

湖北省油菜施硼效果及土壤有效硼临界值研究

邹娟¹, 鲁剑巍¹, 廖志文¹, 巩细民², 汪航³, 周远桂⁴, 周宏⁵

(¹华中农业大学资源与环境学院, 武汉 430070; ²湖北省土壤肥料工作站, 武汉 430070; ³湖北省浠水县土壤肥料工作站, 湖北浠水 438200;

⁴湖北省枝江市土壤肥料工作站, 湖北枝江 443200; ⁵湖北省鄂州市梁子湖区农林局, 湖北鄂州 436000)

摘要: 【目的】从区域角度研究湖北省油菜主产区硼肥施用对油菜 (*Brassica napus* L.) 生长及产量的效果, 确定目前生产条件下土壤有效硼临界值, 为油菜科学施肥提供依据。【方法】2005~2006年在湖北省布置30个田间试验研究油菜施硼产量效应, 结合土壤有效硼含量确定缺硼临界值。【结果】施硼对油菜的营养生长及产量构成因素均有促进作用, 30个试验点施硼平均增产油菜籽 428 kg·ha⁻¹, 平均增产率 19.2%, 70%的试验增产效果显著, 增产量超过 500 kg·ha⁻¹的试验点占 26.7%; 土壤有效硼含量与施硼效果呈极显著负相关; 按照不施硼产量相对于施硼处理的 90%作为判断标准, 土壤有效硼临界值比 20年前第二次土壤普查时确立的临界值有所提高。【结论】湖北省油菜施用硼肥增产效果显著, 现阶段油菜种植的土壤有效硼临界值为 0.58 mg·kg⁻¹, 大约 80%的地块在种植油菜时需要施硼。

关键词: 湖北; 油菜; 硼肥; 产量; 土壤有效硼临界值

Study on Response of Rapeseed to Boron Application and Critical Level of Soil Available B in Hubei Province

ZOU Juan¹, LU Jian-wei¹, LIAO Zhi-wen¹, GONG Xi-min², WANG Hang³, ZHOU Yuan-gui⁴, ZHOU Hong⁵

(¹College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070; ²Soil and Fertilizer Station of Hubei Province, Wuhan 430070; ³Soil and Fertilizer Station of Xishui County, Xishui 438200, Hubei; ⁴Soil and Fertilizer Station of Zhijiang County, Zhijiang 443200, Hubei; ⁵Agroforestry Bureau of Liangzi Lake in Ezhou County, Ezhou 436000, Hubei)

Abstract: 【Objective】 In order to provide a scientific basis for balanced fertilization, the effect of boron fertilization on growth and yield of rapeseed (*Brassica napus* L.) was studied and soil critical available B was determined based on field trials in main rapeseed producing region of Hubei Province. 【Method】 Thirty field trials of B fertilizer application to rapeseed were conducted in 2005-2006 growth season. The soil critical value of B deficiency was determined according to the effect of B fertilizer on seed yield and soil available B content. 【Result】 The results showed that B application promoted the vegetative growth and yield components of rapeseed. The average increment with B fertilization was 428 kg·ha⁻¹ and the increasing rate was 19.2% for all 30 trials. Compared to the control (no B treatment), the yield of about 70% trails significantly increased by B application, and the percentage of yield increment more than 500 kg·ha⁻¹ was as high as 26.7% for all trials. The results indicated that the yield increment by B application had significantly negative correlation with soil available B content. Based on the relative yield of CK/+B at 90 percent level, the soil critical available B was 0.58 mg·kg⁻¹ which was higher than that in the 1980s determined by the second nationwide general soil survey achievement. 【Conclusion】 The yield-increasing effect of B fertilizer on rapeseed is notable and the soil critical available B is 0.58 mg·kg⁻¹ in Hubei Province at present. According to the soil B deficiency criterion, it is necessary to apply B fertilizer for about 80% rapeseed cultivated field in Hubei Province.

Key words: Hubei Province; Rapeseed (*Brassica napus* L.); Boron fertilizer; Seed yield; Soil critical available B value

收稿日期: 2007-06-15; 接受日期: 2007-08-28

基金项目: 国家“十一五”科技支撑课题(2006BAD25B01、2006BAD21B03)、国际植物营养研究所(IPNI)合作项目(Hubei-30)

作者简介: 邹娟(1981-), 女, 湖北汉川人, 博士研究生, 研究方向为作物营养与现代施肥技术。Tel: 027-61379276; E-mail: zoujuan@webmail.hzau.edu.cn。通讯作者鲁剑巍(1967-), 男, 湖北武穴人, 教授, 博士, 研究方向为现代施肥技术。E-mail: lujianwei@mail.hzau.edu.cn

0 引言

【研究意义】湖北省是中国油菜播种面积最大的省份，总产量占全国的 20% 左右^[1]。油菜需硼较多，当前大面积种植的甘蓝型油菜对缺硼尤其敏感^[2-5]。目前尽管施硼已成为油菜生产的常规技术，但缺乏从区域尺度对油菜施硼效果的了解，延用的土壤硼丰缺临界值为 20 多年前全国第二次土壤普查时建立的标准，油菜施硼缺乏时效性依据^[6,7]。在生产中，一方面由于土壤缺硼或硼肥施用不足限制了油菜产量潜力的发挥^[8,9]，另一方面部分农田长期施硼（作基肥直接施入土壤）导致土壤硼素积累，对油菜后茬作物产生潜在危害^[10,11]。因此，通过土壤有效硼含量测定和田间肥效试验，建立适合油菜种植的土壤硼素养分丰缺指标是进行科学推荐施硼的关键^[7,12,13]。【前人研究进展】有关硼肥施用对油菜产量及其构成因素的影响已有大量研究，陈刚等^[14]研究表明施硼后每株角果数和每角粒数增加是油菜施硼增产的主要原因；薛建明、吕晓男、李志玉等^[9,15-17]通过田间试验研究指出，油菜施硼能显著提高油菜籽产量。中国油菜主产区土壤有效硼缺乏是油菜缺硼现象发生及施用硼肥效果明显的直接原因^[18]，根据 20 世纪 80 年代油菜产区土壤有效硼含量普遍较低的状况（如湖北省 3 000 多个土壤样品平均有效硼含量仅为 $0.33 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ）及确定的土壤有效硼含量 $0.5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 为施硼临界指标^[6,19]，当时提出了油菜种植时土壤基施 $7.5\sim 15.0 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ 硼砂的施肥推荐^[18,20]，收到了很好的效果。近年来，尽管油菜施硼面积进一步扩大，施用硼肥已成为油菜生产中的常规措施^[10]，但由于作物产量提高，随收获物带走的硼素增加，加上部分地区硼肥投入不足，已有研究表明部分地区土壤有效硼含量有下降趋势^[21]，同时也有部分地区由于长期土施硼肥导致土壤硼素积累^[11]。另一方面，20 世纪 80 年代确定的土壤有效硼丰缺指标是在当时的生产条件下建立的，除土壤的硼素含量水平发生了变化外，目前推广的甘蓝型油菜对缺硼更敏感、需硼量更大^[2-5,22]，因此近年有研究认为土壤硼的临界标准应该有所提高^[15]，但缺乏大范围的试验数据支持。【本研究切入点】为探讨湖北省主产区油菜施硼的产量效应及目前生产条件下土壤硼丰缺临界值，2005~2006 年度在湖北省油菜主产区统一方案布置 30 个田间试验。【拟解决的关键问题】旨在从区域角度明确当前生产条件下油菜施硼的产量效应，建立与目前生产相适应的土壤有效硼丰缺指标，为进一步推

广油菜测土配方施肥技术提供依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

田间试验于 2005~2006 年度分别安排在湖北省油菜主产区天门、仙桃、洪湖、蕲春、鄂州、黄梅、武穴、浠水、荆门和枝江等 10 个县（市），试验区油菜种植面积占全省总播种面积 80% 以上。每个县（市）布置试验 3 个，共 30 个。各县（市）的试验田基础土壤养分状况列于表 1，其中土壤有效硼含量为 $0.15\sim 1.36 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，平均含量为 $0.44 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

供试油菜品种为湖北省推广的双低（低芥酸、低硫甙）甘蓝型品种，各试验点油菜品种见表 1。试验前茬作物为水稻或棉花。

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计 试验设置 NPK (CK) 和 NPKB (+B) 两个处理。CK 处理整个生育期养分施用量分别为：N $180 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ 、 P_2O_5 $90 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ 、 K_2O $120 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ，+B 处理在 CK 基础上增施硼砂 $7.5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ 。肥料施用期和施用比例为：磷肥和硼砂全部作基肥在油菜移栽时施用，氮肥和钾肥分 3 次施用，基肥占 60%，苗肥（移栽后 50 d）和穗肥（移栽后 90 d）各占 20%。供试肥料品种分别为尿素（含 N 46%）、过磷酸钙（含 P_2O_5 12%）、氯化钾（含 K_2O 60%）、硼砂（含 B 11%）。各处理重复 3 次，小区面积 20 m^2 。其它生产管理措施均采用当地常规管理方法。

1.2.2 土壤样品的采集 土壤基础样品均为前茬作物收获后、油菜基肥施用前采集。以整个试验田块为采样单元，在试验田块内均匀布点 15 个，用不锈钢土钻取 0~20 cm 层次的耕作层土壤，在实验室风干磨细过 20 目筛，供养分分析用。

1.2.3 土壤养分的测定 土壤基本农化性状按常规法进行测定^[23]。土壤 pH 按水土比 2.5 : 1，pH 计测定；有机质采用重铬酸钾容量法；全氮采用半微量开氏法；速效磷用 $0.5 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} \text{ NaHCO}_3$ 浸提-钼锑抗比色法；速效钾用 $1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} \text{ NH}_4\text{OAc}$ 浸提-火焰光度法；土壤有效硼采用沸水浸提-姜黄素比色法。

1.2.4 考种与计产 收获期随机在 10 个试验县（市）选择天门、仙桃、蕲春、鄂州 4 个县（市）共 12 个试验点的油菜进行了考种，各处理随机取样 5 株，观测内容包括株高（从地面到主茎顶部的高度）、一级分枝数（从主茎上分枝的个数）、单株荚角数、每角粒数（观测主茎上 20 个荚角的平均籽粒数）、千粒重等

表 1 各试验点基础土壤养分状况及供试油菜品种

Table 1 Soil fertility status before sowing and rapeseed variety in experiment sites

试验点 Site	pH	有机质 Organic matter (g·kg ⁻¹)	全氮 Total N (g·kg ⁻¹)	速效磷 Avai. P (mg·kg ⁻¹)	速效钾 Avai. K (mg·kg ⁻¹)	有效硼 Avai. B (mg·kg ⁻¹)	土壤类型 Soil type	油菜品种 Rape variety
1	7.80	15.87	1.08	18.76	126.91	0.31	水稻土 Paddy soil	中油杂 11 号 Zhongyouza 11
2	7.04	34.57	2.10	11.30	74.59	0.50	水稻土 Paddy soil	中油杂 11 号 Zhongyouza 11
3	7.25	39.05	1.87	15.48	77.12	0.71	水稻土 Paddy soil	中油杂 11 号 Zhongyouza 11
4	7.62	16.32	1.03	20.91	107.00	0.28	水稻土 Paddy soil	中双 10 号 Zhongshuang 10
5	5.34	31.43	1.69	19.18	37.27	0.56	水稻土 Paddy soil	中双 10 号 Zhongshuang 10
6	6.72	21.24	1.34	21.32	98.88	0.46	水稻土 Paddy soil	中双 10 号 Zhongshuang 10
7	7.33	27.94	1.57	15.83	243.64	0.39	潮土 Fluvo-aquic soil	华杂 12 号 Huaza 12
8	7.72	30.81	1.71	15.24	262.93	0.40	潮土 Fluvo-aquic soil	华杂 12 号 Huaza 12
9	7.79	27.38	1.52	24.54	270.11	1.36	潮土 Fluvo-aquic soil	华杂 12 号 Huaza 12
10	5.33	19.81	1.15	20.56	62.20	0.21	水稻土 Paddy soil	中双 9 号 Zhongshuang 9
11	6.07	15.58	0.98	40.44	67.06	0.28	水稻土 Paddy soil	中双 9 号 Zhongshuang 9
12	5.92	20.22	0.97	50.64	141.80	0.56	水稻土 Paddy soil	中双 9 号 Zhongshuang 9
13	5.90	28.27	1.71	23.66	32.35	0.21	水稻土 Paddy soil	华杂 4 号 Huaza 4
14	5.65	28.79	1.65	37.69	37.33	0.40	水稻土 Paddy soil	华杂 4 号 Huaza 4
15	5.92	28.80	1.63	29.63	44.70	0.33	水稻土 Paddy soil	华杂 4 号 Huaza 4
16	5.22	29.11	1.46	11.84	52.15	0.18	潮土 Fluvo-aquic soil	华双 5 号 Huashuang 5
17	5.91	33.82	1.84	21.87	47.20	0.49	潮土 Fluvo-aquic soil	华双 5 号 Huashuang 5
18	5.52	45.36	2.45	18.17	44.67	0.62	潮土 Fluvo-aquic soil	华双 5 号 Huashuang 5
19	5.42	34.06	2.01	15.54	42.20	0.49	水稻土 Paddy soil	华杂 6 号 Huaza 6
20	5.32	35.28	2.00	15.12	37.26	0.42	水稻土 Paddy soil	华杂 6 号 Huaza 6
21	5.28	35.35	1.99	21.83	47.60	0.34	水稻土 Paddy soil	华杂 6 号 Huaza 6
22	8.03	13.24	1.86	8.38	47.24	0.30	潮土 Fluvo-aquic soil	中双 9 号 Zhongshuang 9
23	7.98	14.40	0.92	14.70	62.22	0.18	潮土 Fluvo-aquic soil	中双 9 号 Zhongshuang 9
24	6.08	22.51	1.38	10.22	78.40	0.15	潮土 Fluvo-aquic soil	中双 9 号 Zhongshuang 9
25	5.93	22.00	1.21	17.75	141.84	0.25	水稻土 Paddy soil	中油杂 11 号 Zhongyouza 11
26	6.83	37.41	1.91	13.27	211.51	0.42	水稻土 Paddy soil	中油杂 11 号 Zhongyouza 11
27	5.92	27.18	1.56	20.67	102.00	0.72	水稻土 Paddy soil	中油杂 11 号 Zhongyouza 11
28	6.45	32.05	1.82	21.38	109.18	0.36	潮土 Fluvo-aquic soil	华杂 9 号 Huaza 9
29	6.43	26.20	1.59	9.08	124.56	0.66	潮土 Fluvo-aquic soil	华杂 9 号 Huaza 9
30	6.08	35.43	2.11	13.41	119.40	0.62	潮土 Fluvo-aquic soil	华杂 9 号 Huaza 9

指标,同时测定单株籽粒产量及地上部生物总量(每小区 5 株的平均值),计算收获指数(籽粒产量/地上部总干物重)。油菜籽产量以各小区实收计量。

1.2.5 土壤有效硼临界值的确定 按照 Cate-Nelson 方法作图确定土壤有效硼含量临界值^[24]。具体方法为:画两条互垂线,一条平行于 x 轴,另一条平行于 y 轴,两条线组成一个十字架。在本研究中,利用不

施硼(NPK)处理占施硼(NPKB)处理的相对产量数据(y轴)与土壤有效硼测定值(x轴)的关系作散点图,确定 y 轴的定值位置(90%),移动十字架,使第二、四象限的点尽量少,垂线与 x 轴的交点即为达到相对产量 90%时的土壤有效硼临界值^[25]。

1.2.6 数据统计分析 数据采用 DPS 数据处理软件进行统计分析,结果均用 LSD 法检验 $P < 0.05$ 水平上

的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 施硼对油菜生长及产量构成因素的影响

表 2 为 4 个试验县(市) 3 个试验点的考种平均值, 尽管各试验点的生长状况不相同, 但施硼对油菜生长的影响规律相一致。结果表明, 施硼后油菜的株高、分枝数、角果数、每角粒数、单株产量等经济性状都有明显提高, 对籽粒千粒重的影响不大, 大部分试验点及多数性状的改善达显著水平。+B 处理与 CK 相比油菜株高增加了 5.3~21.5 cm, 一次有效分枝数

增加了 0.4~1.8 个, 单株角果数增加 101.5~216.0 个、每角粒数增加 1.9~3.2 粒, 单株产量增加 42.0%~73.6%。结果说明硼肥施用不仅促进油菜生殖生长, 而且可以明显改善营养生长性状。不同试验点的硼肥效果不同, 其中蕲春点效果最明显, +B 处理油菜单株角果数和产量分别是 CK 的 1.6 和 1.7 倍, 可能与土壤有效硼含量较低(平均为 0.36 mg·kg⁻¹) 有关。此外, 与 CK 相比, 施硼后各试验点油菜的收获指数有不同程度的提高, 说明在施用氮磷钾的基础上合理施用硼肥促进了光合产物向籽粒转移, 从而有利于作物产量的形成和提高。

表 2 施硼对油菜植株生长及产量构成因素的影响

Table 2 Effects of B application on growth and yield components of rapeseed

地点	处理	株高	一级分枝数	单株角数	每角粒数	千粒重	单株产量	收获指数
Location	Treatment	Plant height (cm)	No of first branch (No./plant)	Pod number (No./plant)	Seed per pod (No./pod)	1000-seed weight (g)	Seed yield (g/plant)	Harvest index
天门	CK	161.5 b	10.0 a	500.3 b	20.8 a	2.9 a	24.2 b	0.24 b
Tianmen	+B	171.3 a	10.8 a	644.0 a	22.7 a	2.8 a	35.2 a	0.26 a
仙桃	CK	162.3 a	7.9 a	301.6 b	16.6 a	2.7 a	13.1 b	0.21 b
Xiantao	+B	167.6 a	8.3 a	403.1 a	19.1 a	2.8 a	18.6 a	0.24 a
蕲春	CK	161.2 b	9.5 a	387.3 b	18.7 b	2.8 a	15.9 b	0.24 a
Qichun	+B	177.2 a	10.3 a	603.3 a	21.8 a	2.7 a	27.6 a	0.24 a
鄂州	CK	159.8 b	8.7 b	405.8 b	21.9 b	2.7 a	19.3 b	0.24 b
Ezhou	+B	181.3 a	10.5 a	600.8 a	24.3 a	2.8 a	30.1 a	0.27 a

同一地点的同一指标不同小写字母表示 $P<0.05$ 水平上差异显著, 下同

Different letters for same item in same site indicate significant differences at $P<0.05$ level. The same as below

2.2 施硼对油菜籽产量的影响

30 个田间试验籽粒实产结果显示, 油菜施硼增产效果明显, 不施硼处理的平均产量为 2 233 kg·ha⁻¹, 施硼处理的平均产量为 2 661 kg·ha⁻¹, 施硼增产油菜籽 428 kg·ha⁻¹, 平均增产率为 19.2% (表 3)。在所有的试验点中, 有 1 个试验点施硼小幅度减产, 有 8 个试验点施硼增产效果不显著, 其余 21 个试验点油菜施硼显著提高籽粒产量。在施硼显著增产的试验中, 施硼增产油菜籽幅度为 130~1 652 kg·ha⁻¹, 平均为 585 kg·ha⁻¹, 增产率幅度为 5.7%~221.4%, 平均为 28.3%。

2.3 土壤有效硼含量对油菜施硼产量效应的影响

本研究中 30 个试验点的基础土壤有效硼含量为 0.15~1.36 mg·kg⁻¹, 变化幅度较大, 根据有效硼含量的分段范围对油菜施硼产量效应进行统计, 结果表明, CK/+B 的相对产量随土壤有效硼含量的上升不断提高, 施硼增产幅度随土壤有效硼含量的上升而呈降低

的趋势(表 4)。当土壤有效硼含量 <0.20 mg·kg⁻¹ 时, 施硼增产产量平均为 800 kg·ha⁻¹, 而当有效硼 >0.50 mg·kg⁻¹ 时施硼平均增产产量只有 200 kg·ha⁻¹。用对数方程对 CK 处理油菜籽相对产量及施硼增产产量 (y) 与土壤有效硼含量 (x) 之间的关系作进一步分析^[26], 结果显示, 土壤有效硼与 CK 相对产量之间达极显著正相关, 其关系可用 $y=16.355\ln x+99.267$ ($r=0.4647^{**}$, $n=30$) 表达, 而与施硼增产产量呈极显著负相关, 其关系可用 $y=-448.92\ln x+5.2353$ ($r=0.4897^{**}$, $n=30$) 表达。以上结果说明土壤有效硼含量水平能较好地反映土壤硼素肥力丰缺状况和油菜施用硼肥的产量效应。

2.4 土壤有效硼临界值的确定

由于油菜施硼效果与土壤有效硼含量极显著相关, 因此可用土壤有效硼含量来判定油菜种植区是否需要施硼。下图表明, 根据 Cate-Nelson 方法, 以 CK/+B 的相对产量 90% 为标准, 土壤有效硼含量临界值为 0.58

表 3 各试验点土壤有效硼含量及油菜施硼产量效果

Table 3 Soil available B content and effect of B fertilization on rapeseed yield at different experiment sites

试验点 Site	籽粒产量 Yield (kg·ha ⁻¹)		施硼增产 ^a Increment form B		试验点 Site	籽粒产量 Yield (kg·ha ⁻¹)		施硼增产 ^a Increment form B	
	CK	+B	(kg·ha ⁻¹)	(%)		CK	+B	(kg·ha ⁻¹)	(%)
1	2046 b	2501 a	455	22.2	16	1215 b	2867 a	1652	136.0
2	2600 b	3000 a	400	15.4	17	1590 b	2061 a	471	29.6
3	2300 a	2200 a	-100	-4.3	18	1780 a	1795 a	15	0.8
4	2329 a	2420 a	91	3.9	19	1915 b	2150 a	235	12.3
5	2354 b	2894 a	540	22.9	20	2060 b	2275 a	215	10.4
6	1622 b	2057 a	435	26.8	21	2280 b	2410 a	130	5.7
7	2500 a	2600 a	100	4.0	22	1250 b	2249 a	999	79.9
8	2475 b	2750 a	275	11.1	23	1697 b	1929 a	232	13.7
9	2450 a	2500 a	50	2.0	24	1940 b	2455 a	515	26.5
10	2900 b	3875 a	975	33.6	25	2430 b	2625 a	195	8.0
11	3000 a	3025 a	25	0.8	26	2650 a	2775 a	125	4.7
12	2300 b	2813 a	513	22.3	27	2475 a	2500 a	25	1.0
13	1650 b	3000 a	1350	81.8	28	2509 b	2914 a	405	16.1
14	2500 b	2900 a	400	16.0	29	3341 b	3690 a	349	10.4
15	700 b	2250 a	1550	221.4	30	4118 a	4343 a	225	5.5

表 4 土壤有效硼含量对油菜施硼效果的影响

Table 4 Effect of soil available B content level on response of rape yield to B application

土壤有效硼分级 Soil avai. B level (mg·kg ⁻¹)	点数 No. of sample	土壤有效硼平均含量 Average available B (mg·kg ⁻¹)	平均产量 Average yield (kg·ha ⁻¹)		施硼效果 Response to B		CK/+B 相对产量 Relative yield (%)
			CK	+B	(kg·ha ⁻¹)	(%)	
<0.20	3	0.17	1617	2417	800	58.7	69.8
0.20~0.30	6	0.26	2260	2866	606	34.7	78.9
0.30~0.40	7	0.36	2144	2618	474	42.4	80.9
0.40~0.50	6	0.46	2073	2386	314	16.5	86.3
>0.50	8	0.73	2640	2842	202	7.6	93.6

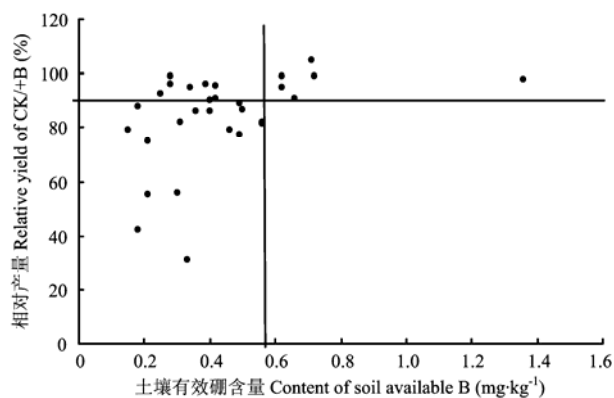


图 土壤有效硼丰缺临界值的确定

Fig. Determination of soil available B critical level for rapeseed

mg·kg⁻¹。依据这一临界值标准,本研究有 24 个试验点的土壤有效硼含量低于该临界值,占试验总数的 80%,结果初步说明湖北省油菜主产区域有 80%左右的土壤缺硼。

3 讨论

3.1 油菜种植中缺硼仍是普遍现象,施硼应该具有科学性

在湖北省油菜主产区 10 个县(市)布置 30 个油菜施硼大田试验,试验田的选择原则上是随机的,供试土壤有效硼含量为 0.15~1.36 mg·kg⁻¹,平均含量 0.44 mg·kg⁻¹,土壤有效硼含量比第二次土壤普查时的

平均值 ($0.33 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) 高 $0.11 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。产量结果显示, 目前湖北省油菜主产区缺硼面积大, 油菜对缺硼敏感, 施硼增产幅度大, 在生产中应注意硼肥的施用, 这一结论与近 20 年来的其它研究结果相一致^[9,14-17]。需要注意的是, 近年来油菜施硼有效的结果大多是基于盆栽试验或者小范围田间试验得出的, 难以代表区域尺度下油菜施硼效果^[14,16,27]。本研究中 30% 的试验施硼增产效果不显著, 其中增产率 $<5\%$ 的试验占 26.7%, 在这一部分土壤上对油菜施硼不但不会产生增产增收效果, 还有可能对后作水稻等禾本科作物产生负面效应^[10,11]。因此, 油菜施硼应该注意其科学性, 而非目前提倡的“将施用硼肥作为油菜生产的常规措施”。较为科学的方法是: 一要根据土壤硼素供应状况决定是否施硼及适宜的硼肥用量, 二在施硼方法上要根据土壤硼的缺乏程度选择适宜的方法, 对于严重缺硼土壤可以基施硼肥。本研究结果表明, 基肥施硼能有效提高油菜单株分枝数、有效角果数和每角粒数, 从而显著增加产量, 这一结果与以往的研究相一致^[28,29]。本研究还表明, 施硼还可以明显改善油菜营养生长状况, 如 +B 处理株高明显高于 CK 处理, 同时施硼的油菜收获指数也明显提高, 这也证实了缺硼土壤早期施硼的重要性^[30]。而对于只是潜在缺硼的土壤还是提倡叶面施硼来解决硼素不足的问题, 这样可避免土壤直接施硼可能引起的农田硼素积累而产生的负面效应^[10]。根据目前油菜生产实际情况, 真正做到因土确定硼肥用量及选择合适方法还需要进行大量的研究工作。

3.2 修正土壤有效硼临界指标的意义

如何诊断油菜的低硼胁迫, 是正确指导油菜施用硼肥的重要环节。目前诊断养分丰缺的方法有多种^[7,31,32], 而在实际生产中, 则以在进行多点田间肥效试验的基础上建立土壤养分丰缺指标, 再在作物种植前对大田土壤养分进行测试分析, 然后根据土壤养分丰缺指标判断田间养分的丰缺状况, 有针对性地推荐施肥为目前最实用的方法^[7,26,33], 这也是正在实施的“国家测土配方施肥”项目中采用的方法^[7,26]。中国在第二次土壤普查时确定以土壤有效硼含量 $0.5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 为油菜施硼临界指标^[6,19], 这一指标已经沿用 20 多年, 为中国油菜施硼普及工作做出了重要贡献。然而, 目前的生产水平同 20 年前相比发生了重大变化, 土壤养分状况变化也很大, 同时油菜品种也由 20 多年前的白菜型、常规甘蓝型变为目前推广的单低、双低等优质甘蓝型油菜, 而优质油菜品种对低硼胁迫

反应更为敏感^[9]。因为目前大面积种植的甘蓝型油菜其花粉在柱头上的附着及萌发需要更多硼素参与^[28], 故优质甘蓝型油菜耐缺硼能力较白菜型或常规甘蓝型品种差^[5,9,28,31]。此外, 当前中国油菜的产量水平比 20 世纪 80 年代有了很大提高, 高产意味着从土壤中吸收和带走的硼素增加, 因此修正建立当前油菜生产水平下的土壤有效硼临界值意义重大。近年来, 已有零星的报道认为, “优质高产油菜施硼土壤临界值比过去上升了”^[8,22], 例如吕晓男等^[15]在浙江红壤地区的研究结果表明, 油菜施硼土壤临界值以 $0.56 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 为宜。只是近年来没有更多的研究支持这一观点。本研究统一布置 30 个田间试验, 结果显示湖北省油菜主产区种植油菜的土壤有效硼临界值为 $0.58 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 在区域尺度上为上述观点提供了依据。当然, 在当前的生产水平下, 能否把土壤有效硼含量 $0.56\sim 0.58 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 作为全国油菜产区土壤硼素的丰缺指标, 还需范围更大的、更多的试验来验证或修正。在本研究中, 初步将土壤有效硼 (B) $0.58 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 作为油菜种植的施硼临界值, 但研究结果显示, 有 6 个试验点的基础土壤有效硼低于这一临界值, 但施硼 (硼砂用量 $7.5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) 没有表现出增产或增产不显著, 其原因有待进一步研究。

4 结论

4.1 油菜施硼能明显地改善营养生长、增加单株角果数和每角粒数、提高收获指数, 从而显著提高油菜籽粒产量。

4.2 湖北省油菜主产区 30 个硼肥田间试验结果表明, 施硼平均增产油菜籽 $428 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, 平均增产率为 19.2%, 其中 21 个试验点增产显著。

4.3 土壤有效硼含量与施硼增产效果呈极显著负相关, 土壤有效硼水平较好地反映了土壤硼素肥力, 并显著地影响油菜施硼效果。

4.4 按照不施硼对照产量占施硼处理产量的 90% 作为判断土壤缺硼标准, 湖北省油菜种植的土壤有效硼临界值为 $0.58 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。据此标准, 湖北省油菜主产区约有 80% 土壤缺硼。

References

- [1] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴. 北京: 中国统计出版社, 2001-2005.
National Bureau of Statistics of China. *Chinese Statistical Yearbook*. Beijing: China Statistics Press, 2001-2005. (in Chinese)

- [2] 耿明建, 曹享云, 朱端卫, 刘武定, 皮美美. 硼对甘蓝型油菜不同品种苗期生理特性的影响. 植物营养与肥科学报, 1999, 5(1): 81-84.
Geng M J, Cao X Y, Zhu D W, Liu W D, Pi M M. Effect of boron deficiency on physiological characteristics of different rape cultivar at seedling stage. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 1999, 5(1): 81-84. (in Chinese)
- [3] 刘昌智, 王玉芹, 陈仲西, 金河成, 邓洪民. 油菜不同品种耐土壤缺硼力的研究. 土壤学报, 1995, 32(3): 308-314.
Liu C Z, Wang Y Q, Chen Z X, Jin H C, Deng H M. Resistances of different rape varieties to B deficiency of soil. *Acta Pedologica Sinica*, 1995, 32(3): 308-314. (in Chinese)
- [4] Xu F S, Wang Y H, Ying W H, Meng J L. Inheritance of boron nutrition efficiency in *Brassica napus*. *Journal of Plant Nutrition*, 2002, 25(4): 901-912.
- [5] 薛建明, 杨玉爱, 叶正钱, 魏幼璋, 黄中华. 长江中下游油菜主栽品种的缺硼反应. 浙江农业学报, 1995, 7(3): 196-201.
Xue J M, Yang Y A, Ye Z Q, Wei Y Z, Huang Z H. Responses to boron deficiency of major rape cultivars grown in the middle and lower Yangtze river valley. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 1995, 7(3): 196-201. (in Chinese)
- [6] 刘 铮, 朱其清, 唐丽华. 我国缺硼土壤的类型和分布. 土壤学报, 1980, 17(3): 228-239.
Liu Z, Zhu Q Q, Tang L H. Born-deficient soils and their distribution in China. *Acta Pedologica Sinica*, 1980, 17(3): 228-239. (in Chinese)
- [7] 张福锁. 测土配方施肥技术要览. 北京: 中国农业大学出版社, 2006: 4-6.
Zhang F S. *Technology of Soil Testing and Fertilizer Recommendation*. Beijing: China Agricultural University Press, 2006: 4-6. (in Chinese)
- [8] 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.
Li B Z, Wang Z Y, Li J N, Wu J, Shen L. Effect of nitrogen, phosphorus, potassium and boron on yield and quality of yellow-seeded rapeseed. *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 42(3): 479-487. (in Chinese)
- [9] 薛建明, 杨玉爱, 叶正钱. 硼对不同油菜品种生长发育及产量和品质的影响. 浙江农业大学学报, 1995, 21(1): 66-70.
Xue J M, Yang Y A, Ye Z Q. Effect of boron on the growth, yield and quality of different rape cultivars. *Journal of Zhejiang Agricultural University*, 1995, 21(1): 66-70. (in Chinese)
- [10] 徐跃定, 吴金桂, 胡永红. 油稻轮作制中油菜过量施硼对水稻产量的影响. 土壤肥料, 2000, (2): 27-29.
Xu Y D, Wu J G, Hu Y H. Effect of excessive boron application to rapeseed on grain yield of rice in rape-rice rotation systems. *Soils and Fertilizers*, 2000, (2): 27-29. (in Chinese)
- [11] 任顺荣, 邵玉翠, 高宝岩, 王德芳. 长期定位施肥对土壤有效硼含量的影响. 中国生态农业学报, 2006, 14(3): 56-57.
Ren S R, Shao Y C, Gao B Y, Wang D F. Effects of long-term located fertilization on the available boron content of soil. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2006, 14(3): 56-57. (in Chinese)
- [12] Dahnke W C, Olson R A. Soil test correlation, calibration, and recommendation. In: Westerman R L, eds. *Soil Testing and Plant Analysis (3rd ed)*. SSSA Book Series No. 3. SSSA, Madison, WI. 1990: 45-71.
- [13] 自由路, 张景略, 李有田. 测土施肥的原理与技术. 郑州: 河南科学技术出版社, 1993: 220.
Bai Y L, Zhang J L, Li Y T. *Theory and Technology of Soil Testing and Fertilization*. Zhengzhou: Henan Science and Technology Press, 1993: 220. (in Chinese)
- [14] 陈 刚, 年夫照, 徐芳森, 王运华. 硼、钼营养对甘蓝型油菜产量和品质影响的研究. 植物营养与肥科学报, 2005, 11(2): 243-247.
Chen G, Nian F Z, Xu F S, Wang H Y. Effect of boron and molybdenum on yield and quality of two rapeseed cultivars. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2005, 11(2): 243-247. (in Chinese)
- [15] 吕晓男, 陆允甫, 毛东明. 浙中红壤有效硼水平及油菜硼素营养. 土壤肥料, 2000, (1): 30-31, 34.
Lü X N, Lu Y F, Mao D M. Studies on status of available boron in red soil and boron nutrition in rapeseed in Zhezhong area. *Soils and Fertilizers*, 2000, (1): 30-31, 34. (in Chinese)
- [16] 李志玉, 廖 星, 涂学文, 郭庆元. 氮、磷、钾、硼配合对油菜品种产量、品质的影响. 湖北农业科学, 2003, (6): 33-37.
Li Z Y, Liao X, Tu X W, Guo Q Y. Effect of N, P, K and B application on yield, quality of rape cultivars. *Hubei Agricultural Sciences*, 2003, (6): 33-37. (in Chinese)
- [17] Xue J M, Lin M S, Bell R W, Graham R D, Yang X, Yang Y A. Differential response of oilseed rape (*Brassica napus* L.) cultivars to low boron supply. *Plant and Soil*, 1998, 240: 155-163.
- [18] 刘昌智. 油菜和某些芸苔属作物的硼素营养(综述). 中国油料, 1985, (4): 73-81.
Liu C Z. Boron nutrition of rape and some *Brassica rapes* (Review). *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 1985, (4): 71-79. (in Chinese)
- [19] 全国微肥科研协作组. 几种主要农作物锌、硼肥施用技术规范的研究 III. 棉花、油菜硼肥施用技术规范的研究. 土壤肥料, 1989, (6): 1-4.
National Micronutrients Fertilizer Research Company. Technological rules of Zn and B fertilization on several main crop.

- Soils and Fertilizers*, 1989, (6): 1-4. (in Chinese)
- [20] 谢振翅, 马朝红, 胡定金, 邓小玉, 李家书. 湖北省土壤微量元素含量分布研究. *土壤学报*, 1990, 27(4): 411-419.
- Xie Z C, Ma C H, Hu D J, Deng X Y, Li J S. Studies on content and distribution of micronutrients in soils of Hubei Province. *Acta Pedologica Sinica*, 1990, 27(4): 411-419. (in Chinese)
- [21] 张德才, 罗 颖, 刘 涛. 湖北省主要耕地土壤地力监测结果分析及对策. *湖北农业科学*, 2004, (3): 53-55.
- Zhang D C, Luo Y, Liu T. Analysis and strategy on cultivated land fertility in Hubei Province. *Hubei Agricultural Sciences*, 2004, (3): 53-55. (in Chinese)
- [22] 李志玉, 胡 琼, 廖 星, 郭庆元, 秦亚平. 优质油菜中油杂 8 号施用氮磷硼肥的产量和品质效应. *中国油料作物学报*, 2005, 27(4): 59-63.
- Li Z Y, Hu Q, Liao X, Guo Q Y, Qin Y P. Effects of nitrogen, phosphorus and boron on the yield and quality of high-efficient oilseed rape hybrid Zhongyouza No.8. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2005, 27(4): 59-63. (in Chinese)
- [23] 鲍士旦. *土壤农化分析*(第三版). 北京: 中国农业出版社, 2000: 30-107, 127.
- Bao S D. *Soil and Agricultural Chemistry Analysis (3rd ed)*. Beijing: China Agricultural Press, 2000: 30-107, 127. (in Chinese)
- [24] Cate R B, Nelson L A. A simple statistical procedure for partitioning soil test correlation data into two classes. *Soil Science Society of America Journal*, 1971, 35(2): 658-660.
- [25] 鲁剑巍, 陈 防, 余常兵, 李剑夫, 张竹青, 刘冬碧, 熊 涛. 油菜施钾效果及土壤速效钾临界值初步判断. *中国油料作物学报*, 2003, 25(4): 107-112.
- Lu J W, Chen F, Yu C B, Li J F, Zhang Z Q, Liu D B, Xiong T. Response of rapeseed yield to K application and primary study of soil critical available K content for rapeseed. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2003, 25(4): 107-112. (in Chinese)
- [26] 陈新平, 张福锁. 通过“3414”试验建立测土配方施肥技术指标体系. *中国农技推广*, 2006, 22(4): 36-39.
- Chen X P, Zhang F S. Building up index system of soil testing and fertilizer recommendation by “3414” fertilizer experiments. *China Agricultural Technology Extension*, 2006, 22(4): 36-39. (in Chinese)
- [27] 年夫照, 石 磊, 徐芳森, 陈 刚, 胡承孝, 王运华. 硼对不同硼效率甘蓝型油菜产量和品质的效应. *中国油料作物学报*, 2004, 26(4): 63-65.
- Nian F Z, Shi L, Xu F S, Chen G, Hu C X, Wang Y H. Effects of boron on the seed yield and quality of rape (*Brassica napus*) cultivars with different boron efficiency. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2004, 26(4): 63-65. (in Chinese)
- [28] 沈振国, 张秀省, 王震宇, 沈 康. 硼素营养对油菜花粉萌发的影响. *中国农业科学*, 1994, 27(1): 51-56.
- Shen Z G, Zhang X S, Wang Z Y, Shen K. On the relationship between boron nutrition and development of anther (pollen) in rapeseed plant. *Scientia Agricultura Sinica*, 1994, 27(1): 51-56. (in Chinese)
- [29] 沈 康, 沈振国, 徐汉卿, 黄清渊. 油菜(*B. napus* L.)硼素营养与结实性的研究. *作物学报*, 1993, 19(6): 539-545.
- Shen K, Shen Z G, Xu H Q, Huang Q Y. Study on boron nutrient and seed setting of rapeseed. *Acta Agronomica Sinica*, 1993, 19(6): 539-545. (in Chinese)
- [30] 刘武定. *微量元素营养与微肥施用*(第二版). 北京: 中国农业出版社, 1999: 28-29.
- Liu W D. *Microelement Nutrition and Fertilization in China (2nd ed)*. Beijing: China Agricultural Press, 1999: 28-29. (in Chinese)
- [31] 刘 鹏, 杨玉爱. 油菜在低硼胁迫下的生理反应研究进展. *中国油料作物学报*, 1999, 21(1): 74-78.
- Liu P, Yang Y A. Research development of physiological response of rape in the stress of low boron. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 1999, 21(1): 74-78. (in Chinese)
- [32] Shorrocks V M. The occurrence and correction of boron deficiency. *Plant and Soil*, 1997, 193: 121-148.
- [33] Russell C A, Dunn B W, Batten G D, Williams R L, Angus J F. Soil tests to predict optimum fertilizer nitrogen rate for rice. *Field Crops Research*, 2006, 97(3): 286-301.

(责任编辑 李云霞)