

硼镁营养对不同硼效率甘蓝型油菜品种 苗期硼形态的影响

年夫照, 石磊, 徐芳森, 陈钢, 胡承孝, 王运华*

(华中农业大学微量元素研究室, 武汉 430070)

摘要: 通过营养液培养试验, 研究硼镁对不同硼效率甘蓝型油菜品种苗期硼形态的影响。结果表明, 硼正常时, 硼高效品种青油 10 号自由态和半束缚态硼含量较低效品种高, 能参与转运的硼较多; 硼低效品种 95105 束缚态(细胞壁)硼含量较高, 自由态和半束缚态硼含量较低, 转运、利用效率低。低硼时, 硼高效品种根部束缚态硼减少, 自由态和半束缚态硼增加, 而叶中各形态硼分配合理, 达到优化利用; 反之, 硼低效品种适应营养胁迫的能力较高效品种差。镁在一定程度上可以使硼向有利于其移动的形态转化, 提高硼库容量, 但在低硼、低镁时, 却减少硼低效品种硼库容量, 加剧地上部硼的缺乏。

关键词: 油菜; 硼镁营养; 硼形态; 硼效率

中图分类号: S565.4.06; S143.7

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2004)06-0633-05

Effects of boron-magnesium on boron forms of rape cultivars with different boron efficiency at seedling stage

NIAN Fu-zhao, SHI Lei, XU Fang-sen, CHEN Gang, HU Cheng-xiao, WANG Yun-hua*

(Lab. of Microelement, Huazhong Agri, Univ., Wuhan 430070, China)

Abstract: Effects of boron-magnesium on boron forms of rape (*Brassica napus*) cultivars with different boron efficiency were studied at seedling stage with solution culture. The results showed that under condition of sufficient boron the proportion of free boron and semi-bound boron in boron efficient cultivar(QY10) were higher than that in boron inefficient cultivar(95105), which means that more boron could be retranslocated in boron efficient cultivar. The concentration of the bound boron (located in cell wall) in boron inefficiency cultivar was higher than that in boron efficiency cultivar, but the concentration of the free bound and the semi-bound boron is lower, the coefficient of transportation and utilization was low. At the condition of low boron, in root, bound boron were decreased, and free boron and semi-bound boron were increased, reversely in leaf, the three boron forms in boron efficiency cultivar could be distributed and utilized excellently to adapt the boron deficient stress, and these were reversed in boron inefficiency cultivar. Transit between boron forms in plant was influenced to some extent by magnesium level, which improved the form of transportable boron form, and increased the boron's pool capacity. Under low boron condition, the boron pool capacity of the boron inefficiency cultivar was decreased by magnesium, and aggrandizing the boron deficiency in shoot.

Key words: rape; boron-magnesium nutrition; boron-efficiency; boron form; boron-inefficiency

硼主要存在于细胞壁^[1], 在缺硼条件下, 细胞壁硼可占细胞硼总量的 98%^[2]。在细胞有丝分裂过程中, 不同分裂时期的细胞壁硼含量不同, 分裂期较

少, 分裂间期较高, 尤其合成期最高^[3]。说明硼在细胞壁形成中起到很重要的作用, 合成细胞壁的物质在细胞分裂合成期合成, 为分裂末期细胞中胶层形

收稿日期: 2003-09-27 修改稿收到日期: 2004-01-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(30170549)资助。

作者简介: 年夫照(1979—), 男, 安徽怀远人, 博士研究生, 主要从事植物营养机理方面的研究。* 通讯作者。

成提供材料。

供硼充足时,有相当一部分硼存在于共质体与细胞质,其可能起到硼库的作用,一旦细胞壁生长需要,就可调用两者贮存的硼,直至被调用几乎为零。游离态硼较容易进出细胞,故其几乎不可能以游离态贮存在细胞质中,必须被束缚住才能贮存,此贮存形态可能就是硼与糖的复合物。该复合物主要存在于细胞质,其进出细胞受植物生长调控,被调用后就变成细胞壁硼,不能再移动。Du 等^[4]根据硼在植物体内存在位置的不同,把植物体内的硼分为 3 种形态:共质体空间的硼称为自由态硼,可以自由进出细胞;细胞质中的硼称为半束缚态硼,进出细胞受植物生长及硼丰缺的调控;细胞壁结合硼称为束缚态硼。自由态和半束缚态硼可以再转移利用,而束缚态硼则不能。由此可以定义共质体空间和细胞质中的硼(自由态和半束缚态硼)为植物库容硼。杜昌文等^[5]研究了油菜中硼的形态及其相互关系,认为硼形态和硼效率存在密切关系。

硼的移动性因不同植物或同一植物不同品种而异,硼库容量(自由态和半束缚硼总量)、硼糖复合物的形成及其数量、细胞壁束缚态硼的含量等差异,也许是其差异的原因所在。镁作为高等植物光合作用不可或缺的元素,对植物光合作用的产物—糖的量、种类及运输有很大影响,而这又与植物体内硼的存在形态及其运输有很大关系。故本试验从此出发,以两个不同硼效率甘蓝型油菜品种为材料,研究其苗期在不同硼镁水平下三种形态硼的含量,相互转化以及在整株内的分布,以期揭示不同硼效率甘蓝型油菜品种苗期在硼效率上的差异机制。

1 材料与方法

甘蓝型油菜硼高效品种青油 10 号(以 QY10 表示)和硼低效品种 95105(以 95105 表示),由本室筛选鉴定,自繁留种。

试验设两个 B 水平: B1(0.001 mg/L), B2(0.5 mg/L); 两个 Mg 水平: Mg1(0.16 mg/L), Mg2(48 mg/L)。共四项处理: Mg1B1、Mg2B1、Mg2B2、Mg1B2, 3 次重复。

营养液培养,用 H.C 阿夫多宁营养液,配方如下(g/L): NH_4NO_3 0.24, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.50, KCl 0.15, $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 0.1, $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 0.10, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0.36; 加 Arnon 微量元素营养液。低镁处理减少

$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 用量,为补充 S 源,用相应的 K_2SO_4 代替 KCl。所有试剂均为分析纯,二次去离子水配制营养液。

2003 年 2 月 25 日浸种,3 月 3 日将已经发芽的种子以二次去离子水培养。3 月 19 日移栽幼苗,定植于盛有 600mL 营养液聚乙烯塑料容器,每钵 9 株,以 1/8 全营养液培养。3 月 25 日按试验处理。每 3d 更换一次营养液。4 月 18 日按地上部和根部分别取样,立即测定三种形态硼含量。

采用 Du 等系统提取法^[4]提取三种形态硼,姜黄素比色法测定:称取 5.00g 新鲜功能叶片洗净擦干,剪成 1mm² 左右的碎片于干净塑料瓶,加入 25mL 二次去离子水,25℃水浴保温振荡 24 h,定量滤纸过滤,得滤液测水溶性自由态硼→残渣用 25mL 1mol/L NaCl 洗入塑料瓶,25℃水浴保温振荡 24 h,定量滤纸过滤,得滤液测盐溶性半束缚态硼→所得残渣再用 25mL 1mol/L HCl 洗入塑料瓶,25℃水浴保温振荡 24 h,定量滤纸过滤,得滤液测酸溶性束缚态硼。

2 结果与分析

2.1 硼镁营养对油菜苗期鲜重及硼含量和累积量的影响

硼镁水平及其互作对供试两品种整株、叶及根部硼有显著影响。表 1 表明,在 B2 水平下,供试两品种硼含量及每株积累量均大于 B1 水平,叶硼含量均大于根, QY10 叶/根硼比值大于 95105,前者硼运输能力大于后者,在每株硼的累积上, Mg2 处理大于 Mg1 处理,镁促进了硼的吸收与运输;在 B1 水平下,供试两品种硼含量及每株积累量与镁水平有关,在 Mg1 时, QY10 根中硼含量大于叶,其叶/根硼比值小于 1,而 95105 叶/根硼比值大于 1,说明在低水平营养时,硼高效品种虽然每株积累量少于低效品种,但其却能把硼较多分配到根部,保证其根系活力和地上部相对正常生长,利用较少的硼积累较多的鲜物质,特别是地上部分。而硼低效品种 95105 却没有这种适应性的反应,虽然地上部硼含量大于 QY10,但最终还是加剧了地上部硼的缺乏,使鲜重降低。Mg2 时, QY10 叶/根硼比值虽小于 1,却大于 95105。镁有利于 QY10 根部硼向地上部运输,而加剧 95105 地上部硼缺乏。表明在整株及叶根水平上, QY10 都表现出相当的优势。

表 1 硼镁营养对不同硼效率甘蓝型油菜品种苗期鲜重及硼含量和累积量的影响

Table 1 Effect of B-Mg nutrition on fresh weight, B content and accumulation of rape cultivars with different boron efficiency at seedling stage

处理 Treatment	品种 Caltivars	鲜重 (g/plant) Fresh weight		硼含量 (mg/kg) B content		硼积累量 (μg/plant) B accumulation			叶/根比 L/R ratio
		L	R	L	R	L	R	WP	
Mg1B1	QY10	2.62a	0.35bc	0.27b	1.56b	0.70d	0.55c	1.25c	0.17
	95105	1.93b	0.24c	1.15b	0.65c	2.22d	0.16d	2.38c	1.77
Mg2B2	QY10	5.31a	1.09a	8.22a	1.25bc	43.59a	1.37b	44.96a	6.56
	95105	3.99a	0.66ab	5.62a	3.49a	22.39b	2.30a	24.69b	1.61
Mg1B2	QY10	3.74a	0.50bc	5.71a	1.49b	21.33b	0.75c	22.08bc	3.83
	95105	2.16b	0.20c	5.62a	2.02b	12.14c	0.41cd	12.54c	2.78
Mg2B1	QY10	2.76a	0.37bc	0.65b	0.67c	1.80d	0.25d	2.05c	0.98
	95105	2.24b	0.26bc	0.76b	1.45bc	1.69d	0.38d	2.07c	0.52

注(Notes): L—叶 leaf; R—根 Root; WP—全株 Whole plant.
不同小写字母表示差异达 5% 显著水平,下同。Different small letter means significant at 5% level, same as follows.

2.2 硼镁营养对不同硼效率甘蓝型油菜品种苗期各形态硼含量的影响

如表 2 所示,不论是 Mg1 还是 Mg2 条件下,随硼浓度的提升,对于自由态硼,供试两品种叶、根均升高,QY10 叶升高幅度大于根,而 95105 则叶升高的幅度小于根;对于半束缚态硼,两品种均是叶升

高,根下降,升降幅度 QY10 大于 95105;对于束缚态硼,两品种叶升高,至于根中,在 Mg1 时,QY10 下降 21%,95105 却上升 200%;在 Mg2 时,两品种均无大的差别。说明在低硼情况下,提高镁,增大了 QY10 的硼库容,有利于根硼向叶运输;降低 95105 的硼库容,加剧地上部硼缺乏。

表 2 硼镁营养对油菜苗期各形态硼含量的影响 (mg/kg, FW)

Table 2 Effect of B-Mg nutrition on the concentration of B forms of rape cultivars with different boron efficiency at seedling stage

处理 Treatment	品种 Caltivars	自由态硼 Free B		半束缚态硼 Semi-bound B		束缚态硼 Bound B	
		L	R	L	R	L	R
Mg1B1	QY10	0.048b	0.136b	0.046b	1.051a	0.176b	0.371a
	95105	0.572b	0.100b	0.222b	0.419bc	0.359b	0.130b
Mg2B2	QY10	4.189a	1.056a	2.471a	0.098c	1.556a	0.099b
	95105	3.139a	2.859a	1.163a	0.153bc	1.314a	0.479a
Mg1B2	QY10	2.876a	1.145a	1.477a	0.065c	1.355a	0.283a
	95105	2.535a	1.483a	1.729a	0.145bc	1.358a	0.396a
Mg2B1	QY10	0.296b	0.135b	0.174b	0.437bc	0.183b	0.093b
	95105	0.399b	0.364b	0.122b	0.580b	0.236b	0.507a

在 B1 水平下,提高镁,QY10 叶片自由态和半束缚态硼增加,束缚态硼基本保持不变。根中半束缚态、束缚态硼均下降,自由态硼无明显变化。表明镁促进 QY10 三种硼形态之间的平衡关系向有利于硼转移的方向移动,促进硼向地上部转移;而 95105 根中三种形态硼均增加,叶中三种形态硼下降,表明镁使 95105 三种硼形态之间的平衡关系向不利于硼转移的形态移动,加剧地上部硼的缺乏。可能是硼低效品种 95105 的根系需要更多的硼才能维持正常

的生理过程。
B2 水平下,提高镁水平,QY10 叶中三种形态硼均升高,根中半束缚态硼升高,自由态和束缚态硼下降,说明 Mg 有利于 QY10 根部硼向上部转移。而 95105 叶中半束缚态和束缚态硼下降,根中的升高,虽然自由态硼,叶根均升高,但叶中的升高幅度(23%)远小于根的升高幅度(92%),很明显,镁的提高有减少 95105 的硼运输及利用效率的趋势,可能是 95105 营养生长较旺盛,对根的要求也较高的缘

故。

2.3 硼镁营养对不同硼效率甘蓝型油菜品种各形态硼分配比例的影响

图 1 看出,Mg1B1 处理,两品种根系的半束缚态硼相对含量远高于叶片,自由态和束缚态硼小于叶片。Mg2B1 有相似的结果,可能是因为糖的运输受阻,进而影响硼糖复合物的运输,但 QY10 叶中束缚态硼明显大于 95105,说明其硼利用效率好于 95105。并且 QY10 根、叶束缚态及半束缚态硼比例均大于 95105,说明前者在低营养胁迫下能够较合理分配、利用有限的硼,积累较多的鲜物质(表 1)。

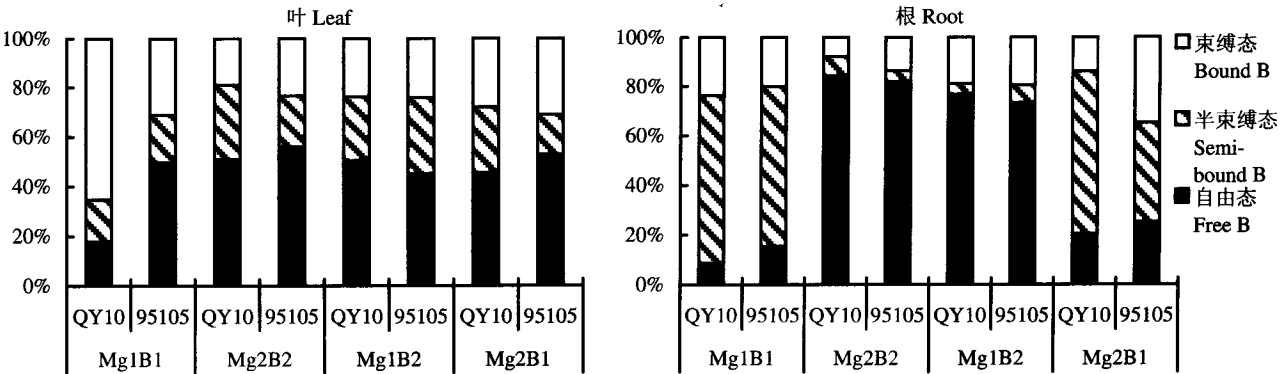


图 1 硼镁营养对油菜苗期各形态硼分配比例的影响

Fig. 1 Effect of B-Mg nutrition on proportion of B forms in rape with different B efficiency in seedling stage

3 讨论

本试验结果发现,硼高低效甘蓝型油菜品种在三种形态硼含量及分配比例上存在很大差异,硼充足时,高效品种自由态和半束缚态硼含量及比例均比低效品种有较大的优势,也就是说能参与转运的硼较多,为硼的转移再利用提供了条件;而低效品种虽然在吸收总量上不少于高效品种,但其束缚态(细胞壁)硼含量较高,自由态和半束缚态硼含量较少,故其转运利用效率就不可能很高。低硼时,高效品种能够很机动地进行三种形态硼的分配,以达到硼优化利用;而低效品种自我调控能力差,其适应营养胁迫的能力较高效品种差。镁在一定程度上可以使硼向有利于其移动的形态生成,提高硼的库容量,但在低硼、镁营养时,反而减少低效品种硼库容量,加剧地上部硼的缺乏,具体原因有待深入研究。

硼效率与硼的吸收、运转、利用等有关。关于硼在植物体内的转运争议颇多,起初普遍认为硼在木质部随蒸腾流运输,而难在韧皮部运输。最近的研究^[6-7]表明,山梨醇作为最初光合产物的植物中,硼

B2时,Mg1、Mg2 处理根系中自由态硼占绝大部分,半束缚态和束缚态硼占很小一部分,叶片中,自由态硼比例与半束缚态和束缚态硼比例之和各占一半。Mg2 比 Mg1 处理的油菜根中自由态硼比例大,束缚态硼比例小,半束缚态硼无差别,叶中相似。两品种比较,QY10 根中束缚态硼比例小于 95105,而自由态硼和半束缚态硼比例均大于 95105。说明 QY10 硼库中可转运的硼(自由态和半束缚态硼)较 95105 多,这也许是硼高效品种高效利用硼的机理之一。镁在一定程度上促进了硼向自由态与半束缚态转移,有利于硼的转运。

表现出显著的移动性;随后的研究推测,在光合初产物是山梨醇、甘露醇或己六醇等植物中,硼可以转移,因为硼可以与这些糖类形成具特定结构的硼—糖复合物,而能够在韧皮部运输。他们在芹菜和桃子韧皮部汁液中证实并分离到了这种硼—糖复合物。Brown 等^[8]通过基因工程,把编码产生山梨醇的基因片段导入烟草,育成转基因烟草,在同样缺硼的土壤上种植,该转基因烟草与野生型相比,其长势好、产量高;后来研究发现在韧皮部中,硼与山梨醇的复合物赋予了该转基因烟草体内硼极大的移动性,结果提高了该烟草对硼缺乏的抗性。Bellaloui^[9]也报道,调控转基因烟草体内山梨醇的量可改变植物对硼的吸收与移动。由此可以推测,硼糖复合物极有可能就是本文提到的半束缚态硼或一部分,对硼的运输有很大作用。

本试验可看出,半束缚态硼,尤其是低硼情况下量的多少,直接影响到硼在根与叶的分配,即影响到硼的运输,可否认为在油菜体内也存在一种或一类特定的单糖与硼形成复合物,从而有利于硼的移动、运输。而那么这种单糖是什么,又是怎样具体影响

硼的运输有待于进一步深入研究。

参 考 文 献:

- [1] Toru Matoh. Boron in plant cell walls[J]. *Plant and Soil*, 1997, 193: 59-70.
- [2] Pfeffer F D H, Frank Dannel, Heidrum pfeffer, Romheld V. Compartmentation of boron in roots and leaves as affected by boron supply[J]. *Journal of Plant Physiology*, 1998, 153: 616-622.
- [3] Iikura H, Kataoka T, Tamada M. Boron analysis at different stages of the cell cycle in cultured tobacco cells[A]. Beel R W, Rerkasem B. Boron in plant and soil[C]. Printed in the Netherlands: Kluwer Academic Publisher, 1997, 63-67.
- [4] Du C W, Wang Y H, Xu F S *et al* . Study on the physiological mechanism of boron utilization efficiency in rape cultivars[J]. *Journal of Plant Nutrition*., 2002, 25(2), 231-244.
- [5] 杜昌文,王运华,徐芳森,等. 不同硼效率甘蓝型油菜品种中硼的形态及其相互关系[J]. *植物营养与肥料学报*, 2002, 8(1): 105-109.
- [6] Brown P H, Shelp B J. Boron mobility in plants[J]. *Plant and Soil*, 1997, 193: 85-101.
- [7] Hu H N, Penn S G, Lebrilla C B *et al* . Isolation and characterization of soluble boron complexes in higher plants (The mechanism of phloem mobility of boron) [J]. *Plant Physiol.*, 1997, 113: 649-655.
- [8] Brown P H, Bellaloui N, Hu H N *et al* . Transgenically enhanced sorbitol synthesis facilitates phloem boron transport and increases tolerance of tobacco to boron deficiency[J]. *Plant Physiology*, 1999, 119: 17-20.
- [9] Bellaloui N, Brown P H, Dandekar A M. Manipulation of in vivo sorbitol production alters boron uptake and transport in tobacco[J]. *Plant Physiology*, 1999, 119: 735-741.