植物营养与肥料学报 2011,17(6):1538 -1544
Plant Nutrition and Fertilizer Science

钾对不同钾效率棉花基因型叶片解剖结构的影响

姜存仓,郝艳淑,王晓丽,夏 颖,王运华*
(华中农业大学资源与环境学院,武汉 430070)

摘要:以钾高效高潜基因型 HG103 和低效低潜基因型 LG122 为材料,在盆栽条件下研究了钾对不同棉花基因型叶片解剖结构的影响。结果表明,花铃期施钾条件下 HG103 上部叶主叶脉的上、下表皮细胞排列较 LG122 紧密和整齐,而下部叶片则相反;缺钾后 HG103 上部叶主叶脉比 LG122 发育得好;HG103 叶脉维管束木质部具有较多导管数,利于养分和水分等的运输,而 LG122 木质部导管数相对较少;HG103 上部叶叶脉的韧皮部比 LG122 较为发达,利于光合产物运输。花铃期施钾条件下 HG103 上部叶的叶肉细胞结构与 LG122 差别不大,下部叶的栅栏组织则没有 LG122 排列的整齐。缺钾时,HG103 上部叶叶肉的上表皮细胞比 LG122 排列的较为整齐,栅栏组织和海绵组织形状较规则;而下部叶 LG122 栅栏组织和海绵组织比 HG103 分化得好。

关键词:棉花;钾效率;解剖结构;栅栏组织;海绵组织
中图分类号:S562.01;Q942　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1008 -505X(2011)06 -1538 -07

Effects of potassium fertilization on leaf anatomical structures of different cotton genotypes

JIANG Cun-cang, HAO Yan-shu, WANG Xiao-li, XIA Ying, WANG Yun-hua*
(*College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China*)

Abstract: To study the effects of potassium (K) on leaf anatomical structures of different cotton genotypes, a pot experiment was conducted at Huazhong Agricultural University. There were two cotton genotypes (HG103, and LG122), two K application levels (0 and 0.4 g/kg soil). The HG103 (high K efficiency genotype) and LG122 (low K efficiency genotype) were selected from 86 cotton cultivars (*Gossypium hirsutum* L.). The results show that the upper leaves main veins of the upper or the lower epidermis cells of HG103 are more tight and neat than those of LG122 when adding K, while the main veins of lower leaves are opposite. The upper leaf main veins of HG103 are better than those of LG122 under the no K level. HG103 has lots of vascular xylem vein catheters which benefits nutrients and moisture transportion, while LG122 has small number of xylem conduits. The phloem veins of the upper part of HG103 are better than those of LG122, which could help HG103 transport much of photosynthetic products. The structures of upper leaf mesophyll cells of HG103 and LG122 are not very different when applying K, but lower leaf palisade tissues of LG122 are more neatly arranged than those of HG103. Under the K insufficiency, upper leaf epidermal cells of HG103 are more orderly, and shapes of palisade and spongy tissues are more regular, while the palisade tissue and spongy tissue of the lower leaves of LG122 are better than those of HG103.

Key words: cotton; K efficiency; anatomical structure; palisade tissue; spongy tissue

---

收稿日期:2011 -03 -21　　**接受日期**:2011 -07 -18
基金项目:国家自然科学基金项目(40801112);国际植物营养研究所(IPNI)基金项目(HuBei -37)资助。
作者简介:姜存仓(1976—),男,山东人,博士,副教授,主要从事植物营养机理与施肥研究。E-mail:jcc2000@mail.hzau.edu.cn
* 通讯作者 Tel:027 -87287141, E-mail:cotton2000@mail.hzau.edu.cn
本文承蒙华中农业大学作物遗传育种研究所聂以春教授的大力支持和帮助,深致谢意!

钾是植物必需的大量营养元素之一,在酶的激活、蛋白质合成、物质运输和渗透调节等方面起着重要的作用[1]。棉花是重要的纤维作物,需要吸收大量的钾素,但有关这方面的研究主要集中在钾对棉花农艺性状、产量、品质及生理生化的差异方面[2-3]。现有资料表明,作物不同品种对钾营养的反应不同[4],叶是作物进行同化和蒸腾作用的主要器官,与周围环境有着密切的关系,曲婷婷等[5] 2009 年研究发现,耐性大豆品种在低钾胁迫下通过自身叶片结构的变化能较好地维持叶片的光合功能,这为耐低钾大豆品种选育提供了选择指标。低钾营养胁迫下棉花生长受阻,体内代谢发生变化,叶的结构相应地也受到影响,对于棉花在低钾胁迫下叶片面积、厚度变化及叶片光合荧光特性等有一些报道[6-7],但关于钾对不同基因型棉花叶片显微结构差异的研究较少[8-9]。为此,利用本课题组通过 5 年的分批筛选[10-11] 获得的钾"双高"棉花基因型 HG103(钾高效和高增产潜力)和钾"双低"棉花基因型 LG122(钾低效和低增产潜力)为材料,研究钾对这 2 个不同钾效率棉花基因型叶片解剖结构的影响,旨在明确棉花耐低钾生理特性与解剖结构的关系,为耐低钾棉花选育和栽培提供理论基础。

1　材料与方法

1.1　试验材料

钾"双高"(钾高效和高增产潜力)基因型 HG103 和钾"双低"(钾低效和低增产潜力)基因型 LG122,由中国农科院棉花研究所种质资源室和华中农业大学作物遗传育种研究所提供。供试土壤采自湖北蕲春县向桥乡花岗片麻岩发育的水稻土。土壤 pH 4.95、有机质含量 30.49 g/kg、全氮 1.78 g/kg、全磷 1.95 g/kg、全钾 3.64 g/kg、碱解氮 114.78 mg/kg、速效磷 24.43 mg/kg、速效钾 56.61 mg/kg、缓效钾 331.81 mg/kg。土壤过 3 mm 筛,风干备用。

1.2　试验设计

试验用外涂黑漆的聚乙烯塑料盆,每盆装土 3.0 kg。以化学试剂作肥源,大、中量元素用量(g/kg):N 0.36、P 0.12、K 0.40、Ca 0.10、Mg 0.03。微量元素按阿农营养液配方配制,配方如下(g/L):H_3BO_3 2.86、$MnCl_2 \cdot 4H_2O$ 1.81、$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.22、$CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 0.08、$H_2MoO_4 \cdot 4H_2O$ 0.09。其中氮、磷、钾各 70%,作基肥施用,30% 作追肥,微量元素肥料一次性全部基施。

试验设施钾(+K,0.40 g/kg 土)和缺钾(-K,0 g/kg 土)两个处理,每处理 7 次重复,以化学试剂 KCl 做肥源。于 5 月 9 日开始,先进行种子处理,棉籽在 50 ~ 60℃温水中浸种、催芽,待种子露白后于 5 月 11 日播种到盆栽容器内,每个容器内播种 3 粒,浇蒸馏水 400 mL,5 月 12 日出土,19 日出真叶,24 日定植,每个容器 1 株棉花,从 5 月 25 日开始浇水,以后每天浇水 100 mL 左右,置于实验室内阳台的盆栽架上进行管理。

1.3　采样与分析

当棉花生长到营养需求旺盛的花铃期时,每个植株取上部倒数第三叶和下部倒数第三叶叶片各 1 片,共 56 个叶片样品,沿叶样中轴方向,在叶中部取 0.5 × 0.5 cm 的小段,投入 FAA 固定液中,常温下固定 24 h 以上。用去离子水洗涤 10 次,每次 2 min。用梯度酒精分 10 级脱水(10%、20%、30%、40%、50%、60%、70%、80%、90%、100%),每梯度脱水 1.5 h。用二甲苯分 4 级透明(1/4 二甲苯 + 3/4 酒精、1/2 二甲苯 + 1/2 酒精、3/4 二甲苯 + 1/4 酒精、纯二甲苯),每次透明 30 min。叶组织块逐级按第一缸为石蜡(恒温 35℃ ~ 40℃),第二缸石蜡(恒温 50℃ ~ 55℃),第三缸为 75% 石蜡(恒温为55℃ ~ 60℃),第四、五、六缸纯石蜡(恒温 60℃ ~ 62℃)四级浓度浸蜡,每缸浸蜡时间为 4 h。组织块浸蜡完毕,用纸盒包埋法进行石蜡包埋。蜡块冷凝后,按材料分成小块,将含有材料的石蜡包埋块固定在台木上,用单面刀片修整。修整后用切片机进行切片,石蜡包埋,制成 8 ~ 10μm 厚的片子,1% 蛋白粘贴剂贴片,自然干燥,蕃红、固绿双重染色后,制成棉花叶片永久切片,在 Olympas 照相显微镜下摄影观察。

2　结果与分析

2.1　钾对不同棉花基因型主叶脉微观结构的影响

棉花的叶脉由主脉(中脉)和侧脉组成,叶片中粗大坚韧的称主脉,侧脉则对称的有规律的排列在主脉两侧。叶脉具有支撑叶片、输送水分、养分,以便较好地进行光合作用的功能。对叶脉的解剖结构观察表明,施钾处理棉花叶脉比缺钾处理发育得好,不同基因型上部和下部叶片主脉的结构也存在差异(图 1)。

施钾处理,HG103 和 LG122 上部叶片主叶脉木质部、韧皮部和表皮细胞的层次结构比较清晰(图 1 a、b),上表皮细胞相互连接呈串珠状排列。HG103 和 LG122 结构的差异主要在于 HG103 的上表皮细胞比 LG122 排列地较为紧密,且 HG103 的下表皮细

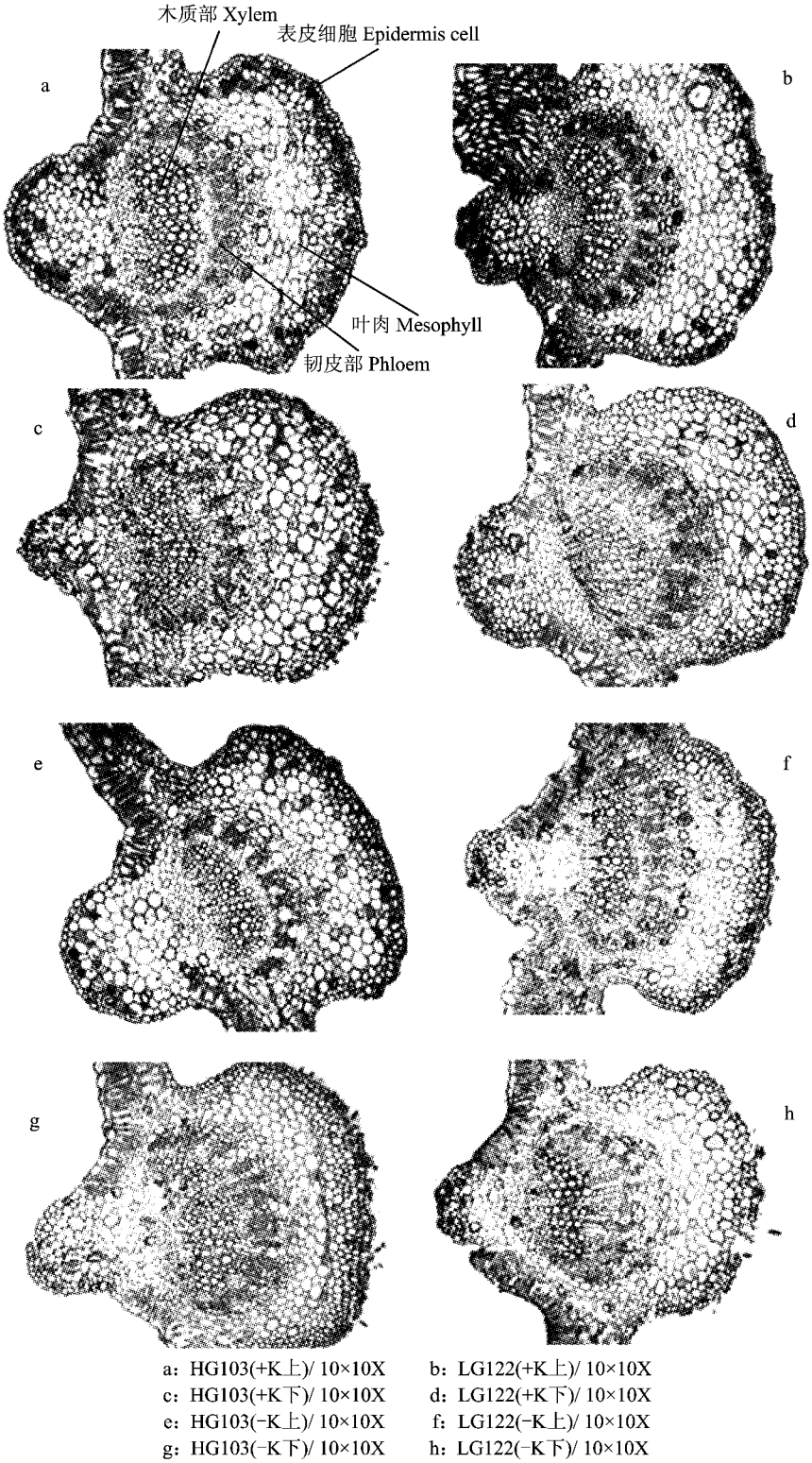


图1 不同钾水平对不同钾效率棉花基因型花铃期中叶脉微观结构的影响

Fig. 1 Effects of K on microstructures of main veins of different cotton genotypes at the blooming stage

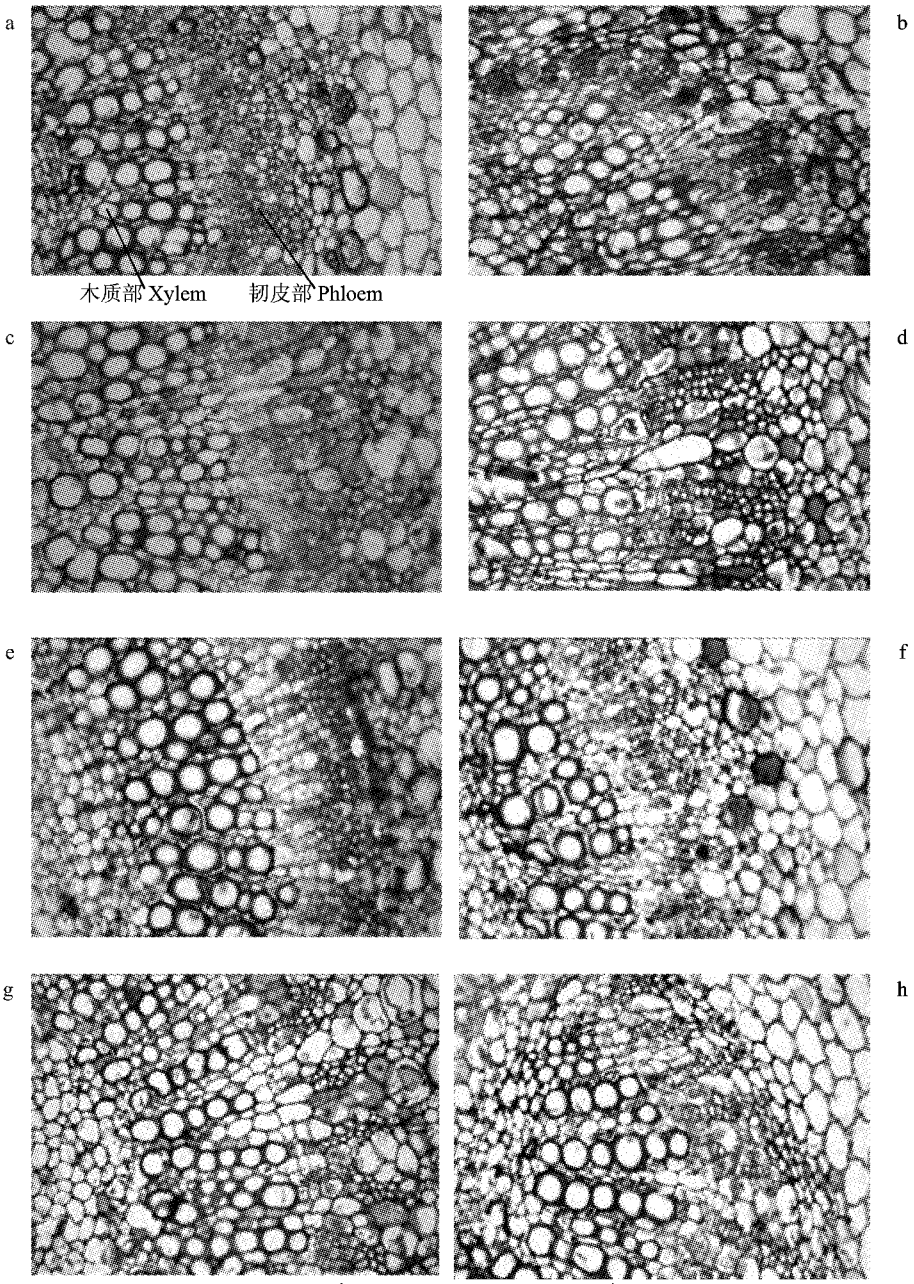
胞排列整齐，比 LG122 发育得完整。同样是施钾处理，HG103 和 LG122 的下部叶片叶脉（图 1c，d）比上部的叶脉层次结构较差，下部叶脉的上、下表皮细胞有些已经脱落。HG103 的表皮细胞脱落得较多，而 LG122 表皮细胞也有少许脱落，HG103 下部叶片的叶脉表皮细胞没有 LG122 的整齐。

缺钾条件下，基因型 HG103 和 LG122 上部叶片主叶脉基本结构正常（图 1e、f），与施钾处理相比主

要表现为叶脉形状变小。其中,LG122 的层次较模糊不清,上下表皮细胞有破碎,且细胞间隙较大,细胞间连接疏松; HG103 的结构层次较清晰,细胞间连接紧密,网络结构强,说明在缺钾条件下 HG103 比 LG122 能够较好地维持上部叶的结构。HG103 和 LG122 基因型缺钾后下部叶片叶脉的表皮细胞有些脱落(图 1g、h),细胞间隙较大。缺钾时 LG122 下部叶叶脉的结构好于其上部的叶脉,HG103 的表皮细胞比 LG122 排列紧密,不规则细胞数目少。

2.2　钾对不同棉花基因型主叶脉维管束结构影响的差异

维管束是养分和水分在植物体内的重要运输通道,本试验表明(图 2),不同钾处理条件下,不但上、下部位叶片的主叶脉维管束结构存在着差异,而且不同棉花基因型同一部位叶片的主叶脉维管束结构也存在着较大差异。



a: HG103(+K上)/ 10×40X　b: LG122(+K上)/ 10×40X
c: HG103(+K下)/ 10×40X　d: LG122(+K下)/ 10×40X
e: HG103(- K上)/ 10×40X　f: LG122(- K上)/ 10×40X
g: HG103(- K下)/ 10× 40X　h: LG122(- K下)/ 10×40X

图 2　不同钾水平对不同钾效率棉花基因型花铃期中叶脉维管束微观结构的影响

Fig. 2　Effects of K on microstructures of leave main vein vascular of different cotton genotypes at the blooming stage

施钾处理上部叶脉维管束的细胞排列较整齐(图2a、b),细胞的形状多呈圆形,不规则形状细胞少。其中HG103木质部导管数目多,韧皮部细胞致密有序,皮层细胞大小形状较为一致;而LG122表现为木质部的导管数较少,皮层部位不规则形状的细胞较多。下部叶脉与上部叶脉的主要不同之处在于,这两个基因型的韧皮部细胞发生了较大的变化(图2c、d)。其中HG103下部叶的叶脉韧皮部细胞数减少,且细胞排列成一条模糊带。而LG122韧皮部的细胞则更少,从木质部直接过渡到了皮层细胞,且细胞形状大小差别悬殊。

缺钾导致上部叶叶脉维管束的木质部导管数量减少,韧皮部细胞结构相对完整,皮层细胞排列不规则(图2e、f)。其中HG103的木质部导管数与加钾相比数量减少,但是仍比LG122数量多。可见,缺钾更易导致LG122叶脉木质部的导管数量减少,使其运输能力下降。缺钾也使得下部叶脉维管束木质部数量和韧皮部细胞个数减少(图2g、h)。与施钾时下部叶叶脉结构相反,HG103的韧皮部细胞近于消失,直接由木质部过渡到皮层细胞。而LG122的韧皮部细胞仍较完整,优于HG103。

2.3 钾对不同棉花基因型叶肉微观结构影响的差异

叶肉位于上、下表皮之间,多数植物叶肉细胞分化为栅栏组织和海绵组织。栅栏组织靠近表皮,是由一些排列较紧密的长圆柱状细胞组成,主要进行光合作用。而海绵组织靠近下表皮,是由一些排列较疏松的不规则形细胞组成,胞间隙发达,主要进行气体交换,也能进行光合作用。叶肉解剖结构表明,相同部位叶片加钾处理发育得更好(图3),缺钾后其栅栏组织、海绵组织细胞形状及排列方式发生了明显变化,细胞间隙增大。

施钾处理,上部叶片叶肉细胞层次结构比较清晰,从纵切面看(图3a、b),上表皮细胞小,有的为长方形,有的为扁圆形,有的为多边形,相互连接呈串珠状排列。表皮以下为单层细胞构成的栅栏组织,细胞呈柱状较为紧密地排列在一起。栅栏组织以下为海绵组织,细胞之间排列疏松而有序,组织中有比较大的空隙,下表皮细胞细小而呈间断排列。两基因型相比,上、下表皮细胞的形状和排列方式基本没有差异,由长柱形细胞组成的栅栏组织在两者的细胞排列紧密程度及细胞长度略有差异,LG122的栅栏组织细长,比HG103排列稍紧密。下部叶的表皮细胞膨大,栅栏组织排列疏松,海绵组织细胞间隙增大(图3c、d),与LG122相比,HG103的栅栏组织没有LG122排列的整齐,海绵组织下的皮层细胞出现破碎。

缺钾时的上部叶片比施钾处理薄,其叶肉细胞层次结构仍比较清晰(图3e、f)。HG103的上表皮细胞比LG122排列得较为整齐,细胞多为长方形或近于方形,不规则形状的细胞较小。HG103的栅栏组织和海绵组织形状也规则,排列整齐。LG122的上下表皮细胞有脱落的痕迹,且栅栏组织细胞呈直线型排列,海绵组织细胞的排列零乱。

缺钾处理的下部叶的叶肉细胞结构发生较大变化,表皮细胞严重脱落,细胞间隙大(图3g、h)。HG103的上下表皮细胞和栅栏组织细胞分化较差,海绵组织细胞破碎,细胞间隙较大,细胞连接疏松,细胞间网络结构不强。LG122上下表皮细胞脱落严重,但栅栏组织和海绵组织比HG103的好。

3 讨论与结论

植物营养是生理活动的物质基础,营养的变化在结构上必然有所反映。研究表明,钾对叶片解剖结构有较大影响,钾能改善烟叶组织结构,使其结构细腻、致密,形成优质的内部组织结构,且钾对不同品种的影响程度表现出明显的差异[12]。本试验结果看出,钾对不同棉花基因型叶片解剖结构有较大影响,且钾胁迫比钾适宜条件下增大了二者间解剖结构的差异。缺钾时,高效基因型HG103上部叶的上表皮细胞比低效基因型LG122排列的较为整齐,不规则形状的细胞较少;栅栏和海绵组织形状较规则。LG122的上下表皮细胞有脱落,且栅栏组织细胞呈直线性排列,海绵组织细胞排列零乱。也有报道认为,缺钾时棉花叶片上下表皮细胞与海绵组织、栅栏组织等均见收缩变形[13]。LG122上部叶主叶脉的层次模糊不清,上下表皮细胞有破碎,且细胞间隙大,细胞间连接疏松;HG103结构层次较清晰,细胞间连接紧密,网络结构强,说明缺钾时高效基因型HG103比低效基因型LG122能较好地维持上部叶的结构。在大豆上也有相似的结果,钾对不同耐性品种大豆叶片显微结构的研究表明,低钾时耐钾品种的上表皮结构、栅栏组织和细胞密度变化不明显,而不耐钾品种的叶片微观结构有较大改变[4]。对于下部叶,HG103上下表皮细胞和栅栏组织细胞分化较差,海绵组织细胞破碎,细胞间隙较大,细胞连接疏松,细胞间网络结构不强。LG122上下表皮细胞脱落较严重,但栅栏组织和海绵组织分化却比HG103

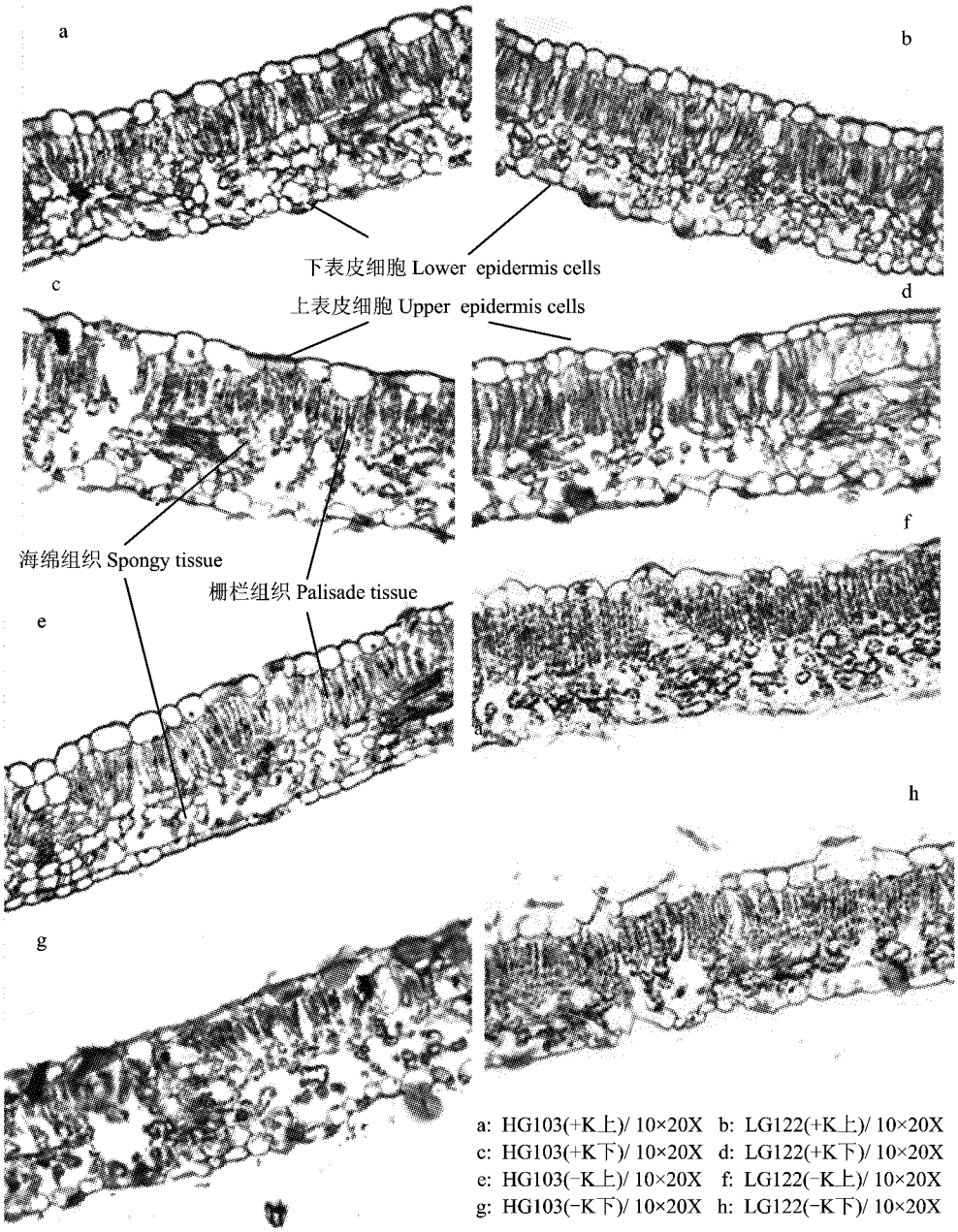


图 3　不同钾水平对不同钾效率棉花基因型花铃期叶肉微观结构的影响

Fig. 3　Effects of K on microstructures of mesophyll of different cotton genotypes at the blooming stage

要好。HG103 叶脉维管束木质部有较多的导管数,LG122 导管数相对较少,这有利于养分和水分在 HG103 体内的运输,促进棉桃的充分发育,从微观解剖结构解释了 HG103 棉花产量高于 LG122 的原因[14]。同时,HG103 上部叶脉的韧皮部比 LG122 的较为发达,有利于其将叶片中形成的光合产物运输到植物体的各部分,为高产奠定物质基础。因此,钾对棉花微观结构的改变存在着不同品种间的差异,低钾胁迫时上部叶的结构是高效基因型 HG103 优于低效基因型 LG122,而钾对下部叶结构的影响则相反,是 LG122 好于 HG103。

参 考 文 献:

[1] Marschner H. Mineral nutrition of higher plant (Second edition) [M]. London: Academic Press. 1995.

[2] Xia Y, Jiang C C, Chen F *et al*, Differences in growth and K-use efficiency of two cotton genotypes[J]. Commun. Soil Sci. Plan., 2011, 42 (2): 132-143.

[3] 张志勇, 王清连, 李召虎, 等. 缺钾对棉花幼苗根系生长的影响及其生理机制[J]. 作物学报, 2009, 35(4): 718-723. Zhang Z Y, Wang Q L, Li Z H *et al*. Effect of potassium deficien-

cy on root growth of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) seedlings and its physiological mechanisms involved[J]. Acta Agron. Sin., 2009, 35(4): 718-723.

[4] Rengel Z, Damon P M. Crops and genotypes differ in efficiency of potassium uptake and use[J]. Physiol. Plantarum., 2008, 133 (4): 624-636.

[5] 曲婷婷, 曹敏建, 李兴涛, 王伟. 低钾胁迫下两种不同耐低钾大豆叶片显微结构的差异[J]. 大豆科学, 2009, 28 (3): 434-438.
Qu T T, Cao M J, Li X T, Wang W. Differences of low potassium stress on leaves microstructure of two soybean varieties with different resistance[J]. Soybean Sci., 2009, 28 (3): 434-438.

[6] Pettigrew W T. Potassium deficiency increase specific leaf weights and leaf glucose levels in field-grown cotton[J]. Agron. J., 1999, 91(6): 962-968.

[7] Reddy K R, Zhao D L. Interactive effects of elevated CO_2 and potassium deficiency on photosynthesis, growth, and biomass partitioning of cotton[J]. Field Crops Res., 2005, 94: 201-213.

[8] Zhao D, Oosterhuis D M, Bednarz. C W, Influence of potassium deficiency on photosynthesis, chlorophyll content, and chloroplast ultrastructure of cotton plants[J]. Photosynthetica, 2001, 39: 103-109.

[9] 董合忠, 唐薇, 李振怀, 等. 棉花缺钾引起的形态和生理异常[J]. 西北植物学报, 2005, 25(3): 615-624.
Dong H Z, Tang W, Li Z H *et al*. Morphological and physiological disorders of cotton resulting from potassium deficiency[J]. Acta Bot. Bor-Occid. Sin., 2005, 25(3): 615-624.

[10] 姜存仓, 高祥照, 王运华, 等. 不同基因型棉花苗期钾效率差异及其机制的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11 (6): 781-786.
Jiang C C, Gao X Z, Wang Y H *et al*. Potassium efficiency of various cotton genotypes and its nutritional mechanisms[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2005, 11(6): 781-786.

[11] Jiang C C, Chen F, Gao X Z *et al*. Study on the nutrition characteristics of different K use efficiency cotton genotypes to K deficiency stress[J]. Agric. Sci. China, 2008, 7(6): 740-745.

[12] 李荣春, 李佛琳, 徐琼华. 钾对烤烟叶片解剖结构的效应及其品种差异[J]. 中国烟草科学, 2001, (2): 39-41
Li R C, Li F L, Xu Q H, Effect of potassium on anntomical structure of flue-cured tobacco leaf[J]. Chin. Tob. Sci., 2001, (2): 39-41.

[13] 陈朱希昭, 邓岳芬, 梁德印, 徐美德. 棉花缺钾的解剖学特征观察[J]. 北京大学学报 (自然科学版), 1988, 34 (4): 467-476.
Chen Z X Z, Deng Y F, Liang D Y, Xu M D. An observation on the anatomical characters of potassium-deficient cotton plants [J]. Acta Sci. Natu. Univ. Pekinensis, 1988, 34 (4): 467-476.

[14] Jiang C C, Xia Y, Chen F *et al*. Genotypic variation for growth, yield components, economic responses and soil indigenous K exploitation in cotton (*Gossypium hirsutum* L.)[J]. Agric. Sci. China, 2011, 10(5): 705-713.