

松阳县毛竹林地土壤养分空间变异特征分析

毛朝明, 蒋灵华

(浙江省松阳县自然资源和规划局, 浙江 松阳 323400)

摘要: 为掌握松阳县毛竹 *Phyllostachys edulis* 林地土壤养分的基本情况及其变异特征, 以地统计学半方差方法分析研究毛竹林地土壤的 pH 及有机质、全氮、碱解氮、全钾、速效钾、全磷、有效磷 7 个主要养分因子的空间变异特征。结果表明, 毛竹林地土壤 pH 平均值为 4.75 ± 0.28 、有机质含量的平均值为 $42.94 \pm 10.47 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、全氮含量的平均值为 $2.15 \pm 0.96 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、碱解氮含量的平均值为 $159.79 \pm 70.49 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、全磷含量的平均值为 $0.19 \pm 0.09 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、有效磷含量的平均值为 $2.27 \pm 1.45 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、全钾含量的平均值为 $10.01 \pm 2.95 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、速效钾含量的平均值为 $61.28 \pm 26.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; 用经典统计学分析发现土壤有机质、全氮、碱解氮、全钾、有效磷和全磷都有较大变异; 利用地统计学半方差特征参数函数分析各养分的理论拟合模型发现, 全氮和有效磷含量分布符合球状模型, 有机质、全磷和全钾含量分布符合高斯模型, 碱解氮和速效钾含量分布符合指数模型; 各养分的块金系数在 25% ~ 75%, 为中等空间自相关性。结合该县毛竹林经营行为等综合因素分析认为, 松阳县毛竹林土壤主要养分空间变异是自然过程和人为经营活动共同作用的结果, 人工经营、气候、林地破碎性和养分随水土的流失等原因改变了土壤原本的连续变化, 是产生土壤养分空间变异的主要原因。

关键词: 毛竹林; 土壤养分; 地统计学; 空间变异; 松阳县

中图分类号: S714.5 文献标识码: A 文章编号: 1001-3776 (2020) 02-0065-06

Spatial Variability of Soil Nutrient Content in *Phyllostachys edulis* Stands in Songyang County

MAO Zhao-ming, JIANG Ling-hua

(Songyang Natural Resources and Planning Bureau of Zhejiang, Songyang 323400, China)

Abstract: In December 2014 and January 2015, soil samples were collected at *Phyllostachys edulis* stands in 18 villages of Songyang county, Zhejiang province. Determinations were conducted on soil pH, content of organic matter, total nitrogen, available nitrogen, total potassium, available potassium, total phosphorus and available phosphorus. The result demonstrated that mean pH was 4.75 ± 0.28 , average organic matter content of $42.94 \pm 10.47 \text{ g/kg}$, average total nitrogen content of $2.15 \pm 0.96 \text{ g/kg}$, average available nitrogen content of $159.79 \pm 70.49 \text{ mg/kg}$. The average total phosphorus content, available phosphorus content, total potassium and available potassium content was $0.19 \pm 0.09 \text{ g/kg}$, $2.27 \pm 1.45 \text{ mg/kg}$, $10.01 \pm 2.95 \text{ g/kg}$, $61.28 \pm 26.6 \text{ mg/kg}$ respectively. Statistical analysis showed that there were significant variations among soil nutrient contents. Analysis by semi-variogram resulted that distribution of total N and available P was in accordance with spherical model, that of organic matter, total P and total K with Gaussian model, and that of available N and available K with exponential model. The nugget coefficient of each nutrient was 25%-75%, meaning a medium spatial autocorrelation. Based on analysis of comprehensive factors such as bamboo management, it

收稿日期: 2019-11-29; 修回日期: 2020-02-11

基金项目: 浙江省生态建设目标责任制考核重大科技项目 (2014314)

作者简介: 毛朝明, 高级工程师, 从事森林培育工作; E-mail: symzm0108@126.com。通信作者: 蒋灵华, 高级工程师, 从事森林培育工作; E-mail: 1115202324@qq.com。

concluded that the spatial variation of main nutrients in the soil of bamboo stands in Songyang was the result of interaction of natural process and management activities.

Key words: *Phyllostachys edulis* stands; soil nutrient; geostatistical analyst; spatial variability; Songyang county

毛竹 *Phyllostachys edulis* 作为重要的经济竹种, 集约化经营程度较高, 施肥等人工耕作措施已得到普遍使用, 成为影响毛竹土壤养分变化的重要外在力量。郭晓敏^[1]等认为施肥是造成土壤养分变异的主要原因; 郭晓东^[2]等认为人类施肥、耕作措施的改变及土地利用保护是引起土壤养分变化的主要原因。在制定区域平衡施肥技术方案时, 必须先对土壤养分进行较为全面的调查与分析, 同时考虑土壤异质的普遍性, 根据土壤状况制定不同的施肥措施。传统方法是通过采集较多土壤样品数量和增加采样密度来提高调查的准确性。但是, 增加采样数会受到财力、物力、人力的限制。而地统计学^[3]的研究方法可以利用已知数据的空间变异规律进行插值从而得到无偏最优估计量, 掌握更为准确的土壤空间养分变异情况, 为制定精准施肥方案提供更为全面的土壤数据^[4-5]。本文以地统计学半方差方法分析研究松阳县毛竹林地土壤的 pH、有机质、全氮、碱解氮、全钾、速效钾、全磷和有效磷等体现土壤肥力的主要养分因子及空间异质特征, 为准确制定区域毛竹平衡施肥方案, 实现土壤养分科学管理提供客观基础数据。

1 研究区概况

松阳县地处浙江省西南山区, 地理坐标为 28°14' ~ 28°36' N, 119°10' ~ 119°42' E, 属中亚热带季风气候, 温暖湿润, 四季分明, 山地垂直气候差异明显, 年平均气温在 14.2 ~ 17.7℃, 极端最高气温 40.1℃, 极端最低气温 -9.7℃, ≥10℃年积温 4 458 ~ 5 634℃, 全年无霜期在 206 ~ 236 d, 多年平均降水量 1 532 mm, 年蒸发量 1 294 mm, 年相对湿度 79%左右。境内海拔高低相差悬殊, 最低海拔 78 m, 最高峰 1 502.8 m, 山地面积占 87%, 成土母质主要为凝灰岩、流纹岩、花岗岩等酸性火山岩, 主要发育成红壤和黄壤两大土类。海拔 750 m 以下主要为红壤 (0.4%) 和黄红壤 (46.9%), 海拔 750 m 以上主要为黄壤 (24%), 还有岩性土、潮土、水稻土等。根据 2015 年森林资源二类调查结果, 全县现有毛竹林 1.2 万 hm², 主要分布在西南部山区新兴、玉岩、枫坪、竹源、叶村等乡镇, 区域特征明显。

2 研究方法

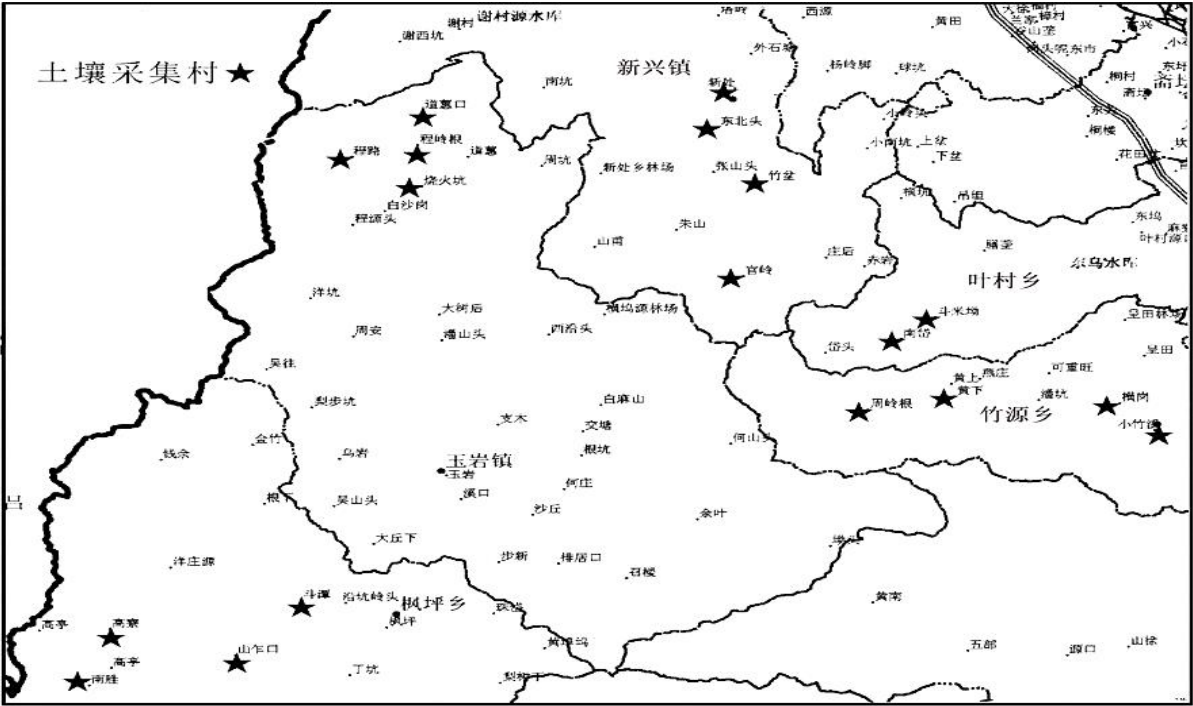
2.1 土壤样品采集

在对全县毛竹林经营历史、经营情况进行调查、资料收集、整理与分析的基础上, 选择新兴镇、玉岩镇、枫坪乡、竹源乡、叶村乡 5 个毛竹主要分布区乡镇, 5 个乡镇的毛竹林面积占全县毛竹林面积的 70%以上, 作为研究重点区域。再根据面积和经营水平结合乡镇内的空间布局, 确定能代表各种不同毛竹经营强度的 18 个村 (见图 1) 作为土壤取样采集村。2014 年 12 月至 2015 年 1 月, 在新兴镇、玉岩镇、枫坪乡、竹源乡各乡 (镇) 分别选择 4 个村作为土壤采集村, 叶村乡毛竹林面积仅 500 hm² 左右, 毛竹经营强度比较相近, 选择 2 个村作为土壤采集村, 分别按照每 4.00 ~ 5.33 hm² 采集 1 个样品的密度, 布点采集土壤样品。采集 0 ~ 30 cm 表层土样, 根据 S 形确定 4 ~ 6 个采样点混合均匀放入取样袋中, 并用 GPS 全球定位系统定位, 记录样点所在的经纬度、海拔, 同时记载坡度、坡向、立竹结构、经营情况等因子, 土样采集后带回实验室后风干并过筛后进行测定, 共采集样品 144 个。

2.2 测定与分析

参照《森林土壤分析方法》(国家林业行业标准 LY/T 1210-1279-1999) 对影响毛竹生长的主要养分^[6]土壤有机质、全氮、碱解氮、全磷、有效磷、全钾、速效钾以及土壤 pH 进行测定分析, 其中土壤 pH 虽然不是养分因子, 但它的数值大小影响植物的生长, 影响土壤养分因子的释放、固定和迁移等, 因此也一并列入分析研究。

土壤 pH: 水土比 5:1 浸提, 酸度计法。土壤有机质: 重铬酸钾氧化—外加热法。土壤全氮: 硒粉—硫酸铜—硫酸钾消化, 半微量凯氏定氮法, 全自动 (FOSS) 凯氏定氮仪测定。土壤碱解氮: 碱解—扩散吸收法。土壤有效磷: $0.03\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 氟化铵— $0.025\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 盐酸浸提, 钼锑抗比色法。土壤速效钾: $1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 乙酸钠浸提, 火焰光度计法。



注: 玉岩镇: 道惠口村、程岭根村、烧火坑村、程路村; 枫坪乡: 南胜村、高寮村、山乍口村、斗潭村;
新兴镇: 东北头村、竹垞村、新处村、官岭村; 竹源乡: 横岗村、小竹溪村、黄下村、周岭根村;
叶村乡: 斗米坳村、南岱村。

图 1 松阳县毛竹林地土壤样品采集村分布图

Figure 1 Location of soil sampling villages in Songyang county

2.3 数据处理

2.3.1 数据预处理 在土壤采集和实验分析中, 会出现分析结果的特异值 (即极大值和极小值)。这些特异值对后续的数据分析会造成较大的影响, 导致分析结果发生偏差而不准确, 因此对实验结果数据进行预处理, 从而剔除一些明显的异常值, 并对这些数据进行修正, 用正常最大值或正常最小值代替。在处理过程中, 将特异值与总体数据比较并置于取样空间位置, 如果数据与总体数据和周围分布的数据点比较都是异常的, 则判断该数值为异常值, 以正常最大或正常最小值代替异常值。判断异常值的标准是如果该数值比总体均值大 (小) 5 倍标准差或以上, 同时比邻近样点数据的均值大 (小) 3 倍标准差或以上, 就认为该数据为异常值, 就是用正常最大值或正常最小值代替; 否则, 认定该数据有效。

2.3.2 数据正态检验和转换 为避免发生比例效应, 使基台值和块金值增大, 降低估计精度, 导致某些结构特征不明显, 用地统计学半变异函数分析需在本征假设或二阶平稳假设基础上进行, 要求各数值必须符合正态分布或近正态分布, 因此必须先对数值进行变异性性和分布形态检验, 对不符合正态分布的数据进行正态转换, 以消除比例效应。

2.3.3 数据分析 用 SPSS19 统计分析软件 (经典统计) 对样品主要养分数值统计分析, 计算其平均值 (MN)、标准差 (SD)、最大值、最小值、变异系数 (CV)。用地统计分析软件 GS+9.0 对土壤养分各指标进行半变异方差分析, 并通过半方差模型拟合图综合考虑决定系数、残差选出最优半方差函数模型, 对其进行分析。

$$CV(\%) = (SD/MN) \times 100\%$$

当 $CV=10\% \sim 100\%$ 时, 为中等变异; $CV>100\%$ 时, 为强变异性, $CV<10\%$ 时, 为弱变异。

描述分布形态的指标有偏度和峰度。当偏度=0 时, 随机变量为对称分布, 符合正态分布; 偏度 <0 时, 分布为左(负)偏态; 偏度 >0 时, 分布为右(正)偏态。峰度是描述变量分布的平缓或陡峭的指标, 正态分布的峰度=0, 如果峰度 >3 , 峰的形状比较陡峭^[7]。

在半方差函数模型中, C_0 表示块金方差, 是由土壤采样、实验分析、施肥、耕作等各种外在随机因素共同引起的变异, 其数值大表示人为因素影响较大; 偏基台值 C 表示结构方差, 由土壤母质、地形气候、植被等非人为结构因素引起的变异; C_0+C 为基台值, 表示系统内总的变异, 是半方差函数随间距递增到一定程度后出现的平稳值; 块金系数 $C_0/(C_0+C)$ 表示空间变异性程度, 是由随机性因素引起的空间变异性占系统总变异的比列, 块金系数大说明由随机部分引起的空间变异性程度较大; 相反, 块金系数小说明变异主要是由内在结构性因素引起的。按照区域化变量空间相关性程度的分级标准, 当 $C_0/(C_0+C) \leq 25\%$ 时, 表示变量具有强烈的空间相关性; 当 $25\% < C_0/(C_0+C) < 75\%$ 时, 表示变量具有中等的空间自相关性; $C_0/(C_0+C) \geq 75\%$ 时, 变量空间相关性很弱^[8]。

3 结果与分析

3.1 样区毛竹林地主要养分平均含量

新兴镇、玉岩镇、枫坪乡、竹源乡、叶村乡 5 个乡镇毛竹林地土壤主要养分平均含量见表 1。5 个采样区域, 毛竹林都有 6~8 a 的人工经营历史, 能够涵盖全县毛竹林不同经营强度类型, 基本能代表松阳县毛竹林经营的总体情况。

表 1 各样区土壤 pH 及主要养分平均含量
Table 1 Mean pH and main nutrient content in sampling area

样区	pH	有机质 /(g·kg ⁻¹)	全氮 /(g·kg ⁻¹)	碱解氮 /(mg·kg ⁻¹)	全磷 /(g·kg ⁻¹)	有效磷 /(mg·kg ⁻¹)	全钾 /(g·kg ⁻¹)	速效钾 /(mg·kg ⁻¹)
新兴镇	4.81	35.55	1.74	148.00	0.16	2.62	11.14	68.32
玉岩镇	4.80	60.02	3.19	277.98	0.34	2.14	8.02	86.32
枫坪乡	4.71	39.02	2.03	133.48	0.30	1.49	11.34	39.53
竹源乡	4.49	32.23	1.78	143.05	0.28	2.14	9.05	60.17
叶村乡	4.78	44.14	2.10	166.30	0.22	3.07	11.06	65.15

从表 1 可以看出, 各毛竹林地土壤的养分都存在较大差异。通过调查进一步发现, 玉岩镇因为海拔较高, 常年温度比其他乡镇偏低, 年温度 $\leq 0^{\circ}\text{C}$ 天数多于其他乡镇, 冬笋品质好, 市场有较强竞争力, 冬笋的生产强度较大, 但距离县城较远, 春笋利用率较低, 农民会弃收部分春笋, 同时农民施肥时普遍喜好使用氮肥。海拔高, 气温低, 土壤的微生物活跃度低, 造成土壤有机质分解矿化缓慢, 是土壤有机质含量和碱解氮指标偏高的主要原因; 其他 4 个乡镇竹农氮素用量比玉岩镇少, 土壤中的氮素水平相对较低。

3.2 毛竹林地土壤养分变异分析

松阳县毛竹林地土壤养分描述性统计特征值见表 2。

表 2 松阳县毛竹林土壤养分描述性统计特征值
Table 2 Statistical characteristic of soil nutrient content in *P. edulis* stands

土壤养分	$MN \pm SD$	最小值	最大值	$CV/\%$	偏度	峰度
pH	4.75 ± 0.28	4.75	5.60	5.89	-0.50	0.78
有机质/(g·kg ⁻¹)	42.94 ± 10.47	23.39	87.56	24.38	1.47	2.52
全氮/(g·kg ⁻¹)	2.15 ± 0.96	1.13	4.95	44.65	1.74	3.98
碱解氮/(mg·kg ⁻¹)	159.79 ± 70.49	99.52	321.27	44.11	1.72	3.69
全磷/(g·kg ⁻¹)	0.19 ± 0.09	0.16	0.34	45.86	1.48	3.06
有效磷/(mg·kg ⁻¹)	2.27 ± 1.45	1.13	5.18	47.37	1.54	2.97
全钾/(g·kg ⁻¹)	10.01 ± 2.95	8.02	11.34	29.63	0.62	0.36
速效钾/(mg·kg ⁻¹)	61.28 ± 26.6	35.22	92.99	43.43	2.83	17.96

从表 2 可知，pH 的 CV 最小，为 5.89%，属弱变异。有机质和全钾的 CV 接近，有效磷和全磷的 CV 最大，分别为 47.37%和 45.86%，土壤中各养分元素含量的差异较大。从各养分的偏度和峰度看，各养分的分布仅全钾含量接近正态分布，其余养分含量都不接近正态分布，需要进行转换处理，使其符合或基本符合正态分布。

松阳县自 2008 年开始大规模开展毛竹笋用林基地建设后，农户对竹山进行施肥管理，大多使用以尿素加少量的过磷酸钙和氯化钾（或硫酸钾）人工自配的氮、磷、钾复合肥为主，用量在 750~1 125 kg·hm⁻² 之间。农户喜好用氮肥，不施或少施磷、钾肥的现象较多。高施肥、高产出、农户间竹林镶嵌不同经营强度和作业方式、地形破碎等原因造成了样地土壤碱解氮、有效磷和速效钾的偏斜，且变异系数较大。

3.3 毛竹林地土壤养分空间变异半方差分析

松阳县毛竹林地土壤主要养分半方差特征参数函数分析结果见表 3。

表 3 毛竹林地土壤主要养分半方差特征参数函数分析
Table 3 Analysis by semi-variogram on soil nutrients in *P. edulis* stands

土壤养分	转换方式	C ₀	C	C ₀ +C	C ₀ /(C ₀ +C)/%	RSS	R ²	模型
有机质	对数转换	0.024	0.026	0.060	40.0	2.325	0.272	高斯模型
全氮	对数转换	0.017	0.030	0.047	36.2	1.368	0.394	球状模型
碱解氮	对数转换	0.015	0.024	0.039	38.5	1.489	0.376	指数模型
全磷	对数转换	0.041	0.031	0.072	56.9	2.360	0.156	高斯模型
有效磷	对数转换	0.043	0.031	0.074	58.1	1.788	0.145	球状模型
全钾	开方转换	0.084	0.035	0.119	70.6	1.115	0.214	高斯模型
速效钾	对数转换	0.492	0.342	0.771	63.9	3.216	0.269	指数模型

从表 3 可以看出，松阳县毛竹林地土壤主要养分中，全氮和有效磷含量的分布符合球状模型，呈聚集分布；有机质、全磷和全钾含量的分布符合高斯模型；碱解氮和速效钾含量的分布符合指数模型。所有养分模型的相关系数都不是很高，其中全氮的最高，为 0.394；有效磷的最低，为 0.145。所有养分 C₀/(C₀+C) 均在 25%~75%，判断为中等空间自相关性。根据数值越大相关性越弱的原理推断，松阳县毛竹林地土壤主要养分空间自相关性以全氮>碱解氮>有机质>全磷>有效磷>速效钾>全钾的顺序逐渐减弱，说明人为活动对土壤养分发生异质性的影响不断增强。

4 结论与讨论

研究表明，松阳县毛竹林地土壤 pH 的平均值为 4.75±0.28、有机质含量的平均值为 42.94±10.47 g·kg⁻¹、全氮含量的平均值为 2.15±0.96 g·kg⁻¹、碱解氮含量的平均值为 159.79±70.49 mg·kg⁻¹、全磷含量的平均值为 0.19±0.09 g·kg⁻¹、有效磷含量的平均值为 2.27±1.45 mg·kg⁻¹、全钾含量的平均值为 10.01±2.95 g·kg⁻¹、速效钾含量的平均值为 61.28±26.6 mg·kg⁻¹；用经典统计学分析发现土壤有机质、全氮、碱解氮、全钾、有效磷和全磷含量都有较大变异。利用地统计学半方差特征参数函数分析各养分的理论拟合模型发现，全氮和有效磷含量分布符合球状模型；有机质、全磷和全钾含量分布符合高斯模型；碱解氮和速效钾含量分布符合指数模型。同时各养分的块金系数在 25%~75%，为中等空间自相关性。结合该县毛竹经营行为等综合因素分析认为，松阳县毛竹林地土壤主要养分空间变异是自然过程和人为经营活动共同作用的结果，人工经营、气候、林地破碎性和养分随水土的流失等原因改变了土壤原本的连续变化，是产生土壤养分空间变异的主要原因。

松阳县经历“林业三定”（稳定山权林权、划定自留山、确定林业生产责任制）和集体林权制度改革，毛竹林基本已分配到各农户经营，且各户面积规模均不大，农户之间竹山相互镶嵌，农户间生产经营行为存在较大差异，竹林不同经营强度、施肥、林地破碎性和不同经营行为改变了土壤原本的连续变化，使区域各养分含量处于随机分布状态，并进一步加剧了土壤养分的空间异质性。这种变异是自然过程和人为活动共同作用的结果，这与江叶枫^[9-10]等的研究结果基本一致。

平衡施肥既能促进植物更好的生长,又能减少不当施肥带来的养分流失,从而减少农业面源污染的发生,也是进一步实现减量增效施肥目标^[11]的主要手段。在制定平衡施肥技术方案时,既要全面了解不同土壤的变化情况,也要分析土壤养分变异的特征和规律,根据这种变异特征和规律制定更为合理的施肥方案^[12]。

农户间生产方式不同带来的土壤养分异质性,在制定平衡施肥技术方案时,不同农户需要有对应的技术方案,由此会增加技术研制的成本。通过加强毛竹标准化生产技术的应用,形成一定区域范围较为统一的施肥、垦复、挖笋、采伐等生产模式,逐步减少区域土壤的异质性,制定并推广较大区域平衡施肥方案,可以减少各项生产成本,便于技术的统一使用,提高经营的经济效益。

参考文献:

- [1] 郭晓敏,牛德奎,郭熙,等. 奉新毛竹土壤养分空间变异性研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(3): 420-425.
- [2] 郭晓东,傅伯杰. 河北省遵化平原土壤的时空变异特征——变异函数与 Kriging 差异分析[J]. 地理学报, 2002, 55(5): 555-566.
- [3] 刘爱利,王培法,丁园圆. 地统计学概论[M]. 北京: 科学出版社, 2012, 1-12.
- [4] 刘杏梅,徐建民,章明奎,等. 太湖流域土壤养分空间变异特征分析——以浙江平湖市为例[J]. 浙江大学学报, 2003, 29(1): 76-82.
- [5] 郭安廷,崔锦霞,许鑫,等. 基于 GIS 与地统计学的土壤养分空间变异研究[J]. 中国农学通报, 2018, 34(23): 72-79.
- [6] 高志勤,傅懋毅. 经营方式对毛竹林土壤肥力指数的影响[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2008, 32(4): 81-85.
- [7] 雷咏雯,危常州,李俊华,等. 不同尺度小土壤养分空间变异特征的研究[J]. 土壤, 2004, 36(4): 376-381.
- [8] 吴黎军,贺军亮,冯晓森. 地统计学及其在土壤生态学研究中的应用与进展[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(25): 12353-12356.
- [9] 叶江枫,郭熙,叶英聪,等. 南方丘陵山区耕地土壤养分空间变异及合理采样数[J]. 江苏农业学报, 2017, 33(3): 568-572.
- [10] 叶江枫,叶英聪,郭熙,等. 南方红壤不同侵蚀程度下耕地土壤有效磷空间分布特征及其驱动因素[J]. 土壤, 2018, 5(5): 1013-1021.
- [11] 国家农业部. 农业部关于印发《到 2020 年化肥使用量零增长行动方案》和《到 2020 年农药使用量零增长行动方案》的通知[EB]. [2015-3-18]. http://jiuban.moa.gov.cn/zwllm/tzgg/tz/201503/t20150318_4444765.htm
- [12] 赖壮杰,刘健,余坤勇,等. 南方典型毛竹经营区土壤养分空间变异特征——以福建省南平市顺昌县毛竹林经营区为例[J]. 东北林业大学学报, 2018, 46(3): 63-68.