

DOI: 10.11766/trxb201602170634

基于GIS的长江中游油菜种植区土壤养分及pH状况*

丛日环¹ 张智¹ 郑磊² 苗洁¹ 任意² 任涛¹
李小坤¹ 鲁剑巍^{1†}

(1 华中农业大学资源与环境学院, 农业部长江中下游耕地保育重点实验室, 武汉 430070)

(2 农业部全国农业技术推广服务中心, 北京 100125)

摘要 为了掌握长江中游油菜种植区土壤养分状况, 在湖北、湖南、江西三个省份调查和取样分析 5 463 份土壤数据的 6 个指标 (土壤有机质、全氮、有效磷、速效钾、有效硼和 pH), 基于 ArcGIS 平台, 采用 Kriging 插值法分析 4 个不同油菜种植区域 (二熟制山地区、二熟制平原区、三熟制山地区、三熟制平原区) 的土壤养分状况。结果表明, 长江中游油菜种植区土壤有机质、全氮和有效磷均处于适宜/丰富的含量水平, 基本没有 5 级和 6 级水平的有机质、全氮、有效磷分布。从不同区域来看, 以上 3 个养分指标总体均表现为三熟制地区养分含量高于二熟制地区。长江中游仍有 $1.82 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 区域土壤速效钾处于缺乏的水平 ($30 \sim 50 \text{ mg kg}^{-1}$)。土壤有效硼含量仍有待提高, 尤其是在三熟制地区, 土壤有效硼缺乏 (5 级和 6 级) 的比例仍高达 13.6% ~ 20.4%。土壤 pH 多集中在 6.0 左右, 但是三熟制地区仍然有较高比例 (约 35.7%) 的土壤 pH 处于 4.5 ~ 5.5。综上所述, 长江中游不同种植区域土壤养分性状存在差异, 尤其是三熟制地区仍有相当比例需要提高土壤有效硼和改良酸性土壤。

关键词 油菜; GIS; 土壤; 钾缺乏; 硼缺乏

中图分类号 S147.5 **文献标识码** A

油菜是世界性的主要油料作物之一, 也是目前仅次于大豆、全球排名第二的食用植物油来源和饲用蛋白源, 同时正在成为重要的生物能源作物^[1]。我国是国际上最大的油菜生产国之一, 年均播种面积和总产均占世界的 20% 以上^[2]。冬油菜区是我国油菜的主产区, 占全国总种植面积的 90% 以上, 其中长江流域各省占全国油菜总面积的 80% 以上。长江中游是我国冬油菜主要种植区, 近十年油菜种植面积约 $2.56 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 占长江流域冬油菜种植面积的 44.7%, 占全国冬油菜种植面积的 36.7%^[2]。该区域油菜种植以一年两季或一年三

季的轮作为主, 如稻—油和稻—稻—油轮作^[3]。由于该区集约化的种植方式, 导致土壤养分消耗大、恢复期短, 因此氮、磷、钾和硼肥的施用在该区域较为普遍^[4]。土壤中的营养元素是作物生长发育所必需的物质基础, 养分含量的高低会直接影响作物的生长发育^[5]。农业生产中常以耕层土壤养分含量作为衡量土壤肥力的主要依据。邹娟等^[6]通过对长江流域十省油菜主产区的 272 个土壤样品分析发现, 与 20 世纪 60 年代相比, 近期油菜主产区耕地土壤有机质、全氮、碱解氮、速效磷及有效硼含量大幅度上升; 土壤有机质、速效磷及有效

* 农业部耕地质量保护专项 (2013135)、国家油菜产业技术体系建设专项 (CARS-13) 和中央高校基本科研业务费专项 (2662015PY135) 资助 Supported by MOA Special Fund of Protection of Cultivated Land Quality (No. 2013135), the Earmarked Fund for China Agriculture Research System (No. CARS-13) and the Fundamental Research Funds for the Central Universities (No. 2662015PY135)

† 通讯作者 Corresponding author, E-mail: lunm@mail.hzau.edu.cn

作者简介: 丛日环 (1982—), 女, 辽宁丹东人, 博士, 讲师, 主要从事土壤肥力培育与养分平衡管理方面研究。E-mail: congrih@mail.hzau.edu.cn

收稿日期: 2016-02-17; 收到修改稿日期: 2016-04-30; 优先数字出版日期 (www.cnki.net): 2016-05-19

硼含量较20世纪80年代也略有增加。但由于土壤养分临界值水平的提高,近期土壤有效氮、磷、钾、硼的缺乏范围存在扩大趋势。随着地统计方法的不断发展^[7-8],借助地理信息系统(GIS)平台分析土壤养分空间分布特征对于农田土壤养分的平衡管理与科学施肥具有十分重要的意义^[9]。本研究运用地统计学结合GIS技术分析不同轮作制度、不同地区的土壤养分及土壤pH现状,以期为建立区域油菜科学施肥制度、促进和保持高产高效及生态环境安全,实现可持续发展提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

本研究选取2013—2014年在长江中游湖北省(108°21'~116°07'E, 29°05'~33°20'N)、湖南

省(108°47'~114°15'E, 24°38'~30°08'N)、江西省(113°34'~118°28'E, 24°29'~30°04'N)进行的调查及田间取样数据库。由于不同熟制及地形条件下冬油菜的生长发育特点差异较大,因此本研究根据该区域的熟制特点、地貌类型,土壤类型等将长江中游划分为四个种植区域(图1),分别为二熟制平原区(Plain area with double cropping system, P II)、二熟制山地区(Mountain area with double cropping system, M II)、三熟制平原区(Plain area with triple cropping system, P III)和三熟制山地区(Mountain area with triple cropping system, M III)。二熟区中地形以山地为主,平原所占比例较小,仅为湖北省部分地区;三熟制平原区以湖北省江汉平原区、湖南省洞庭湖区以及江西省赣江流域和鄱阳湖区域,其余均为山区。

不同区域气候特征如表1所示,年平均气温

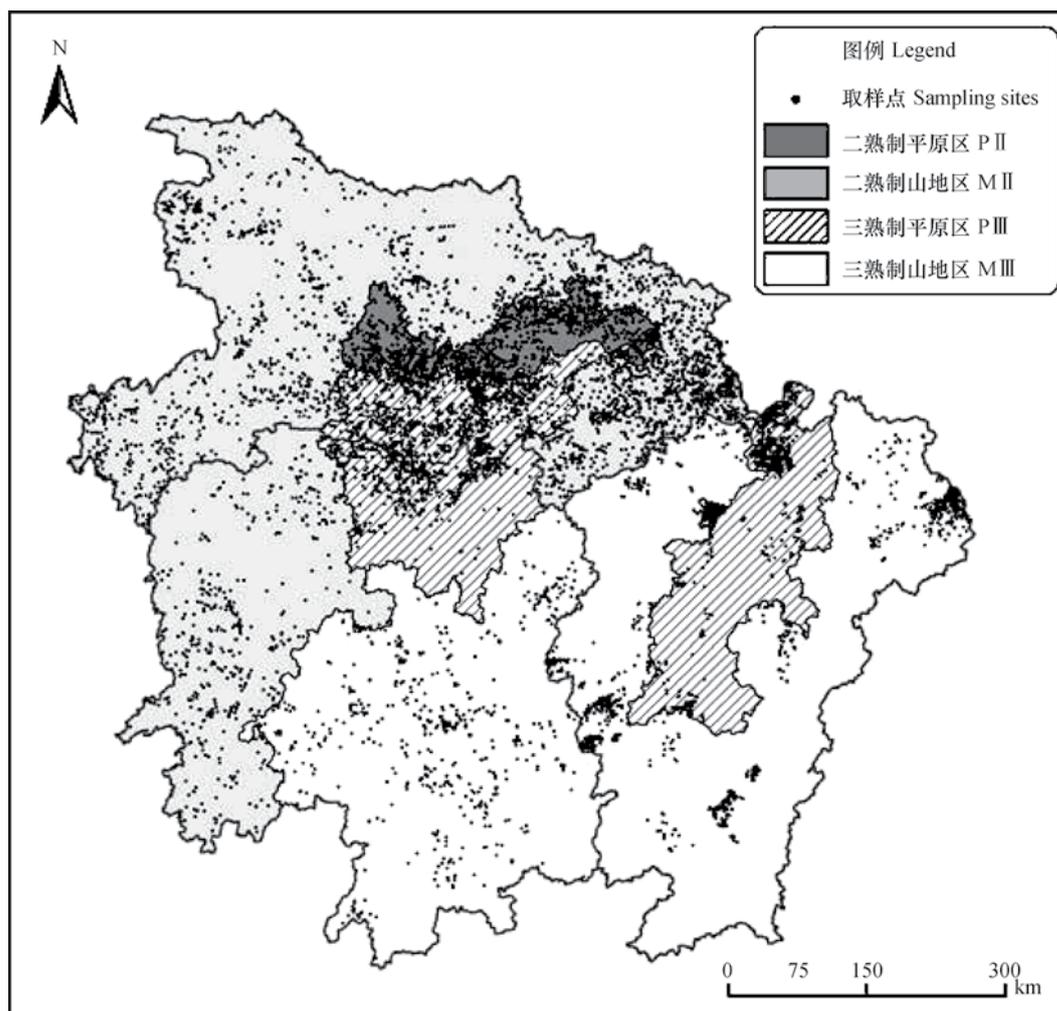


图1 长江中游土壤样品取样点及区域划分

Fig. 1 Soil sampling sites in and zoning of the middle reaches of the Yangtze River Valley

表1 长江中游不同区域气象参数

Table 1 Regional climatic parameters in the middle reaches of the Yangtze River Valley

区域 Area	年平均气温 Annual mean temperature ($^{\circ}\text{C}$)	油菜生育期降水量 Precipitation during the rapeseed growing period (mm)	>0 $^{\circ}\text{C}$ 积温 Cumulative temperature >0 $^{\circ}\text{C}$ ($^{\circ}\text{C}$)	>10 $^{\circ}\text{C}$ 积温 Cumulative temperature >10 $^{\circ}\text{C}$ ($^{\circ}\text{C}$)	年日照时数 Annual sunshine hours (h)
二熟制平原区 P II	16.1	719	6 173	4 791	1 944
二熟制山地区 M II	15.1	790	6 011	4 887	1 575
三熟制平原区 P III	17.0	648	6 480	5 176	1 771
三熟制山地区 M III	17.2	773	6 485	5 524	1 600

以二熟制山地区最低，三熟制山地区最高；油菜生育期降水量变幅为648~790 mm，其中以二熟制山地区最低，三熟制山地区最高；>0 $^{\circ}\text{C}$ 积温是油菜生长的重要指标，长江中游>0 $^{\circ}\text{C}$ 积温集中在6 011~6 485 $^{\circ}\text{C}$ ，其中二熟制山地区最低，三熟制山地区最高；>10 $^{\circ}\text{C}$ 积温变幅为4 791~5 524 $^{\circ}\text{C}$ ，其中二熟制平原区最低，三熟制山地区最高；全年日照时数变幅为1 575~1 944 h，其中二熟制山地区最低，二熟制平原区最高。

1.2 土壤属性测定与分级标准

本研究选取从数据库中获得的有效取样点

5 463个（其中二熟制平原区372个，二熟制山地区1 702个，三熟制平原区1 829个，三熟制山地区1 560个）。土壤采集0~20 cm的耕层土壤，测定方法均采用常规分析方法测定^[10]，即土壤有机质采用外加热重铬酸钾容量法；全氮采用半微量开氏法；有效磷采用0.5 mol L⁻¹ NaHCO₃浸提—钼锑抗比色法；速效钾采用1.0 mol L⁻¹ NH₄OAc浸提—火焰光度法；有效硼采用姜黄素比色法；pH采用电位法（水土比2.5:1）。参照全国第二次土壤普查时^[11]湖北、湖南和江西三省各指标的分级标准划分为6个等级，如表2所示。

表2 土壤养分及pH分级标准

Table 2 Standards for grading of farmlands by soil nutrients and pH

分级标准 Standard for grading	有机质 SOM (g kg ⁻¹)	全氮 TN (g kg ⁻¹)	有效磷 Available P (mg kg ⁻¹)	速效钾 Available K (mg kg ⁻¹)	有效硼 Available B (mg kg ⁻¹)	pH
1级Level 1	> 40	> 2	> 40	> 200	> 2	> 8.5
2级Level 2	30~40	1.5~2	20~40	150~200	1~2	7.5~8.5
3级Level 3	20~30	1~1.5	10~20	100~150	0.5~1	6.5~7.5
4级Level 4	10~20	0.75~1	5~10	50~100	0.25~0.5	5.5~6.5
5级Level 5	6~10	0.5~0.75	3~5	30~50	0.1~0.25	4.5~5.5
6级Level 6	< 6	< 0.5	< 3	< 30	< 0.1	< 4.5

1.3 土壤属性等级图的制作

以评价单元作为土壤属性承载的基本单位，通过叠加湖北、湖南和江西三省的土壤图和土地利用现状图形成图斑，遵循因素差异性、相似性、边界完整性的原则，在ArcGIS平台上进行制作以及前处理，最终得到长江中游三省共84 599个评价

单元（其中二熟制平原区2 624个，二熟制山地区62 166个，三熟制平原区7 494个，三熟制山地区12 315个），校正后总耕地面积为 1.22×10^7 hm²。土壤属性采用空间Kriging插值法转化成栅格图，通过区域统计工具将栅格属性赋值到评价单元，按等级划分得到土壤属性空间分布图件。

2 结果与讨论

2.1 长江中游不同油菜种植区土壤养分及pH空间变异

如表3所示, 土壤有机质与全氮含量表现为同一种地形中三熟制地区明显高于二熟制地区。三熟制山地区有机质和全氮含量最高, 均值分别达 28.8 g kg^{-1} 和 1.60 g kg^{-1} ; 二熟制平原区有机质和全氮含量最低, 均值分别为 23.2 g kg^{-1} 和 1.33 g kg^{-1} 。这主要与种植制度有关, 三熟制地区由于复种指数高, 根茬还田量明显高于二熟制地区, 有利于

提升土壤有机质含量水平^[12]。土壤有效磷含量同样表现为三熟制山地区 (16.2 mg kg^{-1}) 明显高于其他区域 ($14.1 \sim 14.7 \text{ mg kg}^{-1}$)。四个区域土壤速效钾含量总体差异较小, 均值范围为 $93.6 \sim 95.8 \text{ mg kg}^{-1}$ 。同样的, 各区域土壤有效硼含量差异较小, 平均为 $0.42 \sim 0.47 \text{ mg kg}^{-1}$ 。对于土壤pH而言, 则以三熟制平原区 (6.5) 高于其他三个区域 ($6.0 \sim 6.2$)。参照全国第二次土壤普查的分级标准可知, 土壤有机质、全氮和有效磷含量水平较高, 均值在2级和3级水平; 而土壤速效钾和有效硼含量仍然较低, 处于4级水平。

表3 长江中游油菜种植区土壤养分及pH均值

Table 3 Mean values of soil nutrients and pH in different rapeseed planting areas in the middle reaches of the Yangtze River Valley

区域 Area	有机质 SOM (g kg^{-1})	全氮 TN (g kg^{-1})	有效磷 Available P (mg kg^{-1})	速效钾 Available K (mg kg^{-1})	有效硼 Available B (mg kg^{-1})	pH
二熟制平原区P II ($n=372$)	23.2 ± 7.9	1.33 ± 0.47	14.1 ± 9.5	95.3 ± 49.3	0.44 ± 0.34	6.2 ± 1.0
二熟制山地区M II ($n=1\ 702$)	25.6 ± 8.0	1.44 ± 0.49	14.6 ± 10.1	93.6 ± 52.5	0.44 ± 0.47	6.0 ± 1.0
三熟制平原区P III ($n=1\ 829$)	24.6 ± 8.0	1.42 ± 0.48	14.7 ± 9.9	94.7 ± 47.8	0.42 ± 0.44	6.5 ± 1.1
三熟制山地区M III ($n=1\ 560$)	28.8 ± 9.7	1.60 ± 0.56	16.2 ± 10.8	95.8 ± 53.1	0.47 ± 0.55	6.1 ± 1.0

注: 数据为均值 \pm 标准差 Note: The data are mean \pm SD

2.2 长江中游油菜种植区土壤有机质等级

如图2所示, 长江中游油菜种植区土壤有机质等级分布主要为2级~4级水平, 即 $10 \sim 40 \text{ g kg}^{-1}$, 共占总耕地面积的99.7%, 其中3级 ($20 \sim 30 \text{ g kg}^{-1}$) 面积所占比例最高, 为70.2%, 对应的耕地面积为 $8.61 \times 10^6 \text{ hm}^2$; 土壤有机质大于 40 g kg^{-1} 的1级水平共 $4.10 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 占全区耕地面积的0.3%; 无5级和6级 (即 $< 10 \text{ g kg}^{-1}$) 土壤有机质。从土壤有机质的空间分布可以看出, 不同省份以江西省较高, 湖南省中等, 湖北省较低。由于江西省土壤类型以红壤为主, 其有机质含量普遍较低^[13], 结合本研究结果可说明, 除土壤类型、成土过程、气候等自然因素外, 土地利用类型、轮作模式等人为因素对土壤有机质的影响可能更大^[14]。

不同区域土壤有机质等级分布状况如图2所示。1级土壤有机质只分布在三熟制山地区, 2级土壤有机质主要分布在三熟制山地区, 3级和4级土壤有机质均主要分布在二熟制山地区。不同区域内土壤有机质等级主要分布均为3级, 二熟制平原区和

山地区其次均为4级, 而三熟制平原区和山地区其次均为2级。进一步说明了三熟制轮作制度下, 作物根茬、落叶等还田物较多, 秸秆还田普及性高, 作物施肥密集等因素导致土壤有机质水平较高。

2.3 长江中游油菜种植区土壤全氮等级

土壤全氮与有机质呈正相关关系, 如图3所示, 土壤全氮空间分布特征与有机质较为相似, 反映了土壤氮素的总储量和供氮能力。其等级分布主要为2级 ($1.5 \sim 2.0 \text{ g kg}^{-1}$) 和3级 ($1.0 \sim 1.5 \text{ g kg}^{-1}$), 共 $1.11 \times 10^7 \text{ hm}^2$, 占总耕地面积的90.2%, 其中2级和3级分别占43.1%和47.2%; 1级 ($> 2.0 \text{ g kg}^{-1}$) 土壤全氮有 $8.48 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 所占比例为6.9%; 4级 ($0.75 \sim 1.0 \text{ g kg}^{-1}$) 水平共 $3.27 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 占总耕地面积的2.7%; 5级和6级 (即 $< 0.75 \text{ g kg}^{-1}$) 所占比例最低, 共 $2.2 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。

从不同区域土壤全氮等级分布来看, 1级和2级土壤全氮主要分布均在三熟制山地区, 3级和4级土壤全氮主要分布均在二熟制山地区, 5级和6级土壤全氮主要分布均在三熟制平原区。不同区域内土壤

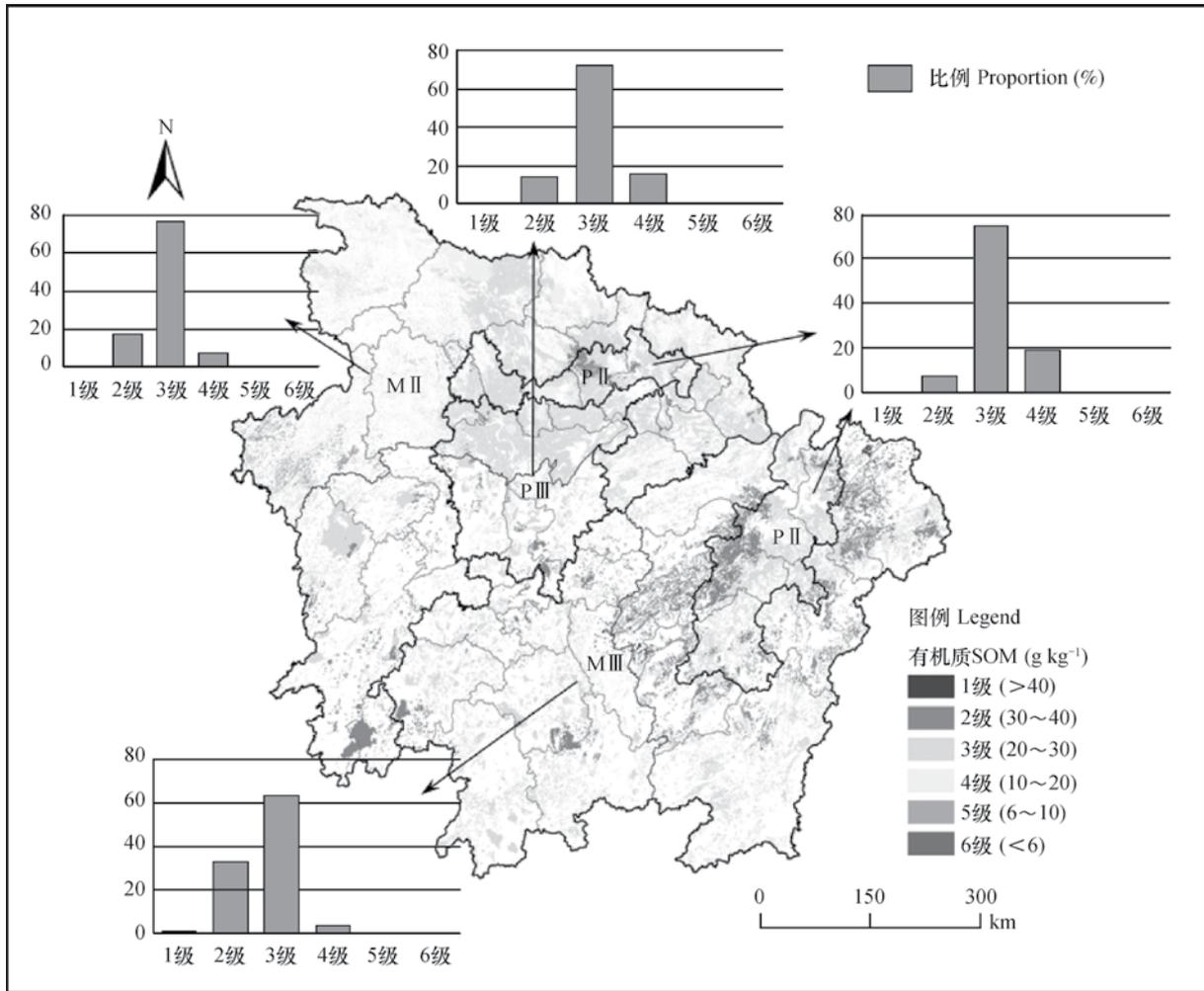


图2 土壤有机质空间分布及不同区域等级比例

Fig. 2 Spatial distribution of SOM and proportions of areas different in SOM grade

全氮等级分布表现为，二熟制平原区和山地区分布最广的均为3级，而三熟制平原区和山地区分布最多的均为2级，表明三熟制地区土壤全氮高于二熟制地区，且同一熟制条件下山地区土壤全氮高于平原区，原因可能是三熟制中作物氮肥施用量高，而山地区氮肥利用率往往低于平原区^[15]，均会造成土壤氮素有所盈余。

2.4 长江中游油菜种植区土壤有效磷等级

长江中游油菜种植区土壤有效磷水平主要为2级~4级（即5~40 mg kg⁻¹），共1.22 × 10⁷ hm²，占总耕地面积的99.9%；主要集中在10~20 mg kg⁻¹，即3级水平所占比例最高（70.2%），面积为8.6 × 10⁶ hm²；其次分别为2级（20~40 mg kg⁻¹）和4级（5~10 mg kg⁻¹）水平，所占耕地面积比例分别为17.5%和12.3%；另有9.0 × 10³ hm²的1级（>40 mg kg⁻¹）有效磷和3.0 × 10³ hm²的5级

（3~5 mg kg⁻¹）有效磷，无6级有效磷（图4）。从土壤有效磷的空间分布大致可以看出，江西省较高，湖北省较低，这与土壤有机质的空间分布特征类似，因为有机质丰富的土壤含磷也较多^[16]；此外，磷肥用量的增加以及施磷技术的提高，均有利于土壤有效磷的调控。

不同区域土壤有效磷等级分布状况表现为：1级土壤有效磷主要分布在三熟制平原区（7.0 × 10³ hm²），2级土壤有效磷在三熟制地区所占比例（约27.5%）明显高于二熟制地区（约6.1%），3级土壤有效磷在二熟制地区比例（79.4%~83.5%）高于三熟制地区（60.6%~62.4%），不同区域的4级土壤有效磷比例差异不明显。此外，二熟制平原区还有少部分土壤有效磷低于3~5 mg kg⁻¹。土壤有效磷可被植物直接吸收利用，因土、因作物衡量施用磷肥可减少

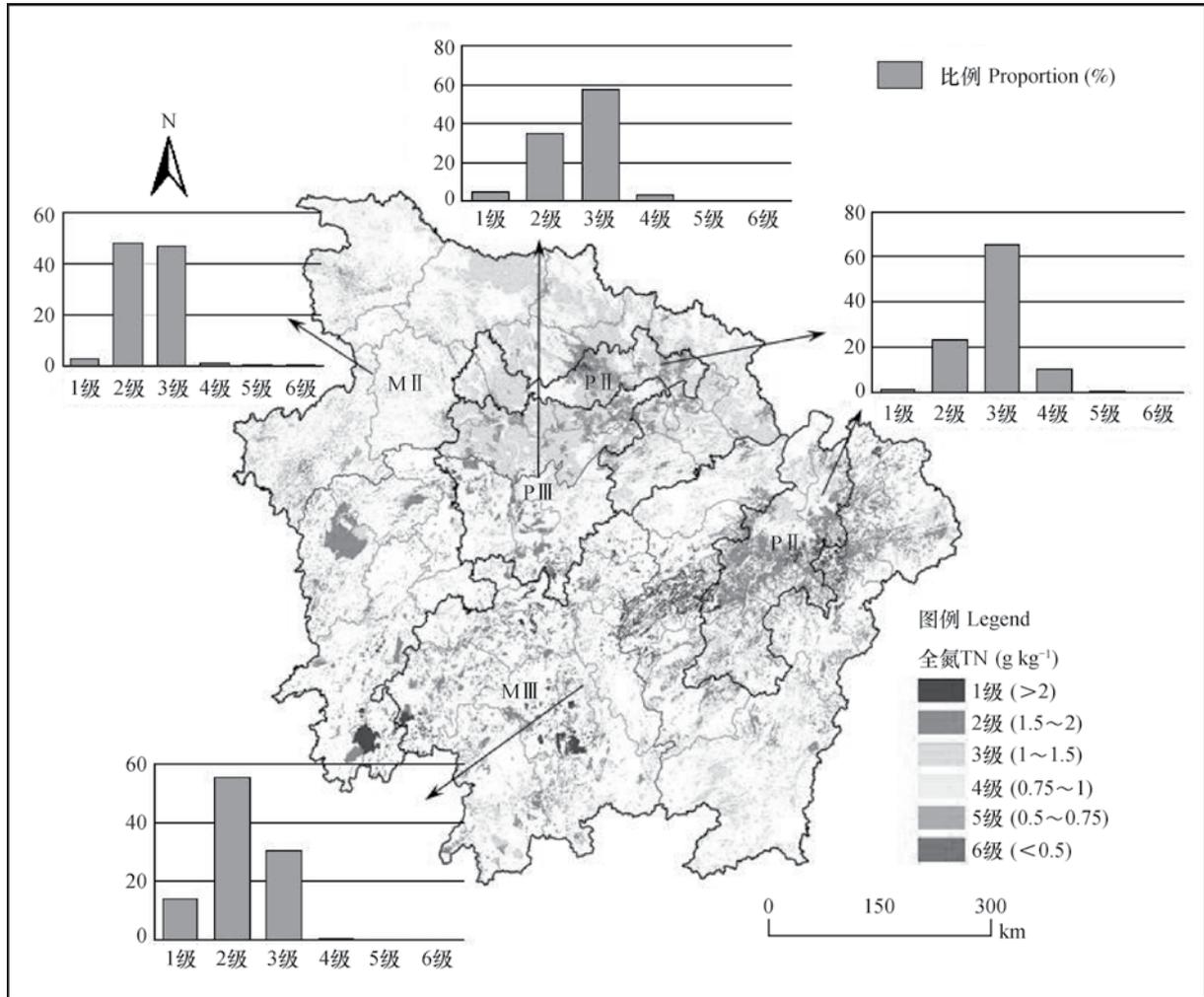


图3 土壤全氮空间分布及不同区域等级比例

Fig. 3 Spatial distribution of soil TN and proportions of areas different in TN grade

磷素残留带来的风险^[17]。

2.5 长江中游油菜种植区土壤速效钾等级

如图5所示, 长江中游土壤速效钾主要集中在3级(50~100 mg kg⁻¹)和4级(100~150 mg kg⁻¹), 共1.18 × 10⁷ hm², 其中3级和4级分别占43.2%和52.9%。; 另有3.0 × 10³ hm²的1级(>200 mg kg⁻¹)、2.91 × 10⁵ hm²的2级(150~200 mg kg⁻¹)和1.82 × 10⁵ hm²的5级(30~50 mg kg⁻¹)土壤速效钾, 无6级土壤速效钾。土壤速效钾含量总体水平较高, 进一步推广秸秆还田技术以及平衡施用钾肥, 有利于土壤钾素的维持^[18]。

油菜种植不同区域土壤速效钾等级分布状况如图5所示。1级土壤速效钾分布在二熟制山地区(2.0 × 10³ hm²)和三熟制平原区(1.0 × 10³ hm²), 2级土壤速效钾在各区域的分布均较少, 所占比例为1.1%~3.2%。3级和4级土壤速效钾所占比例较

高(37.3%~58.7%), 且在三熟制的平原区与山地区差异不明显, 而二熟制地区则以山地区速效钾3级比例(52.9%)高于平原区(39.6%), 而土壤速效钾4级比例则表现为山地区(43.1%)低于平原区(56.5%)。此外, 各区域均有少量的土壤速效钾含量处于30~50 mg kg⁻¹(0.4%~2.8%)。不同区域土壤速效钾等级分布比例差异较小, 但二熟制山地区仍有大面积土壤处于缺钾状态, 需重视钾肥的投入。

2.6 长江中游油菜种植区土壤有效硼等级

如图6所示, 长江中游1级和2级(即>1 mg kg⁻¹)土壤有效硼面积共5.01 × 10⁵ hm², 占全区耕地面积的比例仅为4.1%; 3级(0.5~1 mg kg⁻¹)土壤有效硼面积为2.92 × 10⁶ hm², 所占比例为23.9%; 分布最多的为4级水平, 有7.20 × 10⁶ hm², 占总耕地面积的58.8%; 5级和6级(即<0.25 mg kg⁻¹,

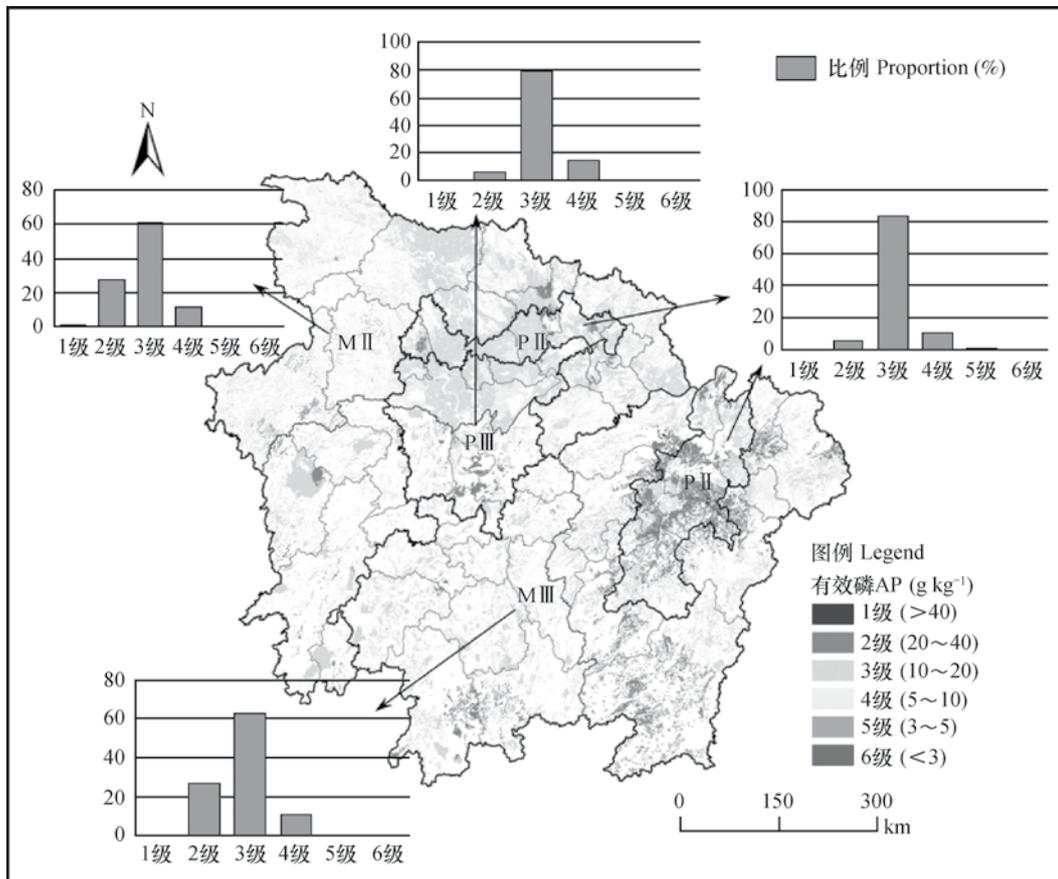


图4 土壤有效磷空间分布及不同区域等级比例

Fig. 4 Spatial distribution of soil AP and proportions of areas different in AP grade

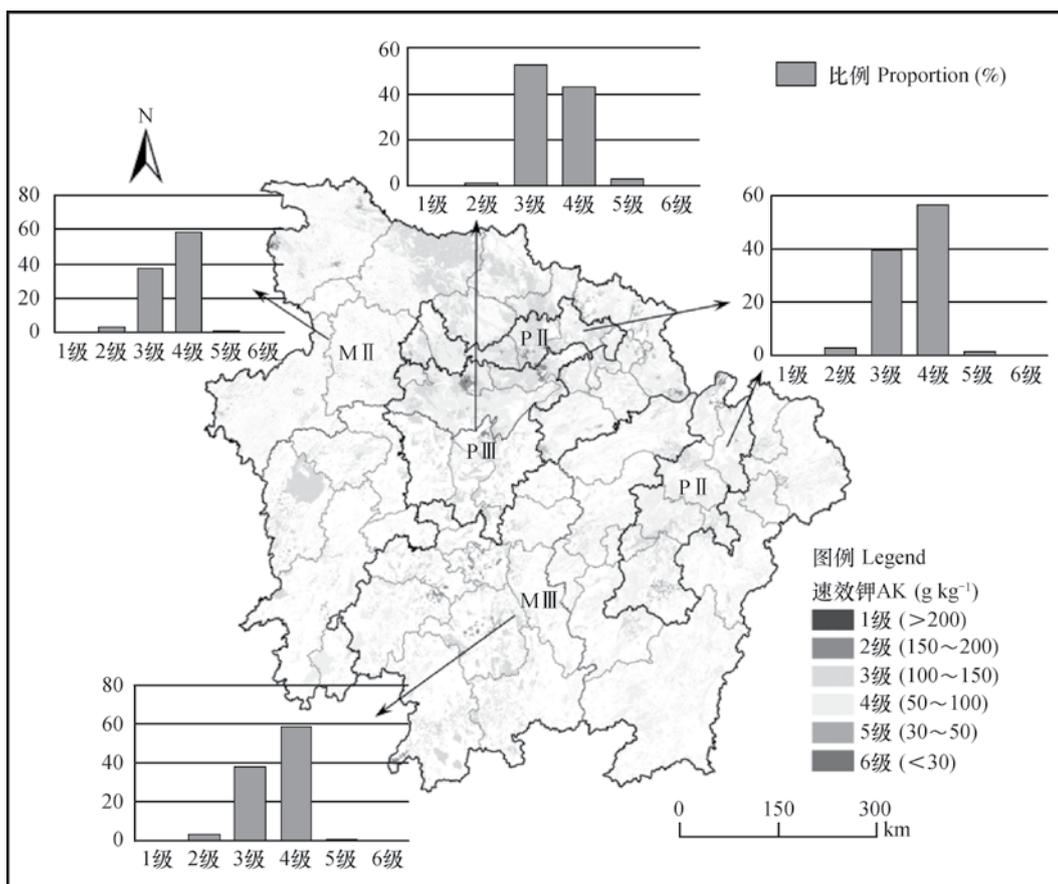


图5 土壤速效钾空间分布及不同区域等级比例

Fig. 5 Spatial distribution of soil available potassium and proportions of areas different in AK grade

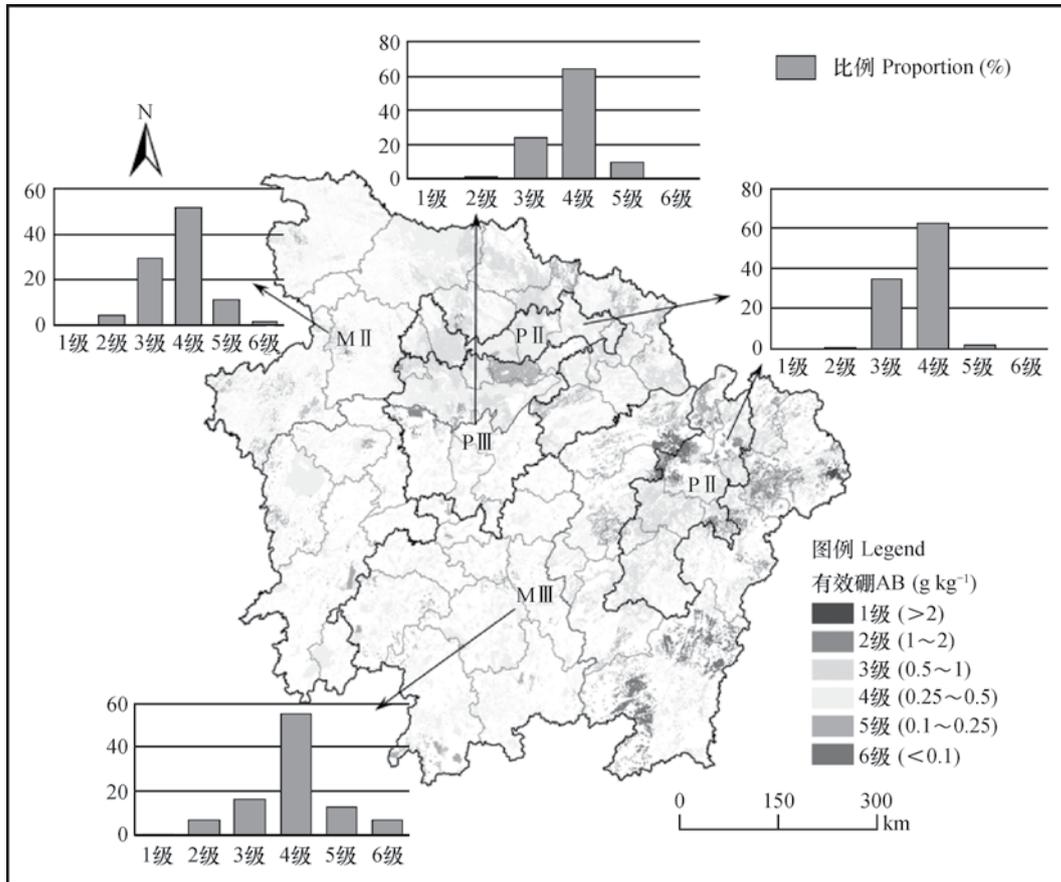


图6 土壤有效硼空间分布及不同区域等级比例

Fig. 6 Spatial distribution of soil available boron and proportions of areas different in AB grade

为缺乏^[19])土壤有效硼面积共 $1.63 \times 10^6 \text{ hm}^2$,所占比例为13.3%。油菜是需硼较多且对硼较为敏感的作物,控制硼肥用量以及选择适宜的施硼技术,可提高缺硼土壤的硼素供应能力,近年来油菜推荐硼肥用量多在 15 kg hm^{-2} 左右^[15]。

不同区域土壤有效硼等级分布较为分散,四个区域内均是以4级水平($0.25 \sim 0.5 \text{ mg kg}^{-1}$)所占比例最高,对应的耕地面积分别为 $7.49 \times 10^5 \text{ hm}^2$ (63.1%)、 $2.83 \times 10^6 \text{ hm}^2$ (64.5%)、 $1.38 \times 10^6 \text{ hm}^2$ (51.7%)和 $2.24 \times 10^3 \text{ hm}^2$ (55.9%)。三熟制地区土壤有效硼含量总体低于二熟制地区,山地区低于平原区。除二熟制平原区外,土壤有效硼含量低于 0.25 mg kg^{-1} 在其他三个区域均分布有较高比例,尤其是三熟制山地区,土壤有效硼含量缺乏最为严重。

2.7 长江中游油菜种植区土壤pH等级

如图7所示,长江中游土壤pH无1级(>8.5)和6级(<4.5)水平,即pH均集中在4.5~8.5之间,分布最多的为4级水平(微酸性土壤),共

$5.93 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 占总耕地面积的48.4%;其次为5级(酸性)和3级(中性)水平,面积分别为 $3.02 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 和 $2.58 \times 10^6 \text{ hm}^2$,所占比例为24.9%和21.1%;另有 $7.25 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 的2级土壤pH(5.9%)。从土壤pH的空间分布特征可知,江西省红壤pH最低,湖北省江汉平原区水稻土pH最高。

根据长江中游不同区域土壤pH等级分布状况如图可知,2级土壤pH(7.5~8.5)主要分布在平原区,3级和4级主要分布在二熟制山地区,5级主要分布在三熟制山地区。不同区域内,二熟制平原区、二熟制山地区和三熟制山地区均以4级水平土壤pH(5.5~6.5)面积最多,分别有 $7.09 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 、 $2.44 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 和 $2.28 \times 10^6 \text{ hm}^2$,占各区耕地面积比例分别为59.8%、55.5%和57.0%;而三熟制平原区以5级土壤pH(4.5~5.5)分布最多,面积为 $9.41 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 。三熟制地区土壤普遍偏酸性,不仅与土壤类型(红壤为主)有关,而且与该区作物密集种植时氮肥用量较高、作物带走的盐基离子较多有关^[20-21]。

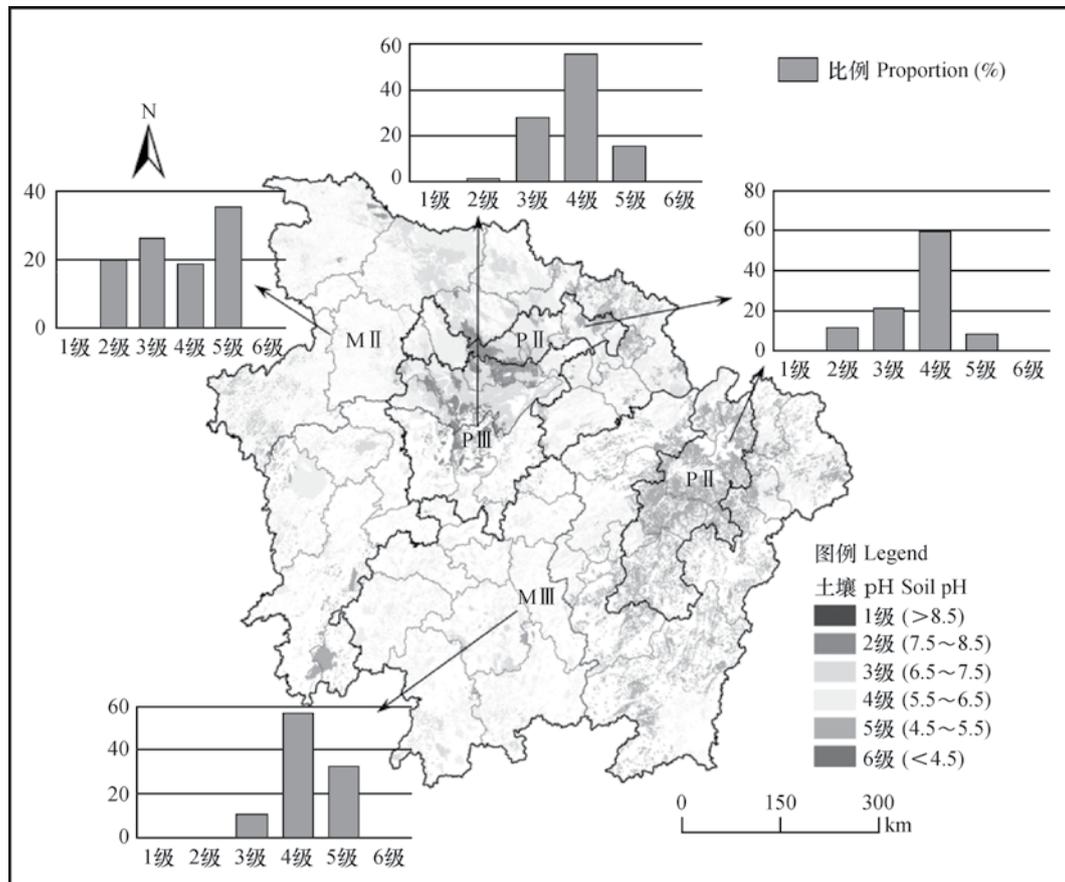


图7 土壤pH空间分布及不同区域等级比例

Fig. 7 Spatial distribution of soil pH and proportions of areas different in soil pH grade

3 结论

通过分析长江中游不同油菜种植区域5463份土壤数据,结合ArcGIS平台采用Kriging插值法得出当前油菜种植区土壤养分及pH状况。总体来看,全区基本没有5级和6级的有机质、全氮、有效磷水平分布。不同区域来看,以上指标总体均表现为三熟制地区养分含量高于二熟制地区。土壤有效硼的含量仍有待提高,尤其是在三熟制地区。此外,三熟制地区仍然有较高比例的土壤pH处于4.5~5.5。综上所述,长江中游不同种植区域土壤养分及pH性状存在差异,尤其是三熟制地区仍有相当比例需要提高土壤有效硼和改良酸性土壤。

参考文献

- [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. China's rape industry after China's accession to the WTO (In Chinese) . Chinese Journal of Oil Crop

Sciences, 2002, 24 (2) : 82—86

- [2] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴2014. 北京: 中国统计出版社, 2014
National Bureau of Statistics of China. China statistical yearbook 2014 (In Chinese) . Beijing: China Statistics Press, 2014
- [3] 廖玉芳, 宋忠华, 赵福华, 等. 气候变化对湖南主要农作物种植结构的影响. 中国农学通报, 2010, 26 (24) : 276—286
Liao Y F, Song Z H, Zhao F H, et al. Impacts of climate change on the agricultural planting structure of main crops in Hunan (In Chinese) . Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26 (24) : 276—286
- [4] 王寅, 李小坤, 李雅颖, 等. 红壤不同地力条件下直播油菜对施肥的响应. 土壤学报, 2012, 49 (1) : 121—129
Wang Y, Li X K, Li Y Y, et al. Responses of direct-seeding rapeseed to fertilization in fields of red soil different in fertility (In Chinese) . Acta Pedologica Sinica, 2012, 49 (1) : 121—129

- [5] 范明生, 江荣凤, 张福锁, 等. 水旱轮作系统作物养分管理策略. *应用生态学报*, 2008, 19 (2): 424—432
Fang M S, Jiang R F, Zhang F S, et al. Nutrient management strategy of paddy rice-upland crop rotation system (In Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19 (2): 424—432
- [6] 邹娟, 鲁剑巍, 陈防, 等. 我国冬油菜区土壤肥力变化及施肥效果演变. *中国油料作物学报*, 2011, 33 (3): 275—279
Zou J, Lu J W, Chen F, et al. Variation of soil fertility and evolution of fertilizer efficiency in winter rapeseed region of China (In Chinese). *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2011, 33 (3): 275—279
- [7] 段金龙, 赵斐斐, 张学雷. 土壤空间分布多样性研究中网格尺寸的选取策略. *土壤*, 2014, 46 (5): 961—966
Duan J L, Zhao F F, Zhang X L. Selection strategy of grid size in soil spatial distribution diversity researches (In Chinese). *Soils*, 2014, 46 (5): 961—966
- [8] 龙军, 张黎明, 沈金泉, 等. 复杂地貌类型区耕地土壤有机质空间插值方法研究. *土壤学报*, 2014, 51 (6): 1270—1281
Long J, Zhang L M, Shen J Q, et al. Spatial interpolation of soil organic matter in farmlands in areas complex in landform (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2014, 51 (6): 1270—1281
- [9] 李小刚, 马友华, 王强, 等. 县域耕地土壤养分的时空变化及区域施肥研究——以肥东县为例. *土壤*, 2014, 46 (6): 976—983
Li X G, Ma Y H, Wang Q, et al. Spatiotemporal variations of soil nutrients and regional fertilization on county land-A case study of Feidong County (In Chinese). *Soils*, 2014, 46 (6): 976—983
- [10] 鲍士旦. *土壤农化分析*. 北京: 中国农业出版社, 2000.
Bao S D. *Soil and agricultural chemical analysis* (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 2000
- [11] 全国土壤普查办公室. *中国土壤*. 北京: 中国农业出版社, 1998
National Soil Survey Office. *Chinese soil* (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 1998
- [12] 王胜佳, 陈义, 李实焯. 多熟制稻田土壤有机质平衡的定位研究. *土壤学报*, 2002, 39 (1): 9—15
Wang S J, Chen Y, Li S Y. Balance of soil organic matter in a long-term triple cropping system in paddy fields (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2002, 39 (1): 9—15
- [13] 邓铁金, 樊友安, 周任发. 红壤性水稻土的形成过程特点及其肥力演变. *土壤学报*, 1985, 22 (1): 1—12
Deng T J, Fan Y A, Zhou R F. Characters of paddy soil derived from red earth in forming process and its fertility evolution (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 1985, 22 (1): 1—12
- [14] 赵明松, 张甘霖, 王德彩, 等. 徐淮黄泛平原土壤有机质空间变异特征及主控因素分析. *土壤学报*, 2013, 50 (1): 1—11
Zhao M S, Zhang G L, Wang D C, et al. Spatial variability of soil organic matter and its dominating factors in Xu-Huai Alluvial Plain (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2013, 50 (1): 1—11
- [15] 张智, 王伟妮, 李昆, 等. 四川省不同区域水稻氮肥施用效果研究. *土壤学报*, 2015, 52 (1): 217—223
Zhang Z, Wang W N, Li K, et al. Effects of nitrogen fertilization on rice in different regions of Sichuan province (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2015, 52 (1): 217—223
- [16] 王艳玲, 章永辉, 何园球. 红壤基质组分对磷吸持指数的影响. *土壤学报*, 2012, 49 (3): 552—559
Wang Y L, Zhang Y H, He Y Q. Effect of soil matrix components on phosphate sorption index in red soil (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2012, 49 (3): 552—559
- [17] 李东坡, 武志杰. 化学肥料的土壤生态环境效应. *应用生态学报*, 2008, 19 (5): 1158—1165
Li D P, Wu Z J. Impact of chemical fertilizers application on soil ecological environment (In Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19 (5): 1158—1165
- [18] Li J F, Lu J W, Li X K, et al. Dynamics of potassium release and adsorption on rice straw residue. *PLoS ONE*, 2014, 9 (2): e90440
- [19] 邹娟. 冬油菜施肥效果及土壤养分丰缺指标研究. 武汉: 华中农业大学, 2010
Zou J. Study on response of winter rapeseed to NPKB fertilization and abundance & deficiency indices of soil nutrients (In Chinese). Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2010
- [20] 孟红旗, 刘景, 徐明岗, 等. 长期施肥下我国典型农田耕层土壤的pH演变. *土壤学报*, 2013, 50 (6): 1109—1116
Meng H Q, Liu J, Xu M G, et al. Evolution of pH in topsoils of typical Chinese croplands under long-term fertilization (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2013, 50 (6): 1109—1116
- [21] Guo J H, Liu X J, Zhang Y, et al. Significant acidification in major Chinese croplands. *Science*, 2010, 327 (5968): 1008—1010

Soil Nutrients and pH in Rapeseed Planting Areas in the Middle Reaches of the Yangtze River Based on GIS

CONG Rihuan¹ ZHANG Zhi¹ ZHENG Lei² MIAO Jie¹ REN Yi² REN Tao¹ LI Xiaokun¹
LU Jianwei^{1†}

(1 College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Key Laboratory of Arable Land Conservation (Middle and Lower Reaches of Yangtze River), Ministry of Agriculture, Wuhan 430070, China)

(2 National Agricultural Technology Extension and Service Center, Ministry of Agriculture, Beijing 100125, China)

Abstract 【Objective】 Rapeseed is one of the most important oil crops in China, and the Yangtze River Valley is a major oilseed rape production region of the country, accounting for over 20% of the world's mean of annual rapeseed planting area and total rapeseed yield. Farmers in the Yangtze River Valley plant two or three crops a year to form a rotation system. Rapeseed is planted in winter in rotation with rice, cotton or soybeans. As a result of such an intensive cropping system, the farmlands are quickly deprived of soil nutrients and do not have enough time to get recovered in soil fertility. Besides, farmers apply nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K) and boron (B) fertilizers randomly without taking into account the demands of the crops for nutrients. Consequently, the farmlands vary sharply in soil fertility or soil nutrient content from area to area. In this paper an attempt has been made to explore characteristics of the spatial distribution of soil nutrients and pH as affected by crop rotation system and area in the middle reaches of the Yangtze River Valley with the aid of geostatistics and GIS technology, so as to provide some technical support to the efforts of establishing a region-scaled scientific fertilization system for the crop of rapeseed aiming at high yield, high efficiency and eco-environment safety, and realizing sustainable development of the agriculture in the region. 【Method】 Based on the database of the soil survey and sampling carried out in Hubei, Hunan and Jiangxi provinces during the period of 2013–2014, a total of 5463 soil samples collected from these provinces were analyzed for six soil indices, such as soil organic matter (SOM), total N (TN), available P (AP), available K (AK), available B (AB), and soil pH. With the aid of the GIS platform and Kriging method, the farmlands in these provinces were evaluated and sorted into six grades by referring to the standards for grading of the six indices set for the Second National Soil Survey. In the light of complicate topography and high diversity of soil types, the region was divided into four cropping zones, i.e., plain area with double cropping system (P II), mountain area with double cropping system (M II), plain area with triple cropping system (P III), and mountain area with triple cropping system (M III). 【Result】 Results show that SOM, TN, and AP contents were obviously higher in the areas with triple cropping system than in those with double cropping system, which is attributed to the higher multiple cropping index of the former and resultant higher root residue in the field, increasing SOM. Especially in M III, SOM, TN and AP reached as high as 28.8 g kg⁻¹, 1.60 g kg⁻¹ and 16.2 mg kg⁻¹, respectively. In terms of SOM, 63.3% ~ 76.1% of the farmlands were sorted into Grade III; in terms of soil TN, about 90.2% or 11 061 000 hm² were in Grade II (1.5 ~ 2.0 g kg⁻¹) and III (1.0 ~ 1.5 g kg⁻¹); in terms of soil AP, 70.2% or up to 8 601 000 hm² of the farmlands were in Grade III (10 ~ 20 mg kg⁻¹), and 17.5% and 12.3%, in Grade II and Grade IV, respectively. Soil AK did not vary much between zones, ranging from 93.6 to 95.8 mg kg⁻¹. However, the region still had 182 000 hm² of farmlands deficient in K (< 50 mg kg⁻¹). Soil AB did not either, ranging from 0.42 to 0.47 mg kg⁻¹. It is quite clear that measures should be taken to raise soil AB content in the

region, especially in the areas with triple cropping system, where about 13.6% ~ 20.4% of the farmlands were in Grades V and VI. According to the standard for grading in the Second National Soil Survey, the region was quite high and could be sorted into Grades II and III in SOM, TN, and AP, but quite low and in Grade IV in soil AK and AB. Most of the farmlands in the region were around 6.0 in soil pH, but in areas with triple cropping system, a relatively high proportion or about 35.7% of the farmlands varied in the range of 4.5 ~ 5.5 in soil pH. **【Conclusion】** To sum up, in the middle reaches of the Yangtze River Valley, soil nutrient status varies from area to area. Especially in the areas with triple cropping system, quite a large proportion of farmlands need to be raised in soil boron content and ameliorated in soil acidity.

Key words Oil rapeseed; GIS; Soil; Potassium deficiency; Boron deficiency

(责任编辑: 陈德明)