

# 多倍体与二倍体枇杷叶片特征及抗旱性初步分析

温 国, 孙皓浦, 党江波, 蒋朋飞, 王金英, 杨 壴, 郭启高, 梁国鲁\*

(西南大学园艺园林学院和农业科学研究院·南方山地园艺学教育部重点实验室, 重庆 400715)

**摘要:**【目的】探讨多倍体与二倍体枇杷(*Eriobotrya japonica* Lindl.)叶片生理形态特征差异并进行抗旱性初步评价, 为枇杷倍性鉴定及抗旱性评价提供参考。【方法】以4个系列18个不同倍性枇杷株系为试验材料, 对各株系叶片的形态解剖结构、失水率(RWL)、营养元素含量、叶绿素(Chl)含量进行观察、测定和分析。通过隶属函数法, 对其抗旱能力进行初步评价。【结果】枇杷叶片长度、宽度与倍性呈极显著正相关( $p < 0.01$ ), 叶形指数与倍性呈极显著负相关( $p < 0.01$ ); 10项枇杷叶片解剖结构指标与倍性关联度强弱排序依次为: 下表皮、上角质层、海绵组织、叶片组织细胞结构疏松度(SR)、叶厚、叶片组织细胞结构紧密度(CTR)、下角质层、栅栏组织、栅栏组织细胞层数、上表皮, 其中上角质层、下角质层、CTR与倍性呈负相关; 在40℃下干旱处理6 h后, A系列、H系列、K系列失水率与倍性均呈负相关, 在24 h后失水率与倍性呈显著负相关( $p < 0.05$ ); 氮(N)、磷(P)、钾(K)、铁(Fe)、叶绿素a(Chl.a)、叶绿素b(Chl.b)、总叶绿素含量Chl.(a+b)含量与倍性关联度强弱排序依次为:N、K、P、Chl.b、Chl.(a+b)、Fe、Chl.a, 其中N、P、K含量与倍性呈负相关; 参考枇杷叶片解剖结构与失水率进行抗旱性隶属函数分析: ‘A313’(3x)、‘A322’(3x)、‘B350’(3x)、‘B431’(4x)、‘4X(2)’(4x)、‘H324’(3x)、‘K3’(3x)、‘K4’(4x)抗旱性均强于同系列二倍体。【结论】枇杷叶片生理形态指标可作为枇杷倍性鉴定的参考指标, 抗旱性评价中的8个抗旱性强的多倍体枇杷材料可用于进一步抗旱性研究, 培育多倍体可作为提高枇杷抗旱性的一种途径。

**关键词:** 枇杷; 多倍体; 生理形态特征; 抗旱性; 隶属函数法

中图分类号:S667.3

文献标志码:A

文章编号:1009-9980(2019)08-0968-12

## A preliminary study on leaf characteristics and drought resistance of polyploid and diploid loquat

WEN Guo, SUN Haopu, DANG Jiangbo, JIANG Pengfei, WANG Jinying, YANG Yao, GUO Qigao, LIANG Guolu\*

(College of Horticulture and Landscape Architecture; Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Horticulture Science for Southern Mountains Regions of Ministry of Education; Southwest University, Beibei, Chongqing 400715, China)

**Abstract:**【Objective】Polyploid plants have many specific traits, and some of the traits can be used as auxiliary indexes for ploidy identification. Polyploid individuals have strong tolerance for water deficiency. Loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.) is very sensitive to drought conditions. So far polyploid loquat with strong drought resistance has not been reported. In the present study, the physiological and morphological characteristics of leaves and the resistance to drought of loquats with different ploidy were studied in order to provide a broader basis for improving drought resistance of loquat.【Methods】To explore the physiological and morphological characteristics and drought resistance of loquat leaves with different ploidy, 18 accessions with different ploidy were studied. The leaf morpholog of different materials were compared the using conventional paraffin sections. Then, they were subjected to high temperature and drought (40℃, extremely high temperatures that often occurs in Chongqing). We compare their rate of water loss (RWL) by measuring the mass variation per hour. In addition, the nutritional

收稿日期:2019-03-14

接受日期:2019-05-04

基金项目:国家自然科学基金(31701876);重庆市科委重点研发项目(cstc2018jscx-mszdX0054);重庆市科委基础科学与前沿技术研究(一般)(cstc2017jcyjAX0433);西南大学中央高校基本科研业务费团队项目(XDKJ2019AA001)

作者简介:温国,男,在读硕士研究生,研究方向:果树遗传育种。Tel:13308346585,E-mail:guowen2020@126.com

\*通信作者 Author for correspondence. E-mail:lianggl@swu.edu.cn

elements were determined using Zeeman Atomic AA240Z. The nitrogen (N) content was determined by kjeldahl method. The concentrations of phosphorus (P), kalium (K), ferritin (Fe) were measured by atomic absorption spectrometry. Moreover, the chlorophyll (Chl) content in the leaves were measured. The measured indexes included the Chlorophyll a (Chl. a), chlorophyll b (Chl. b) and total chlorophyll content Chl. (a+b). We calculated the means and standard deviations of these data. Base on the leaf morphology and RWL of 18 different ploidy loquat varieties, analysis of membership function were carried out and a drought resistance evaluation model of different ploidy loquat varieties was established. 【Results】The leaf length and width of loquat were positively correlated with the ploidy ( $p < 0.01$ ), and leaf shape index was negatively correlated with the ploidy ( $p < 0.01$ ). The order of 10 indexes of leaf anatomical structure and ploidy correlation degree of loquat leaves was as follows: lower epidermis, upper stratum corneum, sponge tissue, spongy ratio (SR), leaf thickness, cell tense ratio (CTR), lower stratum corneum, palisade tissue, the number of cell layers in palisade tissue and upper epidermis. Among them, upper stratum corneum, lower stratum corneum and CTR were negatively correlated with the ploidy. The sponge tissue thickness and palisade cell layers of loquat leaf in 4 series were positively correlated with the ploidy. In H series and K series, loquat palisade tissue and leaf thickness were positively correlated with the ploidy, and both palisade tissue and leaf thickness of the tetraploid were larger than those of the diploid ( $p < 0.05$ ). After 6 hours of drought treatment at 40 °C, RWL of A series, H series and K series were negatively correlated with the ploidy, and it was negatively and significantly correlated the ploidy after 24 hours ( $p < 0.05$ ). The correlation degrees of the contents of N, P, K, Fe, Chl. a, Chl. b and Chl. (a+b) content with the ploidy were as follows: N, K, P, Chl. b, Chl. (a+b), Fe, Chl. a. Among them, N, P and K were negatively related to the ploidy. The N, P, K and Fe of loquat leave with different ploidy were irregular. In addition, except for 'B352', 'B431', 'B460', '4X (2)', '4X (3)' in B series, the three chlorophyll content indexes of loquat leaves in 4 series were positively associated with the ploidy. These physiological indexes might contribute to the identification of the ploidy of loquat. Among these indicators, leaf anatomical structure and RWL could evaluate the drought resistance of loquat. When the analysis of membership function of drought resistance was conducted by referring to leaf anatomical structure and RWL, the order of the comprehensive evaluation of the 18 materials was '4X(2)'(4x) > 'H324'(3x) > 'B431'(4x) > 'B350'(3x) > 'K4'(4x) > 'Ruantiaobaisha'(2x) > 'Longquan No.1'(2x) > 'A313'(3x) > 'H424'(4x) > '4X(3)'(4x) > 'B456'(4x) > 'A322'(3x) > 'B353'(3x) > 'Dawuxing'(2x) > 'B352'(3x) > 'K3'(3x) > 'K2'(2x). 【Conclusion】The results suggest that the polyploid loquat may have some unique physiological and morphological indexes, such as leaf length and width, leaf shape index, leaf anatomical structure, RWL, Chl content. These indexes of loquat leaves could be used as reference indexes for loquat ploidy identification. Eight polyploid loquat materials with strong drought resistance could be used for further study on drought resistance. Meanwhile, it seems to be possible that the drought-resistance characteristics of polyploid loquat is partially dependent on its higher leaf thickness, cell layer number of palisade tissue, palisade tissue thickness and sponge tissue thickness.

**Key words:** Loquat; Polyploid; Physiological and morphological characteristics; Drought resistance; Subordinate function

枇杷(*Eriobotrya japonica* Lindl.)属于蔷薇科枇杷属植物,是我国南方的主要果树之一。近年来,枇杷已成为重庆第二大常绿果树,将枇杷的生物学特性与重庆枇杷产区气候因素相关联很有必要<sup>[1]</sup>。全

球变暖加剧了高温干旱气象灾害发生频率<sup>[2]</sup>,20世纪90年代开始重庆地区极端高温波动较大,40 °C以上的高温日数逐渐增加,年降水量和降水日数均呈减少趋势<sup>[3]</sup>。由于其自然条件制约,发展水利灌溉

设施潜力有限,筛选抗旱性强的枇杷株系是解决干旱缺水问题的有效途径。而多倍体植株与起源植株比较,一般茎更粗壮、叶片变大变厚、内含物更多、抗逆性更强等<sup>[4]</sup>。多数三倍体枇杷叶片厚度和栅栏组织厚度比对应二倍体有不同程度增大,可能提高其抗旱能力<sup>[5]</sup>。因此研究三倍体、四倍体枇杷生理形态特征差异可为鉴定选育抗旱型多倍体枇杷提供参考。

中国枇杷种质资源丰富。近年来,对枇杷抗逆性方面的研究主要集中在耐寒或抗病等逆境因子方面<sup>[6-7]</sup>,对于枇杷叶片抗旱性研究相对较少。植物叶片生理形态特征与生态因子密切相关<sup>[8]</sup>,是园艺植物种质资源鉴定的重要依据。目前关于叶片解剖结构、失水率(RWL)与抗旱性的关联研究多见于单一倍性不同材料的比较<sup>[9-12]</sup>,还未见多系列不同倍性材料的比较研究。植株抗逆性比较中,多倍体植株较二倍体植株有明显增强。许多培育出来的多倍体植株因具有良好的抗干旱、抗病虫害、耐盐碱、耐瘠薄等特性而被推广种植。例如小麦<sup>[13]</sup>、大豆<sup>[14]</sup>、烟草<sup>[15]</sup>等植物的多倍体类型均具有比未加倍的材料更强的抗逆性。多倍体植物可以通过调整细胞大小和结构、营养成分、次生代谢物质、内源激素等的变化增强其抗逆性<sup>[16]</sup>。

笔者在本研究中选定枇杷‘77-1’(K)、‘龙泉1号’(B)、‘大五星’(A)和‘软条白沙’(H)系列的多倍体与二倍体株系,测量其叶片长宽、厚度,观察其叶片解剖结构,通过培养箱模拟高温下干旱条件测定各枇杷材料叶片的失水率,测定叶片叶绿素、N、P、K、Fe含量,并对4个系列枇杷叶片抗旱性进行综合评价,为抗旱性枇杷资源特别是多倍体资源的筛选和鉴定提供参考。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

试验材料来源于重庆市北碚区歇马镇西南大学园艺园林学院枇杷资源圃。歇马镇位于北纬29°46'东经106°22',最高气温44.3℃。最低气温-3.1℃,年平均气温18.2℃。年均降水量1 133.5 mm,夏季平均降水量为499.0 mm。

以同一果园露地栽培的4个系列18个不同倍性枇杷材料为试材,树龄9 a(年)左右,树势生长良好,栽培管理方式一致。研究所选择的枇杷材料如下:

‘大五星’(A)系列:二倍体:‘大五星’;三倍体:‘A322’、‘A313’。‘龙泉1号’(B)系列:二倍体:‘龙泉1号’;三倍体:‘B353’、‘B352’、‘B350’;四倍体:‘B431’、‘B456’、‘B460’、‘4X(2)’、‘4X(3)’。‘软条白沙’(H)系列:二倍体:‘软条白沙’;三倍体:‘H324’;四倍体:‘H424’。‘77-1(K)’系列:二倍体:‘K2’;三倍体:‘K3’;四倍体‘K4’。每个材料选3株,在春梢叶片成熟后调查叶片长宽等指标。

### 1.2 叶片解剖结构观察

各枇杷材料取5枚春梢成熟叶片进行石蜡切片,每叶切取靠近中段近中脉两侧处0.5 cm<sup>2</sup>正方形小块若干,置于FAA固定液中固定24 h,常规石蜡切片方法进行切片,都采用番红—固绿对染方法,叶经过脱水、透明、浸蜡、包埋、修蜡、切片、脱蜡、染色、封片等步骤制成永久制片,具体参照伊稍等<sup>[17]</sup>的方法。在Olympus荧光显微镜下观测各枇杷材料叶片厚度、栅栏组织厚度、海绵组织厚度、上下角质层厚度和上下表皮细胞厚度等参数,每个叶片观察10个视野,每个视野读取3个观察值,每项计算其平均数及偏差,叶片组织细胞结构紧密度(CTR)和叶片组织细胞结构疏松度(SR)按下面公式计算:

$$\text{紧密度} / \% = \text{栅栏组织厚度} / \text{叶片厚度} \times 100; \quad (1)$$

$$\text{疏松度} / \% = \text{海绵组织厚度} / \text{叶片厚度} \times 100. \quad (2)$$

### 1.3 叶片失水率测定

叶片失水率测定参考Bo等<sup>[12]</sup>的方法,各枇杷材料取5枚春梢成熟叶片同叶柄整体摘下,叶柄伤口封口膜密封。在40℃培养箱干燥,每隔1 h用电子天平称质量,至基本恒重后烘干,计算不同离体时间叶片累积失水量占总含水量的百分比。

### 1.4 叶片N、P、K、Fe含量和叶绿素含量测定

氮含量测定使用凯氏定氮法,P测定使用钒钼黄吸光光度法,K测定使用火焰光度法,Fe测定使用原子吸收分光光度法,叶绿素相关指标使用丙酮比色法,具体参照果树营养诊断法<sup>[18]</sup>。

### 1.5 实验数据的处理

利用SPSS19.0软件的方差分析和邓肯氏多重比较方法进行统计分析和相关性分析(Pearson法)。

利用隶属函数法<sup>[19]</sup>对枇杷叶片各项指标测定值进行抗旱性综合评价,计算公式如下:

$$\text{正相关 } U(X_i) = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min});$$

$$\text{负相关 } U(X_i) = 1 - (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}).$$

其中:U(X)为隶属函数值,X<sub>i</sub>为指标测定值,

$X_{\max}$ 、 $X_{\min}$ 分别为所有参试植物材料叶片某一指标的最大值和最小值。

## 2 结果与分析

### 2.1 4个系列多倍体与二倍体枇杷叶片长宽比较

多倍体与二倍体枇杷叶片均呈椭圆形或倒卵形,先端尖,基部楔形,4个系列枇杷叶片长、宽及叶形指数测量结果见表1。

叶片形态测量结果显示(表1),A系列三倍体枇杷叶长大于二倍体,差异不显著,叶宽显著大于二倍体( $p < 0.05$ ),B、H、K系列枇杷叶片长宽比较均显示:三倍体、四倍体>二倍体,差异显著( $p < 0.05$ )。

4个系列枇杷的倍性与其叶片形态相关性分析显示(表2):枇杷叶片长度、宽度与倍性极显著正相关( $p < 0.01$ ),叶形指数与倍性极显著负相关( $p < 0.01$ )。结果表明,枇杷叶片长度、宽度及叶形指数

表1 4个系列枇杷叶片长、宽、叶形指数比较

Table 1 Comparison of leaf length, width and leaf shape index of four series loquat leaves

系列 Series	优株 Materials	倍性 Ploidy	叶长 Leaf length/cm	叶宽 Leaf width/cm	叶形指数 Leaf shape index	缩写 Acronym
A 系列 A series	大五星 Dawuxing	2x	27.32±1.36 a	9.34±1.25 b	2.96±0.30 a	SC-DWX
	A313	3x	27.84±1.13 a	10.22±0.99 ab	2.74±0.16 ab	
	A322	3x	29.16±1.34 a	11.36±1.04 a	2.58±0.18 b	
B 系列 B series	龙泉1号 Longquan No.1	2x	24.76±1.47 d	8.34±1.06 f	2.99±0.23 ab	SC-LQ1
	B350	3x	35.96±3.19 ab	13.12±1.19 bcd	2.46±0.28 de	
	B352	3x	34.24±1.79 abc	11.06±0.63 b	3.10±0.22 a	
	B353	3x	37.36±2.51 a	15.34±1.71 a	2.75±0.21 bcd	
	B431	4x	33.86±3.09 abc	14.26±1.41 ab	2.62±0.20 cde	
	B456	4x	33.58±2.13 abc	13.74±0.36 bc	2.45±0.17 de	
	B460	4x	31.34±1.57 b	12.04±1.47 de	2.38±0.10 e	
	4X (2)	4x	32.52±2.05 bc	12.54±0.96 cde	2.60±0.39 cde	
	4X (3)	4x	34.90±1.61 abc	12.46±0.92 cde	2.81±0.14 abc	
H 系列 H series	软条白沙 Ruantiaobaisha	2x	23.00±2.51 b	8.16±1.29 b	2.85±0.27 a	ZJ-RTBS
	H324	3x	30.90±1.67 a	10.54±1.03 a	2.94±0.19 a	
	H424	4x	31.08±3.49 a	10.80±0.83 a	2.87±0.15 a	
K 系列 K series	K2	2x	25.56±2.22 c	7.92±1.03 c	3.25±0.23 a	SC-K
	K3	3x	33.34±2.12 b	11.96±1.01 b	2.79±0.08 b	
	K4	4x	37.00±2.34 a	13.98±1.88 a	2.67±0.23 b	

注:前两个大写字母表示中国省份:浙江 ZJ、四川 SC,后两个大写字母是材料名缩略语<sup>[20]</sup>,表中测定数据均为5次重复测定的平均值±标准差,通过邓肯氏多重比较方法比较同一系列不同倍性材料的差异,不同小写字母表示在5%水平差异显著。下同。

Note: The first two capital letters indicate the original provinces in China; ZJ Zhejiang and SC Sichuan. This is followed by the acronym for the accession<sup>[20]</sup>. The measured data in the table were mean values of 5 times, and the different ploidy materials in the same series were compared by Dun-can's multiple comparison method. and the different lowercase letters showed significant difference at the 5% level. The same below.

表2 4个系列枇杷叶片形态与倍性的关联度分析

Table 2 Correlation analysis of leaf morphology and ploidy in four series loquat

叶片形态 Leaf morphology	叶长 Leaf length/cm	叶宽 Leaf width/cm	叶形指数 Leaf shape index
与倍性相关性 The degree of ploidy correlation	0.699**	0.740**	-0.628**

注:表中相关性数据均通过Pearson法进行相关分析,\*\*: $p < 0.01$ 。

Note: The correlation data in the table were analyzed by Pearson method,\*\*: $p < 0.01$ .

随倍性增加呈规律性变化。

### 2.2 4个系列多倍体与二倍体枇杷叶片解剖结构特

## 征比较

本研究4个系列枇杷叶片均为典型异面叶,叶主脉突出明显,叶片组织结构皆分为上角质层、上表皮细胞、栅栏组织、海绵组织、下表皮细胞、下角质层6个部分。栅栏组织、海绵组织明显分化。栅栏组织由多层柱状细胞组成,每层细胞排列整齐、紧密,近等长。海绵组织是由排列疏松的圆形或椭圆形细胞组成。4个系列枇杷叶片显微观察结果见表3。

显微观察叶片横截面结果显示(表3,图1),10项测定指标在各系列多倍体与二倍体枇杷材料间皆存在显著差异,结果如下:各系列多倍体与二倍体枇杷叶片厚度变化较大,最厚‘B350’为508.89 μm,最

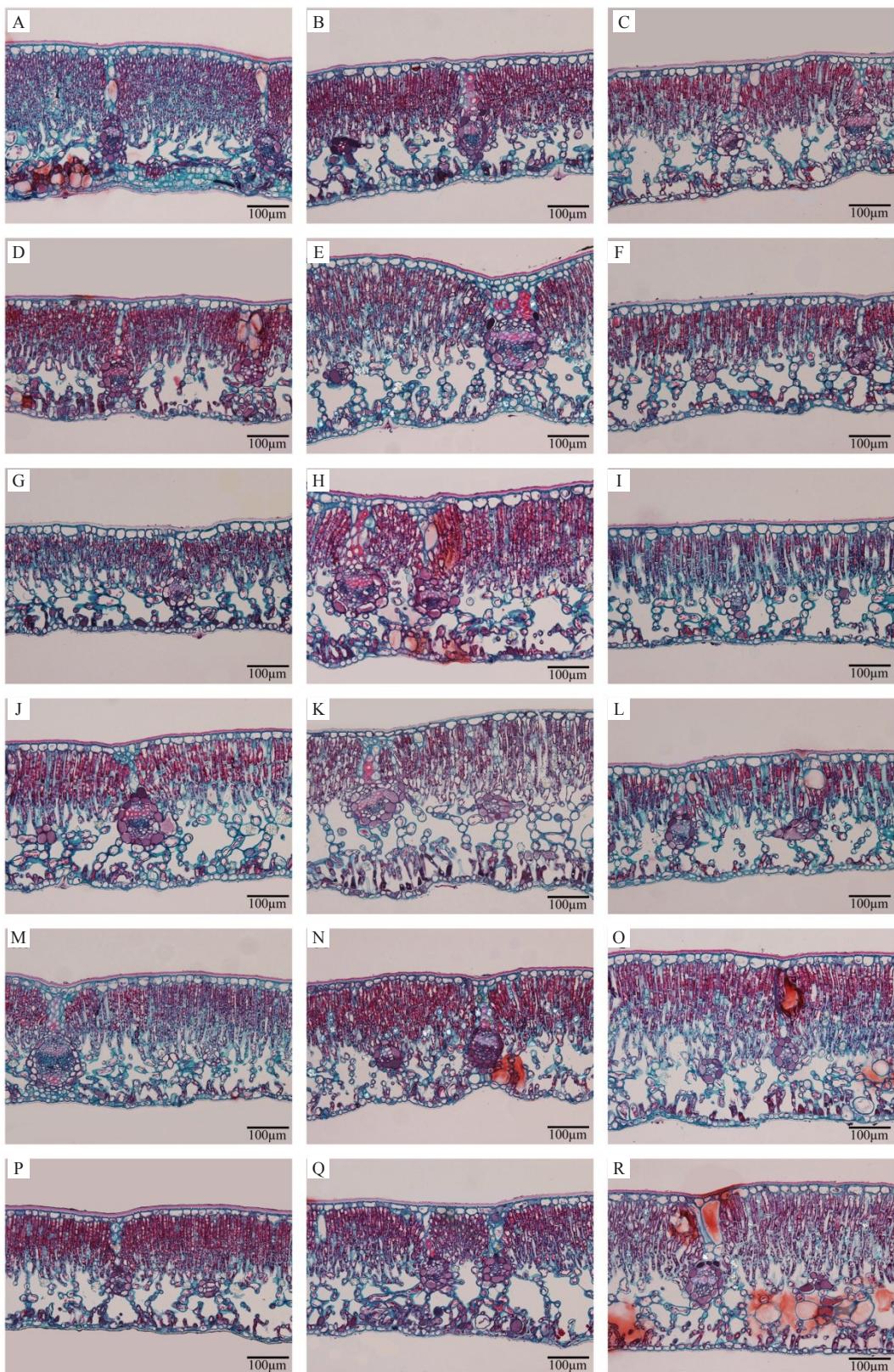
表3 4个系列枇杷叶片解剖结构比较

Table 3 Comparison of anatomical structure of four series loquat leaves

系列 Series	优株 Materials	栅栏组织 细胞层数		厚度 Thickness/ $\mu\text{m}$	上表皮		下表皮		上角质层		下角质层	
		叶片 Leaf	Palisade tissue		Spongy tissue	海绵组织 Spongy tissue	Upper epidermis	Lower epidermis	Upper stratum corneum	Lower stratum corneum	CTR/%	CTR/%
A 系列 A series	大五星 Dawuxing	3~5	372.45±12.88 a	207.36±24.24 a	114.84±22.78 a	21.15±3.65 ab	14.12±2.20 a	9.65±1.07 a	5.32±1.01 a	5.32±1.01 a	55.71	30.79
	A313	3~5	330.01±13.98 b	160.24±6.05 b	118.75±17.89 a	23.76±4.04 a	14.33±1.69 a	8.77±1.18 a	4.17±0.89 a	4.17±0.89 a	48.63	35.88
B 系列 B series	A322	3~5	327.21±5.65 b	147.99±7.93 b	132.82±7.06 a	18.04±1.84 b	14.21±2.22 a	9.78±0.87 a	4.36±0.88 a	4.36±0.88 a	45.22	40.59
	龙泉1号 Longquan No.1	3~4	298.83±15.08 gh	151.41±11.61 c	103.08±19.23 d	18.56±1.18 b	12.37±0.81 d	8.54±1.20 ab	4.87±1.14 ab	4.87±1.14 ab	50.78	34.37
B350	508.89±73.44 a	206.10±12.35 a	254.38±27.64 a	18.56±1.18 b	14.80±1.85 bcd	7.91±0.90 bc	5.28±1.05 a	5.28±1.05 a	41.46	49.05		
	B352	3~5	307.55±12.16 f	136.37±16.91 cd	120.81±27.21 cd	21.27±3.94 ab	16.37±2.79 b	8.76±0.56 ab	3.98±0.77 ab	3.98±0.77 ab	44.50	39.13
B353	279.14±17.86 h	127.93±5.41 d	105.71±17.05 d	19.32±2.02 b	12.87±1.24 cd	8.78±0.94 ab	4.53±1.17 ab	4.53±1.17 ab	45.93	37.70		
	B431	3~5	408.90±21.61 c	211.14±14.34 a	147.29±13.07 bc	21.78±1.77 ab	15.01±2.81 bcd	9.82±0.64 a	3.80±0.85 ab	3.80±0.85 ab	51.66	36.01
B456	335.23±12.91 e	142.56±11.51 cd	145.51±14.41 bc	20.41±2.44 ab	15.94±1.65 bc	7.09±0.95 c	3.71±1.49 b	3.71±1.49 b	42.50	43.40		
	B460	3~4	369.27±6.27 d	167.45±9.32 b	153.50±7.06 b	17.25±1.08 b	19.53±1.58 a	7.17±0.89 c	4.37±1.13 ab	4.37±1.13 ab	45.33	41.58
4X(2)	439.46±24.33 b	173.41±6.89 b	220.74±24.38 a	18.00±1.64 b	15.77±3.21 bc	7.23±1.33 c	4.32±0.78 ab	4.32±0.78 ab	39.60	50.12		
	4X(3)	3~4	306.98±6.86 g	132.47±12.62 d	124.19±12.34 cd	24.80±2.05 a	14.55±2.30 bcd	7.50±0.57 bc	3.48±0.56 b	43.19	40.42	
H 系列 H series	软条白沙 Ruantiaobasha	3~5	314.62±9.69 b	146.66±6.01 b	121.54±14.49 a	21.42±3.97 a	12.79±1.11 b	9.14±1.04 a	3.06±0.18 b	46.66	38.56	
	H324	3~5	324.51±17.45 b	151.26±6.11 b	131.16±21.30 a	16.57±3.58 b	14.36±1.69 ab	7.55±0.98 b	3.61±0.67 b	46.76	40.24	
H424	4~6	413.01±10.47 a	215.89±8.13 a	143.80±14.26 a	23.52±1.33 a	16.04±2.00 a	8.97±1.16 ab	4.80±1.24 a	52.31	34.78		
	K2	3~4	317.31±21.53 b	136.38±11.98 b	134.54±14.88 b	19.30±4.99 a	11.22±2.54 a	11.10±0.50 a	4.77±1.03 a	43.08	42.34	
K3	3~5	330.64±24.34 b	152.84±13.82 a	138.01±7.56 b	16.82±2.02 a	11.50±0.80 a	7.94±0.52 b	3.53±1.00 a	46.27	41.68		
	K4	3~5	368.24±25.41 a	157.40±5.31 a	169.57±20.40 a	16.82±4.21 a	12.47±2.67 a	4.50±1.28 a	42.86	45.94		
与倍性相关性 The degree of ploidy correlation		0.132	0.396	0.185	0.454	0.068	0.586*	-0.582*	-0.205	-0.328	0.405	

注:表中相关性数据均通过 Pearson 法进行相关分析, \*:  $p < 0.05$ 。下同。

Note : The correlation data in the table were analyzed by Pearson method, \*:  $p < 0.05$ . The same below.



A. 大五星;B. A313;C. A322;D. 龙泉 1 号;E. B350;F. B352;G. B353;H. B431;I. B456;J. B460;K. 4X (2);L. 4X (3);M. 软条白沙;N. H324;O. H424;P. K2;Q. K3;R. K4。

A. Dawuxing; B. A313; C. A322; D. Longquan No. 1; E. B350; F. B352; G. B353; H. B431; I. B456; J. B460; K. 4X (2); L. 4X (3); M. Ruantiao-baisha; N. H324; O. H424; P. K2; Q. K3; R. K4.

图 1 4 个系列枇杷叶片横切解剖结构比较

Fig. 1 Comparison of Anatomical structure of four series loquat leaves

薄‘B353’为 $279.14\mu\text{m}$ ,H系列和K系列枇杷叶厚度随倍性增大而增厚,其中四倍体>二倍体,差异显著( $p < 0.05$ )。A系列二倍体枇杷叶片厚度大于多倍体,B系列除‘B353’外,叶片厚度均显示:三倍体、四倍体>二倍体,差异显著( $p < 0.05$ )。4个系列枇杷叶片均具上下角质层,其厚度分化不明显。栅栏组织由3~6层长柱形细胞组成,排列紧密,厚度变化较大,为 $127.93\sim211.14\mu\text{m}$ ,栅栏组织细胞层数均随倍性增大而增多。B系列枇杷栅栏组织厚度显示:‘B350’、‘B431’、‘B460’、‘4X(2)’>‘龙泉1号’,差异显著( $p < 0.05$ )。H系列和K系列枇杷叶片栅栏组织厚度随倍性增大而增厚,其中四倍体>二倍体,差异显著( $p < 0.05$ )。海绵组织细胞形状不规则,排列极为疏松,且形成发达的通气组织,厚度变化较

大,厚度为 $103.08\sim254.38\mu\text{m}$ ,4个系列枇杷叶片海绵组织厚度均随倍性增大而增厚。4个系列枇杷中,CTR最大值和SR最小值同时出现在‘大五星’中,CTR最小值和SR最大值同时出现在‘4X(2)’中。4个系列枇杷10项解剖结构指标与倍性关联度强弱排序依次为:下表皮、上角质层、海绵组织、SR、叶厚、CTR、下角质层、栅栏组织、栅栏组织细胞层数、上表皮,其中CTR与倍性呈负相关,上角质层、下角质层与倍性显著负相关( $p < 0.05$ )。

### 2.3 4个系列多倍体与二倍体枇杷叶片失水率比较

叶片失水率可反映叶片组织抗脱水能力。4个系列枇杷叶片失水率变化见表4。结果显示,在 $40^\circ\text{C}$ 下干旱处理12 h后,A系列、K系列失水率均显示:二倍体>三倍体、四倍体,差异显著( $p < 0.05$ ),

表4 4个系列枇杷叶片失水率比较

Table 4 Comparison of RWL of four series loquat leaves

系列 Series	优株 Materials	1 h	6 h	12 h	18 h	24 h	30 h	36 h	%
A系列 A series	大五星 Dawuxing	15.63±1.61 a	41.45±5.55 a	77.16±10.67 a	91.93±6.42 a	94.41±4.11 a	96.52±2.49 a	98.50±1.22 a	
	A313	12.81±4.12 a	32.37±1.73 b	58.92±2.91 b	76.95±3.99 b	83.39±2.88 b	89.32±3.53 b	96.37±1.94 a	
	A322	12.47±3.23 a	35.35±1.54 ab	71.52±3.43 ab	90.73±1.35 a	93.68±1.19 a	95.84±0.61 a	97.96±0.63 a	
B系列 B series	龙泉1号 Longquan No.1	15.01±0.98 bcde	31.11±2.62 cd	50.12±4.23 e	70.39±7.00 d	87.84±7.38 abc	94.78±2.85 ab	97.46±1.18 ab	
	B350	12.37±1.23 cde	33.86±2.89 bcd	62.62±4.77 cd	82.51±6.64 bc	87.22±4.42 bc	92.89±4.41 abc	97.16±1.99 abc	
	B352	12.12±6.47 cde	38.50±0.93 bc	74.87±6.52 b	88.23±1.17 ab	93.98±0.70 ab	96.17±0.93 a	98.47±0.49 a	
	B353	16.13±1.84 bcd	38.93±6.19 b	65.22±9.26 c	85.93±6.12 abc	93.86±2.86 ab	96.03±2.21 a	97.81±0.69 ab	
	B431	18.27±6.53 bc	37.36±3.91 bc	61.23±2.13 cd	76.98±1.27 cd	83.96±1.07 c	88.35±0.09 cd	95.35±0.23 bc	
	B456	19.31±1.75 b	35.03±0.47 bcd	54.74±1.45 de	72.80±1.58 d	86.06±1.10 c	92.86±0.44 abc	96.72±0.47 abc	
	B460	26.13±4.90 a	57.80±7.73 a	85.84±4.41 a	92.63±2.68 a	95.28±1.26 a	97.53±0.05 a	98.94±0.19 a	
	4X (2)	8.72±0.43 e	27.64±0.60 d	53.07±3.14 de	71.17±4.50 d	80.11±4.70 c	85.02±4.26 d	94.34±1.90 c	
	4X (3)	9.52±0.83 de	31.37±3.01 cd	61.58±7.41 cd	79.64±7.43 bcd	84.02±6.91 c	89.65±5.41 bcd	95.23±3.31 bc	
	H系列 H series	软条白沙 Ruantiaobasha	16.39±2.03 a	35.77±2.22 a	59.12±2.19 a	83.82±4.31 a	94.23±2.46 a	96.35±2.19 a	98.08±2.00 a
K系列 K series	H324	21.06±3.42 a	35.12±3.57 a	50.72±3.67 b	65.98±3.77 b	78.72±3.36 b	88.57±2.99 b	94.62±1.83 b	
	H424	17.45±1.54 a	35.5±2.52 a	56.97±3.47 ab	77.01±3.76 a	88.93±3.65 a	93.84±1.64 a	96.63±0.39 ab	
	K2	16.21±1.55 b	63.93±15.32 a	92.44±6.23 a	97.44±2.43 a	99.53±0.40 a	99.90±0.18 a	100.00±0.00 a	
	K3	18.55±1.14 ab	38.71±3.41 b	61.96±6.73 b	83.42±7.17 ab	93.60±3.78 ab	96.34±1.37 ab	98.56±1.41 ab	
	K4	21.73±1.99 a	37.41±4.14 b	54.4±6.28 b	73.62±9.82 b	87.56±8.69 b	94.32±3.76 b	97.50±1.47 b	
	与倍性相关性 The degree of ploidy correlation	0.162	-0.206	-0.270	-0.368	-0.485*	-0.511*	-0.526*	

H系列‘H324’失水率显著低于‘软条白沙’( $p < 0.05$ ),B系列在 $40^\circ\text{C}$ 下干旱处理24 h后,‘B431’、‘B456’、‘4X(2)’、‘4X(3)’失水率显著低于‘龙泉1号’( $p < 0.05$ )。在 $40^\circ\text{C}$ 下干旱处理6 h后,A系列、H系列、K系列失水率与倍性均呈负相关,在处理24 h后失水率与倍性呈显著负相关( $p < 0.05$ )。

### 2.4 4个系列多倍体与二倍体枇杷叶片营养元素含量及叶绿素含量比较

N、P、K、Fe参与植物光合作用、呼吸作用、渗透调节和保证各种代谢活动的正常进行,叶绿素是植物进行光合作用的重要功能物质。4个系列枇杷叶片N、P、K、Fe含量和叶绿素含量测定结果见表5。

表5 4个系列枇杷叶片营养元素与叶绿素含量比较

Table 5 Comparison of nutrient elements and chlorophyll contents in leaves of four series loquat

系列 Series	优株 Materials	w(营养元素) Nutrient element/(mg·g <sup>-1</sup> )				w(叶绿素) Chlorophyll/(mg·g <sup>-1</sup> )		
		N	P	K	Fe	Chl.a	Chl.b	Chl.(a+b)
A系列 A series	大五星 Dawuxing	16.35±0.79 a	0.85±0.02 b	9.97±0.08 b	0.20±0.01 a	2.87±0.10 c	1.66±0.07 a	4.54±0.09 b
	A313	18.74±0.29 a	1.12±0.03 a	11.51±0.09 a	0.19±0.01 a	3.41±0.15 a	1.90±0.32 a	5.30±0.47 a
	A322	17.45±0.44 a	1.03±0.04 a	10.24±0.12 b	0.15±0.01 b	3.11±0.22 b	1.78±0.14 a	4.89±0.36 ab
B系列 B series	龙泉1号 Longquan No.1	19.71±0.78 a	1.19±0.06 ab	13.84±0.55 a	0.24±0.01 b	2.84±0.26 bcd	1.87±0.04 bcd	4.70±0.30 bc
	B350	19.95±0.66 a	1.12±0.03 b	10.95±0.42 bc	0.25±0.01 b	3.05±0.23 ab	2.12±0.10 a	5.17±0.25 a
	B352	16.50±0.15 bcd	1.00±0.01 c	10.17±0.92 c	0.19±0.01 c	2.71±0.16 de	1.83±0.08 cd	4.54±0.17 cd
	B353	16.97±0.21 bc	0.91±0.03 c	11.58±0.25 b	0.25±0.01 b	2.89±0.09 bc	1.91±0.13 bc	4.80±0.16 bc
	B431	15.77±0.45 d	0.95±0.06 c	10.91±0.15 bc	0.25±0.02 b	3.06±0.19 ab	1.81±0.13 ab	4.87±0.25 b
	B456	17.37±0.24 b	1.23±0.06 a	10.35±0.34 bc	0.17±0.01 c	3.25±0.23 a	1.99±0.12 a	5.24±0.33 a
	B460	16.02±0.59 cd	1.16±0.01 ab	8.02±0.65 d	0.26±0.02 b	2.61±0.12 de	1.76±0.08 d	4.37±0.07 d
	4X(2)	16.49±0.12 bcd	1.00±0.01 c	11.63±0.82 b	0.17±0.01 c	2.53±0.21 e	1.82±0.08 cd	4.35±0.16 d
	4X(3)	16.62±0.34 bcd	0.96±0.05 c	8.72±0.22 d	0.33±0.02 a	2.94±0.12 bc	1.83±0.07 cd	4.77±0.19 bc
H系列 H series	软条白沙 Ruantiaobaisha	19.49±0.03 a	1.26±0.03 a	9.92±0.07 ab	0.24±0.01 a	2.68±0.17 b	1.55±0.15 b	4.24±0.29 c
	H324	15.79±0.05 b	0.73±0.03 b	11.22±0.92 a	0.22±0.01 ab	2.93±0.20 b	1.75±0.10 ab	4.68±0.31 b
	H424	18.36±0.63 a	1.19±0.06 a	8.25±0.44 b	0.21±0.01 b	3.26±0.24 a	1.92±0.19 a	5.18±0.30 a
K系列 K series	K2	17.60±0.06 a	1.29±0.09 a	9.74±0.32 b	0.26±0.02 a	3.88±0.19 a	2.19±0.25 a	6.07±0.31 a
	K3	16.49±0.65 a	0.97±0.01 b	10.86±0.25 a	0.18±0.01 b	3.94±0.14 a	2.33±0.19 a	6.28±0.17 a
	K4	16.37±0.90 a	0.72±0.01 c	9.58±0.18 b	0.25±0.01 a	3.99±0.12 a	2.35±0.12 a	6.34±0.23 a
	与倍性相关性 The degree of ploidy correlation	-0.449	-0.217	-0.395	0.054	0.006	0.165	0.061

4个系列枇杷叶片N、P、K、Fe含量测定结果显示(表5),‘A313’、‘A322’、‘B350’的N含量高于同系列二倍体;‘A313’、‘A322’、‘B456’的P含量显著高于同系列二倍体( $p < 0.05$ );‘A313’、‘H324’、‘K3’的K含量显著高于同系列二倍体( $p < 0.05$ );‘4X(3)’的Fe含量显著高于‘龙泉1号’( $p < 0.05$ )。

4个系列枇杷叶片叶绿素测定结果显示(表5):A系列叶片叶绿素含量均为三倍体>二倍体,其中多倍体与二倍体枇杷材料的叶绿素a与叶绿素总含量均差异显著( $p < 0.05$ ),倍性之间差异显著。B系列中‘B350’、‘B353’、‘B456’的三个叶绿素指标均显著高于同系列二倍体( $p < 0.05$ )。H系列叶片叶绿素含量均为三倍体、四倍体>二倍体,其中叶绿素b与叶绿素总含量为三倍体、四倍体>二倍体,差异显著( $p < 0.05$ )。K系列叶片三个叶绿素指标均为三倍体、四倍体>二倍体,差异不显著。除B系列‘B352’、‘B431’、‘B460’、‘4X(2)’、‘4X(3)’外,4个系列枇杷叶片3个叶绿素指标均随倍性增大而增加,呈上升趋势。

4个系列枇杷叶片N、P、K、Fe、叶绿素含量与倍性关联度强弱排序依次为:N、K、P、叶绿素b、叶绿素(a+b)、Fe、叶绿素a,其中N、P、K含量与倍性呈负相关。

## 2.5 4个系列多倍体与二倍体枇杷叶片抗旱性初步分析

参考解剖结构和RWL指标,利用隶属函数法对18个不同倍性枇杷材料的抗旱性进行综合评价(表6)。

根据表6可知,参考解剖结构进行抗旱评价,软条白沙抗旱性最强,‘B456’抗旱性最弱,抗旱性比较显示:‘B350’、‘B431’、‘K4’大于同系列二倍体;‘大五星’>‘4X(2)’,与前述推测相符。若参考RWL进行抗旱性评价,‘4X(2)’抗旱性最强,‘K2’抗旱性最弱,抗旱性比较显示:‘A313’、‘A322’、‘B431’、‘4X(2)’、‘4X(3)’、‘H324’、‘H424’、‘K3’、‘K4’大于同系列二倍体。对本研究结果的解剖结构和RWL指标进行隶属函数抗旱性综合评价发现,‘A313’、‘A322’、‘B350’、‘B431’、‘4X(2)’、‘H324’、‘K3’、‘K4’抗旱性均强于同系列二倍体。

表 6 4个系列枇杷的2个抗旱性指标评价及综合评价

Table 6 Evaluation and comprehensive evaluation of two drought-resistance indexes of four series loquat

系列 Series	优株 Materials	倍性 Ploidy	解剖结构 Anatomic structure	排序 Rank	失水率 RWL	排序 Rank	隶属函数平均值 Average	排序 Rank
A 系列 A series	大五星 Dawuxing	2x	0.458 7	7	0.356 7	16	0.407 7	14
	A313	3x	0.343 0	13	0.743 7	4	0.543 3	8
	A322	3x	0.369 3	10	0.456 3	12	0.412 8	12
B 系列 B series	龙泉1号 Longquan No.1	2x	0.4140	8	0.679 6	6	0.546 8	7
	B350	3x	0.617 4	3	0.623 2	8	0.620 3	4
	B352	3x	0.336 5	14	0.428 7	15	0.382 6	15
	B353	3x	0.359 8	11	0.456 0	13	0.407 9	13
	B431	4x	0.598 4	4	0.702 5	5	0.650 4	3
	B456	4x	0.251 1	18	0.651 7	7	0.451 4	11
	B460	4x	0.279 6	17	0.146 9	17	0.213 3	18
	4X (2)	4x	0.384 2	9	0.956 9	1	0.670 5	1
	4X (3)	4x	0.297 7	16	0.774 7	3	0.536 2	10
	软条白沙 Ruantiaobaisha	2x	0.664 6	1	0.484 0	11	0.574 3	6
H 系列 H series	H324	3x	0.479 1	5	0.826 1	2	0.652 6	2
	H424	4x	0.462 1	6	0.611 6	9	0.536 9	9
K 系列 K series	K2	2x	0.349 1	12	0.081 4	18	0.215 2	17
	K3	3x	0.299 3	15	0.439 3	14	0.369 3	16
	K4	4x	0.642 5	2	0.575 9	10	0.609 2	5

### 3 讨 论

暴露在自然环境中的植物的各个器官在生长发育过程中,极易受到诸多环境因素变化所带来的影响,植物为了生存必需适应这些影响,也会在生理形态特征方面发生相应变化。叶作为植物光合作用、呼吸作用、蒸腾作用等生理活动的重要器官,其生理形态特征变化除了与遗传有关外,也与其后天生长环境有关。比较分析不同倍性枇杷叶片生理形态特征可为鉴定及选育符合育种目标的多倍体提供参考依据。

染色体倍性增加带来较多性状变化,如器官变大等。四倍体葡萄与二倍体相比表现出明显的巨大性<sup>[21]</sup>。在本研究中,三倍体和四倍体枇杷的叶片长、宽均为三倍体、四倍体>二倍体,差异显著( $p < 0.05$ )。但有研究表明,器官大小与倍性间的关系只在一定范围内较为明显。部分植物在高倍性水平下,其器官也会变小。这种高倍性器官变小现象被称为多倍体综合症(high-ploidy syndrome)<sup>[22-23]</sup>。多倍体解剖学解释应从细胞的体积和细胞的数量方面综合考虑。叶片长宽增加导致叶面积增加,这使得叶片与光的接触面积增加。但多倍体表面的气孔密度减少<sup>[24]</sup>。所以,多倍体枇杷光合作用是否较二倍

体强还有待进一步研究。同时,叶随倍性增加而变大的因素较多,其中激素的影响较为重要,后续将加强不同倍性枇杷激素代谢的研究,以进一步明确多倍体枇杷大叶的机制。

多倍体枇杷栅栏组织细胞层数多导致其厚度增加,上表皮细胞大导致上表皮厚,这可能会提高其抗旱能力。本研究结果显示,叶片厚度、海绵组织厚度、栅栏组织厚度及其细胞层数与倍性之间存在一定规律,其余组织厚度差异不明显,与倍性无明显规律性。这与在其他植物中的研究结果相近似。正如前述,植物器官的大小与细胞大小和数量有一定关系。其在栅栏组织中表现较为明显,随倍性增加,栅栏组织细胞层数增加,导致栅栏组织厚度增加。

营养元素是植物所必需的物质,对植物的生长发育有重要的作用。Chao等<sup>[25]</sup>的研究表明,在多个基因型的拟南芥中,四倍体都表现出高K的特点,无论四倍体作为砧木还是接穗,植株叶片中的K含量都较二倍体高。这说明,多倍体对钾的利用率较高。不同倍性葡萄主要矿质元素含量的测定结果显示,N元素在四倍体中的含量显著高于二倍体,并在多个株系中表现一致,而P、K、Ca、Mg含量则无显著差异<sup>[26]</sup>。对虎尔草属植物 *Chloris gayana* 的研究表明,四倍体中N、K、Ca、Mg含量较高,但Na、B的含

量较低,P、Cu、Al含量则无明显差异,S、Zn、Fe含量变化则没有明显规律<sup>[27]</sup>。而在烟草属植物 *Nicotiana alata* 中,不同施肥水平下,四倍体的N、P含量较二倍体高<sup>[28]</sup>。在本研究中二倍体与多倍体的N、P、K、Fe含量未发现明显规律性。因此,不同植物中,不同倍性材料矿质元素含量变化规律并不相同,大部分元素含量变化缺乏规律。

倍性对叶绿素含量的影响在众多植物中已经得到研究,如不同倍性的西瓜和小型西瓜有类似的表现<sup>[29-30]</sup>,四倍体葡萄的叶绿素含量也较二倍体高<sup>[21]</sup>,对甜菜叶绿素含量进行测定的结果发现,四倍体含量明显高于二倍体<sup>[31]</sup>,而二倍体白菜和四倍体白菜间的叶绿素含量差异并不显著<sup>[32]</sup>。可见,在大多数植物中,叶绿素含量随倍性的增加而增加,但也有植物在不同倍性材料间差异不明显。本研究中枇杷叶片叶绿素含量有相同趋势变化,即总体看来,二倍体、三倍体、四倍体叶绿素含量依次增加,个别系列的差异不明显。

多倍体植物往往表现出对干旱胁迫有较强的抗性<sup>[33-34]</sup>。研究表明,叶片厚度、角质层厚度、表皮厚度、叶片栅栏组织厚度、CTR<sup>[12]</sup>与抗旱性呈正相关;海绵组织厚度、SR、RWL<sup>[12]</sup>与抗旱性呈负相关。叶片解剖结构相关指标可作为筛选耐旱性较强枇杷材料的依据<sup>[35]</sup>。经对抗旱能力强的枇杷叶片的解剖结构进行分析的结果表明,栅栏组织紧密且细胞层数多、叶片厚等是抗旱性强的多倍体枇杷材料的主要特征。叶片失水率也可作为一种简便直观评价植物抗旱性的生理指标<sup>[12]</sup>,本研究中,在40℃下干旱处理6 h后,A系列、H系列、K系列失水率与倍性均呈负相关。在40℃下干旱处理24 h后,A系列、H系列、K系列及B系列中‘B431’、‘4X(2)’、‘4X(3)’的失水率均显著低于同系列二倍体材料( $p < 0.05$ )。14个多倍体枇杷材料中,9个多倍体材料失水率显著低于同系列二倍体,失水率越低,抗失水能力越强,抗旱性越强。

隶属函数法是根据模糊数学原理,采用隶属函数进行综合评估的一种有效方法<sup>[19]</sup>,目前用该方法评价植物抗旱能力研究的植物有小麦、扁桃以及各种抗旱灌木等<sup>[36-39]</sup>,笔者采用模糊数学中的隶属函数法,将枇杷叶片解剖结构和叶片失水率指标的平均值换成隶属函数值,再求各函数值的平均隶属度,根据隶属度的大小评价抗旱能力。这种综合性的评价

方法使评定结果更全面地反映枇杷的实际抗旱能力。枇杷抗旱性强弱是多种因素共同作用的结果。叶片形态结构和RWL只能作为评价抗旱能力的参考值,并不能作为决定值。研究结果显示,叶片解剖结构和RWL指标中均存在大于二倍体的多倍体材料,参考叶片解剖结构和RWL指标进行抗旱性综合评价,‘A313’、‘A322’、‘B350’、‘B431’、‘4X(2)’、‘H324’、‘K3’、‘K4’抗旱性均强于同系列二倍体。‘B350’、‘B431’、‘4X(2)’、‘H324’、‘K3’、‘K4’的叶片厚度、栅栏组织细胞层数、栅栏组织厚度、海绵组织厚度均大于同系列二倍体,推测多倍体枇杷的抗旱特性可能与较高的叶片厚度、栅栏组织细胞层数、栅栏组织厚度、海绵组织厚度有关。此外,这4个系列均存在抗旱性强于二倍体的多倍体材料。染色体加倍可作为提高枇杷抗旱能力的一种途径,对染色体加倍可能导致抗旱能力增强的机制还有待进一步研究。

## 4 结 论

枇杷叶片生理形态指标与倍性息息相关,多倍体枇杷较二倍体枇杷叶片更大更厚、叶绿素含量更高、抗旱性更强,和营养元素变化不明显。叶片形态解剖结构、RWL、Chl均可作为枇杷倍性鉴定参考指标。抗旱性评价中的8个抗旱性强的多倍体枇杷材料可用于进一步抗旱性研究。

## 参考文献 References:

- [1] 王武,秦国伦.重庆市枇杷生产现状及探讨[J].中国果业信息,2009,26 (2): 11-12.  
WANG Wu, QIN Guolun. Present situation and discussion of loquat production in Chongqing[J]. China Fruit News, 2009, 26 (2): 11-12.
- [2] 邓振镛,张强,倾继祖,徐金芳,黄蕾诺,张树誉.气候暖干化对中国北方干热风的影响[J].冰川冻土,2009,31(4):664-671..  
DENG Zhenyong, ZHANG Qiang, QING Jizhu, XU Jinfang, HUANG Leinuo, ZHANG Shuyu. Impact of climate warming and drying on hot-arid wind in Northern China[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2009, 31 (4): 664-671.
- [3] 陈欢.重庆气候变化基本特征与极端气候事件的研究[D].兰州:兰州大学,2011.  
CHEN Huan. Primary character of climate change and the research on extreme weather-climate events in Chongqing[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2011.
- [4] 郭启高,宋明,梁国鲁.植物多倍体诱导育种研究进展[J].生物学通报,2000,35 (2): 8-10.

- GUO Qigao, SONG Ming, LIANG Guolu. Advances in plant polyploid induction breeding[J]. *Bulletin of Biology*, 2000, 35 (2): 8-10.
- [5] 梁国鲁,宋明,梁国鲁.天然三倍体枇杷叶片解剖结构观察[C].全国枇杷学术年会,2007.
- LIANG Guolu, WANG Weixing, XIANG Suqiong, GUO Qigao, LI Xiaolin. Observation on anatomical structure of natural triploid loquat leaves[C]. National Loquat Academic Annual Meeting, 2007.
- [6] 李泽坤,周婷.枇杷育种研究进展[J].现代园艺,2013(1): 6-9. LI Zekun, ZHOU Ting. Research progress of loquat breeding[J]. *Modern Horticulture*, 2013(1): 6-9.
- [7] 王化坤,钱剑林,杨忠星,储春荣,李浩宇,周建锋,邵红丽,周晓明.抗寒优质白肉枇杷新品种‘冬玉’的选育[J].果树学报,2016,33(11):1464-1467.
- WANG Huakun, QIAN Jianlin, YANG Zhongxing, CHU Chunrong, LI Haoyu, ZHOU Jianfeng, QIE Hongli, ZHOU Xiaoming. Breeding of a new cold-resistant and high quality white pulp loquat cultivar ‘Dongyu’ [J]. *Journal of Fruit Science*, 2016, 33(11):1464-1467.
- [8] CHECHOWITZ N, CHAPPELL D M, GUTTMAN S I, WEIGT L A. Morphological, electrophoretic, and ecological analysis of *Quercus macrocarpa* populations in the Black Hills of South Dakota and Wyoming[J]. *Canadian Journal of Botany*, 1990, 68 (10): 2185-2194.
- [9] 吴丽君,李志辉,杨模华,王佩兰.赤皮青冈幼苗叶片解剖结构对干旱胁迫的响应[J].应用生态学报,2015,26 (12): 3619-3626.
- WU Lijun, LI Zhihui, YANG Mohua, WANG Peilan. Response of leaf anatomical characteristics of *Cyclobalanopsis gilva* seedlings to drought stress[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2015, 26 (12): 3619-3626.
- [10] GRISAFI F, BONAFEDE E, VECCHIA F D, RASCIO N. Some morphological, anatomical, physiological responses of different olive cultivars to high temperatures and drought stress[J]. *Acta Botanica Gallica*, 2004, 151 (3): 241-253.
- [11] WU Y B, HONG W J, CHEN Y H. Leaf physiological and anatomical characteristics of two indicator species in the limestone region of Southern China under drought stress[J]. *Pakistan Journal of Botany*, 2018, 50: 1335-1342.
- [12] BO W, FU B C, QIN G J, XING G M, WANG Y G. Evaluation of drought-resistance in *Iris germanica* L. based on subordination function and principal component analysis[J]. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 2017, 29(10): 770-778.
- [13] YANG C W, ZHAO L, ZHANG H K, YANG Z Z, WANG H, WEN S S, ZHANG C Y, RUSTGI S, VON W D, LIU B. Evolution of physiological responses to salt stress in hexaploid wheat [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2014, 111(32): 11882-11887.
- [14] COATE J E, POWELL A F, OWENS T G, DOYLE J J. Transgressive physiological and transcriptomic responses to light stress in allopolyploid *Glycine dolichocarpa* (*Leguminosae*) [J]. *Heredity*, 2013, 110 (2): 160-170.
- [15] DENG B L, DU W C, LIU C L, SUN W W, TIAN S, DONG H S. Antioxidant response to drought, cold and nutrient stress in two ploidy levels of tobacco plants: low resource requirement confers polytolerance in polyploids? [J]. *Plant Growth Regulation*, 2012, 66 (1): 37-47.
- [16] 朱红菊,刘文革.植物同源多倍体耐盐性研究进展[J].遗传,2018,40 (4): 315-326.
- ZHU Hongju, LIU Wenge. Progress on salt resistance in auto-polyploid plants[J]. *Hereditas*, 2018, 40 (4): 315-326.
- [17] 伊稍.植物解剖学[M].北京:科学出版社,1962.
- YI Shao. *Vegetable anatomy*[M]. Beijing: Science Press, 1962.
- [18] 全月澳,周厚基.果树营养诊断法[M].北京:中国农业出版社,1982.
- TONG Yueao, ZHOU Houji. *Fruit tree nutrition diagnosis*[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1982.
- [19] 谢季坚.模糊数学方法及其应用[M].武汉:华中科技大学出版社,2013.
- XIE Jijian. *Fuzzy mathematical method and its application*[M]. Wuhan: Huazhong University of Science & Technology Press, 2013.
- [20] HE Q, LI X W, LIANG G L, JI K, GUO Q G, YUAN W M, ZHOU G Z, CHEN K S, ERIC V D W W, GAO Z S. Genetic diversity and identity of Chinese loquat cultivars/accessions (*Eriobotrya japonica*) using apple SSR markers[J]. *Plant Molecular Biology Reporter*, 2011, 29(1): 197-208.
- [21] 赵旗峰,张晓萍,黄丽萍,王敏,赵雪辉,马小河.二倍体与四倍体葡萄品种形态特征与若干生理指标比较研究[J].中国农学通报,2018,34 (1): 68-74.
- ZHAO Qifeng, ZHANG Xiaoping, HUANG Liping, WANG Min, ZHAO Xuehui, MA Xiaohe. Morphological characteristics and a few physiological indices of diploid and tetraploid grape cultivars: a comparative study[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2018, 34 (1): 68-74.
- [22] GANEM N J, PELLMAN D. Limiting the proliferation of polyploid cells[J]. *Cell*, 2007, 131 (3): 437-440.
- [23] TSUKAYA H. Controlling size in multicellular organs: Focus on the Leaf[J]. *Plos Biology*, 2008, 6 (7): e174.
- [24] BEAULIEU J M, LEITCH I J, PATEL S, PENDHARKAR A, KNIGHT C A. Genome size is a strong predictor of cell size and stomatal density in angiosperms[J]. *New Phytologist*, 2008, 179 (4): 975-986.
- [25] CHAO D Y, DILKES B, LUO H B, DOUGLAS A, YAKUBOVA E, LAHNER B, SALT D E. Polyploids exhibit higher potassium uptake and salinity tolerance in *Arabidopsis*[J]. *Science*, 2013, 341 (6146): 658-659.
- [26] MOTOSUGI H, YAMAMOTO Y, NARUO T, KITABYASHI H, ISHII T. Comparison of the growth and leaf mineral concen-

- trations between three grapevine rootstocks and their corresponding tetraploids inoculated with an arbuscular mycorrhizal fungus *Gigaspora margarita*[J]. *Vitis - Geilweilerhof*, 2002, 41 (1): 21-25.
- [27] JONES R J, LOCH D S, LEFEUVRE R P. Differences in mineral concentration among diploid and tetraploid cultivars of rho-desgrass (*Chloris gayana*) [J]. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 1995, 35 (8): 11-24.
- [28] SH E M, DORRA M D M, EL-HADY E A A A, HIABA A A A, MOHAMED A Y. Comparative studies on diploid and tetraploid levels of *Nicotiana alata*[J]. *Academic Journal of Plant Sciences*, 2009, 2 (3): 182-188.
- [29] 刘文革. 不同染色体倍性西瓜(*Citrullus lanatus*)的遗传变异和抗逆机理研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2003.
- LIU Wenge. Genetic variation and adverse stress resistance mechanism of different ploidy watermelon(*Citrullus lanatus*) [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2003.
- [30] 王镇, 党选民, 詹园凤. 不同倍性小型西瓜主要农艺性状的比较分析[J]. 中国蔬菜, 2010 (2): 51-55.
- WANG Zhen, DANG Xuanmin, ZHAN Yuanfeng. Comparative study on major agronomic characteristics of different ploidy mini-watermelons[J]. *China Vegetables*, 2010 (2): 51-55.
- [31] BEYAZ R, ALIZADEH B, GUREL S, OZCAN S F, YILDIZ M. Sugar beet (*Beta vulgaris* L.) growth at different ploidy levels [J]. *Caryologia*, 2013, 66 (1): 90-95.
- [32] 侯喜林, 徐明宇, 张蜀宁. 白菜不同倍性材料间光合特性差异研究[J]. 园艺学报, 2006, 33 (6): 1338-1340.
- HOU Xilin, XU Mingyu, ZHANG Shuning. Study on differences of photosynthetic characteristics in diploid and tetraploid of non- heading chinese cabbage[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2006, 33 (6): 1338-1340.
- [33] 魏望, 施富超, 王东玮, 彭丽, 葛刚, 孙宝腾. 多倍体植物抗逆性研究进展[J]. 西北植物学报, 2016, 36(4): 846-856.
- WEI Wang, SHI Fuchao, WANG Dongwei, PENG Li, GE Gang, SUN Baoteng. Research progress on stress resistance in polyploidy plants[J]. *Acta Botanica Boreali- Occidentalia Sinica*, 2016, 36(4): 846-856.
- [34] 彭少兵. 树莓、黑莓不同品种抗旱性及开花结实规律的研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2004.
- PENG Shaobing. A study on the drought-resistance of and laws of blossom and fruit of different raspberry and blackberry varieties[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2004.
- [35] BAHRAMI F, ARZANI A, AMINI H. Leaf anatomical characteristics in safflower genotypes as affected by drought stress[J]. *Acta Biologica Szegediensis*, 2013, 57 (1): 39-42.
- [36] CHEN X J, MIN D H, YASIR T A, HU Y G. Evaluation of 14 morphological, yield-related and physiological traits as indicators of drought tolerance in Chinese winter bread wheat revealed by analysis of the membership function value of drought tolerance (MFVD) [J]. *Field Crops Research*, 2012, 137 (3): 195-201.
- [37] 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, JIN Zhaobin, ZHANG Yinglong, GUO Chunhui. Studies on drought-resistance of different regional amygdalus pedunculata pall[J]. *Plant Science Journal*, 2013, 31 (4): 360-369.
- [38] 刘滨, 彭励, 郑丽萍, 任树勇. 宁夏 10 种观赏灌木叶片解剖结构及其抗旱性综合评价[J]. 西北植物学报, 2013, 33(9): 1808-1816.
- LIU Bin, PENG Li, ZHENG Liping, REN Shuyong. Drought-resistance study of 10 major ornamental shrub in Ningxia[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2013, 33 (9): 1808-1816.
- [39] LIU C Y, YANG Z Y, HU Y G. Drought-resistance of wheat alien chromosome addition lines evaluated by membership function value based on multiple traits and drought-resistance index of grain yield[J]. *Field Crops Research*, 2015, 179: 103-112.