

文章编号: 1008 - 2786 - (2017) 2 - 160 - 10

DOI: 10. 16089/j. cnki. 1008 - 2786. 000208

江浙典型茶园的土壤速效钾空间分布

施龙博¹ 方斌^{1 2 3*} 董立宽¹

(1. 南京师范大学 新型城镇化与土地问题研究中心 ,南京 210023; 2. 江苏省地理信息资源开发与利用协同创新中心 ,南京 210023;

3. 江苏省物质循环与污染控制重点实验室 ,南京 210023)

摘 要: 钾是茶叶生长过程中必不可少的营养元素 研究其空间变异规律可为茶园的养分施用与经营管理提供理论指导 ,为切实提高茶叶质量和产量提供建议。论文以江、浙优质茶叶种植区内的速效钾含量为研究对象 ,运用描述统计学分析、半方差函数模型以及空间插值方法分析钾元素在不同地域条件下的空间变异特征及其影响因素。研究结果表明: (1) 天目湖和溪龙乡种植区的速效钾含量平均值明显高于龙井村和东山镇种植区 ,其中溪龙乡最高 ,东山镇最低。 (2) 半方差函数模型拟合显示江苏两个茶叶种植区速效钾含量有中等空间相关性 ,浙江两个茶叶种植区速效钾含量空间相关性较弱。 (3) 插值结果显示江苏省两个茶叶种植区的速效钾含量高值区均在西南和东北部 ,浙江省两个种植区的速效钾含量高值区分布较分散。 (4) 四个种植区的速效钾分布均受到结构性因素和随机性因素共同作用 ,浙江省两个茶叶种植区受随机性因素影响更大。

关键词: 速效钾; 茶园; 空间分布特征

中图分类号: 153. 6 + 1

文献标志码: A

钾在茶树体内的含量仅次于氮素 ,极大地影响茶叶产量和品质。厉龙明^[1] 等人研究表明钾能加强茶树的光合作用 ,促进新陈代谢产物的运输和存储; 阮建云、王晓萍^[2, 3] 等人研究表明钾能调节茶树对水分的吸收和利用 ,提高茶树的抗旱能力; 吴洵^[4] 研究表明钾能增强茶树的抗寒抗病能力。在实际评定中 ,一般以速效钾来表达其在土壤中的含量^[5] ,其值大小会直接影响作物生长和土壤健康。不同地域钾含量的对比研究更是为钾的空间特征解析提供方法论指导 ,帮助茶园管理者根据种植区内土壤速效钾的含量制定科学合理的施肥方案。

有关土壤速效钾的空间分布特征研究较多。AP Mallarino^[6] 等人研究了不同耕作模式下深度施肥后的土壤速效钾分布; S. R. Wilkinson^[7] 等人以美国肯塔基州的一个牧场为对象研究其受施肥和植物

内生真菌感染水平影响的土壤速效钾分布。徐茂^[8]、孙伟侠^[9]、张玲娥^[10] 等人从时间跨度上对速效钾含量的空间分布进行研究; 熊柳梅^[11]、庞凤^[12]、孙永健^[13] 等人分析了速效钾的空间分布特征并指出其影响因素; 张少良、张兴义^[14] 等人从不同坡度讨论了土壤速效钾的空间分布特征。这些研究都分析了土壤速效钾的空间分布特征 ,但是对于茶园钾的空间分布研究较少 ,且基本都是以一个茶园为研究区 ,缺乏对不同区域茶园速效钾的空间异质性对比分析的研究。

基于此 ,论文以江、浙地区四个典型茶园为研究区 ,运用描述统计学分析、半方差函数模型以及空间插值方法 ,研究钾元素在不同地域条件下的空间变异特征及其影响因素 ,研究结果期望能为茶园的施肥方法和经营管理提供理论指导 ,提高茶叶产量和质量。

收稿日期(Received date): 2015 - 05 - 06; 改回日期(Accepted date): 2016 - 11 - 27。

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金项目(41271189; 41671174) [National Nature Science Fund Project (41271189)]

作者简介(Biography): 施龙博(1992 -) ,男(汉族) ,江苏启东人 ,硕士研究生 ,从事土地资源管理研究。 [Shi Longbo (1992 -) , male , M. Sc. candidate , major in land resource management.] E - mail: shilongbo@ 126. com

* 通信作者(Corresponding author): 方斌(1968 -) ,男 ,江西九江人 ,博士 ,教授 ,从事土地资源管理研究。 [Fang Bin (1968 -) , male , Ph. D , professor , research on land resource management.] E - mail: wenyanfang731@ 163. com

1 材料和方法

1.1 研究区概况

江、浙同属于我国长三角地区以及中国四大茶区中的江南茶区,是我国优质名茶高产区,其土壤质地及土壤元素背景值相似^[15,16]。本研究在两省分别选取两个优质茶叶种植地作为研究区,对比分析钾元素的空间变异特征及其影响因素。由于研究区自然条件各不相同,各地茶园的种植规模大小不一,因此采样区域的面积存在差异。本次研究选取的区域都是江浙地区出名的茶叶种植区。研究区区位如图1所示。江苏省的两个采样区分别是溧阳市天目湖镇的桂林村(I)和苏州市的东山镇(II);浙江省的两个采样区分别是安吉县溪龙乡的黄杜村(III)和杭州市的龙井村和杨梅岭村(IV)。

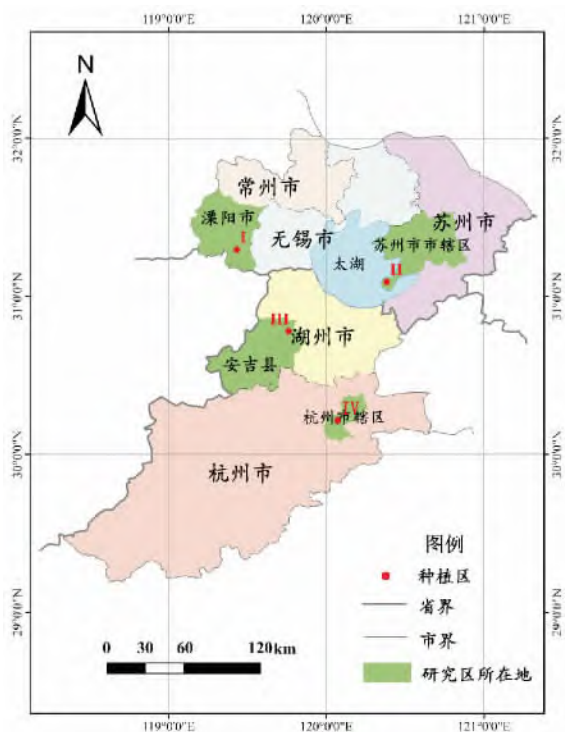


图1 研究区行政区位图

Fig.1 Location of study area

溧阳市天目湖镇地处苏浙皖三省的交界处,属中纬度亚热带丘陵山区气候,四季分明,全年气候温暖,雨水和日照充足。地形平坦,有部分低丘,海拔在50 m以下。区内土壤主要为酸性的黄棕壤,部分为黄壤土和黄棕砂等。该研究区茶园面积251 hm²,是江苏省第二大茶叶主产区,主要种植绿茶和白茶。

苏州市东山镇位于吴中区西部,太湖东岸,属北亚热带湿润性季风气候,全年雨量丰沛,气候温和。境内多为丘陵,海拔100~300 m。土壤母质为石英砂岩及湖相沉积物,因太湖水体调节,土壤呈酸性、土色黄红、质地疏松,当地称黄红土。该研究区内茶园面积2 298 hm²,主要种植碧螺春。

安吉县溪龙乡位于浙江省西北部,属亚热带海洋性季风气候,日照充足,年平均气温15.60℃。区内海拔80~500 m,地形复杂,分布较多低山和丘陵。土壤类型主要为酸性的黄棕壤和红壤。该研究区茶叶种植面积超过6 600 hm²,主要种植白茶。

杭州市龙井村位于西湖风景区西南面,属中北亚热带过渡区,气候温和,雨水充足。区内地势起伏较大,丘陵密布,海拔在200 m以下。土壤类型为白砂土与黄红壤土,其所含的微量元素适宜茶叶优良品质的形成。该研究区茶叶种植面积50多hm²,主要种植龙井茶。

1.2 土壤样品采集

实地考察和走访茶叶种植户,结合遥感影像,从江、浙选出四个典型的茶园作为本次研究的取样区。依据1:5 000的乡镇级土地利用现状图、1:10 000地形图、卫星图片等,借助地理信息系统软件Arc-GIS提取地形、地貌、水文等数据作为区域自然资源参数。同时,按土壤亚类划分,根据区域不同的分布面积比例和利用方式,在四个种植区各选取40个采样点,每个样点取1 kg左右混合样品。并准确记录采样点的地形、土壤类型、土壤质地、耕层厚度以及GPS地理坐标等信息。为保证样本数据准确性,采样时间挑选在春茶采收基本结束,园地养分未施加之前,具体日期为2013年4月18日~5月20日^[17-19]。最终采集样本160个。采样点分布情况见图2。

1.3 土壤样品处理

土壤样品带回后自然风干、去除异物、研磨过筛(0.074 mm),制成待测土样,采用乙酸铵提取—火焰光度计法测定土壤样本中的速效钾含量;采用TOC分析仪(日本,Shimadzu)SSM-5 000A固体进样模块测定土壤样本中的有机质含量。同时,本文还采用电位法(SevenCompact S220K,瑞士)对样本的pH值进行了测定^[17]。

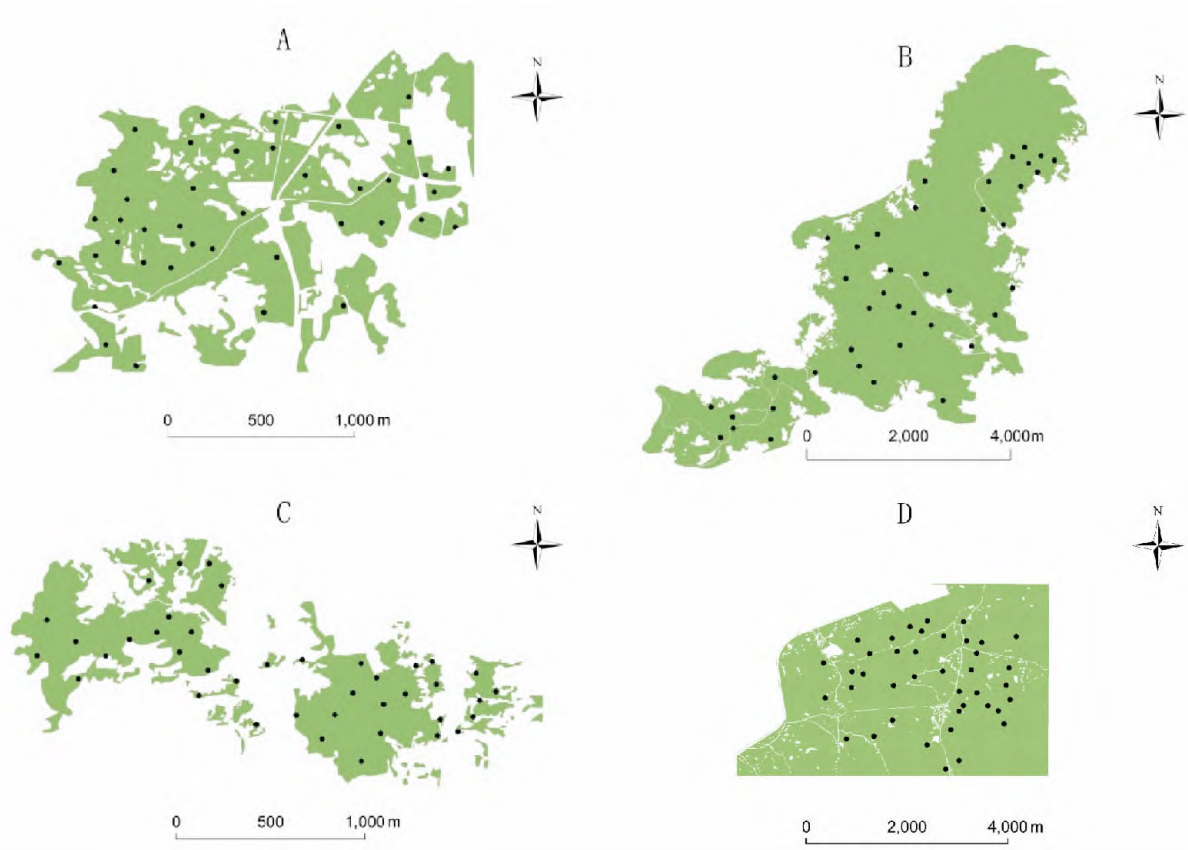


图2 采样点分布图(A 天目湖镇种植区 ,B 东山镇种植区 ,C 龙井村种植区 ,D 溪龙乡种植区)

Fig.2 Distribution of sampling sites (A Tianmuhu ,B Dongshan ,C Longjing ,D Xilong)

1.4 数据处理

运用 SPSS 软件分析研究区土壤速效钾含量,包括最值、均值等;运用 K-S 检验是否正态分布并分析速效钾和单个影响因子的相关性。运用 ArcGIS 对数据的空间关系进行分析。由于经典统计分析只能从总体状况上对土壤速效钾的含量进行描述,不能反映空间分布数据的结构性和随机性、空间相关性和依赖性、空间格局与变异。因此采用地统计学方法对其进一步分析并插值。利用半方差函数对土壤速效钾含量的空间分布进行拟合,结果中的块金值、基台值和变程等能够反映速效钾含量在研究区范围内的空间变异程度和相关程度。根据半方差模型拟合结果中的 R^2 ,决定采用何种插值方法对研究区土壤速效钾含量的空间分布进行分析^[20-26]。

2 研究结果与分析

2.1 描述统计学分析

SPSS 统计结果显示(见表1),天目湖、东山镇

和龙井村种植区的速效钾含量最大值均在 300 mg/kg 左右,溪龙乡种植区为 258.595 mg/kg;东山镇、溪龙乡和龙井村的最小值均在 10 mg/kg 以下,天目湖最大,为 16.745 mg/kg;就平均值而言,溪龙乡和天目湖种植区较高,分别为 151.423 mg/kg 和 143.288 mg/kg,远高于东山镇和龙井村种植区的 109.750 mg/kg 和 113.179 mg/kg。速效钾空间变异性随变异系数(CV)增大而增强,通常认为变异系数 $CV \leq 0.1$ 时为弱变异性, $0.1 < CV < 1$ 时为中等变异性, $CV \geq 1$ 时为强变异性^[23],四个研究区的变异系数都属于中等变异性,其中溪龙乡变异系数最小,速效钾含量值最为集中;龙井村变异系数最大,速效钾含量值分布最为离散。

对照全国第二次土壤普查养分分级标准(见表2),四个种植区样本速效钾含量在每个等级均有分布。天目湖和溪龙乡种植区样本集中分布于四级以上,且一、二级偏多,占到样本总数一半左右;而龙井村和东山镇分布相对较为分散,且速效钾含量为六级的样本均占到总样本数四分之一,很大程度上拉

表 1 样本描述统计参数

Tab. 1 Descriptive statistical parameters

研究区	样本数	最小值	最大值	平均值	中值	标准差	变异系数	偏度系数	峰度系数
		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg				
天目湖	40	16.745	308.025	143.288	134.293	79.088	0.552	0.144	-0.819
东山镇	40	9.795	298.045	109.750	115.253	76.146	0.694	0.528	-0.297
溪龙乡	40	5.920	258.595	151.423	158.403	70.864	0.479	-0.298	-0.890
龙井村	40	8.625	301.075	113.179	100.690	83.043	0.734	0.605	-0.557

表 2 全国第二次土壤普查养分分级标准(速效钾)

Tab. 2 The 2nd national soil survey classification standard (available potassium)

等级(含量水平)	一级(极高)	二级(很高)	三级(高)	四级(中等)	五级(低)	六级(很低)
速效钾含量(mg/kg)	>200	150-200	100-150	50-100	30-50	<30

低了样本的总体水平,导致平均值低于其他两个种植区。

2.2 半方差函数拟合

半方差函数的计算一般要求数据符合正态或近似正态分布^[28],因此需要检验四个种植区的样本数据是否符合条件。在 Arcgis 软件中通过半变异/协方差函数云找出离群值,用平均值±标准差的方法进行替换后,对种植区样本进行 K-S 检验,结果显示均符合正态分布,因此可以进行地统计学分析。

利用 GS+ 软件对四个种植区的土壤速效钾含量数据进行半方差分析,拟合参数见表 3。块金值与基台值的比值可以反映土壤属性空间相关的程度。如果比值小于 0.25,说明土壤属性具有强烈的空间相关性;如果比值在 0.25~0.75 之间,表明土壤属性具有中等的空间相关性;大于 0.75 说明土壤属性空间相关性很弱^[29]。溪龙乡和龙井村种植区的比值都达到 0.75 以上,土壤速效钾含量之间的空间相关性很弱,变异更多由随机性因素引起,比如施肥、耕作等。而天目湖和东山镇种植区的比值都在 0.5 左右,土壤速效钾含量有中等的空间相关性,是结构性因素和随机性因素共同作用的结果。

变程是指任意两观测点之间具有某种程度空间相关性的距离,如果两点间的距离超过该范围则不具有相关性^[26]。通过表 3 和图 3 可以看到,天目湖和东山镇的变程远大于溪龙乡和龙井村。其中东山镇变程达到 3 880 m,结合块金系数,表明该种植区内结构性因子对速效钾含量的影响较大,且范围很广。溪龙乡种植区的变程只有 55 m,小于步长,这与函数拟合效果差有一定关系。

各种种植区变程的差异与地形特征有关,天目湖以平原和低丘为主,起伏相比于龙井村较小;东山镇和溪龙乡均以丘陵为主,但东山镇地势起伏比溪龙乡小,因此天目湖和东山镇速效钾含量变化在较大范围内具有连续性,而龙井村和溪龙乡空间变异的尺度较小。

2.3 空间分布特征分析

运用 ArcGIS 软件中的克里金插值方法对研究区土壤速效钾含量的空间分布进行估算。首先判定各研究区适用的空间插值方法:四个种植区中天目湖和东山镇的拟合系数 $R^2 > 0.5$,适宜使用克里格空间插值分析,溪龙乡和龙井村的拟合系数 $R^2 < 0.5$ 且偏低,适宜使用反距离加权插值法分析。

表 3 半方差函数拟合结果

Tab. 3 Fitting results of semi variance function

研究区	块金值	基台值	块金值/基台值	变程(m)	R^2	RSS	模型	转换
天目湖	0.109	0.248	0.559	1 276.000	0.503	0.019	Spherical	对数
东山镇	0.340	0.675	0.526	3 880.000	0.639	0.055	Spherical	对数
溪龙乡	0.036	0.182	0.800	55.000	0.000	0.011	Gaussian	对数
龙井村	2.080	14.600	0.858	213.000	0.108	74.800	Gaussian	平方根

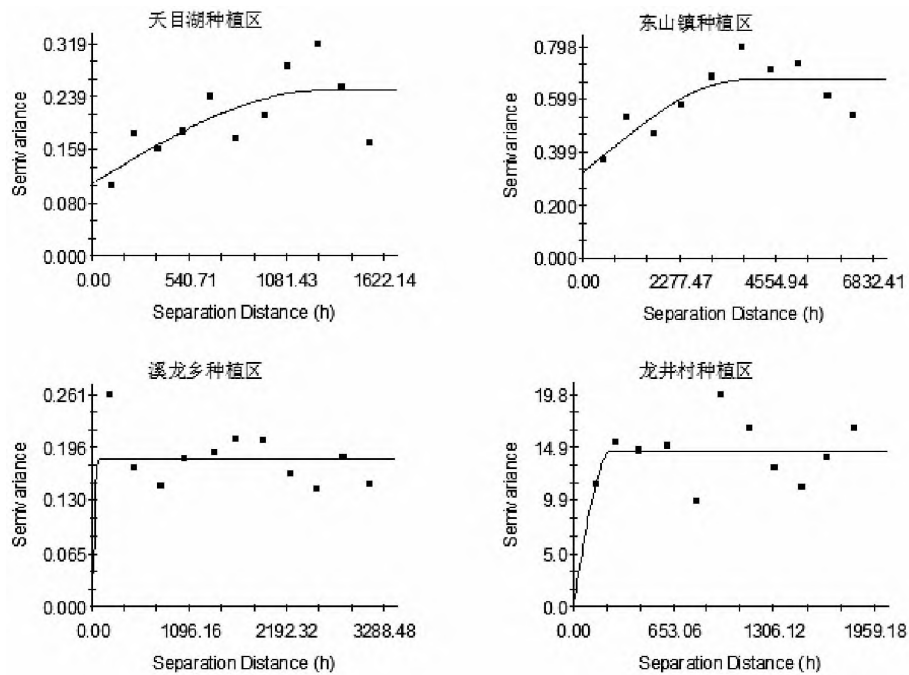


图3 半方差函数模型

Fig. 3 Semi variogram model

空间插值分析结果显示,天目湖地势相对较平坦,土壤速效钾含量在相近区域基本成片,西南、东北部最高,均高于 150 mg/kg,西北片区土壤速效钾含量在 100 ~ 150 mg/kg 之间,东南片区土壤速效钾含量均低于 100 mg/kg;东山镇研究区土壤速效钾含量呈由北向南的阶梯式递减状。其中西侧面面向太湖,土壤速效钾含量整体高于东侧背湖区,低值区位于中部东侧靠近居民区位置,低于 50 mg/kg,高值区位于东北部,高于 200 mg/kg;溪龙乡种植区土壤速效钾含量高值区基本位于海拔较高处,由于茶叶的规模化种植,西北方向低海拔区域土壤速效钾含量也较高。速效钾含量明显的低值区出现在部分路口;龙井村种植区的土壤速效钾含量高值区位于中部海拔较高位置,低值区位于西部,速效钾含量低于 100 mg/kg,部分区域低于 30 mg/kg。对比发现,天目湖和溪龙乡种植区的速效钾含量整体要高于东山镇和龙井村,这和描述统计学分析中的情况相符。各研究区土壤速效钾含量插值情况见图 4 ~ 图 7。

2.4 空间分布的影响因素分析

土壤中养分元素总的变异既受自然因素如成土母质、地形地貌等空间变异的影响,也受一些随机因素如施肥、作物布局、耕作措施等的影响,其空间变化是内因(土壤发生)和外因(人为随机)共同作用的结果^[31]。综合考虑半方差函数拟合的参数、空间

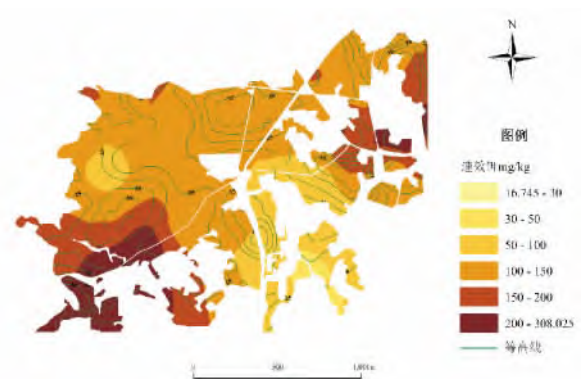


图4 天目湖速效钾普通克里格插值图

Fig. 4 Ordinary Kriging interpolation of Tianmuhu

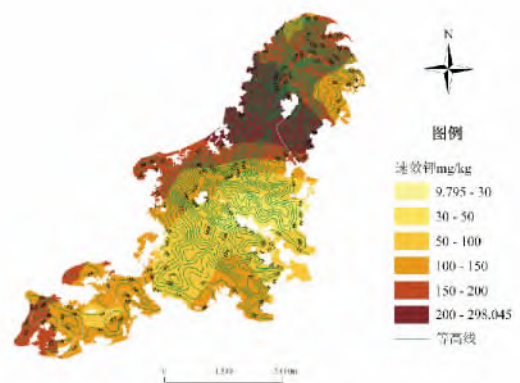


图5 东山镇速效钾普通克里格插值图

Fig. 5 Ordinary Kriging interpolation of Dongshan

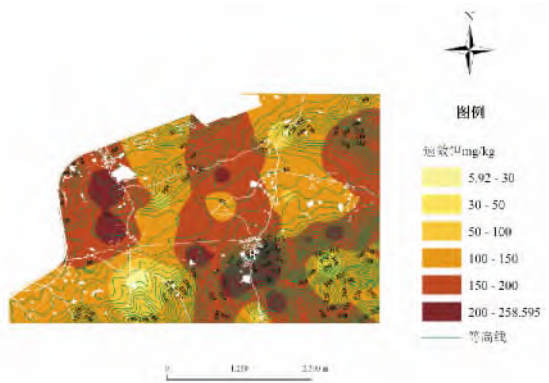


图 6 溪龙乡速效钾反距离加权插值图
Fig.6 IDW interpolation of Xilong

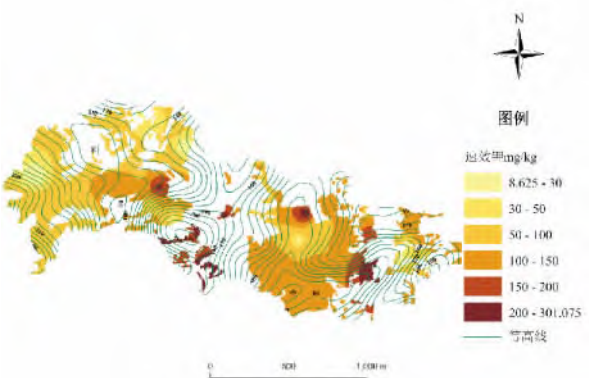


图 7 龙井村速效钾反距离加权插值图
Fig.7 IDW interpolation of Longjing

插值反映的分布特征以及实地考察,分析土壤速效钾含量空间分布的影响因素。

2.4.1 自然影响因素

(1) 耕层厚度

耕作层是作物生长的主要基质层,其厚度直接影响渗入土壤水分总量、地表径流、水分蒸发、土壤流失、土壤气体交换等^[32]。通过 SPSS 软件的相关性分析发现土壤速效钾含量和耕层厚度有显著的负相关关系,相关系数 -0.193。统计结果发现(见表 4)随着耕层厚度的加深速效钾含量先增加后减少,在耕层厚度为 15~20 cm 时最高,随后明显开始降低,总体趋势上与软件分析的负相关关系符合。

表 4 不同耕层厚度速效钾含量均值统计表

Tab. 4 Average content statistics of available potassium in different topsoil thickness

耕层厚度 h(cm)	10≤h<15	15≤h<20	20≤h<25	25≤h<30
样本数(个)	15	59	59	27
速效钾含量均值 (mg/kg)	126.942	141.121	123.324	105.935

(2) 土壤理化性质

从北往南,研究区的土壤粘性有增大趋势,总体来看,溪龙乡和龙井村种植区的土壤粘性较天目湖和东山镇种植区更大,保持钾素的能力更强。插值图显示,东山镇土壤速效钾含量高值区范围也较大,且速效钾含量整体呈现西高东低的特点,主要是由于东山镇研究区西侧面向太湖,土壤湿度较高,粘性较大;本文对样本 pH 和速效钾含量进行了相关性分析,结果显示有显著的相关性,相关系数为 -0.183,随着 pH 升高,速效钾含量减少。但是根据描述统计学分析可知天目湖的速效钾含量却远高于龙井村,这是由于天目湖种植区大多施用菜籽饼肥。菜籽饼肥能明显提高速效钾含量,并且其含有的有机质能培肥改土,增加孔隙度,提高土壤蓄水保肥能力^[33]。土壤有机质不但提供植物生长所需要的养分,也通过影响土壤物理、化学和生物性质改善土壤的养分状况,从而提高速效钾含量。因此本文对种植区内的速效钾和有机质含量进行了相关性分析,结果显示两者有显著的正相关关系,相关系数为 0.207。

(3) 地形条件

由于地形因子与土壤中水分的运输及物质的运移有着密切的关系^[34],从而影响土壤中养分分布情况。相关研究表明土壤钾素含量与海拔呈正相关,随着海拔升高,土壤钾素含量增加^[35]。结合遥感影像、实地观察和插值图(图 4~7)发现:天目湖整体地势平坦,高度差较小,地形因素的影响相对较小;东山镇以丘陵为主,从西南往东北海拔升高,土壤速效钾含量从丘陵中部的 50 mg/kg 以下递增至东北部最高海拔处的 200 mg/kg 以上;溪龙乡地势复杂,以低山丘陵为主,东北和东南片区海拔较高,土壤速效钾含量大多高于 150 mg/kg,海拔 330 m 处的速效钾含量达到 200 mg/kg 以上。受茶叶大规模种植、有效管理的影响,速效钾含量高值区并不完全位于海拔较高处;龙井村中部海拔最高,达到 220 m,附近的土壤速效钾含量超过 200 mg/kg。

将种植区内的地形按坡度划分为平地、缓坡和陡坡,对不同地形所采样本的速效钾含量进行数据分析(见表 5)。在天目湖、东山镇和龙井村,随着坡度的增加,速效钾含量减少,这是由于土壤样本采集时间正值春季末,雨水较多,故推测是降雨导致坡面土壤养分有所流失;而溪龙乡则相反,在坡度大、海拔高的区域速效钾含量高,这和当地大型茶园施肥和护理水平比较高有较大关系。

表 5 不同地形条件的样本速效钾含量平均值 (mg/kg)

Tab. 5 Average content statistics of available potassium on different terrain

地形	天目湖	东山镇	溪龙乡	龙井村
平地	160.232	115.725	120.598	128.372
缓坡	137.640	93.998	154.456	120.679
陡坡			162.049	104.945

2.4.2 人为影响因素

(1) 道路

修建道路时路基的夯实以及日后使用中机动车辆的滚压增加了土壤的密度,导致土壤空隙减少,含水量下降,养分贮存能力降低。道路交通产生的气体和烟尘污染可以改变土壤的 pH 和化学组成,影响土壤养分。道路的修建也会加速地表侵蚀,加大地表径流,增加水土流失^[36]。数据分析发现,东山镇和溪龙乡茶园土壤速效钾分布受道路影响明显。东山镇(图 8 左)道路分布相对较多的中部东侧区域的速效钾含量较低;溪龙乡(图 8 右)速效钾明显的低值区都出现在道路交叉口。

(2) 施肥管理

描述统计学分析显示天目湖和溪龙乡速效钾含量比龙井村和东山镇高很多,且调查走访发现,天目湖、溪龙乡种植区速效钾含量高值区基本都是大型茶场和大型承包户、合作社。规模化种植的大型茶场在施肥、管理等各个环节都投入了较大的成本,种植效果相对于单独种植的农户更好。其中溪龙乡成立了一个种植联盟,包含八家大型茶厂,在他们的带动下,当地农户的种植施肥更科学,经营管理也更有效,提升了茶叶的质量与产量。通过插值图可见溪

龙乡种植区的土壤速效钾含量较高的区域分布较广,且呈块状。此外,东山镇种植区部分区域可能得益于果、茶套种^[37],速效钾含量较高。

3 结论与不足

3.1 研究结论

(1) 天目湖和溪龙乡种植区的速效钾含量平均值明显高于龙井村和东山镇种植区,其中溪龙乡最高,东山镇最低。天目湖和溪龙乡速效钾含量变异系数较大,集中分布于一、二级;而龙井村和东山镇土壤速效钾含量变异系数相对较低,分布较为分散。

(2) 溪龙乡和龙井村种植区的块金系数大于 0.75,土壤速效钾含量之间的空间相关性很弱,变异更多由随机性因素引起。而天目湖和东山镇种植区的块金系数在 0.5 左右,土壤速效钾含量有中等的空间相关性。从变程来看,天目湖和东山镇的速效钾含量在较大范围内具有空间相关性,溪龙乡和龙井村由于地形起伏大,变化连续性差,空间相关的范围较小。

(3) 插值结果显示,东山镇土壤速效钾含量分布呈较简单的阶梯式渐变状,其余三个研究区速效钾分布情况相对复杂。天目湖与东山镇种植区土壤速效钾含量低值区均位于东南部;溪龙乡种植区土壤速效钾含量低值区位于低海拔及部分路口处;龙井村种植区土壤速效钾含量低值区位于西部。针对研究区速效钾含量偏低区域,应适当增加施肥量。

(4) 四个种植区的速效钾分布均受到结构性因素和随机性因素的共同作用,与耕层厚度、pH 值呈负相关,与有机质含量呈正相关。溪龙乡和龙井村

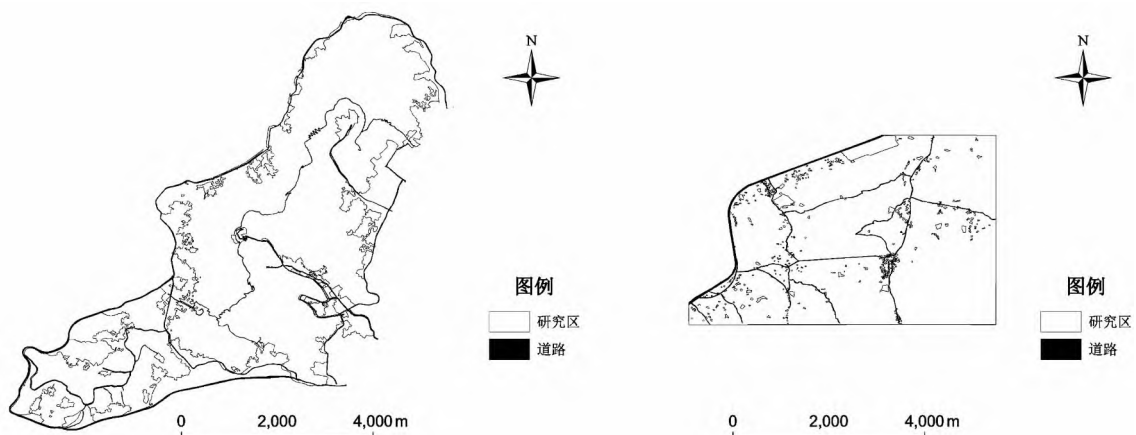


图 8 研究区道路分布图

Fig. 8 Distribution of traffic roads

更多的受到人类活动影响,因此采取更有效的施肥方法和管理模式至关重要。

3.2 研究不足

本文对江浙典型茶叶种植区的速效钾含量进行了描述统计学分析、半方差函数分析以及空间插值分析,得出速效钾含量在空间分布上的特征,并分析其可能的影响因素。但研究中仍存在一些不足之处:

(1) 由于时间和技术手段有限,在每个种植区采集40个样本,数量并不充足,导致半方差分析和空间插值的精确度受到影响。在后续的研究中会增加样本数量。

(2) 在分析影响因素时,部分因素并没有详细的数据支撑,更多的是通过阅读文献,结合实地考察进行分析。以后采样的过程中应增加不同类型、不同层次的数据,比如高程数据、降雨数据等。

(3) 只对一个时间点上的速效钾含量进行了分析,今后的研究中可以尝试形成有时间跨度的研究。从而更长久地指导植茶土壤的施肥并为优质茶叶的培育系统提供支持。

参考文献(References)

- [1] 厉龙明,谢学明. 钾肥对茶树光合产物运转、分配与累积的影响[J]. 浙江农业大学学报,1900,2(1):35 [LI Longming, XIE Xueming. Influence of potassium fertilizerto the transportation, distribution and accumulation of photosynthate of plants[J]. Journal of Zhejiang Agricultural University,1900 2(1):35.]
- [2] 阮建云,陈亮,肖强,等. 茶树优质高效栽培技术[M]. 北京:中国农业科技出版社 2001 94-95 [RUAN Jianyun, CHEN Liang, XIAO Qiang et al. High quality and efficient technology of cultivating tea plants[M]. Beijing: Chinese Agricultural Science Press 2001, 94-95.]
- [3] 王晓萍,阮建云,韩文炎,等. 茶树钾营养特性的研究[J]. 作物学报,1995 21(3):324-329 [WANG Xiaoping, RUAN Jianyun, HAN Wenyan et al. Study on the nutritional characteristics of tea plants' potassium[J]. Acta Agronomica Sinica,1995 21(3):324-329.]
- [4] 吴洵. 茶树钾营养与病虫害[J]. 福建茶叶,1999 21(4):4 [WU Xun. Potassium nutrition and pests of tea plants[J]. Fujian Tea, 1999 21(4):4.]
- [5] 谢建昌,周健民. 我国土壤钾素研究和钾肥使用的进展[J]. 土壤,1999 10(5):244-254 [XIE Jianchang, ZHOU Jianmin. Progress of the study on soil potassium and the use of potassium fertilizer [J]. Soils,1999 10(5):244-254.]
- [6] MALLARINO A P, BORGES R. Phosphorus and potassium distribution in soil following long-term deep-band fertilization in different tillage systems[J]. Soil Science Society of America Journal 2006, 70(2):702-707.
- [7] WILKINSON S R, STUEDEMANN J A, BELESKY D P. Soil potassium distribution in grazed K-31 tall fescue pastures as affected by fertilization and endophytic fungus infection level [J]. Agronomy journal,1989 81(3):508-512.
- [8] 徐茂,王绪奎,顾祝军,等. 江苏省环太湖地区速效磷和速效钾含量时空变化研究[J]. 植物营养与肥料学报,2007 13(6):983-990 [XU Mao, WANG Xukui, GU Zhujun, et al. Spatial temporal variation of soil available PandKin Taihu Lake region of Jiangsu province, China[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science 2007 13(6):983-990.]
- [9] 孙维侠,黄标,杨荣清,等. 长江三角洲典型地区农田土壤速效钾时空演变特征及其驱动力[J]. 南京大学学报:自然科学版,2006 41(6):648-657 [SUN Weixia, HUANG Biao, YANG Rongqing et al. Spatiotemporal variability of exchangeable potassium in agricultural soils and its driving factors in a typical area of Yangtze River delta region[J]. Journal of Nanjing University 2006 41(6):648-657.]
- [10] 张玲娥,双文元,云安萍,等. 30年间河北省曲周县土壤速效钾的时空变异特征及其影响因素[J]. 中国农业科学,2013 47(5):923-933 [ZHANG Ling, SHUANG Wenyuan, YUN Anping et al. Spatio-temporal variability and the influencing factors of soil available potassium in 30 years in Quzhou County Hebei Province[J]. Scientia Agricultura Sinica 2013 47(5):923-933.]
- [11] 熊柳梅,周柳强,谢如林,等. 香蕉地土壤pH的空间变异及其对土壤速效钾的影响[J]. 广西农业科学,2006 37(1):40-43 [XIONG Liumei, ZHOU Liuqiang, XIE Rulin, et al. Influence of the spatial variation of soil pH on soil available potassium in banana plant ation[J]. Guangxi Agricultural Sciences 2006 37(1):40-43]
- [12] 庞凤,陶晓秋,张英,等. 会理县新植烟区土壤速效钾含量空间变异特征及其影响因子[J]. 中国烟草科学,2012 33(1):32-36 [PANG Su, TAO Xiaoqi, ZHANG Ying et al. Spatial variability characteristic and influencing factors of soil available potassium in new tobacco plantation district in Huili County[J]. Chinese Tobacco Science 2012 33(1):32-36.]
- [13] 孙永健,周蓉蓉,王长松,等. 稻麦两熟农田土壤速效钾时空变异及原因分析——以江苏省仪征市为例[J]. 中国生态农业学报,2008 16(3):543-549 [SUN Yongjian, ZHOU Rongrong, WANG Changsong et al. Spatio-temporal variation of soil available potassium under wheat-rice double cropping system—a case study in Yizheng City, Jiangsu Province, China[J]. Journal of Eco-Agriculture 2008 16(3):543-549.]
- [14] 张少良,张兴义,刘晓冰,等. 典型黑土区不同坡位剖面土壤速效钾空间分布规律研究[J]. 土壤,2014 46(2):218-224 [ZHANG Shaoliang, ZHANG Xingyi, LIU Xiaobing et al. Spatial distribution of rapid available potassium (RAK) in soils on typical slopes of black soil of northeastern China[J]. Soils 2014 46(2):218-224.]
- [15] 中国环境监测总站. 中国土壤元素背景值[M]. 北京:中国环境科学出版社,1990:488-493 [WEI Fusheng et al. Chinese soil element background value [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1990:488-493.]

- [16] 骆永明. 长江、珠江三角洲土壤及其环境[M]. 北京: 科学出版社 2012: 13 – 23 [LUO Yongming, et al. Soil and its environment in the Yangtze River and Pearl River Delta[M]. Beijing: Science Press 2012: 13 – 23.]
- [17] 徐云鹤, 方斌. 江浙典型茶园土壤有机质空间异质性分析[J]. 地球信息科学学报 2015, **17**(5) : 622 – 630 [XU Yunhe, FANG Bin. Study on spatial heterogeneity of the soil organic matter in typical tea gardens of Jiangsu province and Zhejiang province [J]. Journal of Geo-Information Science 2015: **17**(5) .]
- [18] 叶子君, 方斌, 欧阳宸曦, 等. 江浙典型茶园土壤镉的空间分异对比分析[J]. 土壤通报 2016, **47**(2) : 467 – 473 [YE Zijun, FANG Bin, OUYANG Chenxi, et al. Comparative analysis on spatial variation of cadmium in typical tea garden soils of Jiangsu and Zhejiang provinces [J]. Chinese Journal of Soil Science 2016: **47**(2) .]
- [19] 崔旭辉, 方斌, 徐云鹤, 等. 江浙地区茶园土壤碱解氮空间异质性分析[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版) 2016, **44**(6) : 94 – 100 [CUI Xuhui, FANG Bin, XU Yunhe, et al. Spatial heterogeneity of soil available N in tea gardens of Jiangsu province and Zhejiang province [J]. Journal of Shanxi Normal University (Natural Science Edition) 2016: **44**(6) .]
- [20] 陈义强, 刘国顺, 习红昂. 微尺度下烟田铁的空间变异性及其与烟叶铁的相关分析[J]. 生态学报 2009, **29**(3) : 1449 – 1457 [CHEN Yiqiang, LIU Guoshun, XI Hongang. Spatial variability of iron in a tobacco field by micro sampling scale in relation to tobacco leaf iron by correlation and regression analysis [J]. Acta Ecologica Sinica 2009: **29**(3) .]
- [21] CAMBARDELLA C A, MOORMAN T B, NOVAK J M, etc. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils [J]. Soil Science Society of America Journal, 1994, **58**(5) : 1501 – 1511.
- [22] WEBSTER R. Quantitative spatial analysis of soil in the field [J]. Advances in soil science, 1985, **3**(3) : 61 – 70.
- [23] 王艳妮, 谢金梅, 郭祥. ArcGIS 中的地统计克里格插值法及其应用[J]. 教育技术导刊 2009, **7**(12) : 36 – 38. [WANG Yanni, XIE Jinmei, GUO Xiang. Application of geostatistical interpolation method in ArcGIS [J]. Software Guide 2009, **7**(12) : 36 – 38.]
- [24] 苏妹, 林爱文, 刘庆华. 普通 Kriging 法在空间内插中的运用[J]. 江南大学学报 2004, **3**(1) : 18 – 21 [SU shu, LIN Aiwen, LIU Qinghua. Ordinary kriging algorithm applied for interpolation [J]. Journal of Southern Yangtze University, 2004, **3**(1) : 18 – 21.]
- [25] 赵建华, 盖艾鸿, 陈芳, 等. 基于 GIS 和地统计学的区域土壤有机质空间变异性研究[J]. 甘肃农业大学学报 2008, **43**(4) : 103 – 106 [ZHAO Jianhua, GAI Aihong, CHEN Fang, et al. Spatial variability of soil organic matter in Yuzhong County based on geostatistics combined with GIS [J]. Journal of Gansu Agricultural University 2008, **43**(4) : 103 – 106.]
- [26] 史文娇, 岳天祥, 石晓丽, 等. 土壤连续属性空间插值方法及其精度的研究进展[J]. 自然资源学报 2012, **27**(1) : 163 – 175 [SHI wenjiao, YUE Tianxiang, SHI Xiaoli, et al. Research progress in soil property interpolators and their accuracy [J]. Journal of Natural Resources 2012, **27**(1) : 163 – 175.]
- [27] 胡克林, 陈德立. 农田土壤养分的空间变异性特征[J]. 农业工程学报 1999, **15**(3) : 33 – 38 [HU Kelin, CHEN Deli. Characteristics of spatial variability of soil nutrients in farmland [J]. Agricultural Engineering Vol, 1999, **15**(3) : 33 – 38.]
- [28] 高玉蓉, 许红卫, 周斌. 稻田土壤养分的空间变异性研究[J]. 土壤通报 2006, **36**(6) : 822 – 825 [GAO Yurong, XU Hongwei, ZHOU Bin. Investigation on spatial variability of soil nutrients in paddy field [J]. Chinese Journal of Soil Science 2006, **36**(6) : 822 – 825.]
- [29] 王绍强, 朱松丽, 周成虎. 中国土壤土层厚度的空间变异性特征[J]. 地理研究 2001, **20**(2) : 161 – 169 [WANG Shaoqiang, ZHU Songli, ZHOU Chenghu. Characteristics of spatial variability of soil thickness in China [J]. Geographical Research, 2001, **20**(2) : 161 – 169.]
- [30] 赵汝东, 孙焱鑫, 王殿武, 等. 北京地区耕地土壤有机质空间变异分析[J]. 土壤通报 2010, **3**(3) : 552 – 557 [ZHAO Rudong, SUN Yanyin, WANG Dianwu, et al. Research on spatial variability of soil organic matter in Beijing field [J]. Chinese Journal of Soil Science 2010, **3**(3) : 552 – 557.]
- [31] 杨玉建, 仝雪芹, 朱建华, 等. 农田土壤速效钾含量的空间变异研究[J]. 农业网络信息 2008, **2**(2) : 130 – 150 [YANG Yujian, TONG Xueqin, ZHU Jianhua, et al. Spatial variability study of soil available potassium at the field scale [J]. Agriculture Network Information 2008, **2**(2) : 130 – 150.]
- [32] 石彦琴, 陈源泉, 隋鹏, 等. 华北平原不同耕层厚度对夏玉米土壤养分影响试验初报[J]. 中国农作制度研究进展 2008: 370 – 374 [SHI Yanqin, CHEN Yuanquan, SUI Peng, et al. A preliminary report on the study on the influence from different topsoil thicknesses of north China plain on soil nutrients of summer maize [R]. Progress of the Farming System in China 2008: 370 – 374.]
- [33] 谢玉前, 桂召贵, 朱未夫. 繁昌县秸秆肥资源现状与还田的研究[J]. 安徽农业科学 1999, **2**(2) : 146 – 147 [XIE Yuqian, GUI Zhaogui, ZHU Weifu. Study on the status and the returning of straw fertilizer resources [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 1999, **2**(2) : 146 – 147.]
- [34] IGOR V. Florinsky, SHAWNA McMahon, DAVID L. Burton. Topographic control of soil microbial activity: a case study of denitrifiers [J]. Geoderma 2004, **119**(1) : 33 – 53.
- [35] 秦松, 樊燕, 刘洪斌, 等. 地形因子与土壤养分空间分布的相关性研究[J]. 水土保持研究 2008, **15**(1) : 46 – 49 [QIN Song, FAN Yan, LIU Hongbin, et al. Study on the Relations Between Topographical Factors and the Spatial Distributions of Soil Nutrients [J]. Research of Soil and Water Conservation 2008, **15**(1) : 46 – 49.]
- [36] 李俊生, 张晓岚, 吴晓甫, 等. 道路生态影响的生态影响研究综述[J]. 生态环境学报 2009, **18**(3) : 1169 – 1175 [LI Junsheng, ZHANG Xiaolan, WU Xiaopu, et al. Ecological impacts from road traffic: a review [J]. Ecology and Environmental Sciences 2009, **18**(3) : 1169 – 1175.]
- [37] 张华明. 红壤坡地果园不同套种模式水土保持效果研究[D]. 江西农业大学 2011 [ZHANG Huaming. Soil and water conservation effect study of different orchard interplanting mode on red soil slope [D]. Jiangxi Agricultural University 2011.]

Spatial Distribution Characteristics of Available Potassium in Typical Tea Gardens in Jiangsu Province and Zhejiang Province

SHI Longbo¹, FANG Bin^{1,2,3*}, DONG Likuan¹

(¹ Nanjing Normal University Research Center of New Urbanization and Land Problem, Nanjing 210023;

² Jiangsu Center for Collaborative Innovation in Geographical Information Resource Development and Application,

Nanjing 210023; ³ Jiangsu Key Laboratory for Material Cycle and Pollution Control, Nanjing 210023)

Abstract: Potassium is a necessary nutrient element for the growth of tea. It is necessary to make comparison of tea gardens on its spatial variation for guidance to fertilization, management of tea gardens and improvements of tea's quality and productivity. In this paper, available potassium contents at some known tea planting places in Jiangsu and Zhejiang provinces were studied. Through descriptive statistics, semi-variogram model and spatial interpolation methods, the spatial variation and influencing factors of available potassium were analyzed. Results showed that: (1) The average contents of available potassium in Tianmuhu and Xilong were much higher than that in Longjing and Dongshan. The average content in Xilong was the highest, while those in Dongshan was the lowest. (2) The fitting results of semi-variogram model indicated that the spatial correlation for available potassium content of the two planting areas in Jiangsu province was medium and that of the two planting areas in Zhejiang province was weak. (3) According to the interpolation plot, it found that areas with high potassium content appeared to the southwestern and northeastern Jiangsu province, while in Zhejiang province the high value areas were disperse. (4) The spatial distribution of available potassium of four planting areas were all affected by structural factors and random factors, and that in Zhejiang province were affected more by random factors.

Key words: available potassium; tea garden; spatial distribution characteristics