

大理烤烟苹果酸含量的空间变异分析

周喜新¹, 周冀衡^{1*}, 武德传², 樊在斗³, 李文璧³, 杨程³

(1. 湖南农业大学 烟草研究院, 湖南 长沙 410128; 2. 安徽农业大学 农学院, 安徽 合肥 230036; 3. 云南省烟草公司 大理州分公司, 云南 大理 671000)

摘要: 采用 GPS 定位, 在云南大理州主要烟区选取 100 个采样点, 分别于 2007、2008 年采集 C3F 烤烟样品各 100 份。将各取样点 2 年烤烟样品苹果酸含量的平均值作为原始统计数据, 对苹果酸含量的原始数据、对数转化和 Box-Cox 转换后的数据进行正态分布性检验, 采用地统计学进行烤烟苹果酸含量的空间趋势和空间变异分析。结果表明: 大理烤烟苹果酸含量经对数转换后服从正态分布, 在进行普通 Kriging 插值时宜选择 1 阶趋势效应和指数理论模型; 大理烤烟苹果酸含量具有中等的空间相关性和线性空间趋势效应; 大理烤烟苹果酸含量为 41.26~124.45 mg/g, 平均含量为 81.00 mg/g, 背景值为 65.01~80.00 mg/g, 苹果酸含量最高(100.01~123.45 mg/g)的板块分布在南涧县、巍山县和弥渡县; 大理州南部烟区烤烟苹果酸含量自南向北呈梯度状由高到低分布。

关键词: 烤烟; 苹果酸; 空间变异; 地统计学; 大理白族自治州

中图分类号: S572 文献标志码: A 文章编号: 1007-1032(2011)04-0367-05

Spatial variability of malic acid content of flue-cured tobacco in Dali

ZHOU Xi-xin¹, ZHOU Ji-heng^{1*}, WU De-chuan², FAN Zai-dou³, LI Wen-bi³, YANG Cheng³

(1. Tobacco Research Institute, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 2. College of Agronomy, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China; 3. Dali Company of Yunnan Tobacco Corporation, Dali, Yunan 671000, China)

Abstracts: Dali flue-cured tobacco plays an important role in formula of several core cigarette brands. Malic acid is one of major nonvolatile organic acids of tobacco leaf, and it is one of common aroma additives for high-grade cigarettes, so researchers highly focus on tobacco malic acid. The objective of the study was to investigate spatial distribution of malic acid content of Dali flue-cured tobacco, and to provide references for layout of tobacco planting and using of tobacco leaf. The main tobacco planting areas in Dali were selected as the experiment sites. 200 flue-cured tobacco samples of C3F grade were collected from 100 sites in 2007 and 2008 via global position system (GPS). Malic acid contents of tobacco samples were determined. The mean value of tobacco malic acid content of samples in each site was regarded as the original data. The original data, data obtained after logarithmic transformation and Box-Cox transformation were tested for normal distribution. Surface trend and spatial distribution of tobacco malic acid content were analyzed by geostatistical analyst. The results showed that the data after logarithmic transformation showed normal distribution. The integrative comparisons of semi-variogram parameters of the ordinary kriging prediction with three trends and four theoretical models indicated that 1-order trend effect and exponential model were preferable. There were moderate spatial correlation and linear surface trend for tobacco malic acid content in Dali. Malic acid content of Dali tobacco ranged from 41.26 mg/g to 123.45 mg/g, the mean was 81.00 mg/g, and the range of background value was from 65.01mg/g to 80.00 mg/g. The growing areas with the highest malic acid content ranged from 100.01 mg/g to 124.45 mg/g were located in Nanjian county, Weishan county, and Midu county. In the southern tobacco growing areas of Dali, malic acid content

收稿日期: 2011-05-07

基金项目: 云南省烟草公司大理特色优质烟叶开发项目(09YN017)

作者简介: 周喜新(1977—), 男, 湖南宁乡人, 博士研究生, 讲师, 主要从事烟草科学与工程技术研究, zhxx@hunau.net; *通信作者, jhzhou2005@163.com

showed gradient-like distribution with high-to-low trend from south to north.

Key words: flue-cured tobacco; malic acid; spatial variability; geostatistics; Dali Autonomous Prefecture

烟叶中的非挥发性有机酸占其干重的7%以上,有调节烟气pH值和改善抽吸质量、醇和吃味等作用,某些非挥发性有机酸氧化后还可形成香气成分^[1-3]。烤烟中非挥发性有机酸主要有苹果酸、枸橼酸、琥珀酸等^[4],以苹果酸含量最高,占非挥发性有机酸总量的80%以上^[3]。苹果酸常被作为高档卷烟香味添加剂,其盐类可作为烟草的助燃剂^[1,3-4]。影响烟草苹果酸含量的因素很多,包括烟草类型、品种、生态环境、农艺措施等^[3,5-7]。大理州地势为西北高东南低,受地形地貌影响,立体性气候显著,气候类型复杂多变,烟区之间海拔高度相差大,光、温、水、热资源分配不均;主栽烤烟品种有红花大金元、云烟85、云烟87和K326等,年烤烟种植面积约 3.5×10^4 hm²,年产量约 8×10^4 t。目前,采用地统计学对烤烟苹果酸含量进行空间变异分析的尚少见报道。笔者以云南大理白族自治州(以下简称大理)2007—2008年初烤烟叶(C3F)为研究对象,基于地统计学原理,运用ArcGIS9.3软件的geostatistical analyst模块对烤烟苹果酸含量空间变异特征及其分布格局进行分析,旨在揭示大理烤烟苹果酸含量空间分布规律,为大理烤烟生产和烟区规划及卷烟企业烟叶原料调拨和使用提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试烤烟及样品制备

供试烤烟品种为红花大金元、云烟85、云烟87和K326。利用GPS定位系统,在大理12个县(市、区)91个种烟乡(镇)设置100个取样点,于2007、2008年分别采集C3F初烤后烟叶样品各100份。将烤烟叶片去除主脉后,置60℃恒温干燥箱中烘干,粉碎并过250 μm孔径筛,装入塑料袋中保存,备用^[6]。

1.2 测定项目与方法

非挥发性有机酸的测定:称取0.50 g烤烟样品,置于100 mL干燥具塞三角瓶中,加入25 mL 10%硫酸-甲醇溶液和戊二酸-甲醇溶液,摇匀后室温振荡24 h后过滤至分液漏斗中,采用二氯甲烷萃取,萃

取液加无水硫酸钠去除水分,取1 μL注入气相色谱进行分析。用内标法定量,分析仪器为GC-TRACE ULTRA(美国Finingen公司)、FID检测器和DB-5弹性石英毛细管柱(30 m×0.32 mm×0.25 μm),气化室和FID检测器温度均为250℃,载气为纯N₂,分流比10:1。升温程序:初始温度为40℃,保持1 min;10℃/min升温至150℃,再以15℃/min升温至280℃^[6]。本研究主要考查非挥发性有机酸中的苹果酸含量。

1.3 统计方法

采用ArcGIS9.3地统计软件的geostatistical analyst模块完成相关参数及预测误差的计算和插值^[8]。地统计学要求空间变量呈正态分布,如果空间变量分布偏离正态分布较大时,一般需要对变量进行对数(log)变换或博克斯-考克斯(Box-Cox)变换(也称幂变换),再对变量进行趋势效应、半方差函数理论模型相关参数和误差检验等分析。趋势效应一般分为0阶(没有趋势效应)、1阶(线性变化)、2阶(2阶多项式变化)。半方差函数理论模型及其参数判断标准:平均值误差(ME)最接近于0;标准化平均值误差(MSE)最接近于0;均方根误差(RMSE)越小越好;平均标准化误差(ASE)与均方根误差(RMSE)最接近,ASE大于RMSE时高估了预测值,ASE小于RMSE时低估了预测值;标准化均方根误差(RMSSE)最接近于1,但小于1时高估了预测值,RMSSE>1低估了预测值^[9]。半方差函数模型拟合优度计算公式: $GFI=1/(|ME|+|RMSE-ASE|+|MSE|+|1-RMSSE|)$,并趋于最大。选择最合适的趋势效应和半方差函数理论模型进行克里格(Kriging)插值。最后绘制出预测图。

2 结果与分析

2.1 大理烤烟苹果酸含量的描述性统计分析

将2007、2008年各取样点烤烟苹果酸含量平均值作为原始数据进行描述性统计。从表1可知,大理烤烟苹果酸含量最大值为124.45 mg/g,最小

值为 41.26 mg/g, 平均为 81.00 mg/g。原始数据呈偏态分布, 对数转换后的数据标准差最小, 偏度和峰度趋于 0, 经 $K-S$ 检验, $P > 0.05$, 数据呈近似

正态分布, 表明对数转换后的数据符合地统计学分析要求。

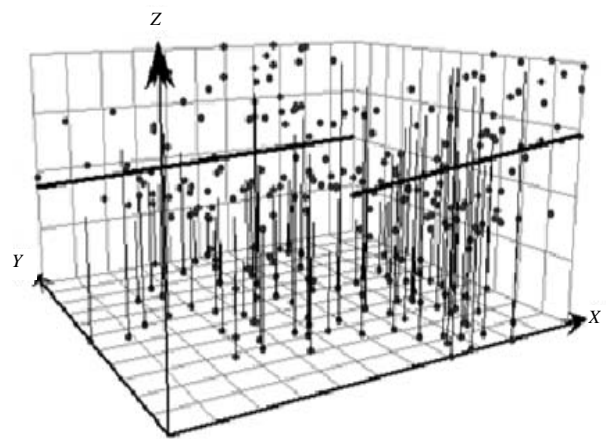
表 1 烤烟苹果酸含量的描述性统计

Table 1 Descriptive statistics of malic acid content of flue-cured tobacco

处理方法	年份	样本数/ 个	平均值/ (mg·g ⁻¹)	最大值/ (mg·g ⁻¹)	最小值/ (mg·g ⁻¹)	标准差/ (mg·g ⁻¹)	偏度	峰度	P 值	分布状态
原始数据	2007	100	80.26	127.14	39.08	18.84	0.42	1.89	0.036	偏态
	2008	100	81.74	121.76	43.44	22.98	0.34	2.51	0.042	偏态
	平均	100	81.00	124.45	41.26	20.91	0.38	2.20	0.039	偏态
对数变换	2007	100	3.87	5.25	4.02	0.22	-0.07	1.29	0.085	正态
	2008	100	4.85	4.39	3.42	0.30	-0.11	1.49	0.083	正态
	平均	100	4.36	4.82	3.72	0.26	-0.09	1.39	0.084	正态
幂变换	2007	100	83.24	118.92	43.58	18.42	0.42	2.31	0.034	偏态
	2008	100	76.76	125.98	36.94	23.40	0.34	2.09	0.028	偏态
	平均	100	80.00	122.45	40.26	20.91	0.38	2.20	0.032	偏态

2.2 大理烤烟苹果酸含量的趋势分析

从图 1 可知, 大理烤烟苹果酸含量具有线性趋势效应(1 阶) 左后投影面上直线显示东西方向趋势效应较弱, 右后投影面上直线显示南北方向趋势效应较强。比较 0 阶、1 阶和 2 阶 3 种趋势效应下 4 种半方差函数理论模型插值误差及拟合优度(表 2), 在 1 阶趋势效应和指数模型下拟合优度最高($GFI=1.8741$)。可见, 图 1 和表 2 趋势效应分析结果相同。综合分析半方差函数模型参数、拟合优度和趋势效应, 在进行普通 Kriging 插值时, 趋势效应参数宜选择 1 阶, 半方差函数理论模型宜选择指数模型。



X 东向; Y 北向; Z 苹果酸含量。

图 1 烤烟苹果酸含量的趋势效应

Fig.1 Surface trend of malic acid content of flue-cured tobacco

表 2 不同趋势效应下烤烟苹果酸含量半方差函数理论模型预测误差

Table 2 Comparisons of semi-variogram model parameters of tobacco malic acid content with different trends

趋势效应	理论模型	平均值误差	均方根误差	平均标准化误差	标准化平均值误差	标准化均方根误差	拟合优度
0 阶	圆状模型	0.169 3	16.49	17.58	-0.000 6	0.984 5	0.784 1
	球状模型	0.220 8	16.59	17.60	-0.000 4	0.990 3	0.805 9
	指数模型	0.193 9	16.89	18.02	0.009 8	1.003 0	0.748 1
	高斯模型	0.104 6	16.37	17.51	-0.004 7	0.980 5	0.788 1
1 阶	圆状模型	-0.012 7	16.71	18.95	-0.006 6	0.929 9	0.429 3
	球状模型	0.160 0	16.72	18.56	-0.006 0	0.932 6	0.482 3
	指数模型	0.104 4	17.35	17.76	0.001 2	1.018 0	1.874 1
	高斯模型	-0.030 4	16.56	18.41	0.000 7	0.934 3	0.513 7
2 阶	圆状模型	0.316 7	16.74	17.51	-0.005 7	0.996 6	0.912 6
	球状模型	0.322 4	16.86	17.49	-0.006 1	1.006 0	1.036 8
	指数模型	0.366 1	16.82	17.56	-0.002 6	0.998 0	0.900 3
	高斯模型	0.315 5	16.71	17.53	-0.005 0	0.991 9	0.870 6

2.3 大理烤烟苹果酸含量的空间变异性

由趋势效应和半方差函数理论模型可得到基台值、块金值和变程值。从结构性因素角度来看,块金值与基台值的比值可表示系统变量的空间相关性程度,该值小于25%时表明变量具有强烈的空间相关性;该值为25%~75%时变量具有中等的空间相关性;该值大于75%时变量的空间相关性很弱^[9-10]。本研究中块金值为0.0253,基台值为0.0808,两者的比值为31.3119%,表明大理烤烟苹果酸含量具有中等的空间相关性。长轴变程和短轴变程分别表示半方差函数在该轴方向上达到基台值的样本间距,长轴变程与短轴变程的比值(各向异性比)大于1时,空间变量具有各向异性。本研究中长轴变程为1.9186 km,短轴变程为0.9665 km,各向异性比为1.9850,表明大理烤烟苹果酸含量具有各向异性。

2.4 大理烤烟苹果酸含量的空间分布预测

基于经过对数转化后的烤烟苹果酸含量数据,选取1阶趋势效应和指数理论模型,并考虑各向异性进行普通Kriging插值,获得了大理烤烟苹果酸含量的空间分布预测图(封三图1)。从图中可直观地看到大理烤烟苹果酸含量空间分布格局、板块形状及大小,同时表明大理烤烟苹果酸含量存在空间异质性。

大理烤烟苹果酸含量背景值为65.01~80.00 mg/g,占统计面积的43.06%。苹果酸含量为41.26~65.00 mg/g的板块占统计面积的16.75%,分布于剑川县东部、洱源县东北部和东南部、宾川县西北部、鹤庆县大部分烟区。苹果酸含量大于80.01 mg/g的板块分布于大理州西部、东部和南部,其中80.01~90.00 mg/g的板块占统计面积的17.51%,在云龙县西部、永平县东部和祥云县东部呈较大板块状分布,在漾濞县、大理市、巍山县和弥渡县境内呈带状分布;90.01~100.00 mg/g的板块占统计面积的7.41%,呈带状分布于漾濞县、巍山县、弥渡县和南涧县境内;100.01~124.45 mg/g的板块占统计面积的15.27%,呈较大板块状分布于巍山县、南涧县和弥渡县境内。大理南部烟区烤烟苹果酸含量自南向北呈梯度状由高到低分布。

3 结论与讨论

大理烤烟苹果酸含量具有中等的空间相关性和线性空间趋势效应,东西方向趋势效应较弱,南北方向趋势效应较强。苹果酸含量为41.26~123.45 mg/g,平均含量为81.00 mg/g,背景值为65.01~80.00 mg/g。烤烟苹果酸含量最高(100.01~123.45 mg/g)的板块位于南涧县、巍山县和弥渡县境内。大理州南部烟区烤烟苹果酸含量自南向北呈梯度状由高到低分布。

与经典统计学相比,地统计学的优势在于借助半方差变异函数和Kriging插值法,可以对空间变量的空间格局和变异关系进行分析和预测,并结合采样点提供的信息对未知点进行最优无偏内插估计和模拟,弥补了经典统计学忽略空间方位的缺陷。地统计学对样点分布密度、数据正态性分布、半方差变异函数和Kriging插值的相关参数及误差估计有严格要求,样点分布不均匀、分布密度过小、数据非正态分布、误差估计偏大或偏小等都直接影响插值结果的精确性和可靠性。大理是云南省烤烟种植面积较大、分布范围较广的植烟烟区之一,样点密度能较好地满足地统计学要求,数据经过对数转换符合正态分布,并在综合分析和比较3种趋势效应下4种半方差函数理论模型相关参数预测误差的基础上,选择1阶(1-order)趋势效应参数下指数模型(exponential model)进行普通Kriging插值,保证了插值结果的精确性和可靠性。笔者尝试采用地统计学方法分析大理烤烟苹果酸含量空间变异,插值结果较为理想,为烤烟品质空间分析提供了新的方法。

大理烤烟苹果酸含量范围(41.26~124.45 mg/g)变化较大,具有中等的空间相关性和线性空间趋势效应,并表现出明显的区域性特征,其主要原因:①不同基因型烤烟品种苹果酸含量差异较大。卢秀萍等^[5]的研究结果表明,不同基因型烤烟苹果酸含量可相差8倍以上。②生态环境对烤烟苹果酸含量的影响。杨虹琦等^[6]的研究结果表明,湖南不同生态类型条件下烤烟苹果酸含量差异极显著;王树会等^[12]的研究结果表明,云南不同烟区烤烟苹果酸含量差异较大;大理州各烟区受海拔高度及地形地貌的影响,立体性气候显著,气候类型复杂多变,烟

区之间生态类型的差异导致大理烤烟苹果酸含量具有空间异质性。③施肥种类和数量对烤烟的苹果酸含量的影响。叶协锋等^[13]的研究结果表明,钾肥能显著提高烤烟苹果酸含量。大理烤烟苹果酸含量实际上是基因型、生态环境以及农艺措施等互作而表现出的综合结果。

参考文献:

- [1] Weeks W W .Chemistry of tobacco constituents influence flavor and aroma[J] . Recent Advance Tobacco Science , 1985(11) : 175-200 .
- [2] Davis D L .Waxes and lipids in leaf and their relationship to smoking quality and aroma[J] . Recent Advance Tobacco Science , 1976(2) : 80-106 .
- [3] 王瑞新 .烟草化学[M] .北京 :中国农业出版社,2003 : 99-106 .
- [4] 刘百战,徐亮,胡使霞,等 .卷烟中非挥发性有机酸及某些高级脂肪酸的分析[J] .烟草科技,2000(1) : 25-27 .
- [5] 卢秀萍,许仪,许自成,等 .不同烤烟基因型非挥发性有机酸和高级脂肪酸含量的变异分析[J] .中国烟草学报,2007,13(3) : 47-51 .
- [6] 杨虹琦,周冀衡,郭紫明,等 .湖南不同烤烟中非挥发性有机酸含量的差异[J] .中国烟草学报,2006,12(4) : 44-46,57 .
- [7] 武雪萍,刘国顺,彭华伟,等 .有机、无机肥不同对比对烤烟中有机酸的影响[J] .华北农学报,2003,18(1) : 97-99 .
- [8] 王政权 .地统计学及在生态学中的应用[M] .北京 :科学出版社,1999 : 104-132 .
- [9] 武德传,周冀衡,樊在斗,等 .云南烤烟多酚含量空间变异分析[J] .作物学报,2010,36(1) : 141-146 .
- [10] Cambardella C A ,Moorman A T ,Novak J M .Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils[J] . Soil Science Society of America Journal , 1994 , 58 : 1501-1511 .
- [11] 王树会,李天福,冉邦定,等 .云南不同烟区烟叶中有机酸及乙醚提取挥发性成分含量研究[J] .中国烟草科学,2004(2) : 35-37 .
- [12] 叶协锋,朱海滨,凌爱芬,等 .不同钾肥对烤烟叶片钾和中性香气成分及非挥发性有机酸含量的影响研究[J] .土壤通报,2008,39(2) : 338-343 .

责任编辑: 杨盛强