

基于 ASI 法的长江流域冬油菜区土壤有效磷、钾、硼丰缺指标研究

邹娟¹, 鲁剑巍¹, 陈防², 李银水¹

(¹华中农业大学资源与环境学院, 武汉 430070; ²中国科学院武汉植物园, 武汉 430074)

摘要: 【目的】为当前生产条件下长江流域油菜测土配方施肥技术的推广提供理论依据。【方法】2004-2006 连续 3 个年度在长江流域 10 省布置油菜肥效田间试验, 并用 ASI 法对基础土壤样品进行测试分析, 以缺乏区与推荐施肥区油菜籽相对产量 < 60%, 60%~75%, 75%~90%, 90%~95% 和 > 95% 为标准, 分别将土壤有效磷、钾和硼分成“严重缺乏”、“缺乏”、“轻度缺乏”、“适宜”和“丰富”5 级。【结果】长江流域油菜区土壤有效磷“严重缺乏”指标为 < 5.5 mg P·L⁻¹, “缺乏”指标为 5.5~12.5 mg P·L⁻¹, “轻度缺乏”指标为 12.5~28.5 mg P·L⁻¹, “适宜”指标为 28.5~38.0 mg P·L⁻¹, “丰富”指标为 > 38.0 mg P·L⁻¹; 本研究没有建立土壤有效钾及有效硼的“严重缺乏”指标, 土壤有效钾“缺乏”、“轻度缺乏”、“适宜”和“丰富”的指标分别是 < 30 mg K·L⁻¹、30~75 mg K·L⁻¹、75~100 mg K·L⁻¹ 和 > 100 mg K·L⁻¹; 土壤有效硼“缺乏”、“轻度缺乏”、“适宜”和“丰富”的指标分别是 < 0.25 mg B·L⁻¹、0.25~0.95 mg B·L⁻¹、0.95~1.50 mg B·L⁻¹ 和 > 1.50 mg B·L⁻¹。【结论】在长江流域油菜主产区, 运用 ASI 法测定的土壤有效磷、钾及硼含量高低分别与不施磷、不施钾及不施硼处理的油菜籽相对产量呈显著正相关关系, 据此建立的土壤养分丰缺指标可以用来指导长江流域油菜的测土配方施肥工作。

关键词: 油菜; ASI 方法; 土壤有效磷; 土壤有效钾; 土壤有效硼; 土壤养分丰缺指标

Study on Abundance and Deficiency Indices of Soil Available P, K and B for Winter Rapeseed in Yangtze River Valley Based on ASI Method

ZOU Juan¹, LU Jian-wei¹, CHEN Fang², LI Yin-shui¹

(¹College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070; ²Wuhan Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430074)

Abstract: 【Objective】To provide a theoretical basis for soil testing and fertilizing recommendation for rapeseed production in the region of Yangtze River valley. 【Method】Field experiments were conducted in 10 main rapeseed production provinces in the valley during 2004-2006. A series of soil samples were taken before rapeseed transplanting and analyzed by ASI (Agro Services International) method. The abundance and deficiency indices were determined based on the relationship between crop relative yield and available soil nutrient values. Compared to the complete treatment, the relative yields of 60%, 75%, 90% and 95% obtained from the -P, -K and -B treatments were selected to establish the abundance and deficiency indices of soil available P, K and B for winter rapeseed. 【Result】The extreme deficiency, deficiency, slight deficiency, optimum and abundance indices for soil available P were <5.5, 5.5-12.5, 12.5-28.5, 28.5-38.0 and >38.0 mg P·L⁻¹, respectively. The extreme deficiency critical values for soil available K and B were not appeared in this research. The deficiency, slight deficiency, optimum and abundance critical values for soil available K and B were <30, 30-75, 75-100 and >100 mg K·L⁻¹; and <0.25, 0.25-0.95, 0.95-1.50 and >1.50 mg B·L⁻¹, respectively. 【Conclusion】The relative yields of the -P, -K and -B treatments were significantly correlated with soil available

收稿日期: 2008-06-16; 接受日期: 2009-02-27

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划重点项目(2008BADA4B08)、教育部新世纪人才项目(NCET-07-0345)、国际植物营养研究所合作项目(IPNI-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。通信作者鲁剑巍(1967-), 男, 湖北武穴人, 教授, 博士, 研究方向为作物养分管理。Tel: 027-61379276; E-mail: lujianwei@mail.hzau.edu.cn

P, K and B contents. The soil available P, K and B critical indices established using the ASI systematic approach and field experiments can be used as guidance for soil testing and fertilizing recommendation for winter rapeseed production in the valleys.

Key words: rapeseed (*Brassica napus* L.); ASI method; soil available phosphorus; soil available potassium; soil available boron; abundance and deficiency indices

0 引言

【研究意义】长江流域是世界上甘蓝型油菜最集中的三大产区之一,也是中国冬油菜的主要产区,常年种植面积、年产量均占全国油菜种植面积及总产量的 80% 以上^[1]。随着测土配方施肥项目的开展,大量的农田土壤样品被送进化验室进行测试分析,然后根据土壤养分的测试结果来计算推荐施肥量,这一方法得到普遍的接受和认可^[2]。准确判断土壤养分的丰缺状况并提出相应推荐施肥量的前提是建立土壤养分丰缺指标^[3-4]。【前人研究进展】1985—1989 年期间,全国土壤普查办公室组织了“全国主要土类土壤养分丰缺指标研究”协作组,该协作组对不同类型土壤养分提取剂进行选择,以作物相对产量和养分吸收量为参比标准,建立了当时生产力水平下主要土类土壤有效养分分级指标^[5-6],20 多年来这些指标对指导中国的科学施肥发挥了重要作用。随着农业的快速发展、施肥量和产量水平的不断提高,中国土壤养分状况与十几年前相比发生了较大变化,种植体系、作物新品种及对农产品的质量要求与以往不同,施肥对环境的影响也更受到关注,土壤有效养分的评价也有了更便捷的方法,原来制定的土壤丰缺指标和推荐施肥指标已经不能满足现代农业生产的需要,建立新的测土施肥指标体系势在必行^[2]。ASI 法(土壤养分系统研究法)作为一种快速、高效的土壤养分测定方法引入中国已有十多年历史,并逐渐被广泛地应用,是目前中国农业生产中最常用的土壤养分测试方法之一^[7],通过多年的研究,已初步形成了一套基于 ASI 法的适合中国大部分地区的土壤养分分级指标和推荐施肥指标体系^[8]。魏义长等将临界指标值具体化,建立了滨海滩涂地水稻土壤有效氮、磷、钾丰缺指标^[9]。【本研究切入点】但是在油菜作物上尚没有一套较为精确的指标。【拟解决的关键问题】为修订完善当前油菜生产条件下土壤养分丰缺指标,笔者于 2004—2006 连续 3 个年度在长江流域 10 省(市)统一试验方案进行了相应的研究。旨在补充和完善基于 ASI 法土壤有效养分丰缺指标体系,为进一步推广油菜测土配方施肥技术提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

2004/2005—2006/2007 三个年度在长江流域冬油菜产区进行油菜磷、钾和硼肥田间肥效试验。试验点分布在湖北、安徽、四川、湖南、江西、江苏、浙江、贵州、重庆、河南等 10 个省(市),试验区油菜种植面积占全国冬油菜播种面积的 90% 以上。试验田基础土壤养分状况为 pH 3.9~8.2,有机质含量 5.9~25.1 g·kg⁻¹(平均 10.4 g·kg⁻¹),铵态氮含量 1.3~91.0 mg N·L⁻¹(平均 15.5 mg N·L⁻¹),有效磷含量 1.7~42.4 mg P·L⁻¹(平均 13.6 mg P·L⁻¹),有效钾含量 31.3~216.0 mg K·L⁻¹(平均 72.6 mg K·L⁻¹),有效硼含量 0.03~2.35 mg B·L⁻¹(平均 0.78 mg B·L⁻¹)。

供试油菜为当前各试验区域的主要推广种植的品种,如华双、华油杂、中双、中油杂、德油及油研系列等。试验前茬作物为水稻或棉花。

1.2 试验设计

试验处理及各处理整个生育期肥料用量见表。因试验目标的差异,各试验点所包含的处理不一,去除因意外造成试验失败的小区,本研究中共包括 NPKB 和 NKB(-P)处理的磷肥试验 63 组,NPKB 和 NPB(-K)处理的钾肥试验 70 组,NPKB 和 NPK(-B)处理的硼肥试验 47 组。

表 试验处理及肥料用量

Table The experimental treatments and the rate of NPKB fertilizer (kg·hm⁻²)

处理 Treatments	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	硼砂 Borax
NPKB	180	90	120	7.5
NKB(-P)	180	0	120	7.5
NPB(-K)	180	90	0	7.5
NPK(-B)	180	90	120	0

肥料施用时期和施用比例分别为: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 P₂O₅ 12%)、氯化钾(含 K₂O 60%)、硼砂(含 B 11%)。各处理重复 3 次,小区面积 20 m²。

其它生产管理措施均采用当地常规管理方法。

1.3 土壤样品的采集与分析

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 耕作层土壤，带回实验室供化学分析。土样的分析采用土壤养分状况系统研究法 (ASI)，由中国农业科学院国家测土配方施肥实验室测定。ASI 法对土壤有效磷、钾的测定采用联合浸提剂，即 0.25 mol·L⁻¹ NaHCO₃-0.01 mol·L⁻¹ EDTA-0.01 mol·L⁻¹ NH₄F 溶液，钼锑抗比色法测磷，原子吸收分光光度计测钾；土壤有效硼用 0.08 mol·L⁻¹ Ca(H₂PO₄)₂ 浸提，姜黄素比色法测定^[10]。

1.4 土壤养分丰缺指标的确定

油菜成熟时，各小区单收单打，油菜籽产量以各小区实收计量。根据籽粒产量与土壤有效养分含量的关系，建立土壤养分丰缺指标^[11-12]。具体方法为，利用缺素处理 (-P、-K 或 -B) 占全肥处理 (NPKB) 的相对产量数据与土壤有效养分测定值的关系作散点图，选择对数方程拟合油菜籽相对产量与土壤有效养分测定值之间的关系^[13]。参照 Cate 等^[12]和陈新平等^[13]的标准并结合长江流域油菜生产实际，把相对产量 < 60% 的土壤养分测定值定为“严重缺乏”，60%~75% 为“缺乏”、75%~90% 为“轻度缺乏”、90%~95% 为“适宜”、>95% 为“丰富”，以此确定土壤养分丰缺指标。

数据分析整理及图形绘制在 Excel 中进行。

2 结果与分析

2.1 土壤有效磷丰缺指标

采用对数方程拟合 -P 处理相对产量 (y) 与土壤有效磷 (x) 之间的关系，结果显示，两者呈极显著正相关，其关系可用 $y=18.068 \ln x+29.378$ ($r=0.6627^{**}$, $n=63$) 表达。据方程计算土壤有效磷的临界指标，可知“严重缺乏”范围为 <5.5 mg P·L⁻¹ (实际计算值为 5.4 mg P·L⁻¹，为方便推广应用，将临界指标定为相近的 0.5 的倍数，下同)，“缺乏”为 5.5~12.5 mg P·L⁻¹，“轻度缺乏”为 12.5~28.5 mg P·L⁻¹，“适宜”为 28.5~38.0 mg P·L⁻¹，“丰富”为 >38.0 mg P·L⁻¹。从图 1 可以看出，63 个试验田块中，56 个土壤有效磷含量 <28.5 mg P·L⁻¹，占 88.9%，其中严重缺乏比例占 15.9%，说明长江流域土壤磷素缺乏面积较大，在油菜生产中应重视磷肥的施用。但是，当土壤磷素丰富时，若继续

施用磷肥，因养分间的拮抗作用 (如磷与锌) 能导致土壤有效锌的降低^[14]，同时，因磷流失引起的水体富营养化也会给环境带来潜在威胁^[15]。因此，对于土壤有效磷 >28.5 mg P·L⁻¹ 的田块，应适当减少磷肥的施用量。

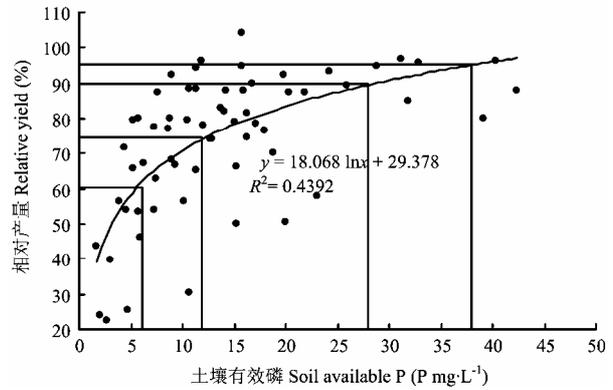


图 1 油菜相对产量与土壤有效磷之间的关系

Fig. 1 The relationship between relative rapeseed yield and soil available P level

2.2 土壤有效钾丰缺指标

根据油菜相对产量与土壤有效钾的相关性分析 (图 2)，确定了土壤有效钾的临界指标：“严重缺乏”为 <13 mg K·L⁻¹，“缺乏”为 13~30 mg K·L⁻¹，“轻度缺乏”为 30~75 mg K·L⁻¹，“适宜”为 75~100 mg K·L⁻¹，“丰富”为 >100 mg K·L⁻¹，其中“严重缺乏”临界值 13 mg K·L⁻¹ 是根据方程计算的外推结果，供试田块中没有出现土壤有效钾含量“严重缺乏”的

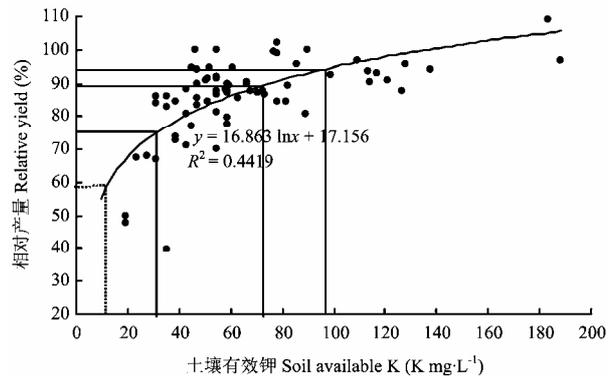


图 2 油菜相对产量与土壤有效钾之间的关系

Fig. 2 The relationship between relative rapeseed yield and soil available K level

现象, 表明该区域目前不属于严重缺钾地区。尽管如此, 土壤缺钾的形势仍较为严峻, 50 个试验点土壤有效钾含量表现“缺乏”或“中等”, 超过总数 2/3。另有 14.3% 的试验田块有效钾含量 $>100 \text{ mg K}\cdot\text{L}^{-1}$, 土壤钾素丰富。针对中国钾肥资源紧缺, 钾肥价格持续上涨的现状, 对于土壤有效钾含量超过 $100 \text{ mg K}\cdot\text{L}^{-1}$ 的地块, 可减少钾肥的投入量, 这样即能保证油菜施肥的经济效益, 又可避免因钾素累积过多, 钙、镁等养分不平衡问题的出现^[16-17]。

2.3 土壤有效硼丰缺指标

与土壤有效钾一样, 土壤有效硼的“严重缺乏”临界值在长江流域供试田块中没有表现出来, “缺乏”为 $<0.25 \text{ mg B}\cdot\text{L}^{-1}$, “轻度缺乏”为 $0.25\sim0.95 \text{ mg B}\cdot\text{L}^{-1}$, “适宜”为 $0.95\sim1.50 \text{ mg B}\cdot\text{L}^{-1}$, “丰富”为 $>1.50 \text{ mg B}\cdot\text{L}^{-1}$, 约一半试验田的土壤有效硼含量在“缺乏”或“轻度缺乏”范围。本试验研究中, $-B$ 处理相对产量 (y) 与土壤有效硼 (x) 呈极显著正相关, 关系式为 $y=11.02 \ln x+90.711$ ($r=0.6507^{**}$, $n=47$) (图 3)。当土壤有效硼含量 $<0.95 \text{ mg B}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, 提倡硼肥作为基肥施用; 当有效硼含量 $>0.95 \text{ mg B}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, 为防止土壤硼素富集对后茬水稻等产生毒害^[18], 则不施用硼肥, 如在油菜后期发现缺硼症状, 可在花期喷施一定硼肥。

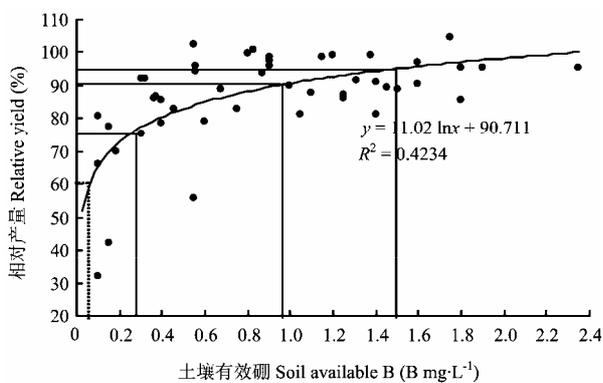


图 3 油菜相对产量与土壤有效硼之间的关系

Fig. 3 The relationship between relative rapeseed yield and soil available B level

3 讨论

土壤养分丰缺指标法是经典的测土推荐施肥方法。但是, 对各级丰缺指标值确定的依据, 国际上尚

无统一的规定。一般把作物相对产量 50%、75% 和 95% 时的土壤有效养分含量作为土壤养分丰缺指标^[2,13,19]。也有以增产率为依据对土壤养分进行分级, 如: 第二次土壤普查时, 全国微肥科研协作组根据施用硼肥后油菜籽增产的幅度来确定土壤缺硼的临界指标^[20]; 而 Cate 等^[12]则以相对产量 90% 时土壤养分测定值作为土壤养分的丰缺临界指标。由于当前土壤肥力尤其是土壤有效养分含量比过去提高了^[21], 且随着育种技术的发展及生产力水平的提高, 中国油菜单产水平较 20 世纪 80 年代有了明显的提升^[22], 使得油菜籽相对产量低于 50% 的地块所占的比例较少, 所以本研究对各级指标值的确定标准作了一定调整, 以相对产量 60%、75%、90% 和 95% 时土壤养分含量作为分级标准将土壤养分丰缺指标分成“严重缺乏”、“缺乏”、“轻度缺乏”、“适宜”和“丰富”5 个等级。

中国农业科学院国家测土配方施肥中心实验室作为 ASI 法的引进单位, 将中国土壤有效养分含量分为 6 级, 其中有效磷 $0\sim7 \text{ mg P}\cdot\text{L}^{-1}$ “为严重缺磷”、 $7\sim12 \text{ mg P}\cdot\text{L}^{-1}$ “缺磷”、 $12\sim24 \text{ mg P}\cdot\text{L}^{-1}$ “中等”、 $24\sim40 \text{ mg P}\cdot\text{L}^{-1}$ “较高”、 $40\sim60 \text{ mg P}\cdot\text{L}^{-1}$ “高磷”、 $>60 \text{ mg P}\cdot\text{L}^{-1}$ “极高磷含量”; 有效钾 $0\sim40 \text{ mg K}\cdot\text{L}^{-1}$ 为“极严重缺钾”、 $40\sim60 \text{ mg K}\cdot\text{L}^{-1}$ “严重缺钾”、 $60\sim80 \text{ mg K}\cdot\text{L}^{-1}$ “缺钾”、 $80\sim100 \text{ mg K}\cdot\text{L}^{-1}$ “中等偏低”、 $100\sim140 \text{ mg K}\cdot\text{L}^{-1}$ “中等偏高”、 $>140 \text{ mg K}\cdot\text{L}^{-1}$ “高钾含量”; 有效硼的 6 级分别为 $0\sim0.1 \text{ mg B}\cdot\text{L}^{-1}$ “严重缺硼”、 $0.1\sim0.2 \text{ mg B}\cdot\text{L}^{-1}$ “缺硼”、 $0.2\sim0.4 \text{ mg B}\cdot\text{L}^{-1}$ “中等”、 $0.4\sim0.6 \text{ mg B}\cdot\text{L}^{-1}$ “较高”、 $0.6\sim0.8 \text{ mg B}\cdot\text{L}^{-1}$ “高硼含量”、 $>0.8 \text{ mg B}\cdot\text{L}^{-1}$ “极高硼含量”^[8]。总体上看, 本研究中建立的土壤有效磷、钾的丰缺指标体系与全国平均指标基本一致, 但土壤有效钾的各级指标值均低于魏义长等^[9]研究结果, 其原因可能是长江流域油菜产区气候条件、土壤类型的差异以及研究对象的不同所致。另外, 由于油菜对硼素的需求量较一般作物大^[23-24], 因而本研究中建立的油菜土壤有效硼的各级丰缺指标值也高于文献^[8]制订的全国平均水平。

需要指出的是, 除磷、钾及硼肥试验外, 本研究在长江流域油菜主产区也进行了氮肥的肥效试验, 并曾试图用土壤氮素测试值与不施氮处理油菜籽相对产量的关系来建立土壤氮素丰缺指标, 遗憾的是, 二者之间的相关系数较低。朱兆良等研究也表明, 在田间试验中, 土壤氮素供应能力的测试值与无氮区土壤供氮量之间的相关系数 (r) 仅为 0.5 或更低, 决定系数

(R^2) 小于 0.3^[25], 本研究结果与之一致。此外, 本研究根据多年多点的田间试验结果提出了油菜生产中土壤有效磷、钾及硼的丰缺临界指标, 但是在各级养分指标下肥料的适宜经济用量还未确定。因此, 针对不同土壤条件下, 磷、钾和硼肥的推荐用量、施用时期及土壤氮素指标的确定均有待于进一步研究与探讨。

4 结 论

分别以缺素区与推荐施肥区油菜籽相对产量 60%、75%、90%和 95%为标准, 建立基于 ASI 法的长江流域冬油菜区土壤有效磷、钾和硼“严重缺乏”、“缺乏”、“轻度缺乏”、“适宜”和“丰富”的临界指标, 结果表明土壤有效磷“严重缺乏”范围为 $< 5.5 \text{ mg P}\cdot\text{L}^{-1}$, “缺乏”为 $5.5\sim 12.5 \text{ mg P}\cdot\text{L}^{-1}$, “轻度缺乏”为 $12.5\sim 28.5 \text{ mg P}\cdot\text{L}^{-1}$, “适宜”为 $28.5\sim 38.0 \text{ mg P}\cdot\text{L}^{-1}$, “丰富”为 $> 38.0 \text{ mg P}\cdot\text{L}^{-1}$; 土壤有效钾 $< 30 \text{ mg K}\cdot\text{L}^{-1}$ 为“缺乏”, $30\sim 75 \text{ mg K}\cdot\text{L}^{-1}$ 为“轻度缺乏”, $75\sim 100 \text{ mg K}\cdot\text{L}^{-1}$ 为“适宜”, $> 100 \text{ mg K}\cdot\text{L}^{-1}$ 为“丰富”; 土壤有效硼“缺乏”、“轻度缺乏”、“适宜”和“丰富”的指标分别为 $< 0.25 \text{ mg B}\cdot\text{L}^{-1}$, $0.25\sim 0.95 \text{ mg B}\cdot\text{L}^{-1}$, $0.95\sim 1.50 \text{ mg B}\cdot\text{L}^{-1}$, $> 1.50 \text{ mg B}\cdot\text{L}^{-1}$ 。据此标准, 长江流域冬油菜产区当前耕地土壤磷、钾及硼相对缺乏的面积分别为 89%、71%和 57%。

References

- [1] 王汉中. 入世后的中国油菜产业. 中国油料作物学报, 2002, 24(2): 82-86.
Wang H Z. Rapeseed industry in China after joining in WTO. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2002, 24(4): 82-86. (in Chinese)
- [2] 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: 3-10.
Zhang F S. *Technology of Soil Testing and Fertilizer Recommendation*. Beijing: China Agricultural University Press, 2006: 3-10. (in Chinese)
- [3] Heckman J R, Jokela W, Morris T, Beegle D B, Sims J T, Coale F J, Herbert S, Griffin T, Hoskins B, Jemison J, Sullivan W M, Bhumbala D, Estes G, Reid W S. Soil test calibration for predicting corn response to phosphorus in the northeast USA. *Agronomy Journal*, 2006, 98(3/4): 280-288.
- [4] Gascho G J, Parker M B. Nitrogen, phosphorus and potassium fertilization of a coastal plain cotton-peanut rotation. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2006, 37(10): 1485-1499.
- [5] 中国农业科学院土壤肥料研究所. 中国肥料. 上海: 上海科学技术出版社, 1994: 390-392.
Institute of Soil and Fertilizers, Chinese Academy of Agricultural Sciences. *Chinese Fertilizers*. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1994: 390-392. (in Chinese)
- [6] 刘昌智, 涂运昌. 油菜氮磷钾肥配合施用的研究//中国农业科学院土壤肥料研究所主编. 国际平衡施肥学术讨论会论文集. 北京: 农业出版社, 1989: 215-220.
Liu C Z, Tu Y C. Study on combined application of nitrogen, phosphorus and potassium to rapeseed // Institute of Soil and Fertilizers, Chinese Academy of Agricultural Sciences, eds. *Symposium of National Colloquium of Balanced Fertilizer*. Beijing: Agricultural Press, 1989: 215-220. (in Chinese)
- [7] 自由路, 杨俐苹. 我国农业中的测土配方施肥. 土壤肥料, 2006, (2): 3-7.
Bai Y L, Yang L P. Soil testing and fertilizer recommendation in Chinese agriculture. *Soils and Fertilizers*, 2006, (2): 3-7. (in Chinese)
- [8] 金继运, 自由路, 杨俐苹. 高效土壤养分测试技术与设备. 北京: 中国农业出版社, 2006: 74-88, 150-163.
Jin J Y, Bai Y L, Yang L P. *Soil Nutrients Testing and Equipments in High Efficiency*. Beijing: China Agriculture Press, 2006: 74-88, 150-163. (in Chinese)
- [9] 魏义长, 自由路, 杨俐苹, 林昌华, 姚政, 罗国安, 徐四新, 宋韦, 朱春梅. 基于 ASI 法的滨海滩涂地水稻土壤有效氮、磷、钾丰缺指标. 中国农业科学, 2008, 41(1): 138-143.
Wei Y C, Bai Y L, Yang L P, Lin C H, Yao Z, Luo G A, Xu S X, Song W, Zhu C M. Abundance and deficiency indices of soil available N, P and K for rice in marine foreland based on ASI. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41(1): 138-143. (in Chinese)
- [10] 加拿大钾磷研究所北京办事处. 土壤养分状况系统研究法. 北京: 中国农业科技出版社, 1992: 54-70.
PPI/PPIC Beijing Office. *Systematic Approach for Soil Nutrient Evaluation*. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1992: 54-70. (in Chinese)
- [11] Wong M T F, Corner R J, Cook S E. A decision support system for mapping the site-specific potassium requirement of wheat in the field. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 2001, 41(5): 655-661.
- [12] Cate R B Jr, Nelson L A. A simple statistical procedure for partitioning soil test correlation data into two classes. *Soil Science Society of America Proceedings*, 1971, 35(2): 658-660.
- [13] 陈新平, 张福锁. 通过“3414”试验建立测土推荐施肥技术指标体系. 中国农技推广, 2006, 22(4): 36-39.
Chen X P, Zhang F S. Establishing technical index system of soil testing and fertilizer recommendation from “3414” experiments.

- China Agricultural Technology Extension*, 2006, 22(4): 36-39. (in Chinese)
- [14] 魏义长, 白由路, 杨俐苹, 林昌华, 姚政, 罗国安, 宋炜, 朱春梅. 测土推荐施锌对水稻产量结构及土壤有效养分的影响. *中国水稻科学*, 2007, 21(2): 197-202.
- Wei Y C, Bai Y L, Yang L P, Lin C H, Yao Z, Luo G A, Song W, Zhu C M. Effects of recommended zinc application according to soil testing on yield components of rice and soil available nutrients. *Chinese Journal of Rice Science*, 2007, 21(2): 197-202. (in Chinese)
- [15] 曹宁, 陈新平, 张福锁, 曲东. 从土壤肥力变化预测中国未来磷肥需求. *土壤学报*, 2007, 44(3): 536-543.
- Cao N, Chen X P, Zhang F S, Qu D. Prediction of phosphate fertilizer demand in China based on change in soil phosphate fertility. *Acta Pedologica Sinica*, 2007, 44(3): 536-543. (in Chinese)
- [16] Howeler R H. Potassium nutrition of cassava // Mansen R D, eds. *Potassium in Agriculture*. Madison: Wiscosin, 1985: 826-828.
- [17] 刘冬碧, 陈防, 鲁剑巍, 万运帆. 施钾对油菜干物质积累和钾、钙、镁吸收的影响. *土壤肥料*, 2001, (4): 24-27.
- Liu D B, Chen F, Lu J W, Wan Y F. Effect of K application on dry matter accumulation and absorption of K, Ca and Mg of oil rape. *Soils and Fertilizers*, 2001, (4): 24-27. (in Chinese)
- [18] 徐跃定, 吴金桂, 胡永红. 水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)
- [19] Hegney M A, McPharlin I R, Jeffery R C. Using soil testing and petiole analysis to determine phosphorus fertilizer requirements of potatoes (*Solanum tuberosum* L. cv. Delaware) in the Manjimup-Pemberton region of Western Australia. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 2000, 40(1): 107-117.
- [20] 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 Accompany. Technological rules of Zn and B fertilization on several mainly crop. *Soils and Fertilizers*, 1989, (6): 1-4. (in Chinese)
- [21] 张福锁, 崔振岭, 王激清, 李春俭, 陈新平. 中国土壤和植物养分管理现状与改进策略. *植物学通报*, 2007, 24(6): 687-694.
- Zhang F S, Cui Z L, Wang J Q, Li C J, Chen X P. Current status of soil and plant nutrient management in China and improvement strategies. *Chinese Bulletin of Botany*, 2007, 24(6): 687-694. (in Chinese)
- [22] 沈金雄, 傅廷栋, 涂金星, 马朝芝. 中国油菜生产及遗传改良潜力与油菜生物柴油发展前景. *华中农业大学学报*, 2007, 26(6): 894-899.
- Shen J X, Fu T D, Tu J X, Ma C Z. Potential in production and genetic improvement of rapeseed and prospect for rape oil-based biodiesel in China. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2007, 26(6): 894-899. (in Chinese)
- [23] 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.
- [24] 邹娟, 鲁剑巍, 廖志文, 巩细民, 汪航, 周远桂, 周宏. 湖北省油菜施硼效果及土壤有效硼临界值研究. *中国农业科学*, 2008, 41(3): 752-759.
- Zou J, Lu J W, Liao Z W, Gong X M, Wang H, Zhou Y G, Zhou H. Study on response of rapeseed to boron application and critical level of soil available B in Hubei Province. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41(3): 752-759. (in Chinese)
- [25] 朱兆良. 推荐氮肥适宜施用量的方法论刍议. *植物营养与肥料学报*, 2006, 12(1): 1-4.
- Zhu Z L. On the methodology of recommendation for the application rate of chemical fertilizer nitrogen to crops. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2006, 12(1): 1-4. (in Chinese)

(责任编辑 李云霞)