



苦瓜叶片结构与白粉病抗性的关系

田丽波^{1,2},商桑²,杨衍³,司龙亭^{1*},李丹丹⁴

(1 沈阳农业大学,沈阳 110866;2 海南大学 热带作物种质资源保护与开发利用教育部重点实验室,海口 570228;3 中国热带农业科学院 作物品种资源研究所,海南儋州 571737;4 黑龙江八一农垦大学 农学院,黑龙江大庆 163319)

摘要:以不同抗白粉病的苦瓜品系幼苗为材料,对它们的叶片及上下表皮厚度、栅栏组织及海绵组织厚度、叶片结构紧密度及疏松度、蜡质含量、比叶重、气孔及茸毛密度等叶片结构进行观察比较,探讨苦瓜白粉病抗性与其主要叶片结构指标的关系。结果显示:(1)抗病苦瓜品系叶片的蜡质含量显著高于感病品系,与病情指数呈显著负相关关系,蜡质层是其抵抗和延迟病原菌侵入的一个有力结构屏障。(2)感病品系叶片的气孔和叶背面茸毛数量显著多于抗病品系,且叶背面的气孔及茸毛密度与病情指数呈显著正相关关系,即气孔和茸毛越少越抗病。(3)抗病苦瓜品系的叶片栅栏组织以及海绵组织排列整齐、紧密,而高感品系的叶片组织出现大量孔隙,较难观察到完整细胞。(4)抗病品系叶片厚度、下表皮厚度、栅栏组织厚度、叶片结构紧密度明显高于感病品系,而感病品系的海绵组织厚度、叶片结构疏松度明显高于抗病品系;且苦瓜比叶重与其白粉病抗性关系不大。研究认为,苦瓜叶片蜡质含量、叶背面气孔及茸毛密度可以作为苦瓜白粉病抗性鉴定的参考指标。

关键词:苦瓜;叶片结构;白粉病;抗性

中图分类号:Q944.56

文献标志码:A

Relationship between the Leaf Structure of Bitter Melon and Resistance to Powdery Mildew

TIAN Libo^{1,2}, SHANG Sang², YANG Yan³, SI Longting^{1*}, LI Dandan⁴

(1 Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China; 2 Key Laboratory of Protection and Developmental Utilization of Tropical Crop Germplasm Resources, Hainan University, Ministry of Education, Haikou 570228, China; 3 Tropical Pasture Research Center CATAS, Danzhou, Hainan 571737, China; 4 College of Agronomy, Heilongjiang August First Land Reclamation University, Daqing, Heilongjiang 163319, China)

Abstract: The leaf structure of different bitter melon cultivars resistant to powdery mildew was compared and studied. They mainly included thickness of upper and lower epidermis; thickness of palisade tissue and spongy tissue; compactness and porosity of leaves structure; waxes content; leaf weight ratio; density of stoma and fuzz, etc. The result indicates that: (1) The waxes content of resistant cultivars is significant higher than that of susceptible one and significant negative correlation with disease index. Wax layer is an important structure barrier to resist and delay the pathogen invading. (2) The stomatal number and hair densities of abaxial leaves of susceptible cultivars are significant more than that of resistant ones. The stomatal number and hair densities of abaxial leaves are significant positive correlation with disease index. It indicates that the less stoma and fuzz, the more resistance. (3) The palisade and spongy tissue of resistant bitter mel-

收稿日期:2013-07-22;修改稿收到日期:2013-09-20

基金项目:海南大学热带作物种质资源保护与开发利用教育部重点实验室科研项目;海南省自然科学基金项目(311072);热科院品种资源研究所中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(PZS065-01)

作者简介:田丽波(1976—),女,副教授,在读博士研究生,主要从事设施蔬菜遗传育种研究。E-mail:faiy7play@163.com

*通信作者:司龙亭,教授,博士生导师,主要从事蔬菜遗传育种研究。E-mail:silongting@hotmail.com

on cultivars arranged closely and in good order, but the leaf tissue section of high susceptible cultivars present lots of pores and hard to observe whole cells. (4) The thickness of leaves, lower epidermis and palisade tissue and leaves structure compactness of resistant cultivars is significant higher than that of susceptible ones, but the thickness of spongy tissue and porosity of leaf structure is opposite. To the powdery mildew resistance, the leaf weight ratio count for little. Wax content, the stomatal number and hair density of abaxial leaves can be the reference designators to identify the resistance to powdery mildew for bitter melon.

Key words: bitter melon; leaf structure; powdery mildew; resistance

植物在长期进化过程中,不断地与病原菌相互作用、相互适应,形成了一系列的自我防御结构,如蜡质、角质层、木栓层、茸毛、气孔、叶片组织的紧密排列等。国内外研究表明,植物的形态结构与抗病性关系密切,仅蜡质与抗病性的关系,在番茄^[1]、大豆^[2]、水稻^[3]、甘蓝型油菜^[4]、野生大豆^[5]、桉树^[6]、猕猴桃^[7]、哈密瓜^[8]、苹果^[9]、草坪草^[10]、油茶^[11]、花生^[12]等多种作物上均有报道。这些研究都表明,蜡质含量与植物抗病性呈正相关关系,如番茄叶片的蜡质能够阻止芝麻斑病菌的穿透,抗病品种蜡质含量显著高于感病品种^[1];大豆抗灰斑病品种的叶片蜡质含量高于感病品种,蜡质层是大豆抵抗和延迟灰斑病病原菌侵入的一个结构屏障^[2];水稻抗纹枯病品种的叶片蜡质含量明显多于感病品种^[3];王婧等^[4]认为油菜叶表皮蜡质的组分及结构可能是抗核病品种抵抗和延迟病原菌侵入的机制之一。气孔、茸毛、角质层、木栓层、叶片组织排列与抗病性的关系也有很多报道,大多认为气孔密度小,茸毛密度大,角质层、木栓层厚,叶片组织排列紧密均有利于抵制病原菌侵入。如大豆抗灰斑病品种叶片正面及叶片背面的气孔密度明显少于感病品种^[13];甘薯抗茎线虫病品种木栓层细胞层多,在细胞质上沉积较多的木栓质,这种形态结构可有效阻止马铃薯腐烂线虫侵入^[14];哈密瓜抗细菌性果斑病品种的气孔数量明显多于感病品种,抗病品种的叶片茸毛比感病品种长,并且单位面积内茸毛数量多于感病品种^[15];叶片组织细胞排列整齐、紧密,细胞壁较厚可能是黄瓜抗白粉病的主要原因之一^[16];花生抗疮痂病品种具有较厚的角质层,叶片气孔少^[17]。

苦瓜(*Momordica charantia* L.)别名凉瓜,古名锦荔枝、癞葡萄、癞瓜等,原产亚洲热带地区,广泛分布于热带、亚热带和温带地区。在露地和设施栽培中,从幼苗期至结果期,白粉病普遍发生,危害十分严重,有必要选育优良抗病品种,以减少农药的施用频率和施用量,确保无公害安全生产。目前,苦瓜白粉病抗性结构的研究还鲜有报道,本试验对不同白粉病抗性的苦瓜品系叶片的结构,如蜡质含量、比叶重、气孔密度、茸毛密度、叶片厚度、上下表皮厚度、栅栏组织厚度、海绵组织厚度、叶片组织紧密度、叶片组织疏松度等进行了比较研究,为阐明苦瓜抗白粉病的机制以及从抗性结构角度出发选育和利用抗病品种提供依据。

1 材料和方法

1.1 材料

苦瓜实验材料由中国热带农业科学院品种资源研究所蔬菜研究中心惠赠,均为多代自交的自交系,自行编号,分别为抗病的野生苦瓜-1 和野生苦瓜-2,以及感病的栽培苦瓜-1 和栽培苦瓜-2,其详细信息见表 1。其中的抗病鉴定结果来自第一作者博士论文(待发表)。

1.2 测定指标及方法

1.2.1 气孔密度 采用水合氯醛法测定^[13]。每个品系在幼苗两片真叶完全展开时取植株同一部位叶片 10 个,每个叶片分不同部位测量,取平均值。

1.2.2 茸毛密度 采用火棉胶法^[13]测定,采样方法同 1.2.1。

1.2.3 叶片组织细胞结构特征 结构观察采用石

表 1 供试材料的来源和病情指数

Table 1 The source and disease index of the tested materials

材料编号 Material code	材料名称 Material name	来源 Source	抗感类型 Resistant and susceptible type	病情指数 Disease index
A	野生苦瓜-1 Wild bitter melon-1	斯里兰卡 Sri Lanka	抗(R)Resistance	28.20
B	野生苦瓜-2 Wild bitter melon-2	日本 Japan	抗(R)Resistance	35.10
C	栽培苦瓜-1 Cultivated bitter melon-1	中国广东 Guangdong, China	感(S)Susceptible	69.10
D	栽培苦瓜-2 Cultivated bitter melon-2	中国广东 Guangdong, China	高感(HS)Highly susceptible	80.70

蜡切片法。待幼苗两片真叶完全展开时,在叶片的中间位置取样,切成 $5\sim7\text{ mm}\times3\sim5\text{ mm}$ 的小片为试验材料,每个品系重复50次,取平均值。采用常规的石蜡切片方法,经过固定、脱水、透明、浸蜡、包埋、切片、粘片、染色、封固等程序,在Nikon Eclipse 80i型高级研究型正立荧光显微镜上观察并拍照。用物镜测微尺测量叶片横切面的叶片厚度、上表皮厚度、栅栏组织厚度、海绵组织厚度、下表皮厚度。叶片结构紧密度(CTR)、疏松度(SR)的计算,参考简令成^[18]的方法并略作修改。

$$\text{CTR} = (\text{栅栏组织厚度}/\text{叶片厚度}) \times 100\%$$

$$\text{SR} = (\text{海绵组织厚度}/\text{叶片厚度}) \times 100\%$$

1.2.4 蜡质含量 每品系新鲜叶片称重后,剪碎,置40 mL氯仿中浸泡1 min,把溶液过滤到已知重量烧杯中,在通风橱中使氯仿挥发完毕,再次称重,减去烧杯重量,算出鲜叶蜡质含量(mg/g),即以单位鲜叶重计算蜡质含量,每品系重复50次,取平均值。

1.2.5 比叶重 用叶面积仪测量新鲜叶片的面积后,把叶片放在烘干箱中干燥,待彻底干燥后取出测干叶重,每份材料重复50次,取平均值,计算单位面积干叶重,即比叶重($\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}$)。

1.3 数据处理

数据处理软件为Excel,相关分析和方差分析的软件为SAS 9.0,用Duncan新复极差法进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同抗感白粉病苦瓜品系叶片蜡质含量和比叶重的比较

由表2可发现,不同抗感白粉病苦瓜品系叶片蜡质含量有明显差异,抗病品系极显著高于高感品系,抗病品系A、B叶片蜡质含量平均值为 $5.85\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$,而感病品系C、D叶片蜡质含量平均值为 $4.60\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$,表明抗病品系蜡质含量高于感病品系。进一步相关分析发现,苦瓜品系叶片蜡质含量与其白粉病病情指数呈显著负相关,相关系数为-0.90,即蜡质含量越高的品系,其抗病性越强。表2同时显示,不同抗病苦瓜品系比叶重表现规律性不强,抗病品系比叶重的平均值为 $2.46\text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}$,感病品系比叶重的平均值为 $2.19\text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}$,差异不明显,说明品系比叶重与其白粉病抗性关系不大。

2.2 不同抗感白粉病苦瓜品系叶片气孔密度和茸毛密度的比较

从表3可以看出,抗白粉病苦瓜品系A、B的叶

正反面气孔密度均极显著低于感病品系C、D;各品系叶正面气孔密度均明显低于叶背面气孔密度。其中,抗病品系叶正面和叶背面的气孔密度平均值(分别为9.3和13.7个/ mm^2)均明显低于感病品系平均值(分别为14.51和19.48个/ mm^2)。进一步相关分析表明,苦瓜品系病情指数与其叶正面气孔密度呈正相关(相关系数为0.85),与叶背面气孔密度呈显著正相关(相关系数达到了0.94),即苦瓜叶面气孔密度越小白粉病抗性越强。

另外,从苦瓜叶正面的茸毛密度来看,不同白粉病抗性品系的数值相差不大,规律性不强;除A品系外,其余品系叶背面的茸毛密度均大于叶正面。叶背面的茸毛密度差异较大,感病品系的茸毛密度极显著高于抗病品系,且叶背面茸毛密度和其病情指数呈显著正相关,相关系数达到了0.95,即叶背面茸毛密度越大,越不抗病。

2.3 不同抗感白粉病苦瓜品系叶片横切面结构的比较

2.3.1 显微结构形态特征 从图1可以看出,苦瓜抗病品系A(图1,A)的上、下表皮细胞较厚,栅栏组织排列最整齐、紧密,海绵组织相对紧密;而白粉病高感品系D(图1,D)的上、下表皮细胞较薄,栅栏组织排列不整齐、且疏松,海绵组织疏松,且有很多空隙;抗病品系B(图1,B)和感病品系C(图1,C)之间的差别不太明显,介于A和D之间。

2.3.2 叶片和上下表皮厚度 不同抗感白粉病苦瓜叶片厚度及上下表皮厚度值列于表4。其中,叶片厚度平均值的规律比较明显,即随着白粉病抗性增强,厚度逐渐增大,抗病品系的叶片厚度极显著大

表2 不同抗感白粉病苦瓜品系

叶片蜡质含量、比叶重的比较

Table 2 The comparisons of leaf wax content and leaf weight ratio of different resistant and susceptible cultivars

材料 Material	蜡质含量 Wax content $(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1})$	比叶重 Leaf weight ratio $(\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2})$
A	$6.34\pm0.02\text{ aA}$	$2.65\pm0.23\text{ aA}$
B	$5.35\pm0.03\text{ bB}$	$2.27\pm0.04\text{ abA}$
C	$5.05\pm0.14\text{ bB}$	$1.98\pm0.12\text{ bA}$
D	$4.14\pm0.13\text{ cC}$	$2.39\pm0.13\text{ abA}$

注:采用Duncan新复极差法进行差异显著性多重比较,小写和大写英文字母分别表示材料间在0.05和0.01水平存在显著性差异。以下各表同。

Note: Multiple comparisons using Duncan's new multiple range method, lowercase and capital letters mean significantly different among materials at 0.05 and 0.01 level, respectively. The same as below.

表3 不同抗感白粉病苦瓜品系叶片气孔密度和茸毛密度

Table 3 Leaf stomatal and hair density of different resistant and susceptible cultivars

材料 Material	叶片气孔密度 Density of leaf stomas/(个/mm ²)		叶片茸毛密度 Leaf hair density/(个/mm ²)	
	叶正面 Right side	叶背面 Back side	叶正面 Right side	叶背面 Back side
A	11.10±0.64 cB	14.54±0.41 cB	2.72±0.01 aA	2.60±0.36 cC
B	7.50±0.37 dC	12.86±0.75 cB	2.14±0.00 cB	4.02±0.10 bB
C	13.75±0.29 bA	18.00±0.85 bA	2.22±0.02 bB	5.18±0.12 aA
D	15.26±0.21 aA	20.95±0.55 aA	2.76±0.02 aA	5.84±0.11 aA

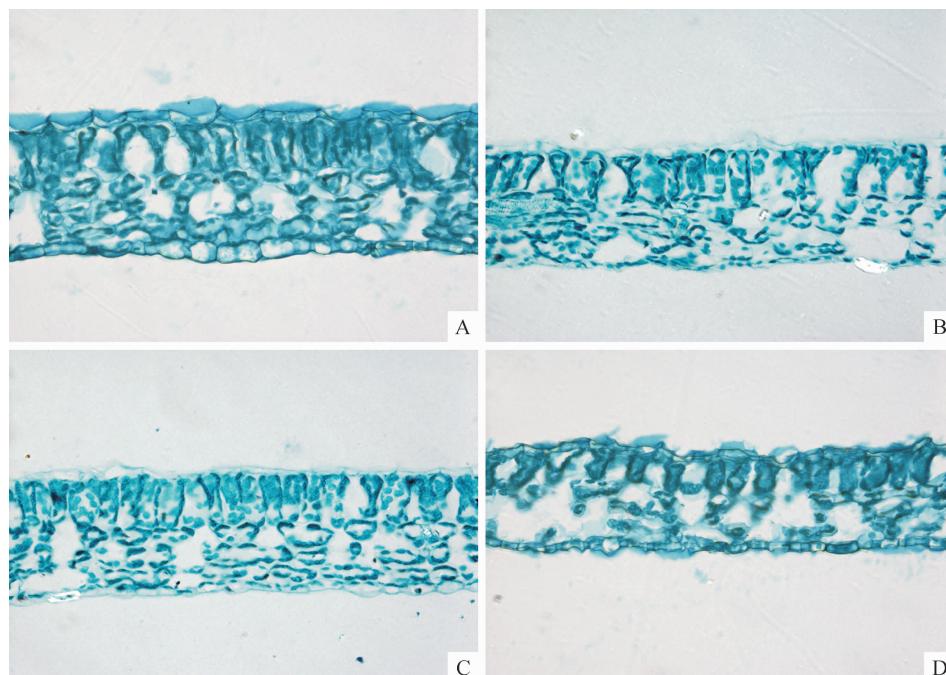


图1 不同抗感白粉病的苦瓜品系叶片横切面结构的显微照片(10×40)

A. 野生苦瓜-1; B. 野生苦瓜-2; C. 栽培苦瓜-1; D. 栽培苦瓜-2

Fig. 1 Light micrograph of leaf cross section structure of different resistant and susceptible cultivars(10×40)

A. Wild bitter melon-1; B. Wild bitter melon-2; C. Cultivated bitter melon-1; D. Cultivated bitter melon-2

表4 不同抗感白粉病苦瓜叶片厚度和上下表皮厚度平均值

Table 4 The mean of the thickness of leaves and upper and lower epidermis of different resistant and susceptible bitter cultivars

材料 Material	叶片厚度 Leaf thickness /μm	上表皮厚度 Thickness of upper epidermis/μm	下表皮厚度 Thickness of lower epidermis/μm
A	190.87±1.28aA	12.32±0.18aA	17.70±0.42aA
B	179.45±1.76bB	10.50±0.80bcAB	10.78±0.87bB
C	177.66±1.92bB	9.31±0.28cB	10.08±0.58bB
D	168.47±0.84cC	11.62±0.40abAB	9.87±0.75bB

于高感品系;抗性品系的叶片厚度平均值为185.16 μm,而感病品系为173.07 μm,感病品系叶片厚度

普遍小于抗病品系。同时,除高感品系D外,不同抗感苦瓜品系叶片下表皮厚度均大于上表皮厚度;抗病品系上下表皮厚度的平均值分别为11.41 μm和14.24 μm,感病品系的分别为10.47 μm和9.98 μm,抗病品系的上下表皮厚度均大于感病品系,且抗病品系A的下表皮厚度(17.7 μm)极显著大于其他品系。进一步的相关分析表明,苦瓜叶片厚度、下表皮厚度与其病情指数均呈负相关,相关系数分别为-0.87和-0.73。

2.3.3 棚栏组织和海绵组织 不同抗感白粉病苦瓜品系叶片的棚栏组织、海绵组织厚度、叶片紧密度(CTR)、疏松度(SR)见表5。其中,棚栏组织厚度在抗感苦瓜品系间差异显著,抗病品系A的棚栏组

表5 不同抗感白粉病苦瓜叶片栅栏组织、海绵组织及 CTR、SR 的平均值

Table 5 The mean of palisade tissue and spongy tissue and CTR, SR of different resistant and susceptible cultivars

材料 Material	栅栏组织厚度 Thickness of palisade tissue/ μm	海绵组织厚度 Thickness of spongy tissue/ μm	结构紧密度(CTR) Leaf tissue compactness/%	结构疏松度(SR) Leaf structure porosity/%
A	67.22 \pm 1.01aA	94.16 \pm 0.98bB	35.22 \pm 1.17 aA	49.33 \pm 0.54cA
B	62.96 \pm 1.19abA	95.16 \pm 1.60bB	35.08 \pm 0.92aA	53.03 \pm 1.15bb
C	62.41 \pm 1.56bA	94.88 \pm 1.37bB	35.13 \pm 0.87aA	53.41 \pm 1.10bb
D	43.80 \pm 1.30cB	103.01 \pm 0.87aA	25.30 \pm 0.95bB	61.14 \pm 1.60aC

织厚度显著高于感病品系 C、D, 抗病品系(A、B)栅栏组织厚度平均值($65.09 \mu\text{m}$)明显高于感病品系(C、D)的平均值($53.11 \mu\text{m}$); 栅栏组织厚度随着抗病性的增强逐渐增大, 相关分析也表明品系栅栏组织厚度与其病情指数呈负相关($r = -0.80$)。同时, 抗病品系 A、B 的海绵组织厚度显著低于高感品系 D, 抗病品系的海绵组织厚度平均值($94.66 \mu\text{m}$)也明显低于感病品系($98.95 \mu\text{m}$)。另外, 从叶片 CTR 来看, 抗病品系 A、B 极显著大于高感品系 D, 抗病品系和感病品系的平均值分别为 35.15% 和 30.22%, 抗病品系的叶片结构比感病品系明显要紧凑; 而且叶片 CTR 与病情指数呈负相关($r = -0.72$)。抗病品系 A 的叶片结构疏松度(SR)极显著低于感病品系 C、D, 抗病品系和感病品系的叶片结构疏松度平均值分别为 51.18% 和 57.28%, 即感病品系的叶片结构明显比抗病品系松弛; 同时, 叶片结构疏松度随着抗病性的增强逐渐减小, 疏松度和病情指数呈正相关, 相关系数为 0.84。

3 讨 论

寄主植物对病原物的侵染表现出不同程度的抗病性, 是由植物形态结构或生理生化方面的抗性综合作用的结果。冯丽贞等发现, 高抗焦枯病的桉树品系的叶片蜡质含量明显高于高感品系, 认为桉树叶片的蜡质是抵抗和延迟病原菌侵入的最外层防线^[6]。王婧等发现, 甘蓝型油菜抗病品种在去除叶表皮蜡质后病情指数显著增加, 说明油菜叶表皮蜡质的组分及结构可能是抗病品种抵抗和延迟病原菌侵入的机制之一^[4]。本研究结论亦是如此, 蜡质含量越高的苦瓜品系, 其白粉病抗性越强, 蜡质含量与病情指数呈显著负相关(相关系数为 -0.90), 即蜡质可能是苦瓜叶片抵制白粉病菌侵入的一个有力屏障。

气孔与植物病害的关系亦有许多报道, 有报道称白粉病菌主要通过气孔侵染寄主植物^[19]。国内很多学者也发现了植物抗病性与气孔密度有密切关

系。如徐秉良等发现, 草坪草品种的抗病性与其叶片的结构有关, 气孔数目多且蜡质层薄的品种抗病性较差, 气孔数目少且蜡质层厚的品种抗病性较强^[10]。本研究观察到, 苦瓜白粉病初始发病往往是由叶背面开始; 感病品系的叶片气孔密度显著大于抗病品系, 不同品系叶背面的气孔密度要大于叶正面, 病情指数与叶正面气孔密度呈正相关(相关系数为 0.85), 而与叶背面气孔密度呈显著正相关(相关系数达到了 0.94), 说明苦瓜的白粉病抗性与其气孔密度关系密切, 即气孔密度越小越抗病。在关于苦瓜白粉病的研究中, 甚至在其他瓜类作物的病害研究中, 对于气孔密度与抗病性关系的研究报道非常少, 本试验结果为今后抗白粉病理论的建立提供了一个很好的依据。

同时, 本研究中苦瓜叶片正面的茸毛密度在不同抗性品系之间差异不大, 这和李海英等^[13]的结论相似; 而叶背面茸毛密度随着抗病性增强而减少, 与抗病性呈显著负相关, 此结论与一些学者^[5,13]的研究结果不同。但这不能说明苦瓜叶片茸毛与白粉病抗性没有关系, 感病品系易受白粉病的入侵, 是否由于叶片表皮茸毛的某些有益于白粉病菌萌发物质或结构特点, 如茶炭疽病菌就是附着在茸毛上, 通过茸毛管腔侵入茸毛并扩展至叶组织内部的, 如果叶背茸毛散开或茸毛管腔木质化速度快, 病菌就不易侵入^[20], 因此在今后苦瓜白粉病抗性机制的研究中有待进一步深入探讨。

此外, 本实验中白粉病抗性不同苦瓜品系叶片组织石蜡切片的显微观察发现, 抗病的苦瓜品系叶片组织可以见到排列整齐、紧密的栅栏组织以及海绵组织, 且都较清晰; 而发病最重的高感品系的叶片组织的切片出现大量孔隙, 较难见到完整细胞, 其他供试品种介于这两者之间。同时, 抗性品系叶片厚度、下表皮厚度、栅栏组织厚度、叶片结构紧密度明显高于感病品系, 而感病品系的海绵组织厚度、叶片结构疏松度明显高于抗病品系。这说明苦瓜品系叶片厚度、下表皮厚度、栅栏组织厚度和叶片结构紧密

度高与其白粉病抗性有密切关系,其越厚,抗病性越强,而海绵组织厚度越厚、叶片结构越疏松的苦瓜品种越容易受到白粉病的侵染。本结论与李海英^[2]、冯丽贞^[6]、朱建鑫^[16]等的结论基本一致。

本研究中,苦瓜品种叶片蜡质含量、叶背面气孔密度、叶背面茸毛密度与其白粉病病情指数呈显著负或正相关,而其他指标与白粉病的相关系数绝对

数值虽然很大,如叶片厚度、叶正面气孔密度、叶片疏松度与白粉病病情指数的相关系数分别为0.85、-0.87、0.84,但却没有达到显著水平,可能与研究所用材料较少有关,在下一步的研究中可增加白粉病不同抗性材料的数量,进一步提高研究结果的准确性。

参考文献:

- [1] KANG L G(康立功),QI F K(齐凤坤),XU X Y(许向阳),et al. Relationship between tomato leaf wax and cutin layers with infection by *Helminthosporium carposa prum*[J]. *China Vegetables*(中国蔬菜),2010,(18):47—50(in Chinese).
- [2] LI H Y(李海英),LIU Y G(刘亚光),YANG Q K(杨庆凯). Studies on the structural resistance to *Cercospora sojina* Hara in soybean leaves[J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*(中国油料作物学报),2002,**24**(2):58—60,66(in Chinese).
- [3] CHEN ZH Y(陈志谊),WANG Y H(王玉环),YIN SH ZH(殷尚智). A study on the mechanism of resistance to sheath blight in rice[J]. *Scientia Agricultura Sinica*(中国农业科学),1992,**25**(4):41—46(in Chinese).
- [4] WANG J(王婧),LIU H L(刘泓利),SONG CH(宋超),et al. Relationship between *Brassica napus* epicuticular wax composition and structure and resistance to *Sclerotinia sclerotiorum*[J]. *Plant Physiology Journal*(植物生理学报),2012,**48**(10):958—964(in Chinese).
- [5] SHI F Y(史凤玉),ZHU Y B(朱英波),LI H CH(李海潮),et al. Relationships between SMV resistance and morphological structures in wild soybean[J]. *Soybean Science*(大豆科学),2008,**27**(1):52—55,60(in Chinese).
- [6] FENG L ZH(冯丽贞),LIU Y B(刘玉宝),GUO S ZH(郭素枝),et al. Relationship between the leaf anatomical characteristics of *Eucalyptus* and its resistance to dieback[J]. *Journal of Chinese Electron Microscopy Society*(电子显微学报),2008,**27**(3):229—234(in Chinese).
- [7] 李森.猕猴桃品种对溃疡病的抗性及其机理研究[D].合肥:安徽农业大学,2003.
- [8] ZHENG X Q(郑喜清),HU J(胡俊),HU N B(胡宁宝),et al. Relation between resistance to *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli* and wax of different Hami melon varieties[J]. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University*(内蒙古农业大学学报),2007,**28**(2):132—134(in Chinese).
- [9] JOHNSTONE G B,BAILEY L B. Resistance to fungal penetration in ramineae[J]. *Phytopathology*,1985,**70**:273—279.
- [10] XU B L(徐秉良),YU J H(郁继华). Structural defense of turf grass varieties resistant to leaf blight and the factors affecting disease progress[J]. *Acta Prataculturae Sinica*(草业学报),2003,**12**(1):80—84(in Chinese).
- [11] 杨光道.油茶品种对炭疽病的抗性机制研究[D].合肥:安徽农业大学,2009.
- [12] LIANG X Q(梁炫强),ZHOU G Y(周桂元),PAN R ZH(潘瑞炽). Wax and cuticle of peanut seed coat in relation to infection and aflatoxin production by *Asperillus flavus*[J]. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*(热带亚热带植物学报),2003,**11**(1):11—14(in Chinese).
- [13] LI H Y(李海英),NI H T(倪红涛),YANG Q K(杨庆凯). Study on stomatal and hair density in soybean leaves of resistant and susceptible cultivars of *Cercospora sojina* Hara[J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*(中国油料作物学报),2001,**23**(3):52—53,56(in Chinese).
- [14] LIN M S(林茂松),HE L M(贺丽敏),WEN L(文玲),et al. Mechanism of morphological structure of sweet potato resistance to potato rot nematode (*Ditylenchus destructor*)[J]. *Scientia Agricultura Sinica*(中国农业科学),1996,**29**(3):8—12(in Chinese).
- [15] 翟艳霞.哈密瓜品种对细菌性果斑病菌的抗性鉴定及抗性机制的研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2006.
- [16] 朱建鑫.黄瓜不同品种对白粉病的抗性研究[D].扬州:扬州大学,2008.
- [17] FANG SH M(方树民),WANG ZH R(王正荣),KE Y Q(柯玉琴),et al. The evaluation of resistance and resistant mechanisms of peanut varieties to scab disease[J]. *Scientia Agricultura Sinica*(中国农业科学),2007,**40**(2):291—297(in Chinese).
- [18] JIAN L CH(简令成),SUN D L(孙德兰),SHI G X(施国雄),et al. Leaf tissue structure in the cell of different kinds of citrus and its relation to cold hardiness[J]. *Acta Horticulturae Sinica*(园艺学报),1986,**13**(3):163—166(in Chinese).
- [19] ALEXOPOULOS C J,MIMS C W. 真菌学概论[M].余永年,宋大康,译.北京:农业出版社,1983.
- [20] 邓欣,谭济才.茶树抗病的生化基础和形态抗性概述[C]//2005年中南、西南植物病理学会和中国菌物学会联合学术年会论文集.北京:中国植物病理学会,2005:35—38.