>3</sup>。髓心高、髓心顶宽和髓心基宽均值分别为28.65 mm、6.32 mm和12.16 mm,变异系数分别为26.07%、21.71%和

21.01%,根据国家行业标准<sup>[19]</sup>可推定髓心为长形,且变异较大。髓心高顶宽比和髓心高基宽比分别为4.80、2.50,变异系数分别为38.12%和39.79%,变异较大且较为接近。髓心占果实体积比为0.97%~5.33%,变异系数为37.95%,种类变异较大。

### 2.2 柿种质资源表型性状间相关性分析

73份柿种质资源表型性状的相关系数见图2。在253个相关系数中,15个相关系数表现出显著的相关性( $P < 0.05$ ), $|r| \geq 0.25$ ;159个相关系数表现出极显著相关( $P < 0.01$ ), $|r| \geq 0.31$ 。当相关系数大于0.71或小于-0.71才具有生物学意义,相当于一个性状占另一个性状变异的50%以上<sup>[21]</sup>。

分析23个性状间相关性矩阵图(图2)可知:(1)在果实性状方面,果实质量与果实体积、果实纵横截面面积及果实横径呈极显著相关关系,相关系

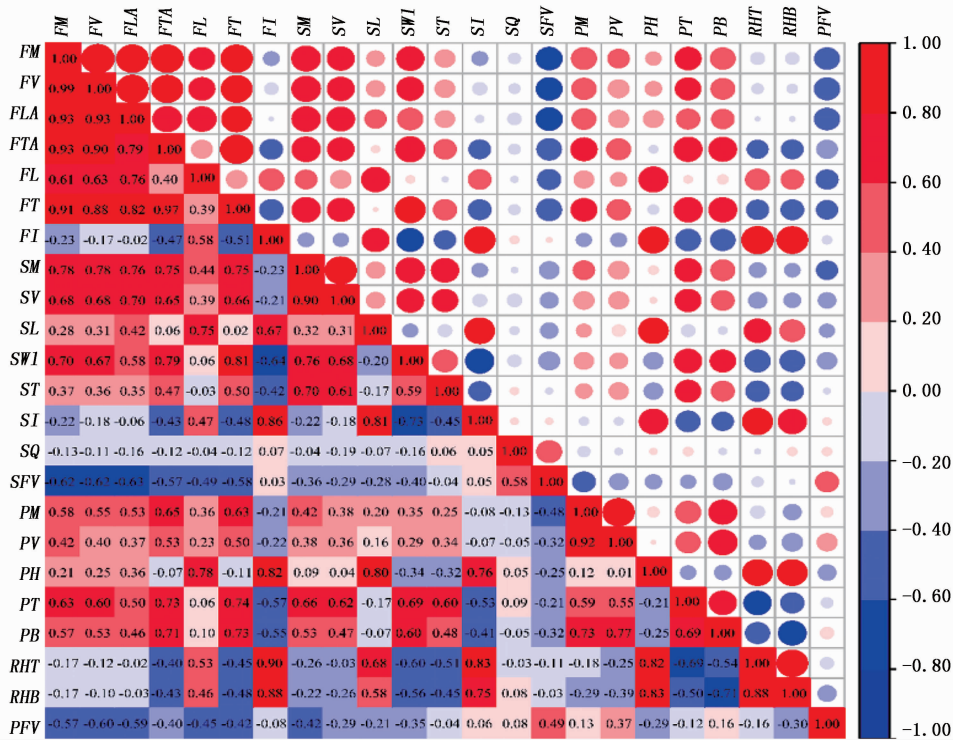


图2 23个性状间相关性分析矩阵图

Fig. 2 Matrix diagram for correlation analysis of 23 traits

数为0.91~0.99,表明果实越大,果实质量、果实体积、果实纵横截面面积及果实横径越大;果实纵截面面积与果实横截面面积、果实纵横径为正相关,相关系数分别为0.79、0.76和0.82,这些指标是影响果实形状的因素。(2)在种子性状方面,种子质量与种子体积、种子宽度及种子厚度具有显著的正相关,相关系数分别为0.90、0.76和0.70,说明这些指标

可以用来描述种子大小;种子个数与种子占果实体积比具有极显著相关性,表明种子个数影响着种子体积占果实体积比。(3)在髓心性状方面,髓心质量与髓心体积、髓心顶宽和髓心基宽相关性显著,相关系数分别为0.92、0.59和0.73,这些指标影响着髓心大小性状;髓心顶宽与髓心基宽相关系数为0.69,表明髓心顶部宽度与基部宽度有一定的相关

性。(4)果实大小相关指标、种子大小及髓心大小指标间具有极显著相关性,相关系数为 0.36 ~ 0.78,说明果实越大,种子质量和髓心质量、髓心体积和髓心宽度(髓心基宽和髓心顶宽)等指标也偏大。(5)果形指数与种子长宽比、髓心高顶宽比及髓心高基宽比具有极显著相关性,相关系数分别为 0.86、0.90 和 0.88。果形指数、种子长宽比及髓心高宽比是反映形状的重要指标,说明可以通过果实的形状确定种子及髓心形状。

### 2.3 柿种质资源表型性状多样性主成分分析

主成分分析(PCA)是多元统计分析框架内的一种统计技术,可用来揭示数据中最重要的性状和品种之间的相似性,即用少数变量来反映原来变量的大部分信息。主成分是原始变量的线性组合,因此第 1 个主成分解释了总方差的最大部分信息,这就

意味着相关变量由相同的主成解释,不同主成解释相关性较小的变量<sup>[1]</sup>。

本研究中提取特征值  $\lambda > 1$ ,并考虑方差贡献率将 16 个原始性状指标分为三大主成分(表 2),可以解释 85.35% 的总变异。前 2 个主成分有最高的特征值,分别为 8.95 和 3.16,解释总变异的 75.64%。载荷值表示的是变量间的协变模式,变量远离原点并在相同的方向上表示具有明显的相关性,而在主成分坐标轴上为相反的方向表示不具有相关性。由图 3 可知:第 1 主成分(PC1)对原始变量有近似相等的正载荷,主要反映果实的大小性状;第 2 主成分(PC2)中有表示大小的正载荷和表示宽度的负载荷,主要反映果实的形状指标;第 3 主成分(PC3)贡献率及载荷值较小,可以忽略。因此,主要采取前 2 个主成分分别表征果实的大小和形状。

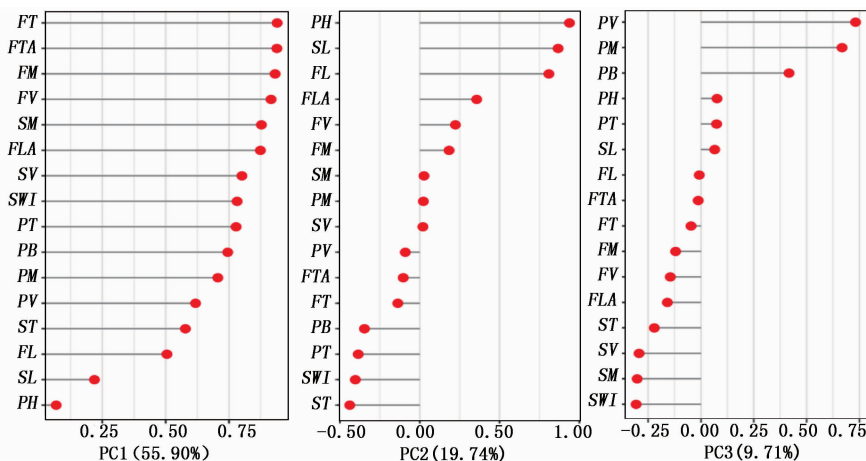


图 3 主成分载荷火柴杆图

Fig. 3 Cleveland point diagram of load match for principal component

表 2 主成分分析变量解释

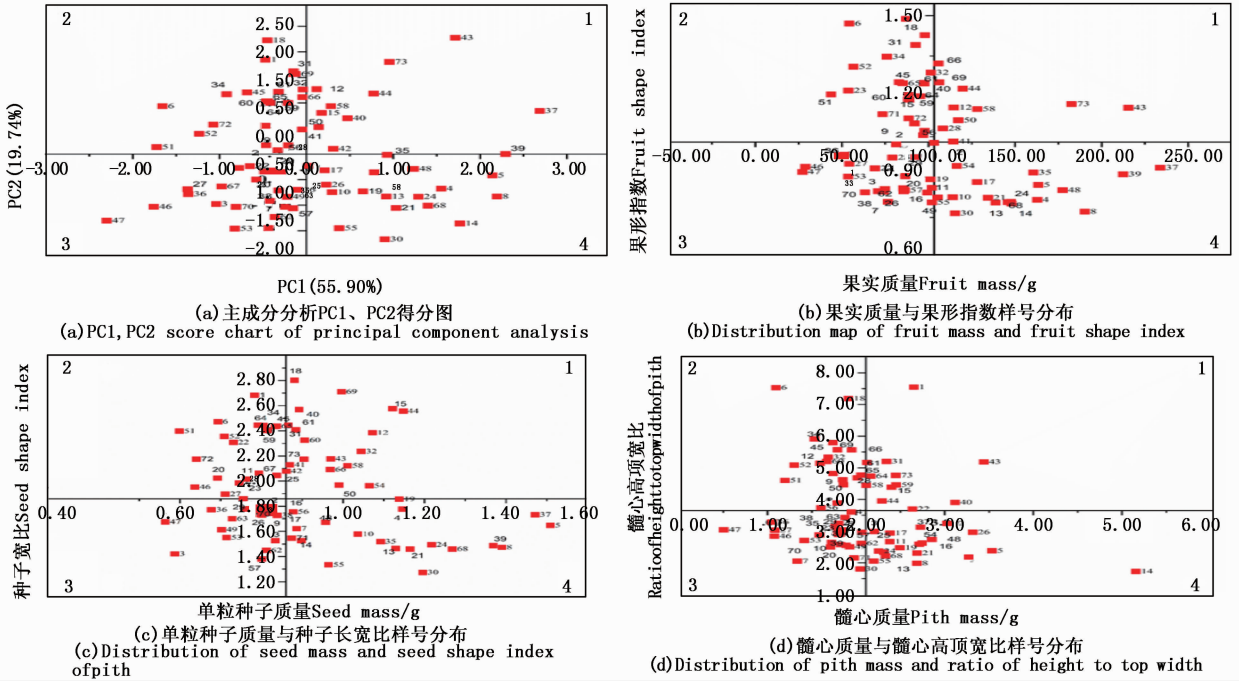
Table 2 Account for principal component analysis variable

主成分 Component	特征值 Eigen value	贡献率 Contribution rate / %	累积贡献率 Accumulative contribution rate / %
1	8.95	55.90	55.90
2	3.16	19.74	75.64
3	1.55	9.71	85.35

### 2.4 柿种质资源果实形状多样性分类

本研究中第 1 主成分(PC1)和第 2 主成分(PC2)累计贡献率为 75.64%,分别代表果实的大小和形状指标。通过主成分分析(PCA)得分图可以看出:柿种质资源果实大小和形状分布情况(图 4a):37、43 和 73 等(萧山 1 号、淳安 9 号、安吉 4 号

等)分布于第 1 区间,表明果大且偏长;6、34 和 72 等(牛奶柿、青田 2 号、安吉 3 号等)分布于第 2 区间,果小、果形偏长;46、47 和 53 等(庆元 2 号、庆元 4 号、莲都 6 号等)分布于第 3 区间,果小、果形偏扁;5、30 和 55 等(大水柿、龙游 1 号、遂昌 4 号等)分布于第 4 区间,果大并且果形偏扁。质量能够反映大小指标,长宽比能够反映形状指标,因此,将果实、种子及髓心的质量和长宽比(包括果形指数、种子长宽比、髓心高顶宽比)分别对应作散点图(图 4b、c、d),并分别统计散点图(图 4b、c、d)各区间与图 a 各区间的样号重合率。从果实、种子及髓心与 PCA 得分图的样号重合率(图 5)得出:PCA 得分图与表型性状各区间的重合率较高,达到 80% 以上,

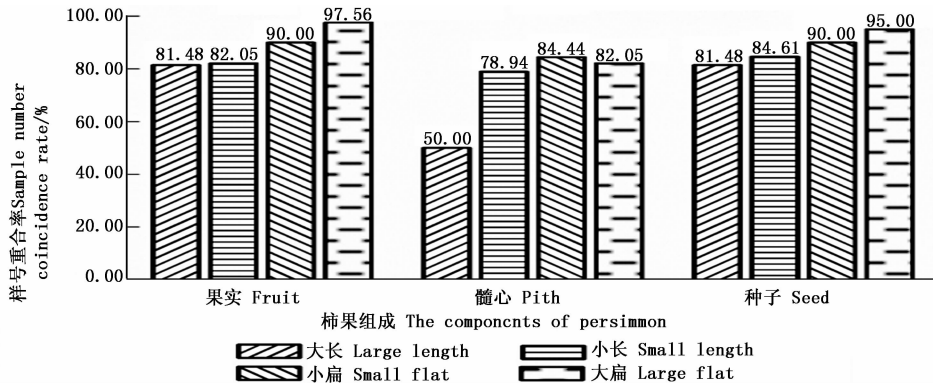


注:区间号标注于图的 4 个角落。

Note: The interval numbers are marked in the four corners of the figure.

图 4 柿种质资源大小和形状指标样号分布散点图

Fig. 4 Persimmon germplasm resources size and shape traits sample distribution scatter plot



注:大长表示大果长形,小长表示小果长形,小扁表示小果扁形,大扁表示大果扁形。

Notes: Large length showing large fruit with long shape, small length showing small fruit with long shape, small flat showing small fruit with flat shape, and large flat showing large fruit with flat shape.

图 5 柿种质资源样号重合率

Fig. 5 Sample number coincidence rate of persimmon germplasm resources

可以较好地表示果实表型性状的大小及形状指标。因此,本文采用 PCA 得分图将柿种质资源果实分为大果长形、小果长形、小果扁形和大果扁形 4 种类型。

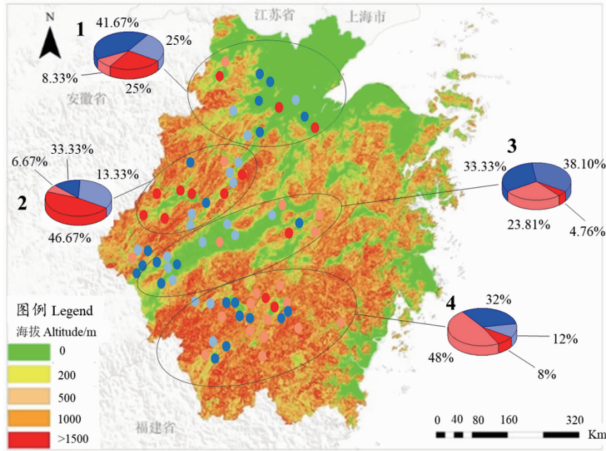
### 2.5 柿种质资源果实形状分布特点

根据 4 种类型柿果原产地绘制浙江省柿种质资源果实形状分布图(图 6)。该省西南地势多为数千

米以上的群山峻岭,主要山峰在 1 500 m 以上;中部以丘陵为主,大小盆地错落于山峰之间;东北部为冲积、沉积平原,地势平坦,土层深厚<sup>[18]</sup>。因此,根据柿种质资源原产地及浙江省地形分布特点,将采样地分为四大分布区:一区为杭嘉湖平原,二区为浙西丘陵,三区为金衢盆地,四区为浙南山地(图 6)。杭嘉湖平原扁平果占 66.67%,其中小果扁平为主,占



41.67%；浙西丘陵果实偏长形占53.54%，以大果长形为主（46.67%）；金衢盆地果实较为扁平，占71.43%，且大果扁平（38.10%）主要分布于盆地，盆地周围以小果扁平（33.33%）为主；浙南山地果形相对偏长，以小果长形（48%）为主。通过原产地地理特点及果实形状分布分析可知：山区果实偏长形，浙西丘陵地区以大果长形为主，浙南山地主要是小果长形；地势平坦地区杭嘉湖平原和金衢盆地果实较为扁平。



注：深红表示大果长形，浅红表示小果长形，深蓝表示小果扁平，浅蓝表示大果扁平。

Notes: Deep red showing large fruit with long shape, light red showing small fruit with long shape, dark blue showing small fruit with flat shape, and light blue showing large fruit with flat shape.

图6 浙江省柿种质资源果实形状分布

Fig. 6 Fruit shape distribution of persimmon germplasm resources in Zhejiang Province

### 3 讨论

表型性状由环境和基因型共同决定，随着物种与环境长期适应，表现出的表型性状已由基因型所调控<sup>[22-23]</sup>。鲜果表型性状的影响因素包括品种差异、气候、栽培条件及采摘成熟度的影响<sup>[24]</sup>，本试验所采取的柿果样品立地条件、气候条件相同，管理条件、管理水平一致，保证柿果表型性状差异来源于种质资源间差异。通过对浙江省兰溪市苗圃柿种质资源圃73份柿种质成熟期果实、种子、髓心性状研究发现，第1主成分(PC1)主要与柿果、种子及髓心大为小指标相关，变异系数为10.05%~42.49%，第2主成分(PC2)与形状指标相关，变异系数为13.48%~26.07%，表明浙江省柿种质资源表型性状丰富。果形指数是反映果实形状的重要指标，本研究中果

形指数与种子长宽比相关系数为0.86，达到极显著水平，这一结果与早期报道的柿果形状与种子形状相似一致<sup>[6,8]</sup>。Maeda等认为，种子产生大量内源性物质(GA)供给果实发育可能是果实与种子形状相似的主要原因<sup>[6]</sup>。此外，果形指数与髓心高顶宽比及髓心高基宽比相关系数分别为0.90和0.88，种子长宽比与髓心高顶宽比及髓心高基宽比相关系数分别为0.83和0.75，表明果实、种子及髓心形状具有相似性。胎座为胚珠着生部位，也称植物胎盘，胎座能够运输养分给胚，促进种子发育<sup>[25]</sup>，若胎座发育不充分也难以形成种子<sup>[26]</sup>，表明胎座对种子的形成起着至关重要的作用。柿果胎座即髓心，通过供输内源性物质给种子，种子将内源性物质供给果实，可能是造成果实-种子-髓心果形相似性主要原因。形态学研究中，胚珠数影响着果实长度<sup>[2]</sup>，授粉后细胞的增殖和变大对果实大小和形状具有重要的影响作用<sup>[2,27]</sup>。本文中种子数量与果形指数相关性不显著，细胞的增殖和变大可能是影响柿果大小和形状的主要因素。

一方面，许多研究表明，气候条件影响果实形状。Mckenzie<sup>[14]</sup>比较新西兰各地的苹果果形指数发现，偏冷的地方果形偏长，而温暖潮湿的地方果形偏扁；Noe等<sup>[15]</sup>研究表明：遮荫相比自然光增加苹果的果形指数，蓝光或紫外线B对果形的增长有促进作用。本研究中，通过对柿果原产地地形划分发现，在同一环境条件下(浙江兰溪市苗圃)，来源于地势平坦地区如杭嘉湖平原及金衢盆地果形偏扁，而浙南山地等果形偏长。在同一环境因素下，可能是不同种质资源中控制果形的等位片段对环境的敏感度不同，从而表现出不同的果形。不同种质资源的基因型主要是在原产地长期进化的结果，说明柿果形的形成可能受到温度、紫外线B等环境因素的选择，高山地区紫外线含量较高，温度较低<sup>[28-29]</sup>，在长期进化过程中，该地区种质可能进化出果实长形的特征，平原地区则果实相对扁平。另一方面，如蟠桃由于其果实扁平、形状独特，运输方便等特点受到人们青睐<sup>[30]</sup>，所以，人为更偏向保存扁平果的柿资源。平原地区人口较多，而高山地区人口较少，从而表现出平原地区柿果形偏扁，而高山地区柿果形偏长地理分布特征，或许也从侧面印证人类对柿果扁平性状选择的倾向性。

然而，本研究中果形呈现的地理分布特点究竟是自然进化还是人为选择的结果，仍需进一步探索。更为重要的是，如何利用这些柿资源果形分布特点深度挖掘控制柿果形的基因及等位片段，将是柿果

形分子设计育种的重点。目前,已证明有很多基因调控果实大小和形状,*CaOvate* 在辣椒 (*Capsicum annuum* L.) 中已被证明调控果实形状,沉默该基因会使圆形辣椒果形变长<sup>[31]</sup>;通过分离群体分组分析法(BSA)对长果形和短果形苹果各 30 株幼苗建立基因池,SSR 和 AFLP 标记共发现 5 个与果形相关标记,表明苹果果形受 5 个主要基因控制<sup>[32]</sup>;Lopez - Girona 等通过对桃子扁平形状相关基因筛选,发现 UDP 98 - 412 基因上游 400 kb 处一个基因的缺失影响着果实扁平形状<sup>[33]</sup>。关于柿果形状形成的分子机理研究尚未开展,柿果的大小和形状是否也受这些基因调控,尚有待进一步研究。

## 4 结论

本试验通过对浙江省原产的 73 份柿种质资源果实、种子和髓心性状的研究表明,浙江省柿种质资源果实表型性状丰富,变异系数为 10.05% ~ 48.45%;性状间相关性分析及主成分分析表明,果实、种子和髓心的大小与形状具有一致性;主成分分析(PCA)得分图可将柿果分为大果长形、小果长形、小果扁形和大果扁形 4 种类型。柿果原产地调查研究发现,浙江省柿果形地理分布具有一定的特点,山区果实偏长形,浙西丘陵地区主要为大果长形,浙南山地以小果长形为主,地势平坦地区如杭嘉湖平原和金衢盆地果实较为扁平。

## 参考文献:

- [1] Kamal - Eldin A, Ghnimi S. Classification of date fruit (*Phoenix dactylifera*, L.) based on chemometric analysis with multivariate approach [J]. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2018, 12(2): 1020 - 1027.
- [2] Colle M, Weng Y, Kang Y, et al. Variation in cucumber (*Cucumis sativus* L.) fruit size and shape results from multiple components acting pre-anthesis and post-pollination [J]. *Planta*, 2017, 246(4): 641 - 658.
- [3] Al-Ohali Y. Computer vision based date fruit grading system: Design and implementation [J]. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, 2011, 23(1): 29 - 36.
- [4] 杨勇,阮小凤,王仁梓,等. 柿种质资源及育种研究进展 [J]. *西北林学院学报*, 2005, 20(2): 133 - 137.
- [5] 赵献民,龚榜初,吴开云,等. 浙江省农家柿品种数量分类研究 [J]. *林业科学研究*, 2012, 25(1): 77 - 87.
- [6] Maeda H, Akagi T, Tao R. Quantitative characterization of fruit shape and its differentiation pattern in diverse persimmon (*Diospyros kaki*) cultivars [J]. *Scientia Horticulturae*, 2018, 228(2): 41 - 48.
- [7] 国家林业局. LY/T 1870 - 2010 植物新品种特异性、一致性、稳定性测试指南 柿[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [8] Katayama-Ikegami A, Yonemori K, Sato A, et al. Relationship between astringency type and fruit shape in progenies of Chinese PCNA persimmon [J]. *Horticultural Research*, 2013, 12(1): 29 - 34.
- [9] 李加茹,孙鹏,韩卫娟,等. ‘禅寺丸’大小孢子发生与雌雄配子体发育 [J]. *中国农业大学学报*, 2016, 21(10): 44 - 50.
- [10] 钟云. 柿胚胎学及胚胎与果实发育关系的研究 [D]. 南昌: 江西农业大学, 2003: 21 - 28.
- [11] Lawrence V D, Alberto B M. Quantitative genetics of size, shape, life-history, and fruit characteristics of the seed heteromorphic composite *Heterosperma pinnatum* correlation structure [J]. *Evolution*, 1990, 44(7): 1748 - 1763.
- [12] 薛志霞,赵政阳,张雯,等. 渭北富士苹果偏斜果的影响因素 [J]. *干旱地区农业研究*, 2011, 29(4): 60 - 63.
- [13] Tromp J. Fruit shape in apple under various controlled environment conditions [J]. *Scientia Horticulturae*, 1990, 43(1-2): 109 - 115.
- [14] Mckenzie D W. A survey of shape variation in some New Zealand apples [J]. *New Zealand journal of agriculture research*, 1971, 14:491 - 498.
- [15] Noe N, Eccher T. ‘Golden Delicious’ apple fruit shape and russeting are affected by light conditions [J]. *Scientia Horticulturae*, 1996, 65(2-3): 209 - 213.
- [16] 高张莹,张海峰,陈国平,等. 核桃楸种群果核形态及地理变异 [J]. *应用于环境生物学报*, 2017, 23(4): 609 - 615.
- [17] 王小平,刘晶岚,王九龄,等. 白皮松种子及球果形态特征的地理变异 [J]. *北京林业大学学报*, 1998, 20(3): 25 - 31.
- [18] 梁敬明,张国斌,侯慧彝,等. 浙江省土地志 [M]. 北京: 方志出版社, 2001: 63 - 71.
- [19] 中华人民共和国农业部. NY/T 1309 - 2007 农作物种质资源鉴定技术规程 柿[S]. 北京: 中国农业出版社, 2007.
- [20] Hideaki A, Mikio S. Proposed descriptors for the evaluation of skin color, flesh firmness and juiciness, and sugar composition in Japanese persimmon breeding [J]. *Euphytica*, 2017, 213(2): 1 - 9.
- [21] 杨秀丽,宁东贤,武银玉,等. 花生种质资源主要数量性状的遗传多样性和相关性分析 [J]. *中国农学通报*, 2015, 31(9): 82 - 87.
- [22] Hampe A, Vogelforschung I, Helgoland V, et al. Large-scale geographical trends in fruit traits of vertebrate-dispersed temperate plants [J]. *Journal of Biogeography*, 2003, 30(4): 487 - 496.
- [23] Debussche M, Cortez J, Rimbault I. Variation in fleshy fruit composition in the Mediterranean region: the importance of ripening season, life-form, fruit type and geographical distribution [J]. *Nordic Society Oikos*, 1987, 49(3): 244 - 252.
- [24] Rocculi P, Romani S, Rosa M D. Evaluation of physico-chemical parameters of minimally processed apples packed in non-conventional modified atmosphere [J]. *Food Research International*, 2004, 37(4): 329 - 335.
- [25] 荆彦平. 小麦和玉米颖果的生长及胚乳细胞的发育 [D]. 扬州: 扬州大学, 2014: 2 - 3.
- [26] 连静静,钱鑫,王彩霞,等. 无距虾脊兰胚珠发育及种子形成研究 [J]. *西北植物学报*, 2013, 33(3): 494 - 500.
- [27] Chunhawodtiporn J, Hill T, Stoffel K, et al. Quantitative trait loci controlling fruit size and other horticultural traits in bell pepper (*Capsicum annuum*) [J]. *Plant Genome*, 2018, 11(1): 1 - 11.
- [28] 罗文文. 不同生境富士苹果叶片和果实品质差异及其与环境因子关系研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2014: 8 - 16.
- [29] Satyendra P T, Pradeep K, Deepika Y, et al. Comparative morphological, epidermal, and anatomical studies of *Pinus roxburghii* nec-



- dles at different altitudes in the North-West Indian Himalayas[J]. Turkish Journal of Botany, 2013, 37(1): 65–73.
- [30] 郭 健. 蟠桃果形基因发掘及生理机制探讨[D]. 北京: 中国农业科学院, 2016: 1–7.
- [31] Tsaballa A, Pasentsis K, Darzentas N, *et al.* Multiple evidence for the role of an Ovate-like gene in determining fruit shape in pepper [J]. BMC Plant Biology, 2011, 11(46): 1–16.
- [32] Sun H H, Zhao Y B, Li C M, *et al.* Identification of markers linked to major gene loci involved in determination of fruit shape index of apples (*Malus domestica*) [J]. Euphytica, 2012, 185(2): 185–193.
- [33] Lopez-Girona E, Zhang Y, Eduardo I, *et al.* A deletion affecting an LRR-RLK gene cosegregates with the fruit flat shape trait in peach[J]. Scientific Reports, 2017, 7(1): 1–11.

## Study on Fruit Shape Diversity of Persimmon Germplasm Resources in Zhejiang Province

SUN Wei-min, XU Yang, GONG Bang-chu, WU Kai-yun

(Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Hangzhou 311400, Zhejiang, China)

**Abstract:** [Objective] To study the phenotypic traits of persimmon germplasm resources in Zhejiang Province and the geographical distribution characteristics of persimmon fruit. [Method] By measuring 23 fruit traits of 73 persimmon germplasm resources in Zhejiang Province, the phenotypic traits and their relations were explored. The fruit shape was classified by principal component analysis (PCA) and PCA score, and the geographical characteristic distribution of fruit shape were analyzed. [Result] The phenotypic traits of persimmon fruit varied greatly, and the coefficient of variation was from 10.05% to 48.45%. The mean values of fruit mass, fruit volume, fruit longitudinal and transverse area, fruit longitudinal length, fruit transverse length and fruit shape index were 103.34 g, 108.44 cm<sup>3</sup>, 26.58 cm<sup>2</sup>, 26.54 cm<sup>2</sup>, 5.91 cm, 5.84 cm and 1.03, respectively. The mean values of seed mass, seed volume, seed length, seed width, seed thickness, seed shape index, seed quantity and the volume ratio of seed to fruit were 0.90 g, 0.97 cm<sup>3</sup>, 21.80 mm, 11.43 mm, 5.07 mm, 1.94, 4.30 and 4.24%, respectively. The mean values of pith mass, pith volume, pith height, pith top width, pith base width, ratio of height to top width of pith, ratio of height to base width of pith, and the volume ratio of pith to fruit were 2.11 g, 2.62 cm<sup>3</sup>, 28.65 mm, 6.32 mm, 12.16 mm, 4.80, 2.50 and 2.67%, respectively. Correlation analysis showed that the correlation coefficient of fruit, seed and pith size was between 0.36 and 0.78. The correlation coefficients of fruit shape index with seed shape index, ratio of height to top width of pith and ratio of height to base width were 0.86, 0.90 and 0.88, respectively, which indicated that the size of fruit parts had a positive correlation and the shape had similarity. 16 original phenotypic traits was analysed by PCA, and the first two principal components (75.64%) showed the size and shape indicators of persimmon phenotypic traits. The coincidence rate of the PCA score map and phenotypic traits was higher, which can well represent the size and shape index of the fruit phenotypic traits. Therefore, the phenotypic traits of fruit were divided into four categories: large fruit with long shape, small fruit with long shape, small fruit with flat shape and large fruit flat-shaped. The flat-shaped fruit accounted for 66.67% in Hangzhou-Jiaxing-Huzhou Plain, mainly the large fruit with flat shape (41.67%); the large fruit with long shape accounted for 41.67% in the western Zhejiang hilly area; the flat fruit shape accounted for 71.43% in the Jinhua-Quzhou Basin, and the southern Zhejiang Province was dominated by small fruit with long length (48%). [Conclusion] The fruit phenotypes of persimmon germplasm resources in Zhejiang Province are rich, and there are correlations between the size and shape of each part of persimmon fruit. The long-shaped fruits mainly distribute in mountain area, while the flat-shaped fruit in plain.

**Keywords:** *Diospyros kaki* Thunb.; germplasm resources; fruit shape