

土壤硼在油菜生长季节的动态研究*

朱端卫 陈秀红 刘武定

(华中农业大学微量元素研究室, 武汉 430070)

摘 要 在鄂湘七种旱地土壤的土培试验基础上, 进行了土壤热水溶性硼 (Hot-water soluble-B, 简称 HWSB)、甘露醇硼 (Mannitol-B) 和盐酸羟胺硼 ($\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl-B}$) 在油菜生长季节变化规律的研究。结果表明, 从移栽前到油菜初蕾期到盛花期, 随着生长季节的延伸, NPK 处理的 HWSB 含量呈不断上升趋势, 而 NPK + B 处理, 则先明显下降, 后稍许呈上升趋势; Mannitol-B 在两处理上均呈不断上升趋势, $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl-B}$ 含量趋于稳定。在环境因素的作用下, 三种硼的相互关系为: Mannitol-B 与 HWSB 存在一定的相互转化关系; $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl-B}$ 和 HWSB 基本上是相同形态的硼, 这是由供试土壤在多次盆栽后, 土壤严重酸化, 易还原性锰高度还原引起的。出于同一原因, Mannitol-B 和 $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl-B}$ 关系密切性较原土壤大大降低。

关键词 土壤提取硼, 盆栽试验, 动态变化, 环境因素

中图分类号 S147.2

土壤热水溶性硼作为土壤有效硼指标, 其作用至今无法用其他方法代替, 但用它作为土壤有效硼的唯一指标, 又不能完全反映不同条件下土壤硼的植物有效性^[1,2]。近年来采用其他提取剂探索新的植物硼营养诊断方法的研究进展很快, 相继采用了几种土壤硼新的提取方法^[3,4,5-8]。土壤硼分级方法的植物有效性研究表明, 甘露醇提取硼、酸化盐酸羟胺提取硼分别代表了土壤专性吸附态硼和羟基氧化锰闭蓄态硼, 与植物吸硼量之间的相关分析表明, 这二种硼属于土壤有效性硼^[6]。但土壤硼的区分只是经验性的, 许多具体问题有待深入研究, 如在土壤 pH、土壤理化性质等条件变化后, 这些不同形态的硼还能否反映当时条件下土壤硼的有效性。本文集中研究了上述几种不同土壤提取硼随作物生长季节的变化情况, 明确连续盆栽引起的土壤性质变异过程中, 不同提取硼表现出的相互关系和反映出的规律性。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

供试土壤 (表 1) 为鄂湘主要旱地土壤。土样采自 0—20cm 耕层。其中 1—5 号土已连续盆栽种植五

* 国家自然科学基金资助课题 (批准号: 39370415)

收稿日期: 1997-01-02; 收到修改稿日期: 1997-10-15

茬作物,为棉花-油菜轮作。施硼处理分别于第一、三、五茬棉花,累计施硼 2.1mg / kg 土; 6—7号土由于采样较晚,比前五种土壤少种了前二茬,即已连续种植了三茬作物(棉花-油菜-棉花),累计施硼 1.5mg / kg 土。本研究在上述试验后进行,即 1—5号土为第六茬,6、7号土为第四茬,统称“本茬”。

1.2 盆栽试验

设 NPK 和 NPK + B 两处理,4次重复。每盆装土 14kg,以聚氯乙烯薄膜将土体与盆壁隔开。NPK 分别以 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 KH_2PO_4 和 KCl 作肥源,全部基施,本次试验的施硼处理不再施硼。油菜品种为中油 821,幼苗(2片成叶,1-2片心叶,苗龄 40天)于 1994年12月14日移栽。油菜生长期以去离子水浇灌,用活动防雨棚遮雨。

1.3 土样采集

土样采集共三次,每个处理分别于 1994年12月7日油菜移栽前、1995年3月1日初蕾期、4月2日盛花期采集土样,土样风干后过 20目筛,备用。

1.4 土样分析

(1) Mannitol-B: 取土样 5.00g,加入 25ml 0.02mol / L CaCl_2 、0.01mol / L 甘露醇溶液于 25℃ 条件下

表1 供试土壤类型和有关农化性质

Table 1 The type and agrochemical properties of the soils tested

土样编号 Soil Sample No.	采样地点 Locality	成土母质(岩) Parent material	土壤类型 Type	pH (H ₂ O)	交换性锰 Exchange-able Mn	易还原性锰 NH ₂ OH · HCl-Mn	热水溶性硼 HWSB	甘露醇硼 Mannitol-B	盐酸羟胺硼 NH ₂ OH · HCl-B
1	襄阳伙牌	第四纪沉积物	黄棕壤	6.9	20.2	392.4	0.221	0.440	0.897
2	天门新华	汉江冲积物	灰潮土	8.1	7.6	310.9	0.248	0.859	0.995
3	新洲刘集	大别山水系冲积物	潮土	6.5	42.1	127.4	0.351	0.281	0.614
4	咸宁贺胜桥	第四纪沉积物	黄棕壤	6.1	92.6	347.2	0.208	0.352	0.527
5	新洲辛冲	紫色砂岩	灰紫色土	8.0	8.3	226.9	0.155	0.215	0.298
6	咸宁贺胜桥 I	第四纪沉积物	棕红壤	5.5	128.3	220.1	0.175	0.184	0.355
7	湖南农科院	第四纪沉积物	红壤	5.2	171.9	181.5	0.345	0.281	0.232

振荡 24 小时,过滤,滤液中硼用冰醋酸-草酸-姜黄素显色测定。

(2) $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl-B}$: 取土样 2.50g,加入 25ml 0.1mol / L $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}$ -0.01mol / L HNO_3 溶液于 25℃ 条件下振荡 30 分钟,过滤,滤液中硼的测定同(1)。

(3) 土壤易还原性锰: 锰提取同2,滤液中锰用原子吸收法测定。测定值减去交换性锰即为易还原性锰含量。

(4) 土壤 pH, HWSB 和土壤交换性锰: 用常规方法测定。

2 结果与讨论

2.1 土壤不同提取硼含量随季节的变化

2.1.1 HWSB 的变化 表 2 表明,除个别土壤外,NPK 处理 HWSB 含量呈不断上升趋势,其中上升量最高的是 2 号灰潮土,移栽前和盛花期前后相差 0.226mg / kg 土,而 6 号土

表2 油菜不同生长期间的土壤硼含量(mg/kg)

Table 2 Boron contents of the soil during various growing periods of rape

土壤硼 Soil boron	土样编号 Soil sample No.	NPK			NPK+B		
		移栽前 Before transplanting	初蕾期 Flower-bud blooming	盛花期 Fully blooming	移栽前 Before transplanting	初蕾期 Flower-bud blooming	盛花期 Fully blooming
热水溶性硼 HWSB	1	0.154	0.183	0.302	0.517	0.502	0.550
	2	0.368	0.391	0.594	0.924	0.765	0.850
	3	0.156	0.195	0.298	0.565	0.388	0.543
	4	0.084	0.112	0.177	0.646	0.831	0.488
	5	0.090	0.122	0.148	0.416	0.292	0.310
	6	0.144	0.123	0.130	0.668	0.501	0.516
	7	0.193	0.202	0.272	0.587	0.470	0.536
	\bar{X}	0.170	0.190	0.274	0.618	0.536	0.542
甘露醇硼 Mannitol-B	1	0.679	0.804	0.769	0.906	0.894	0.990
	2	0.642	0.653	0.727	1.103	1.243	1.137
	3	0.325	0.228	0.486	0.336	0.451	0.683
	4	0.661	0.747	0.810	1.032	1.230	1.892
	5	0.540	0.570	0.604	0.585	0.699	0.741
	6	0.853	1.353	1.469	0.948	1.484	2.004
	7	0.743	0.908	1.143	0.716	1.182	1.233
	\bar{X}	0.635	0.752	0.858	0.804	1.026	1.240
盐酸羟胺硼 $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl-B}$	1	0.332	0.383	0.108	0.424	0.444	0.382
	2	0.902	0.953	1.190	1.753	1.631	1.611
	3	0.159	0.098	0.210	0.179	0.240	0.250
	4	0.138	0.084	0.026	0.352	0.454	0.424
	5	0.230	0.088	0.213	0.526	0.342	0.291
	6	0.424	0.250	0.148	0.322	0.302	0.494
	7	0.105	0.193	0.233	0.301	0.362	0.372
	\bar{X}	0.327	0.293	0.304	0.551	0.539	0.546

壤略有下降, pH 值较高的 1、2 号土壤在盛花期上升明显; 而 NPK + B 处理 HWSB 含量先明显下降, 后稍许上升, 总趋势为下降。t 检验表明, 除个别土壤外, 不同期间的 HWSB 含量差异显著, 从而肯定了上述变化趋势(表 3)。

2.1.2 Mannitol-B 的变化 从表 2 看出, 除个别土壤外, NPK 和 NPK + B 两处理 Mannitol-B 均呈上升趋势。与 HWSB 变化趋势恰好相反, 无论 NPK 处理还是 NPK + B 处理, 6 号土的 Mannitol-B 上升最高, 二处理前后相差分别为 0.62mg / kg 土及 1.06mg / kg 土, 而 1、2 号土壤的变化不明显。t 检验表明, NPK 处理蕾期前上升不显著, NPK + B 处理在蕾期前上升显著, 之后, 除 2 号土外, 才达到 5% 的显著水平(表 3)。

2.1.3 $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl-B}$ 的变化 各供试土壤的 $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl-B}$ 含量随油菜生长季节的变化而上下波动,不像 HWSB 和 Mannitol-B 那样发生明显变化,而是绝大部分土壤各期测定值的变化趋势一致(表 2)。从 t 检验和平均值结果看,本茬生长季节土壤中 $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl-B}$ 含量基本上保持一种稳定状态(表 3)。

表3 油菜不同生长期土壤硼含量差异性检验

Table 3 The test of the diversity of soil boron contents during various growing periods of rape

土壤硼 Soil boron	土样编号 Soil sample No.	NPK			NPK+B		
		移栽前 Before transplanting	初蕾期 Flower-bud	盛花期 Fully blooming	移栽前 Before transplanting	初蕾期 Flower-bud	盛花期 Fully blooming
		B 差值	B 差值	B 差值	B 差值	B 差值	B 差值
热水溶性硼	1-7	0.020	0.084*	-0.082	0.006		
HWSB	1-3, 5-7	0.025**	0.098*	-0.127**	0.064*		
甘露醇硼	1-7	0.177	0.106*	0.222*	0.214		
Mannitol-B	1,3-7				0.267*		
盐酸羟胺硼	1-7	-0.034	0.011	-0.012	0.007		

$\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl-B}$

注:*,**分别表示5%,1%显著水平(下同)。

上述变化可能受土温^[9],作物根系生命活动,施用无机肥^[10]等因素的影响。

2.2 三种土壤硼相互关系

2.2.1 Mannitol-B 与 HWSB 的关系 表 4 表明, Mannitol-B 和 HWSB 含量相关不显著。就不同季节而言, NPK 处理在移栽前到蕾期时 HWSB 变化量却与 Mannitol-B 变化量之间达极显著负相关水平($r = -0.950^{**}$), NPK + B 处理在后期这种关系也接近显著水平($r = -0.715$),且相关系数均为负值。从含量上看, Mannitol-B 含量远高于 HWSB,而各自差值之间呈负相关,表明这两种硼存在着一定的转化关系,即在油菜生长时,若 Mannitol-B 含量上升较多时, HWSB 上升较少, Mannitol-B 上升较少时, HWSB 上升较多,

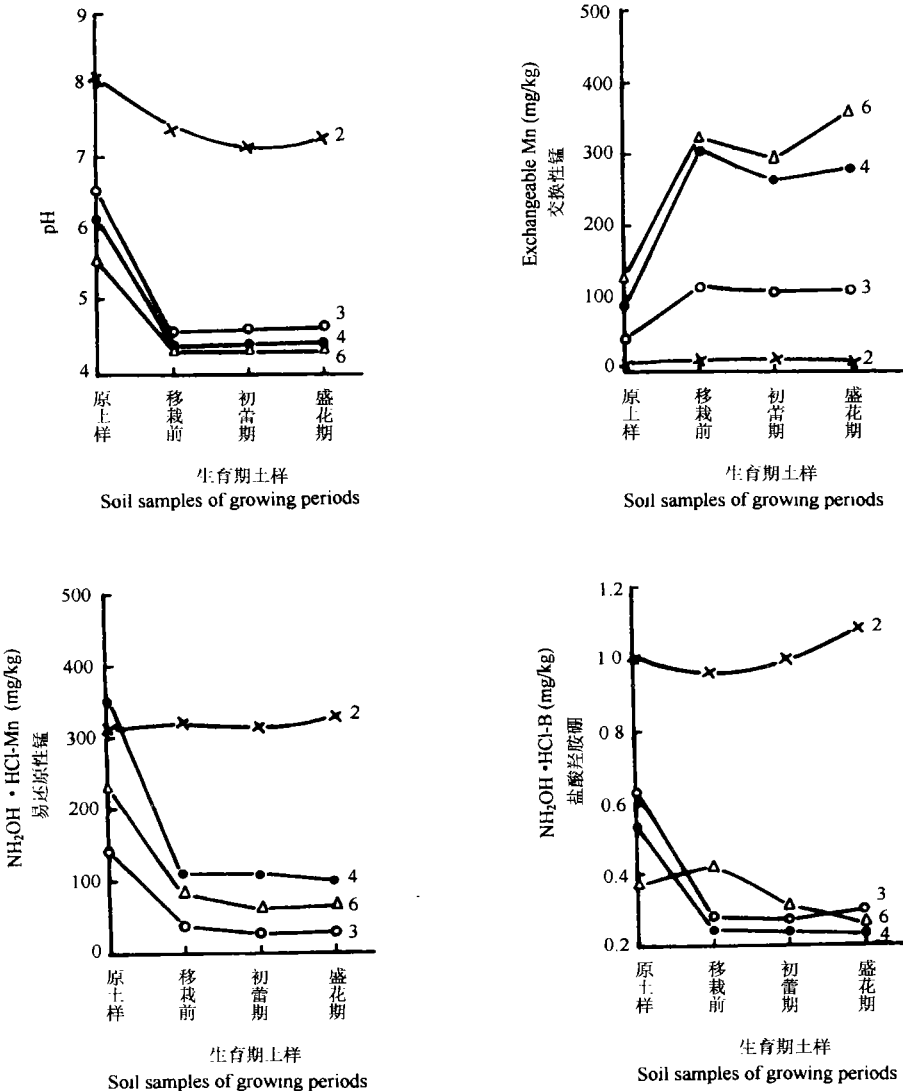
表4 三种土壤硼的相关分析

Table 4 The correlation coefficients among the three fractions of soil boron

土壤硼 Soil boron	NPK			NPK+B			不同时期差值 Difference in various periods			
	移栽前① Before transplanting	初蕾期② Flower-bud	盛花期③ Fully blooming	移栽前④ Before transplanting	初蕾期⑤ Flower-bud	盛花期⑥ Fully blooming	②-①	③-②	⑤-④	⑥-⑤
HWSB~Mannitol-B	0.075	-0.244	-0.328	0.639	0.601	0.053	-0.950**	-0.083	-0.288	-0.715
HWSB~ $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl-B}$	0.833*	0.906**	0.894**	0.768*	0.598	0.866*	0.280	0.326	0.482	0.114
Mannitol-B~ $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl-B}$	0.208	0.060	-0.177	0.530	0.316	0.070	-0.350	0.421	0.200	0.460

暗示着 Mannitol-B 上升较少的原因可能是更多的硼已转化为 HWSB。

2.2.2 NH₂OH·HCl-B与 HWSB 关系 NH₂OH·HCl-B和 HWSB 含量之间,除了 NPK + B 处理在初蕾期外,基本上二者相关性达到了显著或极显著正相关水平(表 4)。一方面两种硼各自含量在不同季节的变化量之间相关不显著,另一方面 NH₂OH·HCl-B与 HWSB 含量非常相近,因此推测在盆栽种植多茬作物后,NH₂OH·HCl-B和 HWSB 基本上是一形态的硼,即羟基氧化锰闭蓄态硼在上述条件下基本上转化为物理吸附态硼。NH₂OH·HCl-B和 HWSB 这一关系,对其他不具备上述特点的土壤来说,情况并非如此。例如本试验供试土壤的原土样 NH₂OH·HCl-B含量远高于 HWSB(表 1),二者也不存在



2, 3, 4, 6 为土样号

图 1 油菜生长期间土壤 pH、交换性锰、易还原性锰和盐酸羟胺硼的变化趋势

Fig.1 The changing tendency of soil pH, exchangeable Mn, NH₂OH·HCl-Mn, and NH₂OH·HCl-B in the soil samples during various growing periods of rape.

相关性($r = 0.038$),表明这两种硼在当时显然是不同形态的硼。

2.2.3 $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl-B}$ 与 Mannitol-B的关系 表4表明,本茬期间 $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl-B}$ 与 Mannitol-B之间无论含量还是变化量相关性均很差,而原土样这两种硼相关性达到显著水平($r = 0.831^*$)。说明原土样这两种硼关系密切,而连续盆栽多茬作物后,二者相关性大大下降了。原土样 $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl-B}$ 含量高于 Mannitol-B含量,而在本茬正好相反。这种现象是连续盆栽条件下,土壤硼不断发生转化造成的。原土样中土壤硼专性吸附发生在羟基氧化物上,主要受铁、铝氧化物和羟基氧化锰共同控制,因而 $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl-B}$ 和 Mannitol-B相关性好;随着连续盆栽,土壤不断酸化,羟基氧化锰大量还原,被其固定硼的数量也逐渐减少,而 Mannitol-B仍受铁、铝氧化物控制,致使 Mannitol-B和 $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl-B}$ 相关性降低, $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl-B}$ 含量更接近 HWSB。

2.3 供试土壤 $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl-B}$ 的影响因素

图1绘出了2,3,4,6号土壤在本茬油菜生长期土壤pH、土壤交换性锰、土壤易还原性锰和 $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl-B}$ 的变化情况。从图1可以看出,3,4,6号土的pH由原土样的6.5—5.5下降到本茬期间的4.6—4.3,呈强酸性。这三种土的交换性锰都有明显的上升,与此同时,易还原性锰急剧下降,导致了被羟基氧化锰吸附或闭蓄的部分硼消失, $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl-B}$ 下降明显。而2号土的pH变化受到碳酸钙的缓冲,pH变化的结果,使土壤仍处碱性范围,相应的交换性锰、易还原性锰保持恒定,所对应的 $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl-B}$ 还有所上升。6号土由于少种植2茬作物,在本茬油菜移栽前,其 $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl-B}$ 相对较高,与原土样相比,略有上升,而在油菜生长季节却明显下降。因此,土壤 $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl-B}$ 变化特点是在连续盆栽种植条件下逐步积累起来的。图1正是反映了上述4种土壤因子的变化动态和结果。

3 小 结

1. 土壤中不同形态硼随作物生长季节推移发生规律性变化。土壤硼浓度并非随作物吸收渐次下降,而是在一定范围内上下波动。

2. 土壤不同形态硼发生相互转化。随着不断种植作物,土壤条件发生改变,土壤中控硼有效性的主要因子会发生改变,不同土壤难以确定统一的土壤硼有效性指标是由其内在原因决定的。

3. 土壤硼有效性的确定,有赖于对土壤硼分级及土壤硼行为机理的深入认识,连续土培试验便于研究不同形态硼的变化趋势和原因,但与田间实际情况可能相差较远。

参 考 文 献

1. 朱端卫,皮美美,刘武定. 土壤硼不同化学库特性的研究 I. 热水溶性硼的植物有效性. 华中农业大学学报, 1994, 13(3): 262—267
2. Haddad K S, Kaldar C J. Boron supplying power, boron adsorption capacity and productivity of some acidic soils from the Central Tablelands of New South Wales. Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb., 1984, 24: 120—125
3. 朱端卫. 土壤硼的化学行为研究进展. 土壤学进展, 1994, 22(1): 11—17
4. 江荣凤,韩琅丰. 石灰性土壤有效硼浸提剂的评价. 北京农业大学学报, 1994, 20(3): 287—292

5. Li Ren-An, Gupta U C. Extraction of soil boron for predicting its availability to plants. *Pedosphere*, 1991,1(2):137—144
6. Jin Ji-Yun, Martens D C, Zelazny L W. Distribution and plant availability of soil boron fractions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1987,51:1228—1231
7. Jin Ji-Yun, Martens D C, Zelazny L W. Plant availability of applied and native boron in soils with diverse properties. *Plant and Soil*, 1988, 105:127—132
8. Mandal, Biswapati, De Dipak Kumar. Depthwise distribution of extractable boron in acidic Inceptisols of India. *Soil Sci.*, 1993, 155(4):256—262
9. Goldberg S, Forster H S, Heick E L. Temperature effects on boron adsorption by reference minerals and soils. *Soil Sci.*, 1993, 156(5):316—321
10. 朱端卫, 管清武, 皮美美, 刘武定. 无机肥料对土壤硼化学库强度的影响. 见: 现代农业科学研究进展——第二届青年学术年会湖北卫星会农科分会论文集. 天津: 天津科学技术出版社, 1995. 54—55

STUDY ON DYNAMICS OF SOIL BORON DURING RAPE GROWING PERIODS

Zhu Duan-wei Chen Xiu-hong Liu Wu-ding

(*Laboratory of Trace Element, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070*)

Summary

Based on a pot experiment conducted with seven upland soils collected from Hubei and Hunan Provinces, a research was made on the dynamics of hot-water soluble boron (HWSB), Mannitol-B and $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl-B}$ during rape growing periods. The results showed that from before rape transplanting to flower-bud appearing, then to fully blooming, the content of HWSB in the treatment without boron had a tendency of constant increase, but that in the treatment with boron went up slightly after it had decreased obviously. And the content of Mannitol-B tended to keep increasing in both the treatments. At the same time, the content of $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl-B}$ tended to be stable. The relationships among the three kinds of soil boron were that Mannitol-B and HWSB could transform with each other under the effect of environmental factors; $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl-B}$ and HWSB were fundamentally the same boron fraction, which was due to that the soils were acidified and the Mn oxyhydroxides were reduced strongly after the several planting experiments. For the same reason, relationship between Mannitol-B and $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl-B}$ in the experimental soils weakened compared to that in the primary soils.

Key words Extractable soil boron, Pot experiment, dynamic Transformation, Environmental factor