

# 四川省盐源县植烟土壤氮磷钾空间变异特征及影响因素<sup>①</sup>

金明清<sup>1</sup>, 彭月月<sup>1</sup>, 王佩<sup>2</sup>, 冯浪<sup>1,3</sup>, 陈玉蓝<sup>3</sup>, 杜宣延<sup>1</sup>, 李启权<sup>1</sup>, 王昌全<sup>1\*</sup>

(1 四川农业大学资源学院, 成都 611130; 2 四川中烟工业有限责任公司, 成都 610000; 3 四川省烟草公司凉山州公司, 四川凉山 615000)

**摘要:** 利用地统计学和回归分析方法分析四川省盐源县植烟土壤碱解氮、有效磷、速效钾含量空间变异特征以及不同因素对其空间变异的影响, 以期为盐源烤烟种植区划、科学施肥和产质量提升提供科学依据。结果表明:

碱解氮、有效磷和速效钾的均值分别为 102.84、10.18、148.10 mg/kg, 整体处于中等水平, 变异系数分别为 38.66%、90.08%、60.65%, 达到中等变异程度, 空间分布不均; 碱解氮、有效磷空间分布符合指数模型, 具有中等空间自相关, 速效钾符合高斯模型, 具有明显空间自相关, 空间变异受结构性因素和随机性因素共同影响; 盐源植烟土壤碱解氮、有效磷和速效钾空间变异的主控因素有所不同, 碱解氮为坡度和前茬作物, 有效磷为土壤类型和前茬作物, 速效钾为海拔和坡度, 因此植烟区规划和施肥需要综合考虑不同的影响因素。

**关键词:** 植烟土壤; 碱解氮; 有效磷; 速效钾; 空间变异; 影响因素; 四川盐源

**中图分类号:** S158

土壤养分含量的高低及相互的协调性对烤烟的产量和质量具有十分重要的影响<sup>[1]</sup>。氮素是影响烤烟产量和品质重要元素之一<sup>[2-4]</sup>; 磷素对烤烟生长发育、生理生化 and 产质量同样发挥着不可替代的作用<sup>[5-7]</sup>; 钾素是烤烟在生长发育过程中吸收和积累量最大的元素, 供应充足是获得优质烟叶的重要条件<sup>[8-10]</sup>。土壤速效养分是不经转化能迅速被作物直接吸收利用的土壤营养元素<sup>[11]</sup>, 对烤烟的影响更加直接和深刻。近年来, 许多学者利用地统计学方法对不同区域植烟区的土壤养分空间变异做了大量的研究, 如王宝顺等<sup>[12]</sup>找出影响重庆彭水坡地植烟土壤速效养分空间变异的主要因素, 并掌握坡地植烟土壤养分的空间分布特征及其变异规律; 刘逊等<sup>[13]</sup>采用地统计学方法研究并掌握了湖南湘西植烟土壤有机质的空间分布及影响因素; 王育军等<sup>[14]</sup>采用地统计方法建立云南罗平县植烟土壤肥力适宜性指数的时空变异特征。

四川省盐源县是我省烤烟种植大县, 盛产以“清、甜、香”为特色的优质烟叶, 在四川优质烟叶生产中占有重要地位。本文利用地统计学和回归分析方法对盐源植烟土壤碱解氮、有效磷、速效钾含量进行分析, 重点研究其空间分布特征和影响因素, 以期为盐源烤

烟种植区划、科学施肥和产质量提升提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

盐源县位于四川省西南部, 青藏高原东南缘, 雅砻江下游西岸, 位于 100°42'09" ~ 102°03'44"E、27°06'31" ~ 28°16'31"N, 面积为 8 398.6 km<sup>2</sup>, 海拔多在 2 300 ~ 2 800 m 之间, 地形复杂, 地貌类型多样, 是一个山高坡陡、河谷深切、山峦叠障、盆地居为中总特征的典型山区县。受高空西风气流的南支急流和印度洋气流的影响, 全县属于典型大陆性气候, 四季分明, 年温差小, 日温差大, 年均气温 13.2 °C, 冬春干旱, 夏秋雨量集中, 年均降水量 727.30 mm, 雨热同期, 光照资源非常丰富; 县内土壤类型主要有红壤、水稻土、新积土、黄棕壤及紫色土等。近年来烤烟种植面积约为 4 500 hm<sup>2</sup>, 烟叶收购量约为 11 200 t。

### 1.2 土样采集与分析

根据盐源县主要土壤类型和烟草种植情况, 兼顾代表性与均匀性的基础上, 遵循随机、等量、同层次、多点混合的采样原则, 利用 GPS 定位技术获取每个采样点的坐标, 采用网格法和多点混合法采集 0 ~

基金项目: 四川省教育厅科研项目(16ZB0048)、中国烟草总公司四川省公司科技项目(scyc201402006)、四川中烟工业有限责任公司重点项目(130235、130236)资助。

\* 通讯作者(wcquan@sicau.edu.cn)

作者简介: 金明清(1988—), 男, 四川郫县人, 硕士, 主要从事土壤及土地资源管理方面的研究。E-mail: 448771493@qq.com

20 cm 耕层的土壤样品。样品主要于 2011 年植烟前采集,采集土壤样品 317 个,采集土壤样品时详细记录其地形地貌、土壤类型、土地利用方式以及施肥状况等环境信息,采样点分布见图 1。土样碱解氮、有效磷和速效钾分别采用碱解扩散法、盐酸-氟化铵-钼锑抗比色法和乙酸铵浸提-火焰光度计法测定<sup>[15]</sup>。

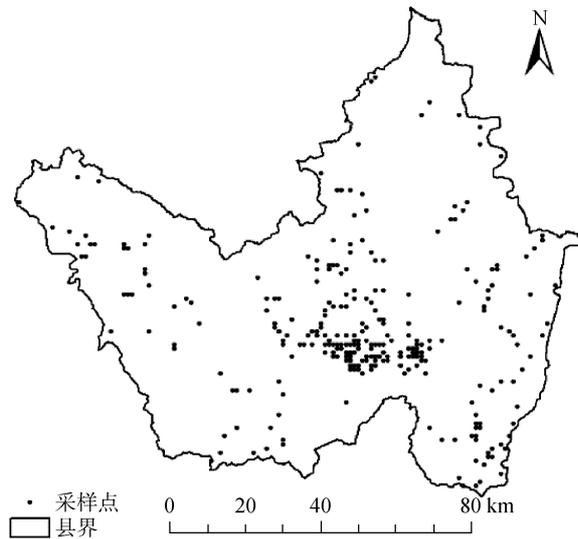


图 1 盐源植烟土壤采样点分布图

Fig. 1 Sampling sites of tobacco planting soil in Yanyuan

### 1.3 研究方法 with 数据处理

由于土壤本身的空间变异性,在进行野外随机区组设计或者随机确定采样点的过程中,可能使获得的试验数据根本不具有统计学意义,而应用地统计学方法可以有效解决这个问题<sup>[16]</sup>。本研究采用地统计方法对盐源植烟土壤碱解氮、有效磷、速效钾的空间变异特征进行分析,拟合出碱解氮、有效磷、速效钾各向同性时较优的半方差函数模型。半方差函数模型主

要根据拟合结果的决定系数和残差的大小来决定。空间变异性强弱可根据块金值与基台值的比值,即块金系数进行划分。块金系数表示由随机部分引起的空间变异性占总体变异的比列,若块金系数<25%,说明变量有很强的空间自相关性,25%~50%说明变量有明显的空间自相关,50%~75%时变量有中等空间自相关,>75%时变量空间自相关弱,变异主要由随机因素影响。变程是指变异函数达到基台值所对应的距离,它反映的是属性因子空间自相关范围的大小<sup>[17-19]</sup>。

地统计分析首先采用 GS+ 软件进行半方差分析,以获取碱解氮、有效磷、速效钾各向同性的最优理论半方差模型和参数,再在 ArcGIS 软件的地统计模块中进行 Kring 插值,得到研究区土壤碱解氮、有效磷、速效钾的空间分布图。回归分析在 SPSS 软件中完成,运用回归分析定量揭示各影响因素对植烟土壤碱解氮、有效磷、速效钾空间变异的影响程度,即利用回归方程的校正决定系数来判定各影响因素对土壤碱解氮、有效磷、速效钾含量空间变异程度的独立解释能力<sup>[20]</sup>,并以此确定研究区碱解氮、有效磷、速效钾空间分布的主控因素。考虑到土壤类型和前茬作物为定性变量,海拔和坡度分级后也属于定性变量,故先采用哑变量对土壤类型、海拔、坡度和前茬作物进行赋值,再以哑变量作为自变量进行回归分析<sup>[21]</sup>。

### 1.4 植烟土壤碱解氮、有效磷、速效钾适宜程度划分标准

参考我国主要烟区土壤养分丰缺状况评价结果<sup>[22]</sup>,综合制定植烟土壤碱解氮、有效磷、速效钾含量适宜程度分级标准(表 1)。

表 1 植烟土壤碱解氮、有效磷、速效钾含量适宜程度分级标准(mg/kg)  
Table 1 Suitable classification standard of available N, P and K contents of tobacco planting soil

指标	(极低)	(低)	(适宜)	(高)	(极高)
碱解氮	<65	65 ~ 100	100 ~ 150	150 ~ 200	>200
有效磷	<5	5 ~ 10	10 ~ 20	20 ~ 40	>40
速效钾	<80	80 ~ 150	150 ~ 220	220 ~ 350	>350

## 2 结果分析与讨论

### 2.1 植烟土壤碱解氮、有效磷、速效钾总体特征

由表 2 可知盐源植烟土壤碱解氮、有效磷和速效钾含量范围分别在 14.3 ~ 209.4、0.4 ~ 51.0 和 2.0 ~ 409.0 mg/kg 之间,含量均值分别为 102.84、10.18 和 148.10 mg/kg,均值都处于适宜水平。从变异系数来看,碱解氮、有效磷和速效钾的变异系数分别为

38.66%、90.08% 和 60.65%,均达到中等变异程度,其空间分布不均。40.38% 的样点碱解氮处于适宜水平,30.60% 和 16.09% 的样点分别处于低和极低水平;23.03% 的样点有效磷处于适宜水平,超过 60% 的样点有效磷缺乏;仅 17.03% 的样点速效钾处于适宜水平,超过 60% 的样点速效钾缺乏。总体来看,盐源植烟土壤碱解氮、有效磷和速效钾含量处于中等偏下水平,部分区域需重视氮肥、磷肥和钾肥的补充。

表 2 盐源植烟土壤碱解氮、有效磷、速效钾含量描述性统计(mg/kg)  
Table 2 Descriptive statistics of available N, P and K contents of tobacco planting soil in Yanyuan

指标	样点数	最大值	最小值	均值	标准差	变异系数 (%)	适宜程度等级分布(%)				
							16.09	30.60	40.38	10.41	2.52
碱解氮	317	209.4	14.3	102.84	39.76	38.66	16.09	30.60	40.38	10.41	2.52
有效磷	317	51.0	0.4	10.18	9.17	90.08	32.18	31.86	23.03	8.52	4.42
速效钾	317	409.0	2.0	148.10	89.82	60.65	24.61	35.65	17.03	17.35	5.36

2.2 植烟土壤碱解氮、有效磷、速效钾空间结构分析

从各向同性半方差函数拟合结果(表 3、图 2)来看,盐源植烟土壤碱解氮、有效磷含量分布符合指数模型,速效钾符合高斯模型,拟合决定系数差异较大;

速效钾决定系数最大、碱解氮次之,有效磷最小。碱解氮、有效磷和速效钾的块金系数分别为 56.31%、55.08% 和 46.55%,说明碱解氮和有效磷具有中等空间自相关,速效钾具有明显空间自相关,空间变异受结构性因素和随机性因素共同影响。

表 3 盐源土壤碱解氮、有效磷、速效钾含量各向同性半方差函数理论模型及相关参数  
Table 3 Theoretical isotropic semivariogram models and corresponding parameters of soil available N, P and K contents in Yanyuan

指标	模型	块金值	基台值	块金系数(%)	决定系数	残差	变程 (km)
碱解氮	指数模型	1 120	1 989	56.31	0.727	266 007	38.7
有效磷	指数模型	86.2	156.5	55.08	0.673	2 212	79.2
速效钾	高斯模型	9.8	19.01	46.55	0.908	11.4	51.79

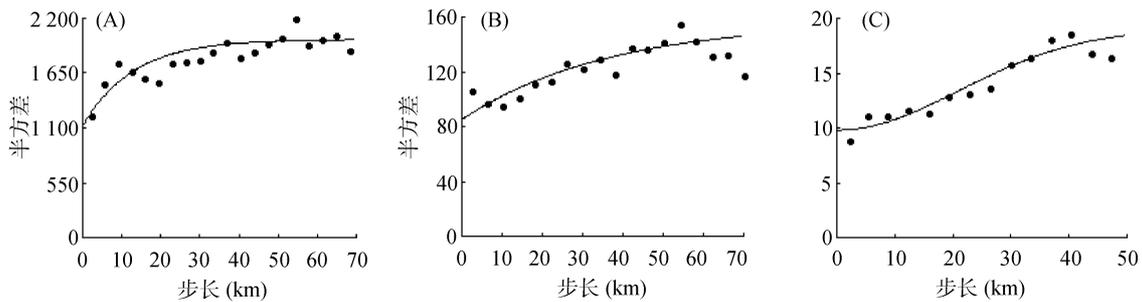


图 2 盐源植烟土壤碱解氮(A)、有效磷(B)、速效钾(C)含量半方差函数图  
Fig. 2 Semivariance models for available N(A), P(B) and K(C) contents of tobacco planting soil in Yanyuan

2.3 植烟土壤碱解氮、有效磷、速效钾空间分布特征分析

根据盐源植烟土壤碱解氮、有效磷、速效钾含量的空间变异特征,利用 ArcGIS 采用普通克里金法生成碱解氮、有效磷和速效钾的空间分布图(图 3)。从图中可以看出,碱解氮、有效磷、速效钾含量空间分布具有明显差异性。碱解氮含量处于适宜水平 100~150 mg/kg 之间的面积最大,主要分布在东西两侧;处于较低水平 65~100 mg/kg 之间的面积次之,主要分布在中部及南部;处于较高水平 150~200 mg/kg 之间的面积较小,主要分布西部、北部及东部的部分区域。有效磷含量处于低水平(5~10 mg/kg)范围基本覆盖全境,仅在西北、东北和东南有小部分区域有效磷含量达到适宜水平 10~20 mg/kg。速效钾含量处于低和适宜水平(80~150 mg/kg 和 150~220 mg/kg)范围内的面积最大,主要分布在中部、西部和南部;

处于较高水平(220~350 mg/kg)范围内的面积较小,主要分布在北部和东北部。各养分含量的空间变异明显,生产上可根据区域土壤养分实际含量进行具有针对性的施肥,避免进一步加剧土壤养分失衡。

2.4 植烟土壤碱解氮、有效磷、速效钾影响因素分析

2.4.1 土壤类型 不同的土壤类型由不同的母质类型、成土过程、发育程度和耕作管理措施等多种因素综合作用而形成,不同土壤类型间养分元素的组成和分布具有明显的差异性。由表 4 可知,盐源植烟土壤主要以红壤、水稻土和新积土为主。各土壤类型碱解氮含量均值为 98.14~111.87 mg/kg,其中以水稻土最高、红壤最低;各土壤类型的变异程度均为中等变异;红壤、水稻土、新积土均有超过 40% 的比例达到适宜程度,紫色土则需要进一步补充氮肥。有效磷含量均值为 8.43~13.32 mg/kg,以紫色土最高、红

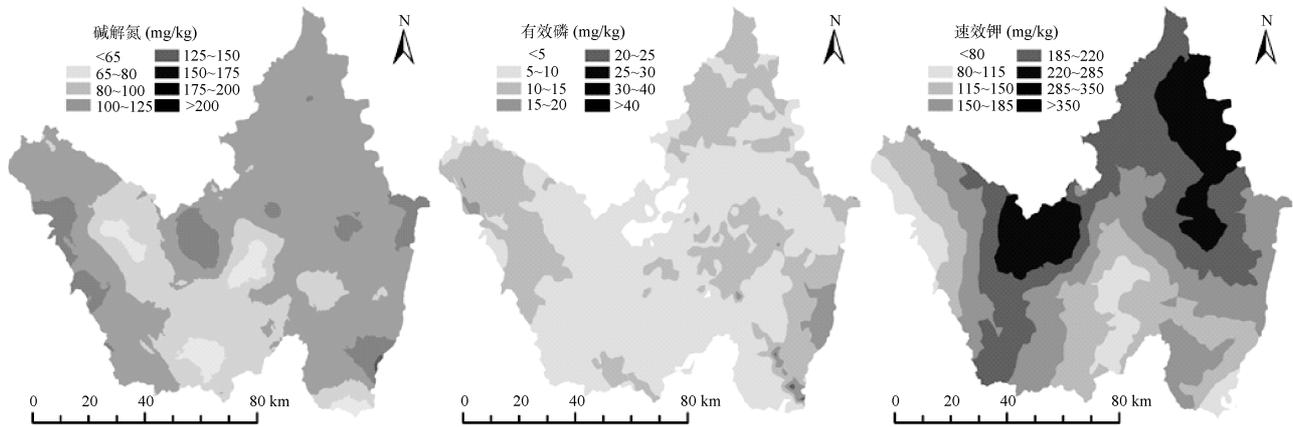


图 3 盐源植烟土壤碱解氮、有效磷、速效钾含量空间分布图  
Fig. 3 Spatial distribution of available N, P and K contents of tobacco planting soil in Yanyuan

表 4 盐源植烟土壤不同土壤类型碱解氮、有效磷、速效钾含量的统计特征(mg/kg)

Table 4 Statistical characteristics of available N, P and K contents of tobacco planting soils with different types in Yanyuan

指标	土壤类型	样点数	最大值	最小值	均值	标准差	变异系数 (%)	适宜程度等级分布(%)				
								15.11	36.69	41.73	5.76	0.72
碱解氮	红壤	139	209.4	14.3	98.14	36.46	37.15	15.11	36.69	41.73	5.76	0.72
	黄棕壤	24	165.1	48.7	98.79	33.00	33.40	8.33	50.00	37.50	4.17	0.00
	水稻土	72	202.6	23.8	111.87	44.68	39.94	15.28	22.22	44.44	15.28	2.78
	新积土	56	187.1	26.9	106.10	40.44	38.11	17.86	21.43	46.43	14.29	0.00
	紫色土	26	204.5	31.1	99.70	44.40	44.53	23.08	34.62	26.92	11.54	3.85
有效磷	红壤	139	45.3	0.7	8.43	7.61	90.27	38.85	34.53	20.14	5.04	1.44
	黄棕壤	24	40.0	0.4	9.45	9.57	101.27	45.83	25.00	16.67	8.33	4.17
	水稻土	72	45.6	1.1	11.23	9.72	86.55	25.00	31.94	30.56	8.33	4.17
	新积土	56	51.0	1.5	12.06	10.47	86.82	26.79	30.36	23.21	14.29	5.36
	紫色土	26	51.0	2.5	13.32	10.87	81.61	19.23	26.92	34.62	15.38	3.85
速效钾	红壤	139	382.0	2.0	128.27	75.87	59.15	30.94	35.25	21.58	10.79	1.44
	黄棕壤	24	404.0	45.0	173.79	98.88	56.90	20.83	29.17	20.83	25.00	4.17
	水稻土	72	403.0	21.0	162.08	92.78	57.24	16.67	41.67	12.50	23.61	5.56
	新积土	56	409.0	29.0	149.21	89.32	59.86	23.21	41.07	12.50	21.43	1.79
	紫色土	26	409.0	46.0	189.35	118.54	62.60	23.08	26.92	15.38	19.23	15.38

壤最低；除黄棕壤达到强变异程度外，其余类型土壤达到中等变异程度；各土壤类型有效磷含量适宜度等级主要以极低和低水平为主。紫色土速效钾含量均值以 189.35 mg/kg 达到最高，黄棕壤以 173.79 mg/kg 次之，红壤速效钾含量均值最低，为 128.27 mg/kg；各类型土壤的变异系数为 56.90%~62.60%，达到中等变异程度；从适宜度等级来看，黄棕壤、紫色土达到适宜及其以上等级的比例较红壤、水稻土和新积土高。总体来看，红壤碱解氮、有效磷和速效钾含量均较低，肥力低；水稻土碱解氮含量丰富、有效磷和速效钾含量较高，较肥沃；紫色土有效磷、速效钾含量丰富，土壤类型的差异可为烤烟施肥提供相应参考。

**2.4.2 海拔** 不同海拔的土壤环境具有不同的温度、湿度和热量，影响物质的积累与分解程度，进而

影响土壤营养元素的含量。从表 5 可知，盐源植烟区海拔主要在 2 000~2 500 m 范围内。海拔在 1 500~2 000 m 范围内碱解氮均值最大，为 114.33 mg/kg，海拔在 2 000~2 500 m 范围内碱解氮均值最小，其值为 98.38 mg/kg；各海拔变异系数在 37.00%~46.64% 之间，达到中等变异程度。有效磷含量均值以海拔 2 000 m 为分界线，2 000 m 以下的有效磷明显比 2 000 m 以上的高；从变异系数来看，除海拔 < 1 500 m 的变异系数达到强变异程度，其余的均达到中等变异强度。海拔 < 1 500 m 的速效钾含量均值最小，为 106.57 mg/kg，海拔 > 2 500 m 速效钾含量均值最大，为 174.73 mg/kg；各海拔的变异系数在 51.63%~82.42% 之间，均达到中等程度变异。总体来看，海拔在 2 000~2 500 m 范围内，植烟土壤碱解氮、有

表 5 盐源植烟土壤不同海拔土壤碱解氮、有效磷、速效钾含量的统计特征(mg/kg)  
Table 5 Statistical characteristics of available N, P and K contents of tobacco planting soil with different altitude in Yanyuan

指标	海拔 (m)	样点数	最大值	最小值	均值	标准差	变异系数 (%)	适宜程度等级分布(%)				
碱解氮	$A < 1\ 500$	21	202.6	23.8	108.73	50.71	46.64	19.05	23.81	38.10	14.29	4.76
	$1\ 500 \leq A < 2\ 000$	22	197.0	46.8	114.33	42.96	37.58	13.64	22.73	40.91	22.73	0.00
	$2\ 000 \leq A < 2\ 500$	173	201.7	14.3	98.38	37.73	38.35	18.50	29.48	45.09	6.36	0.58
	$A \geq 2\ 500$	101	209.4	14.6	106.76	39.50	37.00	10.89	38.61	36.63	11.88	1.98
有效磷	$A < 1\ 500$	21	41.5	1.7	12.67	12.71	100.32	38.10	19.04	23.81	14.29	4.76
	$1\ 500 \leq A < 2\ 000$	22	45.6	2.3	13.90	12.52	90.07	13.63	27.27	40.91	13.64	4.55
	$2\ 000 \leq A < 2\ 500$	173	51.0	0.4	9.43	7.87	83.46	32.37	33.53	24.86	8.09	1.16
	$A \geq 2\ 500$	101	51.0	0.7	10.15	9.41	92.71	35.64	31.68	18.81	10.89	2.97
速效钾	$A < 1\ 500$	21	275.0	2.0	106.57	87.83	82.42	47.62	23.81	14.29	14.29	0.00
	$1\ 500 \leq A < 2\ 000$	22	403.0	45.0	168.82	100.24	59.38	9.09	45.45	22.73	9.09	13.64
	$2\ 000 \leq A < 2\ 500$	173	409.0	21.0	134.97	84.32	62.47	30.06	41.62	10.98	15.03	2.31
	$A \geq 2\ 500$	101	404.0	24.0	174.73	90.22	51.63	14.85	28.71	27.72	23.76	4.95

效磷和速效钾含量均偏低,主要原因可能是研究区种植业主要集中在这一范围内,且耕作强度大、有机肥投入较低、无机肥施用不合理以及养分流失,进而导致了该海拔土壤碱解氮、有效磷、速效钾含量下降,土壤肥力降低。

**2.4.3 坡度** 从表 6 可知,盐源植烟区坡度主要集中在  $0 \sim 15^\circ$  范围内。各坡度碱解氮含量均值在  $90.58 \sim 112.62$  mg/kg 之间,碱解氮含量与坡度呈反比,坡度越低,碱解氮含量越大;各坡度碱解氮含量变异系数在  $34.43\% \sim 47.18\%$ ,达到中等变异程度。有效磷含量随坡度增高而减小,与坡度呈反比,坡度从低到高有效磷含量均值分别为 12.36、10.53、9.36、8.91、

8.22 mg/kg;有效磷含量变异系数在  $83.87\% \sim 115.94\%$  之间,除坡度  $>25^\circ$  达到强变异程度外,其余均为中等变异程度。速效钾含量同样与坡度呈反比, $<2^\circ$  均值高达 170.64 mg/kg,而  $>25^\circ$  均值仅为 110.39 mg/kg;速效钾含量变异系数在  $52.46\% \sim 80.29\%$  之间,均达到中等变异程度。碱解氮、有效磷和速效钾含量均与坡度呈反比,主要因为土壤营养物质主要以水为载体进行迁移,坡度会促使土壤水分发生以下行为为主的运动,进而导致土壤养分由陡坡向缓坡富集。由于陡坡本身土壤养分缺乏,投入产出比低,耕作难度大,容易发生水土流失,所以在植烟区规划时尽量减少陡坡植烟面积。

表 6 盐源植烟土壤不同坡度土壤碱解氮、有效磷、速效钾含量的统计特征(mg/kg)  
Table 6 Statistical characteristics of available N, P and K contents of tobacco planting soil with different slopes in Yanyuan

指标	坡度	样点数	最大值	最小值	均值	标准差	变异系数 (%)	适宜程度等级分布(%)				
碱解氮	$S < 2^\circ$	66	209.4	22.8	112.62	38.78	34.43	9.09	28.79	46.97	13.64	1.52
	$2^\circ \leq S < 6^\circ$	92	201.7	14.6	105.66	41.05	38.85	14.13	31.52	41.30	11.96	1.09
	$6^\circ \leq S < 15^\circ$	88	204.5	26.9	99.85	37.50	37.56	18.18	29.55	45.45	5.68	1.14
	$15^\circ \leq S < 25^\circ$	53	202.6	23.5	94.90	39.52	41.64	18.87	37.74	33.96	7.55	1.89
	$S \geq 25^\circ$	18	183.0	14.3	90.58	42.74	47.18	27.78	33.33	27.78	11.11	0.00
有效磷	$S < 2^\circ$	66	51.0	1.1	12.36	10.85	87.78	21.21	36.36	25.76	10.61	6.06
	$2^\circ \leq S < 6^\circ$	92	45.3	1.3	10.53	9.59	91.07	35.87	30.43	19.57	10.87	3.26
	$6^\circ \leq S < 15^\circ$	88	45.6	1.1	9.36	7.85	83.87	32.95	30.68	28.41	5.68	2.27
	$15^\circ \leq S < 25^\circ$	53	40.0	0.7	8.91	7.72	86.64	35.85	32.08	24.53	5.66	1.89
	$S \geq 25^\circ$	18	37.4	0.4	8.22	9.53	115.94	44.44	27.78	16.67	11.11	0.00
速效钾	$S < 2^\circ$	66	409.0	29.0	170.64	93.03	54.52	19.70	25.76	22.73	27.27	4.55
	$2^\circ \leq S < 6^\circ$	92	404.0	27.0	163.41	85.73	52.46	17.39	39.13	19.57	18.48	5.43
	$6^\circ \leq S < 15^\circ$	88	409.0	2.0	139.02	83.57	60.11	21.59	44.32	19.32	12.50	2.27
	$15^\circ \leq S < 25^\circ$	53	403.0	8.0	121.36	93.15	76.76	43.40	33.96	15.09	5.66	1.89
	$S \geq 25^\circ$	18	318.0	12.0	110.39	88.63	80.29	44.44	33.33	16.67	5.56	0.00

2.4.4 前茬作物 轮作方式不同,收获后土壤中残留的有效养分有差别,不同的前茬作物直接影响下茬作物生长的土壤养分<sup>[23]</sup>。由于盐源烟田冬季以休耕为主,所以前茬作物一般指上一年度所种植的作物。从表 7 可知,在采样点中盐源烤烟前茬作物以玉米、烤烟、水稻、马铃薯和辣椒为主。碱解氮含量均值大小排序为:水稻>其他作物>马铃薯>玉米>烤烟>辣椒,有效磷含量均值大小排序为:烤烟>玉米>马铃薯>辣椒>其他作物>水稻,速效钾含量均值大小排序为:其他作物>马铃薯>玉米>烤烟>水稻>辣椒,碱解氮、有效磷和速效钾的适宜程度等级分布与各自含量的均值呈现出相似趋势。烤烟、辣椒、马铃薯、水稻、玉米等作物在生长发育过程中对养分的吸收具有差异性,且农民种植不同的作物施肥量具有明显差异,

例如这几种作物在采样点的氮肥(按 N 纯量计算)施用量均值大小关系为:水稻(198.3 kg/hm<sup>2</sup>)>马铃薯(184.5 kg/hm<sup>2</sup>)>玉米(172.2 kg/hm<sup>2</sup>)>辣椒(115.7 kg/hm<sup>2</sup>)>烤烟(105.4 kg/hm<sup>2</sup>),磷肥(按 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 纯量计算)施用量均值大小关系为:烤烟(75.6 kg/hm<sup>2</sup>)>玉米(71.0 kg/hm<sup>2</sup>)>马铃薯(66.7 kg/hm<sup>2</sup>)>辣椒(54.8 kg/hm<sup>2</sup>)>水稻(51.1 kg/hm<sup>2</sup>),钾肥(按 K<sub>2</sub>O 纯量计算)施用量均值大小关系为:烤烟(397.2 kg/hm<sup>2</sup>)>马铃薯(313.8 kg/hm<sup>2</sup>)>辣椒(243.5 kg/hm<sup>2</sup>)>玉米(157.9 kg/hm<sup>2</sup>)>水稻(110.6 kg/hm<sup>2</sup>),因此长期单一耕作就会导致土壤某些营养元素的富集或亏缺,进而出现土壤碱解氮、有效磷、速效钾差异明显的现象。所以合理的轮作制度对维持植烟土壤养分平衡、稳定植烟土壤肥力、进而保证和提高烤烟产质量具有十分重要的意义。

表 7 盐源植烟土壤不同前茬作物土壤碱解氮、有效磷、速效钾含量的统计特征(mg/kg)  
Table 7 Statistical characteristics of available N, P and K contents of tobacco planting soil under different previous crops in Yanyuan

指标	前茬作物	样点数	最大值	最小值	均值	标准差	变异系数 (%)	适宜程度等级分布 (%)				
								15-20	21-30	31-40	41-50	51-60
碱解氮	烤烟	79	201.7	14.3	95.07	33.93	35.69	15.19	41.77	39.24	2.53	1.27
	辣椒	17	140.0	47.7	88.68	27.04	30.49	29.41	29.41	41.18	0.00	0.00
	马铃薯	36	209.4	31.1	110.04	47.76	43.40	19.44	27.78	33.33	13.89	5.56
	水稻	42	202.6	23.8	117.98	49.32	41.80	14.29	19.05	40.48	23.81	2.38
	玉米	129	187.1	22.8	101.32	36.77	36.29	13.95	31.78	44.96	9.30	0.00
	其他作物	14	179.9	48.7	113.94	42.80	37.56	14.29	21.43	50.00	14.29	0.00
有效磷	烤烟	79	51.0	0.8	11.64	11.39	97.85	32.91	26.58	22.78	11.39	6.33
	辣椒	17	16.4	0.7	8.33	4.97	59.66	35.29	23.53	41.18	0.00	0.00
	马铃薯	36	40.0	1.1	8.52	8.24	96.71	36.11	44.44	11.11	5.56	2.78
	水稻	42	18.0	1.1	7.90	4.78	60.51	30.95	35.71	33.33	0.00	0.00
	玉米	129	51.0	0.4	10.95	9.20	84.02	28.68	31.78	24.81	12.40	2.33
	其他作物	14	40.3	2.2	8.31	9.80	117.93	57.15	28.57	7.14	7.14	0.00
速效钾	烤烟	79	356.0	2.0	130.81	73.83	56.44	27.85	39.24	20.25	10.13	2.53
	辣椒	17	322.0	41.0	93.47	63.59	68.03	41.18	52.94	0.00	5.88	0.00
	马铃薯	36	404.0	55.0	187.03	91.24	48.78	13.89	27.78	22.22	30.56	5.56
	水稻	42	403.0	5.0	122.43	82.92	67.73	33.33	42.86	11.90	9.52	2.38
	玉米	129	409.0	14.0	157.22	97.35	61.92	24.03	34.88	17.05	18.60	5.43
	其他作物	14	297.0	113.0	205.00	68.26	33.30	0.00	21.43	28.57	50.00	0.00

2.4.5 不同因素影响程度分析 分别对土壤类型、海拔、坡度和前茬作物进行回归分析,以定量揭示不同因素对盐源植烟土壤碱解氮、有效磷、速效钾空间变异的影响程度。由表 8 可知,土壤类型、海拔、坡度和前茬作物对碱解氮的独立解释能力分别为 5.3%、4.7%、12.4%、10.7%,坡度和前茬作物的独立解释能力高于土壤类型和海拔的独立解释能力,碱解氮的空间变异主要受坡度和前茬作物的影响;各因素对有效磷的独立解释能力分别为 13.2%、8.0%、9.1%、12.2%,土壤类型和前茬作物的独立解释能力

高于海拔和坡度,有效磷的空间变异主要受土壤类型和前茬作物的影响;土壤类型、海拔、坡度和前茬作物对速效钾的独立解释能力分别为 12.7%、17.4%、16.6% 和 12.0%,各因素的独立解释能力均较大,速效钾的空间变异受海拔和坡度的影响更加明显。综上所述,结构性因素和随机性因素共同影响盐源植烟土壤碱解氮、有效磷、速效钾的空间变异,其中速效钾的空间变异受结构性因素影响更明显。因此,在研究区进行植烟区划和科学施肥应综合考虑不同的影响因素。

表 8 不同影响因素对盐源植烟土壤碱解氮、有效磷、速效钾含量的回归分析结果

Table 8 Regression analysis of available N, P and K contents of tobacco planting soil with different influencing factors in Yanyuan

影响因素	碱解氮回归分析结果			有效磷回归分析结果			速效钾回归分析结果		
	决定系数	校正决定系数	Sig.	决定系数	校正决定系数	Sig.	决定系数	校正决定系数	Sig.
土壤类型	0.055	0.053	<0.05	0.137	0.132	<0.01	0.132	0.127	<0.01
海拔	0.050	0.047	<0.05	0.083	0.080	<0.01	0.181	0.174	<0.01
坡度	0.129	0.124	<0.01	0.094	0.091	<0.01	0.170	0.166	<0.01
前茬作物	0.110	0.107	<0.01	0.126	0.122	<0.01	0.123	0.120	<0.01

### 3 结论

1) 盐源植烟土壤碱解氮、有效磷和速效钾含量均值皆处于适宜水平。分别有 46.69%、64.04%和 60.26% 的样点处于缺乏水平,且均达到中等变异程度,空间分布不均。

2) 盐源植烟土壤碱解氮、有效磷含量分布符合指数模型,具有中等空间自相关;速效钾符合高斯模型,具有明显空间自相关,自相关范围差异较大,空间变异受结构性因素和随机性因素共同影响。大部分烟田碱解氮含量处于适宜水平,主要分布在东西两侧;大部分烟田有效磷含量处于低和较低水平,仅在西部和东南的小部分区域达到适宜水平;大部分烟田速效钾含量处于低和较低水平,主要分布在盐源的西部和南部。

3) 盐源植烟土壤碱解氮的主控因素为坡度和前茬作物、有效磷的主控因素为土壤类型和前茬作物,速效钾的主控因素为海拔和坡度,因此在研究区进行植烟区规划和烤烟科学施肥需要考虑不同的影响因素。

#### 参考文献:

- [1] 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
- [2] 李志, 史宏志, 刘国顺, 等. 施氮量对皖南砂壤土烤烟碳氮代谢动态变化的影响[J]. 土壤, 2010, 42(1): 8-13
- [3] 张生杰, 黄元炯, 任庆成, 等. 氮素对不同品种烤烟叶片衰老、光合特性及产量和品质的影响[J]. 应用生态学报, 2010, 21(3): 668-674
- [4] 刘青丽, 陈阜, 张云贵, 等. 我国西南烟区典型植烟土壤烤烟氮素的吸收规律[J]. 作物学报, 2013, 39(3): 486-493
- [5] 金霞, 赵正雄, 吕芬, 等. 施磷量对烤烟几种生理生化物质含量、赤星病发生及烟叶产质量的影响[J]. 中国烟草学报, 2010, 16(3): 53-56
- [6] 贾志红, 易建华, 符建国, 等. 磷肥处理对烤烟生长生理及根系构型的影响[J]. 土壤, 2011, 43(3): 388-391
- [7] 郭燕, 许自成, 毕庆文, 等. 恩施烟区土壤磷素与烤烟磷含量的关系[J]. 土壤通报, 2010, 41(2): 403-407
- [8] 代晓燕, 郭春燕, 王海波, 等. 钾肥施用方式对豫西烤烟钾含量及产质量的影响[J]. 中国烟草学报, 2013, 18(3): 42-49
- [9] 邬石根, 白厚义, 张超兰, 等. 钾肥和营养调节剂对烤烟含钾量及重金属含量的效应研究[J]. 土壤通报, 2012, 43(1): 190-194
- [10] 郑东方, 许嘉阳, 许自成, 等. 钾肥和腐殖酸互作对烤烟有机钾盐指数的影响[J]. 土壤学报, 2015, 52(3): 169-177
- [11] 黄昌勇, 徐建明. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2010
- [12] 王宝峰, 刘国顺, 叶协锋. 坡地植烟土壤速效养分空间分析[J]. 西南农业学报, 2012, 25(1): 217-222
- [13] 刘逊, 邓小华, 周米良, 等. 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): 1 037-1 042
- [14] 王育军, 周冀衡, 孙书斌, 等. 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[J]. 土壤, 2015, 47(3): 515-523
- [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] 刘爱利, 王培法, 丁园圆. 地统计学概论[M]. 北京: 科学出版社, 2012
- [17] 马渝欣, 李徐生, 李德成, 等. 安徽省皖南山区农田表层土壤有机碳空间变异及其影响因素——以宣州区为例[J]. 土壤通报, 2014, 45(6): 1 424-1 429
- [18] 李启权, 王昌全, 张文江, 等. 基于神经网络模型和地统计学方法的土壤养分空间分布预测[J]. 应用生态学报, 2013, 24(2): 459-466
- [19] 腊贵晓, 顾怀胜, 刘国顺, 等. 喀斯特地区烟田土壤养分空间变异特征[J]. 水土保持研究, 2012, 19(3): 48-53
- [20] 顾成军, 史学正, 于东升, 等. 省域土壤有机碳空间分布的主控因子——土壤类型与土地利用比较[J]. 土壤学报, 2013, 50(3): 1-8
- [21] 罗由林, 李启权, 王昌全, 等. 四川省仁寿县土壤有机碳空间分布特征及其主控因素[J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(1): 34-42
- [22] 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
- [23] 陈小容, 雍太文, 杨文钰, 等. 不同种植模式下茬口对小麦季土壤养分和酶活性的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2011(6): 20-24

## Spatial Variability Characteristic and Its Influencing Factors of Tobacco Planting Soil Available N, P and K in Yanyuan County of Sichuan, China

JIN Mingqing<sup>1</sup>, PENG Yueyue<sup>1</sup>, WANG Pei<sup>2</sup>, FENG Lang<sup>1,3</sup>, CHEN Yulan<sup>3</sup>,  
DU Xuanyan<sup>1</sup>, LI Qiquan<sup>1</sup>, WANG Changquan<sup>1\*</sup>

(1 *College of Resources, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China*; 2 *China Tobacco Sichuan Industrial Co. Ltd., Chengdu 610000, China*; 3. *Liangshan District Tobacco Company, Liangshan, Sichuan 615000, China*)

**Abstract:** In order to provide scientific references for tobacco planting, reasonable fertilization and improvement of tobacco quality, the spatial distribution characteristics of available nutrients of tobacco planting soil in Yanyuan, Sichuan Province were investigated using geostatistics and the effects of the influencing factors on these characteristics were examined by regression analysis. The results indicated: 1) The means of soil available N (AN), available P (AP) and available K (AK) in the study area are 102.84, 10.18 and 148.10 mg/kg, respectively, and all of them are in the middle level. Their coefficients of variation are 38.66%, 90.08% and 60.65%, respectively, and reached middle variation degree, showing uneven spatial distribution. 2) The exponential model fitted spatial distributions of soil AN and AP well with a moderate spatial dependence, while Gaussian model fitted soil AK well with a high spatial dependence. The spatial variabilities of the nutrients are affected by structural and random factors synchronously. 3) The spatial variabilities of tobacco planting soil AN, AP and AK in Yanyuan have different main controlling factors. The main controlling factors of AN are slope and previous crop. The factors for AP are soil type and previous crop and are altitude and slope for soil AK. Therefore, various influencing factors need to be considered for selection of tobacco planting soils and fertilization.

**Key words:** Tobacco planting soil; Available N, P, K; Spatial variability; Influencing factors; Yanyuan County of Sichuan