

不同硼效率棉花品种果胶与不同形态硼含量的差异^①

耿明建, 吴礼树, 曹享云, 刘武定

(华中农业大学微量元素研究中心, 农业部亚热带农业资源与环境重点开放实验室, 武汉 430070)

摘要: 溶液培养条件下研究硼 (B) 对不同 B 效率棉花品种水溶性果胶、原果胶及水溶性 B、酸溶性 B 含量的影响。

结果表明, 供 B 充足时, B 低效棉花品种各部位果胶含量均大于高效品种, 不同形态 B 含量也有同样的规律。缺 B 时, 高效品种各部位果胶含量一般高于低效品种。严重缺 B 使 2 个棉花品种不同形态 B 含量均显著降低, 水溶性 B 变化比酸溶性 B 更明显, 低效品种各部位酸溶性 B 及上部幼叶水溶性 B 含量降低幅度均大于高效品种, 下部老叶和根中水溶性 B 降低幅度小于高效品种。缺 B 还使 2 个品种上部幼叶与下部老叶水溶性 B 含量比值增加, 高效品种增加幅度大于低效品种, 该比值在品种间的差异明显大于水溶性 B 和酸溶性 B 含量的差异, 可以更好地反映不同品种的 B 效率。

关键词: 棉花品种; 硼效率; 果胶; 硼形态

中图分类号: S562

硼 (B) 是高等植物必需的营养元素, B 缺乏现象普遍存在^[1-2], 施 B 已成为这些地区作物高产、优质的重要措施^[3-4]。然而, 人们对 B 如何在植物体内行使生理功能的理解与施用 B 肥已获得的巨大经济效益却不成比例。由于 B 元素化学的特殊性, 自 1923 年 B 被确认为植物必需元素迄今已历 80 余年, 但其在植物体内的原初反应一直未能确定^[5]。早在 20 世纪 40 年代, Marsh 等人^[6]已把高等植物中 B 分为水溶性 B 和水不溶性 B, 发现水溶性 B 含量容易随环境供 B 量变化而变化。水溶性 B 含量作为诊断植物缺 B 症状的指标更灵敏^[7]。而水不溶性 B 主要与细胞壁果胶多糖紧密结合, 含量相对稳定, 不同类型植物水不溶性 B 含量与植物体内水及草酸不溶、盐酸可溶的果胶多糖含量呈正相关^[8]。Matoh 等^[9]报道萝卜 (*Raphanus sativus*) 根细胞中 80% 以上 B 分布于细胞壁, 而细胞壁 80% 的 B 和果胶结合。Hu 等^[10]在南瓜叶 (*Cucurbita* sp.) 和烟草 (*Nicotiana tabacum*) 培养细胞中也得出类似结论, 他们认为植物相对需 B 量与细胞壁 B 含量相关; 他们进一步推测果胶含量高低可以作为判断同一植物不同基因型需 B 量高低的依据^[8], 但尚未得到试验证实。本文通过测定不同 B 效率棉花品种水溶性 B、酸溶性 B 及水溶性果胶、原果胶含量, 探讨棉花 B 效率与 B 形态、果胶含量的关系。

1 材料与方法

1.1 培养试验

供试棉花 (*Gossypium hirsutum* L.) 为高效品种 9901 和低效品种 9903, 种子分别由湖北省农业科学院棉花研究所和中国农业科学院棉花研究所提供, 由笔者于 1999 年从 33 个陆地棉品种中筛选出, 高效品种 9901 的 B 效率系数 (缺 B 处理 (0.15 mg/kg) 苗期地上部干物质重量/正常施 B 处理 (1.0 mg/kg) 苗期地上部干物质重量) 为 0.81, 低效品种 9903 仅为 0.36^[11]。

棉花幼苗在溶液培养条件下生长, 采用 Hoagland 营养液培养, 每 1L 营养液中添加无 B Arnon 微量元素混合液 1 ml 及 0.1 mol/L FeSO₄ 与 0.1 mol/L EDTA-Na₂ 混合液 1 ml, 溶液中的 B 根据处理的浓度不同单独添加。棉花种子于 2002 年 8 月 27 日进行温汤浸种, 催芽后播于石英砂上, 子叶出苗 2 天后, 移栽于装有 15 L 1/4 浓度培养液的塑料盆中。每盆 1/2 的空间用于栽培高效品种 6 株, 另 1/2 空间栽培低效品种 6 株。预培养时溶液 B 浓度设为 0.05 mg/L, 9 月 17 日更换为 1/2 浓度的培养液, B 浓度增加至 0.1 mg/L。9 月 27 日挑选生长一致的棉花幼苗用蒸馏水漂洗根系, 进行缺 B 胁迫处理, 设 3 个 B 水平: 0、0.005、0.5 mg/L, 分别以 B₁、B₂、B₃ 代表各处理, 每个处理设 3 次重复, 培养液更换为完全浓度的营养液。10 月 15 日分部位采样分别测定上部幼叶 (顶 3 叶)、下部老叶 (下部 3 个叶片) 及根系中水溶性 B、酸溶性 B 及水溶性果胶、原果胶含量。培养期间, 容器外涂黑色油漆, 防止光线射入, 营养液每天通气, 并补充损

①基金项目: 国家自然科学基金 (39870520) 和高等学校博士学科点专项基金 (970404) 资助。

作者简介: 耿明建 (1970—), 男, 河南唐河人, 副教授, 主要从事植物营养与施肥方面研究。E-mail: mjgeng@mail.hzau.edu.cn

失水分, 每 5 天更换一次营养液。

1.2 分析方法

水溶性果胶及原果胶的测定采用咔唑比色法^[12]。

不同形态 B 含量的测定参照杜昌文等^[13]的方法并经过笔者修改: 棉花鲜样用去离子水洗净、擦干, 剪成碎片后称样, 放入小塑料瓶中, 加 15 ml 去离子水, 25℃水浴保温振荡 24 h, 过滤, 所得滤液用于测定水溶性 B。残渣连同滤纸一起放入原塑料瓶中, 加入 1 mol/L HCl 15 ml, 25℃水浴保温振荡 24 h, 再次过滤, 所得滤液用于测定酸溶性 B。B 含量采用姜黄素比色法测定。

1.3 数据统计和分析

采用 Microsoft Office Excel 2003 对数据进行方差分析和多重比较 (新复极差法)。

2 结果与分析

2.1 B 对不同 B 效率棉花品种果胶含量的影响

由表 1 可知, 不同供 B 水平下, 2 个棉花品种不同部位果胶形态均以原果胶为主, 水溶性果胶含量较低, 如上部幼叶水溶性果胶占总果胶的比例为 5.42%~10.88%, 老叶为 4.16%~9.82%, 根部稍高, 也只有 16.44%~26.38%。无论缺 B 与否, 2 个棉花品种叶片中总果胶及原果胶含量较高, 根系中较低; 高效品种 9901 水溶性果胶也表现为叶片中较高、根系中较低,

而低效品种 9903 则表现为上部幼叶及根中水溶性果胶含量较高, 老叶中较低。

不同 B 效率棉花品种比较, 供 B 充足时, 低效品种各部位原果胶及总果胶含量均明显大于高效品种, 水溶性果胶含量除老叶外也有同样规律 (表 1)。缺 B 情况下, 高效品种各部位水溶性果胶含量均显著升高, B₁、B₂ 处理分别比 B₃ 处理提高 108.89%~234.51% 和 70.78%~149.74%; 低效品种 B₁、B₂ 处理的老叶和根中水溶性果胶也显著高于 B₃ 处理, 但增加幅度 (16.54%~54.68%) 明显小于高效品种, 而上部幼叶中水溶性果胶仅有升高趋势 (增加幅度为 10.93% 和 1.61%)。缺 B 也使高效品种各部位原果胶和总果胶含量均显著升高, 老叶升高幅度最大 (B₁、B₂ 处理较 B₃ 处理升高 155.50%~210.67%), 其次是根 (B₁、B₂ 处理较 B₃ 处理升高 83.65%~108.45%), 幼叶升高幅度较小 (B₁、B₂ 处理较 B₃ 处理升高 59.52%~85.87%)。低效品种遭受缺 B 胁迫时, 根中原果胶及果胶总量无明显变化 (B₁、B₂ 处理与 B₃ 处理比较, 变化幅度在 -3.46%~8.54% 之间); 幼叶中均显著降低 (B₁、B₂ 处理分别比 B₃ 处理降低 28.86%~31.15% 和 46.76%~49.53%); 老叶在轻度缺 B 的 B₂ 处理时原果胶及总果胶含量也显著降低 (降低幅度为 28.68%~30.64%), 严重缺 B 的 B₁ 处理时无明显变化, 仅比 B₃ 处理高 0.37%~2.63%。

表 1 B 对不同 B 效率棉花品种果胶含量的影响 (mg/g 鲜重)

Table 1 Effect of boron on pectin contents in cotton cultivars with different boron efficiency

处理	部位	9901			9903		
		水溶性果胶	原果胶	果胶总量	水溶性果胶	原果胶	果胶总量
B ₁	YL	559.6 a	4582.2 c	5141.8 c	457.7 a	4955.8 b	5413.5 b
	OL	519.2 a	6821.0 a	7340.1 a	299.4 c	4466.8 b	4766.2 c
	R	417.1 c	1163.7 e	1580.7 f	382.4 b	1096.1 e	1478.5 f
B ₂	YL	457.5bc	5339.1 b	5796.7bc	419.2 ab	3632.8 c	4052.0 d
	OL	509.7ab	5710.9 b	6220.6 b	225.6 d	3086.6 d	3312.2 e
	R	311.4 d	1242.2 e	1553.5 f	426.0 a	1137.6 e	1563.5 f
B ₃	YL	267.9de	2872.6 d	3140.5 d	412.6 ab	7197.5 a	7610.1 a
	OL	239.1 e	2195.5 d	2434.7 e	193.6 e	4450.3 b	4643.9 c
	R	124.7 f	633.6 f	758.3 g	305.1 c	1135.3 e	1440.5 f

注: YL—上部幼叶, OL—下部老叶, R—根系, 以下图表相同; 同一列内字母不同表示差异显著 ($p<0.05$)。

2.2 B 对不同 B 效率棉花品种不同形态 B 含量的影响

从图 1 看, 正常供 B 情况下, 2 个棉花品种水溶性 B 及酸溶性 B 均以老叶中含量最高, 幼叶中酸溶性 B 含量大于根系, 水溶性 B 含量小于根系。2 个品种之间比较, 低效品种各部位水溶性 B 及酸溶性 B 含量

均有大于高效品种的趋势, 酸溶性 B 比水溶性 B 表现更明显 (低效品种酸溶性 B 及水溶性 B 分别比高效品种高 50.66%~54.72% 和 4.18%~12.28%)。

缺 B 使 2 个棉花品种各部位水溶性 B 及酸溶性 B 含量均显著降低 (图 1), 但酸溶性 B 降低幅度较小

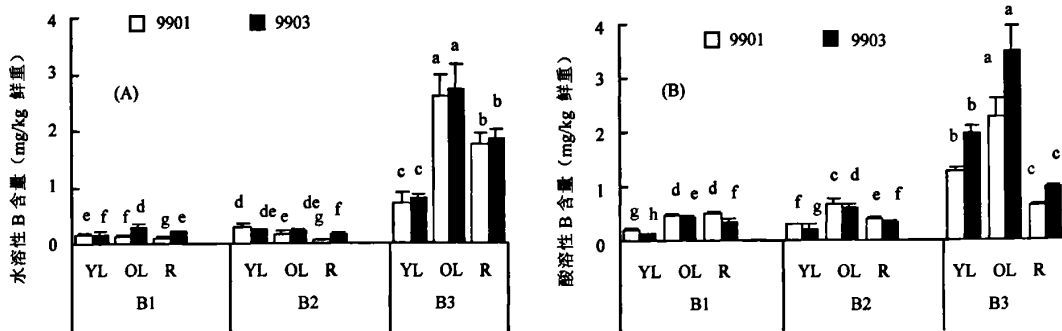


图 1 B 对不同 B 效率棉花品种水溶性 B (A) 和酸溶性 B (B) 含量的影响 (图中字母不同表示差异显著 ($p < 0.05$))

Fig. 1 Effect of boron on the content of water soluble boron and water insoluble but acid soluble boron in cotton cultivars with different boron efficiency

(21.79% ~ 93.28%), 水溶性 B 降低幅度较大 (61.32% ~ 96.46%)。不同部位两种形态 B 降低幅度也不同, 水溶性 B 含量以幼叶降低幅度较小 (61.32% ~ 80.53%), 老叶及根中较大 (88.07% ~ 96.46%); 酸溶性 B 含量以幼叶降低幅度最大 (77.43% ~ 93.28%), 老叶其次 (70.96% ~ 87.36%), 根中最小 (21.79% ~ 66.13%)。

2 个棉花品种之间 B 含量因缺 B 而降低的幅度也不同。虽然缺 B 情况下 2 个品种酸溶性 B 含量均降低, 但低效品种各部位降低幅度均明显大于高效品种, 特别是幼叶和根表现更明显。高效品种 B_1 处理的幼叶、老叶、根中酸溶性 B 含量分别是 B_3 处理的 16.20%、21.17%、78.21%, B_2 处理为 B_3 的 22.57%、29.04%、60.30%; 而低效品种 B_1 处理各部位 B 含量分别是 B_3 处理的 6.72%、12.64%、33.87%, B_2 处理分别是 B_3 处理的 9.94%、17.78%、35.22%。2 个品种水溶性 B 含量降低幅度大小因部位不同而不同, 高效品种幼叶降低幅度 (61.32% ~ 75.56%) 小于低效品种 (69.54% ~ 85.53%), 老叶和根 (93.82% ~ 96.46%) 有大于低效品种的趋势 (88.07% ~ 92.05%)。

从幼叶与老叶水溶性 B 含量的比值看, B 充足时, 2 个品种相近 (高、低效品种分别是 0.277 和 0.295); 轻度缺 B (B_2 处理) 时, 2 个品种均升高, 但高效品种 (1.73) 大于低效品种 (1.10); 随着缺 B 程度加剧 (B_1 处理), 2 个品种的该比值差距进一步加大 (高、低效品种分别是 1.51 和 0.544)。缺 B 情况下, B 效率不同, 棉花品种该比值差异幅度明显大于水溶性 B 含量及酸溶性 B 含量差异幅度, 可以更好地反映不同品种 B 效率的差异。

3 讨论

果胶主要由半乳糖醛酸聚糖 (HG)、鼠李-半乳糖醛酸聚糖-I (RG-I) 和鼠李-半乳糖醛酸聚糖-II (RG-II) 组成, B 通过胶联 RG-II 单链在细胞壁中形成果胶质网络, 增强细胞壁机械强度^[14-15]。Matoh 等^[9]的试验表明细胞中 80% 的 B 分布于细胞壁, 植物对 B 需求量主要取决于细胞壁 B 含量, 而细胞壁 B 含量高低与其中原果胶含量呈正相关。Hu 等^[8]推断果胶含量高低也可以作为判断同一植物不同基因型需 B 量高低的依据。本试验结果支持该观点, 供 B 充足时, 低效棉花品种各部位原果胶和 B 含量均明显大于高效品种, 缺 B 情况下, 高效品种中原果胶含量较高, 其酸溶性 B 含量也比低效品种高。

缺 B 使棉花 B 高效品种各部位水溶性果胶和原果胶含量均显著升高, 低效品种水溶性果胶也有升高趋势, 但各部位原果胶含量或显著降低或无明显变化。杨玉华等^[16]发现不同 B 效率油菜品种果胶含量受缺 B 影响也不同。Yamanouchi^[17]报道缺 B 使细胞伸长停止后, 细胞壁的物质合成仍在进行, 需要通过光合作用为其提供 C 源和能量。同等缺 B 胁迫下, B 高效油菜品种受伤害程度较轻, 通过光合作用合成碳水化合物能力比低效品种强^[18], 这可能是油菜高效品种缺 B 条件下果胶含量较高的原因之一。不同 B 效率棉花品种在缺 B 胁迫下光合作用以及光合产物向果胶转化的过程是否存在差异, 其果胶含量差异是否与此有关, 需要进一步研究。

Loomis 等^[19]报道, 供 B 充足时高等植物水溶性 B 为总 B 量的 20% ~ 60%, 缺 B 情况下, 水溶性 B 首先降低, 只有在严重缺 B 时, 水不溶性 B 含量才降低。

水溶性 B 含量对缺 B 反应迅速,作为诊断植物缺 B 症状的指标比总 B 更灵敏^[7]。本试验得到的缺 B 情况下棉花水溶性 B 变化幅度大于酸溶性 B 的结果支持该观点。同时本试验结果还表明,缺 B 情况下不同 B 效率棉花品种幼叶与老叶水溶性 B 含量的比值差异幅度明显大于水溶性 B 含量及酸溶性 B 含量差异幅度,可以更好地反映不同品种 B 效率的差异。缺 B 引起幼叶与老叶中水溶性 B 含量比值明显差异可能与两品种在缺 B 情况下 B 吸收、运转能力不同有关。

参考文献:

- [1] Shorrocks VM. The occurrence and correction of boron deficiency // Bell RW, Reerkasem B. Boron in Soils and Plants. New York: Kluwer Academic Publishers, 1997: 121-148
- [2] 赵书军, 梅东海, 陈国华, 袁家富, 倪国仕, 王卫建, 袁宏涛, 彭成林. 鄂西南植烟土壤微量元素分布及演变特点. 土壤, 2005, 37 (6): 674-678
- [3] 李宝珍, 王正银, 李加纳, 武杰, 谌利. 氮磷钾硼对甘蓝型黄籽油菜产量和品质的影响. 土壤学报, 2005, 42(3): 479-487
- [4] Yu CL, Luo SG, Peng XL, Liu YY. Effects of boron, zinc, and iron on the gentiopicroside content and yield of gentian. Pedosphere, 2006, 16(2): 210-214
- [5] Brown PH, Bellaloui N, Wimmer MA, Bassil ES, Ruiz J, Hu H, Pfeffer H, Dannel F, Römhild V. Boron in plant biology. Plant Biology, 2002, 4(2): 205-233
- [6] Marsh RP. Comparative study of the calcium-boron metabolism of representative dicots and monocots. Soil Science, 1942, 53:75-78
- [7] Huang LB, Ye ZQ, Bell RW. The importance of sampling immature leaves for the diagnosis of boron deficiency in oilseed rape (*Brassia nupus* cv. Eureka). Plant and Soil, 1996, 183(2): 187-198
- [8] Hu H, Brown PH, Labavitch JM. Species variability in boron requirement is correlated with cell wall pectin. Journal of Experimental Botany. 1996, 47: 227-232, 295
- [9] Matoh T, Ishigaki K, Ohno K, Azuma J. Isolation and characterization of a boron-polysaccharide complex from radish roots. Plant Cell Physiology, 1993, 34(4): 639-642
- [10] Hu H, Brown PH. Localization of boron in cell walls of squash and tobacco and its association with pectin. Evidence for a structural role of boron in the cell wall. Plant Physiology, 1994, 105: 681-689
- [11] 耿明建. 不同硼效率棉花品种对缺硼反应差异及其机理研究 (博士论文). 武汉: 华中农业大学, 2003
- [12] 宋小清. 果胶的测定 // 韩雅珊主编. 食品化学实验指导. 北京: 北京农业大学出版社, 1992: 32-33
- [13] 杜昌文, 王运华, 徐芳森, 王火焰. 不同硼效率甘蓝型油菜品种中硼的形态及其相互关系. 植物营养与肥料学报, 2002, 8(1): 105-109
- [14] O'Neill MA, Albersheim P, Darvill A. The pectic polysaccharides of primary cell walls // Dey PM, Harborne JB. Methods in Plant Biochemistry (Vol. 2), Carbohydrates. London: Academic Press, 1990: 415-441
- [15] Ishii T, Matsunaga T. Pectic polysaccharide rhamnogalacturonan II is covalently linked to homogalacturonan. Phytochemistry, 2001, 57: 969-974
- [16] 杨玉华, 王运华, 杜昌文, 吴礼树. 硼对不同硼效率甘蓝型油菜品种细胞壁组成的影响. 植物营养与肥料学报, 2002, 8(3): 340-343
- [17] Yamanouchi M. The role of boron in higher plants. II. The influence of boron on the formation of pectic substances. Bull. Fac. Agri. Tottori. Univ., 1973, 25: 21-27
- [18] Yu M, Yang YH, Du CW, Wu LS, Pi MM, Liu WD, Wang YH. Effect of boron on the metabolism of carbohydrates // Goldbach HE, Brown PH, Reerkasem B, Thellier M, Wimmer MA, Bell RW. Boron in Plant and Animal Nutrition. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2002: 197-203
- [19] Loomis WD, Durst RW. Chemistry and biology of boron. Biofactors, 1992, 3: 229-239

Differences in Content of Pectin and Boron Fraction between Cotton Cultivars with Different Boron Efficiency

GENG Ming-jian, WU Li-shu, CAO Xiang-yun, LIU Wu-ding

(*Microelements Research Center of Huazhong Agricultural University, Key Laboratory of Subtropical Agricultural Resource and Environment, Ministry of Agriculture, Wuhan 430070, China*)

Abstract: The influences of boron on the content of pectin and boron fraction in two cotton cultivars with different boron efficiency were studied under the condition of solution culture experiments. The content of pectin and different boron fraction in the boron-inefficient cotton cultivar was much greater than those in boron-efficient one at sufficient boron supply. However, the content of water soluble pectin and protopectin in boron-efficient cultivar was more than those in boron-inefficient one under boron deficiency. Severe boron deficiency significantly depressed the content of water soluble boron and acid soluble boron in both cotton cultivars, especially water soluble boron. Moreover, the reduce degree of acid soluble boron in all parts and water soluble in the young leaves of the inefficient cultivar was greater than those of the efficient one, but that of water soluble boron in the old leaves and roots was less than that of the efficient one. Boron deficiency increased the ratio of water soluble boron content in young leaves to old leaves of both cultivars, especially the boron-efficient one. The difference of the ratio was greater than that of the content of water soluble boron or acid soluble boron between both cotton cultivars with different boron efficiency, it might be a better index to reflect the difference of boron efficiency among genotypes.

Key words: Cotton, Boron efficiency, Pectin, Boron fraction