

# 草莓的解剖结构与其对白粉病抗性的研究

杨 爽<sup>1</sup>, 李海鹏<sup>2</sup>, 张 瑞<sup>1</sup>, 董清华<sup>2</sup>

(1. 北方工业大学 后勤集团, 北京 100144; 2. 北京农学院 植物科学技术学院, 北京 102206)

**摘 要:**以 3 个草莓品种的叶片为试材, 采用传统的石蜡切片法, 研究冬季大棚栽培不同草莓品种对白粉病的抗性的影响并分析其叶片的解剖结构的差异。结果表明: 3 个草莓品种的抗性差异显著, 抗白粉病能力最强的是‘栃乙女’, 其次是‘红颜’, 最差的为‘章姬’。筛选出 3 个品种的草莓叶脉的厚度, 主维管束的长度, 主维管束的宽度, 栅栏叶肉的厚度和叶片栅栏组织的比例等指标差异性极强。同时发现栅栏组织的厚度和在叶片栅栏组织的比例可能是影响草莓的抗病性的关键性指标。草莓的栅栏组织的厚度可以采取作为草莓抗白粉病的品种筛选的早期识别指标, 从而为冬季大棚栽培草莓提供理论依据。

**关键词:**草莓; 解剖结构; 栅栏组织; 白粉病

**中图分类号:**S 668.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)18-0136-03

草莓(*Fragaria ananassa* Duch)属蔷薇科(Roseaceae)草莓属(*Fragaria*)的多年生常绿草本植物。草莓的果肉鲜美, 含有特殊的浓郁水果芳香。草莓营养价值高, 含丰富维生素 C。在世界浆果类水果生产中, 草莓的栽培面积和产量仅次于葡萄<sup>[1]</sup>。草莓是一个分布范围广, 生境复杂多样, 生态适应幅度广的物种。全世界约有 50 种草莓品种, 分布于美洲、亚洲和欧洲。原产于我国的约有 7 种, 为森林草莓(*Fragaria vesca* L.)、东方草莓(*Fragaria orientalis* Losina-Losinsk.)、黄毛草莓(*Fragaria nilgerrensis* Schidl.)、西南草莓(*Fragaria moupinensis* (Franch.) Card.)、五叶草莓(*Fragaria pentaphylla* Losinsk.)、纤细草莓(*Fragaria gracilis* Losinsk.)和西藏草莓(*Fragaria nubicola* (Hook. f.) Schidl.)<sup>[2-4]</sup>。目前, 我国草莓至少分布有 9 个种, 除以上所述我国原产的 7 个种, 还包括凤梨草莓(*Fragaria ananassa* Duch.)和裂萼草莓(*Fragaria deltoniana* Gay)<sup>[5]</sup>。

随着草莓栽培面积的扩大, 草莓市场竞争日益激烈, 提高草莓果实产量和品质是满足人们消费需求和市场竞争的关键因素。而草莓易感染的多种病害严重影响了其果实产量和品质。草莓的地上部分都能感染白粉病。叶片受害后, 初期呈现暗色病斑, 大小不一, 继而在叶背病斑上产生白色粉状物, 后期叶片萎缩, 干枯。幼果受害后停止生长发育, 在果实上密布一层白粉。该病在温室发生较严重。陕西省著名的草莓生产基地眉县槐芽镇, 种植草莓面积约 1 200 hm<sup>2</sup>, 年产鲜果约 3×10<sup>7</sup> kg。但由于严重连茬和管理比较粗放, 使白粉病愈加重。受 2006 年暖冬和 2007 年春季阴雨气候影响, 白粉病发生田块在 70%~80%, 病株率为 30%~40%, 严重染病株率超过 60%, 缺株断垄现象普遍<sup>[6]</sup>。可见白粉病高发已引起草莓产量不稳定、品质下降, 已成为影响草莓持续稳定发展的主要限制因子<sup>[7-8]</sup>。

很多植物解剖结构与抗病性的相关性已成功被验证<sup>[9-11]</sup>。但关于草莓的解剖结构特征研究较少, 该研究旨在寻找草莓的解剖结构特征与其对白粉病抗性的关系, 以进行草莓品种抗病性的早期鉴定, 筛选出部分适宜北方地区冬春季节栽植的草莓品种, 对不同草莓品种的生产和开发利用具有重要的理论意义。

1 材料与方法

## 1.1 试验材料

供试材料为北京农学院冬季栽培草莓品种‘红颜’、‘栃乙女’和‘章姬’, 具体性状见表 1。栽培地点为北京市房山区聚乙烯塑料大棚里, 定植后的每日最高和最低气温分别为 35℃和 10℃。栽培基质为草炭(国产): 珍珠岩=3:1, 基质 pH 值为 5.6, 根据基质水分状况每周浇水 1~2 次。

表 1 草莓各品种性状比较

Table 1 Comparative analysis of variety characteristics of strawberry cultivars

编号 No.	品种 Cultivar	果实形状 Fruit shape	果实颜色 Fruit color	香气 Frangrance
1	‘红颜’	圆锥形	鲜红色	较浓
2	‘栃乙女’	圆锥形	橙红色	浓
3	‘章姬’	长圆锥形	深红色	浓

## 1.2 试验方法

1.2.1 抗病性的观测 观测 3 个草莓品种在白粉病发

**第一作者简介:**杨爽(1984-), 女, 博士, 农艺师, 研究方向为园林植物与观赏园艺。E-mail: yangshuang2004@126.com.

**责任作者:**董清华(1966-), 男, 硕士, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为果树发育生物学。E-mail: 13911047500@126.com.

**收稿日期:**2014-04-29

生情况,以健康植株为对照,并根据草莓种质资源描述规范和数据标准<sup>[12]</sup>,调查白粉病的病株数,并分级,具体分级标准见表2。统计病株数,计算病株率、病情指数。病情指数(%)=Σ(病斑叶数×该级代表值)/对照区病情指数×100%。

表2 不同等级白粉病的性状

Table 2 Levels of the powdery mildew of the strawberry

等级	性状
Grade	Character
0级	无病级
1级	病斑面积占整个叶面积5%以下
2级	病斑面积占整个叶面积6%~10%
3级	病斑面积占整个叶面积11%~25%
4级	病斑面积占整个叶面积26%~50%
5级	病斑面积占整个叶面积50%以上

1.2.2 石蜡切片制作 参照洪亚平等<sup>[8]</sup>和郭素枝等<sup>[9]</sup>的方法,制做石蜡切片。采用 Leica 型光学显微镜进行观测并拍照。在种植2个月后,每个品种随机取样10株健康无病害植株的叶片,3次重复。并用 imagine-Pro Plus 图像软件进行测量,主要包括上表皮、下表皮、主维管束长、主维管束宽、栅栏组织厚度、海绵组织厚度、叶片厚度、带叶脉叶厚、气孔孔隙度等指标,每项指标均随机测量50个数值,取其平均值。

### 1.3 数据分析

试验数据均采用 SPSS 统计软件进行分析(SPSS 13.0.5J, SPSS 公司,美国)。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同草莓品种的抗病性比较

从表3可以看出,3个品种抗草莓白粉病能力由强到弱的顺序依次为‘栃乙女’、‘红颜’、‘章姬’。‘章姬’的感染株数最多,为41株,显著高于其它2个品种。‘栃乙女’感染率、最高感染等级和病情指数,分别为3.5%、2级和0.53,显著低于其它2个品种。

表3 3个草莓品种的感染白粉病的比较

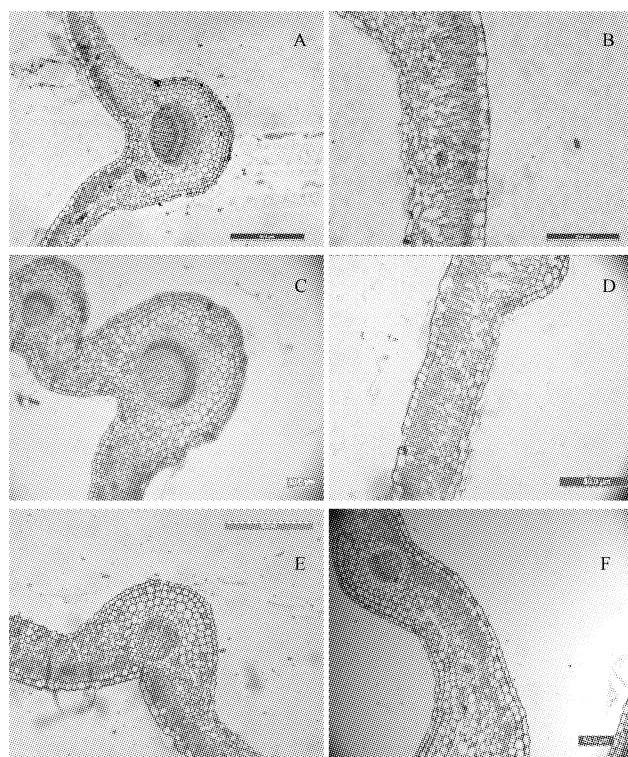
Table 3 Comparative analysis of the powdery mildew of three strawberry cultivars

品种	感染株数	感染率	最高感染等级	病情指数
Cultivar	Number of infected trees	Infected rate/%	The highest level of infection	Disease index
‘红颜’	29	14.5	4级	3.15
‘栃乙女’	17	3.5	2级	0.53
‘章姬’	41	20.5	5级	4.32

### 2.2 草莓解剖结构

3个草莓品种上下表皮均由一层排列整齐而又紧密的细胞组成,上、下表皮细胞形态、大小差异较大。横切面上表皮呈联单长方形和少数长椭圆形,外壁较厚,没有角质层,下表皮呈联多数圆形和长椭圆形;在表皮细胞中有成对、较小的保卫细胞,2个保卫细胞之间的空隙即气孔(图1B)。“章姬”的上表皮厚度显著高于‘红颜’和‘栃乙女’,‘栃乙女’下表皮厚度显著高于‘红颜’。

由表4可知,气孔孔隙度‘红颜’和‘章姬’显著高于‘栃乙女’,表现出‘栃乙女’的海绵组织更为紧密。‘栃乙女’的栅栏组织厚度比‘红颜’和‘章姬’显著厚10 μm以上,且‘栃乙女’栅栏组织占叶片的比例显著高于‘红颜’和‘章姬’。栅栏组织在植物叶片的结构中具有十分重要的作用。不同草莓品种的叶片厚、栅栏组织排列相对整齐、紧密,且层数相对较一致,可以抵抗病菌的侵入和扩展,成为抗病的又一个结构屏障。该研究发现‘栃乙女’的叶肉栅栏组织厚度最厚,为54.63 μm,显著高于‘红颜’的44.15 μm和‘章姬’40.62 μm的厚度,与从栽培过程中发现3种草莓的抗白粉病水平差异呈正相关。推测叶肉栅栏组织厚度及栅栏组织所占叶片的比例可能为影响草莓抗病性的关键因素。



注:A:‘栃乙女’叶横切(示主叶脉);B:‘栃乙女’叶横切(示栅栏组织和海绵组织);C:‘红颜’叶横切(示主叶脉);D:‘红颜’叶横切(示栅栏组织和海绵组织);E:‘章姬’叶横切(示主叶脉);F:‘章姬’叶横切(示栅栏组织和海绵组织)。

图1 3种草莓叶解剖结构图

Fig. 1 The leaves anatomical structure of three strawberry cultivars

草莓叶脉为网状脉,主脉较发达,由主脉进行分支形成侧脉,上表皮有厚角组织,叶脉维管束由木质部和韧皮部组成,木质部在近轴面,而韧皮部在远轴面(图1C)。在较大叶脉的木质部与韧皮部之间有束中形成层(图1C)。中间主脉的大维管束为椭圆形,其它较细的脉和最细的脉相间排列。维管束的远轴面端为厚角组织组成的帽状结构,即维管束鞘(图1A)。向内紧接为韧皮部,由筛管、伴胞和韧皮薄壁细胞组成,筛管为多边

形,伴胞近似方形。再向内即近轴面端为木质部,由导管、管胞和薄壁组织细胞构成。先形成原生木质部,导管直径较小,为多边形,排列紧密(图 1 C)。带叶脉叶厚度、主维管束长和主维管束宽 3 个品种差异显著,‘栃乙女’大于‘章姬’大于‘红颜’(图 1 A、C、E)。

表 4 3 种草莓叶解剖结构比较

Table 4 The leaves anatomical structure of three strawberry cultivars

不同部位 Different parts	‘章姬’ ‘Benihoppe’	‘红颜’ ‘Toyonoka’	‘栃乙女’ ‘Zhangji’
上表皮/ $\mu\text{m}$	20.46 b	11.18 a	10.92 a
下表皮/ $\mu\text{m}$	8.91 ab	8.49 a	9.99 b
主维管束长/ $\mu\text{m}$	204.55 a	210.57 b	215.20 c
主维管束宽/ $\mu\text{m}$	158.10 a	165.57 b	168.52 c
栅栏组织厚度/ $\mu\text{m}$	40.62 a	44.15 b	54.63 c
海绵组织厚度/ $\mu\text{m}$	51.41 a	64.96 b	48.78 a
叶片厚度/ $\mu\text{m}$	124.80 a	128.98 a	124.32 a
带叶脉叶厚/ $\mu\text{m}$	248.26 a	359.16 b	388.94 c
气孔孔隙度/ $\mu\text{m}$	28.29 b	28.26 b	17.22 a
栅栏组织占叶片的比例	0.35 a	0.34 a	0.44 b
海绵组织占叶片的比例	0.41 a	0.50 b	0.39 a

### 3 结论与讨论

通过对冬季大棚栽培 3 个草莓品种进行比较试验,发现 3 个草莓品种的抗性差异显著,抗白粉病能力最强的是‘栃乙女’,其次是‘红颜’,最差的为‘章姬’。不同草莓品种对冬春季设施栽培的适应能力不同。抗白粉病性是多种因素综合作用的结果,该研究筛选出与抗白粉病相关的指标为带叶脉叶厚度、主维管束长、主维管束宽、叶肉栅栏组织厚度和栅栏组织所占叶片的比例等相关指标。

栅栏组织发达,叶绿体多,叶片光合作用强,产生的能量高,积累的有机物质多,抗性也随之增强<sup>[3]</sup>。该试验所涉及的草莓品种栅栏组织基本上为长条形,栅栏组织厚度差异显著,推测栅栏组织厚度与抗病性有一定的相关性。这一结果与李海英等<sup>[10]</sup>对大豆叶片结构与灰

斑病抗性的研究结论一致。栅栏组织发达程度被认为是植物抗逆性叶的结构特征<sup>[11-13]</sup>。该研究推测,草莓栅栏组织厚度及栅栏组织所占叶片的比例可作为进行品种抗病性的早期鉴定的指标,或者成为鉴定草莓不同品种抗病性的一种快速手段。在以后的试验中,需要进一步验证。

### 参考文献

- [1] 张跃进,朱振林. 大棚草莓配套栽培技术[M]. 上海:上海科学普及出版社,2000:49-52.
- [2] 杨联伟. 草莓白粉病的发病规律和防治措施[J]. 烟台果树,2005(3):15-16.
- [3] 欧志远. 叶绿素含量与植物抗病性的关系[J]. 安徽农学通报,2007,13(6):134-135.
- [4] 谢文华,谢大森. 棱角丝瓜不同品种对霜霉病抗性的相关研究[J]. 华南农业大学学报,1999,20(2):28-31.
- [5] 赵振玲,钱建宁. 蚕豆叶片气孔及其抗锈病性研究[J]. 云南农业大学学报,2000,15(1):88-90.
- [6] 李森,檀根甲,李瑶,等. 猕猴桃品种叶片组织结构与抗溃疡病的关系[J]. 安徽农业科学,2002,30(5):740-742.
- [7] 赵密珍. 草莓种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京:中国农业出版社,2006:79-81.
- [8] 洪亚平,陈之端. 易卷曲叶表皮制片技术(NaOCl 法)的改进[J]. 植物学通报,2002,19(6):746-748.
- [9] 郭素枝,张明辉,邓传远,等. 干旱胁迫对茉莉 3 个品种叶片光合特性和超微结构的影响[J]. 热带亚热带植物学报,2006,12(4):34-40.
- [10] 李海英,刘亚光,杨庆凯. 大豆叶片结构与灰斑病抗性的研究II. 大豆叶片组织结构与灰斑病抗性的关系[J]. 中国油料作物学报,2002,24(2):58-60.
- [11] Sun J. High light effect on  $\text{CO}_2$  fixation gradients across leaves[J]. Plant Cell and Environment,1996,19:1261-1270.
- [12] 王勋陵,王静. 植物形态结构与环境[M]. 兰州:兰州大学出版社,1989:65-148.
- [13] Lyu F S, Hou J H. A study on main drought resistant index of land rice[J]. Acta Agriculture Boreali-Sinica,1994,9(4):7-12.

## Study on Anatomy and Powdery Mildew Resistance of Strawberry

YANG Shuang<sup>1</sup>, LI Hai-peng<sup>2</sup>, ZHANG Rui<sup>2</sup>, DONG Qing-hua<sup>2</sup>

(1. Logistics Group, North China University of Technology, Beijing 100144; 2. Department of Plant Sciences, Beijing University of Agricultural, Beijing 102206)

**Abstract:** Taking the leaves of three strawberry cultivars as the materials, the effect of different cultivars on powdery mildew resistant in greenhouse in winter were studied by using traditional paraffin method and the anatomical structure of strawberry leaves was compared. The results showed that the sequence of resistance capacity to powdery mildew from the most resistant to the least was ‘Benihoppe’, ‘Toyonoka’ and ‘Zhangji’. Indicators of the resistance to powdery mildew were selected, including the thickness of leaf veins, the length of main vascular bundles, the width of main vascular bundles, the thickness of palisade mesophylls and the ratio of palisade tissues in leaf. Also it was speculated that the thickness of palisade tissues and the ratio of palisade tissues in leaf might be key impact indicators for disease resistance of strawberry. The thickness of palisade tissues of strawberries might be taken as the indicator of resistant cultivars in the early identification. The data of suitable strawberry cultivars was provided for planting in greenhouse in winter.

**Keywords:** strawberry; anatomical structure; palisade tissues; powdery mildew