

基于叶片形态及显微特征评价 12 个猕猴桃栽培品种的抗旱性

胡光明^{1,2}, 肖涛¹, 彭家清¹, 李大卫², 田华², 王华玲¹, 肖丽丽¹, 程均欢¹, 黄海雷¹, 吴伟¹, 钟彩虹^{2*}

(¹十堰市经济作物研究所, 秦巴山区猕猴桃种质资源圃, 湖北 十堰 442000; ²中国科学院武汉植物园, 中国科学院猕猴桃产业技术工程实验室, 国家猕猴桃种质资源圃 湖北 武汉 430074)

摘要: 【目的】为探讨不同猕猴桃品种的叶片宏观形态和微观结构特征的差异, 筛选抗旱性评价关键指标并进行抗旱性综合评价。【方法】采用多功能图像分析法、石蜡切片法和扫描电镜技术, 选取 12 个猕猴桃栽培品种为材料, 对其叶片形态、气孔器和表皮毛微特征、解剖结构等 24 项指标进行观测、记录。通过方差分析明确不同品种的叶片形态和解剖结构的差异、以主成分分析筛选综合指标, 运用隶属函数法进行抗旱性综合评价。【结果】不同猕猴桃品种在叶片形态、解剖结构、气孔器及表皮毛特征上具有显著性差异, 相关性分析显示不同指标间具有显著或极显著的相关性, 运用主成分分析从 24 个抗旱相关指标中筛选了叶宽、叶形指数、气孔长轴、单簇茸毛数、上表皮细胞厚度、下表皮细胞厚度、栅海比、组织结构紧密度共 8 项关键性指标。通过隶属函数法比较不同品种间的抗旱能力, 抗旱性大小为: 徐香>金美>金霞>海沃德>金艳>金魁>金梅>东红>翠玉>金桃>桂海 4 号>Hort16A。聚类分析将 12 个猕猴桃品种按抗旱能力聚集为 5 类。【结论】通过对叶片形态及显微结构的分析, 评价并筛选到抗旱性相对较强的猕猴桃品种, 结果为猕猴桃品种改良、品种选择及生产管理等提供了基础理论依据。

关键词: 猕猴桃; 叶片形态; 解剖结构; 气孔; 表皮毛; 抗旱性

中图分类号: S663.4 文献标志码: A 文章编号: 1009-9980(2024)05-0001-08

Evaluation of drought resistance of 12 kiwifruit cultivars based on leaf morphology and anatomical structure

HU Guangming^{1,2}, XIAO Tao¹, PENG Jiaqing¹, LI Dawei², TIAN Hua², WANG Hualing¹, XIAO Lili¹, CHENG Junhuan¹, HUANG Hailei¹, WU Wei¹, ZHONG Caihong^{2*}

(¹Economic Crops Research Institute of Shiyan City, Kiwifruit Germplasm Conservation Nursery in Qinba Mountain Area, Shiyan, 442000; ²Wuhan Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Engineering Laboratory for Kiwifruit Industrial Technology, CAS, The National Actinidia Germplasm Nursery, Wuhan, Hubei 430074)

Abstract: 【Objective】The *Actinidia chinensis* is the most mature domesticated species of the

收稿日期: 2021-01-26 接受日期: 2024-03-03

基金项目: 国家现代农业产业技术体系项目(CARS-26); 湖北省支持种业高质量发展资金农业种质资源保护利用课题(HBZY2023A001-05); 湖北省第四批现代农业产业技术体系专项资金(2023HBSTX4-08); 农业农村部物种品种资源保护项目(2130135)

作者简介: 胡光明, 男, 助理农艺师, 硕士, 主要从事猕猴桃育种和栽培生理研究。Tel: 15027191724, E-mail: wangyi_guangming@163.com

*通信作者 Author for correspondence. Tel: 027-87510298, E-mail: zhongch@wbgcas.cn

genus *Actinidia*. More than 100 commercially valuable cultivars have been developed. However, few studies have evaluated the drought resistance of different kiwifruit cultivars based on the leaf morphology and microstructure. This research aims to evaluate the drought resistance of different kiwifruit cultivars by observing and analyzing characteristics such as leaf morphology, anatomical structure, stomata, epidermis, and trichomes. Key indicators for evaluating the drought resistance of kiwifruit cultivars and assessing their drought resistance will be identified. **【Methods】** We selected a total of 12 kiwifruit cultivars (belonging to *Actinidia chinensis* var. *chinensis* and *Actinidia chinensis* var. *deliciosa*), including ‘Donghong’, ‘Guihai No.4’, ‘Hort 16A’, ‘Jintao’, ‘Jinyan’, ‘Jīn méi’, ‘Jinxia’, ‘Cuiyu’, ‘Jīn měi’, ‘Jinkui’, ‘Hayward’, and ‘Xuxiang’, as our observation subjects. We employed the multifunctional image analysis method, paraffin sectioning method, and scanning electron microscopy technique to observe and record the leaf morphology, anatomical structure, stomata, and epidermal trichomes of the 12 kiwifruit cultivars. A total of 24 traits (designated as X1-X24) were documented. Subsequently, we conducted variance analysis to compare the significant differences among the 24 traits across different cultivars. Then, using principal component analysis, we identified the key traits related to drought resistance from the original set of indicators. Finally, we employed the membership function method to comprehensively evaluate the drought resistance of different kiwifruit cultivars. **【Results】** There are significant differences in leaf morphology, anatomical structure, stomatal apparatus, and the hair of the epidermis among different kiwifruit cultivars. Morphologically, the leaf shape is heart-shaped or oval shaped, leaf length (X1) ranged from 10.94 cm to 17.28 cm, leaf width (X2) ranged from 11.39 cm to 16.35 cm, leaf shape index (X3) ranged from 0.93 cm to 1.06 cm, petiole length (X4) ranged from 6.87 cm to 15.91 cm, petiole diameter (X5) and leaf area (X6) ranged from 3.51 mm to 4.58 mm and from 95.03 cm² to 208.36 cm². For stomatal apparatus, the length (X7) ranged from 18.77μm to 29.21 μm, the width (X8) ranged from 12.64 μm to 18.57 μm, the macroaxis (X9) ranged from 8.46 μm to 16.31 μm, and the density (X10) between 168.70 to 339.63 per square millimeter. In the villi of lower epidermis, all cultivars have fluff, the length (X11) ranged from 249.41 μm~324.10 μm, the pedestal density (X12) between 9.37 to 31.83 pedestals per square millimeter, the villus densit (X13) between 54.93 to 113.95 roots per square millimeter, and the number of villis per pedestal (X14) between 5.57 to 7.30. Anatomical structures, these cultivars have similar anatomical characteristics. The structure of the leaves from the lower epidermis to the upper epidermis is composed of lower epidermal cells, sponge tissue, palisade tissue, and upper epidermal cells. Calcium oxalate crystals are scattered in the mesophyll cells. The leaf veins mainly form protrusions on the lower epidermis, which are vascular bundles, thin-walled tissues, and mechanical tissues from the inside out. Lateral vein diameter (X15) ranged from 595.04 μm to 860.71 μm, leaf thickness (X16) ranged from 177.68 μm to 264.53 μm, thickness of upper epidermis cell (X17) ranged from 15.36 μm to 23.37 μm, the first layer of palisade tissue cell density (X18) between 75.33 to 113.00 per square millimeter, thickness of lower epidermis cell (X19) ranged from 10.03 μm to 20.35 μm, thickness of palisade tissue (X20) ranged from 75.16 μm to 123.60 μm, thickness of spongy tissue (X21) ranged from 49.81μm to

85.68 μm , the ratio of X20 to X21 (X22) ranged from 1.19 to 2.16, tightness of leaf tissue structure (X23) ranged from 0.41 to 0.52, Looseness of leaf tissue structure (X24) ranged from 0.24 to 0.36. The coefficient of variation (*CV*) of the 24 traits ranged from 8.04% to 35.80%, and the correlation analysis showed that there were significant or extremely significant correlations among the different traits. Principal component analysis showed that the cumulative contribution rate of the first 7 principal components reached 93.046%, effectively retaining most of the information of the 24 indicators. Eight key drought-resistance indicators were selected, they were X2(leaf width), X3(leaf shape index), X9(macroaxis), X14(number of villis per pedestal), X17(thickness of upper epidermis cell), X19(thickness of lower epidermis cell), X22(thickness of palisade tissue/thickness of spongy tissue), and X23(tightness of leaf tissue structure). Furthermore, the drought resistance of different cultivars was compared by subordinate function method, drought resistance is: 'Xuxiang' > 'Jīn měi' > 'Jinxia' > 'Hayward' > 'Jinyan' > 'Jinkui' > 'Jīn méi' > 'Donghong' > 'Cuiyu' > 'Jintao' > 'GuihaiNo.4' > Hort16A. 【Conclusion】 The differences of leaf morphology, stomata, epidermal hair and anatomical structure of different kiwifruit cultivars were revealed. Leaf width, leaf shape index, stomatal length axis, number of villis per pedestal, thickness of upper epidermis, thickness of lower epidermis cell, thickness of palisade tissue/thickness of spongy tissue, and tightness of leaf tissue structure were selected to evaluate drought resistance. The drought-resistant cultivars such as 'Xuxiang', 'Jinmei' and 'Jinxia' were screened by the method of subordinate function analysis, which provided reference for genetic breeding, variety selection and production management in the future.

Keywords: kiwifruit, leaf morphology, anatomical structure, stomata, epidermal hair, drought resistance

猕猴桃因其营养、健康、美味的特性和极高的商业价值成为享誉全球的特色水果^[1,2]。有超过 20 个国家种植猕猴桃, 收获面积与年产量都在持续增加, 中国猕猴桃种植面积已经超过 28 万 hm^2 , 收获面积超过 18 万 hm^2 , 均占据世界总面积 68% 以上^[3,4]。猕猴桃对于干旱胁迫敏感, 干旱胁迫在我国许多猕猴桃产区经常发生, 是影响猕猴桃产量的主要限制因素之一^[5]。因此, 开展猕猴桃抗旱性相关研究, 尤其是对不同猕猴桃品种的抗旱性进行评价与比较, 可以为建园前的品种合理筛选, 生产中的精确化管理以及新品种培育亲本选择提供可靠的理论依据。

植物抗旱性与其形态学、解剖学和生理变化密切相关^[6,7]。叶片是植物对生境条件变化反映最为敏感的器官, 其结构特征最能体现环境因素的影响和植物对环境的适应性^[8]。对适应干旱环境的植物, 其叶片会演化形成一系列抗旱耐旱的形态解剖结构特点, 比如叶片厚而小、栅栏组织发达、维管束直径粗、叶片紧密度高和发达的表皮毛等^[9]。研究叶片宏、微观结构与环境之间的关系, 已成为评价植物抗逆性的一种简单而有效的方法^[10,11]。如宋鹏等^[12]对 6 种卫矛属 (*Euonymus*) 植物进行叶片解剖结构与抗旱性评价, 发现不同种的抗旱性从强到弱依次为卫矛 > 西南卫矛 > 疏花卫矛 > 欧洲卫矛 > 大果卫矛 > 矩叶卫矛; 范志霞等^[13]研究了成都地区 10 种园林灌木叶片结构与抗旱性关系, 结果表明红花继木、鸭脚木、红叶

石楠和栀子属于强抗旱树种，可用于屋顶、边坡等区域种植；郭改改等^[14]综合解剖结构与生理生化特性分析了不同区域长柄扁桃抗旱性的强弱；另有许多植物中均开展过基于叶片解剖结构或表皮微特征与抗旱性关系的研究，如板栗^[15,16]、苹果^[17]、草莓^[18]、柑橘^[19]、李子^[20]、西瓜^[21]和文冠果^[22]等。但关于叶片表皮毛与抗旱性关系的研究极少，有研究表明，柠条锦鸡儿（*Caragana korshinskii*）叶片的毛状体是重要的表皮露水吸收结构，有助该物种抵御干旱胁迫^[23]。

商业栽培的猕猴桃品种大多数来源于中华猕猴桃（*Actinidia chinensis* var. *chinensis*）和美味猕猴桃（*Actinidia chinensis* var. *deliciosa*）^[2]，目前对于猕猴桃叶片解剖结构和表皮微观特征与抗旱性评价的研究报道尚少，仅有零星的研究聚焦于少数猕猴桃品种，例如刘平等^[24]对 5 个猕猴桃物种的皮孔、气孔器和叶片下表皮特征进行了比较，探讨了猕猴桃微观形态在分类学中的意义；刘文等^[25]研究了中华猕猴桃不同性别间叶片微观结构的差异；陈健男^[26]依据 18 个抗旱能力相关指标对 4 个猕猴桃品种进行了抗旱性评价等。本研究选取了 12 个猕猴桃品种，对它们的气孔器特征、叶表皮毛和解剖学特征进行了比较分析，运用主成分分析从 24 个抗旱相关指标中筛选了 13 个关键性指标，通过隶属函数法得出不同品种间的抗旱能力，为猕猴桃品种改良、品种选择及后期管理等提供了基础理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

供试品种分别为东红、桂海 4 号、Hort16A、金桃、金艳、金梅、金霞、翠玉、金美、金魁、海沃德和徐香，基本信息如表 1 所示。供试品种涵盖了中华猕猴桃和美味猕猴桃两大主栽类型，而且选取了新优品种和经典品种进行比较。所有材料均保存于国家猕猴桃种质资源圃（湖北武汉），管理水平趋于一致，长势相近。每个品种于不同方位的一年生枝条上取 5 片成熟叶，取叶位置均处于枝条基部向上数第 8~10 片叶，快速剪取 1 cm×0.5 cm 的叶片方块，放入事先备好的 70% FAA 固定液中用于石蜡切片的制作；同时剪取相同的叶片放入电镜固定液中用于观察叶片气孔器及表皮毛特征。另外每个品种选取 10 片成熟叶用于形态学比较。

表 1 12 个猕猴桃品种的基本信息

Table 1 Basic information of 12 kiwifruit cultivars			
品种 Cultivar	类别 Category	选育单位（人） Breeding institution (personal)	选育来源 Origin
东红 Donghong	中华猕猴桃 <i>A. chinensis</i> var. <i>chinensis</i>	中国科学院武汉植物园 Wuhan Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences	‘红阳’实生后代 ‘Hongyang’ seedlings
桂海 4 号 Guihai No.4	中华猕猴桃 <i>A. chinensis</i> var. <i>chinensis</i>	中国科学院广西植物研究所 Guangxi Institute of Botany, Guangxi Zhuang Autonomous Region and Chinese Academy of Sciences	广西龙胜野生株系 Wild resources in Longsheng, Guangxi
Hort16A	中华猕猴桃	新西兰园艺与食品研究所	种内杂交后代

	<i>A. chinensis</i> var. <i>chinensis</i>	The New Zealand Institute for Horticultural and Food Research Limited	Intraspecific hybrid offspring of <i>A. chinensis</i> var. <i>chinensis</i>
金桃	中华猕猴桃	中国科学院武汉植物园	江西武宁野生株系
Jintao	<i>A. chinensis</i> var. <i>chinensis</i>	Wuhan Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences	Wild resources in Wuning, Jiangxi
金艳	毛花猕猴桃×中华猕猴桃	中国科学院武汉植物园	毛花（♀）与中华（♂）杂交后代
Jinyan	<i>A. eriantha</i> × <i>A. chinensis</i> var. <i>chinensis</i>	Wuhan Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences	The hybrid offspring of <i>A. eriantha</i> (♀) and <i>A. chinensis</i> var. <i>chinensis</i> (♂)
金梅	中华猕猴桃	中国科学院武汉植物园	金艳与中华红肉雄杂交后代
Jīn méi	<i>A. chinensis</i> var. <i>chinensis</i>	Wuhan Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences	The hybrid offspring of 'Jinyan' (♀) and red meat <i>A. chinensis</i> var. <i>chinensis</i> (♂)
金霞	中华猕猴桃	中国科学院武汉植物园	江西武宁野生株系
Jinxia	<i>A. chinensis</i> var. <i>chinensis</i>	Wuhan Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences	Wild resources in Wuning, Jiangxi
翠玉	中华猕猴桃	湖南省农业科学院园艺研究所	湖南溆浦野生株系
Cuiyu	<i>A. chinensis</i> var. <i>chinensis</i>	Horticulture Research Institute of Hunan Academy of Agricultural Sciences	Wild resources in Xupu, Hunan
金美	美味猕猴桃	中国科学院武汉植物园	云南野生株系
Jīn měi	<i>A. chinensis</i> var. <i>deliciosa</i>	Wuhan Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences	Wild resources in Yunnan
金魁	美味猕猴桃	湖北省农业科学院果树茶叶研究所	湖北竹溪野生株系实生后代
Jinkui	<i>A. chinensis</i> var. <i>deliciosa</i>	Institute of Fruit and Tea, Hubei Academy of Agricultural Science	Wild resources in Zhuxi, Hubei
海沃德	美味猕猴桃	新西兰苗圃商海沃德·赖特	湖北宜昌野生资源实生后代
Hayward	<i>A. chinensis</i> var. <i>deliciosa</i>	Hayward Wright, a New Zealand nurseries merchant	Wild resources in Yichang, Hubei
徐香	美味猕猴桃	江苏省徐州果园	海沃德实生后代
Xuxiang	<i>A. chinensis</i> var. <i>deliciosa</i>	Xuzhou Orchards in Jiangsu Province	'Hayward' seedlings

1.2 石蜡切片制作与观察

参照范志霞等^[13]人的方法略作调整进行常规石蜡切片制作。先取面积为 1.0 cm×0.5 cm 的新鲜组织用 FAA 固定液固定 24 h 以上。再经不同浓度梯度的酒精脱水、二甲苯透明、浸蜡、包埋，然后修块和切片。采用手摇轮转式切片机切成 8 μm 的薄片，经脱蜡、番红-固绿染色、脱水透明后，用树胶封片。将制作完成的切片送往武汉赛维尔生物科技有限公司进行全视野数字切片扫描（Whole Slide Imaging），扫描结果通过 CaseViewer 2.4 软件查看并记量叶片侧脉直径、叶片厚度、上表皮厚度、下表皮厚度、栅栏组织厚度、海绵组织厚度和第一层栅栏细胞的密度等指标。以叶片的长度比宽度为叶形指数、栅栏组织厚度比叶片厚度的百分数为叶片组织紧密度、海绵组织厚度比叶片厚度的百分数为叶片组织疏松度。

1.3 扫描电镜观察

参照木巴热克·阿尤普等^[8]人的方法略作调整：切取 0.5 cm×0.5 cm 左右大小的新鲜叶片组织迅速投入电镜固定液室温固定 2h，再转移至 4℃ 保存；固定好的样品经 0.1M 磷酸缓冲液 PB（pH=7.4）漂洗 3 次，每次 15 min；然后将组织依次转入 30%、50%、70%、80%、

90%、95%和 100%7 个浓度梯度的乙醇中脱水，每次 15 min，再转入乙酸异戊酯中 15 min；将样品放入临界点干燥仪内进行干燥后放入离子溅射仪样品台上进行喷金 30 s 左右；最后以 SU8100 扫描电子显微镜观察并拍照，用 Image-J 图像处理软件分别对表皮毛数目、表皮毛长度、气孔密度和气孔器大小进行记量，并将密度相关指标换算成每 mm² 的数目。

1.4 数据处理与分析

所有指标（代号 X1-X24）数据经 Excel 2019 整理，利用 SPSS 26 软件和 OriginPro 2020 软件进行单因素方差和相关性分析，采用主成分分析法筛选典型指标并确定其权重，运用隶属函数法计算 12 个猕猴桃品种各典型指标的平均隶属值，以各品种的平均隶属值代表品种抗旱性度量值作为抗旱性综合评价标准，进行综合排名及聚类分析^[13,16]。

2 结果与分析

2.1 不同品种叶片形态特征比较

12 个品种的叶片形态特征如图 1 和表 2 所示，不同品种之间存在明显差异。叶片长度（X1）介于 10.94 cm~17.28 cm，叶片宽度（X2）介于 11.39 cm~16.35 cm，叶片面积（X6）介于 95.03 cm²~208.36 cm²，三项指标在不同品种中均为徐香最大，金美次之，翠玉最小，且徐香的叶片长度与叶面积显著高于其他品种；叶形指数（X3）介于 0.93~1.06，徐香最大，金魁次之，二者极显著大于其他品种，Hort16A 最小；叶柄长度（X4）介于 6.87 cm~15.91 cm，金梅极显著大于其他品种，桂海 4 号最小；叶柄直径（X5）介于 3.51 mm~4.58 mm，金梅最大，金美次之，金桃最小。在 12 个品种的形态学特征中，变异系数（CV）最大的是叶柄长度，其次是叶面积，最小的是叶形指数，分别为 31.89%、28.53%和 9.91%。

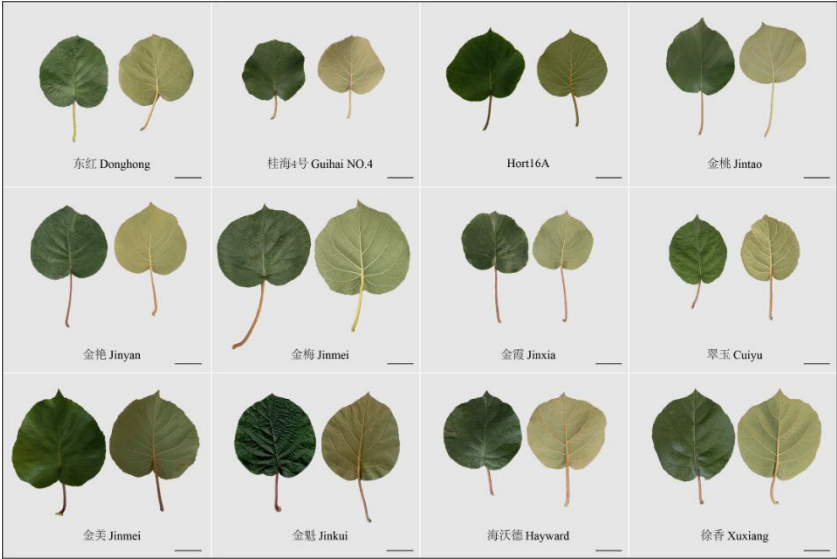


图 1 不同猕猴桃品种的叶片
比例尺大小为 5cm

Fig.1 leaves of different kiwifruit cultivars
With a scale of 5cm

表 2 不同猕猴桃品种叶片形态学比较

Table2 Comparison of leaf morphology of different kiwifruit cultivars

品种 Cultivar	叶长/cm Leaf length (X1)	叶宽/cm Leaf width (X2)	叶形指数 Shape index (X3)	叶柄长度/cm Petiole length (X4)	叶柄直径/mm Petiole diameter (X5)	叶面积/cm ² Leaf area (X6)
东红 Donghong	12.69 ± 0.18 gE	12.21 ± 0.15 eF	1.04 ± 0.01 abAB	9.07 ± 0.27 dCD	3.75 ± 0.06 bcBCD	119.81 ± 2.73 eE
桂海 4 号 Guihai No.4	11.31 ± 0.15 hF	11.72 ± 0.22 eF	0.97 ± 0.02 cdefCD	6.87 ± 0.32 gE	3.70 ± 0.05 cdBCD	103.46 ± 3.76 fEF
Hort16A	13.96 ± 0.29 efD	15.04 ± 0.27 bCD	0.93 ± 0.02 fD	9.83 ± 0.54 cdC	3.84 ± 0.04 bcBC	171.23 ± 6.85 cC
金桃 Jintao	12.75 ± 0.19 gE	13.11 ± 0.21 dE	0.98 ± 0.02 cdefBC	9.53 ± 0.29 cdC	3.51 ± 0.07 dD	119.17 ± 2.91 eE
金艳 Jinyan	14.53 ± 0.22 deCD	14.37 ± 0.26 cD	1.02 ± 0.02 abcABC	11.29 ± 0.39 bB	3.96 ± 0.07 bB	150.76 ± 5.46 dD
金梅 Jin mei	15.27 ± 0.24 cC	15.41 ± 0.21 bBC	0.99 ± 0.02 bcdeABCD	15.91 ± 0.41 aA	4.58 ± 0.09 aA	168.14 ± 4.45 cC
金霞 Jinxia	12.29 ± 0.21 gE	13.06 ± 0.2 dE	0.94 ± 0.02 efD	10.23 ± 0.35 cBC	3.64 ± 0.06 cdCD	117.44 ± 2.91 eE
翠玉 Cuiyu	10.94 ± 0.2 hF	11.39 ± 0.11 fF	0.96 ± 0.02 defCD	7.76 ± 0.20 fgDE	3.64 ± 0.05 cdCD	95.03 ± 2.22 fF
金美 Jin mei	16.27 ± 0.19 bB	16.02 ± 0.24 aAB	1.02 ± 0.01 abcABC	7.85 ± 0.42 fgDE	4.57 ± 0.11 aA	191.90 ± 4.48 bB
金魁 Jinkui	13.80 ± 0.18 fD	13.05 ± 0.10 dE	1.06 ± 0.02 aA	8.01 ± 0.37 efDE	3.94 ± 0.04 bB	138.94 ± 2.44 dD
海沃德 Hayward	14.90 ± 0.27 cdC	14.93 ± 0.23 bcCD	1.00 ± 0.01 bcdABCD	7.89 ± 0.29 fgDE	4.39 ± 0.10 aA	173.47 ± 5.31 cC
徐香 Xuxiang	17.28 ± 0.33 aA	16.35 ± 0.28 aA	1.06 ± 0.02 aA	8.96 ± 0.37 deCD	4.47 ± 0.08 aA	208.36 ± 4.9 aA
平均 Mean	13.83 ± 0.12	13.89 ± 0.1	1.00 ± 0.01	9.43 ± 0.16	4.00 ± 0.03	146.48 ± 2.20
变异系数/% CV	16.04	14.31	9.91	31.89	13.62	28.53

注：大小写字母分别表示在 0.01 和 0.05 水平上差异显著。下同

Note: Capital and small letters represent significant differences at 0.01 and 0.05 levels, respectively. The same below.

2.2 不同品种叶片气孔器与表皮毛特征比较

不同品种叶片气孔器与表皮毛均分布于叶片下表皮，特征如表 3、图 2 和图 3 所示，12 个品种的气孔器与表皮毛特征存在显著或极显著的差异。不同品种气孔器长度（X7）的平均值为 23.35 μm ，海沃德为 29.21 μm ，极显著高于其他品种，桂海 4 号为 18.77 μm ，显著低于其他品种；气孔器宽度（X8）的平均值为 16.29 μm ，金霞、徐香、海沃德和金桃分别为 18.57 μm 、18.16 μm 、18.09 μm 和 17.35 μm ，显著高于其他品种，桂海 4 号为 12.64 μm ，极显著低于其他品种；气孔长轴（X9）的平均值为 12.20 μm ，海沃德为 16.31 μm ，显著高于其他品种，桂海 4 号和金梅的气孔长轴分别为 8.46 μm 和 9.34 μm ，显著低于其他品种；气孔密度（X10）的平均值为 238.04 个 $\cdot \text{mm}^{-2}$ ，东红和 Hort16A 分别为 339.63 个 $\cdot \text{mm}^{-2}$ 和 346.50 个 $\cdot \text{mm}^{-2}$ ，极显著高于其他品种，金霞、海沃德和金艳的气孔密度分别为 168.70 个 $\cdot \text{mm}^{-2}$ 、171.43 个 $\cdot \text{mm}^{-2}$ 和 185.97 个 $\cdot \text{mm}^{-2}$ ，极显著低于其他品种。

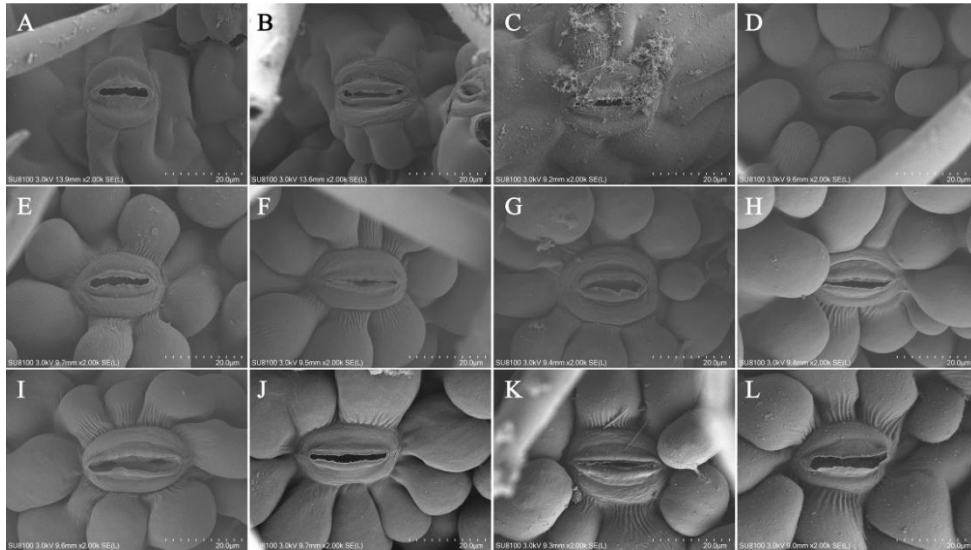


图 2 不同猕猴桃品种的气孔器

A、东红；B、桂海 4 号；C、Hort16A；D、金桃；E、金艳；F、金梅；G、金霞；H、翠玉；I、金美；J、金魁；K、海沃德；L、徐香。

Fig. 2 Stomatal apparatus of different kiwifruit cultivars.

A. Donghong; B. GuihaiNO. 4; C. Hort16A; D. Jintao; E. Jinyan; F. Jin mei; G. Jinxia; H. Cuiyu; I. Jin mei; J. Jinkui; K. Hayward; L. Xuxiang

12 个品种下表皮部分细胞均发育成乳状突起，其上簇生多条单细胞非腺毛，表皮毛的长度及密度均存在显著差异。茸毛长度（X11）的平均值为 324.10 μm ，金霞和海沃德分别为 414.02 μm 和 399.79 μm ，显著高于其他品种，翠玉和金桃分别为 249.41 μm 和 256.36 μm ，极显著低于其他品种；茸毛簇密度（X12）的平均值为 18.33 簇 $\cdot \text{mm}^{-2}$ ，桂海 4 号为 31.83 簇 $\cdot \text{mm}^{-2}$ ，极显著高于其他品种，金魁和徐香分别为 9.37 簇 $\cdot \text{mm}^{-2}$ 和 9.53 簇 $\cdot \text{mm}^{-2}$ ，极显著低于其他品种；茸毛根密度(X13)的平均值为 113.95 根 $\cdot \text{mm}^{-2}$ ，桂海 4 号为 216.10 根 $\cdot \text{mm}^{-2}$ ，极显著高于其他品种，金魁为 54.93 根 $\cdot \text{mm}^{-2}$ ，极显著低于其他品种；单簇茸毛数（X14）的平均值为 6.47 根每簇，各品种间的差异性较小。

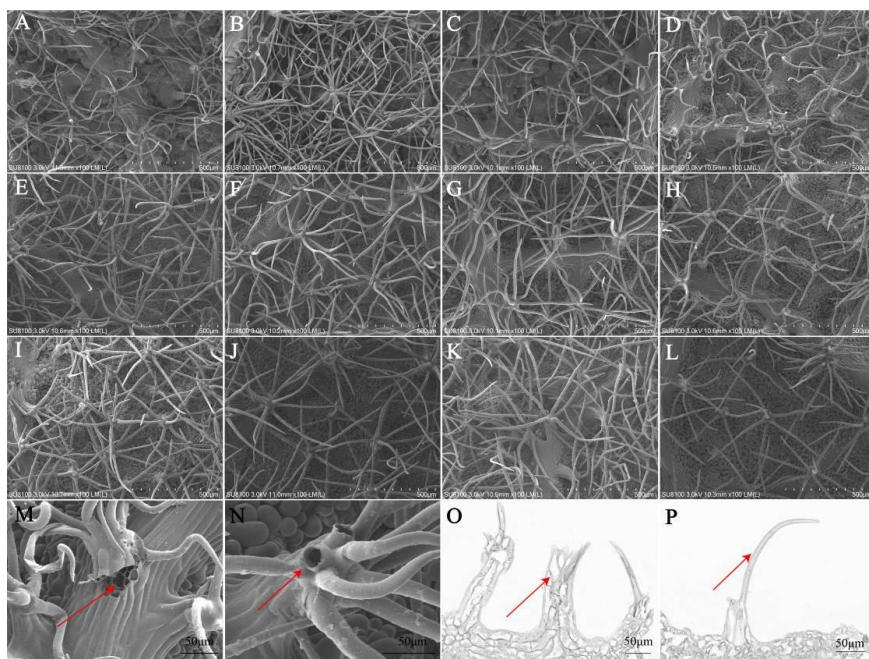


图 3 不同猕猴桃品种的叶片下表皮茸毛

A、东红；B、桂海 4 号；C、Hort16A；D、金桃；E、金艳；F、金梅；G、金霞；H、翠玉；I、金美；J、金魁；K、海沃德；L、徐香。M-P，茸毛解剖结构。

Fig. 3. Leaf lower epidermal villi of different kiwifruit cultivars

A. Donghong; B. GuihaiNO. 4; C. Hort16A; D. Jintao; E. Jinyan; F. Jīn méi; G. Jinxia; H. Cuiyu; I. Jīn měi; J. Jinkui; K. Hayward; L. Xuxiang; M-P, villus anatomical structure.

表 3 不同猕猴桃品种叶片气孔器与表皮毛比较

Table 3 Comparison of stomatal apparatus and epidermis of different kiwifruit cultivars

品种 Cultivar	气孔器 Stomatal apparatus				下表皮毛 Villi of lower epidermis			
	长/ μm Length (X7)	宽/ μm Width (X8)	气孔长轴/ μm Macroaxis (X9)	气孔密度/(个 $\cdot\text{mm}^{-2}$) Stoma density (X10)	长度/ μm Length (X11)	密度/(簇 $\cdot\text{mm}^{-2}$) Pedestal density (X12)	密度(根 $\cdot\text{mm}^{-2}$) Villus density (X13)	单簇茸毛数/根 Number of Villis per Pedestal (X14)
东红 Donghong	22.74 $\pm$ 0.33 deCDE	15.86 $\pm$ 0.37 cdBCD	14.33 $\pm$ 0.33 bB	339.63 $\pm$ 7.71 aA	303.99 $\pm$ 9.21 deCD	16.50 $\pm$ 0.64 fgFG	124.63 $\pm$ 1.88 eC	7.77 $\pm$ 0.44 aA
桂海 4 号 Guihai No.4	18.77 $\pm$ 0.39 gG	12.64 $\pm$ 0.43 fF	8.46 $\pm$ 0.32 hH	247.93 $\pm$ 8.06 cC	326.69 $\pm$ 8.11 cdCD	31.83 $\pm$ 0.46 aA	216.10 $\pm$ 3.26 aA	6.33 $\pm$ 0.44 bcdAB
Hort16A	21.74 $\pm$ 0.53 efEF	15.03 $\pm$ 0.34 deD	10.54 $\pm$ 0.43 fgFG	346.50 $\pm$ 3.51 aA	292.35 $\pm$ 7.52 eD	19.07 $\pm$ 0.27 dD	108.70 $\pm$ 1.46 fE	5.80 $\pm$ 0.42 cdB
金桃 Jintao	23.49 $\pm$ 0.49 cdBCDE	17.35 $\pm$ 0.51 abAB	11.95 $\pm$ 0.41 deDEF	276.97 $\pm$ 6.14 bB	256.36 $\pm$ 8.77 fE	22.43 $\pm$ 0.32 bB	111.53 $\pm$ 0.93 efDE	5.57 $\pm$ 0.37 dB
金艳 Jinyan	21.54 $\pm$ 0.35 efEF	15.65 $\pm$ 0.41 dCD	10.21 $\pm$ 0.28 fgFG	185.97 $\pm$ 4.44 fF	323.57 $\pm$ 10.85 cdCD	22.80 $\pm$ 0.32 bB	139.47 $\pm$ 1.83 bB	6.60 $\pm$ 0.41 abcdAB
金梅 Jīn méi	20.60 $\pm$ 0.62 fFG	14.41 $\pm$ 0.43 eD	9.34 $\pm$ 0.44 ghGH	225.23 $\pm$ 4.23 dDE	332.58 $\pm$ 8.98 cdCD	18.23 $\pm$ 0.38 deDE	115.67 $\pm$ 0.87 deD	6.77 $\pm$ 0.39 abcdAB
金霞 Jinxia	25.49 $\pm$ 0.46 bB	18.57 $\pm$ 0.39 aA	13.46 $\pm$ 0.36 bcBCD	168.70 $\pm$ 3.97 gF	414.02 $\pm$ 9.46 aA	15.90 $\pm$ 0.34 gG	95.93 $\pm$ 1.51 hG	6.27 $\pm$ 0.32 bcdAB
翠玉 Cuiyu	23.81 $\pm$ 0.53 cdBCD	15.80 $\pm$ 0.46 cdBCD	12.47 $\pm$ 0.50 cdCDE	207.27 $\pm$ 5.90 eE	249.41 $\pm$ 5.46 fE	15.97 $\pm$ 0.19 gG	102.67 $\pm$ 0.66 gF	6.43 $\pm$ 0.40 bcdAB
金美 Jīn měi	24.76 $\pm$ 0.43 bcBC	16.93 $\pm$ 0.44 bcABC	14.71 $\pm$ 0.62 bAB	244.57 $\pm$ 6.12 cCD	300.50 $\pm$ 6.66 deCD	21.00 $\pm$ 0.33 cC	116.40 $\pm$ 1.34 dD	5.77 $\pm$ 0.40 cdB
金魁 Jinkui	22.61 $\pm$ 0.8 deDEF	17.10 $\pm$ 0.48 bABC	10.77 $\pm$ 0.54 efEFG	216.37 $\pm$ 5.02 deE	371.24 $\pm$ 10.12 bB	9.37 $\pm$ 0.24 hH	54.93 $\pm$ 1.12 jI	5.97 $\pm$ 0.39 bcdB
海沃德 Hayward	29.21 $\pm$ 0.51 aA	18.09 $\pm$ 0.37 abA	16.31 $\pm$ 0.63 aA	171.43 $\pm$ 3.86 fgF	399.79 $\pm$ 11.08 aAB	17.33 $\pm$ 0.28 efEF	115.20 $\pm$ 1.13 edD	7.30 $\pm$ 0.51 abAB
徐香 Xuxiang	25.49 $\pm$ 0.57 bB	18.12 $\pm$ 0.34 abA	13.87 $\pm$ 0.44 bBC	225.93 $\pm$ 6.10 dDE	318.71 $\pm$ 6.72 cdeCD	9.53 $\pm$ 0.24 hH	66.20 $\pm$ 1.00 iH	7.07 $\pm$ 0.42 abcAB
平均 Mean	23.35 $\pm$ 0.2	16.29 $\pm$ 0.15	12.20 $\pm$ 0.18	238.04 $\pm$ 3.35	324.10 $\pm$ 3.57	18.33 $\pm$ 0.32	113.95 $\pm$ 2.06	6.47 $\pm$ 0.12
变异系数/% CV	16.33	17.15	27.58	26.71	20.89	33.22	34.33	35.8

2.3 不同品种叶片内部解剖结构比较

不同猕猴桃叶片解剖结构如图 4 所示，它们具有相似的解剖特征，叶片从下表皮到上表皮的结构依次为下表皮细胞、海绵组织、栅栏组织和上表皮细胞，叶肉细胞中零散分布有草酸钙结晶；叶脉主要在下表皮形成突起，由内到外依次是维管束、薄壁组织和机械组织。对 12 个品种叶片解剖相关的 10 个特征进行统计分析，发现不同品种间存在显著的差异。从表 4 可以看出，侧脉直径 (X15) 的平均值为 $761.19\ \mu\text{m}$ ，较大的依次为金梅 ($860.71\ \mu\text{m}$)、海沃德 ($846.08\ \mu\text{m}$)、金魁 ($837.69\ \mu\text{m}$) 和金美 ($814.55\ \mu\text{m}$)，均极显著大于其他品种，金桃 ($595.04\ \mu\text{m}$) 极显著小于其他品种；叶片厚度 (X16) 的平均值为 $221.92\ \mu\text{m}$ ，其中金美 ($264.53\ \mu\text{m}$) 极显著厚于其他品种，Hort16A ($177.68\ \mu\text{m}$) 和金桃 ($182.03\ \mu\text{m}$) 极显著薄于其他品种；上表皮细胞厚度 (X17) 的平均值为 $19.01\ \mu\text{m}$ ，其中徐香 ($23.37\ \mu\text{m}$) 极显著厚于其他品种，桂海 4 号 ($15.36\ \mu\text{m}$)、东红 ($16.62\ \mu\text{m}$) 和金艳 ($16.93\ \mu\text{m}$) 均极显著薄于其他品种；第一层栅栏细胞密度 (X18) 的平均值为 $86.25\ \text{个} \cdot \text{mm}^{-2}$ ，其中桂海 4 号 ($113.00\ \text{个} \cdot \text{mm}^{-2}$) 极显著高于其他品种，最低的为徐香 ($75.33\ \text{个} \cdot \text{mm}^{-2}$)，极显著低于部分品种；下表皮细胞厚度 (X19) 的平均值为 $14.40\ \mu\text{m}$ ，其中徐香 ($20.35\ \mu\text{m}$) 极显著厚于其他品种，桂海 4 号 ($10.03\ \mu\text{m}$) 和 Hort16A ($10.66\ \mu\text{m}$) 显著薄于其他品种；栅栏组织厚度 (X20) 的平均值为 $98.80\ \mu\text{m}$ ，其中金霞 ($123.60\ \mu\text{m}$) 和金美 ($121.87\ \mu\text{m}$) 极显著厚于其他品种，Hort16A ($75.16\ \mu\text{m}$) 极显著薄于其他品种；海绵组织厚度 (X21) 的平均值为 $63.95\ \mu\text{m}$ ，其中东红 ($85.68\ \mu\text{m}$) 极显著厚于其他品种，桂海 4 号 ($49.81\ \mu\text{m}$) 极显著薄于其他品种；栅海比 (X22) 的平均值为 1.58，其中金霞 (2.16) 极显著高于其他品种，Hort16A (1.19) 和东红 (1.20) 极显著低于其他品种；组织结构紧密度 (X23) 的平均值为 0.45，其中金霞 (0.52) 极显著高于其他品种，东红 (0.41) 和海沃德 (0.41) 显著低于部分品种；组织结构疏松度 (X24) 的平均值为 0.29，其中 Hort16A (0.36) 极显著高于其他品种，金霞 (0.24) 和徐香 (0.24) 显著低于部分品种。

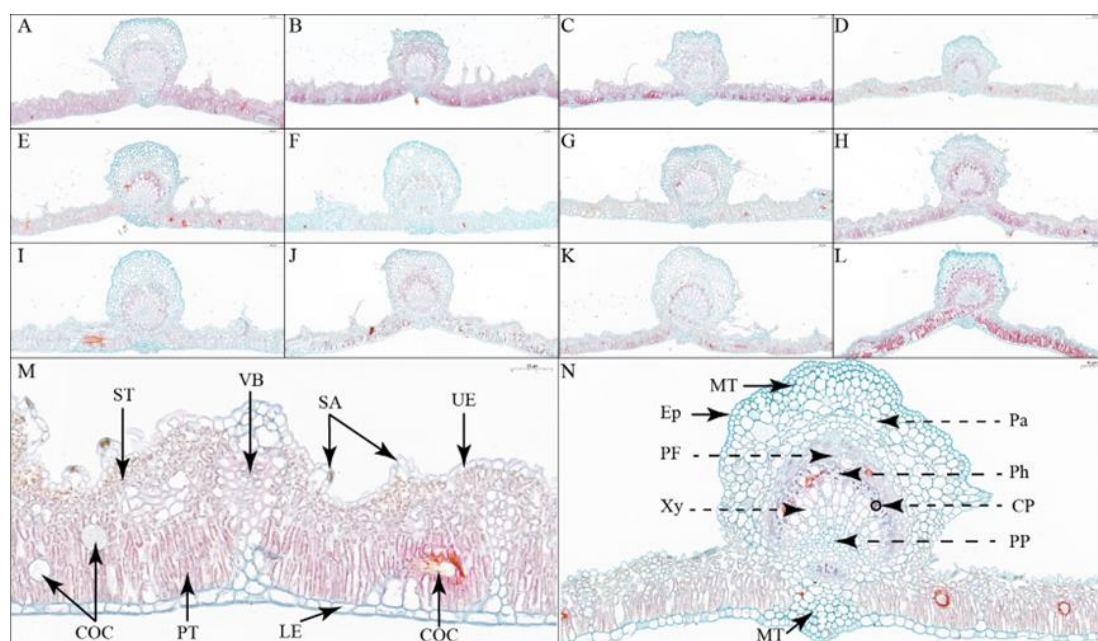


图 4 不同猕猴桃品种叶片解剖图

A、东红；B、桂海 4 号；C、Hort16A；D、金桃；E、金艳；F、金梅；G、金霞；H、翠玉；I、金美；J、金魁；K、海沃德；L、徐香。M-N、叶片解剖结构，VB、维管束，UE、上表皮，LE、下表皮，PT、栅栏组织，ST、海绵组织，SA、气孔器，COC、草酸钙结晶，Ep、表皮，MT、机械组织，Pa、薄壁组织，PF、韧皮纤维，Ph、韧皮部，Xy、木质部，PP、髓部，CP、异细胞中的化合物沉淀。

Fig. 4 Leaf anatomy of different kiwifruit cultivars

A、Donghong；B、Guihai No.4；C、Hort16A；D、Jintao；E、Jinyan；F、Jīn méi；G、Jinxia；H、Cuiyu；I、Jīn měi；J、Jinkui；K、Hayward；L、Xuxiang。VB、vascular bundle，UE、upper epidermis，LE、lower epidermis，PT、palisade tissue，ST、spongy tissue，SA、Stomatal apparatus，COC、calcium oxalate crystal，Ep、epidermis，MT、mechanical tissue，Pa、parenchyma，PF、phloem fiber，Ph、phloem，Xy、xylem，PP、pith part，CP、Compound precipitation

表 4 不同猕猴桃品种叶片解剖结构比较

Table 4 Comparison of leaf anatomical structure of different kiwifruit cultivars

品种 Cultivar	侧脉直径/ μm Lateral vein diameter (X15)	叶片厚度/ μm Leaf thickness (X16)	上表皮细胞厚度/ μm Thickness of upper epidermis cell (X17)	第一层栅栏细胞密度/ (个 $\cdot\text{mm}^{-2}$) The first layer of palisade tissue cell density (X18)	下表皮细胞厚度/ μm Thickness of lower epidermis cell (X19)	栅栏组织厚度/ μm Thickness of palisade tissue (X20)	海绵组织厚度/ μm Thickness of spongy tissue(X21)	栅海比 Thickness of palisade tissue/thickness of spongy tissue (X22)	组织结构紧密度 Tightness of leaf tissue structure (X23)	组织结构疏松度 Looseness of leaf tissue structure(X24)
东红 Donghong	738.76 $\pm$ 18.81 eCD	250.54 $\pm$ 2.54 bB	16.62 $\pm$ 0.64 dDE	90.00 $\pm$ 1.66 bcBC	12.21 $\pm$ 0.63 eDE	102.70 $\pm$ 0.52 cC	85.68 $\pm$ 0.6 aA	1.20 $\pm$ 0.01 fE	0.41 $\pm$ 0.003 fEF	0.34 $\pm$ 0.004 bB
桂海 4 号 Guihai No.4	673.73 $\pm$ 7.37 fE	195.46 $\pm$ 1.3 fF	15.36 $\pm$ 0.32 dE	113.00 $\pm$ 1.80 aA	10.03 $\pm$ 0.38 fF	92.16 $\pm$ 0.60 gEF	49.81 $\pm$ 0.49 hF	1.85 $\pm$ 0.01 bB	0.47 $\pm$ 0.004 bB	0.25 $\pm$ 0.003 efEF
Hort16A	786.72 $\pm$ 19.25 cdBC	177.68 $\pm$ 2.36 gG	19.01 $\pm$ 0.40 bcBC	87.00 $\pm$ 1.60 cC	10.66 $\pm$ 0.39 fEF	75.16 $\pm$ 0.47 jH	63.29 $\pm$ 0.80 eD	1.19 $\pm$ 0.02 fE	0.42 $\pm$ 0.005 efEF	0.36 $\pm$ 0.003 aA
金桃 Jintao	595.04 $\pm$ 20.33 gF	182.03 $\pm$ 2.29 gG	20.15 $\pm$ 0.60 bcB	87.00 $\pm$ 1.19 cC	13.02 $\pm$ 0.49 deCD	81.16 $\pm$ 1.58 iG	56.50 $\pm$ 0.88 fgE	1.44 $\pm$ 0.01 deD	0.44 $\pm$ 0.003 dD	0.31 $\pm$ 0.003 cC
金艳 Jinyan	751.43 $\pm$ 9.73 deCD	193.93 $\pm$ 2.07 fF	16.93 $\pm$ 0.36 dCDE	94.00 $\pm$ 1.49 bB	14.72 $\pm$ 0.36 bcBC	87.91 $\pm$ 1.30 hF	54.07 $\pm$ 0.86 gE	1.63 $\pm$ 0.01 cC	0.45 $\pm$ 0.002 cdCD	0.28 $\pm$ 0.002 dD
金梅 Jīn méi	860.71 $\pm$ 6.11 aA	236.38 $\pm$ 2.68 cC	19.37 $\pm$ 0.51 bcB	89.00 $\pm$ 1.39 cBC	14.76 $\pm$ 0.53 bcBC	98.99 $\pm$ 1.09 deCD	64.15 $\pm$ 1.57 deD	1.56 $\pm$ 0.03 cC	0.42 $\pm$ 0.002 efEF	0.27 $\pm$ 0.005 dD
金霞 Jinxia	749.68 $\pm$ 7.51 deCD	237.19 $\pm$ 1.43 cC	18.91 $\pm$ 0.54 bcBC	78.33 $\pm$ 1.52 deD	15.06 $\pm$ 0.57 bcBC	123.60 $\pm$ 1.48 aA	57.83 $\pm$ 1.10 fE	2.16 $\pm$ 0.04 aA	0.52 $\pm$ 0.004 aA	0.24 $\pm$ 0.004 fgEF
翠玉 Cuiyu	722.79 $\pm$ 11.15 eD	215.91 $\pm$ 1.77 eE	20.47 $\pm$ 0.36 bB	81.00 $\pm$ 1.21 dD	14.10 $\pm$ 0.64 cdBCD	97.10 $\pm$ 1.18 efD	66.86 $\pm$ 0.52 dCD	1.45 $\pm$ 0.02 dD	0.45 $\pm$ 0.003 cdCD	0.31 $\pm$ 0.003 cC
金美 Jīn měi	814.55 $\pm$ 12.37 bcAB	264.53 $\pm$ 1.23 aA	18.66 $\pm$ 0.45 cBCD	76.67 $\pm$ 1.38 deD	16.10 $\pm$ 0.64 bB	121.87 $\pm$ 1.27 aA	66.95 $\pm$ 1.23 dCD	1.85 $\pm$ 0.05 bB	0.46 $\pm$ 0.006 cBC	0.25 $\pm$ 0.004 efEF
金魁 Jinkui	837.69 $\pm$ 13.32 abA	253.61 $\pm$ 2.68 bB	19.93 $\pm$ 0.53 bcB	76.33 $\pm$ 1.55 eD	16.19 $\pm$ 0.61 bB	108.14 $\pm$ 1.10 bB	77.37 $\pm$ 1.69 bB	1.41 $\pm$ 0.02 deD	0.43 $\pm$ 0.002 eE	0.30 $\pm$ 0.004 cC
海沃德 Hayward	846.08 $\pm$ 14.06 abA	229.32 $\pm$ 4.34 dCD	19.31 $\pm$ 0.82 bcB	87.33 $\pm$ 1.59 cC	15.57 $\pm$ 0.58 bcB	94.68 $\pm$ 1.91 fgDE	70.40 $\pm$ 1.86 cC	1.36 $\pm$ 0.03 eD	0.41 $\pm$ 0.005 fEF	0.31 $\pm$ 0.004 cC
徐香 Xuxiang	757.08 $\pm$ 7.72 deCD	226.52 $\pm$ 0.99 dD	23.37 $\pm$ 0.73 aA	75.33 $\pm$ 1.42 eD	20.35 $\pm$ 0.55 aA	102.10 $\pm$ 0.53 cdC	54.48 $\pm$ 0.55 gE	1.88 $\pm$ 0.03 bB	0.45 $\pm$ 0.002 cdCD	0.24 $\pm$ 0.003 fgEF
平均 Mean	761.19 $\pm$ 5.38	221.92 $\pm$ 1.6	19.01 $\pm$ 0.19	86.25 $\pm$ 0.68	14.40 $\pm$ 0.21	98.80 $\pm$ 0.81	63.95 $\pm$ 0.61	1.58 $\pm$ 0.02	0.45 $\pm$ 0.002	0.29 $\pm$ 0.002
变异系数/% CV	13.41	13.71	18.58	14.89	27.29	15.47	18.2	20.16	8.04	14.33

2.4 指标相关性与主成分分析

上述统计分析结果显示, 24 项指标的变异系数 (CV) 介于 8.04%~35.80%, 说明不同猕猴桃品种叶片在叶片形态、气孔器和表皮毛特征、叶片内部解剖结构等方面的特征指标存在较大差异, 可进一步用于抗旱性分析; 皮尔逊相关系数 (Pearson correlation coefficient) 表明, 不同指标间大部分表现出显著或极显著的相关性 (图 5)。鉴于各指标间密切相关且分别对抗旱性有一定的影响, 全部用于抗旱性评价则不利于揭示类型特征, 也容易产生认知上的偏差 (范志霞 等, 2019)。为了筛选出可以代表品种抗旱性的关键性指标, 借助主成分分析法对 24 项指标进一步筛选, 依据提取特征值 ≥ 1 的原则抽取主成分, 据各主成分中每个指标载荷量的大小并结合相关性分析筛选出贡献较大的关键性指标。

主成分分析结果 (表 5) 显示, 前 7 个主成分的累计贡献率达到 93.046%, 较好保留了 24 项指标的大部分信息, 因此提取前 7 个主成分。各主成分因子载荷值有极大差异, 绝对载荷值越高的指标说明其对主成分的贡献越大, 其典型性越强。第一主成分的方差贡献率为 35.720%, 其中下表皮细胞厚度 (X19)、第一层栅栏细胞密度 (X18)、茸毛根密度 (X13) 和簇密度 (X12) 的载荷值较大, 主要反映了叶片组织结构特征及表皮毛密度特征; 第二主成分的方差贡献率为 17.333%, 其中栅海比 (X22)、组织结构紧密度 (X23) 和组织结构疏松度 (X24) 载荷较大, 主要反映了叶片组织结构特征; 第三主成分的方差贡献率为 13.607%, 其中叶宽 (X2)、叶柄直径 (X5) 和叶面积 (X6) 的载荷值较大, 主要反映了叶片的形态特征; 第四主成分的方差贡献率为 10.369%, 其中上表皮细胞厚度 (X17) 和叶片厚度 (X16) 的载荷值较大, 反映了叶片的组织结构特征; 第五主成分的方差贡献率为 6.294%, 其中气孔器长 (X7) 和气孔长轴 (X9) 的载荷值较大, 主要反映了气孔器长度特征; 第六主成分的方差贡献率为 5.293%, 其中叶形指数 (X3) 和茸毛长度 (X11) 的载荷值较大, 主要反映了叶片形态和表皮毛长度特征; 第七主成分的方差贡献率为 4.431%, 其中单簇茸毛数 (X14) 载荷值最大, 主要与表皮毛密度相关。

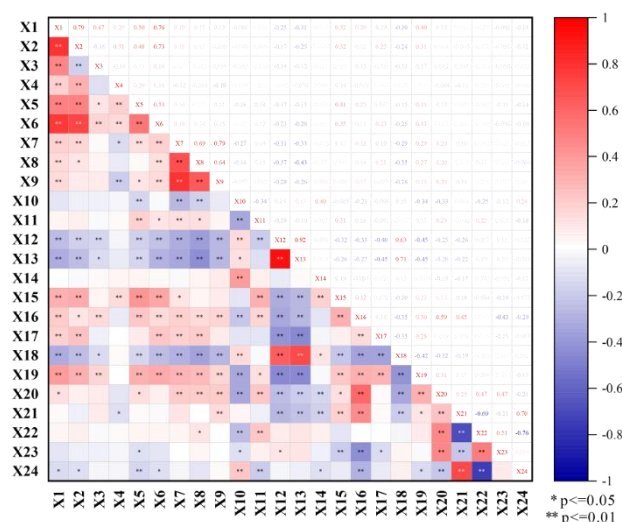


图 5 指标相关性分析

Fig. 5 Correlation analysis of indexes

表 5 主成分载荷矩阵表

Table 5 Principal components matrix

指标 Index	主成分 Principal component						
	1	2	3	4	5	6	7
X1 叶长 Leaf length	0.752	-0.093	0.599	-0.100	0.136	-0.127	0.057
X2 叶宽 Leaf width	0.654	-0.054	0.664	-0.215	0.148	0.057	0.212
X3 叶形指数 Shape index	0.544	-0.211	0.092	0.289	0.022	-0.554	-0.377
X4 叶柄长度 Petiole length	0.077	-0.052	0.537	-0.014	-0.493	0.368	-0.170
X5 叶柄直径 Petiole diameter	0.697	-0.039	0.629	0.199	0.095	-0.042	0.090
X6 叶面积 Leaf area	0.698	-0.143	0.615	-0.147	0.194	-0.036	0.179
X7 气孔器长 Stomatal apparatus length	0.704	-0.007	-0.393	-0.107	0.495	0.273	0.062
X8 气孔器宽 Stomatal apparatus width	0.752	0.092	-0.464	-0.277	0.191	0.131	0.001
X9 气孔长轴 Macroaxis	0.637	-0.122	-0.438	0.079	0.545	0.006	0.168
X10 气孔密度 Stoma density	-0.393	-0.625	0.075	-0.107	-0.016	-0.356	0.330
X11 茸毛长度 Length	0.404	0.357	-0.047	0.465	0.007	0.533	-0.022
X12 茸毛簇密度 Pedestal density	-0.773	0.288	0.319	0.122	0.329	-0.039	0.200
X13 茸毛根密度 Villus density	-0.757	0.254	0.297	0.359	0.359	-0.051	0.051
X14 单簇茸毛数 Number of Villis per Pedestal	0.240	-0.257	0.002	0.569	0.302	0.084	-0.522
X15 侧脉直径 Lateral vein diameter	0.620	-0.207	0.317	0.42	-0.244	0.329	0.208
X16 叶片厚度 Leaf thickness	0.669	0.039	-0.208	0.592	-0.217	-0.232	0.177
X17 上表皮细胞厚度 Thickness of upper epidermis cell	0.665	-0.084	-0.086	-0.626	-0.11	-0.027	-0.201
X18 第一层栅栏细胞密度 The first layer of palisade tissue cell density	-0.809	0.089	0.333	0.332	0.262	0.042	-0.177
X19 下表皮细胞厚度 Thickness of lower epidermis cell	0.910	0.198	0.038	-0.143	-0.014	-0.147	-0.284
X20 栅栏组织厚度 Thickness of palisade tissue	0.568	0.486	-0.301	0.429	-0.215	-0.195	0.252
X21 海绵组织厚度 Thickness of spongy tissue	0.276	-0.678	-0.400	0.490	-0.171	-0.054	0.161
X22 栅海比 Thickness of palisade tissue/thickness of spongy tissue	0.207	0.954	0.070	-0.002	-0.009	-0.123	0.034
X23 组织结构紧密度 Tightness of leaf tissue structure	-0.049	0.919	-0.251	-0.115	-0.096	-0.022	0.137
X24 组织结构疏松度 Looseness of leaf tissue structure	-0.297	-0.88	-0.231	-0.101	0.027	0.220	0.106
初始特征值 Feature value	8.573	4.16	3.266	2.489	1.511	1.270	1.063
	35.72	17.33	13.60	10.36			
方差贡献率 Contribution percentage (%)	0	3	7	9	6.294	5.293	4.431
	35.72	53.05		77.02	83.32	88.61	93.04
累计贡献率 Accumulation contribution (%)	0	2	66.66	9	2	5	6

进一步对不同种质进行主成分因子分析,以第一主成分和第二主成分进行二维排序,散点图结果如图 6 所示,在主成分 1 和主成分 2 排序下,12 个品种可以分为 3 个类群,第 I 类群包含‘东红’和‘Hort16A2’个品种,第 II 类群包含金美、金梅、徐香、金魁和海沃德 5 个品种,第 III 类群包含金桃、翠玉、金艳、桂海 4 号和金霞 5 个品种。

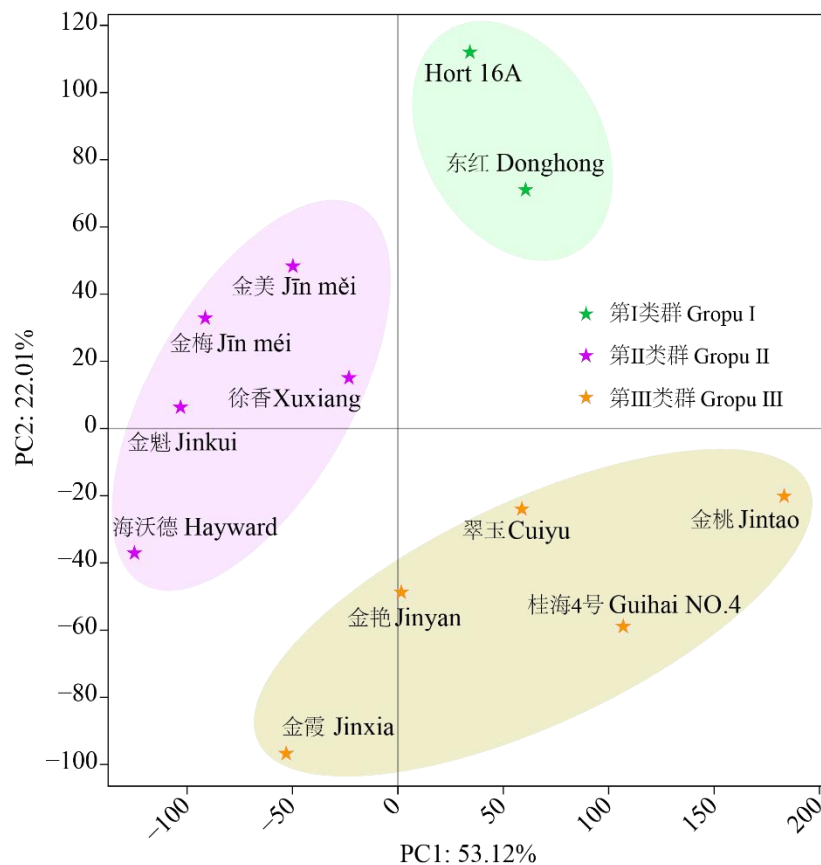


图 6 12 个猕猴桃品种第 1、第 2 主成分二维排序

Fig. 6 Scatter plot based on the PC1 and PC2 of 12 kiwifruit cultivars

2.5 不同猕猴桃品种抗旱性综合评价

根据 7 个主成分的得分系数与方差贡献率的占比求得各个指标的权重,求得抗旱性综合得分值 F 的表达式系数^[16]。

$$F=0.099X_1+0.103X_2+0.026X_3+0.023X_4+0.117X_5+0.099X_6+0.07X_7+0.049X_8+0.059X_9+0.083X_{10}+0.103X_{11}-0.011X_{12}-0.005X_{13}+0.033X_{14}+0.095X_{15}+0.074X_{16}+0.009X_{17}-0.029X_{18}+0.080X_{19}+0.084X_{20}-0.021X_{21}+0.084X_{22}+0.036X_{23}-0.093X_{24}$$
 该表达式中,指标前数值绝对值表示该指标所占权重,值为正数,说明该指标与 F 呈正相关,即与抗旱性呈正相关,指标前数值为负数说明该指标与 F 值呈负相关,即与抗旱性呈负相关。据主成分分析结果,选择主成分下载荷值绝对值大于 0.9 或排名第一的指标作为抗旱性平均关键指标,最后选择 X_2 (叶宽)、 X_3 (叶形指数)、 X_9 (气孔长轴)、 X_{14} (单簇茸毛数)、 X_{17} (上表皮细胞厚度)、 X_{19} (下表皮细胞厚度)、 X_{22} (栅海比)、 X_{23} (组织结构紧密度) 共 8 项指标参与抗旱性评价,所选指标与抗旱性均呈正相关。

隶属函数法是目前应用最广的多指标评价方法^[13],参照张俊环等^[27]的方法将 8 项关键性指标带入隶属函数,求取隶属函数平均值作为猕猴桃品种抗旱性度量值,值越大则抗旱性越强。通过对 12 个猕猴桃品种各项指标综合评价得出,结果如表 6 显示,抗旱性大小为:徐香>金美>金霞>海沃德>金艳>金魁>金梅>东红>翠玉>金桃>桂海 4 号>Hort16A。将隶属函

数值均值标准化后进行聚类分析^[12]，如图 7 所示，在欧氏距离等于 5 处可将 12 个品种分成 5 类，对应不同的抗旱等级，第 I 类由徐香组成，其抗旱性度量值大于 0.80，相较抗旱性极强；第 II 类由金美、金霞和海沃德组成，其抗旱性度量值介于 0.50~0.80，相较抗旱性强；第 III 类由金艳、金魁、金梅和东红组成，抗旱性度量值介于 0.39~0.50，相较抗旱性中等；第 IV 类由金桃和翠玉组成，抗旱性度量值介于 0.30~0.39，相较抗旱性弱；第 V 类由桂海 4 号和 Hort16A 组成，抗旱性度量值低于 0.30，相较抗旱性最弱。

表 6 基于 8 个典型指标隶属函数值的 12 个猕猴桃品种抗旱性综合评分及排名

Table 6 Comprehensive score and ranking of drought resistance of 12 kiwifruit cultivars based on membership function values of 8 typical indexes										
品种 Cultivar	隶属函数值 Membership function value								平均值	排名
	X2	X3	X9	X14	X17	X19	X22	X23	Mean	Ranking
东红 Donghong	0.165	0.846	0.748	1.000	0.157	0.211	0.010	0.000	0.392	8
桂海 4 号 Guihai NO.4	0.067	0.308	0.000	0.345	0.000	0.000	0.68	0.545	0.243	11
Hort16A	0.736	0.00	0.265	0.105	0.456	0.061	0.000	0.091	0.214	12
金桃 Jintao	0.347	0.385	0.445	0.000	0.598	0.29	0.258	0.273	0.325	10
金艳 Jinyan	0.601	0.692	0.223	0.468	0.196	0.454	0.454	0.364	0.432	5
金梅 Jin méi	0.810	0.462	0.112	0.545	0.501	0.458	0.381	0.091	0.420	7
金霞 Jinxia	0.337	0.077	0.637	0.318	0.443	0.487	1.000	1.000	0.537	3
翠玉 Cuiyu	0.000	0.231	0.511	0.391	0.638	0.394	0.268	0.364	0.350	9
金美 Jin měi	0.933	0.692	0.796	0.091	0.412	0.588	0.680	0.455	0.581	2
金魁 Jinkui	0.335	1.000	0.294	0.182	0.571	0.597	0.227	0.182	0.424	6
海沃德 Hayward	0.714	0.538	1.000	0.786	0.493	0.537	0.175	0.000	0.530	4
徐香 Xuxiang	1.000	1.000	0.689	0.682	1.000	1.000	0.711	0.364	0.806	1

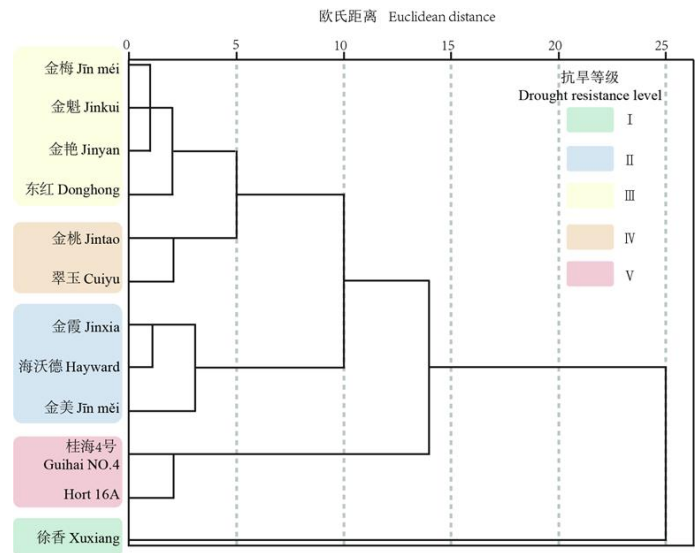


图 7 不同猕猴桃品种抗旱性聚类与等级划分

Fig.7 Clustering and grading of drought resistance of different kiwifruit cultivars

3 讨论

3.1 不同猕猴桃品种的抗旱性

植物在适应自然环境的过程中,会逐渐演化形成比较稳定的外部形态和内部结构^[28]。叶片是植物进行光合作用、气体交换及蒸腾作用的主要器官,也是对环境变化较为敏感的器官,叶片形态和解剖结构特征的变化能较好地反映出植物对于干旱等逆境的适应性^[29]。植物的抗旱性是一个复杂的综合性状,用单一或过多的指标均难以确切地反应各品种抗旱性强弱^[16]。本研究对 12 个猕猴桃品种的叶片形态特征、气孔器特征、表皮毛特征和解剖结构特征进行了比较,发现 24 个特征值在不同品种间具有显著性差异,变异系数介于 8.04%~35.80%。通过相关性系数和主成分分析筛选 8 项关键性指标,结合隶属函数法评价了 12 个猕猴桃品种的抗旱性,隶属函数均值排名及聚类分析表明美味猕猴桃品种的抗旱性总体上强于中华猕猴桃品种。在美味猕猴桃中,抗旱能力由强到弱依次为徐香、金美、海沃德和金魁,在中华猕猴桃中,抗旱能力由强到若依次为金霞、金艳、金梅、东红、翠玉、金桃、桂海 4 号和 Hort16A。这些品种为经过严格筛选培育出具有较强抗逆能力的优良品种,均能适应一定的干旱胁迫,如徐香^[30]、海沃德^[31]、金霞^[32]、金梅^[33]和翠玉^[34]等在田间均有出色的抗旱能力,本研究结果仅反映了品种间抗旱性的相对强弱。

降水量是影响干旱胁迫的主要因素^[35,36]。自然条件下,中华猕猴桃大多分布在我国年降水量 1000~2000 mm、相对湿度 75%~85%、气候湿热的东南地区,美味猕猴桃多分布在我国年降水量 600~1600 mm、相对湿度 60%~85%、气候相对干燥的西北地区^[37],并在雪峰山脉、巫山山脉及幕阜山脉一带重叠分布^[38,39]。本研究结果佐证了美味猕猴桃因长期适应降雨量较少,空气湿度较低的环境而更耐干旱,与姚春潮等人^[40]的观点一致。竺元琦^[41]以电导率作为抗性指标对不同猕猴桃品种的抗旱性进行比较,发现在高温高湿胁迫后,中华猕猴桃比美味猕猴桃具有更强的抗高温能力,与钟彩虹所述中华猕猴桃更耐热的观点相同^[37],但在高温干旱胁迫后,二者的抗逆能力没有显著性差异,表明美味猕猴桃相对于高热胁迫更适应干旱胁迫。

3.1 不同指标与抗旱性综合评价

单一的评价指标难以准确反映不同种质的抗旱性,不同作物或同一作物不同品种具有不同的抗旱机制,同一作物或品种往往存在多种协同抗旱机制^[42,43]。叶片的形态特征与植物的抗旱性息息相关,如赵秀明^[44]认为叶片小是抗旱重要表型之一,可以降低蒸腾面积,本研究中,叶面积较小可能为翠玉、桂海 4 号和金霞等品种的主要抗旱性特征之一。叶片表皮毛对于植物抗旱具有重要意义,表皮毛发达可避免太阳直射,减少蒸腾作用过程中水分的散失^[9],例如锦鸡儿属的部分植物表皮毛状体与猕猴桃类似,此类表皮毛是干旱区植物适应干旱环境的重要特征^[45],另有研究表明,叶片表皮毛具有吸附、收集大气中水分的作用,用于植株保温、保湿,可作为植物在干旱环境中获取水分的适应性策略^[23,46],猕猴桃不同品种叶片毛被的差异可能是其关键的抗旱性机制之一。如王仁才等^[47]对抗旱性强弱不同的美味猕猴桃品系的研究结果表明,抗旱性强的品系叶片表皮毛的簇数和单簇绒毛数较多,茸毛密度大,本研究中桂海 4 号具有最大的根密度和簇密度,东红具有最多的单簇绒毛数,这些特征为它们的抗旱适应提供了重要保障。气孔器是植株与外界交换气体及水分的通路,在碳同化、呼吸、

蒸腾作用等方面具有重要意义, 气孔密度大, 有利于散热, 气孔器较小可减少蒸腾失水^[13], 如陈健男^[26]对四个猕猴桃品种(系)的研究表明气孔密度与品种(系)抗旱性呈正相关, 本研究中 Hort16A 和东红的气孔密度较大, 表现出较强的抗旱性特征。叶片的组织结构与抗旱性密切相关^[48,49], 如较高的栅海比和组织结构紧密度对于植物增强抗旱性极为重要^[50,51], 本研究中金霞的栅海比和组织结构紧密度均最高, 表现出极强的抗旱特征。

对于抗旱性评价, 选择不同指标及不同评价方法往往会得到不同的结果, 单一的指标更难以代表复杂的抗旱因素, 通过主成分筛选关键性指标, 结合隶属函数平均法是一种相对可靠的方法, 已经在植物抗旱性评价中得到了广泛应用^[16,27,52]。植物抗旱性具有复杂的机制, 除本研究已统计的相关指标, 仍有许多与抗旱性相关的特征未被关注, 如在叶片组织中发现的草酸钙晶体, 其在缓解逆境胁迫可能发挥了重要作用等^[53]。

4 结论

研究揭示了 12 个猕猴桃品种在叶片形态和显微结构的差异, 24 个指标在不同品种间具有显著性差异, 从中筛选到叶宽、叶形指数、气孔长轴、单簇茸毛数、上表皮细胞厚度、下表皮细胞厚度、栅海比和组织结构紧密度共 8 项典型指标参与抗旱性评价。通过隶属函数法分析得出徐香、金美、金霞和海沃德等品种的抗旱性较强, 金霞为中华猕猴桃中较抗旱的品种, 而徐香、金美和海沃德为美味猕猴桃中较抗旱的品种, 是较干旱地区种植猕猴桃的首选品种。金美猕猴桃是近两年新选育成的品种, 正处于推广初期, 研究结论为今后品种选择、遗传改良以及生产上的经营管理提供了借鉴依据。

参考文献 References:

- [1] RICHARDSON D P, ANSELL J, DRUMMOND L N. The nutritional and health attributes of kiwifruit: a review[J]. European Journal of Nutrition, 2018, 57(8): 2659-2676.
- [2] 胡光明, 黎纯斌, 杨斌, 王周倩, 申素云, 李作洲, 钟彩虹. 宜昌市 72 份野生中华猕猴桃果实性状多样性分析与综合评价[J]. 果树学报, 2022, 39(09): 1540-1552.
HU Guangming, LI Chunbin, YANG Bin, WANG Zhouqian, SHEN Suyun, LI Zuo Zhou, ZHONG Caihong. Analysis and comprehensive evaluation of fruit trait diversity of 72 *Actinidia chinensis* accessions in Yichang[J]. Journal of Fruit Science, 2022, 39(09): 1540-1552.
- [3] 钟彩虹, 黄文俊, 李大卫, 张琼, 李黎. 世界猕猴桃产业发展及鲜果贸易动态分析[J]. 中国果树, 2021, (7): 101-108.
ZHONG Caihong, HUANG Wenjun, LI Dawei, ZHANG Qiong, LI Li. Dynamic analysis of global kiwifruit industry development and fresh fruit trade[J]. China Fruits, 2021, (7): 101-108.
- [4] ZHONG C H, HUANG W J, WANG Z P, LI L, LI D W, ZHANG Q, ZHAO T T, ZHANG P. The breeding progress and development status of the kiwifruit industry in China[J]. Acta Horticulturae, 2022, 1332: 445-454.
- [5] BAO W W, ZHANG X C, ZHANG A L, ZHAO L, WANG Q C, LIU Z D. Validation of micrografting to evaluate drought tolerance in micrografts of kiwifruits (*Actinidia* spp.) [J]. Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC), 2020, 140(2): 291-300.
- [6] CRUZ, Y D, SCARPA, A L, PEREIRA, M P, CASTRO, E M, PEREIRA, F J. Growth of *Typha domingensis* as related to leaf physiological and anatomical modifications under drought conditions[J]. Acta Physiologiae

- Plantarum, 2019, 41: 1-9.
- [7] BHUSAL N, LEE M, LEE H, ADHIKARI A, HAN A R, HAN A, KIM H S. Evaluation of morphological, physiological, and biochemical traits for assessing drought resistance in eleven tree species[J]. Science of The Total Environment, 2021, 779: 146466.
- [8] 木巴热克·阿尤普, 艾沙江·买买提, 郭春苗, 徐叶挺, 买买提依明·阿有甫, 龚鹏, 杨波. 基于叶片显微及亚显微结构的新疆扁桃 10 个主栽品种抗旱性综合评价[J]. 果树学报, 2019, 36(3): 347-358.
- MUBAREKE·Ayupu, AISHAJIANG·Maimaiti, GUO Chunmiao, XU Yeting, MAIMAITIYIMING·Ayoufu, GONG Peng, YANG Bo. Comprehensive evaluation of drought resistance of 10 main cultivars of almond (*Amygdalus communis* L.) in Xinjiang by means of leaf microstructure and ultrastructure[J]. Journal of Fruit Science, 2019, 36(3): 347-358.
- [9] 闵小莹, 熊康宁, 申小云, 杭红涛, 池永宽, 张仕豪. 喀斯特石漠化地区植物对干旱胁迫的适应性研究进展[J]. 世界林业研究, 2020, 33(3): 7-12.
- MIN Xiaoying, XIONG Kangning, SHEN Xiaoyun, HANG Hongtao, CHI Yongkuan, ZHANG Shihao. Research progress of plant adaptability to drought stress in Karst Rocky Desertification Area[J]. World Forestry Research, 2020, 33(3): 7-12.
- [10] 陈雪峰, 景晨娟, 赵习平, 武晓红. 植物叶片组织结构在抗逆研究中的应用进展[J]. 河北农业科学, 2018, 22(3): 50-53.
- CHEN Xuefeng, JING Chenjuan, ZHAO Xiping, WU Xiaohong. Advances in application of plant leaf tissue structure in the research of stress tolerance[J]. Hebei Agricultural Science, 2018, 22(3): 50-53.
- [11] 岑湘涛, 沈伟, 牛俊乐, 吴伟兰. 基于植物叶片解剖结构的抗逆性评价研究进展[J]. 北方园艺, 2021, (18): 140-147.
- CEN Xiangtao, SHEN Wei, NIU junle, WU Weilan. Research progress of stress resistance evaluation based on the anatomy of plant leaves[J]. Northern Horticulture, 2021, (18): 140-147.
- [12] 宋鹏, 丁彦芬, 朱贵珍, 李涵, 王亚楠. 6 种卫矛属植物叶片解剖结构与抗旱性评价[J]. 河南农业大学学报, 2019, 53(4): 574-580.
- SONG Peng, DING Yanfen, ZHU Guizhen, LI Han, WANG Yanan. Evaluation of leaf anatomical structure and drought resistance evaluation of six species of *Euonymus*[J]. Journal of Henan Agricultural University, 2019, 53(4): 574-580.
- [13] 范志霞, 陈越悦, 付荷玲. 成都地区 10 种园林灌木叶片结构与抗旱性关系研究[J]. 植物科学学报, 2019, 37(1): 70-78.
- FAN Zhixia, CHEN Yueyue, FU Heling. Study on drought resistance and leaf structure in 10 species of garden shrubs in Chengdu[J]. Plant Science Journal, 2019, 37(1): 70-78.
- [14] 郭改改, 封斌, 麻保林, 井赵斌, 张应龙, 郭春会. 不同区域长柄扁桃抗旱性的研究[J]. 植物科学学报, 2013, 31(4): 360-369.
- GUO Gaigai, FENG Bin, MA Baolin, JING Zhaobin, ZHANG Yinglong, GUO Chunhui. Studies on drought resistance of different regional *Amygdalus pedunculata* Pall[J]. Plant Science Journal, 2013, 31(4): 360-369.
- [15] 郭素娟, 武燕奇. 板栗叶片解剖结构特征及其与抗旱性的关系[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2018, 46(9): 51-59.
- GUO Sujuan, WU Yanqi. Leaf anatomical structure characteristics and drought resistance of Chinese chestnut[J]. Journal of Northwest A & F University(Natural Science Edition), 2018, 46(9): 51-59.
- [16] 郭燕, 张树航, 李颖, 张馨方, 王广鹏. 基于叶片解剖结构的京津冀主栽板栗品种抗旱性评价[J]. 核

- 农学报, 2021, 35(08): 1771-1782.
- GUO Yan, ZHANG Shuhang, LI Ying, ZHANG Xinfang, WANG Guangpeng. Drought resistance evaluation based on leaf anatomical structure of major chestnut cultivars in Beijing-Tianjin-Hebei Region[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2021, 35(08): 1771-1782.
- [17] 王延秀, 贾旭梅, 石晓昀, 朱燕芳, 胡亚, 郭爱霞. 三种苹果砧木应对干旱胁迫的超微及解剖结构响应特性[J]. 植物生理学报, 2018, 54(4): 594-606.
- WANG Yanxiu, JIA Xumei, SHI Xiaoyun, ZHU Yanfang, HU Ya, GUO Aixia. The response characteristics of the ultrastructure and anatomical structure of three apple rootstocks under drought stress[J]. Plant Physiology Journal, 2018, 54(4): 594-606.
- [18] 刘倩文, 邱安然, 谢翔, 刘瑞, 王唯先, 武春霞. 5 种草莓叶片解剖结构与抗旱性的关系[J]. 天津农业科学, 2019, 25(7): 18-22.
- LIU Qianwen, QIU Anran, XIE Xiang, LIU Rui, WANG Weixian, WU Chunxia. Relationships between blade anatomical structure and drought resistances of five strawberry varieties[J]. Tianjin Agricultural Sciences, 2019, 25(7): 18-22.
- [19] 钟灶发, 张利娟, 高思思, 彭婷. 干旱胁迫下 4 种柑橘砧木叶片细胞学特征及抗旱性比较[J]. 园艺学报, 2021, 48(8): 1579-1588.
- ZHONG Zaofa, ZHANG Lijuan, GAO Sisi, PENG Ting. Leaf cytological characteristics and resistance comparison of four citrus rootstocks under drought stress[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2021, 48(8): 1579-1588.
- [20] 景晨娟, 陈雪峰, 王端, 季文章, 武晓红. 三个李子品种叶片结构差异及其抗旱性分析[J]. 北方园艺, 2021, (15): 27-34.
- JING Chenjuan, CHEN Xuefeng, WANG Duan, JI Wenwen, WU Xiaohong. Analysis of leaf structure differences and relationships between the anatomical structure and drought resistances of three *Plums* cultivars[J]. Northern Horticulture, 2021, (15): 27-34.
- [21] 陈菁菁, 孙小妹, 纪海波, 陈亮, 刘斌, 陈年来. 西瓜品种叶部特征与抗旱性的关系[J]. 中国瓜菜, 2015, 的 28(05): 8-13.
- CHEN Jingjing, SUN Xiaomei, JI Haibo, CHEN Liang, LIU Bin, CHEN Nian. The relationship between leaf characteristics and drought resistance of watermelon varieties [J]. China Cucurbits and Vegetables, 2015, 28 (05): 8-13.
- [22] 马小芬, 王兴芳, 李强, 贺晓. 不同种源地文冠果叶片解剖结构比较及抗旱性分析[J]. 干旱区资源与环境, 2013, 17(6): 92-96.
- MA Xiaofen, WANG Xingfang, LI Qiang, HE Xiao. The analysis of drought resistance and the comparison of anatomical structures of the leaves of *Xanthoceras sorbifolia* Bunge introduced from different regions[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2013, 17(6): 92-96.
- [23] MUHAMMAD W, NIE Z F, YAO G Q, MAHADI H, XIANG Y, FANG X W. Dew absorption by leaf trichomes in *Caragana korshinskii*: An alternative water acquisition strategy for withstanding drought in arid environments[J]. Physiologia Plantarum, 2021, 172(2): 528-539.
- [24] 刘平平, 熊雅兰, 韦宇静, 莫权辉, 王发明, 叶开玉. 五个猕猴桃种的皮孔、气孔器和叶片下表皮微观特征[J]. 广西植物, 2021, 41(1): 157-166.
- LIU Pingping, XIONG Yalan, WEI Yujing, MO Quanhui, WANG Faming, YE Kaiyu. Microscopic characteristics of lenticel, stomatal apparatus and lower epidermis of leaf from five kiwifruit species[J].

- Guihaia, 2021, 41(1): 157-166.
- [25] 刘文, 杨妙贤, 梁红. 中华猕猴桃不同性别叶片的形态学和解剖学观察[J]. 仲恺农业工程学院学报, 2011, 24(4): 5-11.
- LIU Wen, YANG Miaoxian, LIANG Hong. Observations on morphology and anatomy of leaves of male and female *Actinidia chinensis* plants[J]. Journal of Zhongkai University of Agriculture and Engineering, 2011, 24(4): 5-11.
- [26] 陈健男. 猕猴桃果实香气成分及其抗旱性、砧木耐涝性评价[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2018.
- CHEN Jiannan. The aromatic constituents and drought resistance and evaluation of rootstock's flooding tolerance in kiwi fruit[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2018.
- [27] 张俊环, 张美玲, 杨丽, 姜凤超, 于文剑, 王玉柱, 孙浩元. 基于叶片显微结构综合评价杏不同品种(系)的抗旱性[J]. 果树学报, 2023, 40(11): 2381-2390.
- ZHANG Junhuan, ZHANG Meiling, YANG Li, JIANG Fengchao, YU Wenjian, WANG Yuzhu, SUN Haoyuan. Comprehensive evaluation of drought resistance of different apricot cultivars(lines) based on leaf microstructure[J]. Journal of Fruit Science, 2023, 40(11): 2381-2390.
- [28] 刘培卫, 张玉秀, 杨云, 陈波. 六种沉香属植物叶片解剖结构研究[J]. 广西植物, 2017, 37(5): 565-571.
- LIU Peiwei, ZHANG Yuxiu, YANG Yun, CHEN Bo. Leaf anatomical structure of six *Aquilaria* species[J]. Guihaia, 2017, 37(5): 565-571.
- [29] 孙梅, 田昆, 张贇, 管东旭, 岳海涛. 植物叶片功能性状及其环境适应研究. 植物科学学报, 2017, 35(6): 940-949
- SUN Mei, TIAN Kun, ZHANG Yun, WANG Xing, GUAN Dongxu, YUE Haitao. Research on leaf functional traits and their environmental adaptation[J]. Plant Science Journal, 2017, 35(6): 940-949.
- [30] 李崇高. 徐香猕猴桃在闽西北的引种适应性及栽培技术要点[J]. 东南园艺, 2019, 7(5): 32-34
- LI Chonggao. Introduction adaptation and key points of cultivation techniques of a kiwifruit cultivar 'Xuxiang' in the Northwest of Fujian Province[J]. Southeast Horticulture, 2019, 7(5): 32-34.
- [31] 钟彩虹, 陈美艳. 猕猴桃生产精细管理十二个月[M]. 北京: 中国农业出版社, 2020
- ZHONG Caihong, CHEN Meiyun. Twelve months of fine management of kiwifruit production[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2020.
- [32] 张忠慧, 黄仁煌, 王圣梅, 姜正旺, 黄宏文, 武显维. 中华猕猴桃优良新品种金霞的选育研究[J]. 中国果树, 2006, (5): 11-12+72
- ZHANG Zhonghui, HUANG Renhuang, WANG Shengmei, JIANG Zhengwang, HUANG Hongwen, WU Xianwei. Study on Breeding of 'Jinxia', an excellent new cultivar of *Actinidia chinensis*[J]. China Fruits, 2006, (5): 11-12+72.
- [33] ZHONG C H, WANG S M, HAN F, Li D W, JIANG Z W, GONG J J, HUANG H W. Jinmei, a new yellow-fleshed kiwifruit cultivar with medium maturity and long storage[J]. Acta Horticulturae, 2018, 1218: 61-66
- [34] 钟彩虹, 王中炎, 卜范文, 蔡金术. 优质耐贮中华猕猴桃新品种翠玉[J]. 中国果树, 2002, (5): 4-6+61
- ZHONG Caihong, WANG Zhongyan, BU Fanwen, CAI Jinshu. 'Cuiyu', a new kiwifruit cultivar of *Actinidia chinensis* with high quality and storage resistance[J]. China Fruits, 2002, (5): 4-16+61.
- [35] 王铭涵, 丁玎, 张晨禹, 高羲之, 陈建姣, 唐瀚, 沈程文. 干旱胁迫对茶树幼苗生长及叶绿素荧光特性的影响[J]. 茶叶科学, 2020, 40(4): 478-491
- WANG Minghan, DING Ding, ZHANG Chenyu, GAO Xizhi, CHEN Jianjiao, TANG Han, SHEN Chengwen.

- Effects of drought stress on growth and chlorophyll fluorescence characteristics of tea seedlings[J]. Journal of Tea Science, 2020, 40(4): 478-491.
- [36] 逯玉兰, 李广, 韩俊英, 燕振刚, 董莉霞. 降水量和气温变化对定西地区旱地春小麦产量的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2021, 47(3): 268-273
- LU Yulan, LI Guang, HAN Junying, YAN Zhengang, DONG Lixia. Effect of precipitation and temperature changes on dryland spring wheat yield in Dingxi area[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2021, 47(3): 268-273.
- [37] 钟彩虹. 猕猴桃栽培理论与生产技术[M]. 北京:科学出版社, 2020
- ZHONG Caihong. Cultivation theory and production technology of kiwifruit[M]. Beijing: Science Press, 2020.
- [38] 黄韦. 中华猕猴桃/美味猕猴桃复合体自然居群倍性变异格局的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2009
- HUANG Wei. Studies on ploidy variance pattern of natural populations in *Actinidia chinensis* var. *chinensis*/*Actinidia chinensis* var. *deliciosa* complex.[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2009.
- [39] WANG Z, ZHONG C H, LI D W, YAN C L, YAO X H, LI Z Z. Cytotype distribution and chloroplast phylogeography of the *Actinidia chinensis* complex[J]. BMC Plant Biology, 2021, 21: 325
- [40] 姚春潮, 李建军, 刘占德. 猕猴桃高效栽培与病虫害防治彩色图谱[M]. 北京:中国农业出版社, 2021
- YAO Chunchao, LI Jianjun, LIU Zhande. Color atlas of kiwifruit high efficiency cultivation and pest control[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2021.
- [41] 竺元琦. 猕猴桃高温干旱抗性研究[J]. 湖北林业科技, 1999, (4): 14-15
- ZHU Yuanqi. Study on resistance of kiwifruit to high temperature and drought[J]. Hubei Forestry Science and Technology, 1999, (4): 14-15.
- [42] 厉广辉, 张昆, 刘凤珍, 刘丹丹, 万勇善. 不同抗旱性花生品种的叶片形态及生理特性[J]. 中国农业科学, 2014, 47(4): 644-654
- LI Guanghui, ZHANG Kun, LIU Fengzhen, LIU Dandan, WAN Yongshan. Morphological and physiological traits of leaf in different drought resistant peanut cultivars[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2014, 47(4): 644-654.
- [43] 张海燕, 解备涛, 姜常松, 冯向阳, 张巧, 董顺旭, 汪宝卿, 张立明, 秦桢, 段文学. 不同抗旱性甘薯品种叶片生理性状差异及抗旱指标筛选[J]. 作物学报, 2022, 48(2): 518-528
- ZHANG Haiyan, XIE Beitao, JIANG Changshong, FENG Xiangyang, ZHANG Qiao, DONG Shunxu, WANG Baoqing, ZHANG Liming, QIN Zhen, DUAN Wenxue. Screening of leaf physiological characteristics and drought-tolerant indexes of sweetpotato cultivars with drought resistance[J]. Acta Agronomica Sinica. 2022, 48(2): 518-528.
- [44] 赵秀明. 新引进苹果矮化砧木的抗旱性研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2012
- ZHAO Xiuming. Study on the drought resistance of newly introduced apple dwarf rootstocks[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2012.
- [45] 刘艳霞, 马亚丽, 兰海燕. 植物非腺毛形态发生及其功能研究进展[J]. 植物生理学报, 2018, 54(10): 1527-1534
- LIU Yanxia, MA Yali, LAN Haiyan. Advances in morphology and function of plant non-glandular trichomes[J]. Plant Physiology Journal, 2018, 54(10): 1527-1534.
- [46] NING Pengbo, WANG Junhui, ZHOU Yulu, GAO Lifang, WANG Jun, GONG Chunmei. Adaptional evolution of trichome in *Caragana korshinskii* to natural drought stress on the Loess Plateau, China[J].

Ecology and Evolution, 2016, 6(11): 3786-3795

- [47] 王仁才, 陈梦龙, 李顺望, 熊兴耀. 猕猴桃良种选育及栽培技术的研究——V. 美味猕猴桃品种抗旱性研究[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 1991, (1):42-48
- WANG Rencai, CHEN Menglong, LI Shunwang, XIONG Xingyao. Studies of selection and culture techniques of *Actinidia*——v. drought adaptability of *Actinidia*[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 1991, (1):42-48.
- [48] LU M, CHEN M, SONG J, WANG Y, PAN Y, WANG C, PANG J, FAN J, ZHANG Y. Anatomy and transcriptome analysis in leaves revealed how nitrogen (N) availability influence drought acclimation of *Populus*[J]. Trees, 2019, 33(4): 1003-1014
- [49] 王树森, 孟凡旭, 赵波, 闫洁, 程冀文, 马迎梅, 郭宇, 何英志, 铁英, 张波. 大青山阳坡五种灌木叶片解剖结构及其抗旱性研究[J]. 中国农业科技导报, 2020, 22(01): 38-44.
- WANG Shusen, MENG Fanxu, ZHAO Bo, YAN Jie, CHENG Jiwen, MA Yingmei, GUO Yu, HE Yingzhi, TIE Ying, ZHANG Bo. Leaf anatomic structure of five shrubs and its effects on drought tolerance in sunny slope of Daqing Mountain[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2020, 22(01): 38-44.
- [50] 任媛媛, 刘艳萍, 王念, 罗晓雅, 翟晓巧. 9 种屋顶绿化阔叶植物叶片解剖结构与抗旱性的关系[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2014, 38(4): 64-68
- REN Yuanyuan, LIU Yanping, WANG Nian, LUO Xiaoya, ZHAI Xiaoqiao. The relationship between leaf anatomic structure and drought resistance of nine broadleaf plants[J]. Journal of Nanjing Forestry University(Natural Sciences Edition), 2014, 38(4): 64-68.
- [51] 李嘉诚, 罗达, 史彦江, 宋锋惠. 平欧杂种榛叶片解剖结构的抗旱性研究[J]. 西北植物学报, 2019, 39(3): 462-471
- LI Jiacheng, LUO Da, SHI Yanjiang, SONG Fenghui. Study on drought resistance of leaf anatomical structure of *Corylus heterophylla*×*Corylus avellana*[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2019, 39(3): 462-471.
- [52] 田小霞, 许明爽, 郑明利, 魏浩, 谷艳蓉, 毛培春. 黄花草木樨苗期抗旱性鉴定及抗旱指标筛选[J]. 干旱区资源与环境, 2021, 35(10): 120-127
- TIAN Xiaoxia, XU Mingshuang, ZHENG Mingli, WEI Hao, GU Yanrong, MAO Peichun. Drought resistance identification and drought resistance indices screening for *Melilotus officinalis* resources at seedling stage[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2021, 35(10): 120-127.
- [53] 朱广龙, 马茵, 韩蕾, 霍张丽, 魏学智. 植物晶体的形态结构、生物功能及形成机制研究进展[J]. 生态学报, 2014, 34(22): 6429-6439
- ZHU Guanglong, MA Yin, HAN Lei, HUO Zhangli, WEI Xuezhi. Current status of research on morphological structure, biological function and formation mechanism of plant crystals[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(22): 6429-6439.