

DOI: 10.13718/j.cnki.xdsk.2019.11.005

重庆市主要烟区土壤肥力状况综合评价^①

韦建玉¹, 黄崇峻¹, 金亚波¹, 李承荣¹,
石孝均², 梁红², 周鑫斌²

1. 广西中烟工业有限责任公司, 南宁 530001; 2. 西南大学 资源环境学院, 重庆 400715

摘要: 利用模糊数学和偏相关分析计算出重庆烤烟种植区土壤肥力综合指数 *IFI* 值, 对各植烟区肥力状况进行分析与综合评价。结果表明: 重庆市植烟土壤肥力因子多处于中等至强变异强度, 对土壤综合肥力指数贡献最大的为有机质, 其次是碱解氮、pH 值、有效硼、速效磷, 贡献最低的是有效锌, 其中, 速效磷、速效钾和有效锌变异强度较大, 土壤各因子与 15 年前相比, 土壤 pH 值、土壤水溶性氯、土壤有效硼、有效锌和有效镁下降, 其余指标则有不同程度上升。重庆市植烟区县整体土壤肥力综合指标值较高, 但不同营养元素质量分数丰缺状况不同, 不同区县的养分质量分数差异较大, 重庆烟田需加强测土配方施肥, 采用综合养分管理技术, 提升烟田地力水平, 促进烟草产业可持续健康发展。

关键词: 植烟区; 综合评价; 土壤肥力; 重庆市

中图分类号: S572

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2019)11-0030-07

烟叶品质对土壤养分的均衡供应能力的反应十分敏感, 它与土壤养分质量分数高低有着非常密切的关系, 土壤肥力是烤烟品质和风格形成的基础和前提^[1]。重庆是我国优质产烟区之一, 烟田地貌类型为山地, 烟区土壤类型多样, 种植历史和气候条件多样, 致使不同生产区土壤肥力水平差异很大, 烟田土壤养分的供应强度和丰缺状况直接影响着烟草的生长和产质表现^[2], 所以过去对植烟土壤各种营养元素的丰缺诊断已有较多研究^[3], 但对烟区土壤肥力状况进行综合评价的研究还很少, 特别是关于重庆市植烟区土壤肥力综合评价还未见报道。本研究利用了重庆市主要烟区 12 个区县耕层土壤样本养分分析数据, 根据模糊数学原理, 不同指标的权重采用偏相关分析计算得到, 对重庆主要植烟区土壤养分状况进行综合评价, 对于指导烟田科学平衡施肥, 提高肥料利用率和保护资源环境, 实现烟叶优质适产和可持续发展提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 土壤样品采集

本课题组分别在 2002 年、2012 年和 2017 年 1—3 月在重庆市内 12 个植烟区县进行试验, 将重庆现代烟草农业规划定义的基本种植单元设置为一个采样点, 每个样点面积约为 6.67 hm², 依据海拔、地形、母质类型、土壤类型等因素, 采用“S”型采样方法, 采集 20 个点作为一个混合样, 采用四分法获得 2 kg 土样作为最终样品, 带回实验室。在试验区域内采用 GPS 定位技术进行采样, 其中 2002、2012 和 2017 年分别采集土壤样品 2 100、2 777 和 3 800 个左右, 采集的土壤样点基本是按照现代烟草农业规划一个种植单元一

① 收稿日期: 2018-05-04

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0200307); 国家自然科学基金项目(31672238); 广西中烟工业有限责任公司项目(GXZY-CX2017B007); 中国烟草总公司重点项目(110201502015)。

作者简介: 韦建玉(1974—), 女, 博士, 高级农艺师, 主要从事植烟土壤肥力研究。

通信作者: 周鑫斌, 博士, 副教授。

个采样点,所以采集的土壤样品大部分(约 90%)是重合的。为了反映烟田的真实肥力状态,土壤样品采集时间为烟草底肥施用前,样品土壤经过自然风干、研磨、过筛之后混匀保存,用于测定各项指标。

1.2 测定项目及方法

土壤样品均送由西南大学样品测试中心进行分析检测,测定项目为:pH 值、土壤有机质、碱解氮、速效磷、速效钾、有效硼、交换性镁、有效锌和水溶性氯,测定方法参考《土壤农化分析》^[4]。

1.3 土壤肥力综合评价方法

为全面评价土壤养分肥力状况,我们引入烟田土壤综合肥力指标值(Integrated Fertility Index, IFI)的概念,按照该值给土壤综合肥力划分等级,计算公式如(1):

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

式中: W_i 和 N_i 分别为第 i 种养分指标的权重系数和隶属度值,求得的 IFI 值的范围在 0~1 之间,值越大,说明土壤的养分肥力状况越好^[5]。

隶属度函数采用模糊统计得出,养分指标隶属度值的估算采用下述步骤。首先标准化处理各项肥力指标值,以避免或消除各指标数量级和单位差异产生的误差。两种类型的隶属度函数被本研究采用,分别为 S 型和抛物线型(图 1),公式(2)为 S 型隶属度函数表达式,公式(3)为抛物线型隶属度函数表达式。

$$f(x) = \begin{cases} 0.1 & x < x_1 \\ 0.1 + 0.9 \times (x - x_1) / (x_2 - x_1) & x_1 \leq x < x_2 \\ 1 & x \geq x_2 \end{cases} \quad (2)$$

$$f(x) = \begin{cases} 0.1 & x < x_1; x \geq x_2 \\ 0.1 + 0.9 \times (x - x_1) / (x_3 - x_1) & x_1 \leq x < x_3 \\ 1 & x_3 \leq x < x_4 \\ 0.1 + 0.9 \times (x - x_4) / (x_2 - x_4) & x_4 \leq x < x_2 \end{cases} \quad (3)$$

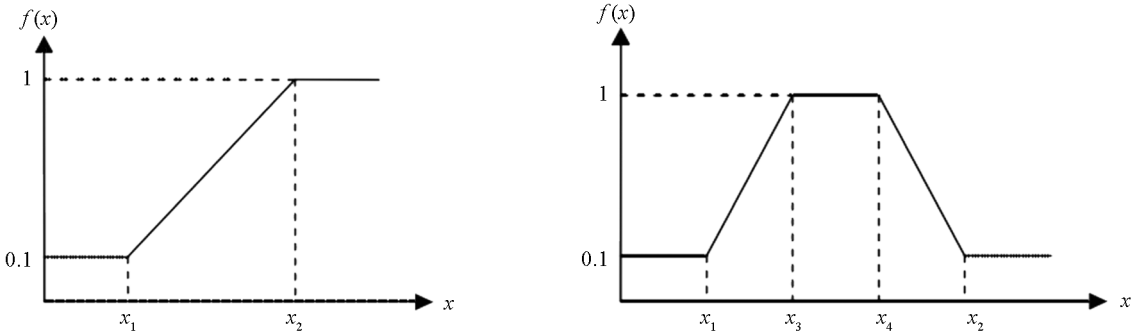


图 1 S 型和抛物线型隶属函数折线图

由于不同参评因子对土壤肥力状况贡献度不同,因此必需确定评价指标的权重,同时各个因子的标准化值需要使用权重进行修正。本研究应用偏相关分析方法在 SPSS 20.0 中计算出参评指标的相关系数矩阵,建立相关系数矩阵。从而明确不同肥力指标对土壤肥力的实际贡献率,以尽量避免其他因素带来的影响。

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ M & M & M & M \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

由相关系数矩阵求出其逆矩阵 R^{-1} :

$$R^{-1} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \cdots & c_{1m} \\ c_{21} & c_{22} & \cdots & c_{2m} \\ M & M & M & M \\ c_{m1} & c_{m2} & \cdots & c_{mn} \end{bmatrix}$$

由逆矩阵中的相关元素计算偏相关系数 r_{ij} :

$$r_{ij} = \frac{-c_{ij}}{\sqrt{c_{ii} \times c_{jj}}}$$

计算各因子与其他因子偏相关系数的平均值(R_i), 该单项肥力指标表征的土壤肥力贡献率是指该平均值所占所有肥力指标偏相关系数平均值之和($\sum R_i$)的百分率, 即土壤肥力因子的权重值^[5].

1.4 数据分析

采用 SPSS 20.0 软件对试验数据进行统计分析, 用 Excel 2010 软件制图.

2 结果分析

2.1 重庆市烟区植烟土壤肥力指标概况

以 2017 年采样数据进行分析, 重庆市烟区土壤肥力描述性指标如表 1 所示, 一般认为烤烟最适宜 pH 值范围在 5.5~7.0, 重庆市烟田 pH 值的变化范围为 3.77~8.62, 有部分烟田的土壤 pH 值已经低于 4, 酸化严重, pH<5.0 的酸性土壤占 29.0%, 烟田土壤有机质平均质量分数为 27.5 g/kg. 重庆植烟土壤的碱解氮质量分数为 156.8 mg/kg, 质量分数范围为 52.6~386.9 mg/kg, 其变异程度很大, 质量分数过高和过低同时存在. 土壤中速效磷平均质量分数为 41.8 mg/kg, 质量分数范围为 2.5~95.6 mg/kg, 变异系数 45.2%; 土壤中速效钾平均质量分数为 315.7 mg/kg, 质量分数范围为 19.0~589.3 mg/kg, 可以看出烟田土壤速效磷和速效钾的变异程度较大. 烟田土壤中有效锌质量分数为 2.26 mg/kg, 重庆植烟土壤有效硼的质量分数为 0.25 mg/kg, 有效硼的分布区间广泛, 变异系数为 61.7%, 有效硼分布不均匀. 从表 2 可以看出, 土壤 pH 值在 15 年后下降了 0.43 个单位, 水溶性氯下降了 3.0 mg/kg, 其他指标均有不同程度的增加.

表 1 重庆市烟区土壤肥力指标分析

项目	pH 值	有机质/ (g · kg ⁻¹)	碱解氮/ (mg · kg ⁻¹)	速效磷/ (mg · kg ⁻¹)	速效钾/ (mg · kg ⁻¹)	有效硼/ (mg · kg ⁻¹)	有效锌/ (mg · kg ⁻¹)	水溶性氯/ (mg · kg ⁻¹)	交换性镁/ (cmol · kg ⁻¹)
平均值	5.64	27.5	156.8	41.8	315.7	0.25	2.26	9.32	1.68
标准差	0.95	7.4	35.42	20.3	102.6	0.45	1.76	5.67	1.56
变幅	3.77~8.62	9.45~51.3	52.6~386.9	2.5~95.6	19.0~589.3	0.03~1.32	0.4~10.5	0.56~47.5	0.3~8.5
变异系数/%	16.82	28.7	36.7	45.2	54.5	61.7	45.7	43.6	24.2

表 2 重庆市植烟区主要土壤肥力指标历年变化

主要肥力指标	2002 年	2012 年	2017 年	2017 年与 2002 年相比增减值
pH 值	6.07	5.75	5.64	-0.43
有机质/(g · kg ⁻¹)	24.10	26.20	27.50	3.40
水溶性氯/(mg · kg ⁻¹)	12.32	9.41	9.32	-3.00
有效硼/(mg · kg ⁻¹)	0.36	0.23	0.25	-0.11
碱解氮/(mg · kg ⁻¹)	102.20	139.20	156.80	54.60
交换性镁/(cmol · kg ⁻¹)	1.98	1.56	1.68	-0.30
速效磷/(mg · kg ⁻¹)	15.20	31.20	41.80	26.60
有效锌/(mg · kg ⁻¹)	2.58	2.34	2.26	-0.32
速效钾/(mg · kg ⁻¹)	155.60	210.10	315.70	160.10

2.2 土壤肥力指标的隶属函数类型

根据烤烟研究资料和重庆烟田实际情况, 并结合专家建议, 综合确定各隶属函数的下限、下优、上优和上限, 将这些所测得的指标带入对应的表达式(2)或(3), 计算出每个采样点的隶属度值, 该值表示该指标在土壤中的质量分数状态, 隶属度小的指标可能是烟田的障碍因子, 需要针对性改良, 隶属度值越高表明越适宜烤烟生长(表 3).

表 3 各肥力评价指标所属隶属函数的类型及阈值

肥力指标	隶属函数	下限	下优	上优	上限
pH 值	抛物线型	5	5.5	7	8
有机质/(g·kg ⁻¹)	抛物线型	15	20	35	45
水溶性氮/(mg·kg ⁻¹)	抛物线型	5	10	30	40
全氮/(g·kg ⁻¹)	抛物线型	0.5	1	2	2.5
碱解氮/(mg·kg ⁻¹)	抛物线型	65	100	180	240
全磷/(g·kg ⁻¹)	S 型	0.5			1.5
速效磷/(mg·kg ⁻¹)	S 型	10			40
全钾/(g·kg ⁻¹)	S 型	10			25
速效钾/(mg·kg ⁻¹)	S 型	80			350

2.3 土壤肥力综合评价

首先计算某肥力因子 i 与其他因子偏相关系数的平均值 A_i , 再计算出 A_i 占有偏相关系数平均值之和的百分比, 以表示土壤各肥力指标对土壤肥力的贡献率, 即得出各项肥力指标的权重值(W_i). 结果如表 4 所示, 各权重系数总和为 1. 由表 4 可见, 有机质的权重值达到了 0.180 0, 表明有机质是提高土壤肥力的关键, 其次是 pH 值, 权重为 0.161 8, 碱解氮、速效磷、交换性镁、有效硼依次递减, 有效锌对土壤肥力的贡献率最小.

表 4 各项肥力指标的权重值

pH 值	速效钾	速效磷	碱解氮	有机质	水溶性氮	有效硼	交换性镁	有效锌
0.161 8	0.073 1	0.106 9	0.121 4	0.180 0	0.074 4	0.105 0	0.116 0	0.061 4

将土壤肥力综合指标值分为 5 个等级, 即 I 级的 $IFI \geq 0.8$ 为高, II 级的 $0.6 \leq IFI < 0.8$ 为较高, III 级 $0.4 \leq IFI < 0.6$ 时为中等, IV 级 $0.2 \leq IFI < 0.4$ 时较低, V 级 $IFI < 0.2$ 时肥力低. 由表 5 可以看出, 重庆市植烟土壤综合肥力指数平均值是 0.69, 说明重庆市土壤肥力为中等较高水平, 其变异系数 17.71%, 说明烟田土壤养分肥力水平分布不均匀. 土壤肥力综合指数较高占 63.53%, 极高的占 16.63%, 可见重庆市的植烟土壤养分总体上处于丰富水平. 2012 年和 2017 年综合肥力指数均为高(表 6), 而 2002 年综合肥力指数为中等.

表 5 重庆植烟土壤综合肥力指数历年变化

采样年份	平均值	中位数	标准差	方差	变幅	$cv/\%$
2017 年	0.69	0.72	0.15	0.02	0.14~0.93	17.71
2012 年	0.61	0.68	0.14	0.02	0.13~0.86	15.68
2002 年	0.55	0.58	0.13	0.02	0.11~0.82	14.75

表 6 重庆植烟土壤养分肥力等级及其所占比例(2017 年)

养分肥力等级	极低	低	中等	高	极高
	$IFI < 0.2$	$0.2 \leq IFI < 0.4$	$0.4 \leq IFI < 0.6$	$0.6 \leq IFI < 0.8$	$IFI \geq 0.8$
不同等级比例/ $\%$	0.05	3.25	16.54	63.53	16.63

养分肥力综合指数如表 7 所示, 不同植烟区县植烟土壤养分肥力水平差异有统计学意义, 12 个植烟县中以彭水县、武隆区、丰都县、涪陵区和巫溪县的植烟土壤养分肥力最高, IFI 分别为 0.77, 0.76, 0.76, 0.70 和 0.69, 土壤肥力适宜(高和极高)的土壤占 80% 以上. 万州区土壤养分综合指数 IFI 最低, 为 0.53, 仅 56.4% 土壤属较高肥力水平.

表 7 不同植烟县的综合肥力指数及其土壤适宜性比例

区/县	IFI	不同肥力水平土壤所占比例/%				
		V 级	IV 级	III 级	II 级	I 级
武隆	0.76 a	0	0.53	9.80	60.20	29.47
丰都	0.76 a	0	1.21	8.55	64.57	25.67
涪陵	0.70 ab	0	2.24	16.58	63.54	17.64
巫溪	0.69 ab	0	2.23	17.52	60.25	20.00
巫山	0.62 b	0.15	5.32	16.85	54.87	22.81
奉节	0.62 b	0.12	6.34	18.52	45.37	29.65
黔江	0.63 b	0	2.52	18.54	66.51	12.43
彭水	0.77 a	0	2.98	15.24	72.58	9.20
石柱	0.66 b	0	4.25	19.85	62.44	13.46
酉阳	0.69 b	0	2.54	18.56	68.52	10.38
南川	0.62 c	0	8.87	24.24	63.25	3.64
万州	0.53 d	0	15.24	28.36	43.25	13.15

3 讨 论

烟区土壤肥力的综合评价可为烤烟精准施肥和烟草品种改良提供依据。土壤肥力综合评价指标体系, 主要考虑对烟草生长影响较大的土壤因素。本课题组以往研究证实, 土壤综合肥力指数 *IFI* 与烟叶产量、产值、均价、上等烟产量的正相关关系均极有统计学意义, 模糊综合评价法得出的重庆烟田土壤肥力指标具有重要的现实意义, 对于植烟土壤肥力状况的评价是可行的^[5]。土壤肥力综合指数评价结果可为重庆市烟草可持续发展提供可靠的理论及实践依据。比如在土壤综合肥力较高的地区有针对性采用降低肥料用量措施和引种耐肥性较高的品种; 对土壤综合肥力较差的地区采用有机肥增施培土, 适当增加肥料用量改善土壤养分状况, 引进推广肥料吸收能力较好的烟草品种。

重庆市土壤肥力总体为较高水平, 但烟田还存在一系列问题, 比如变异系数 17.71%, 说明烟田土壤养分肥力水平分布不均匀。植烟土壤常年连作 15 年 pH 值下降了 0.43 个单位, 水溶性氯下降了 3.0 mg/kg, 其他指标均有不同程度的增加。张福锁团队成员在《Science》上报道了我国主要农田出现显著酸化现象, 农田耕作 20 年, pH 值平均下降了约 0.5 个单位, 重庆市植烟土壤酸化面积大, pH < 5.0 的强酸性土壤占 29.0%, 在秦巴山区如黔江、石柱等区县强酸性烟田所占的比例较大。烟田土壤酸化的原因已基本明确, 烤烟每年吸收带走的盐基阳离子(K⁺, Ca²⁺ 和 Mg²⁺ 等)没有得到有效的归还, 氮肥滥用也促使了土壤酸化的加剧, 这为防治烟田进一步酸化提供了坚实的理论基础。烟秆和烟叶每年带走了土壤中大量的钙镁, 却没有及时得到归还, 致使烟田土壤中交换性钙镁离子缺乏。表 2 可见, 2017 年重庆烟区土壤重交换性钙离子质量分数比 10 年前减少了 4.32 cmol/kg, 且整个重庆市植烟区交换性钙质量分数缺乏^[6]。防治烟田酸化本项目组采用分类治理的策略, 即对于 pH 值在 5.0~5.5 的烟田, 推荐施用钙镁磷肥、硅钙肥和生物炭等弱碱性物料, 同时可以归还烟田钙和镁元素来改善烟田土壤酸性。对于 pH < 5.0 的烟田, 推荐采用生石灰进行改良, 具体是在整地前撒施 750 kg/hm², 起垄前 30 天撒施 750 kg/hm², 烟草移栽期 60 天翻压。

重庆烟区土壤 90% 以上有机质质量分数超过 15 g/kg, 与国外一些优质烟叶生产国相比, 其质量分数偏高, 如美国北卡罗来纳州烟区有机质低于 15 g/kg 的土壤占 80% 以上^[7]。土壤有机质与土壤供氮能力呈正相关, 重庆烟区土壤有机质矿化后能为烟草提供大量氮素, 特别是烟草生长后期高温高湿的环境条件下, 大量供应氮素使烟草贪青晚熟, 上中部烟叶烟碱质量分数提高, 大幅度降低烟叶吸味品质; 相反, 有机质质量分数过低则使烤烟香气量不足, 因此适宜重庆烟田的土壤有机质质量分数范围还有待进一步研究。重庆植烟区县缺磷和磷丰富的土壤并存, 磷主要参与植物新陈代谢过程, 促进部分重要化合物的合成, 增强烟株抗逆能力, 提高烟叶品质^[8]。重庆市万州和酉阳土壤磷质量分数较低, 对于该地区土壤应注重增施磷肥, 以满足烟草正常新陈代谢和品质形成的需要。重庆山地烟区多雨, 钙镁淋失也非常严重, 而镁的补充往往被农户所忽视, 导致重庆植烟土壤镁质量分数严重缺乏。严重缺钙镁的土壤主要为酸性土壤, 也是土传病

害易发区,建议施用土壤调理剂(富含活性钙镁如硅钙肥、钙镁磷肥等)或增加生物有机肥施用量,在补充钙镁元素的同时,对土壤生物肥力进行修复和重建.在烟田大面积生产中,考虑在提苗肥或追肥时施用硝酸钙、硫酸钾镁肥等,可以协调平衡烟草氮、钾、钙和镁营养;烟草是需硼较多的作物,随着氮、磷和钾大量元素的大量施用,土壤有效硼不足已成为限制烤烟产质量的重要因素之一,硼元素主要生理功能是参与糖的转运与代谢,缺硼对烟株主根和侧根生长影响最大,由于根系受阻,烟叶中烟碱质量分数和糖分合成均受阻碍^[9].从土壤有效硼来看,重庆市烟田土壤有效硼质量分数较 10 年前显著降低,所以重庆市烟区更应该注重硼肥的施用,通过土壤施用硼砂等补充硼(注意不能连年用),应根据不同的土壤特性及养分情况选择相应的措施.硼肥施用在酸性砂质土壤中易淋失而降低肥效,在黏土中肥效可持续数年.推荐 3.75~7.5 kg/hm² 作基肥,或 0.2% 在团棵期进行叶面喷施,或在烤烟专用复合肥中加 0.5% 硼砂.重庆市烟田土壤肥力总体状况较好,根据烟田实际情况调整烟草专用肥配方,严格控制氮肥用量,因地制宜调整磷钾配比,微量元素因缺补缺,构建基于基地单元土壤肥力的“大配方”施肥方案.根据不同区县或种植单元土壤养分质量分数调整氮磷钾比例,实现种植单元“小调整”.在肥料配方上多样化,设置高磷、中磷、低磷以及高钾、中钾、低钾配方,改变目前生产上 1 个配方的局面,增加配方肥种类,做到因地制宜施用肥料,实现按区域平衡施肥^[5].

氯对于烟草品质具有重要作用,烟草需要适当施氯,氯能够增加烟叶的弹性和油润性^[10].植烟土壤水溶性氯一直呈现下降趋势,与 15 年前相比,土壤水溶性氯下降了 3.0 mg/kg 单位,其变异系数为 43.6%,属于强变异性.结合重庆地区土壤现状,烟草生长所需水溶性氯最佳质量分数在 10~30 mg/kg 之间^[11].土壤中水溶性氯易随水流失,重庆市水溶性氯小于 10 mg/kg 的土壤所占比例为 63.5%,水溶性氯偏低的植烟区县有万州、巫山、巫溪和奉节等区县,这些地区急需补充氯.由于烟草对氯特别敏感,为防止氯化钾的施用不当,建议在烟草配方肥中每 50 kg 配入 3~5 kg 氯化钾为宜,这样可以满足烟草对氯的需要,又可防止氯化钾施用不当对烟草造成不良影响^[12].

烟田土壤肥力主要是指烟田土壤中各种养分的供应能力,是土壤物理、化学和生物因子作用于土壤的综合体现^[13-14].本研究仅采用单一的统计方法对重庆市植烟土壤土壤肥力进行了综合评价,尚存在不完善的地方,比如是否需要考虑生物指标,是土壤肥力工作者一直思考的问题,由于生物指标受环境的影响较大,到目前为止,还未见在综合评价时考虑土壤生物指标的报道,因此今后应加强综合、全面评价土壤肥力指标方面的研究.土壤肥力评价还应该将当地气候、栽培水平等因素加以综合考量,以便更好地为烤烟综合养分管理提供科学参考依据.

4 结 论

1) 重庆市植烟土壤肥力因子变异强度较大,多处于中等至强的变异强度,土壤速效磷、速效钾和有效锌变异强度较大.

2) 对土壤综合肥力指数贡献最大的为有机质,其次是碱解氮、pH 值、有效硼、速效磷,贡献最低的是有效锌.

3) 重庆市植烟区县整体土壤肥力较为适宜,不同区县对于土壤肥力水平较低的烟田需加强测土配方施肥,采用综合养分管理技术,进一步提升烟田地力水平.

参考文献:

- [1] 曹志洪. 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.
- [2] 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]. 中国烟草学报, 2003, 9(B11): 30-35.
- [3] 罗建新, 石丽红, 龙世平. 湖南主产烟区土壤养分状况与评价 [J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2005, 31(4): 376-380.
- [4] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [5] 梁 红. 重庆植烟土壤肥力特征及评价 [D]. 重庆: 西南大学, 2014.
- [6] ZHANG Y T, HE X H, ZHAO J, et al. Soil Acidification under Long-Term Tobacco Plantation Results in Alterations of Mineralogical Properties in an Alisol [J]. Archives of Agronomy and Soil Science, 2016, 62(7): 1033-1040.

- [7] 晋 艳, 杨宇虹, 华水金, 等. 低温胁迫对烟草保护性酶类及氮和碳化合物的影响 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2007, 32(3): 74-79.
- [8] 汪邓民, 龚文丰, 吴福如, 等. 覆膜条件下氮磷肥对土壤理化性质、酶活性及烟草生长的影响 [J]. 烟草科技, 2004, 37(6): 33-36.
- [9] 冯晓红, 杨宇虹. 硼在烟草生产中的应用研究进展 [J]. 作物研究, 2012, 26(2): 197-200.
- [10] 刘洪斌, 毛知耘. 烤烟的氯素营养与含氯钾肥施用 [J]. 西南农业学报, 1997, 10(1): 102-107.
- [11] 杨林波, 刘洪祥, 章新军, 等. 氯素营养对黔北烟区烤烟产量和品质的效用研究 [J]. 中国烟草科学, 2002, 23(1): 21-24.
- [12] 李明德, 肖汉乾, 汤海涛, 等. 湖南烟区土壤含氯状况及烤烟施氯效应 [J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(1): 44-50.
- [13] 骆东奇, 白 洁, 谢德体. 论土壤肥力评价指标和方法 [J]. 土壤与环境, 2002, 11(2): 202-205.
- [14] 周鑫斌, 徐 宸, 苏婷婷, 等. 有机堆肥对黄壤烟田培肥效应研究 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2017, 39(3): 164-169.

Comprehensive Evaluation of Soil Fertility in Flue-Cured Tobacco-Growing Areas of Chongqing

WEI Jian-yu¹, HUANG Chong-jun¹, JIN Ya-bo¹,
LI Cheng-rong¹, SHI Xiao-jun², LIANG Hong², ZHOU Xin-bin²

1. China Tobacco Guangxi Industry Corporation Limited, Nanning 530001, China;

2. School of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400715, China

Abstract: The principle of fuzzy mathematics and the method of partial correlation analysis were used to calculate the *IFI* (integrated fertility index) of the flue-cured tobacco growing areas in Chongqing, with which the situation of soil fertility in these areas was comprehensively analyzed and evaluated. The results were as follows. The soil fertility factors of tobacco-growing areas in Chongqing are mostly of medium or strong variation intensity, and the variation intensity of available phosphorus, available potassium and available zinc is relatively great. The most important contribution to the soil fertility index is made by organic matter, followed in order by alkali hydrolyzed nitrogen, pH, available boron and available phosphorus. Available zinc makes the least contribution. Compared with the situation of 15 years ago, soil pH, water soluble Cl, available B, available Zn and available Mg have decreased, while the other factors have risen in different extents. In a word, the overall soil fertility index of Chongqing tobacco planting areas is relatively high, but the the nutrient mass fraction varied greatly in different districts and counties. Therefore, it is necessary to strengthen the soil testing formula fertilization and adopt comprehensive nutrient management technology so as to improve the level of soil fertility and promote the sustainable and healthy development of the tobacco industry in Chongqing.

Key words: flue-cured tobacco-growing area; comprehensive evaluation; soil fertility; Chongqing