植物营养与肥料学报 2015,21(4): 1066 - 1074 doi: 10.11674/zwyf.2015.0427
Journal of Plant Nutrition and Fertilizer http: //www.plantnutrifert.org

分散经营条件下烤烟精准养分管理研究

张云贵[1], 刘青丽[1], 李志宏[1*], 王树会[2], 尚海丽[3], 夏 昊[1]
(1 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081;
2 云南省烟草农业科学研究院, 昆明 650000; 3 云南云叶化肥股份有限公司, 昆明 650000)

摘要:【目的】西南烤烟种植区的典型特征是"缓坡条件"和"分散经营",基于自然地块的变量施肥技术体系,研究分散经营条件下烤烟养分分区管理,以探讨分散经营条件下作物精准施肥的经济效益和应用可行性。**【方法】**分散经营土壤养分管理分区的基本步骤:计算土壤养分插值,以地块为单元统计土壤养分,依据施肥模型针对地块进行肥料养分推荐、聚类分析地块肥料养分,形成针对地块的养分管理分区。在云南宜良县,以 50 × 50 m 的网格进行土壤取样,应用地统计方法进行土壤养分空间变异分析、Kriging 方法进行空间插值、空间叠加分析方法统计地块养分、聚类分析方法建立养分管理分区,大田试验检验养分分区管理方法的应用效果。**【结果】**研究结果表明,试验地块为中等肥力,土壤养分存在区域分布特征,适合分区养分管理。地统计分析显示,土壤养分变异主要来源于结构因素,可以进行地统计分析和空间插值,满足精准养分分区管理的要求。无机氮的有效变程最小,控制采样密度,缓坡农田和分散经营条件下精准养分管理的网格采样间距在 50 m 左右。根据空间分析结果,结合施肥指标体系,提出了 111 块烟田的推荐施肥量,并通过聚类分析的方法将 111 块农田的肥料养分推荐量分为 8 个管理区。与对照相比,烤烟精准养分分区管理可以节约氮、磷肥料分别为 10.7%、10.3%,氮、磷养分投入分别节约成本 43.2 yuan/hm^2、50.0 yuan/hm^2,因增加钾素养分投入增加成本 6.9 yuan/hm^2,累计节省肥料成本 86.3 yuan/hm^2。烤烟产量、上等烟比例、均价、产值均有增加,其中,产量增加幅度 6.7%～14.5%,平均增产 10.6%;上等烟比例增加幅度 4.2%～13.0%,平均增加 7.3%;均价增加幅度 0.13～0.54 yuan/kg,平均增加 0.48 yuan/kg;产值增加幅度 7.50～18.3%,平均增加 14.0%;与常规施肥相比,分散经营条件下烤烟精准养分管理使烤烟增产增收 5454.63 yuan/hm^2,节本增效 5140.9 yuan/hm^2。**【结论】**以地块为操作单元建立养分管理分区的方法不仅能够节省肥料,增加农田收益,还能够有利于分散经营农户组织实施,对精准施肥技术应用具有理论和实践意义。

关键词: 分散经营; 土壤养分管理分区; 精准施肥; 烤烟
中图分类号: S572; S506.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-505X(2015)04-1066-09

Research on the field-specific nutrient management of flue-cured tobacco in condition of decentralized operation

ZHANG Yun-gui[1], LIU Qing-li[1], LI Zhi-hong[1*], WANG Shu-hui[2], SHANG Hai-li[3], XIA Hao[1]
(*1 Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China;*
2 Yunnan Academy of Tobacco Agricultural Sciences, Kunming 650000, China;
3 Yunnan Yunye Fertilizer Co., Ltd, Kunming 650217, China)

Abstract:【Objectives】The study aimed to research the method of soil nutrient interpolation and management zone based on soil nutrient variability and nature operation unit, which is on condition of decentralized operations and hilly-sloppy lands for planting tobacco in southwest China. **【Methods】** Soil nutrient interpolation and management zone was established by the empirical study. On condition of diversified management, the basic steps of soil nutrient precise management and partition were put forward without the support of variable machine equipment, which included soil nutrition interpolation, soil nutrient statistics taking the separate plot as a unit, fertilizer formula

收稿日期: 2014-06-17 **接受日期:** 2014-10-24 **网络出版日期:** 2015-06-01
基金项目: 中国烟草总公司科技重点项目烟草精准施肥关键技术研究与示范(110200902062);贵州省烟草公司遵义市公司科技项目遵义市烟草精准施肥关键技术研究与示范(2011-02)资助。
作者简介: 张云贵(1967—),男,博士,副研究员,主要从事作物养分管理研究。E-mail: zhangyungui@caas.cn, Tel: 010-82106199
* 通信作者 E-mail: lizhihong01@caas.cn, Tel: 010-82106198

recommended according to the fertilizer model, and plot nutrient management based on cluster analysis of fertilizer nutrient. In Yiliang county of Yunnan Province, soil samples were collected every 50 × 50 m on farmland with typical production organization and topography. Data were analyzed by geographic statistics for spatial variability of soil nutrients and by Kriging for spatial interpolation and by spatial overlay analysis statistics for fertilization and by clustering analysis method for nutrient management zone establishment. Effect of regionalized nutrient management method was verified through the field trial. 【**Results**】The experimental field belongs to medium fertility, and soil nutrients have regional distribution characteristics and suitable for the partition of nutrient management. Soil nutrient variations are mainly from the structural factors, which can carry out statistical analysis and spatial interpolation to meet the requirements of precision nutrient management. The effective range of inorganic nitrogen is the minimum, which controls the sampling density, and the grid sampling spacing is about 50 m of precision nutrient management under the condition of slope farmland and decentralized management. According to the spatial analysis results, combined with the index system for fertilization, the fertilization rates of the 111 fields are proposed, and the fields are divided into 8 management areas through the method of clustering analysis. The application steps in gentle slope fields show that compares with the farmers' conventional fertilization, the application amounts of N and P fertilizers through the precise nutrient management could be decreased by 10.7%, 10.3%, and the fertilization costs of nitrogen, phosphorus and potassium nutrients are saved by 43.2 yuan/hm^2, 50 yuan/hm^2 and −6.9 yuan/hm^2, with the total saved cost of 86.3 yuan/hm^2. The yield, output value, average price and high class leaf proportion are increased. The yield is increased by 6.7% − 14.5% with an average increase of 10.6%, the proportion of superior leaves is increased by 4.2% to 13% with an average increase of 7.3%, the price is increased by 0.13−0.54 yuan/kg with an average increase of 0.48 yuan/kg, and the output value is increased by 7.50% −18.3%, with an average increase of 14%. The production is increased by 5454.63 yuan/hm^2, and the net benefit is increased by 5140.9 yuan/hm^2. 【**Conclusions**】The method of nutrient management zones established by the operation unit can not only save fertilizer and increase farm income, but also is conducive to the spread of farmers organization, which has theoretical and practical significance to the application of precision fertilization technology.

Key words: decentralized operation; soil nutrient management zone; precision fertilization; flue-cured tobacco

分散经营是我国种植业的主要生产组织模式,精准农业是21世纪农业科学研究与应用的热点领域[1]。分散经营、缓坡地、灵敏的氮素养分投入、满足奢侈钾吸收是我国烤烟种植的特点,分散经营导致农民缺乏对精准农业技术应用的热情[2],农户间肥料投入差异化和复杂地形条件的土壤养分变异是否具备渐变特征?开展分散经营典型地形条件下烤烟精准施肥实证研究,对精准农业技术应用具有重要意义。

前人已经进行了大量研究,姜城[3]对比研究了北京长阳农场经营和河北省邯郸市陈刘营村分散经营土壤养分变异表明,土壤养分的空间分布与农民的施肥习惯和管理水平有直接关系。黄绍文[4]研究了河北省玉田县和山东省陵县分散经营条件下的土壤养分变异和分区管理表明,北方平原分散经营农田可以进行精准养分管理。van Meirvenne[5]在法国弗兰德斯平均面积为1.7 hm^{2}的5个试验农田取样分析表明,小地块的土壤属性变异也主要来源于结构变异,能够满足精准农业的空间变异分析要求。王新中[6]在河南省郏县87 hm^{2}的烟田进行100 m ×100 m网格取样分析土壤养分的空间变异表明,土壤碱解氮的变异不具有渐变特征,其他土壤属性变异主要来源于结构性因素。以上研究的农田相对平坦,而我国烤烟种植主要在山地和丘陵,针对分散经营缓坡地烤烟的精准施肥的研究尚未见报道。

分散经营条件下,分区策略是精准施肥的技术核心。白由路等[7]应用GIS对土壤养分进行插值,基于地块统计土壤养分和施肥推荐。为了对研究区不同地块进行分类管理,聚类分析被广泛应用于管理分区的建立[8-11]。而土壤的多元素测试需要信息提取,主成分分析在管理分区中得到应用[6,12]。上述分区管理方法具有普适性,而缓坡地田埂分割导致地块间养分存在差异,针对以自然地块为管理中心,探讨土壤养分插值和建立管理分区方法的研

究尚未见报道。

在我国最大烤烟种植面积省份云南选择常年种植烤烟、分散经营、坡度为5°左右的缓坡地作为试验场,研究分散经营条件下烤烟精准施肥的应用效果检验烤烟种植典型地形和生产组织方式条件下农田土壤养分变异是否满足精准养分管理的半方差分析,试图建立基于自然地块的变量施肥技术体系,探讨分散经营条件下作物精准施肥的经济效益和应用可行性。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

云南省宜良县北古城镇车田村,面积17.8 hm^2,土壤类型为红壤,地形为缓坡地(5°),前茬作物小麦。海拔1581～1591 m,年平均气温16.3℃,年降水量912.2 mm。

1.2 土样采集和测试

2010年3月完成土壤样品采集。使用差分GIS预设50×50 m网格点导航定位(图1),以网格定位点为中心点,在3 m圆周范围内随机取10～15样点土壤,取样深度为30 cm,四分法保留1 kg鲜土作为测试土壤样。测试项目包括pH值、有机质、无机氮(NH_4^+-N + NO_3^--N)、有效磷、速效钾,测试方法参照文献[13]。

1.3 烟叶化学成分测试

烟叶中总糖、还原糖、总氮、烟碱、氯、钾含量测试方法见文献[14],糖碱比为总糖和烟碱比值,氮碱比为总氮和烟碱比值。

1.4 施肥指标体系

当地烤烟生产管理部门根据烤烟养分需求特征,结合近年肥料试验结果,确定的土壤养分对应的施肥指标体系见表1。

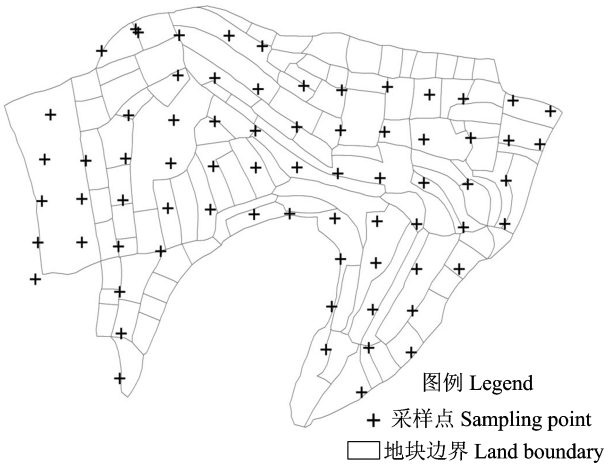

图1 试验地土壤网格样点位和地块边界图

Fig.1 Grid soil samples and cropland boundary map in the experimental field

表1 土壤养分分级及肥料用量推荐

Table 1 Classification of the soil nutrient status and fertilizer recommendation

无机氮(mg/kg) Mineral N	施氮量(kg/hm^2) N rate	有效磷(mg/kg) Avail. P	施磷量(kg/hm^2) P_2O_5 rate	速效钾(mg/kg) Avail. K	施钾量(kg/hm^2) K_2O rate
<20	120	<15	120	<80	270
22.0～22.5	112.5	15～20	105	80～90	255
22.5～25.0	105	20～25	90	90～100	240
25.0～27.5	97.5	25～30	75	100～110	225
27.5～30.0	90	≥30	60	110～120	210
30.0～32.5	82.5			≥120	195
≥32.5	75				

1.5 地统计及制图软件

使用GS + 9.0软件进行地统计分析,使用ARCGIS 9.3进行养分插值和作图。

2 结果与分析

2.1 农田管理分区概念模型

农田管理分区是精准农业的技术核心,也是研究热点之一。农田管理分区需要考虑的关键因素是作物、数据源、分区方法、分区应用方式、操作者。作物不同,养分管理的重点不同,用于分区的数据源选择也不同。烟叶品质对氮素用量反应灵敏,氮磷钾比例法被广泛用于烤烟养分管理,其中,钾素为奢侈吸收[15-17]。养分管理选择的数据源主要为土壤速效氮、有效磷、速效钾。文化素质高的农村劳动力外

出就业,指导烤烟种植者养分管理以分类指导相对合理,自然地块不宜再划分操作单元,以保证施肥处方执行到位。精准施肥的本质是解决施肥问题,施肥指标体系是长期肥料试验的总结,施肥习惯是农户常年生产经验的总结,肥料试验、农户调查和文献是建立施肥模型的依据。研究区的地块边界数字化和土壤取样点位导航可使用 DGPS 完成。土壤测试点位数据插值可采用 Kriging 方法生产网格格点数据,自然地块养分可使用网格土壤数据和自然地块边界叠加分析来实现,管理分区采用聚类分析方法完成,最终形成管理分区的基肥和追肥处方(图 2)。

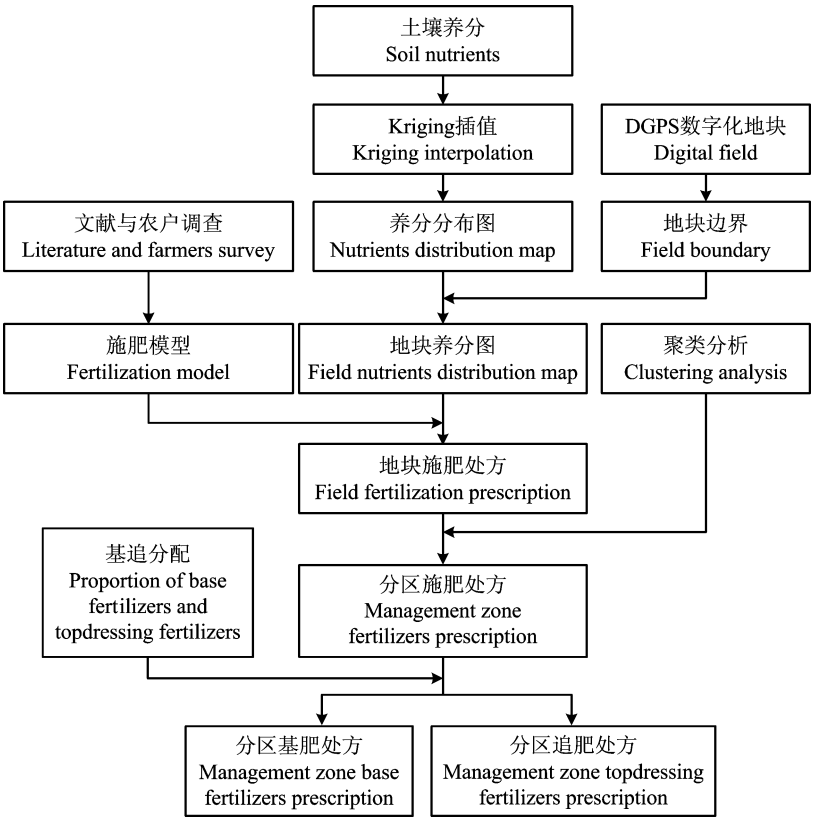

图 2　土壤养分管理概念模型

Fig. 2　The concept model of soil nutrients management

2.2　土壤养分空间分析

2.2.1 土壤养分和 pH 值的地统计分析　土壤养分和 pH 具有强度或中等强度的空间自相关,变异主要来源于结构变异,可以采用插值方法进行空间预测。土壤养分的空间自相关程度可用块金值(C0)与基台值(C0 + C)的比值大小进行评价,根据表 2,土壤 pH 值、有机质、无机氮、有效磷块金值(C0)与基台值(C0 + C)的比值分别是 2.9%、0.1%、8.7%、0.1%,C0/(C0 + C) <25%,说明变量具有强烈的空间相关性,表明其空间变异主要受结构性因素的影响,主要来源于结构性变异。速效钾的块金值(C0)与基台值(C0 + C)的比值为 46.8%,C0/(C0 + C)处于 25%～75%之间,具有中等强度的自相关性,表明除了结构性因素之外随机性因素对要素的空间变异有明显的影响。

有效变程是变量空间自相关距离的范围,在有效变程内,可以通过采样点的测试值预测未采样点的土壤养分含量,以预测值进行养分管理,从而实现养分的分区管理;采样点间距离超过有效变程时,则不能进行土壤养分值的预测;有效变程是网格采样的最大间距。根据表 2,土壤 pH、有机质、无机氮、有效磷、速效钾的有效变程分别是 205.5 m、103.6 m、56.4 m、58.2 m、159.7 m。无机氮有效变程最小,决定网格采用间距,在本试验地条件下,土壤网格采样的间距应该控制在 50 m 左右。

表2 土壤养分和pH值空间变异的理论模型和相应参数

Table 2 Theoretic parameters and models of spatial variability of soil nutrients and pH value

项目 Item	数据转换 Data transform	拟合模型 Model type	块金值 Nugget	基台值 Sill	块金效应 Nugget/Sill (%)	有效变程 Effective range (m)	决定系数 Decisive coefficient (R^2)
pH	无 None	Spherical	0.012	0.417	2.9	205.5	0.962
有机质 OM(g/kg)	无 None	Spherical	0.01	23.53	0.1	103.6	0.916
无机氮 Inorganic N(mg/kg)	无 None	Exponential	14.0	161.2	8.7	56.4	0.569
有效磷 Avail-P (mg/kg)	对数 Log	Gaussian	0.0001	0.0787	0.1	58.2	0.986
速效钾 Avail-K (mg/kg)	对数 Log	Spherical	0.0518	0.1106	46.8	159.7	0.926

2.2.2 土壤养分和pH值的空间插值 试验地土壤属中等肥力水平,土壤有机质平均含量24.1 g/kg,处于适宜含量水平[14],土壤无机氮平均含量29.2 mg/kg,属氮素供应中等偏上水平,土壤有效磷平均含量18.8 mg/kg,属磷素养分供应中等偏上水平,速效钾平均含量87.5 mg/kg,土壤钾素养分供应属较低水平,pH值处于适宜水平。试验地土壤养分存在区域分布特征,适合分区养分管理。根据施肥指标体系的分级标准,采用重分级方法制作土壤养分的空间分布图(图3)。根据图3,土壤无机氮含量在东北部低,东南和西北相对较高;有效磷含量在中部低,东部和西部高;速效钾含量东北部低,西北和东南高。土壤养分这种区域含量差异的特征,是土壤分区管理的基础。

2.2.3 基于地块的肥料养分推荐 地块肥料养分推荐是地块土壤养分含量代入施肥模型(表1)计算的结果。本研究采用的地力分级方法为各国普遍采用,美国各州的作物施肥手册、英国的农业和园艺作物肥料推荐手册、加拿大各农业省的肥料指南、我国台湾省的作物施肥手册等肥料推荐均以肥力指数为推荐标准[18-22]。基肥和追肥的比例为7∶3,地块肥料推荐结果如图4,每个地块中从前到后3个数字分别表示烤烟全生育期肥料中N、P_2O_5、K_2O的肥料纯养分量。

2.2.4 聚类分析与养分管理分区 分散经营没有变量施肥机根据施肥处方自动执行的情况下,建立管理分区是保证农民人工施肥实施到位的有效手段。聚类分析是建立管理分区的典型方法,试验采用k-均值聚类算法将图4中111块农田的肥料养分推荐量共建立8个管理分区(图5)。土壤养分和肥料纯养分推荐量均可以作为聚类分析数据源,本研究使用地块的纯养分推荐量作为数据源,主要原因是养

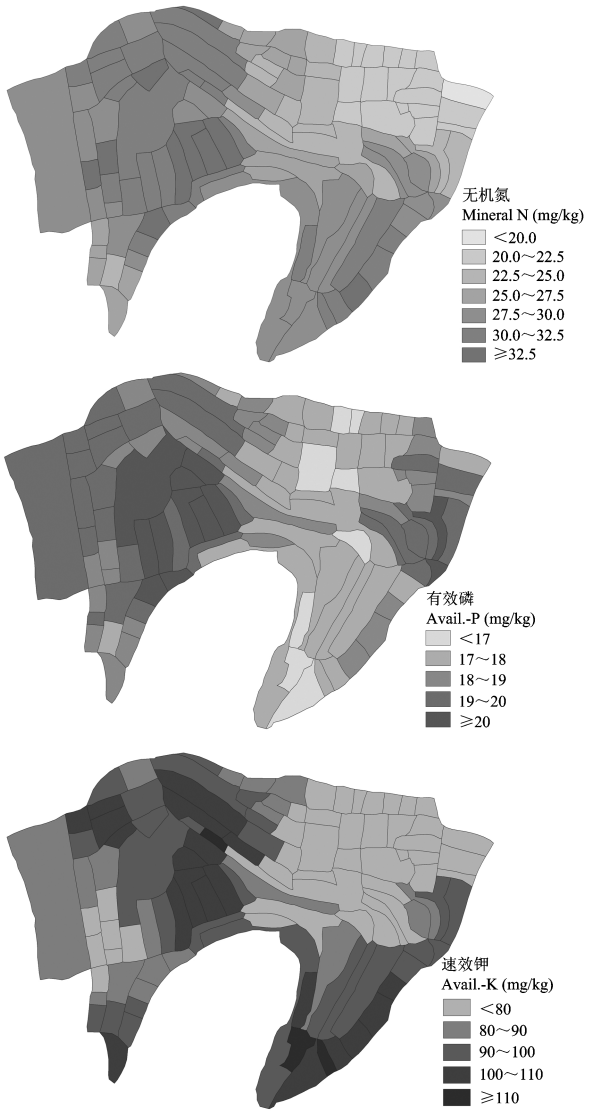

图3 土壤氮磷钾空间分布图

Fig. 3 Spatial distribution of soil mineral N, avail. -P and avail. -K

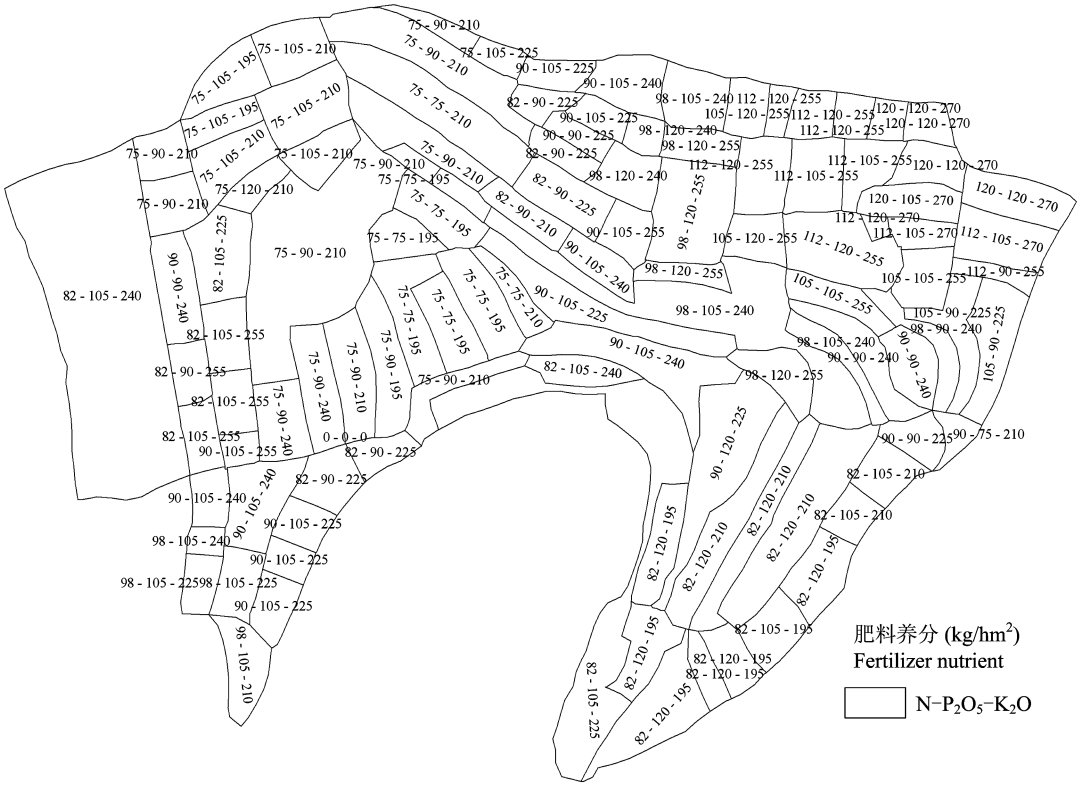

图 4　地块氮、磷、钾养分推荐图

Fig. 4　Block nutrient recommendation of N, P and K

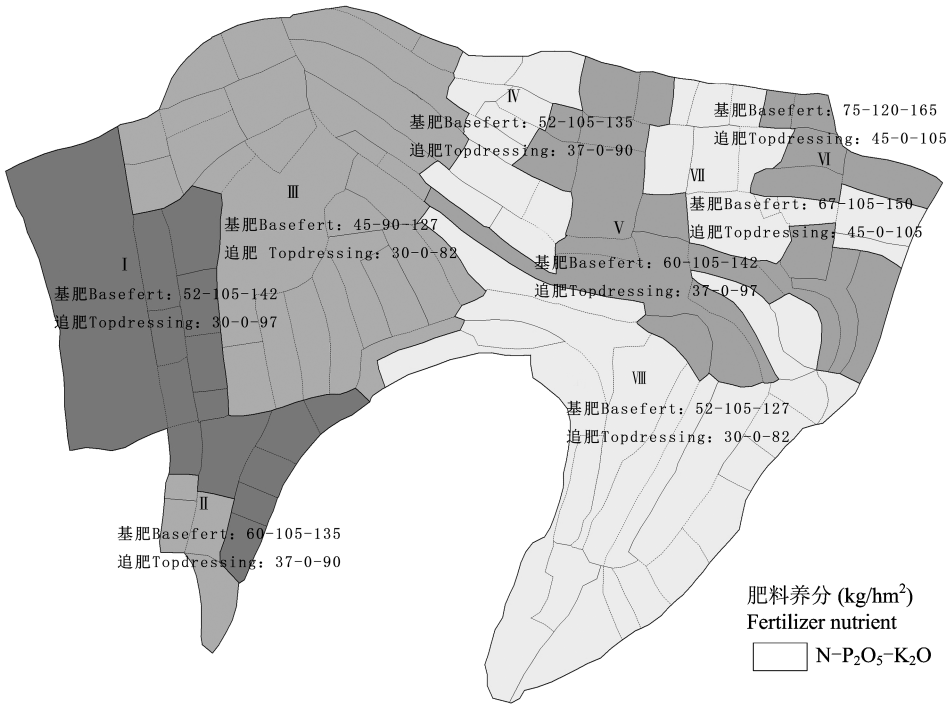

图 5　养分分区管理处方图

Fig. 5　Regional nutrients management prescription map

分推荐量只涉及氮、磷、钾3个数据变量,逻辑关系清晰;如果以土壤养分作为数据源,往往测试指标多,在聚类分析前需要提取数据特征的主成分,对主成分再进行聚类形成管理分区,有研究认为管理分区建立过程中有过度处理数据, Kutter 等[23]对已经采用精准农业的农场进行调查并分析其数据处理过程后,认为数据滥用、过度解析问题已经凸显。对照设在试验区临近的烟田,地力水平中等,农户管理水平中等偏上。

2.3 分散经营条件精准施肥的应用效果

2.3.1 分区管理的烟叶产质量分析 精准养分管理能够增加烤烟产量、提高上中等烟比例、增加单位面积产值。从表3可以看出,精准养分管理和对照比较,产量、上等烟比例、均价、产值均有增加,其中,产量增加幅度6.7%～14.5%,平均增产10.6%;上等烟比例增加幅度4.2%～13.0%,平均增加7.3%;均价增加幅度0.13～0.54 yuan/kg,平均增加0.48 yuan/kg;产值增加幅度7.50%～18.3%,平均增加14.0%。

2.3.2 分散经营条件下精准养分管理的效益分析 精准养分管理和习惯施肥相比,氮、磷养分投入减少,钾素养分稍有增加。对照处理基肥为烟草专用肥(12-12-24)750 kg/hm^2 和普钙(0-12-0)225 kg/hm^2,追肥为硝酸钾(13-0-44)120 kg/hm^2,纯养分N、P_2O_5、K_2O投入分别为105.6、117和232.8 kg/hm^2。氮素养分投入方面,精准施肥分区中有2个处理多投入氮素养分,其中处理Ⅵ投入最多,比对照多投入13.6%;6个处理减少氮素养分投入,减少幅度为8.1%～29.0%,8个处理平均节省氮素养分投入10.7%。磷素养分投入方面:处理Ⅵ比对照增加磷素投入2.6%,其余7个处理减少磷素养分投入幅度为10.3%～23.1%,8个处理平均节省磷素养分投入10.3%。钾素养分投入方面:精准施肥分区中,4个处理增加钾素养分投入,另外4个处理减少钾素养分投入,8个处理平均,增加钾素养分投入0.5%。

精准养分管理能够节约肥料成本、增产增收、扣除土壤采样测试成本,可以增加农民收益。肥料养分N、P_2O_5、K_2O以尿素、普钙和硫酸钾为标准计算,分别为3.8 yuan/kg、4.2 yuan/kg、6.4 yuan/kg。精准养分管理因减少氮、磷养分投入分别节约成本43.2 yuan/hm^2、50.0 yuan/hm^2,因增加钾素养分投入增加成本6.9 yuan/hm^2,累积节省肥料成本86.3 yuan/hm^2。每公顷土壤取4个样进行测试,每个样品测试成本100元,土壤取样分析增加成本400 yuan/hm^2。精准养分管理各分区平均产值44411.63 yuan/hm^2,与对照相比,因产值增加收益5454.63 yuan/hm^2。以上3项,精准养分管理节本增效5140.9 yuan/hm^2。

表3 不同管理分区的烤烟产量和质量

Table 3 Yield and quality of flue-cured tobacco in different management zones

处理 Treatment	产量 Yield (kg/hm^2)	产值 Value (yuan/hm^2)	单价 Unit price (yuan/kg)	上等烟率 First-grade tobacco (%)	上中等烟率 First and middle-grade tobacco (%)
Ⅰ	2805	45581	16.25	66.24	97.14
Ⅱ	2640	41896	15.87	62.79	90.45
Ⅲ	2760	45374	16.44	68.08	97.82
Ⅳ	2685	43335	16.14	63.14	93.20
Ⅴ	2835	46068	16.25	64.46	94.78
Ⅵ	2730	44608	16.34	65.12	96.64
Ⅶ	2670	43254	16.20	63.64	92.16
Ⅷ	2775	45177	16.28	63.72	92.85
CK	2475	38957	15.74	60.25	88.76

3 讨论

3.1 精准养分管理和测土施肥

基于精准农业概念的地块养分管理不同于针对地块的测土施肥方法。测土施肥方法对地块的土壤养分含量进行测试、根据测试数据进行肥料推荐,但是,测土施肥不能对没有测试数据的地块进行养分含量预测,也不能对没有测试数据的地块进行施肥推荐。美国密歇根大学精准农业制造项目联合会主席杰弗里·莱克教授认为,精准农业是一种哲学思想,一种理念,一种思维方式。对精准农业的理解,不能仅仅停留在对工具和方法的认识。它不是一套可以硬性拷贝的工具,而是一种灵活管理策略。基于精准农业概念的地块养分管理,施肥推荐不仅仅局限在施肥模型规定的肥料养分投入,更有意义的是把整个区域作为一个整体,最大限度地调节研究区域不同操作单元,使所有操作单元的作物长势趋同,更加整齐,从而提高整个区域作物的生产效率,系统论和运筹学思想得到充分的体现。分散经营条件下,应用精准农业理念,对作物养分管理具有理论研究和实践应用的意义。

3.2 分散经营条件下精准养分管理

目前,我国农民家庭承包的耕地面积小,从公平角度,不同肥力农田搭配分配,往往同一农户的地块分散在同一自然村的不同位置,地块零碎。烤烟农机近几年发展速度快,但是,市场缺乏烤烟变量施肥机的产品供应,施肥主要靠人工完成。农民能够读懂的施肥处方只能以地块为操作单元,最终实现基于地块的分类指导方式的精准养分管理(field-specific nutrient management),而非把每个格点代表面积作为操作单元的精准养分管理(site-specific nutrient management)。针对分散经营的精准养分管理,需要对应的数据处理方法,关键技术环节如样品采集、半方差分析、插值、地块养分统计、建立分区等,要做到切合分散经营的特征,做到和实施作物的养分需求特征相匹配,才能使精准养分管理发挥节约物资投入、改善产品的品质和增加单位面积收益的作用。

3.3 工具革新是精准施肥应用的前提

分散经营条件下,用于精准施肥的工具是技术广泛应用的基础,先进工具使精准农业技术应用的门槛降低。从信息获取角度,具有位置信息的土壤样品采集、作物营养状态判断的小型工具,尤其是小型传感器得到广泛应用,如 Roberts 等[24] 和 Cao 等[25] 采用手持 GreenSeeker 通过光学反射测量反演冬小麦氮肥营养。从信息加工角度, Kutter 等[23] 认为欧美发达国家在最近 10 年会出现针对精准农业的数据处理公司,他们以精准农业数据处理工具软件为平台。从施肥处方实施角度,需要具有自主知识产权的变量施肥机,和国外的变量施肥机相比,具有足够让普通农民用得起的价格优势。

4 结论

1) 试验条件分散经营的植烟土壤,土壤养分变异主要来源于结构因素,可进行半方差分析和土壤养分插值分析,适合精准养分管理。土壤养分和 pH 值的变异系数由大到小的顺序为无机氮 > 速效钾 > 有效磷 > 有机质 > pH 值,无机氮和速效钾的变异系数最大,pH 值的变异系数最小。半方差分析表明:土壤 pH 值、有机质、无机氮、有效磷、速效钾的有效变程分别是 205.5 m、103.6 m、56.4 m、58.2 m、159.7 m,最小有效变程控制采样密度,精准养分管理的网格采样间距在 50m 左右。

2) 分散经营且没有变量机具支持的情况下,土壤管理分区的基本步骤是:土壤养分插值、以地块为单元统计土壤养分、依据施肥模型针对地块进行肥料养分推荐、聚类分析肥料养分形成养分管理分区。

3) 根据土壤养分变异和烤烟营养规律进行精准养分管理,可以节约氮、磷肥料分别为 10.7%、10.3%,增产增收 5454.63 yuan/hm^2,扣除因增加钾肥和土壤测试成本,精准养分管理节本增效 5140.9 yuan/hm^2。

参 考 文 献:

[1] 赵春江. 精准农业研究与实践[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
Zhao C J. Research and practice of precision agriculture[M]. Beijing: Science Press, 2009.

[2] Pau Aragó Galindo, Granell C, Molin P G, Guijarro J H. Participative site-specific agriculture analysis for smallholders[J]. Precision Agriculture, 2012, 13(5): 594-610.

[3] 姜城. 不同经营体制下土壤养分空间变异规律及管理技术研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2000.
Jiang C. Study on spatial variability of soil nutrient status and its management under different land management systems [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2000.

[4] 黄绍文. 土壤养分空间变异与分区管理技术研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2001.
Huang S W. Study on spatial variablity and regionalized management of soil nutrients[D]. Beijing: Chinese Academy of

Agricultural Sciences, 2001.

[5] van Meirvenne M. Is the soil variability within the small fields of flanders structured enough to allow precision agriculture? [J]. Precision Agriculture, 2003, 4(2): 193-201.

[6] 王新中. GIS支持下豫中典型烟田土壤养分空间变异及精准管理[D]. 郑州:河南农业大学博士学位论文, 2009.
Wang X Z. GIS - based spatial variability and site-specific management of soil nutrients for tobacco field in central Henan Province[D]. Zhengzhou: PhD Dissertation of Henan Agricultrual Univercity, 2009.

[7] 白由路, 金继运, 杨俐苹, 等. 基于GIS的土壤养分分区管理模型研究[A]. 金继运, 白由路. 精准农业与土壤养分管理[C]. 北京: 中国大地出版社, 2001.
Bai Y L, Jin J Y, Yang L P *et al*. Reseach on soil nutrient management zones model based on GIS[A]. Jin J Y, Bai Y L. Precision agriculture and soil nutrient management[C]. Beijing: China Land Press, 2001.

[8] 李翔, 潘瑜春, 赵春江, 等. 基于空间连续性聚类算法的精准农业管理分区研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(8): 78-82.
Li X, Pan Y C, Zhao C J *et al*. Delineating precision agriculture management zones based on spatial contiguous clustering algorithm [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2005, 21(8): 78-82.

[9] 李艳, 史舟, 吴次芳, 等. 基于模糊聚类分析的田间精准管理分区研究[J]. 中国农业科学, 2007, 40(1): 114-122.
Li Y, Shi Z, Wu C F *et al*. Definition of management zones based on fuzzy clustering analysis in coastal saline land[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2007, 40(1): 114-122.

[10] Mazloumzadeh S M, Shamsi M, Nezamabadi-pour H. Fuzzy logic to classify date palm trees based on some physical properties related to precision agriculture[J]. Precision Agriculture, 2010, 11(3): 258-273.

[11] 陈桂芬, 于合龙, 曹丽英, 等. 数据挖掘与精准农业智能决策系统[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
Chen G F, Yu H L, Cao L Y *et al*. Data mining and agricultural intelligent decision system[M]. Beijing: Science Press, 2011.

[12] Córdoba M, Bruno C, Costa J, Balzarini M. Subfield management class delineation using cluster analysis from spatial principal components of soil variables [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2013, 97(9): 6-14.

[13] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版)[M]. 北京:中国农业出版社, 2000.
Bao S D. Soil and agricultural chemistry analysis(Third edition) [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000.

[14] 王瑞新. 烟草化学[M]. 北京:中国农业出版社, 2003.
Wang R X. Tobacco chemistry[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2003.

[15] 陈江华, 刘建利, 李志宏. 中国植烟土壤及烟草养分综合管理[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
Cheng J H, Liu J L, Li Z H. China tobacco planting soil and tobacco integrated nutrient management[M]. Beijing: Science Press, 2008.

[16] 胡国松. 烤烟营养原理[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
Hu G S. Principles of nutrition of flue-cured tobacco [M]. Beijing: Science Press, 2000.

[17] 中国农业科学院烟草研究所. 中国烟草栽培学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2005.
Tobacco Research Institute of Chinese Academy of Agricultural Sciences. Chinese tobacco cultivation[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2005.

[18] Christensen D R, Warncke D, Dahl J *et al*. Nutrient recommendations for field crops in Michigan[M]. East lansing: Coop. Ext. Serv. Michigan State University, 1992.

[19] Gerwing J, Geldermen R. South Dakota fertilizer recommendation guide (EC750) [M]. Brookings, S D: South Dakota State University, South Dakota Cooperative Extension Service, United States Department of Agriculture, 2005.

[20] Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. Fertiliser recommendations for agricultural and horticultural crops(RB209) [M]. London: HM Stationary Office, 2000.

[21] Jacobsen J, Jackson G, Jones C. Fertilizer guidelines for Montana crops (EB161)[M]. Bozeman: Montana State University, 2003.

[22] 黄镇海, 郭福成, 张淑贤, 等. 作物施肥手册[M]. 行政院农业委员会, 台湾省政府农林厅, 1996.
Huang Z H, Guo F C, Zhang S X *et al*. Handbook of crop fertilization[M]. The Council of Agriculture, Executive Yuan, Department of Agriculture and Forestry of the Government of Taiwan Province, 1996.

[23] Kutter T, Tiemann S, Siebert R, Fountas S. The role of communication and co-operation in the adoption of precision farming[J]. Precision Agriculture, 2011,12(1): 2-17.

[24] Roberts D C, Brorsen B W, Solie J B, Raun W R. Is data needed from every field to determine in-season precision nitrogen recommendations in winter wheat? [J]. Precision Agriculture, 2013, 14(3): 245-269.

[25] Cao Q, Cui Z L, Chen X P *et al*. Quantifying spatial variability of indigenous nitrogen supply for precision nitrogen management in small scale farming[J]. Precision Agriculture, 2012,13(1): 45-61.