吉林蛟河晒烟种植土壤养分丰缺状况及空间变异分析

李玺鹏¹,徐 昕²,王智慧³,侯振武⁴,付全善⁴,金德植⁴,郭书洋⁴,迟义⁴,李立平⁵,梁 颖⁵,杨璐铭⁵, 刘青华⁵,符云鹏¹,王静¹*

(1.河南农业大学烟草学院/烟草行业烟草栽培重点实验室,河南郑州450002;2.山东日照烟草有限公司莒县分公司,山东日照276500;3.陕西省烟 草公司安康市公司,陕西安康725000;4.吉林省蛟河市烟叶有限公司,吉林蛟河132500;5.吉林省蛟河市气象局,吉林蛟河132500)

摘要 [目的]明确蛟河晒烟植烟土壤的养分及微量元素状况,为当地种植规划分区与肥料利用及土壤改良提供理论基础。[方法]采 用全球定位系统进行定位和五点取样法,采集植烟乡镇土壤样品 143 份,运用传统统计方法和地统计学分析方法与 GIS 技术相结合,分 析该区域土壤养分指标及微量元素指标的空间变异特征。[结果]蛟河晒烟种植区域土壤整体呈弱酸性(pH<7),植烟土壤 pH 和有效 铁含量变异系数<10%,呈弱变异性,有效铜变异系数最大为 88.98%,其余土壤肥力养分均为中等变异,有效氮、全氮、缓效钾、有效铁、有 机质的 K-S 值均大于 0.05,达显著水平,呈正态分布;植烟土壤各养分之间呈明显的空间相关性,除有效氮和缓效钾为高斯模型外,其余 均为指数模型;pH 与有效 Fe、Mn、Zn 呈显著正相关关系,有效氮与有效磷呈极显著正相关关系,与速效钾呈极显著负相关关系;空间分 布上,西南和东北两区域 pH 较低,有机质与全氮空间分布情况相似,呈现西北部分布较低,土壤碱解氮含量在北部和南部地区含量偏 高,中部地区含氮量适宜,但整体处于中等偏上水平,交换性镁整体含量高于烟草生长发育的适宜范围,有效铜和有效锰空间分布情况 相似,东部、西北部地区有效铜及蛟河整体植烟地区土壤有效锰处于烟草适宜生长范围。[结论]蛟河整体应控制氮肥及镁肥的使用,可 适当施用钾肥来抵消镁肥的负面效应。

关键词 晒烟;土壤养分;地统计学;空间变异;蛟河 中图分类号 S158 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2024)24-0127-06 doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2024.24.029

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



LI Xi-peng¹, XU Xin², WANG Zhi-hui³ et al (1.School of Tobacco, Henan Agricultural University/Key Laboratory of Tobacco Cultivation, Zhengzhou, Henan 450002; 2.Shandong Rizhao Tobacco Company Limited, Juxian Branch, Rizhao, Shandong 276500; 3.Shaanxi Provincial Tobacco Company Ankang City Company, Ankang, Shaanxi 725000)

Abstract [Objective] To clarify the nutrient and trace element status of the soil of Jiaohe tobacco planting and to provide a theoretical basis for the local planning planning and zoning, fertilizer utilization and soil improvement. [Method] We used the global positioning system (GPS) and five-point sampling method to collect 143 soil samples from the townships of Jiaohe tobacco planting area, and analyzed the spatial variation characteristics of soil nutrient and trace element indicators in the area by using the traditional statistical methods and geostatistical analysis methods combined with GIS technology. [Result] The soil of Jiaohe tobacco planting area was weakly acidic (pH<7), the pH value and quickacting iron content CV<10% of the tobacco planting soil showed a weak variability, the coefficient of variation of effective copper was the largest 88.98%, and the rest of the soil fertility nutrients were moderately variable, and the K-S values of effective nitrogen, total nitrogen, slow-acting potassium, effective iron, and organic matter were all greater than 0.05, reaching the significant level, and showing a normal distribution; Obvious spatial correlation appeared between the nutrients of tobacco-planting soil, and the rest were exponential model except effective N and slow-acting K for Gaussian model; pH and effective Fe, Mn, Zn had significant positive correlation, available nitrogen and effective phosphorus had highly significant positive correlation with each other, and highly significant negative correlation with fast-acting K; spatial distribution of the two regions of the Southwest and Northeast were low in pH. The spatial distribution of organic matter and total nitrogen was similar, showing a lower distribution in the northwest, soil available nitrogen content was were in the north and south, the nitrogen content in the central region was appropriate, but the overall level was in the middle of the upper level, and the overall content of exchangeable magnesium was higher than the appropriate range for the growth and development of tobacco, and the spatial distribution of effective copper and effective manganese was similar, with effective copper in the eastern and northwestern regions and effective manganese in the overall tobacco planting area of Jiaohe. The effective copper and effective manganese in the eastern and northwestern areas of Jiaohe and the overall tobacco planting area were in the suitable range for tobacco growth. [Conclusion] The use of N and Mg fertilizers should be controlled in Jiaohe, and potassium fertilizer can be applied to offset the negative effect of Mg fertilizer.

Key words Sun-dried tobacco; Soil nutrients; Geostatistics; Spatial variation; Jiaohe

土壤不仅为植物提供根系的生长环境,还可以储存植物 生长所必需的水分、空气、矿质元素等。土壤养分决定了植 烟区烟株的生长状况。近年来,随着现代烟草农业的发展和 优质烟叶生产中养分管理的需要,烟区土壤养分丰缺及其空 间变异特征受到了广泛关注^[1-2]。李强等^[3]对罗平烟区植烟

- 基金项目 国家自然科学基金项目(31700270);河南省自然科学基金 项目 (212300410159);吉林省蛟河市烟叶公司项目 (2021001)。
- 作者简介 李玺鹏(2000—),男,河南焦作人,硕士研究生,研究方向: 烟草栽培生理。*通信作者,副教授,从事烟草栽培与逆境 生理研究。
- 收稿日期 2023-11-19;修回日期 2024-01-29

土壤养分空间变异、肥力丰缺及适宜性进行了评价;朱安宁 等^[4]探究了华北平原潮土速效 N、P、K 的空间分布及时间变 化。不同地区因当地地理位置、地势、气候及施肥方式的差 异导致其养分状况及空间差异不同^[5]。因此分析当地养分 丰缺状况与空间差异,对于当地烟区的种植规划分区,施肥 措施与施肥量的制定,提高肥料利用率均有重要指导意义。

蛟河市位于吉林省中东部,地处松辽平原向长白山区的 过渡地带,松花江中游。地势东北高,西南低,多中低山、丘 陵,有少量的河谷平原,是重点晒烟生产种植基地之一。目 前还没有对该地区进行植烟土壤养分的研究与分析,笔者运 用传统统计方法与地统计学分析方法并与 GIS 技术相结合, 阐释蛟河植烟土壤养分的空间变异与丰缺状况,为当地种植 规划分区与肥料利用及土壤改良提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 研究区概况 研究区位于吉林省蛟河市(126°46′~ 127°45′E,43°15′~44°6′N),属于温带大陆性季风气候,无霜期 120~130 d,年平均气温 3.4 ℃,年日照时数 2 137 h,年均降水量 708.8 mm。土壤类型多为暗棕壤土、白浆土和草甸土。

1.2 土壤样品数据的采集 根据植烟土壤研究区内基本烟田的分布情况进行样点布设(图1),用全球定位系统进行控制点定位,采用五点取样法,每一样点在直径2m范围内选择5个0~20 cm 耕层土样混合,共收集了143个土样。按四分法取分析样品1.5 kg,均匀混合后作为该点的土样样本。

1.3 样品测定采集的土样经自然风干、去杂、磨碎、过筛后备用。测定各土壤样品pH、有机质,大量养分元素有全氮、



图 1 样区采样点分布 Fig.1 Distribution of sampling points in the sample area

全磷、速效钾、缓效钾等含量,中量元素有效硫、交换性钙、交换性镁,微量元素有效铜、有效锌、有效铁、有效锰等土壤指标。土壤 pH采用电位法测定,质含量采用重铬酸钾滴定法测定,速效氮含量采用凯氏定氮法测定,有效磷含量采用紫外可见分光光度法测定,速效钾含量采用火焰光度计法测定,有效锌、有效铁、有效锰含量采用二乙三胺五乙酸浸提法测定,交换性镁、钙含量采用原子吸收分光光度法测定,有效硫含量采用硫酸钡比浊法^[6-7]测定。

1.4 数据处理与统计 利用 SPSS 21.0 软件进行正态分布 检验和相关分析等常规分析。依据《中国植烟土壤及烟草养 分综合管理》及相关文献^[8]中的植烟土壤养分含量分级评价 标准,对研究区土壤养分含量进行评价。利用 arcgis10.2 软 件进行半方差模型拟合并进行克里金插值法预测研究区域 土壤养分含量的空间分布图。烟区土壤状况评价参考王林 等^[9]的研究成果,结合武隆烟区植烟土壤微量元素含量的 5 个分级评定标准,对微量元素的丰缺等级进行了界定^[10]。

2 结果与分析

2.1 土壤养分总体特征及含量分布 由表1可知,研究区域 各养分平均值和中值很相近,说明特异值对样本的数值影响 较小;有效铜的偏度最大,为5.19;有效铁的偏度最小,为 -0.09,偏正态检验,除有效铁和有效锰外均为正值;峰度检 验中速效钾、有机质、全氮、缓效钾、有效铁、有效锰、有效锌 为低峰态分布,其他均以高峰态分布。其中有效铜、交换性 镁峰度较大,土壤样本的有效铜及交换性镁含量水平分布广 泛,较大值的数量影响其正态分布的状况,有效磷的峰度值 最低,为0.03,样本数据集中在一定范围,变化范围较小。研 究区域的植烟土壤 pH 和有效铁变异系数<10%,呈现弱变异 性;其余土壤肥力养分均为中等变异。其中,土壤氮、磷、钾、 pH 和有机质的变异系数在7.69% ~51.79%;土壤微量元素有 效铁、锰、铜、锌和交换性钙、镁的变异系数为8.41%~88.98%。

Table 1 Descriptive statistics of soil properties										
项目 Item	рН	有机质 Orgaric matter g/kg	全氮 Total nitroyen g/kg	有效氮 Available nitrogen mg/kg	有效磷 Available phosphorus mg/kg	速效钾 Avaslable potassium mg/kg	缓效钾 Slowly available potassium//mg/kg			
变幅 Amplitude	4.78~6.63	1.00~37.83	$0.00 \sim 2.00$	71.00~296.00	94.95~330.51	35.00~336.00	524.10~819.50			
平均值 Average	5.34	21.65	1.08	158.45	186.86	152.44	638.38			
中位数 Median	5.26	21.45	1.08	153.75	179.49	135.00	627.60			
标准差 Standard deviation	0.40	10.32	0.52	46.96	51.09	69.92	83.66			
峰度 Kurtosis	1.17	-0.20	-0.20	0.38	0.03	-0.29	-0.46			
偏度 Skewness	1.09	0.26	0.26	0.65	0.68	0.74	0.59			
变异系数 Coefficient of variation//%	7.69	48.13	47.69	30.55	28.47	51.79	13.33			
分布类型 Distribution	非正态分布	正态分布	正态分布	正态分布	非正态分布	非正态分布	正态分布			
<u>K-S</u>	0.01	0.20	0.20	0.20	0.03	0	0.20			
项目 Item	有效硫 Effective sulfur mg/kg	交换性钙 Exchangeable calcium cmol/kg	交换性镁 Exchangeabl magnesium cmol/kg	有效铜 e Effective copper mg/kg	有效铁 有效锌 Available Effectiv iron zinc mg/kg mg/kg		辛 有效锰 ve Available manganese g mg/kg			
变幅 Amplitude	32.40~68.30	2.60~15.84	0.89~12.94	0.00~11.00) 32.00~44.	.50 0.42~9	.10 0.50~31.70			
平均值 Average	42.58	7.06	3.37	1.47	38.49	4.45	21.84			

表1 土壤属性数据的描述性统计

			续表1				
项目 Item	有效硫 Effective sulfur mg/kg	交换性钙 Exchangeable calcium cmol/kg	交换性镁 Exchangeable magnesium cmol/kg	有效铜 Effective copper mg/kg	有效铁 Available iron mg/kg	有效锌 Effective zinc mg/kg	有效锰 Available manganese mg/kg
中位数 Median	41.10	6.95	3.24	1.27	38.50	4.28	23.30
标准差 Standard deviation	7.32	2.48	1.79	1.13	3.24	2.30	8.02
峰度 Kurtosis	1.66	1.02	6.64	38.50	-0.80	-0.84	-0.55
偏度 Skewness	1.31	0.67	1.94	5.19	-0.09	0.31	-0.66
变异系数 Coefficient of variation//%	17.81	35.69	55.23	88.98	8.41	53.75	34.41
分布类型 Distribution	非正态分布	非正态分布	非正态分布	非正态分布	正态分布	非正态分布	非正态分布
K-S	0	0.01	0	0	0.20	0.03	0

K-S 正态分布检验结果表明,有效氮、全氮、缓效钾、有效铁、 有机质的 K-S 值均大于 0.05,达显著水平,呈正态分布。

2.2 土壤养分含量分析 研究区 pH、有效氮和全氮的变程 具有明显差异,在125~261 m,表明影响土壤养分指标的因 素在不同尺度上起作用。其中,有效氮的变程最大,为 261 m;全氮、pH 次之,分别为140、125 m;全磷的变程最小, 仅为24 m,这可能是受耕作措施、种植制度及农户施肥习惯 等随机性因素的影响,导致土壤全磷含量的空间自相关距离 偏小。在植烟土壤微量元素中,空间自相关距离范围差异不 显著,其中交换性镁的变程最大,为116 m;其余均在45~ 94 m。对研究区域土壤养分属性进行半方差函数分析,植烟 土壤养分要素表现出明显的空间相关性,除有效氮和缓效钾 为高斯模型外,其余均为指数模型(表2)。

	表 2	土壤属性半方差函	数理论模型及排	以合参数	
Table 2	Theoretical models	and corresponding	parameters for	semivariogram of	f soil properties

指标 Index	模型 Model	块金值(Co) Nugget	基台值(Co+C) Base value	块金效应 Nugget effect//%	变程 Variable length//m	空间相关性 Spatial variability
有效氮 Available nitrogen	高斯模型	2 480.00	8 670.00	28.60	261	М
速效钾 Available potassium	指数模型	2 784.68	6 121.56	45.49	75	Μ
缓效钾 Slowly available potassium	高斯模型	1 435.99	3 916.62	36.66	65	Μ
全磷 Total phosphorus	指数模型	685.69	1 436.36	47.74	24	Μ
有机质 Organic matter	指数模型	47.14	111.54	42.26	54	Μ
有效硫 Effective sulfur	指数模型	21.57	48.72	44.27	45	Μ
有效锰 Available manganese	指数模型	11.45	43.34	26.42	48	Μ
全氮 Total nitrogen	指数模型	0.11	0.28	39.29	140	Μ
pH	指数模型	0.04	0.13	30.77	125	Μ
有效铜 Effective copper	指数模型	0.05	0.10	50.00	57	Μ
有效锌 Effective zinc	指数模型	1.31	5.21	25.14	94	Μ
有效铁 Available iron	指数模型	3.89	8.52	45.66	75	Μ
交换性钙 Exchangeable calcium	指数模型	2.63	3.77	69.76	63	Μ
交换性镁 Exchangeable magnesium	指数模型	0.78	2.40	32.50	116	М

注:M.中等空间相关性。

Note: M. Medium spatial correlation.

2.3 土壤养分含量的相关性分析 由表3可知,除有效铜 外,pH 与有效铁、锰、锌存在极显著的正相关关系,表明土壤 pH 的升高可以加速土壤中铁、锰、锌的释放,促进晒烟对它 们的吸收,提高晒烟质量。有效氮与有效磷、缓效钾存在极

显著正相关关系,与速效钾存在极显著负相关关系。有效磷 和速效钾呈极显著负相关关系,与有效 Zn、Fe、Mn、S 和交换 性镁呈极显著正相关关系,与交换性钙呈极显著负相关 关系。

	衣う 工壤亦分名重之间的相大性矩阵
Table 3	Correlation matrix between soil nutrient contents

指标 Index	有效氮 Available nitrogen	有效磷 Available phos- phorus	速效钾 Avai- lable pot- assium	有机质 Organic matter	рН	全氮 Total nitrogen	缓效钾 Slowly available potassium	有效铜 Effective copper	有效锌 Effective zinc	有效铁 Availa- ble iron	有效锰 Availa- ble man- ganese	交换性镁 Excha- ngeable magne- sium	交换 性钙 Excha- ngeable calcium
有效氮 Available nitrogen	1												
有效磷 Available phosphorus	0.943 * *	1											
速效钾 Available potassium	-0.921**	-0.895 * *	1										
有机质 Organic matter	-0.025	0.054	0.003	1									

接下表

指标 index	有效氮 Available nitrogen	有效磷 Available phos- phorus	速效钾 Avai- lable pot- assium	有机质 Organic matter	рН	全氮 Total nitrogen	缓效钾 Slowly available potassium	有效铜 Effective copper	有效锌 Effective zinc	有效铁 Availa- ble iron	有效锰 Availa- ble man- ganese	交换性镁 Excha- ngeable magne- sium	交换 性钙 Excha- ngeable calcium	有效硫 Effective sulfur
ьH	0.937 * *	0.971 * *	-0.861 * *	-0.072	1									
全氮 Total nitrogen	-0.025	0.055	0.003	0.999**	-0.073	1								
爰效钾 Slowly avai- able potassium	0.916**	0.935**	-0.932**	-0.201	0.971 *	* -0.201	1							
有效铜 Effe- ctive copper	-0.161	-0.088	0.137	-0.029	-0.157	-0.030	0.042	1						
有效锌 Effective zinc	0.990**	0.974**	-0.934**	-0.066	0.965 *	* -0.066	0.911*	* -0.169	1					
有效铁 Available iron	0.976**	0.938**	-0.976**	-0.052	0.927 *	* -0.052	0.936*	* -0.156	0.983 * *	1				
有效锰 Avai- able manganese	0.918**	0.934 * *	-0.992**	-0.006	0.887 *	* -0.006	0.916*	* -0.163	0.957 * *	0.979*	* 1			
交换性镁 Exchangeable magnesium	0.993**	0.940**	-0.942 * *	-0.040	0.939*	* -0.040	0.938 *	* -0.115	0.989**	* 0.987*	* 0.804	* *		
交换性钙 Exchangeable	-0.925 * *	-0.841 * *	0.978 * *	0.014	-0.842*	* 0.014	-0.809*	* 0.118	-0.921 ***	-0.963*	* -0.968	** -0.846*	1	
aicium 有效硫 Effective sulfur	0.988**	0.943**	-0.864 * *	-0.084	0.979*	* -0.083	0.966*	* -0.164	0.988 * *	0.946*	* 0.837	* * 0.980 * *	-0.862	** 1

注: * 表示 0.05 水平显著相关; * * 表示 0.01 水平显著相关。

Note: * indicates a significant level of 0.05; * * indicates a significant level of 0.01.

2.4 GIS 支持下土壤养分的克里金插值分析 由图 2 可知, 蛟河植烟土壤 pH 分布大致为西部、东北部较低,中部、南部 和西北部 pH 为 5.3~5.6,整体呈弱酸性。根据不同植烟土壤 pH 程度施用相对应的肥料来改善土壤偏酸性环境至 5.5~ 6.5适宜土壤酸度范围。植烟土壤有机质空间分布状况分析 表明,有机质含量整体较为适宜,大部分区域在18.00~ 30.00 g/kg,平均值为21.65 g/kg,属于中度变异。低于 10.00 g/kg的土壤只有15.91%,高于30.00 g/kg占21.21%。





Fig.2 Spatial distribution of pH and organic matter

氮素又称生命元素,是所有必需营养元素中限制烟草生 长和品质产量的首要因素。从图 3 可以看出,大部分地区全 氮在 1.0~1.5 g/kg,西北部地区全氮含量较低。土壤全氮的 块金效应值为 39.29%。有效氮含量整体处于中等偏上水 平,应控制氮肥的施用量,以及施用充分腐熟的有机肥来避 免后期烟株出现贪青晚熟。

由图 4 可知,較河植烟区土壤有效磷为 40 mg/kg 以上, 只有东部极少地区在 20~40 mg/kg,蛟河植烟地区土壤磷元 素丰富,应控制磷肥使用。土壤速效钾含量在 35.00~ 336.00 mg/kg,平均值为 152.44 mg/kg,高于 100.00 mg/kg 的 土壤占全部土壤的 73.24%,均处于适宜范围内,但仍有 26.76%处于缺钾状态,空间分布上呈现为西北部边缘和东北 部部分地区偏低,南方地区偏高。因此要根据不同地区土壤 供钾能力,调整钾肥的施用量。

由图 5 可知,研究区植烟土壤交换性钙含量为 5~ 10 cmol/kg,交换性镁含量均处于 3~6 cmol/kg,属于烟草生 长发育不适宜范围内,已成为限制烟叶质量和品质的重要因 素。因此,在施肥管理中施用镁肥平衡土壤钙镁关系的同 时,应适当施用钾肥以抵消镁肥的负面效应^[11]。





图 3 全氮和有效氮的空间分布







由图 6 可知, 蛟河植烟区土壤有效铁含量整体处于中高 含量区域内, 呈东部高、中部低的趋势, 只有南部少部分地区 有效铁含量低于 7 mg/kg; 有效锌含量整体处于上等水平, 西 北大部分区域为 2.57~<4.37 mg/kg, 中部及南部为 4.37~ 6.52 mg/kg; 有效铜含量分布呈现西北、东南低, 中部高的明 显特征。其中东部和西北部区域铜含量为 0.99~ <1.29 mg/kg, 属于烟草生长适宜范围内; 南部少部分地区有 效铜含量偏低, 小于 0.99 mg/kg, 其余区域铜属于较高含量 范围(1.3~1.6 mg/kg), 施肥管理过程中应适当减少含铜肥 料的施入; 研究区土壤有效锰在 15.0~29.1 mg/kg, 处于烟草 生长较为适宜范围内, 无需额外施用锰肥。

3 结论与讨论

蛟河市土壤有机质、全氮和有效氮的空间分布与区域地形、土壤类型及水热条件有关^[12]。南部地区土壤类型以新积

土和暗棕壤为主,中部地区以暗棕壤与白浆土为主,土地利用 方式以耕地为主^[13],且该区域属于温带大陆性季风气候,有利 于干物质的积累,常年开展粮食作物和经济作物种植。

该研究发现蛟河市植烟土壤交换性钙、交换性镁含量总体处于丰富或极丰富等级。研究表明,钙过高可增加烟叶地方性杂气,但延长烤烟营养生长,推迟成熟,导致干物质量下降^[14],烤烟吸收过量钙将打破体内钙-钾平衡^[15]。土壤交换性镁含量过高直接影响卷烟品质^[16],导致烟叶储存时吸湿性增强,严重时引起烟叶生理性缺镁现象^[17]。研究表明,随着烤烟种植年限的增加,土壤中钙镁比呈升高趋势,轮作能充分利用土壤养分,提高施肥效益。综合来看,在蛟河烟叶生产中应警惕交换性钙、镁过高对烟株生长发育、产量和质量形成的影响。因此,为提高晒烟产量和品质,在土壤交换性钙、镁含量偏高的地区,可推广土地休闲,烟稻轮作,从而



图 5 交换性钙和交换性镁空间分布

Fig.5 Spatial distribution of exchangeable calcium and magnesium



图 6 有效铁、有效锌、有效铜和有效锰空间分布

Fig.6 Effective iron, effective zinc, effective copper and effective manganese spatial distribution

库"系统可减少排水量 525.55 m³,减少幅度达 12.69%,表现 出较好的纳洪效应。

参考文献

- SMILEY P C, ALLRED B J.Differences in aquatic communities between wetlands created by an agricultural water recycling system [J].Wetlands ecology and management, 2011, 19(6):495–505.
- [2] MATSUNO Y, NAKAMURA K, MASUMOTO T, et al. Prospects for multifunctionality of paddy rice cultivation in Japan and other countries in monsoon Asia[J].Paddy water environment, 2006, 4(4); 189–197.
- [3] 黄璜湖南境内隐形水库与水库的集雨功能[J].湖南农业大学学报(自然科学版),1997,23(6):499-503.
- [4] 王传娟,王少丽,陈皓锐,等.稻田水量调控模拟计算及分析[J].中国农村水利水电,2016(8):137-143.
- [5]郑祖金,崔远来,董斌,等.灌区塘堰拦蓄地表径流能力的研究[J].中国 农村水利水电,2005(1):39-40.
- [6] FERRATI R, CANZIANI G A.An analysis of water level dynamics in Esteros del Ibera wetland [J]. Ecological modelling, 2005, 186(1):17–27.
- [7] 李玲君,李琳娜,邵孝侯,等.湿地-水塘-地下灌排改进系统的效应[J]. 水资源保护,2012,28(3):75-78,87.
- [8] 董斌, 茆智, 李新建, 等. 灌溉-排水-湿地综合管理系统的引进和改造应用[J]. 中国农村水利水电, 2009(11): 9-12, 15.
- [9] 魏小华,王修贵,单真莹,等.改进的农田灌溉排水系统[J].灌溉排水学 报,2007,26(S1):6-8.
- [10] 刘凤丽,熊玉江,范乐,等.水稻灌区降雨径流特征及其影响因素研究 [J].中国农村水利水电,2022(5):95-100.
- [11] 华克骥,何军,张宇航,等.不同灌溉和施肥方式对稻田土壤氮、磷迁移转化的影响[J].灌溉排水学报,2022,41(7):35-43.
- [12] 伯彦萍,张春雷,孙一迪,等.不同灌溉方式下稻田氮磷排放特征[J]. 节水灌溉,2022(9):93-99,107.
- [13] 奚歌,刘绍民,贾立.黄河三角洲湿地蒸散量与典型植被的生态需水量 [J].生态学报,2008(11):5356-5369.
- [14] 王帅.巴南区双河口镇采空区稻田蓄水现状及建议[J].南方农业, 2015,9(25):46-47,67.
- [15] HAMRICK J M.A three-dimensional environmental fluid dynamics computer code:Theoretical and computational aspects[R].Gloucester,Massachusetts:Virginia Institute of Marine Science, the College of William and Mary,1992:1–60.

(上接第132页)

改善烟叶品质。

综上,吉林蛟河植烟土壤有机质含量偏高,有利于生产 优质晒烟。总氮为中等适中,土壤有效氮、速效钾含量均在 晒烟的适宜范围内。微量元素中,速效 Cu、Zn、Mn、Fe 和交 换性 Mg、Ca 含量丰富; 植烟土壤 pH 和速效铁变异系数< 10%,呈弱变异性,其余土壤肥力养分均为中等变异。空间 分布上,西南和东北两区域 pH 明显较低,土壤有效氮含量在 北部和南部地区含量偏高,中部地区含氮量适宜,整体有效 磷含量过高,控制磷肥使用。

参考文献

- [1]徐大兵,邓建强,刘冬碧,等.整治区植烟土壤养分空间变异及肥力适宜性等级评价[J].应用生态学报,2014,25(3):790-796.
- [2] 邹娟,鲁剑巍,周先竹,等湖北省主要植烟区土壤肥力状况及分析[J]. 长江流域资源与环境,2015,24(3):504-510.
- [3] 李强,周冀衡,宋淑芳,等.基于地统计学的罗平烟区土壤主要养分丰缺评价[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2015,41(1):42-46.
- [4] 朱安宁,张佳宝,李立平,等.华北平原潮土速效 N、P、K 的空间分布及时间变化[J].干旱地区农业研究,2005,23(4):32-37.
- [5] 何俊瑜,陈博,陈秀兰,等.贵州铜仁地区主要烟区植烟土壤养分状况 [J].土壤,2012,44(6):953-959.

- [16] 陆耀峰,丁志斌,黎炜,等.近岸海域水质模型研究现状及展望[J].海 洋科学,2020,44(2):161-170.
- [17] 陈异晖基于 EFDC 模型的滇池水质模拟[J].云南环境科学,2005,24 (4):28-30,46.
- [18] 谢锐,吴德安,严以新,等.EFDC 模型在长江口及相邻海域三维水流模 拟中的开发应用[J].水动力学研究与进展(A辑),2010,25(2):165-174.
- [19] 王翠,孙英兰,张学庆.基于 EFDC 模型的胶州湾三维潮流数值模拟 [J].中国海洋大学学报(自然科学版),2008,38(5):833-840.
- [20] JIN K R, JI Z G.Calibration and verification of a spectral wind: Wave model for Lake Okeechobee [J].Ocean engineering, 2001, 28 (5): 571 – 584.
- [21] TUCKEY B J,GIBBS M T,KNIGHT B R, et al.Tidal circulation in Tasman and golden bays: Implications for river plume behaviour [J]. New Zealand journal of marine and freshwater research, 2006, 40(2); 305–324.
- [22] JI Z G, HU G D, SHEN J, et al. Three-dimensional modeling of hydrodynamic processes in the St. Lucie Estuary [J]. Estuarine, coastal and shelf science, 2007, 73(1/2):188–200.
- [23] 徐婉珍.基于 EFDC 的潘家口水库富营养化模拟[J].安徽农业科学, 2015,43(34):115-118,290.
- [24] 王敏,姜利兵,黄海真,等,大型水库水质数值模拟及应用[J].环境影 响评价,2021,43(1):47-51.
- [25] 王佳儿,崔远来,张博超,等.基于 EFDC 模型的表面流人工湿地水力 性能和净化效果影响因素分析[J].农业工程学报,2024,40(7):172-181.
- [26] WU D A,LI X,WANG Y G.Stability of the stratification of water bodies in the North Passage of the Yangtze River Estuary based on the EFDC model[J].Journal of Ocean University of China,2024,23(1):23–32.
- [27] 时红,才硕,孙占学,等.田-沟-塘系统纳洪减污效应研究进展[J].节 水灌溉,2024(1):16-22.
- [28] 乔斌·农田生态沟渠对稻田降雨径流氮磷的去除实验与模拟研究[D]. 天津:天津大学,2015.
- [29] 王晓玲,张福超,李松敏,等.稳定塘内稻田降雨径流中氮磷输移的三 维数值模拟[J].天津大学学报(自然科学与工程技术版),2019,52 (6):649-660.
- [30] 李一平,唐春燕,余钟波,等.大型浅水湖泊水动力模型不确定性和敏感性分析[J].水科学进展,2012,23(2):271-277.
- [6] 王瑞新.烟草化学[M].北京:中国农业科技出版社,2003:245-275.
- [7] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000:25-38.
- [8] 陈江华,李志宏,刘建利,等.全国主要烟区土壤养分丰缺状况评价[J]. 中国烟草学报,2004,10(3):14-18.
- [9] 王林,许自成,肖汉乾,等,湖南烟区土壤有效态微量元素含量的分布特点[J].土壤通报,2008,39(1):119-124.
- [10] 化党领,曹荣,郑文冉,等.武隆县植烟土壤有效态微量元素状况分析 [J].中国烟草科学,2013,34(3):26-30.
- [11] 许自成,黎妍妍,肖汉乾,等湖南烟区土壤交换性钙、镁含量及对烤烟品质的影响[J].生态学报,2007,27(11):4425-4433.
- [12] 李婷,张世熔,刘浔,等.沱江流域中游土壤有机质的空间变异特点及 其影响因素[J].土壤学报,2011,48(4):863-868.
- [13] WANG H J,SHI X Z,YU D S,et al.Factors determining soil nutrient distribution in a small-scaled watershed in the purple soil region of Sichuan Province, China[J].Soil & tillage research, 2009, 105(2):300–306.
- [14] FARHAT N, ELKHOUNI A, ZORRIG W, et al. Effects of magnesium deficiency on photosynthesis and carbohydrate partitioning[J]. Acta physiology plantarum, 2016, 38(6):1-10.
- [15] 石翔,夏志林,管世栓,等.遵义市部分烟区烤烟中、微量元素含量及其空间分布[J].植物营养与肥料学报,2017,23(3):765-773.
- [16] COMBRINK N J J.Yield and quality of flue-cured tobacco(Nicotiana tabacum L.)as affected by calcium, magnesium, potassium and boron[J]. South African journal of plant & soil, 2013,5(3):161-163.
- [17] 江厚龙,李华川,王红锋,等 植烟土壤中微量元素空间变异性及适宜 性评价[J].西南大学学报(自然科学版),2014,36(12):12-17.