

辽宁省铁岭植烟区土壤肥力特征及综合评价

李政昊¹, 刘斯泓², 李嘉琦¹, 袁野², 白俊国², 何元伟², 邹洪涛^{1*}

(1. 沈阳农业大学土地与环境学院/农业农村部东北耕地保育重点实验室/土壤高效利用国家工程研究中心, 辽宁 沈阳 110866;

2. 辽宁省烟草公司铁岭市公司, 辽宁 铁岭 112600)

摘要:【目的】为摸清铁岭植烟区土壤肥力特征, 探明制约当地烤烟增产、提质的土壤障碍因素, 提出土壤改良、保育技术措施。【方法】采集了铁岭市下辖的开原市、西丰县、昌图县等三大烟草种植区域耕层土壤, 测定了土壤耕层深度、土壤容重, 以及限制烟草生长及品质土壤养分指标, 利用主成分分析法、模糊数学综合评价法对该区域土壤肥力水平进行评价。【结果】(1) 铁岭植烟区土壤耕层浅薄、容重偏大; (2) 土壤酸性强, 有机质、全氮含量相对较低, 磷素过剩, 钾素高低分布不均, 中、微量元素普遍缺乏; (3) 土壤综合肥力指数 (IFI) 介于 0.30~0.79, 平均 0.59, 各烟区均以二等、三等地为主, 无一等地, 且现有二等地 IFI 较低, 退化成三等地风险较大; (4) 三大烟区土壤肥力水平从高到低分别为开原>西丰>昌图。【结论】铁岭植烟区整体土壤物理性状不良, 土壤酸化趋势明显, 有机质含量低, 中微量元素匮乏, 养分不均衡, 总体肥力水平较低。

关键词: 植烟土壤; 土壤肥力; 综合评价; 铁岭地区

中图分类号: S158.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 0564-3945(2022)03-0631-09

DOI: 10.19336/j.cnki.trtb.2021033101

李政昊, 刘斯泓, 李嘉琦, 袁野, 白俊国, 何元伟, 邹洪涛. 辽宁省铁岭植烟区土壤肥力特征及综合评价 [J]. 土壤通报, 2022, 53(3): 631-639

LI Zheng-hao, LIU Si-hong, LI Jia-qi, YUAN Ye, BAI Jun-guo, HE Yuan-wei, ZOU Hong-tao. Soil Fertility Characteristics and Comprehensive Evaluation of Tobacco-planting Area in Tieling of Liaoning Province[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2022, 53(3): 631-639

【研究意义】烤烟作为质、量并重的嗜好类经济作物, 在种植区域气候、栽种品种等客观条件一定时, 适宜的土壤环境是决定烟草品质及产量的重要因素^[1-4]。摸清植烟土壤养分特征, 明确土壤肥力水平可为土壤改良培肥和达到烟草“适产质优”的生产目标提供科学依据。【前人研究进展】随着国家对农田土壤利用保护的重视和土壤肥力评价方法的发展, 土壤肥力高低的评判已从简单的养分形态描述朝着指标化、定量化的方向发展^[5]。目前, 灰色关联分析法^[6]、指数和法^[7]、聚类分析法^[8]等定量化土壤肥力综合评价方法已经在我国农田土壤肥力评价中广泛应用, 其中主成分分析法^[1]、模糊综合评价法^[9]应用最为普遍。烟草生长对土壤化学指标及其敏感, 有机质含量低会使烟草植株生长发育迟缓, 肥料输入过高会造成烟叶贪青、不落黄^[10-11]; 同时为了维持烟草产品香气, 在烟草生长过程中需要投入多种肥料, 往往使植烟土壤养分失衡、产生酸化现象^[12]。

【本研究切入点】铁岭市是辽宁省主要烤烟种植区之一, 涉及到 25 个乡镇。近年来, 由于烟草连年种植, 化肥的不合理施用, 烤烟种植区土壤出现了板结、有机质低、耕层浅、犁底层上移、硬度大、酸性强、养分含量失衡等问题^[10], 严重影响了烤烟产量和品质的提高, 已成为制约铁岭市烤烟生产发展的瓶颈。然而, 当地植烟土壤肥力相关研究相对薄弱, 现阶段的土壤基础地力尚不清晰^[13]。据前期调研了解, 当地烟草种植尚未进行系统性的土壤肥力摸查, 许多烟农不了解耕地肥力水平, 在烟草种植中采用尝试性施肥的方法, 要么前期少施后期大量追肥造成烟草长势不好, 要么施肥过量造成烟草贪青晚熟无法采摘, 难以达到烟草生产“适产质优”的目的。

【拟解决的问题】当前铁岭植烟区土壤养分特征不清、肥力水平不明, 烟农对植烟土壤改良培肥盲目、全凭经验, 植烟土壤可持续利用和田间养分管理缺乏科学指导。

收稿日期: 2021-03-31; 修订日期: 2022-02-06

基金项目: 铁岭市植烟土壤保育及改良技术研究项目、辽宁省“兴辽英才计划”项目 (XLYC1905010)、辽宁省教育厅重点项目 (LSNZD202001) 和辽宁省重点研发计划项目 (2019JH2/10200004) 资助

作者简介: 李政昊 (1993-), 男, 辽宁省沈阳市人, 硕士, 主要从事土壤保育及改良技术等方面研究。E-mail: 605419756@qq.com

*通讯作者: E-mail: zht@syau.edu.cn

1 研究区域

铁岭市位于辽宁省北部、松辽平原中段，地处内蒙古、辽、吉三省交界处，介于东经 123°27′~125°06′，北纬 41°59′~43°29′之间，土地总面积 12979.68 km²。地势东高中低、北高南低，可分为东部低山丘陵区 and 西部辽河低丘平原区两大地貌区。气候属中温带大陆性季风气候，冬季严寒干燥，夏季温热多雨，雨热同期，日照充足，干湿分明，年平均气温为 6.6 ℃，年平均日照时间 2700 h，年平均降雨量 650 mm^[1]。据辽宁省烟草公司铁岭市公司数据，2019 年铁岭市烟草种植总面积约 1200 hm²。

2 材料与方 法

2.1 样品采集

土壤样品采集于铁岭市三大植烟区，即开原市（县级市）、昌图县、西丰县。采样点在各植烟村，样点分布情况见图 1。采样工作在烟草移栽前进行，2019 年 4 月 15 日开始，各烟区烤烟种植面积大于 3.3 hm² 的田块为一个采样单元，在采样单元内按“S”型路线采集 5 个点的耕层土壤，均匀混合后采用四分法取约 1 kg 混合土样装袋编号，带回实验室，经风干、磨细、过筛、混匀后装瓶备用。共采集样本 224 个，其中开原市 95 个，昌图县 67 个，西丰县 62 个。

2.2 测定指标及方法

本文参照《烟草测土配方施肥工作规程》（YC/T 507—2014）及前人研究结果，选取对烟草生长及品质具有重要影响的土壤化学指标共 10 个，分别为土壤 pH、有机质、全氮（N）、速效磷（P）、速效钾（K）、有效钙（Ca）镁（Mg）、有效铜

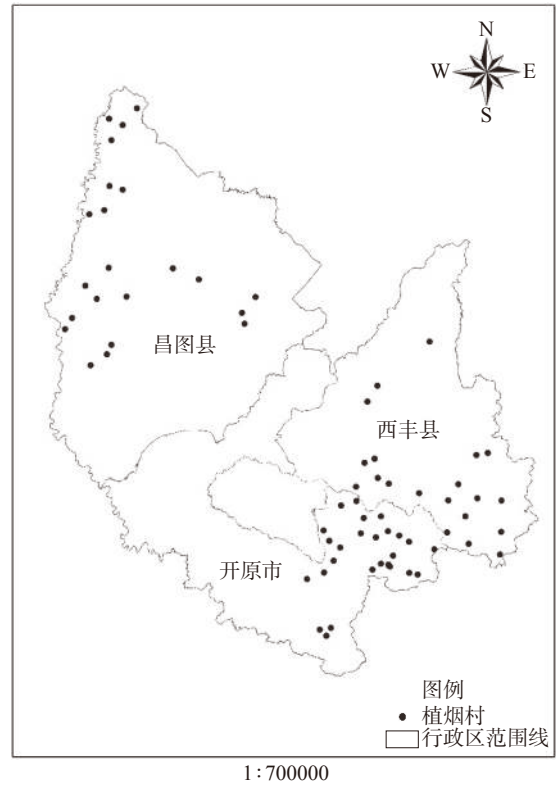


图 1 土壤样点分布情况

Fig.1 Distribution of soil samples collected in tobacco planting villages

（Cu）锌（Zn）、水溶性氯（Cl）^[13-14]。土壤全 N、有机碳（C）利用元素分析仪（Vario EL III, Elementar, Germany）测定；土壤有效 Ca、Mg 采用 1 mol L⁻¹ 乙酸铵浸提，原子吸收分光光度法测定^[15]；其余化学指标参照《土壤农化分析》中的方法进行测定^[16]。不同养分指标丰缺情况分级标准如表 1 所示^[17]。在土壤样品采集时使用钢尺测定土壤耕层厚度^[17]，采用环刀法测定土壤容重^[18]。

表 1 植烟土壤养分含量丰缺评价标准

Table 1 Evaluation criteria of abundance and deficiency for nutrients in tobacco-planting soil

评价指标 Evaluation index	等级 Grade				
	极低 Extremely low	较低 Lower	适宜 Suitable	较高 Higher	极高 Extremely high
pH值	< 4.5	4.5 ~ 5.5	5.5 ~ 7.0	7.0 ~ 7.5	> 7.5
有机质 (g kg ⁻¹)	< 10	10 ~ 20	20 ~ 30	30 ~ 40	> 40
全氮 (g kg ⁻¹)	< 0.5	0.5 ~ 1.0	1.0 ~ 2.0	2.0 ~ 2.5	> 2.5
速效磷 (mg kg ⁻¹)	< 10	10 ~ 15	15 ~ 30	30 ~ 40	> 40
速效K (mg kg ⁻¹)	< 80	80 ~ 150	150 ~ 220	220 ~ 350	> 350
有效钙 (mg kg ⁻¹)	< 300	300 ~ 400	400 ~ 800	800 ~ 1200	> 1200
有效镁 (mg kg ⁻¹)	< 25	25 ~ 50	50 ~ 100	100 ~ 150	> 150
有效铜 (mg kg ⁻¹)	< 0.2	0.2 ~ 0.5	0.5 ~ 1.0	1.0 ~ 3.0	> 3.0
有效锌 (mg kg ⁻¹)	< 0.5	0.5 ~ 1.0	1.0 ~ 2.0	2.0 ~ 4.0	> 4.0
水溶性氯 (mg kg ⁻¹)	< 5	5 ~ 10	10 ~ 30	30 ~ 40	> 40

2.3 土壤肥力评价方法

利用各指标隶属函数计算各点不同养分指标隶属度值 (N_i), 然后采用主成分分析法计算相应养分指标贡献率, 即权重 (W_i), 进一步计算土壤综合肥力指数 IFI^[19], 见公式 (1)。

$$IFI = \sum (W_i * N_i) \quad (1)$$

隶属度值的确定: 隶属函数是根据评价指标与作物生长效应曲线联合做出的数学表达式。常见隶属函数可分为 S 型和抛物线型, S 型函数表示随土壤中某一肥力指标含量增加, 作物产量及质量随之提高, 但到达临界值后这一效应便趋于平稳; 抛物线型函数表示某一肥力指标在一定范围时, 作物产量与质量最高, 超出这一范围则变差^[19]。“S”型及抛物线型函数表达式见公式 (2)、(3)。

$$F(x) = \begin{cases} 1.0, (x > x_2) \\ 0.1 + 0.9(x - x_1) / (x_2 - x_1), (x_1 \leq x \leq x_2) \\ 0.1, (x < x_1) \end{cases} \quad (2)$$

$$F(x) = \begin{cases} 0.1, (x < x_1 \text{ 或 } x > x_4) \\ 0.1 + 0.9(x - x_1) / (x_2 - x_1), (x_1 \leq x \leq x_2) \\ 1.0 - 0.9(x - x_3) / (x_4 - x_3), (x_3 \leq x \leq x_4) \\ 1.0, (x_2 < x < x_3) \end{cases} \quad (3)$$

式中: x_1 表示该指标下限, x_2 表示该指标上限, x_3 和 x_4 则表示该指标最优范围的下限和上限。据植烟土壤肥力综合评价相关文献^[19, 20], 确定铁岭地区植烟土壤肥力各评价指标的隶属度函数、拐点阈值, 具体见表 2。

表 2 土壤肥力指标所属隶属函数类型及阈值
Table 2 Types of membership functions and thresholds of soil fertility indicators

拐点值 Turning point value	抛物线型 Parabola-type function			S 型 S-type function						
	pH	水溶性氯 Water soluble Cl (mg kg ⁻¹)	有机质 Organic matter (g kg ⁻¹)	全氮 Total N (g kg ⁻¹)	速效磷 Available P (mg kg ⁻¹)	速效钾 Available K (mg kg ⁻¹)	有效钙 Available Ca (mg kg ⁻¹)	有效镁 Available Mg (mg kg ⁻¹)	有效铜 Available Cu (mg kg ⁻¹)	有效锌 Available Zn (mg kg ⁻¹)
x_1	4.5	5	10	0.5	10	80	300	25	0.2	0.5
x_2	5.5	10	20	1.0	15	150	400	50	0.5	1.0
x_3	7.0	30	30	2.0	30	220	800	100	1.0	2.0
x_4	7.5	40	40	2.5	40	350	1200	150	3.0	4.0

各样点评价指标实测数据与对应拐点阈值带入隶属函数公式 (2) 或公式 (3), 求出各点不同指标的隶属度值。该值介于 0.1 ~ 1.0, 值越大则越优。评价指标隶属度值对优质烟叶生产的适宜性分级: < 0.4 为低等, 0.4 ~ 0.7 为中等, ≥ 0.7 为适宜。

指标权重值确定: 各肥力指标对土壤整体肥力贡献率有所不同, 参考相关文献^[19], 本文利用 SPSS

21.0 软件对各指标数据进行主成分分析, 分析所得某指标公因子方差值与各指标公因子方差之和的比值作为这项指标的权重。

土壤综合肥力指数: 根据权重与隶属度值, 按公式 (1) 计算得各样点土壤综合肥力指数, 即 IFI 值。为方便统计, 本文将 IFI 值等间距划分为五个等级^[19], 具体见表 3。

表 3 铁岭市植烟土壤肥力水平等级划分
Table 3 The classification of soil fertility level in Tieling area

肥力水平等级 Fertility level	一等 Grade I	二等 Grade II	三等 Grade III	四等 Grade IV	五等 Grade V
得分范围 肥力水平	IFI ≥ 0.8	0.6 \leq IFI < 0.8	0.4 \leq IFI < 0.6	0.2 \leq IFI < 0.4	IFI < 0.2

2.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2019 和 SPSS 21.0 软件对相关数据进行统计与分析, 使用 IBM SPSS Statistics 22 软件对实验数据进行统计分析, 首先通过欠采样

法 (Undersampling) 丢弃不同地区的部分数据使各地区样本容量一致, 然后通过单因素方差 (One Way-ANOVA) 分析计算差异显著性, $P < 0.05$ 时具有显著; 采用模糊数学综合评价法计算各采样点土壤肥力综

合指数 (IFI)。

3 结果与分析

3.1 土壤耕层厚度及容重

土壤耕层厚度及容重测定结果如表 4 所示。已有研究表明耕层厚度为 25 cm 时烤烟农艺性状最佳^[21], 铁岭植烟土壤耕层厚度普遍较浅, 无样点可达到此

标准; 其中开原市平均耕层厚度最浅, 但该地区耕层厚度分布范围较大。土壤容重越大, 烟草根、茎、叶发育受到的抑制就越明显, 土壤容重小于 1.27 g cm^{-3} 为烟草生长最适的范围^[22]。经统计, 铁岭植烟土壤容重处于适宜范围的样点为 37.61%, 大部分植烟地区土壤容重偏大。

表 4 铁岭植烟区土壤耕层厚度和容重统计表

Table 4 Descriptive statistics of soil plow layer thickness and soil bulk density in Tieling tobacco-planting area

区域 Area	土壤耕层厚度 Soil plow layer thickness			土壤容重 Soil bulk density			
	范围 Range (cm)	均值 ± 标准差 Mean ± SD (cm)	变异系数 Coefficient of variation (%)	范围 Range (g cm^{-3})	均值 ± 标准差 Mean ± SD (g cm^{-3})	变异系数 Coefficient of variation (%)	小于 1.27 g cm^{-3} 的样本占比 Proportion of samples less than 1.27 g cm^{-3} (%)
开原市	10 ~ 20	13.82 ± 2.59 b	18.74	1.00 ~ 1.74	1.38 ± 0.17 a	12.45	31.71
昌图县	12 ~ 16	14.13 ± 1.20 a	8.53	1.03 ~ 1.76	1.35 ± 0.19 a	14.14	36.84
西丰县	12 ~ 16	14.54 ± 1.53 a	10.52	1.00 ~ 1.68	1.33 ± 0.18 a	13.52	44.74

注: 不同小写字母表示不同地区之间差异显著, $P < 0.05$ 。下同。

3.2 土壤化学指标

铁岭植烟区土壤化学肥力指标描述性统计结果见表 5。植烟土壤 pH 值在 5.5 ~ 7.0 之间最为适宜^[16], 该地土壤 pH 值低于适宜范围的样点占比 88.84%, 整体呈现强酸性。土壤有机质、全 N 含量总体略高于适宜范围下限, 有较大提升空间, 且仍有 43.30%、30.36% 的样点有机质、全 N 含量不足。速效 P 含量极高, 高于适宜水平的样点占比 94.2%, P 素过剩。速效 K 含量低于或高于适宜水平的样点分别占比 38.83%、43.30%。全部样点的有效 Ca 含量处于极低水平; 95.28% 的样点有效 Mg 含量处于极低水平。有效 Cu、Zn 含量各地差异性极大, 其中有效 Cu 含量低于适宜水平的样点占 72.64%; 有效 Zn 含量低于适宜水平的样点占 54.72%, Cu、Zn 元素普遍缺乏。水溶性 Cl 含量整体适宜。铁岭各植烟区土壤肥力指标高低不均、差异较大 (表 6)。由表 6 可知, 因为各地区采样点空间差异性较大, 许多肥力指标变异系数偏大, 其中有效 Cu 和有效 Zn 含量变异系数最高, 西丰县土壤有效 Cu 含量数值变化范围最广 ($0.02 \sim 3.96 \text{ mg kg}^{-1}$), 最高含量是最低含量的 198 倍。此三个地区的平均土壤速效 K、有效 Ca 和有效 Mg 含量在统计学上无显著性差异, 但是昌图县的土壤速效 K、有效 Ca 和有效 Mg 的最低含量均高于开原市和西丰县。开原市平均土壤有效 Zn 含量最高, 其他土壤化学指标含量处于昌图县和西丰县之

间, 且与昌图县和西丰县均无显著差异; 昌图县平均肥力水平较高, 但是各化学指标数值分布范围较大 (极差较大); 西丰县大部分肥力指标偏低, 有机质、全 N、速效 P、有效 Ca、有效 Mg、有效 Cu 等大多数肥力指标的极小值出现在西丰县。昌图县和西丰县除了土壤速效 K、有效 Ca、有效 Mg 和有效 Zn 外, 其他各指标平均值有显著性差异, 说明这两个地区植烟土壤肥力有较大差别。

3.3 土壤肥力综合评价

3.3.1 各指标隶属度值 根据土壤肥力指标隶属度值 (表 7), 所有样点土壤有效 Ca 含量过低, 56.6% 的样点土壤 pH 过低, 99.06%、68.87%、44.34% 的样点土壤有效 Mg、有效 Cu、和有效 Zn 含量过低, 不适宜烟草生长。所有样点土壤全 N 和超过 70% 的样点土壤速效 P、速效 K 和水溶 Cl 含量适宜烟草生长。由此, 土壤偏酸、中微量元素匮乏制约了当地植烟土壤肥力水平的进一步提升。

3.3.2 各指标权重值 各指标相关系数可以看出部分因子间相关系数大于 0.3 (表 8)。土壤肥力参评因子中总方差解释前 4 个主成分特征值均大于 1, 累积贡献率达 70.02% (表 9), 说明影响土壤综合肥力的因素较多^[23]。依据各肥力指标权重, 全 N、速效 P、有效 Ca、有效 Mg 对植烟土壤综合肥力水平影响最大 (权重最大, 见表 10); 再结合各指标的隶属度值, 土壤 pH、有效 Ca、有效 Mg、有效 Cu

表 5 铁岭市植烟土壤化学指标统计表
Table 5 Descriptive statistics of Tieling tobacco-planting soil chemical indicators

指标 Index	均值 ± 标准差 Mean ± SD	变异系数 (%) Coefficient of variation	各级比例 (%) Proportion of all levels				
			极低	较低	适宜	较高	极高
			Extremely low	Lower	Suitable	Higher	Extremely high
pH值	4.89 ± 0.63	12.78	25.90	62.94	10.27	0.00	0.89
有机质 (g kg ⁻¹)	22.16 ± 8.58	38.72	3.57	39.73	43.31	10.71	2.68
全N (g kg ⁻¹)	1.21 ± 0.40	33.06	2.68	27.68	66.07	2.68	0.89
速效P (mg kg ⁻¹)	79.29 ± 36.51	46.05	0.00	0.00	5.81	9.38	84.82
速效钾 (mg kg ⁻¹)	253.88 ± 185.51	73.07	4.46	34.37	17.86	23.21	20.09
有效钙 (mg kg ⁻¹)	71.14 ± 48.67	68.41	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
有效镁 (mg kg ⁻¹)	9.62 ± 6.95	72.25	95.28	4.72	0.00	0.00	0.00
有效铜 (mg kg ⁻¹)	0.80 ± 0.77	95.99	54.72	17.92	11.32	15.09	0.94
有效锌 (mg kg ⁻¹)	1.54 ± 1.72	111.69	35.85	18.87	25.47	16.98	2.83
水溶性氯 (mg kg ⁻¹)	13.14 ± 3.52	26.79	0.00	23.58	76.42	0.00	0.00

表 6 铁岭各市县植烟土壤化学指标统计表
Table 6 Descriptive statistics of chemical indices of tobacco-planting soil in Tieling area

指标 Index		区域 Area		
		开原市 Kaiyuan	昌图县 Changtu	西丰县 Xifeng
pH值	范围	4.12 ~ 6.99	4.07 ~ 6.89	4.54 ~ 7.64
	均值 ± 标准差	4.73 ± 0.53 ab	4.63 ± 0.38 b	5.36 ± 0.65 a
	变异系数 (%)	11.13	8.30	12.13
有机质 (g kg ⁻¹)	范围	5.99 ~ 21.89	10.43 ~ 41.69	3.38 ~ 17.16
	均值 ± 标准差	13.14 ± 3.06 ab	17.36 ± 5.27 a	8.37 ± 2.67 b
	变异系数 (%)	23.29	30.38	31.89
全N (g kg ⁻¹)	范围	0.64 ~ 1.85	0.96 ~ 3.15	0.38 ~ 1.64
	均值 ± 标准差	1.21 ± 0.19 b	1.6 ± 0.38 a	0.83 ± 0.26 c
	变异系数 (%)	16.04	23.94	31.01
速效P (mg kg ⁻¹)	范围	27.43 ~ 200.89	18.6 ~ 172.98	17.78 ~ 141.57
	均值 ± 标准差	85.14 ± 35.02 a	85.56 ± 41.8 a	64.43 ± 30.28 b
	变异系数 (%)	41.14	48.85	47.00
速效K (mg kg ⁻¹)	范围	10.64 ~ 648.82	74.46 ~ 914.73	53.18 ~ 574.36
	均值 ± 标准差	208.8 ± 130.27 a	390.43 ± 237.34 a	193.35 ± 99.66 a
	变异系数 (%)	62.39	60.79	51.54
有效Ca (mg kg ⁻¹)	范围	23.78 ~ 275.52	30.13 ~ 202.08	13.53 ~ 98.51
	均值 ± 标准差	76.37 ± 54.16 a	83.52 ± 40.38 a	42.7 ± 23.87 a
	变异系数 (%)	70.92	48.35	55.89
有效镁 (mg kg ⁻¹)	范围	1.51 ~ 33.27	3.93 ~ 32.94	0.52 ~ 14.27
	均值 ± 标准差	10.13 ± 6.43 a	11.4 ± 6.65 a	5.69 ± 4.15 a
	变异系数 (%)	63.42	58.32	72.90
有效铜 (mg kg ⁻¹)	范围	0.16 ~ 2.91	0.02 ~ 1.53	0.02 ~ 3.96
	均值 ± 标准差	0.88 ± 0.69 ab	0.47 ± 0.51 b	1.12 ± 1.06 a
	变异系数 (%)	78.37	109.54	94.95
有效锌 (mg kg ⁻¹)	范围	0.06 ~ 13.69	0.39 ~ 2.96	0.09 ~ 1.57
	均值 ± 标准差	1.86 ± 2.17 a	1.54 ± 0.84 ab	0.53 ± 0.39 b
	变异系数 (%)	116.35	54.28	72.64
水溶性氯 (mg kg ⁻¹)	范围	6.86 ~ 20.56	8.94 ~ 25.04	5.22 ~ 15.64
	均值 ± 标准差	13.96 ± 4.18 ab	16.79 ± 4.38 a	10.15 ± 3.3 b
	变异系数 (%)	29.92	26.11	32.55

和有效 Zn 适宜比例最低, 土壤全 N 全部适宜, 接近 30% 的土壤速效 P 处于不适宜水平, 我们可以发

现制约铁岭植烟区土壤肥力水平提升的主要因素在于土壤酸性过强、P 素过剩和中微量元素缺乏。

表 7 铁岭市植烟土壤肥力指标隶属度值描述性统计
Table 7 Descriptive statistics of subordination value of tobacco-planting soil fertility index in Tieling area

指标 Index	均值 ± 标准差 Mean ± SD	变异系数 (%) Coefficient of variation	适宜比例 (%) Appropriate ratio		
			低 Low	中等 Medium	适宜 Suitable
pH值	0.40 ± 0.32	79.0	56.6	22.6	20.8
有机质 (g kg ⁻¹)	0.89 ± 0.23	26.2	7.6	8.5	84.0
全氮 (g kg ⁻¹)	1.00 ± 0.00	0	0	0	100
速效磷 (mg kg ⁻¹)	0.80 ± 0.30	37.4	14.2	12.3	73.6
速效钾 (mg kg ⁻¹)	0.81 ± 0.28	34.6	14.2	11.3	74.5
有效钙 (mg kg ⁻¹)	0.10 ± 0.00	0	100	0	0
有效镁 (mg kg ⁻¹)	0.11 ± 0.05	47.7	99.1	0.9	0
有效铜 (mg kg ⁻¹)	0.38 ± 0.40	105.9	68.9	1.9	29.3
有效锌 (mg kg ⁻¹)	0.58 ± 0.42	72.5	44.3	6.6	49.1
水溶性氯 (mg kg ⁻¹)	0.92 ± 0.18	19.9	2.8	7.6	89.6

表 8 土壤肥力评价因子相关系数矩阵(n=224)
Table 8 Correlation coefficient matrix of soil fertility evaluation factors

指标 Index	pH	全氮 Total nitrogen	速效磷 Available P	速效钾 Available K	有机质 Organic matter	有效钙 Available Ca	有效镁 Available Mg	有效铜 Available Cu	有效锌 Available Zn	水溶性氯 Water soluble Cl
pH	1.000	-0.289**	-0.023	-0.178**	-0.194**	0.076	-0.124	-0.019	-0.007	-0.301*
全氮		1.000	0.231**	0.495**	0.926**	0.452**	0.462**	0.006	0.242*	0.163
速效磷			1.000	0.448**	0.134**	0.197	0.073	-0.109	0.067*	0.134
速效钾				1.000	0.371**	0.461**	0.429**	-0.024	0.047	0.121
有机质					1.000	0.396**	0.373**	-0.026	0.284*	0.076
有效钙						1.000	0.818**	-0.048	0.187	0.115
有效镁							1.000	-0.021	0.218	0.158
有效铜								1.000	0.148	-0.086
有效锌									1.000	-0.041
水溶性氯										1.000

注：“**”符号标记表示在0.01水平上极显著相关；“*”符号标记表示在0.05水平上显著相关。

表 9 总方差解释
Table 9 Total variance

成份 Ingredient	初始特征值 Initial eigenvalue			提取平方和载入 Extract the sum of squares and load		
	合计 Total	方差(%) Squared difference	累积(%) Accumulation	合计 Total	方差(%) Squared difference	累积(%) Accumulation
1	3.368	33.679	33.679	3.368	33.679	33.679
2	1.350	13.503	47.182	1.350	13.503	47.182
3	1.249	12.488	59.670	1.249	12.488	59.670
4	1.035	10.350	70.020	1.035	10.350	70.020
5	0.947	9.471	79.491			
6	0.823	8.227	87.718			
7	0.640	6.403	94.121			
8	0.389	3.891	98.012			
9	0.147	1.468	99.480			
10	0.052	0.520	100.000			

3.3.3 土壤肥力综合评价 铁岭植烟区土壤 IFI 范围介于 0.30 ~ 0.79 之间 (表 11) 根据表 3, 将 IFI 按照等间距划分为五级, 可保证评价结果客观、合理。三大烟区土壤综合肥力指数从高至低分别为开原、西丰、昌图。开原、西丰两地 IFI 平均 0.64、0.61, 临近二等地划分区间下限 (即 0.6), 退化成三等地

风险较大。昌图地区 IFI 平均 0.50, 属中等肥力水平, 该地区土壤肥力指数变化范围和变异系数均较大, 结合当地肥力分布不均的特征, 综合评价结果进一步表明了昌图地区土壤肥力分布不均、总体偏低的特点。总体而言, 铁岭地区现阶段无一等地和五等地分布; 二等地、三等地占比分别为 54.72%、

表 10 各肥力指标公因子方差及权重
Table 10 Common factor variance and weight of each fertility index

指标 Index	公因子方差 Common factor variance	权重 Weights	权重排序 Weight ranking
pH	0.723	0.103256	6
全氮	0.861	0.122965	3
速效磷	0.781	0.111540	4
速效钾	0.644	0.091974	7
有机质	0.770	0.109969	5
有效钙	0.903	0.128963	1
有效镁	0.882	0.125964	2
有效铜	0.364	0.051985	10
有效锌	0.461	0.065838	9
水溶性氯	0.613	0.087546	8

表 11 土壤综合肥力指数描述性统计
Table 11 Descriptive statistics of soil comprehensive fertility index

区域 Area	均值 ± 标准差* Mean ± SD	范围 Range	变异系数 Coefficient of variation (%)	肥力等级分布 (%) Fertility grade distribution				
				一等 First class	二等 Second class	三等 Third class	四等 Fourth class	五等 Fifth class
开原市	0.64 ± 0.07 a	0.50 ~ 0.79	10.26	0.00	79.55	20.45	0.00	0.00
昌图县	0.50 ± 0.10 c	0.30 ~ 0.68	19.52	0.00	21.88	68.75	9.38	0.00
西丰县	0.61 ± 0.04 ab	0.47 ~ 0.67	7.18	0.00	53.33	46.67	0.00	0.00
总计	0.59 ± 0.09 b	0.30 ~ 0.79	15.67	0.00	54.72	42.45	2.83	0.00

42.45%; 四等地占比极少, 为 2.83%。

4 讨论

根据本文评价结果, 铁岭植烟区耕层浅, 容重大, 有机质、氮素含量相对较低。加大耕层厚度, 改善耕层结构是解决耕层障碍问题的有效途径之一, 深松、耕翻可有效打破犁底层、增加耕层厚度并降低容重、改善整体的土壤环境。据调查, 当地长期采用浅旋的耕作方式, 旋耕深度一般为 10 ~ 13 cm, 这与烟草适宜的耕层厚度有一定差距, 长此以往造成耕层变浅, 影响烟草根系生长, 从而影响烟叶产量、质量^[23]。铁岭地区烟田分布广, 跨度大, 不同地区的土质、气候等自然因素均不同, 是导致不同地区肥力水平差异较大的原因之一^[24]; 如昌图地区砂土较多, 土壤保水、保肥能力相对较差, 施肥量大; 开原、西丰两地多为壤土, 保水保肥能力较好, 土壤肥力指标和肥力水平等级相对较高。

另外, 肥力评价结果显示, 铁岭地区现有烟田虽以二等地居多, 但 IFI 整体较低, 退化风险较大。铁岭市植烟区存在土壤酸性强、P 素过剩、钾素不均、中微量元素缺乏等较为突出, 土壤酸性强是土壤退化的重要表现形式, 不仅造成土壤有效 Ca、Mg 等盐基离子淋失, 还会造成土壤板结、P 素固定且有效性降低、根际病害增加等诸多问题出现^[10]。造成此类

问题首要原因在于施肥方法不当, 当地烟农在种植过程中长期以经验施肥为准, 由于基础地力不清, 盲目施肥造成养分不均; 而且所施肥料多以化肥为主, 有机肥少。向土壤中施用化肥普遍会降低土壤 pH 值^[25], 而且当地习惯性施用硝酸钾和硫酸钾等强酸根肥料, 如此长期不均衡的施肥加快了土壤酸化、板结、盐基离子淋失, 情况恶劣的地区烟叶不能及时落黄, 降低烟叶质量。在以往的植烟过程中, 为提高烟草产量, 烟农往往只施用 N、P、K 肥料, 很少施加微量元素肥料^[26-27]。然而, 据调查, 当地钙、Mg 离子极为匮乏, 这与土壤酸性强, Ca、Mg 离子淋失及种植过程中常年忽视 Ca 肥、Mg 肥的施入等多种因素有关。因此, 各植烟地区应该根据土壤的肥力水平合理施用化肥, 增加有机肥施用量, 并依据土壤中有效态微量元素含量决定是否需要施用微量元素肥料及施用微量元素肥料的种类。

5 结论与建议

(1) 土壤速效磷、全氮、有效钙和有效镁含量对铁岭植烟区土壤肥力综合评价结果影响较大, 累积贡献率达到 70%; (2) 铁岭植烟土壤存在耕层浅, 容重大, 酸性强, 有机质、全氮含量相对较低, 磷素过剩, 钾素非均衡性富集或匮乏, 中、微量元素普遍缺乏等问题; (3) 依据土壤肥力评价结果, 铁

岭植烟地区主要以二等地和三等地为主,无一等地分布,且现有二等地土壤综合肥力指数较低,退化或三等地风险较大。

针对当前铁岭植烟土壤存在的问题,提出如下改良培肥建议:

(1)因地制宜地应采取深松与旋耕联合作业加厚耕层。深松作业深度 25~30 cm、宽幅 50 cm,连续隔行深松,改善耕层土壤结构。

(2)增施有机肥、微量元素肥料和测土配方施肥。加大有机肥投入量,增加中、微量元素的施入;在土壤酸性较强的地区要增施石灰、调酸增钙,减少化肥施入量。同时加强测土配方施肥,及时、准确地探明土壤中各营养元素的丰缺情况,多控少补,均衡养分。

参考文献:

- [1] 李自林, 陆亚春, 赵磊峰, 等. 广西隆林县植烟土壤肥力评价[J]. 土壤通报, 2020, 51(5): 1042-1048.
- [2] 梁红. 重庆植烟土壤肥力特征及评价[D]. 重庆: 西南大学, 2014.
- [3] 兰木羚, 高明. 重庆丰都岩溶区植烟土壤肥力特征及综合评价研究[J]. 中国岩溶, 2014, 33(2): 216-222.
- [4] 王小东, 许自成, 李群平, 等. 洛阳地区植烟土壤养分肥力测定与综合评价[J]. 河南科技大学学报(自然科学版), 2008, 29(4): 82-85.
- [5] 黄俊杰, 李世琛, 杨德海, 等. 大理红塔植烟基地土壤肥力综合评价[J]. 云南农业大学学报(自然科学版), 2017, 32(1): 125-133.
- [6] 孙宇, 高明, 王丹, 等. 基于GIS和改进灰色关联模型的岩溶区土壤肥力评价——以重庆市丰都县岩溶区为例[J]. 中国岩溶, 2014, 33(3): 347-355.
- [7] 王军艳, 张凤荣, 王茹, 等. 应用指数和法对潮土农田土壤肥力变化的评价研究[J]. 农村生态环境, 2001, 17(3): 13-16.
- [8] 陈留美, 桂林国, 吕家珑, 等. 应用主成分分析和聚类分析评价不同施肥处理条件下新垦淡灰钙土土壤肥力质量[J]. 土壤, 2008, 40(6): 971-975.
- [9] 王建庆, 冯秀丽, 项璐. 基于模糊数学法的滩涂围垦区土壤肥力特征评价[J]. 宁波大学学报(理工版), 2013, 26(4): 101-106.
- [10] 王允白, 王宝华, 计玉, 等. 山东沂水植烟土壤类型与烟叶品质关系的调查研究[J]. 中国烟草科学, 2000, (2): 13-17.
- [11] 赵兴, 刘卫群, 张维理, 等. 中国烟草平衡施肥技术研究现状与展望[J]. 中烟草学报, 2003, 9(B11): 30-35.
- [12] 曹志宏. 优质烤烟生产的土壤与施肥[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1991.
- [13] 杜舰, 张锐, 张慧, 等. 辽宁植烟土壤pH值状况及其与烟叶主要品质指标的相关分析[J]. 沈阳农业大学学报, 2009, 40(6): 663-666.
- [14] 王燕, 姚玉增, 巩恩普, 等. 辽宁铁岭市土壤侵蚀时空演变研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2008, 19(3): 144-147.
- [15] 刘挺, 何昆, 万辉, 等. 四川凉山烟区土壤肥力综合评价[J]. 江西农业学报, 2011, 23(6): 101-104.
- [16] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [17] 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: 87-89.
- [18] 孔凡伟. 如何精测土壤容重[J]. 黑龙江农业科学, 2010, 35(10): 178.
- [19] 徐露, 张丹, 蒋豪, 等. 四川省四大植烟区土壤肥力评价[J]. 湖北农业科学, 2017, 56(18): 3433-3437.
- [20] 庞夙, 陶晓秋, 黄玫, 等. 四川省植烟区土壤肥力评价[J]. 中国烟草科学, 2013, 34(1): 40-44.
- [21] 高建爽, 邹焱, 钱壮壮, 等. 土壤耕作深度对烤烟生长及产质量的影响[J]. 贵州农业科学, 2020, 48(5): 37-40.
- [22] 胡伟. 土壤容重对烟草生长及植烟土化学性质影响的研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2013.
- [23] 白伟, 孙占祥, 郑家明, 等. 虚实并存耕层提高春玉米产量和水分利用效率[J]. 农业工程学报, 2014, 30(21): 81-90.
- [24] 李政昊. 铁岭市植烟区土壤肥力特征及其综合评价[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2020.
- [25] 魏国胜. 植烟土壤酸化机理及调控技术研究[D]. 武汉: 中国农业科学院, 2014.
- [26] 符德龙, 吴雪梅, 陶佩杰, 等. 基于GIS的毕节烟地土壤厚度空间插值方法比较研究[J]. 贵州大学学报(自然科学版), 2018, 35(6): 48-52.
- [27] 赵蛟, 徐梦洁, 庄舜尧, 等. 基于模糊综合评价法的建瓯市毛竹林地土壤肥力评价[J]. 土壤通报, 2018, 49(6): 1428-1435.

Soil Fertility Characteristics and Comprehensive Evaluation of Tobacco-planting Area in Tieling of Liaoning Province

LI Zheng-hao¹, LIU Si-hong², LI Jia-qi¹, YUAN Ye², BAI Jun-guo², HE Yuan-wei², ZOU Hong-tao^{1*}

(1. College of Land and Environment, Shenyang Agricultural University, Key Laboratory of Northeast Arable Land Conservation, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Engineering Research Center for Efficient Utilization of Soil and Fertilizer, Shenyang 110866, China; 2. Tieling City Branch of Liaoning Tobacco Company, Tieling 112600, China)

Abstract: [Objective] This study aims to find out the soil fertility level and nutrient characteristics in tobacco-planting soils of Tieling area, in order to provide a foundation for the conservation and improvement of these soils. [Method] The farmland soils of three tobacco-planting areas (Kaiyuan, Xifeng and Changtu in Tieling) were collected as research materials, and their basic physical and chemical indices were determined. Then, the fertility levels of local tobacco-growing soils were evaluated through the principal component analysis method and fuzzy mathematics comprehensive evaluation method. [Result] The results showed that: (1) The plough layer of soil in tobacco-planting area was shallow. (2) Soils were seriously acidized with relatively low contents of organic matter and total nitrogen, excessive phosphorus, non-equilibrium potassium and deficient trace elements. (3) The comprehensive soil fertility index (IFI) ranged from 0.30 to 0.79, with an average of 0.59. All the tobacco areas were dominated by the grade II and grade III. (4) The soil fertility level of the three tobacco-growing areas from high to low was Kaiyuan > Xifeng > Changtu. [Conclusion] The levels of soil fertility are decreasing in the tobacco-planting area of Tieling due to the soil degradation by the plantation of tobacco.

Key words: Tobacco-planting area; Soil fertility; Comprehensive evaluation; Tieling area

[责任编辑: 张玉玲]