

气孔在菜心子叶表皮分布的研究

贺凤丽, 马三梅

(暨南大学 生物工程学系 广东 广州 510632)

摘 要 对菜心(*Brassica chinensis* L. var. *parachinensis*(Bailey))子叶表皮上气孔的分布、气孔密度、气孔指数进行了研究。结果表明: 菜心子叶表皮细胞形状为不规则形, 上表皮的普通表皮细胞垂周壁浅波形, 下表皮的普通表皮细胞垂周壁则由浅波形逐渐变为深波形。上、下表皮均有气孔的分布。气孔类型为不等型, 保卫细胞呈肾形。子叶上、下表皮的气孔密度的范围分别是 $(79.25 \pm 22.99) \sim (204.31 \pm 40.17)$ 个/ mm^2 和 $(102.79 \pm 30.85) \sim (242.95 \pm 62.78)$ 个/ mm^2 , 且下表皮的氣孔密度明显大于上表皮的气孔密度; 气孔密度均随子叶的生长而下降, 有显著甚至极显著的差异。而气孔指数的变化则较为复杂, 但同一时间里上表皮的气孔指数大于下表皮的氣孔指数。

关键词: 菜心; 子叶; 气孔; 气孔密度; 气孔指数

中图分类号: S 634.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2009)10-0026-04

气孔位于植物地上部分初生结构的表面, 它一般由 2 个保卫细胞围绕形成, 是二氧化碳、氧气和水蒸气等气体进出的通道, 对植物光合、呼吸和蒸腾等生理活动起着重要的调节作用^[1-2]。关于植物子叶上气孔的研究已有一些报道, 如邵科等^[3]对甜菜(*Beta vulgaris*)子叶气孔进行了研究, 得知甜菜子叶的气孔密度可作为选择高糖型品种的指标; 此外, 姚兆华等^[4]对沙芥属(*Pugionium Gaern.*) 3 个种: 沙芥(*P. cornutum* (L.) Gaertn.)、距果沙芥(*P. calcaratum* Kom.)和斧翅沙芥(*P. dolatum* Maxim. var. *dolabratum*)的子叶气孔特征进行了研究。菜心(*Brassica chinensis* L. var. *parachinensis*(Bailey))又称菜苔、菜花, 是十字花科(Brassicaceae)芸苔属(*Brassica*)白菜亚种中以花苔为产品的变种, 为中国华南地区的特产蔬菜之一, 具有重要的经济价值。但是, 关于菜心子叶上气孔的研究尚未见报道。因此, 现对菜心子叶表皮上气孔的分布、气孔密度、气孔指数进行了研究, 以了解子叶气孔的分布特点, 为其形态解剖提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料为果蔬 31 油青菜心。

1.2 试验方法

将果蔬 31 油青菜心种子盆栽播种 6 盆, 于萌发后

第 3 天开始取样, 每 3 d 取 1 次样。每次随机取 10 株健康完整的植株, 清水洗净, 用纸巾擦干子叶, 采用无色指甲油印痕法于 Nikon YS100 显微镜下观察子叶表皮。在 40 倍物镜下, 统计 1 个视野内气孔和表皮细胞的数目, 每次统计 35 个视野, 计算气孔密度和气孔指数, 并采用 Sony W5 数码相机拍照。运用 Sigma Plot 10.0 软件进行 q 检验统计学分析。

气孔密度的计算方法: 气孔密度 = 一个视野中的气孔数 / 视野的面积气孔指数。参照汪矛的方法^[5], 公式如下: 气孔指数 = (每个视野气孔数 / (视野中气孔数 + 表皮细胞数)) $\times 100\%$ 。

2 结果与分析

2.1 子叶上表皮的气孔密度、气孔指数

菜心子叶的上表皮有 2 种类型的细胞: 普通表皮细胞和保卫细胞。普通表皮细胞形状不规则, 大小差异较大, 垂周壁浅波形(图 1A)。在子叶由小到大的发育过程中, 普通表皮细胞也由小变大, 垂周壁波浪也更加明显(图 1B)。气孔全部散生, 分布较密集, 气孔类型为不等型, 形状呈椭圆形, 并且取向无规则, 保卫细胞为肾形(图 1C)。

2.1.1 子叶上表皮的气孔密度 子叶上表皮的气孔密度及显著性分析见表 1。从表 1 中可以看出, 在菜心幼苗生长的过程中, 子叶上表皮的气孔密度随生长而下降。种子萌发后第 3 天子叶上表皮的气孔密度最大, 为 (204.31 ± 40.17) 个/ mm^2 , 极显著地高于其它时期平均气孔密度。第 6 天时下降至 (128.66 ± 31.90) 个/ mm^2 , 较第 3 天下降了 37.03%。第 9 天较第 6 天下降了 19.42%, 差异极显著。第 21 天时气孔密度最小, 为

第一作者简介: 贺凤丽(1983-), 女, 湖南人, 硕士, 现从事细胞结构与功能的研究。E-mail: fenglihe123@yahoo.com.cn.

通讯作者: 马三梅(1971-), 女, 河南汝州市人, 博士, 副教授, 现主要从事植物学的教学和研究工作。E-mail: msmwdw@163.com.

收稿日期: 2009-05-10

(79.25±22.99)个/mm²,较第9天和第12天分别下降了23.56%和20.96%, $P<0.05$,差异显著。第24天较第21天上升了9.06%,但差异不显著。

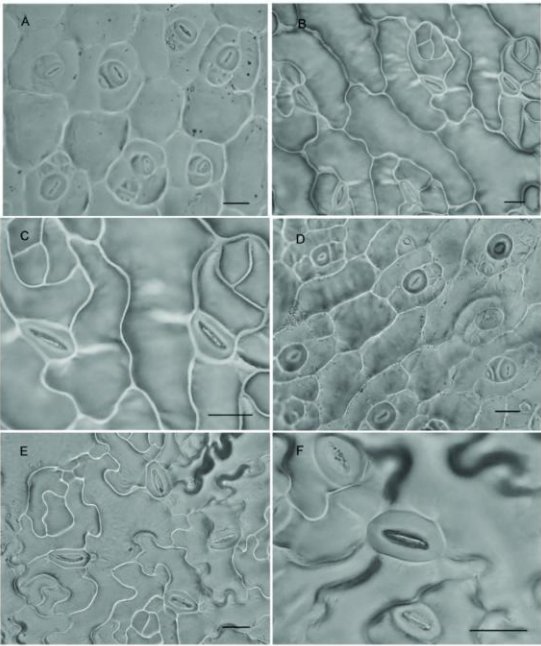


图1 菜心子叶普通表皮细胞和气孔的显微镜观察

注 (A)萌发后第3天菜心子叶上表皮的普通表皮细胞;(B)萌发后第15天菜心子叶上表皮的普通表皮细胞;(C)子叶上表皮的气孔;(D)萌发后第3天菜心子叶下表皮的普通表皮细胞;(E)萌发后第6天菜心子叶下表皮的普通表皮细胞;(F)子叶下表皮的气孔。Bar=20 um。

Fig.1 Observation of Ordinary epidermal cells and stomata in the cotyledon of *Brassica chinensis* L. var. *parachinensis*(Bailey) with light microscope.

Note:(A)Patterning of ordinary epidermal cells of the upper epidermis in the third day after germination;(B)Patterning of ordinary epidermal cells of the upper epidermis in the 15th day after germination;(C)stomata of the upper epidermis (D)Patterning of ordinary epidermal cells of the lower epidermis in the third day after germination;(E) Patterning of ordinary epidermal cells of the lower epidermis in the 6th day after germination;(F) stomata of the lower epidermis. Bar=20 um.

2.1.2 子叶上表皮的气孔指数 子叶上表皮的气孔指数及显著性分析见表2。从表2中可以看出,平均气孔指数在萌发后第6天达最大值(27.04±6.56)%,极显著地高于其他天数的气孔指数。其次是第12天,气孔指数为(23.57±4.20)%,较第6天下降了12.83%。萌发后第15天和第21天的平均气孔指数与第12天的相比,分别下降了15.91%和22.91%,差异极显著。其他无显著差异。

2.2 子叶下表皮的气孔密度、气孔指数

菜心子叶的下表皮与上表皮相似,也有2种类型的细胞:普通表皮细胞和保卫细胞。普通表皮细胞的形状也为不规则型,大小差异较大,垂周壁由浅波形逐渐变

为深波形。子叶生长前期的表皮细胞垂周壁浅波形,且波纹不明显(图1D),随着子叶的生长,普通表皮细胞垂周壁的波纹越来越明显,变为深波形(图1E)。气孔与上表皮的气孔相同,也为不等型,散生在表皮上,气孔形状为椭圆形,保卫细胞为肾形(图1F)。下表皮的普通表皮细胞明显地小于上表皮的普通表皮细胞,在子叶由小到大的发育过程中,普通表皮细胞也随之变大,但无上表皮细胞变化明显。

表1 不同时间内菜心子叶上表皮的气孔密度

Table 1 Stomata density on the upper epidermis of *Brassica chinensis* L. var. *parachinensis*(Bailey) cotyledon in different time

时间 Days after germination/ d	气孔密度 Stomata density/ 个·mm ⁻²	气孔密度范围 Range of stomata density/ 个·mm ⁻²	差异显著性 Significance
3	204.31±40.17	125.79~295.60	a A
6	128.66±31.90	62.89~194.97	b B
9	103.68±30.06	69.18~220.13	c C
12	100.27±28.41	37.74~169.81	c C
15	95.24±24.32	44.03~144.65	cd C
18	90.21±42.90	25.16~194.97	cd C
24	87.15±26.69	44.03~163.52	cd C
21	79.25±22.99	31.45~125.79	d C

注:表中气孔密度值为平均值±标准误。小写字母表示0.05的显著水平,大写字母表示0.01的显著水平。

Note: The data of the Stomata density represent the means±SD. Small letter indicates the difference significance at 0.05 and capital letter indicates the difference significance at 0.01.

表2 不同时间内菜心子叶上表皮的气孔指数

Table 2 Stomatal index on the upper epidermis of *Brassica chinensis* L. var. *parachinensis*(Bailey) cotyledon in different time

时间 Days after germination/ d	气孔指数 Stomatal index/ %	气孔指数范围 Range of stomatal index/ %	差异显著性 Significance
6	27.04±6.56	17.53~39.47	a A
12	23.57±4.20	10.34~32.61	b B
3	21.90±2.66	15.87~27.56	bc BC
18	21.75±6.39	11.48~40.79	bc BC
9	21.08±3.71	15.07~31.25	bc BC
24	20.77±2.92	14.61~26.09	bc BC
15	19.82±3.38	10.94~25.84	c C
21	18.17±3.73	7.81~23.81	c C

注:表中气孔指数值为平均值±标准误。小写字母表示0.05的显著水平,大写字母表示0.01的显著水平。

Note: The data of the Stomatal index represent the means±SD. Small letter indicates the difference significance at 0.05 and capital letter indicates the difference significance at 0.01.

2.2.1 子叶下表皮的气孔密度 子叶下表皮的气孔密度及显著性分析见表3。从表3中可以看出,在子叶的生长过程中,下表皮的气孔密度与上表皮的气孔密度变化相似,整体上随子叶的生长而下降。萌发后第3天达最大值(242.95±62.78)个/mm²,与其他天数的气孔密度的差异性达到0.01水平。第6天时下降至(186.16±42.69)个/mm²,与第9、12、15、18、21、24天的气孔密度具极显著的差异。第9天的气孔密度与第18、24天的气孔密度相比,具有极显著的差异。而第21天的气孔密度

较第 18 天上升了 15.34%，但差异不显著。

表 3 不同时间内菜心子叶下表皮的气孔密度

Table 3 Stomata density on the lower epidermis of *Brassica chinensis* L. var. *parachinensis*(Bailey) cotyledon in different time

时间 Days after germination/ d	气孔密度 Stomata density/个·mm ⁻²	气孔密度范围 Range of stomata density/个·mm ⁻²	差异显著性 Significance
3	242.95±62.78	157.23~415.09	a A
6	186.16±42.69	113.21~270.44	b B
9	136.93±40.99	69.18~213.84	c C
21	124.17±27.34	81.76~188.68	cd CD
12	122.73±29.47	75.47~201.26	cd CD
15	117.70±33.51	50.31~213.84	cd CD
18	105.12±27.18	56.60~169.81	d D
24	102.79±30.85	56.60~188.68	d D

注:表中气孔密度值为平均值±标准误。小写字母表示 0.05 的显著水平,大写字母表示 0.01 的显著水平。

Note: The data of the Stomata density represent the means±SD. Small letter indicates the difference significance at 0.05, and capital letter indicates the difference significance at 0.01.

2.2.2 子叶下表皮的气孔指数 子叶下表皮的气孔指数及显著性分析见表 4。从表 4 中可以看出,子叶下表皮的气孔指数跟上表皮的气孔指数一样,在萌发后第 3 天达最大值,与第 9、12、15、18、21、24 天的气孔指数的差异性达到 0.01 的水平。第 6 天较第 3 天下降 5.34%,差

异不显著,但与第 9、12、15、18、21、24 天的差异性达到 0.05 的水平。第 15 天时的气孔指数最小,第 21 天和第 24 天较之分别上升了 11.93%和 12.41%, $P<0.05$,差异显著。

表 4 不同时间内菜心子叶下表皮的气孔指数

Table 4 Stomatal index on the lower epidermis of *Brassica chinensis* L. var. *parachinensis*(Bailey) cotyledon in different time

时间 Days after germination/ d	气孔指数 Stomatal index/%	气孔指数范围 Range of stomatal index/%	差异显著性 Significance
3	21.33±3.84	15.24~37.89	a A
6	20.19±3.56	14.88~27.42	a AB
24	18.62±3.31	12.80~28.13	b B
21	18.52±3.26	13.00~25.81	b B
18	17.44±2.37	13.33~22.62	bc B
9	17.22±3.30	11.67~23.81	bc B
12	16.89±2.95	9.86~23.75	bc B
15	16.31±3.06	9.76~23.13	c B

注:表中气孔指数值为平均值±标准误。小写字母表示 0.05 的显著水平,大写字母表示 0.01 的显著水平。

Note: The data of the Stomatal index represent the means±SD. Small letter indicates the difference significance at 0.05, and capital letter indicates the difference significance at 0.01.

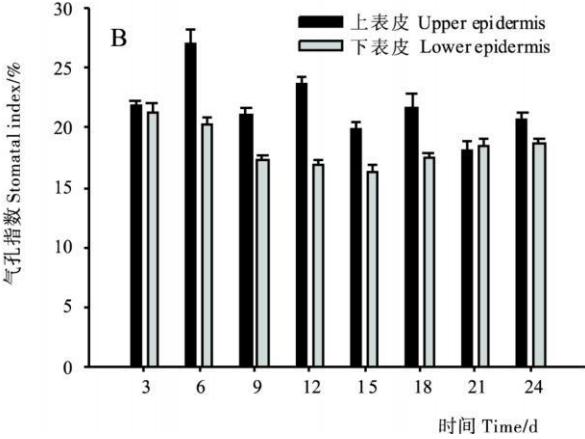
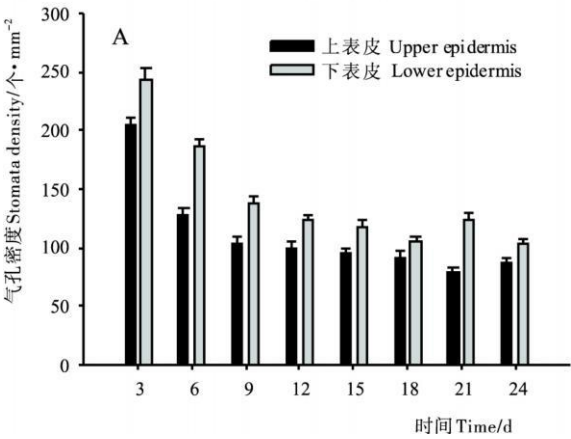


图 2 (A)子叶上、下表皮的气孔密度;(B)子叶上、下表皮的气孔指数

Fig. 2 (A) Stomata density on the upper and the lower epidermis of cotyledon. (B) Stomatal index on the upper and the lower epidermis of cotyledon.

3 讨论

菜心子叶生长初期,上、下表皮的普通表皮细胞垂周壁波形并不明显,但随着子叶的生长,上表皮普通表皮细胞的垂周壁波形变得比较明显,为浅波形,而下表皮普通表皮细胞的垂周壁则由浅波形逐渐变为深波形,且与上表皮相比,下表皮的表皮细胞小很多。植物表皮细胞的细胞壁有的比较平滑,而有的则凹凸不平,这主要是为了增加细胞吸收的表面积。菜心子叶上、下表皮细胞在细胞壁结构上的差异,以及随着子叶的生长呈现出的细胞壁垂周壁波形的变化是否也意味着功能上有所差异,还有待于进一步的研究。

过去对于植物气孔的研究一般集中在真叶的表皮^[6-9],对于子叶表皮气孔的研究则较少。从该研究中发现:菜心子叶的上、下表皮均有气孔的分布,而且气孔密度和气孔指数处于不断变化的过程之中。子叶上、下表皮的气孔密度均随着子叶的生长而下降,在不同时间内有显著或极显著的差异。这表明,在子叶生长的前期,普通表皮细胞和保卫细胞数目在不断增加;在子叶生长后期这 2 种类型细胞体积在不断增加。萌发后表皮细胞数目快速地增加,导致气孔密度达最大值后,随着细胞体积的变大,单位面积的气孔数反而变少,气孔密度也就下降。所以在子叶上、下表皮都有一个气孔密

度的高峰, 极显著的高于其他时期的气孔密度, 然后出现气孔密度的下降。在此次研究中, 子叶上、下表皮均在萌发后第3天气孔密度达到最大值, 这可能是因为是在萌芽后的前几天, 子叶表皮细胞就迅速地进行分裂, 完成了细胞数目的增加。此外, 从图2A可以看出, 子叶下表皮的气孔密度明显大于上表皮的气孔密度, 这与一般植物叶片上气孔分布的规律相同, 即气孔主要分布在下表皮, 同时也表明子叶下表皮进行气体交换比上表皮强烈。顾振芳等^[10]对黄瓜对霜霉病的抗性进行的研究发现, 黄瓜叶片的气孔密度与黄瓜品系对霜霉病的抗性呈负相关。那么菜心子叶表皮的气孔密度大小是否也有着其生理上的功能特性呢?

气孔指数反映的是100个表皮细胞中气孔的数目, 但菜心子叶表皮气孔指数的变化规律并不明显。从图2B可以看出, 子叶上表皮在萌发后第6天的气孔指数极显著地高于其他天数的气孔指数, 说明相同数目的表皮细胞中进行气体交换的气孔在萌芽后第6天有一个最高值, 随着子叶的发育, 气孔指数显著地下降。子叶下表皮在萌发后第3天和第6天的气孔指数分别极显著和显著地高于第9、12、15、18、21、24天的气孔指数, 表明下表皮相同数目的表皮细胞中进行气体交换的气孔在萌芽后第3天有一个最高值, 第6天较第3天稍有下降, 但不显著。此外, 上表皮的气孔指数随着子叶的生长呈起伏不定的变化, 而下表皮的气孔指数则是先下降后又上升。同一时间里, 上、下表皮相比, 除萌发后第21天外, 均为上表皮的气孔指数大于下表皮的气孔指数。

气孔的分布、气孔密度及气孔指数等作为气孔研究的重要指标, 它不仅是植物形态学上的一个重要特征, 而且在研究植物间的亲缘关系、系统进化和分类、染色体倍性鉴定、估价植物的抗病性、生存环境以及生理意义等方面具有重要的意义^[9,11]。但由于这些指标常受水分、CO₂浓

度、光照、压强、营养等环境因素的影响^[12-14], 因此, 在不同环境条件下气孔的以上指标会存有一定的差异。该试验是在炎热、潮湿并且光照时间长的夏季进行的, 那么, 在干燥、寒冷且日照时间短的季节, 菜心子叶气孔的以上指标是否会有变化, 这还有待于进一步的研究。

参考文献

- [1] 周云龙. 植物生物学[M]. 2版. 北京: 高等教育出版社, 2004: 68.
- [2] Evert. Esau's plant anatomy, meristems cells and tissues of the plant body: their structure, function and development[M]. 3rd ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons Inc., 2006: 214-221.
- [3] 邵科, 李慧鹏, 杜琛. 子叶气孔法选择甜菜新品种的初步研究[J]. 中国甜菜糖业, 2008(1): 18-20.
- [4] 姚兆华, 郝丽珍, 王萍. 等. 沙芥属植物叶片的气孔特征研究[J]. 植物研究, 2007, 27(2): 199-203.
- [5] 汪矛. 植物生物学实验教程[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 138.
- [6] 李润唐, 张映南, 田大伦. 等. 柑橘类植物叶片的气孔研究[J]. 果树学报, 2004, 21(5): 419-424.
- [7] Wu D, Wang H, Lu J M, et al. Comparative morphology of leaf epidermis in *Parnassia* (*Parnassiaceae*) from China[J]. Acta Phytotax Sin, 2005 43(3): 210-224.
- [8] 马清温, 李承森, 李凤兰. 巨杉的叶表皮结构及其与红杉和水杉的比较[J]. 北京林业大学学报, 2007, 29(5): 7-11.
- [9] 蒋道松, 周朴华, 梁曾恩妮. 等. 盾叶薯蓣四倍体与二倍体叶表皮及气孔器显微结构的比较[J]. 广西植物, 2008, 28(4): 427-430, 450.
- [10] 顾振芳, 王卫青, 朱爱萍. 等. 黄瓜对霜霉病的抗性与其叶绿素含量、气孔密度的相关性[J]. 上海交通大学学报(农业科学版), 2004, 22(4): 381-384.
- [11] 闫忠业, 伊凯, 刘志. 等. 富士系苹果叶片气孔观察[J]. 北方园艺, 2007(9): 1-3.
- [12] 贺俊英, 强胜, 宋小玲. 等. 外来植物紫茎泽兰18个种群的茎叶形态结构比较研究[J]. 西北植物学报, 2005, 25(6): 1089-1095.
- [13] Deccetti S F C, Soares A M, Paiva R, et al. Effect of the culture environment on stomatal features, epidermal cells and water loss of micropropagated *Amora glabra* L. plant[J]. Sci Hort, 2008, 117(4): 341-344.
- [14] Kim S J, Hahn E J, Heo J W, et al. Effects of LEDs on net photosynthetic rate, growth and leaf stomata of chrysanthemum plantlets in vitro[J]. Sci Hort, 2004, 101(1-2): 143-151.

Stomata Distribution on the Cotyledon of *Brassica chinensis* L. var. *Parachinensis* (Bailey)

HE Feng-li MA San-mei

(Department of Biotechnology, Jinan University, Guangzhou, Guangdong 510632, China)

Abstract: The stomatic distribution, stomata density, stomatal index of *Brassica chinensis* L. var. *parachinensis* (Bailey) cotyledon surface were investigated by light microscopy. The main conclusions were as follows: Ordinary epidermal cells were usually irregular in shape, with the anticlinal walls of the upper epidermal cells sinuate and the lower epidermal cells sinuous or sinuate. The stomata were anomocytic and existed on both the upper and the lower epidermis. The major shapes of stomata were elliptical, while the guard cells were kidney-shaped. The stomata density of the upper and the lower epidermis decreased according to the growth of cotyledon, ranging from $(79.25 \pm 22.99) \text{ mm}^{-2}$ to $(204.31 \pm 40.17) \text{ mm}^{-2}$ and $(102.79 \pm 30.85) \text{ mm}^{-2}$ to $(242.95 \pm 62.78) \text{ mm}^{-2}$ respectively. There were significant or very significant differences. Furthermore, the stomata density of the lower epidermis was distinctly higher than that of the upper epidermis. The varieties of stomatal index were complex, but the stomatal index of the upper epidermis was higher than that of the lower epidermis in the same time.

Key words: *Brassica chinensis* L. var. *parachinensis* (Bailey); Cotyledon; Stomata; Stomata density; Stomatal index