

Relationship between Leaf Structure and Drought Resistance of Four Species of North American Begonia

Yanyu Shi¹, Chunxia Wu¹, Ying Zhang¹, Kun Mu²

¹College of Horticulture and Landscape, Tianjin Agricultural University, Tianjin

²Tianjin Yuanda Garden Engineering Co. Ltd., Tianjin

Email: syyzzw @126.com

Received: Mar. 30th, 2020; accepted: May 7th, 2020; published: May 14th, 2020

Abstract

The method of narmed slice is adopted, with namely Winter Red, Ruby, Dancing and Gorgeous as the test materials, through measuring the thickness of epidermis mesophyll thickness, stomata density, stomata size, such as index, analysis of four kinds of the Chinese flowering crabapple blade structure and the relationship between the drought resistance of North America. The results showed that: according to the analysis of the thickness of the upper epidermis, the drought resistance was Gorgeous > Dancing > Winter Red > Ruby. The drought resistance can be obtained from the thickness of the cutin film was Gorgeous > Dancing > Ruby > Winter Red. From stomatal density and stomatal size, it is concluded that Ruby > Winter Red > Dancing > Gorgeous. The conclusion from the compactness of blade structure is as follows: Winter Red > Dancing > Gorgeous > Ruby. Based on the comprehensive analysis of the subordinate function, it is concluded that the drought resistance of four kinds of begonia in North America is: Gorgeous > Dancing > Winter Red > Ruby.

Keywords

North American Begonia, Freehand Section, Anatomical Structure, Drought Resistance

4种北美海棠叶片结构与抗旱性的关系

史滢灏¹, 武春霞¹, 张莹¹, 牟坤²

¹天津农学院园艺园林学院, 天津

²天津市远大园林工程有限公司, 天津

Email: syyzzw @126.com

收稿日期: 2020年3月30日; 录用日期: 2020年5月7日; 发布日期: 2020年5月14日

摘要

本试验以品种即冬红、红宝石、舞美、绚丽4个北美海棠的品种的叶片为试材,采用徒手切片法,旨在筛选适宜于北方绿化的抗旱性品种。通过测量气孔大小、气孔密度、表皮厚度、角质膜厚度、栅栏组织厚度等指标,分析叶片结构与抗旱性的关系。结果显示各项指标从大到小依次是:上表皮厚度为绚丽 > 舞美 > 冬红 > 红宝石;角质膜厚度为绚丽 > 舞美 > 红宝石 > 冬红;气孔密度和气孔大小为红宝石 > 冬红 > 舞美 > 绚丽;栅栏组织结构紧密性为冬红 > 舞美 > 绚丽 > 红宝石。经隶属函数的综合分析4种北美海棠品种的抗旱能力依次为:绚丽 > 舞美 > 冬红 > 红宝石。

关键词

北美海棠, 徒手切片, 解剖结构, 抗旱性

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

北美海棠是蔷薇科(Rosaceae)苹果属(Malus)的落叶小乔木,该类植物观赏特点突出,适应性强,观赏周期长,对环境要求不严格,能耐-30 度低温,全国各地均可引种栽培,是不可多得的园林优秀观赏树种。目前,我国常见的北美海棠有:冬红、道格、钻石、高原之火、火焰、亚当、舞美、王族、绚丽等。为了探究北美海棠叶片结构与抗旱性的关系,我们选择了冬红、红宝石、舞美、绚丽这4个耐寒型,抗病型品种,通过徒手切片的方法对其叶片进行解剖试验,为以后的栽培提供理论依据。

冬红,花期4月中旬,成熟期11月初。果实自7月始,一直挂果到次年4月,冬季也不落果,是北美海棠中果实观赏期最长、颜色变化最复杂的品种。

红宝石,落叶小乔木或灌木,叶色嫩绿富有光泽,花期4~5月,花色艳红,8~9月份为果实成熟期,结紫红色果实,近似球形,是观花、观叶、观果的综合性树种。

舞美,落叶小乔木。新叶红色,老叶绿色,果实青红。原产于北美洲的美国。开花繁密而艳丽,花期4月下旬,果熟期6~12月。舞美的生长快,栽培管理方法简单,繁殖比较容易。它较耐贫瘠,抗寒、抗盐碱能力都较强。

绚丽,为观花落叶小乔木。嫩叶呈紫红色,逐渐变为翠绿色,花粉色,花开繁密而艳丽,花期4月下旬,鲜艳夺目。果实为灯笼形,萼片宿存,结实量大,果期长达数月,直到隆冬。具有抗病、抗旱,耐瘠薄的优良品性。

2. 材料与方法

2.1. 试验材料

冬红、红宝石、舞美、绚丽等北美海棠植物试验材料均取自天津市静海区远大园林苗圃内。供试苗木为8年生植株,株行距为2~4 m,苗圃周年管理方法采用常规管理,管理方法统一。试验地土壤为黏壤土,pH为8.02,含盐量为0.32%,属轻度盐碱地,土壤肥力中等。植株采集外围中部的成熟叶片。

2.2. 试验方法

利用徒手切片法和撕表皮法制作切片[1], 切片可以放置于显微镜(LEICA-DM2000)下面观察并拍照, 标记好材料, 以便分辨种类。

2.3. 数据与计算

1) 4个北美海棠品种, 每个品种随机选10个叶片, 每个叶片选3个视野, 分别测定气孔的数量并取平均值; 每个品种选取中部的10个叶片, 测定上表皮厚度以及角质膜厚度并取平均值; 随机选取叶片中的30个气孔, 测量保卫细胞的长径和短径, 并计算其比值, 测量气孔的大小取平均值, 计算出气孔密度。

气孔密度(个/mm²) = 气孔数量/视野面积。

2) 测量叶肉厚度、栅栏组织厚度及海绵组织的厚度, 并计算出叶片组织结构紧实度等。

叶片组织结构紧实度 = 栅栏组织的厚度/叶片的厚度 × 100%;

所有的数据通过 SPSS 软件进行数据分析。

3) 隶属函数分析方法:

由于本试验是对4个品种的北美海棠抗旱性进行的研究, 单一的指标所得出的结论并不是完全相同的, 所以利用隶属函数法可以对多个指标进行综合分析, 这样能更好的对北美海棠品种抗旱性进行综合性评价, 更具科学性和可靠性[2]。各指标不但具有各自单方面的作用, 更重要的是具有多指标间的相互作用, 必须对这些指标的交互作用加以深入综合分析, 从而提高抗旱鉴定的准确性和可靠性。

$$\text{隶属函数} = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}$$

$$\text{反隶属函数} = 1 - \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}$$

3. 结果与分析

3.1. 4种北美海棠叶片表皮结构特征与抗旱性

叶片的表皮对叶片起到保护作用, 包括表皮细胞、气孔器及表皮毛等附属物。角质层存在于表皮细胞外壁, 起到保护作用, 可以防止水分的过分蒸腾, 有较强的折光性。角质层还有机械支撑作用, 可以保证植物缺水时不会立即萎蔫, 纤维素框架和角质结合部分比较厚, 存在于内部[3]。保护功能与角质膜厚度成正相关, 角质膜越厚, 水分的蒸发量越少, 抗旱效果也就越好[4]。

由表1和图1可以看出, 绚丽的角质膜最厚, 为0.92 μm, 明显厚于冬红和红宝石, 但与舞美差异不显著; 冬红最薄, 为0.72 μm, 与红宝石、舞美差异不显著。从角质膜上可得绚丽的耐旱性较强。

Table 1. Comparison of epidermal structure of 4 kinds of North American begonia

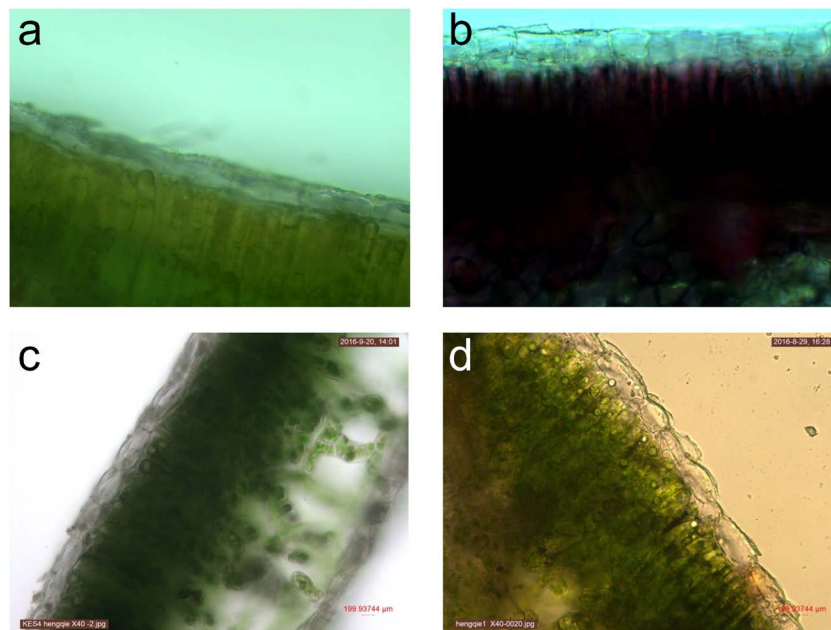
表 1. 4种北美海棠植物表皮结构的比较

表皮结构特征	冬红	红宝石	舞美	绚丽
上表皮厚度(μm)	1.66cC	1.52cC	2.3bB	2.5aA
角质膜厚度(μm)	0.73bB	0.74bB	0.83abAB	0.92aA

注: 数据后同行不同小写字母表示差异显著($p < 0.05$), 不同大写字母表示差异极显著($p < 0.01$)。

由表 1 可以看出, 绚丽的上表皮最厚, 达 $2.5\ \mu\text{m}$; 舞美次之, 为 $2.3\ \mu\text{m}$; 绚丽明显厚于舞美; 冬红略薄, 为 $1.66\ \mu\text{m}$, 明显薄于舞美; 红宝石最薄, 为 $1.52\ \mu\text{m}$ 。绚丽与冬红上表皮不存在明显差异。二氧化碳和水分的吸收利用主要是由表皮厚度决定的, 气孔的开合主要是由叶片表皮的厚度决定的, 表皮越厚, 植物本身的抗旱能力也就越强, 因此其隔热、保水、防损伤的能力越强。从表皮和角质膜厚度进行综合分析, 舞美、绚丽的抗旱性强于冬红与红宝石。

樊红梅[5], 姜帅、居辉、刘勤[6]等研究曾提到, 当植物在不同干旱胁迫强度下, 气孔开张度表现的差异较为明显, 并且气孔开张度与蒸腾作用是正相关的, 当气孔开放的越大, 植物失水就越快, 蒸腾速率越快, 植物就越不抗旱[7]。



(a) 冬红角质膜; (b) 红宝石角质膜; (c) 舞美角质膜; (d) 绚丽角质膜

Figure 1. Horny membrane structure of 4 kinds of North American begonia (10 times)

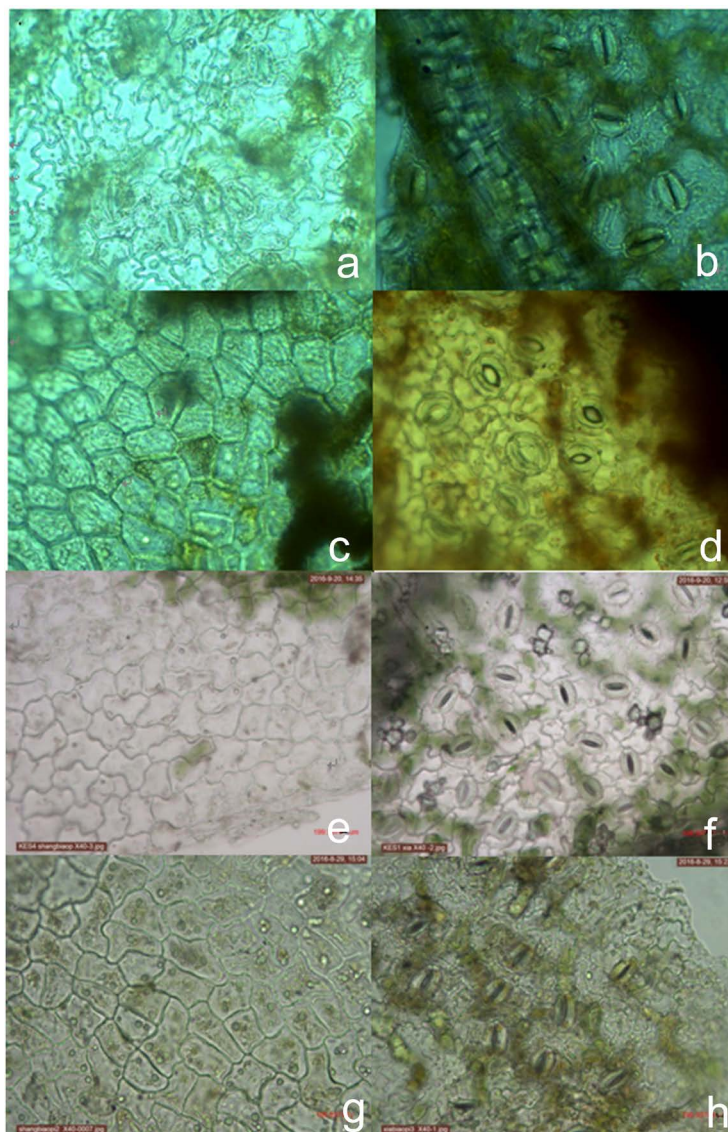
图 1. 4 种北美海棠角质膜结构(10 倍)

由表 2 及图 2 可以看出: 只有冬红叶片的上表皮能观察到极少的气孔。从表 2 中可知: 红宝石气孔最大为 $1.65\ \mu\text{m}^2$, 与舞美、绚丽差异显著, 与冬红之间差异不显著; 舞美的气孔最小, 只有 $1.14\ \mu\text{m}^2$, 与绚丽差异不显著。因此, 红宝石耐旱性较差, 舞美、绚丽耐旱性较强。气孔密度方面: 红宝石密度最大, 为 $178\ \text{个}/\text{mm}^2$, 冬红为 $166\ \text{个}/\text{mm}^2$, 舞美 $141\ \text{个}/\text{mm}^2$, 气孔密度最小的是绚丽, 为 $102\ \text{个}/\text{mm}^2$, 明显小于舞美。叶表皮气孔密度大, 就会抑制叶肉水分蒸腾, 有利于光合作用和气体交换[8], 抗旱性就强。由此得出结论, 抗旱性红宝石和冬红较强。

Table 2. Comparison of stomatal structure of 4 kinds of North American begonia

表 2. 4 种北美海棠植物气孔结构的比较

气孔结构特征	冬红	红宝石	舞美	绚丽
气孔大小(μm^2)	1.12abAB	1.29aA	0.89cB	1.08cB
气孔密度(个/ mm^2)	166aAB	178aA	141bB	102cC



(a) 冬红上表皮; (b) 冬红下表皮; (c) 红宝石上表皮; (d) 红宝石下表皮; (e) 舞美上表皮; (f) 舞美下表皮; (g) 绚丽上表皮; (h) 绚丽下表皮

Figure 2. Leaf epidermal structure of 4 kinds of North American begonia (40 times)
图 2. 4 种北美海棠植物叶片表皮结构(40 倍)

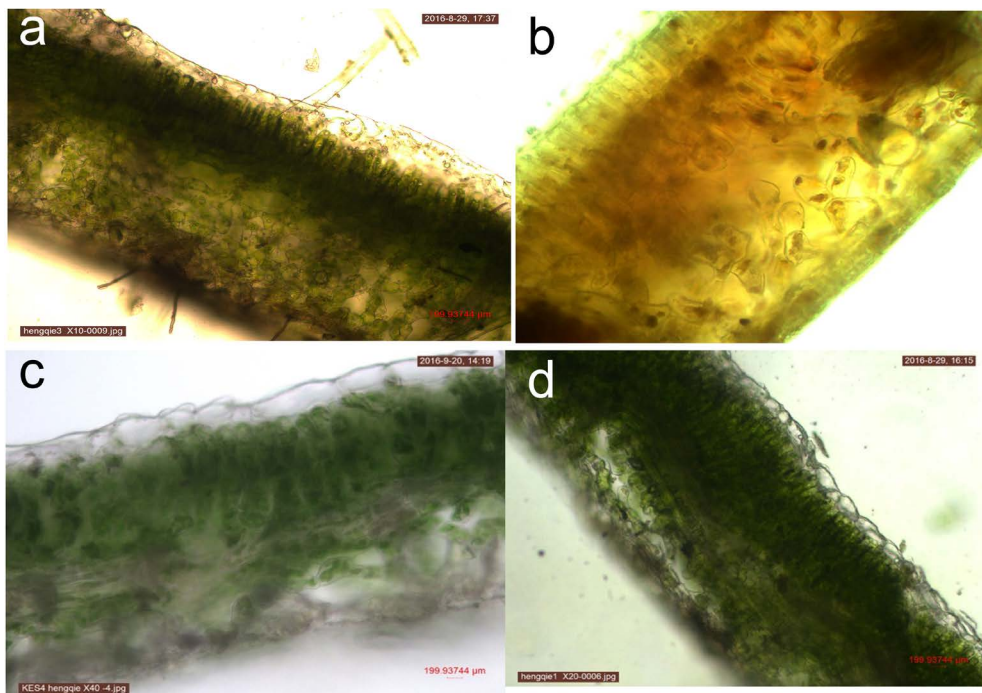
3.2. 4 种北美海棠叶肉特征与抗旱性

叶肉是叶片内进行光合作用的主要部分，也是最重要、最发达的部分。叶肉细胞之间有间隙，构成通气系统，通过表皮上的气孔与外界进行气体交换。叶片是植物长期适应环境的一种表现，因此，叶片是研究植物抗旱性的重要指标，叶片的大小及其厚度都与抗旱性有关[9]。

多数植物的叶肉细胞分化为栅栏组织和海绵组织，栅栏组织靠近上表皮，主要进行光合作用；海绵组织靠近下表皮，主要进行气体交换，也能进行光合作用。由表 3、图 3 可以看出，栅栏组织最厚的是舞美 17 μm ，然后依次是绚丽：16.99 μm 、冬红：16.81 μm 、最薄的是红宝石：7.04 μm ，前三种之间没有明显差异，而红宝石与另外 3 种北美海棠存在显著差异。由此可得舞美、绚丽抗旱性较强，红宝石较弱。

Table 3. Comparison of leaf structure of 4 kinds of North American begonia
表 3. 4 种北美海棠植物叶肉结构的比较

叶肉结构特征	冬红	红宝石	舞美	绚丽
栅栏组织厚度(μm)	16.81aA	7.04bB	17aA	16.99aA
海绵组织厚度(μm)	12.83bB	13.36bB	10.51cC	20.95aA
叶片组织结构紧密(CTR%)	56.3%aA	22.9%Dd	50.3%bB	38.9%cC
栅海比	131%bB	52%dD	162%aA	81%cC



(a) 冬红叶肉结构; (b) 红宝石叶肉结构; (c) 舞美叶肉结构; (d) 绚丽叶肉结构

Figure 3. Leaf structure of 4 kinds of North American begonia (10 times)

图 3. 4 种北美海棠叶肉结构(10 倍)

4 种北美海棠的叶片组织结构紧密度由大到小依次为: 冬红 56.35%, 舞美 50.3%, 绚丽 38.9%, 红宝石 22.9%。耐旱性强的植物一般栅栏组织发达[10]。通过对叶片组织结构紧密度的比较, 得出 4 种北美海棠抗旱性比较结果: 红宝石 > 冬红 > 绚丽 > 舞美。

栅海比是栅栏组织发育程度的一个重要指标, 它是栅栏组织与海绵组织厚度的比值, 该数值越大, 说明栅栏组织越发达。4 个品种的北美海棠栅海比存在极显著的差异。舞美的栅海比最大, 为 162%; 冬红次之, 为 131%; 绚丽更小, 为 81%; 红宝石的栅海比最小, 为 52%。栅海比越大的植物的耐旱性越强。说明: 舞美海棠 > 冬红海棠 > 绚丽海棠 > 红宝石。

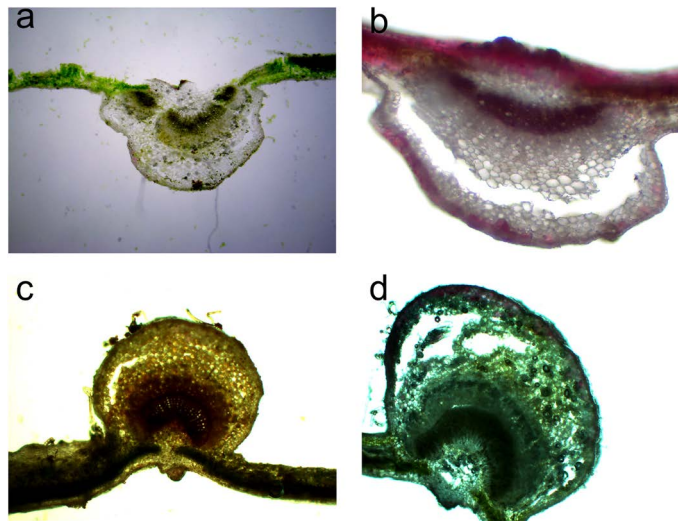
3.3.4 种北美海棠叶脉特征与抗旱性

叶脉具有输导和支持作用, 它分布在叶肉组织中。主脉或侧脉中有一条(或几条)维管束, 其中木质部在上方, 韧皮部在下方, 二者之间有形成层。叶脉不仅可以为叶提供水分和无机盐、输出光合产物, 而且能支撑叶片, 保证叶的生理功能顺利进行。

由表 4、图 4 可以看出，绚丽导管列数最多，有 59 列；每列导管数量最多，有 9 个；导管直径最大，为 0.99 μm 。红宝石导管列数最少，有 36 列，每列 7 个导管，导管直径 0.57 μm 。叶脉中导管的数量越多，直径越大，运输水分的能力就越强，植物的抗旱能力也越强[11]。得出抗旱性结果为：绚丽抗旱性最强，红宝石抗旱性最弱。

Table 4. Comparison of leaf vein structure of 4 kinds of North American begonia
表 4. 4 种北美海棠植物叶脉结构的比较

气孔结构特征	冬红	红宝石	舞美	绚丽
导管列数	37cC	36dD	44bB	59aA
每列导管数量	7Cc	7Cc	8Bb	9Aa
每个导管直径	0.6cC	0.57cC	0.86bB	0.99aA



(a) 冬红叶脉结构；(b) 红宝石叶脉结构；(c) 舞美叶肉结构；(d) 绚丽叶脉结构

Figure 4. Leaf vein structure of 4 North American begonia species (4 times)
图 4. 4 种北美海棠叶脉结构(4 倍)

3.4. 4 种北美海棠叶片结构特征综合分析

抗旱性是一种复杂的生理反应，它包括干旱屏蔽和耐旱性两方面内容，通过干旱屏蔽的方式植物能够抵抗水分胁迫，干旱条件下，植物会出现叶子卷曲的现象，从而减少水分丢失。北美海棠的抗旱性可以通过不同的测定指标进行综合评判。因此，为了对抗旱性进行科学、客观的评价，本研究在对北美海棠进行多个指标测定分析的基础上，利用隶属函数的方法，对所研究的 4 个品种的抗旱性进行了综合性的评价，植物抗旱性的强弱与平均隶属函数值的大小成正相关[12]。

从表 5 隶属函数综合分析来看，4 种北美海棠抗旱性可总结为：绚丽 > 舞美 > 冬红 > 红宝石。

Table 5. Membership function analysis of 4 kinds of North American begonia species
表 5. 4 种北美海棠隶属函数分析

指标	冬红	红宝石	舞美	绚丽
气孔密度	0.158	1.000	0.513	0.000
气孔纵径	0.103	1.000	0.414	0.000

Continued

气孔横径	0.576	0.000	1.000	0.727
气孔面积	0.425	0.000	1.000	0.525
角质层	0.000	0.053	0.526	1.000
上表皮	0.143	0.000	0.796	1.000
栅栏组织	0.981	0.000	1.000	0.999
海绵组织	0.222	0.273	0.000	1.000
叶肉紧密性	1.000	0.000	0.818	0.455
平均值	0.401	0.258	0.674	0.680
排名	3	4	2	1

4. 讨论

植物本身会随着环境的变化而产生相适应的变化, 在干旱条件下生长, 就会对干旱环境产生一定的适应性。为了进一步探究植物的结构与环境的关系, 本次试验主要是对 4 种北美海棠叶片的解剖结构进行分析。

4.1. 角质膜与植物抗旱性的关系

角质膜厚度是反应植物抗旱能力的重要指标之一, 角质膜越厚, 保水能力越强, 蒸腾作用越小, 植物的抗旱性就越强[13]。绚丽的角质膜最厚, 因此绚丽的抗旱性也是最强的。

4.2. 气孔密度与植物抗旱性的关系

气孔是进行气体交换的主要通道, 也是表皮所特有的结构, 它通常存在于地上部分, 如叶表皮、幼茎和花瓣等, 气孔会直接影响植物的蒸腾和光合作用[14]。叶片在形状、厚度以及解剖结构上都存在差异。气孔密度与耐旱性成负相关, 气孔密度越大, 植物蒸腾作用越小, 水分散失的越慢, 因此植物的抗旱性就强[15]。在实际生产过程中, 耐旱性强的绚丽, 在本研究中发现, 气孔密度却是最小的。这很有可能是气孔密度越大, 蒸腾速率越大, 加速了水分和无机盐的运输, 植物生长和发育过程中, 是由根、茎、叶共同作用而成, 并且要判断植物叶片是否抗旱, 还要从栅栏组织厚度、角质层厚度、气孔是否下陷等各个方面进行综合分, 此外还要看根系是否强大、根茎的组织结构及生理效应等[16]。

4.3. 栅栏组织的厚度与植物抗旱性的关系

栅栏组织与植物的抗旱性有着密切的联系, 栅栏组织紧密排列可以减少叶片的蒸腾作用, 植物的保水能力增强。冬红与绚丽的栅栏组织几乎一样厚, 说明冬红和绚丽的抗旱性均较强, 但实际上冬红的抗旱性要弱于绚丽。因此, 对植物的抗旱性研究要综合各个指标, 考虑全面。

5. 结论

冬红和红宝石的表皮厚度的差异与舞美和绚丽是极显著的。表皮最厚的是绚丽, 表皮厚度为 2.5 μm , 红宝石的表皮最薄, 为 1.52 μm 。从上表皮厚度的分析中得出: 绚丽 > 舞美 > 冬红 > 红宝石。

在角质膜厚度方面, 冬红和红宝石亦极显著于舞美和绚丽。角质膜厚度最厚的是绚丽, 为 0.92 μm , 冬红与红宝石角质膜均最薄, 分别为 0.73 μm 、0.74 μm 。从角质膜厚度上可以得出抗旱性比较的结论: 绚丽 > 舞美 > 冬红 > 红宝石。

表皮气孔密度最大的是红宝石, 为 178 个/ mm^2 ; 冬红的气孔密度数次之, 为 166 个/ mm^2 ; 再次, 是

舞美, 为 141 个/mm²; 绚丽的气孔密度最小, 为 102 个/mm²; 4 种北美海棠叶片的表皮气孔大小的观测值比较。红宝石的气孔最大, 为 1.65 μm², 冬红气孔大小为 1.43 μm², 绚丽气孔大小为 1.37 μm², 舞美气孔最小, 为 1.14 μm²。结合上述两点, 可得出抗旱性结论: 红宝石 > 冬红 > 舞美 > 绚丽。

栅栏组织厚度方面, 舞美、绚丽、冬红的栅栏组织厚度几乎没有差异, 但都与红宝石海棠差异显著, 红宝石海棠的栅栏组织最薄, 为 7.04 μm, 所以红宝石海棠的抗旱性最弱。

绚丽和舞美的海绵组织厚度分别与冬红、红宝石差异极显著, 其中绚丽海绵组织最厚, 为 20.95 μm, 舞美海绵组织最薄, 为 10.51 μm。从海绵组织厚度方面可得出结论: 绚丽 > 红宝石 > 冬红 > 舞美。

叶肉紧密度方面, 4 者差异均极显著。冬红叶肉紧密度最高, 为 56%; 舞美次之, 为 50%; 绚丽叶肉紧密性稍差, 为 38%; 最小的是红宝石, 为 23%。分析叶片结构紧密性后得出的结论为: 冬红 > 舞美 > 绚丽 > 红宝石。

不能通过一项指标就决定植物的抗旱性, 应该多方位, 全方面的分析植物的抗旱性指标。因此我们用隶属函数, 综合分析各项可以影响北美海棠抗旱性的指标, 得出一个较为全面、严谨的结果: 绚丽 > 舞美 > 冬红 > 红宝石。

通过上述数据研究表明: 由几个指标得出的结论都是比较类似的。故再综合隶属函数的分析结果得出结论, 4 种北美海棠抗旱强弱顺序依次为: 绚丽 > 舞美 > 冬红 > 红宝石。

基金项目

天津市科委种业科技重大专项, 北美海棠引种、选育、繁殖的研究(17ZXZYNC00070); 天津市林果现代农业产业技术体系创新团队项目(ITTFPRS2018002); 油用牡丹优质种源的规模化繁育与种植项目(17ZXBFNC00310)。

参考文献

- [1] 胡宝清. 模糊理论基础[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2004: 31-34.
- [2] 张大维. 东北桦木科植物解剖结构特征与环境适应机制[M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2007: 117.
- [3] 于海宁. 植物角质膜的结构组成和生物学功能研究进展[J]. 生命科学, 2010, 22(8): 729-735.
- [4] 王怡. 三种抗旱植物叶片解剖结构的对比观察[J]. 四川林业科技, 2003, 24(1): 64-67.
- [5] 樊红梅. 腐植酸对菊花光合特性、叶绿体超微结构和瓶插寿命的影响[D]: [硕士学位论文]. 泰安: 山东农业大学, 2015.
- [6] 姜帅, 居辉, 刘勤. CO₂ 浓度升高对作物生理影响研究进展[J]. 中国农学通报, 2013, 29(18): 11-15.
- [7] 杜华栋, 徐翠红, 刘萍. 陕北黄土高原优势植物叶片解剖结构的生态适应性[J]. 西北植物学报, 2010, 30(2): 293-300.
- [8] 赵丽娟. 湖南安息香属植物的叶片比较解剖学研究[J]. 植物研究, 2014, 24(3): 495-503.
- [9] 刘艳芳. 贡嘎山阔叶木本植物叶片解剖结构特征及其环境适应研究[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 西南大学.
- [10] Hu, B.L., Yang, P., Wan, Y., *et al.* (2011) Genetic Analysis on Characteristics to Measure Drought Resistance Using Dongxiang Wild Rice (*Oryza rufipogon* Griff.) and Its Derived Backcross Inbred Lines Population at Seedling Stage. *Agricultural Sciences in China*, **10**, 1653-1664. [https://doi.org/10.1016/S1671-2927\(11\)60164-8](https://doi.org/10.1016/S1671-2927(11)60164-8)
- [11] 武春霞, 杨静慧. 3 种海棠叶片解剖结构与抗旱性的关系[J]. 天津农业科学, 2016, 22(12): 11-14+27.
- [12] 杨纶标, 高英仪, 编著. 模糊数学原理及应用[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2005.
- [13] 董金皋. 植物生理与分子生物学研究[J]. 北京: 科学出版社, 2009: 386.
- [14] 李全发. 青藏高原草地植物叶解剖特征[J]. 生态学报, 2013, 33(7): 2062-2070.
- [15] 刘友良. 植物水分逆境生理[J]. 农业出版社, 1992, 8(1): 187.
- [16] 赵秀明, 王飞, 韩明玉, 张文娥, 田治国, 罗静, 余亮. 新引进苹果矮化砧木的叶片解剖结构及抗旱性[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2012(5): 136-142.