DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2015.03.014

云南省罗平县烟区土壤肥力适宜性评价及养分时空变异特征①

王育军[1]，周冀衡[1*]，孙书斌[1]，张一扬[1]，柳　立[1]，刘晓颖[1]，赵　杰[2]

(1 湖南农业大学烟草研究院，长沙　410128；2 云南省曲靖市烟草公司罗平县分公司，云南罗平　655800)

摘　要：为提高云南省罗平县烟区烤烟施肥的针对性，于 2008 年和 2014 年对烟区 355 个植烟土壤样点进行跟踪取样，运用肥力适宜性指数(*SFI* 值)，对土壤肥力适宜性进行综合评价，研究了土壤养分的时空变异特征。结果表明：①罗平烟区土壤 pH 和速效磷、速效钾、有效锌、有效硼含量适宜，有机质、碱解氮、有效镁和水溶性氯含量偏高；②罗平烟区大部分土壤处于“较好”和“中等”水平，肥力适宜性指数平均值为 0.762 9，土壤肥力状况良好；③各乡镇土壤肥力适宜性表现出大水井乡＞板桥镇＞九龙镇＞罗雄镇＞阿岗镇＞马街镇＞钟山乡＞旧基屋乡＞老厂乡＞富乐镇的趋势；④2008—2014 年，烟区土壤有机质含量整体降低，pH 和碱解氮、速效磷、速效钾、有效锌、有效镁、有效硼、水溶性氯含量以及肥力适宜性指数有所增高。

关键词：植烟土壤；肥力；适宜性评价；时空变异；云南罗平

中图分类号：S15

土壤是作物生长的媒介，作物生长发育所需的矿质养分主要来自于土壤[1]，适宜的土壤条件是作物优质适产的基础[2]。然而，土壤是一个随时间和空间不断变化的动态系统，受自然、社会和经济等多种因素的影响，其养分状况具有高度异质性，因此，土壤特性的时空变异研究越来越受到人们的重视[3]。烤烟是一种适应性较广的作物，其在不同肥力的土壤条件下均可以生长发育，但烟叶内在品质对土壤肥力的反应非常敏感，烤烟生长需要适宜养分含量的土壤，烟叶质量与土壤养分水平有着密切的关系[4–5]。植烟土壤肥力适宜性评价是指通过对某区域内各土壤肥力因素的综合评价来确定其对烤烟种植的适宜程度，它既是掌握某区域土壤肥力状况的有效手段，又是优质烤烟生产规划的一个重要依据，同时，它还可以为烟田土壤的改良、保育及持续发展提供参考[6]。我国在烟田土壤养分空间变异方面开展的研究很多[7–14]，但涉及动态变化的却甚少。这里我们以云南省罗平县植烟土壤为研究对象，利用模糊数学理论并结合地统计学和 GIS 技术的方法，对该烟区 2014 年的土壤养分状况及肥力适宜性进行分区评价，研究了土壤肥力的空间分布规律，并结合 2008 年的测土结果，对烟区土壤肥力的年度变化情况进行了分析，旨在为罗平县优质烤烟的生产和植烟土壤的养分管理提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　研究区域概况

云南省罗平县地跨 103°57′～104°43′E、24°31′～25°25′N，坐落于滇、桂、黔三省结合处，位于世界烤烟种植黄金走廊和 23.2°31′～25°25′N 云南黄金走廊生态特色烟区内，下辖 6 镇 6 乡共 148 个村(居)委会，总人口 58.04 万，总面积 3 018 km^2，境内地形复杂，海拔差异大，地势西北高、东南低(图 1)，平均海拔 1 480 m，夏无酷暑，冬无严寒，属于典型的热带季风气候，年均气温 15.1℃，年均降雨量 1 743.9 mm，年均相对湿度 85%，年均日照时数 1 685.5 h，年均无霜期 280 天左右。全县总耕地面积 $10.1 \times 10^4 hm^2$，常年植烟面积在 $6.0 \times 10^3 hm^2$ 以上，土壤类型以红壤(湿润富铁土、淋溶土和雏形土) 和黄壤 (常湿淋溶土、雏形土、富铁土) 为主，宜于优质烤烟的生产。罗平烟叶是国内外卷烟工业企业争相抢购的特色优质烟叶，目前年均产量达 3.5 万 t，是云南省乃至全国最大的烟叶产区之一。

1.2　样品采集

2008 年 4 月，由湖南农业大学烟草研究院的驻

①基金项目：曲靖市精益烟叶生产研究与应用项目(QJ201416)和曲靖市天香特色优质烟叶研究与开发项目(09YN025)资助。

* 通讯作者(jhzhou2005@163.com)

作者简介：王育军(1988—)，男，湖南岳阳人，硕士研究生，主要从事烟草栽培与生理生化研究。E-mail: 375319438@qq.com

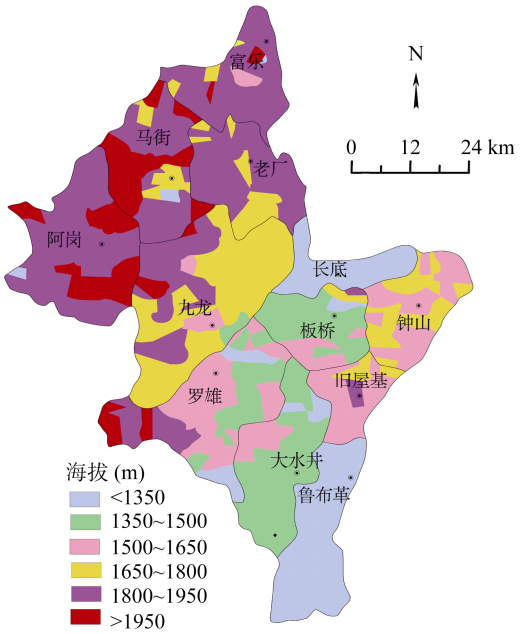

图 1 罗平县行政区划及高程
Fig. 1 Administrative regions and elevation of Luoping County

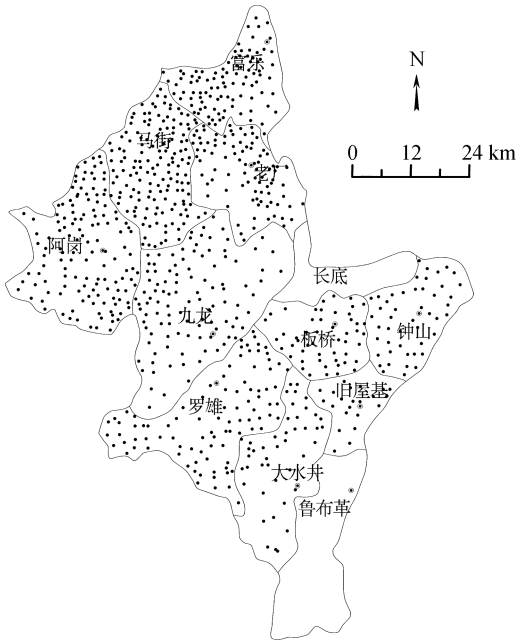

图 2 土壤取样分布图
Fig. 2 Distribution of soil samples

点专家和罗平县烟草公司生产科专职人员，依据海拔、地形、母质类型、土壤类型及以往烟叶长势状况等因素，确定典型烟田，在典型烟田内采用 GPS 定位技术，在全县的 10 个种烟乡镇区域内布置 355 个取样点(图 2)。为反映土壤的真实状况及供肥能力，在烤烟移栽前，按照 5 点取样规则采集 0 ~ 20 cm 耕层土壤，每个取样点采集 2 kg 混合土样，用四分法取 1 kg，经烘干、研磨、清理杂质和过筛后装瓶备用。试验中 2014 年的土壤样品是在 2008 年的基础上进行跟踪取样，取样方法和取样地点与 2008 年保持一致。

1.3 测定项目与方法

土壤样品统一寄送湖南农业大学烟草研究院进行分析检测，检测指标包括 pH、有机质、碱解氮、速效磷、速效钾、有效锌、有效镁、水溶性氯和有效硼，测定方法详见参考文献[15]。

养分变异系数 =(标准差/平均值)×100%，其中按＜10%、10% ~ 100% 和＞100% 将变异系数分为弱变异、中等变异和强变异[16]。

1.4 植烟土壤养分含量适宜性评价

参照中国植烟土壤养分评价标准[17]和相关研究[7−14]，制定土壤养分丰缺评价体系(表 1)，对各乡镇、县的土壤养分状况进行适宜性评价。

表 1 植烟土壤养分含量丰缺评价标准
Table 1 Evaluation criteria of nutrient contents of tobacco-planting soils

指标	偏低		适宜	偏高	
	很低	低		高	很高
pH	≤5.0	5.0 ~ 5.5	5.5 ~ 7.0	7.0 ~ 7.5	≥7.5
有机质 (g/kg)	≤15	15 ~ 25	25 ~ 35	35 ~ 45	≥45
碱解氮 (mg/kg)	≤30	30 ~ 60	60 ~ 120	120 ~ 150	≥150
有效镁 (mg/kg)	≤50	50 ~ 100	100 ~ 200	200 ~ 400	≥400
水溶性氯 (mg/kg)	≤2	2 ~ 5	5 ~ 25	25 ~ 40	≥40
速效磷 (mg/kg)	–	≤10	10 ~ 40	≥40	–
速效钾 (mg/kg)	–	≤80	80 ~ 350	≥350	–
有效锌 (mg/kg)	–	≤1.0	5.0	≥5.0	–
有效硼 (mg/kg)	–	≤0.2	0.2 ~ 1.5	≥1.5	–

1.5 数据处理与分析

土壤肥力适宜性指数(soil fertility index, *SFI*)根据隶属度函数模型指数和方法确定，计算公式为：$SFI_i=\sum_{j=1}^{m}W_{ij}N_{ij}(i=1,2,\cdots,n;j=1,2,\cdots,m)$，式中 N_{ij} 和 W_{ij} 分别表示第 i 个样品的第 j 个土壤养分指标的隶属度值和对应的权重系数($0<N_{ij}\leq1$，$0\leq W_{ij}\leq1$，且满足 $\sum_{j=1}^{m}W_{ij}=1$)。本文根据主成分分析方法确定各土壤肥力指标的权重[2]，在 ArcGIS 9.3 中应用地统计学模块(geostatistical analyst)，建立研究区域土壤肥力适宜性指数的空间分布图[18]，采用 SPSS 19.0 和 Excel 等统计学软件进行相关数据分析。

2 结果与分析

2.1 2014 年养分含量的总体特征

由土壤养分含量的统计特征(表 2)可知，罗平烟区土壤 pH 和速效磷、速效钾、有效锌、有效硼含量适宜，适宜比例分别为 56.33%、57.18%、77.46%、80.28% 和 97.18%；有机质、碱解氮、有效镁和水溶性氯含量偏高，偏高比例分别为 68.73%、86.19%、77.46% 和 49.58%；从变异系数来看，各养分指标的变异系数均在 10%～100%，为中等强度变异，以 pH 的变异程度最小，有效硼的变异程度最大。

表 2　2014 年罗平县植烟土壤养分含量的描述性分析

Table 2　Descriptive analysis of nutrient contents of tobacco-planting soils of Luoping County in 2014

指标	样品数	均值±标准差	变幅	变异系数(%)	适宜比例 (%)		
					偏低	适宜	偏高
pH	355	6.66 ± 0.82	4.16 ~ 8.06	12.31	12.41	56.33	31.26
有机质(g/kg)	355	41.80 ± 15.03	4.20 ~ 164.13	35.95	8.17	23.10	68.73
碱解氮(mg/kg)	355	169.68 ± 44.59	51.74 ~ 372.95	26.27	0	13.81	86.19
速效磷(mg/kg)	355	39.09 ± 28.99	1.20 ~ 217.54	74.16	7.90	57.18	34.92
速效钾(mg/kg)	355	305.78 ± 124.19	62.00 ~ 882.89	40.61	3.11	77.46	19.43
有效锌(mg/kg)	355	3.52 ± 2.28	0.42 ~ 22.10	64.77	3.1	80.28	16.62
有效镁(mg/kg)	355	352.68 ± 217.61	33.34 ~ 2 365.31	61.70	1.69	20.85	77.46
有效硼(mg/kg)	355	0.53 ± 0.42	0.05 ~ 3.03	79.24	0	97.18	2.82
水溶性氯(mg/kg)	355	28.36 ± 14.26	7.00 ~ 116.55	50.28	0	50.42	49.58

2.2 2014 年养分含量的区域特征

由表 3 可知，土壤 pH 除大水井乡稍高外，其他乡镇均在适宜的范围内；有机质、碱解氮、有效镁和水溶性氯在各乡镇均偏高，已经超出了适宜植烟的范围，其中有机质以马街镇最高，富乐镇次之，这两个乡镇差异不显著，但都显著($P<0.05$)高于其他乡镇，钟山乡最低；碱解氮以旧基屋乡最高，马街镇次之，阿岗镇最低；有效镁以旧基屋乡最高，大水井乡次之，阿岗镇最低；水溶性氯以板桥镇最高，富乐镇次之，大水井乡最低；速效磷以旧基屋乡最高，板桥镇次之，阿岗镇最低，其中旧基屋乡、板桥镇、马街镇、九龙镇和钟山乡含量偏高，其他乡镇含量适宜；速效钾、有效锌和有效硼在罗平县各植烟乡镇均处在非常适宜的范围内，其中速效钾以旧基屋乡最高，大水井乡次之，罗雄镇最低；有效锌以富乐镇最高，马街镇次之，大水井乡最低；有效硼以马街镇最高、钟山乡次之，阿岗镇最低。

2.3 土壤肥力适宜性评价及空间分布特征

根据专家建议和以往研究[19–20]，选取对土壤肥力影响较大的 pH、有机质、碱解氮、速效磷、速效钾、有效镁、有效硼、有效锌和水溶性氯共 9 项指标，作为评价罗平县烟区土壤肥力的因子。利用隶属函数公式计算各参评指标的隶属度值，使各土壤肥力指标的原始数据转化为 0～1 分布的、无量纲差异的数值。常用于综合评价的隶属函数类型主要有 S 型、反 S 型和抛物线型 3 种，其中土壤 pH、有机质、碱解氮、有效镁和水溶性氯的函数类型均为抛物线型，函数表达式为：

$$f(x)=\begin{cases}0.1, x\leqslant x_1, x\geqslant x_4\\ 0.9\times(x-x_1)/(x_2-x_1)+0.1, x_1<x<x_2\\ 1.0, x_2\leqslant x\leqslant x_3\\ 1.0-0.9\times(x-x_3)/(x_4-x_3), x_3<x<x_4\end{cases}\quad(1)$$

土壤速效磷、速效钾、有效硼和有效锌的函数类型均为 S 型，函数表达式为：

$$f(x)=\begin{cases}1.0, x\geqslant x_4\\ 0.9\times(x-x_1)/(x_4-x_1)+0.1, x_1<x<x_4\\ 0.1, x\leqslant x_1\end{cases}\quad(2)$$

式中：x 为各土壤肥力指标的实际测量值，x_4 和 x_1

表 3 罗平县各乡镇植烟土壤养分含量状况
Table 3 Contents of soil nutrients in Luoping County

地区	样品数	pH	有机质(g/kg)	碱解氮(mg/kg)	速效磷(mg/kg)	速效钾(mg/kg)
阿岗镇	50	5.92 ± 0.88d	42.51 ± 21.16abcd	140.53 ± 33.39ce	25.50 ± 16.09d	209.84 ± 126.99de
板桥镇	40	6.99 ± 0.77ab	38.54 ± 11.56bcd	151.99 ± 40.97cde	52.08 ± 23.66ab	300.05 ± 119.21abc
大水井乡	23	7.06 ± 0.50a	36.31 ± 14.73cd	159.01 ± 45.64bcde	31.27 ± 19.16bcd	311.01 ± 130.97ab
富乐镇	24	6.57 ± 0.64bc	46.17 ± 13.60ab	172.75 ± 32.84abcd	30.52 ± 19.56bcd	256.45 ± 93.02bcde
九龙镇	40	6.45 ± 0.77cd	41.04 ± 11.62bcd	166.44 ± 38.21abcde	42.94 ± 34.58abc	286.88 ± 137.29abcd
旧屋基乡	24	6.83 ± 0.87ab	44.79 ± 13.08abc	186.53 ± 77.93a	55.97 ± 32.47a	343.74 ± 85.83a
老厂乡	29	6.42 ± 0.64cd	45.81 ± 13.22abc	169.60 ± 32.27abcd	27.68 ± 18.91cd	267.05 ± 8.84bcd
罗雄镇	43	6.85 ± 0.45ab	40.36 ± 9.28bcd	174.38 ± 36.65abc	33.65 ± 19.28bcd	209.21 ± 94.61e
马街镇	49	6.35 ± 0.95cd	53.19 ± 16.85a	175.64 ± 45.32ab	51.66 ± 46.18ab	219.19 ± 131.12cde
钟山乡	33	6.55 ± 0.20bc	34.56 ± 7.75d	147.66 ± 26.90cde	40.75 ± 17.94abcd	307.24 ± 126.35ab

地区	样品数	有效锌(mg/kg)	有效镁(mg/kg)	有效硼(mg/kg)	水溶性氯(mg/kg)
阿岗镇	50	2.91 ± 0.34b	225.47 ± 152.04eg	0.28 ± 0.13e	26.68 ± 12.15cd
板桥镇	40	3.48 ± 0.65ab	425.75 ± 193.24cd	0.37 ± 0.18cde	39.06 ± 22.19a
大水井乡	23	2.85 ± 0.45b	568.26 ± 180.91b	0.34 ± 0.21de	21.79 ± 6.87d
富乐镇	24	4.21 ± 1.02a	282.33 ± 91.77efg	0.53 ± 0.40bcd	36.01 ± 12.38ab
九龙镇	40	3.66 ± 1.01ab	348.97 ± 138.95cdef	0.61 ± 0.42bc	25.77 ± 13.01cd
旧屋基乡	24	3.82 ± 0.27ab	683.71 ± 546.71a	0.42 ± 0.15bcde	31.29 ± 11.85abc
老厂乡	29	3.39 ± 0.32ab	359.47 ± 216.47cde	0.42 ± 0.22bcde	21.96 ± 8.31d
罗雄镇	43	3.67 ± 0.56ab	325.75 ± 126.15cdefg	0.36 ± 0.17cde	29.55 ± 10.73bcd
马街镇	49	4.13 ± 1.28a	252.76 ± 101.26efg	1.06 ± 0.65a	25.04 ± 10.02cd
钟山乡	33	2.98 ± 0.31b	438.52 ± 205.96c	0.65 ± 0.24b	26.66 ± 16.65cd

注：同列数据小写字母不同表示地区间差异达到 $P<0.05$ 显著水平。

表示各指标的上、下临界值，x_3 和 x_2 为各指标的上、下限最优值。参照以往研究[7–15]，确定各土壤肥力指标的隶属度函数类型和阈值(表 4)。将土壤样品各指标的实测值代入公式(1)~公式(2)，计算各参评指标的隶属度，并基于转化后的隶属度值进行主成分分析，求出罗平县烟区各土壤肥力指标的权重值(表 4)。由表 4 可知，有机质和碱解氮含量的权重较大，水溶性氯含量的权重较小。

由主成分分析结果(表 5)可知，以特征值大于 1，共提取了 3 个主成分，累积方差贡献率为86.374%(＞85%)，说明前 3 个公因子基本包含了全部变量的主要信息。因此，选择前 3 个因子为主因子具有代表性，也说明表 4 中各指标的权重值较准确，能够反映罗平县植烟土壤的实际情况。

表 4 土壤养分指标的隶属函数类型、阈值及权重
Table 4 Function types, inflection points and weight value of soil nutrient index

阈值	抛物线型					S 型			
	pH	有机质 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	有效镁 (mg/kg)	水溶性氯 (mg/kg)	速效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	有效硼 (mg/kg)	有效锌 (mg/kg)
X_1	5.0	15	30	50	2	10	80	0.2	1.0
X_2	5.5	25	60	100	5				
X_3	7.0	35	120	200	25				
X_4	7.5	45	150	400	40	40	350	1.5	5.0
公因子方差	0.569	0.734	0.727	0.581	0.297	0.698	0.562	0.496	0.418
权重	0.111 9	0.144 5	0.143 1	0.114 4	0.058 1	0.137 4	0.110 6	0.097 7	0.082 3

表 5　因子分析的总方差解释

Table 5　The extraction sums squared loadings of factor analysis

因子	1	2	3	4	5	6	7	8	9
初始特征值	4.180	2.062	1.171	0.840	0.348	0.235	0.093	0.060	0.011
方差的百分比	46.443	22.915	17.016	5.332	3.862	2.611	1.038	0.665	0.118
累积百分比	46.443	69.358	86.374	91.706	95.568	98.179	99.217	99.882	100.000

根据土壤肥力适宜性指数的频率分布特征(图 3)，按 *SFI* 分值≥0.9、0.75～0.9、0.60～0.75 和≤0.6，将土壤肥力适宜性分为好(Ⅰ级)、较好(Ⅱ级)、中等(Ⅲ级)和稍差(Ⅳ级)4 个档次。由肥力适宜性评价结果(图 4，表 6)可知，全县植烟土壤肥力适宜性为“较好”(42.25%) 和“中等”(39.15%) 的区域较大，在各乡镇均有分布，但主要集中在罗平县的中部和东北部；为“好”(12.68%) 和“稍差”(5.92%) 的区域较少，分别零星分布在除旧基屋乡和除大水井乡的各乡镇；肥力适宜性指数平均值为 0.762 9，处在“较好”范

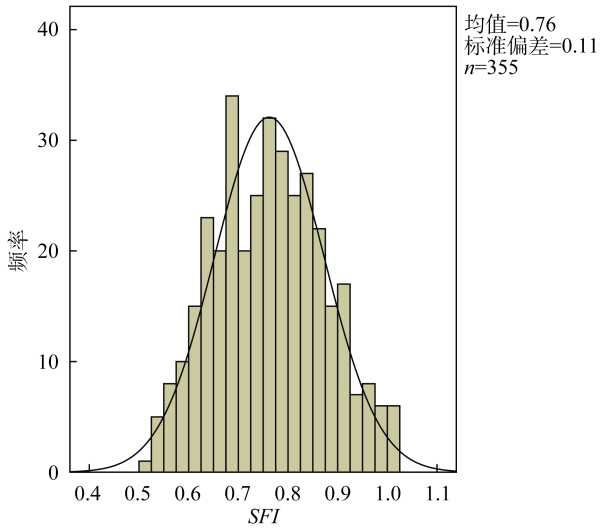

图 3　土壤肥力适宜性指数的频率分布

Fig. 3　Distribution of frequency of soil *SFI*

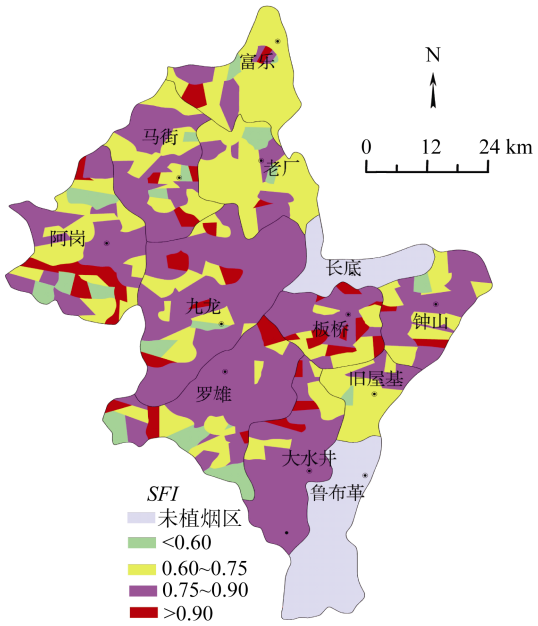

图 4　土壤肥力适宜性指数的空间分布

Fig. 4　Spatial distribution of soil *SFI*

表 6　罗平县植烟土壤肥力适宜性评价

Table 6　Comprehensive evaluation of fertility suitability on tobacco-planting soils in Luoping County

地区	各级比例(%)				*SFI* 值		
	Ⅰ级(好)	Ⅱ级(较好)	Ⅲ级(中等)	Ⅳ级(稍差)	平均值	标准差	变异系数(%)
阿岗镇	17.54	33.34	40.35	8.77	0.762 6 ABC	0.122 7	16.09
板桥镇	23.25	37.22	37.21	2.32	0.790 2 A	0.123 1	15.57
大水井乡	17.64	47.07	35.29	0	0.791 3 A	0.113 5	14.34
富乐镇	12.50	25.00	54.17	8.33	0.718 9 C	0.114 3	15.90
九龙镇	12.82	51.28	30.77	5.13	0.778 6 AB	0.097 7	12.55
旧屋基乡	0	50.00	42.86	7.14	0.743 2 ABC	0.095 6	12.86
老厂乡	3.44	34.49	51.73	10.34	0.720 7 BC	0.108 5	15.05
罗雄镇	12.24	55.11	26.53	6.12	0.777 4 ABC	0.108 0	13.89
马街镇	10.20	42.86	40.82	6.12	0.758 4 ABC	0.107 5	14.17
钟山乡	6.06	48.48	42.43	3.03	0.757 3 ABC	0.102 9	13.58
罗平县	12.68	42.25	39.15	5.92	0.762 9	0.111 9	14.66

注：表中同列数据大写字母不同表示地区间差异达到 $P<0.01$ 显著水平。

围内，变异系数为 14.66%，整个植烟区土壤肥力状况良好，变异强度中等。在 10 个植烟乡镇中，板桥镇的肥力适宜性指数处于“好”(Ⅰ级)的比例最大(23.25%)，旧基屋乡的最小(0%)，肥力适宜性由大到小依次为大水井乡、板桥镇、九龙镇、罗雄镇、阿岗镇、马街镇、钟山乡、旧基屋乡、老厂乡、富乐镇。

2.4 不同肥力等级的土壤养分含量方差分析

肥力适宜性指数＜0.6 的土壤(Ⅳ级区域)，已经不能很好地满足烤烟生长对养分的需求，由表 7 可知，这部分土壤的有机质极显著(P<0.01)高于Ⅰ、Ⅱ和 Ⅲ 级土壤，碱解氮极显著(P<0.01)高于Ⅰ级土壤、显著(P<0.05)高于Ⅱ级土壤，速效磷极显著(P<0.01)高于Ⅱ级土壤、显著(P<0.05)高于Ⅰ级土壤，有效镁极显著(P<0.01)高于Ⅰ级土壤、显著(P<0.05)高于Ⅰ级和Ⅱ级土壤，水溶性氯显著(P<0.05)高于Ⅰ级土壤；有机质、碱解氮、速效磷、有效镁和水溶性氯含量过高，是该区域土壤肥力适宜性较差的主要原因。因此，在相应区域应该注意控制有机肥、氮肥、磷肥、镁肥和氯肥的施用量，以改善土壤的肥力状态。同时，肥力适宜性Ⅰ级区域土壤 pH、有机质、速效磷、速效钾、有效锌、水溶性氯和有效硼含量适宜，仅碱解氮和有效镁含量稍微偏高；Ⅱ级区域土壤 pH、有机质、速效磷、速效钾、有效锌和有效硼含量适宜，碱解氮、有效镁和水溶性氯含量偏高；Ⅲ 级和 Ⅳ 级区域土壤 pH、速效钾、有效锌和有效硼含量适宜，有机质、碱解氮、速效磷、有效镁和水溶性氯含量偏高，偏高程度以Ⅳ级区域土壤更大。

2.5 养分含量及肥力适宜性的年度变化

由2008年罗平县烟区土壤养分检测结果及肥力适宜性情况(表8)可知，各乡镇土壤pH、速效钾、有效锌和有效硼含量均适宜，有机质、碱解氮和有效镁含量均偏高；速效磷含量在板桥镇、九龙镇、旧基屋乡、马街镇和钟山乡偏高，在其他乡镇均适宜；水溶性氯含量以板桥镇、富乐镇和钟山乡偏高，在其他乡镇均适宜；10个植烟乡镇的土壤肥力适宜性指数均处在 Ⅲ 级范围内，肥力状况属“中等”水平。

表 7 不同肥力等级的土壤养分含量方差分析(均值 ± 标准差)

Table 7 The variance analysis of soil nutrient contents of different *SFI* grades

指标	Ⅰ级(n = 45)	Ⅱ级(n =150)	Ⅲ级(n =138)	Ⅳ级(n =21)
pH	6.39 ± 0.65 Aa	6.54 ± 0.66 Aa	6.63 ± 0.91 Aa	6.49 ± 1.30 Aa
有机质(g/kg)	32.09 ± 6.83 Cd	39.83 ± 13.32 Bc	45.56 ± 12.92 Bb	59.00 ± 25.84 Aa
碱解氮(mg/kg)	130.72 ± 27.39 Bc	159.49 ± 33.97 Ab	171.36 ± 45.11 Aab	188.37 ± 47.57 Aa
速效磷(mg/kg)	30.36 ± 22.19 ABb	27.22 ± 19.87 Bb	45.28 ± 14.13 Aa	46.19 ± 23.11 Aa
速效钾(mg/kg)	233.48 ± 82.23 Aa	279.14 ± 132.88 Aa	239.22 ± 45.61 Aa	261.47 ± 107.13 Aa
有效锌(mg/kg)	3.91 ± 1.12 Aa	3.64 ± 2.28 Aa	3.26 ± 1.96 Aa	2.82 ± 0.88 Aa
有效镁(mg/kg)	255.90 ± 60.29 Bc	317.84 ± 152.62 ABbc	394.23 ± 263.10 Aab	447.41 ± 250.97 Aa
水溶氯氯(mg/kg)	23.51 ± 8.23 Ab	29.06 ± 14.00 Aa	28.45 ± 14.51 Aa	32.64 ± 13.65 Aa
有效硼(mg/kg)	0.59 ± 0.23 Aa	0.61 ± 0.46 Aa	0.42 ± 0.37 Bb	0.35 ± 0.16 Bb

注：表中的 n 表示样品数。同一行数据小写字母不同表示差异达到 P<0.05 显著水平，大写字母不同表示差异达到 P<0.01 显著水平。

表 8 2008 年罗平县植烟土壤养分含量状况及肥力适宜性指数

Table 8 Nutrient contents and *SFI* of tobacco-planting soils of Luoping County in 2008

地区	pH	有机质 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	速效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	有效锌 (mg/kg)	有效镁 (mg/kg)	有效硼 (mg/kg)	水溶性氯 (mg/kg)	*SFI* 值
阿岗镇	5.80	44.93	132.31	25.48	157.35	2.80	220.32	0.26	20.28	0.695 6
板桥镇	6.91	40.87	145.78	52.08	253.81	3.32	405.55	0.32	32.78	0.727 8
大水井乡	6.85	39.67	151.85	31.26	286.23	3.01	543.16	0.38	18.21	0.668 3
富乐镇	6.52	51.15	166.35	30.51	206.25	4.02	275.02	0.51	30.56	0.653 4
九龙镇	6.35	45.21	161.48	42.94	241.78	3.74	341.27	0.66	20.58	0.725 6
旧屋基乡	6.76	48.34	178.21	55.97	294.54	3.71	673.71	0.34	24.29	0.632 1
老厂乡	6.29	48.45	163.48	27.66	223.19	3.31	342.28	0.38	22.96	0.610 3
罗雄镇	6.62	44.21	166.12	33.63	168.46	3.62	311.45	0.31	23.34	0.693 2
马街镇	6.20	57.45	171.98	51.65	188.79	3.81	238.26	1.00	22.26	0.714 5
钟山乡	6.41	37.08	140.23	40.72	247.21	2.79	426.31	0.67	28.07	0.634 3
罗平县	6.55	45.69	162.20	39.08	259.12	3.40	341.48	0.52	23.26	0.682 9

由 2014 年与 2008 年土壤养分含量及肥力适宜性指数的差值(表 9)可知，经过 6 年的生产利用，罗平县植烟土壤养分状况和肥力适宜性情况均发生了较大变化。目前为止，各乡镇土壤 pH 相比 2008 年均有所升高，但增幅不大；碱解氮、速效磷、速效钾、有效镁和水溶性氯含量整体水平表现为增加，特别是速效钾和有效镁含量增幅较大；有机质含量整体有所降低，主要表现在富乐镇、马街镇和九龙镇等区域；速效磷和有效硼含量较稳定，变化程度较小。总之，土壤养分含量的变化使得罗平县烟区土壤的肥力状况更佳，各乡镇土壤肥力适宜性指数均有一定幅度的提高。

表 9　2014 年与 2008 年土壤养分及肥力适宜性指数差值

Table 9　Comparison of nutrient contents and *SFI* of tobacco-growing soils between 2014 and 2008

地区	差值									
	pH	有机质 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	速效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	有效锌 (mg/kg)	有效镁 (mg/kg)	有效硼 (mg/kg)	水溶性氯 (mg/kg)	*SFI* 值
阿岗镇	0.12	–2.42	8.22	0.02	52.49	0.11	5.15	0.02	6.40	0.067 0
板桥镇	0.08	–2.33	6.21	0	46.24	0.16	20.20	0.05	6.28	0.062 4
大水井乡	0.21	–3.36	7.16	0.01	24.78	–0.16	25.10	–0.04	3.58	0.123 0
富乐镇	0.05	–4.98	6.40	0.01	50.20	0.19	7.31	0.02	5.45	0.065 5
九龙镇	0.10	–4.17	4.96	0	45.10	–0.08	7.70	–0.05	5.19	0.053 0
旧屋基乡	0.07	–3.55	8.32	0	49.20	0.11	10.00	0.08	7.00	0.111 1
老厂乡	0.13	–2.64	6.12	0.02	43.86	0.08	17.19	0.04	–1.00	0.110 4
罗雄镇	0.23	–3.85	8.26	0.02	40.75	0.05	14.30	0.05	6.21	0.084 2
马街镇	0.15	–4.26	3.66	0.01	30.40	0.32	14.50	0.06	2.78	0.043 9
钟山乡	0.14	–2.52	7.43	0.03	60.03	0.19	12.21	–0.02	–1.41	0.123 0
罗平县	0.11	–3.89	7.48	0.01	46.66	0.12	11.20	0.01	5.10	0.080 0

3　讨论

对 2014 年罗平县植烟土壤养分测定并进行综合评价，结果表明，罗平县烟区土壤 pH 和速效磷、速效钾、有效锌、有效硼含量适宜，有机质、碱解氮、有效镁和水溶性氯含量偏高；10 个种烟乡镇中，针对阿岗镇、富乐镇和罗雄镇的有机质、碱解氮、有效镁和水溶性氯，板桥镇、九龙镇和旧基屋乡的有机质、碱解氮、速效磷、有效镁和水溶性氯，大水井乡的 pH、有机质、碱解氮和有效镁，老厂乡的有机质，碱解氮和有效镁，马街镇的有机质、碱解氮、速效磷和有效镁以及钟山乡的碱解氮、速效磷、有效镁和水溶性氯偏高的状况，应该采取严格控制相应肥料用量等栽培管理措施。

罗平县烟区土壤肥力适宜性Ⅰ～Ⅳ级比例分别为 12.67%、42.25%、39.15% 和 5.91%，大部分土壤肥力状况处于“较好”和“中等”水平，并集中分布在罗平县的中部和东北部；肥力适宜性指数平均值为 0.762 9，处在Ⅱ级范围内；10 个乡镇中，大水井乡、板桥镇和九龙镇的肥力适宜性指数较高，土壤肥力状况较好，而富乐镇和老厂乡的肥力适宜性指数偏低，土壤肥力有待进一步提高。

2008—2014 年，经过 6 年的生产利用，罗平县烟区土壤碱解氮、速效磷、速效钾、有效锌、有效镁、水溶性氯和有效硼含量均有所增高，尤其是速效钾、有效镁和碱解氮增幅较大，这同相关部门和当地烟农对施肥的重视程度密不可分。但是罗平县大部分地区都存在重栽培轻管理的现象，比较依赖无机化肥的施用，而忽视土壤的改良，并导致有机质含量降低。从表面上看，各土壤养分含量及肥力适宜性指数均有所增加，但长远考虑，可能引起养分在土壤中的残留累积不利于土壤可持续使用和环境保护。加之 2008 年的测土数据就已经显示出该烟区土壤有机质、碱解氮、有效镁和水溶性氯含量偏高，因此，在今后的生产中必须开始考虑贯彻“控磷、稳钾、降氮、降镁、降氯”的指导思想，并不断加大秸秆还田及农家肥堆捂等培肥措施，以利于烟叶生产的可持续发展。另外，文中笔者就罗平县烟区 4 个不同肥力等级的土壤养分状况作了较详细的空间分布特征分析，针对烟区不同肥力等级的土壤养分含量差异较大的现状，有必要在有关部门的管理下，有针对性地提出 4 套相应施肥方案，对罗平县植烟土壤进行分区施肥和管理，以达到减量增效和精益烟叶生产的目的[21]。

4　结论

1) 罗平县植烟土壤 pH 和速效磷、速效钾、有

效锌、有效硼含量适宜，有机质、碱解氮、有效镁和水溶性氯含量偏高；有效硼和速效磷含量的空间变异性较大。

2) 罗平县植烟土壤肥力适宜性Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ和Ⅳ级所占比例分别为 12.67%、42.25%、39.15%和5.91%。其中大水井乡、板桥和九龙镇的 *SFI* 值较高，富乐镇和老厂乡的 *SFI* 值较低。

3) 2008—2014 年，烟区土壤有机质含量整体降低，pH 和碱解氮、速效磷、速效钾、有效锌、有效镁、有效硼、水溶性氯含量以及肥力适宜性指数有所增高。

参考文献：

[1] 许龙, 李忠环, 陈荣平, 赵正雄, 徐天养. 昆明市植烟土壤 2002—2006 年养分状况变化动态分析[J]. 土壤, 2009, 41(2): 282–287

[2] 李卫, 周冀衡, 张一扬, 杨荣生, 杨述元, 王翔, 杨虹琦, 夏开宝, 谢燕, 柳均. 云南曲靖烟区土壤肥力状况综合评价[J]. 中国烟草学报, 2010, 16(2): 61–65

[3] 李强, 周冀衡, 杨荣生, 张拯研, 张一扬, 解燕, 黄夸克, 刘加红. 马龙县植烟土壤养分空间变异特征及适宜性评价[J]. 土壤, 2011, 43(6): 897–902

[4] Ju XT, Chao FC, Li CJ, Jiang RF, Christie P, Zhang FS. Yield and nicotine content of flue-cured tobacco as affected by soil nitrogen mineralization[J]. Pedosphere, 2008, 18(2): 227–235

[5] 郭培国, 陈建军, 李荣华. pH 值对烤烟根系活力及烤后烟叶化学成分的影响[J]. 中国农业科学, 2000, 33(1): 39–45

[6] 王宏伟, 张留臣, 普云飞, 黄继海, 王斌. 云南省峨山县植烟土壤肥力的综合评价及变异分析[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2012, 38(5): 530–534

[7] 李强, 周冀衡, 张一扬, 张拯研, 解燕. 基于地统计学的曲靖植烟土壤主要养分丰缺评价[J]. 烟草科技, 2012(11): 69–73

[8] 张隆伟, 伍仁军, 王昌全, 张倩, 李冰, 李启权, 卞建峰, 刘扬. 四川凉攀烟区植烟土壤有效铜和有效锌空间变异特征[J]. 中国烟草科学, 2014, 35(3): 1–6

[9] 张倩, 王昌全, 李冰, 冯广林, 李启权, 杜倩. 攀西植烟土壤有机质和全氮空间变异性研究[J]. 核农学报, 2013, 27(4): 501–508

[10] 李强, 周冀衡, 杨荣生, 张拯研, 解燕, 张一扬, 黄夸克, 李卫. 曲靖植烟土壤养分空间变异及土壤肥力适宜性评价[J]. 应用生态学报, 2011, 22(4): 950–956

[11] 陈泽鹏, 詹振寿, 郭治兴, 黄兆祥. 广东植烟土壤肥力综合评价[J]. 中国烟草科学, 2006(1): 35–37

[12] 刘逊, 邓小华, 周米良, 黎娟, 田茂成, 田峰, 冯晓华, 吴秋明. 湘西植烟土壤有机质含量分布及其影响因素[J]. 核农学报, 2012, 26(7): 1037–1042

[13] 王子芳, 高明, 魏朝富, 秦建成. 植烟土壤养分的空间变异特征及适宜性评价—以重庆市彭水县为例[J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2008, 30(1): 98–103

[14] 张春华, 张正扬, 刘国顺, 王新中, 赫伟宏, 李延涛, 贾保顺. 植烟土壤有效态微量元素空间变异特征[J]. 土壤, 2010, 42(1): 20–25

[15] 张甘霖, 龚子同. 土壤调查实验室分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 2012

[16] 雷志栋, 扬诗秀, 许志荣, G. 瓦肖尔, 土壤特性空间变异性初步研究[J]. 水利学报, 1985(9): 10–21

[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: 39

[18] 吴秀芹, 张洪岩, 李瑞改, 张正祥, 董贵华. ArcGIS 9 地理信息系统应用与实践(下册)[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007: 463–517

[19] 黄成江, 张晓海, 李天福, 王树会, 李强. 植烟土壤理化性状的适宜性研究进展[J]. 中国农业科技导报, 2007, 9(1): 42–46

[20] 李梅, 张学雷. 基于 GIS 的农田土壤肥力评价及其与土体构型的关系[J]. 应用生态学报, 2011, 22(1): 129–136

[21] 冰火, 建利, 江洪东. 论烟叶精益生产[J]. 中国烟草学报, 2014, 20(1): 1–8

Evaluation of Soil Fertility Suitability and Spatial/Temporal Variability of Nutrient Contents of Tobacco-planting Soils in Luoping County of Yunnan, China

WANG Yu-jun[1], ZHOU Ji-heng[1*], SUN Shu-bin[1], ZHANG Yi-yang[1], LIU Li[1], LIU Xiao-ying[1], ZHAO Jie[2]

(1 *Institute of Tobacco*, *Hunan Agricultural University*, *Changsha*　410128, *China*; 2 *Tobacco Company of Qujing*, *Luoping*, *Luoping*, *Yunnan*　655800, *China*)

Abstract: The soil nutrient contents in 355 soil samples of tobacco-planting area in Luoping of Yunnan were surveyed in 2008 and 2014 in order to improve the targeted fertilization. The soil fertility suitability were comprehensive evaluated by soil fertility index (*SFI* value) and the spatial and temporal variations of soil nutrient contents were studied. The results indicated that: 1) soil pH, rapidly available P, rapidly available K, available Zn and available B contents were at an appropriate level while organic matter, hydrolytic N, available Mg and water-soluble Cl^- contents were higher. 2) The integrated fertility index of most tobacco-planting area in Luoping was in better and medium level, the average *SFI* value was 0.762 9 and soil fertility was in good condition. 3) The soil fertility suitability index in different areas was: Dashuijing>Banqiao>Jiulong>Luoxiong>A'gang>Majie>Zhongshan>Jiujiwu>Laochang>Fule. 4) From 2008 to 2014, the organic matter content reduced, while the pH value, content of hydrolytic N, rapidly available P, rapidly available K, available Zn, available Mg, available B, water-soluble Cl^- and *SFI* value increased.

Key words: Tobacco growing soil; Fertility; Suitability evaluation; Spatial and temporal variability; Luoping of Yunnan Province