

DOI: 10.3724/SP.J.1006.2010.00141

## 云南烤烟多酚含量空间变异分析

武德传<sup>1</sup> 周冀衡<sup>1,\*</sup> 樊在斗<sup>2</sup> 李文壁<sup>2</sup> 张一扬<sup>1</sup> 杨程<sup>2</sup> 徐发华<sup>2</sup>  
朱凯<sup>2</sup> 段凤云<sup>2</sup> 王德勋<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 湖南农业大学烟草工程技术研究中心, 湖南长沙 410128; <sup>2</sup> 云南省烟草公司大理州公司, 云南大理 671000

**摘要:** 利用 GPS 定位, 在云南省主要烟区选取 705 个样点, 2007 年和 2008 年分别采集 C3F 等级烤烟样品, 将各取样点两年的烤烟样品多酚含量平均值作为原始统计数据。对多酚含量的原始数据、对数转化和 Box-Cox 转化后的数据进行正态分布性检验。采用地统计学进行烤烟多酚含量的空间趋势和空间变异分析。结果表明, 云南烤烟多酚含量经对数转化后服从正态分布。在进行普通 Kriging 插值时, 趋势效应参数宜选择 0 阶, 理论模型宜选择高斯模型 (gaussian model)。云南烤烟多酚含量具有中等的空间相关性 ( $C_0/C_0+C=35.71\%$ ), 没有空间趋势效应 (0 阶)。大部分烟区烤烟多酚含量在 3.50%~4.00% 之间 (为背景值); 多酚含量大于 4.00% 的板块主要分布在滇西、滇中和滇东, 大于 4.50% 的板块零星分布于 4.00%~4.50% 的板块中间, 且多数板块多酚含量由中心向四周呈梯度状由高到低分布; 多酚含量在 5.50%~6.73% 的板块位于南涧县、永平县北部、龙陵县西北部和武定县西部, 且位于南涧县的板块面积最大。  
**关键词:** 烤烟; 多酚; 空间变异; 地统计学

## Spatial Variability of Polyphenol Content of Flue-Cured Tobacco in Yunnan Province, China

WU De-Chuan<sup>1</sup>, ZHOU Ji-Heng<sup>1,\*</sup>, FAN Zai-Dou<sup>2</sup>, LI Wen-Bi<sup>2</sup>, ZHANG Yi-Yang<sup>1</sup>, YANG Cheng<sup>2</sup>, XU Fa-Hua<sup>2</sup>, ZHU Kai<sup>2</sup>, DUAN Feng-Yun<sup>2</sup>, and WANG De-Xun<sup>2</sup>

Research Center of Tobacco Engineering and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; Dali Company of Yunnan Tobacco Corporation, Dali 671000, China

**Abstract:** Flue-cured tobacco in Yunnan plays an important role in formula of Chinese cigarette. Polyphenol is one of the main aroma precursors in tobacco leaf, so researchers highly focus on polyphenol compound. The objective of the study was to investigate spatial distribution of polyphenol content in flue-cured tobacco in Yunnan, and to provide references for layout of tobacco planting and using of tobacco leaf. The tobacco planting areas in Yunnan were selected as the experiment sites. 1 410 flue-cured tobacco samples of C3F grade in 2007 and 2008 were collected from 705 sites via Global Position System (GPS). Polyphenol contents of tobacco samples were determined, and the original data of tobacco polyphenol contents were taken from the samples mean in every site. The original data, data of logarithmic transformation and data of Box-Cox transformation were tested for normal distribution. Surface trend and spatial distribution of tobacco polyphenol content were analyzed by Geostatistics Analyst. The results showed that the data of logarithmic transformation showed normal distribution. The integrative comparisons of semi-variogram parameters of the ordinary kriging prediction with different trends and theoretical models indicated that 0-order trend effect and gaussian model were preferable. There was moderate spatial correlation ( $C_0/C_0+C=35.71\%$ ) and no surface trend (0-order) for tobacco polyphenol content in Yunnan. In most tobacco growing areas of Yunnan, the tobacco polyphenol content ranged from 3.50% to 4.00% (acted as background value). The growing areas that the polyphenol content was over 4.00% were mainly located in the west, centre and east of Yunnan. The growing areas that polyphenol content was over 4.50% were sporadically distributed in the areas, with polyphenols contents of 4.00–4.50%. Polyphenol content showed gradient-like distribution with high-to-low trend from center to surroundings in the growing areas. The areas with polyphenol contents of 5.50–6.73% were located in Nanjian county, the northern Yongping county, the north-west of Longling county and the western Wuding county, and the area in Nanjian county was the biggest one among them.

**Keywords:** Flue-cured tobacco; Polyphenol content; Spatial variability; Geostatistics

本研究由云南省烟草公司大理特色优质烟叶开发项目(09YN017)资助。

\* 通讯作者 (Corresponding author): 周冀衡, E-mail: jhzhou2005@163.com; Tel: 0731-4635356

第一作者联系方式: E-mail: wude555@sohu.com

Received(收稿日期): 2009-07-22; Accepted(接受日期): 2009-10-05.

近年来,烟草多酚类化合物研究越来越受到重视。多酚类化合物是烟草重要的香气前体物<sup>[1]</sup>。烟叶质量和烟草制品的等级呈正相关<sup>[2]</sup>,多酚含量随着卷烟档次和其内在质量的升高而增加<sup>[3]</sup>。烟草中多酚类化合物有135种之多,包括单宁类(绿原酸)、香豆素类(茛菪灵、茛菪亭)和黄酮类(芸香苷、山萘酚糖苷)等,其中最主要的是绿原酸、芸香苷和茛菪亭,烤烟中含有3%或更多的绿原酸,1%左右的芸香苷和少量的茛菪亭,绿原酸占总多酚的75%~95%<sup>[4-5]</sup>,不同来源的烟草总多酚含量变化范围很大,约为0.52%~6.40%,高的可达7%以上<sup>[6]</sup>。绿原酸和芸香苷是影响烟叶等级较大的多酚类物质<sup>[1]</sup>。影响烟草多酚含量和组成的因素很多,包括烟草类型、品种、部位、成熟度、光照、调制方法等<sup>[7]</sup>。云南省地处我国西南边陲的云贵高原,立体性气候显著,气候类型复杂多变,烟区之间海拔相差大,光、温、水、热资源分配不均,主栽烤烟品种有云烟85、云烟87、K326和红花大金元等。所以多种因素导致云南烤烟多酚含量表现出区域性差异(即空间异质性)。

经典的统计学方法,虽然可以对空间变量进行分析和比较,但无法给出直观的空间变量区域分布规律,也无法对非取样点空间变量作出最优无偏估计。而地统计学(Geostatistics)是以区域化变量为基础,借助半变异方差函数和克里格(Kriging)插值为基本工具,可以对既具有随机性又具有结构性,或空间相关性和依赖性的各种变量空间格局和变异关系的规律性进行分析和预测,并对变量进行最优无偏内插估计,弥补了经典统计学忽略空间方位的缺陷。目前,采用地统计学对烤烟多酚含量进行空间变异分析尚无文献报道。本研究以云南省2007—2008年初烤烟叶为研究对象,基于地统计学,运用ArcGIS9.3软件的Geostatistical Analyst模块对烤烟多酚含量空间变异特征及其分布格局进行分析,旨在揭示云南烤烟多酚含量空间分布规律,为云南省烤烟生产布局 and 烟区规划及卷烟工业烟叶原料调拨和使用提供科学参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域概况

云南省地处中国西南部的云贵高原,位于北纬21°8'32"~29°15'8"和东经97°31'39"~106°11'47"之间,北回归线横贯本省南部,东西横跨864.9 km,南北纵距990 km,总面积39.4万公顷。山地约占国土面

积的94%,平坝约占6%,地势北高南低,海拔落差大,平均海拔约2000 m。气候类型属亚热带高原季风气候,受地形地貌影响,垂直变化显著,在太平洋和印度洋气流影响下,干湿季分明,5~10月为雨季,年降水量600~2000 mm。植烟土壤以红壤、紫色土、黄壤和水稻土为主。年烤烟种植面积约35万公顷,年产量约8亿千克,约占我国烤烟总产量的1/3。云南烤烟具有清香型香气特征,在我国烤烟型卷烟配方中占有不可替代的地位。

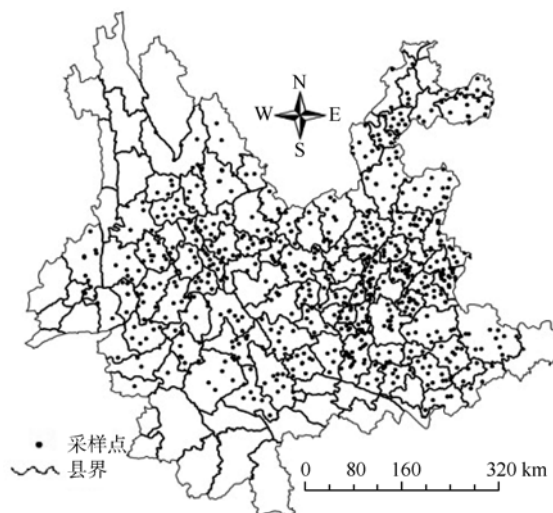


图1 烤烟采样点分布图

Fig. 1 Distribution of flue-cured tobacco samples

### 1.2 烟叶样品采集

利用GPS定位,在云南省94个县(市、区)705个种烟乡(镇)设置取样点,2007年和2008年分别采集C3F等级初烤烟叶样品各705份。烤烟样品采集点见图1。

### 1.3 测定项目与方法

参照全国烟草标准化技术委员会<sup>[8]</sup>方法测定烟叶绿原酸、芸香苷和茛菪亭含量,三者之和作为烤烟多酚含量。

### 1.4 统计方法

采用ArcGIS9.3<sup>[9]</sup>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。地统计学要求空间变量应具有正态分布性,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),使变量呈正态或近似正态分布。之后要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,以便选

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(predicting map)。

## 2 结果与分析

### 2.1 烤烟多酚含量描述性统计分析

将各取样点两年的烤烟多酚含量平均值作为原始数据进行描述性统计。云南省烤烟多酚含量平均值为 3.95%, 最大值为 6.73%, 最小值为 2.47% (表 1)。原始数据的分布状态为偏态分布,经对数变换(LOG)或幂变换(Box-COX)后的结果显示, LOG 转换后的数据标准差最小,偏度和峰度最趋于 0,数据呈近似正态分布;而原始数据及 BOX-COX 变换后的数据都呈偏态分布(表 1)。所以, LOG 转换后的数据符合地统计分析的要求。

### 2.2 烤烟多酚含量趋势分析

运用 ArcGis9.3 地统计软件的 Geostatistical Analyst 模块,可以方便地获得空间变量的趋势效应特征参数。趋势效应一般分为 0 (没有趋势效应)、一阶(线性变化)、二阶(二阶多项式变化)。图 2 是云南烤烟多酚含量的全局趋势效应分析示意图,左后投影面上曲线表示东-西向全局性的趋势效应变化情况,右后投影面上曲线表示南-北向全局性的趋势效应变化情况。分别对 0 阶、一阶和二阶趋势效应参数下半方差函数 4 种理论模型的插值误差进行了比较(表 2)。判断半方差函数模型及其参数是否符合以下标准: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,如果 ASE>RMSE 则高估了预测值,反之如果 ASE<RMSE 则低估了预测值; 标准化均方根误差(RMSSE)最接近于 1, 如果 RMSSE<1, 则高估了预测值,反之如果 RMSSE>1, 则低估了预测值。从图 2 可以看出,云南省烤烟多酚含量的趋势效应不明显。综合分析比较,在进行普通 Kriging 插值时,趋势效应参数宜选择 0 阶,半方差函数理论模型宜选择高斯模型(Gaussian model)。

### 2.3 多酚含量空间变异分析

通过半方差函数及半方差函数曲线图可以得到 3 个重要的参数,即基台值(sill)、块金值(nugget)和变程(range)。从结构性因素的角度来看,块金值与基台值之比( $C_0/C_0+C$ )可表示系统变量的空间相关性程度,如果  $C_0/C_0+C < 25\%$ , 表明变量具有强烈的空间相关性; 25%~75%之间,变量具有中等的空间相关性; > 75%时,变量空间相关性很弱<sup>[10]</sup>。由表 3 可知,  $C_0/C_0+C=35.71\%$ , 表明云南烤烟多酚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) > 1 时,空间变量具有各向异性。表 3 中各向异性比为 1.5634, 表明云南烤烟多酚含量呈明显的各向异性。

空间异质性是空间插值研究的前提,空间变量的非均匀空间分布才需要空间插值;空间相关性则是空间插值研究的基础。基于经过 LOG 转化的烤烟多酚含量数据,选取 0 阶趋势效应和高斯理论模型并考虑各向异性进行普通 Kriging 插值,获得了云南烤烟多酚含量的空间分布预测图(图 3)。从普通 Kriging 插值图 3 中可直观地看到云南烤烟多酚含量空间分布格局、板块形状及大小。表明云南烤烟多酚含量分布存在空间异质性。

多酚含量在 2.47%~3.50%的板块占统计面积的 8.83%, 主要分布于丽江市、大理州东北部、楚雄州、玉溪市和文山州境内。全省大部分烟区烤烟多酚含量在 3.50%~4.00%之间(为背景值), 占统计面积的 52.48%。多酚含量大于 4.00%的板块占统计面积的 38.69%, 较大的 3 个板块位于滇西、滇中和滇东, 其中 4.00%~4.50%的板块占统计面积的 26.51%, 多酚含量在 4.50%~5.00%、5.00%~5.50%和 5.50%~6.73%的板块面积分别占 9.29%、2.27%和 0.62%; 大于 4.50%的板块零星分布于 4.00%~4.50%的板块中间,且多数板块多酚含量由中心向四周呈梯度状由高到低分布;多酚含量在 5.50%~6.73%的板块位于南涧县、永平县北部、龙陵县西北部和武定县西部,且位于南涧县的板块面积最大。

表 1 烤烟多酚含量描述性统计  
Table 1 Descriptive statistics of polyphenols content of flue-cured tobacco

处理方法 Processing method	样本数 Sample	平均值 Mean	最大值 Max.	最小值 Min.	标准差 SD	偏度 Skew	峰度 Kurt	分布状态 Distribution type
原始数据 Original data	705	3.95	6.73	2.47	0.67	1.11	4.14	偏态分布 Asmmetric
对数变换 Logarithmic transformation	705	1.48	1.93	1.08	0.15	0.32	1.13	正态分布 Normal
幂变换 Box-Cox transformation	705	3.42	6.19	1.93	0.67	1.11	4.14	偏态分布 Asmmetric

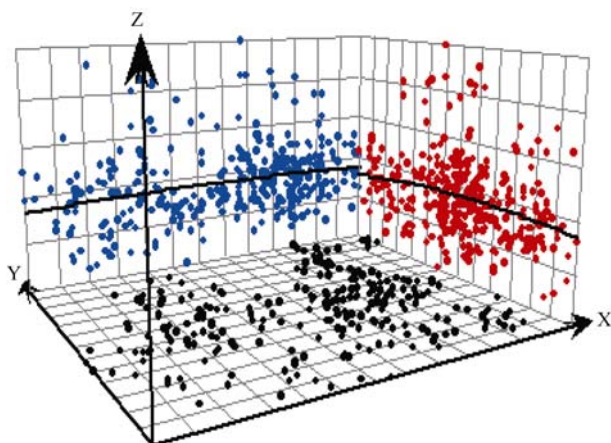


图 2 烤烟多酚含量趋势效应

Fig. 2 Surface trend of polyphenols contents of flue-cured tobacco

X 轴表示东, Y 轴表示西, Z 轴表示所有点的值。

X-axis represents the east, Y-axis represents the north, and Z-axis represents value in every point.

### 3 讨论

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。地统计学已广泛应用于地理学、地质学、生态学、环

境学、土壤学等诸多领域<sup>[11]</sup>。但地统计学对样点分布密度、数据正态分布性和半方差变异函数和 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,都直接影响插值结果的精确性和可靠性。云南是我国烤烟种植面积最大、分布范围最广的植烟省份,样点密度能较好地满足地统计学要求。本文的样点密度较大(平均每个县 8 个样点),数据经过 LOG 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 0 阶趋势效应参数下 Gaussian Model 模型进行普通 Kriging 插值,保证了插值结果的精确性和可靠性。本文尝试采用地统计学方法分析云南烤烟多酚含量空间变异,插值结果较为理想,也为以后烤烟品质数据分析提供新的方法。

云南烤烟多酚平均含量为 3.95%,大部分烟区烤烟多酚含量在 3.50%~4.00%之间(为背景值),表明云南烤烟多酚含量处于较高水平。武丽等<sup>[12]</sup>研究也证明云南烤烟多酚含量明显高于我国其他省份。云南烤烟多酚含量变异范围较大(2.47%~6.73%),具有中等的空间相关性,没有空间趋势效应,并表现出明显的区域性特征。原因分析如下:(1) 品种因素。

表 2 不同趋势效应下烤烟多酚含量半方差函数理论模型预测误差的比较

Table 2 Comparisons of semi-variogram models parameters of tobacco polyphenols contents with different trends

趋势效应 Trend effect	理论模型 Theoretical model	预测误差 Prediction error				
		平均值误差 ME	均方根误差 RMSE	平均标准化误差 ASE	标准化平均值误差 MSE	标准化均方根误差 RMSSE
0 阶 0-order	圆状模型 Circular	0.00219	0.6532	0.6405	-0.00436	1.034
	球状模型 Spherical	0.00261	0.6542	0.6414	-0.00422	1.037
	指数模型 Exponential	-0.00070	0.6556	0.6405	-0.00970	1.038
	高斯模型 Gaussian	0.00052	0.6513	0.6507	0.00058	1.017
一阶 1-order	圆状模型 Circular	-0.00380	0.6641	0.6418	-0.01250	1.043
	球状模型 Spherical	0.00302	0.6575	0.6445	-0.00158	1.028
	指数模型 Exponential	0.00289	0.6563	0.6432	-0.00186	1.029
	高斯模型 Gaussian	-0.00380	0.6641	0.6418	-0.01250	1.043
二阶 2-order	圆状模型 Circular	-0.00704	0.6653	0.6365	-0.01835	1.054
	球状模型 Spherical	-0.00704	0.6653	0.6365	-0.01835	1.054
	指数模型 Exponential	-0.00704	0.6653	0.6365	-0.01835	1.054
	高斯模型 Gaussian	-0.00704	0.6653	0.6365	-0.01835	1.054

表 3 烟叶多酚含量半方差函数理论模型及相关参数

Table 3 Theoretical semi-variogram model and corresponding parameters of tobacco polyphenols content

趋势效应 Trend effect	理论模型 Theoretical model	块金值( $C_0$ ) Nugget	基台值 ( $C_0+C$ )Sill	块金值/基台值 ( $C_0/C_0+C$ )(%)	长轴变程 Major range(km)	短轴变程 Minor range(km)	各向异性比 Anisotropic ratio
0 阶 0-order	高斯模型 Gaussian	0.0178	0.0498	35.71	1.3841	0.8853	1.5634

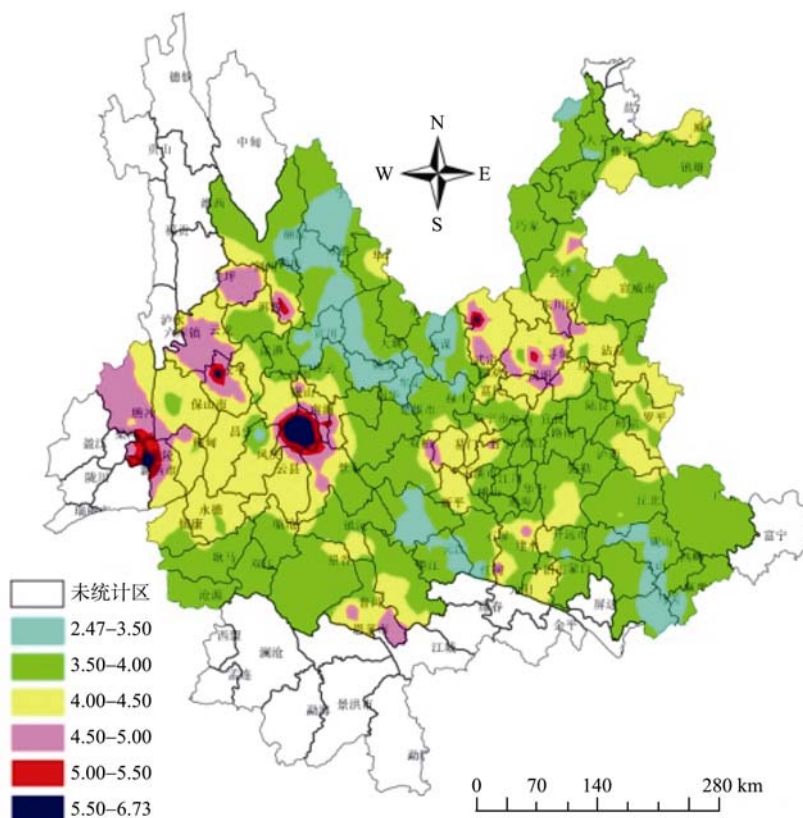


图 3 烤烟多酚含量空间分布预测图

Fig. 3 Spatial distribution predicting map of polyphenol contents of flue-cured tobacco

不同烤烟品种多酚含量差异较大<sup>[13]</sup>。张树堂等<sup>[14]</sup>研究表明云南红花大金元品种多酚含量比 K326 高出 39.3%。目前云南主栽烤烟品种有云烟 85、云烟 87、K326 和红花大金元等, 且各烟区不同品种散乱分布。(2) 环境因素。在云南众多的环境因子中海拔高度最为重要, 它直接影响太阳辐射量和紫外线强度。云南省紫外辐射强度随着纬度的降低和海拔的升高而急剧增强<sup>[15]</sup>。韩锦峰等<sup>[16]</sup>研究表明随着海拔高度增加, 总多酚、绿原酸和芸香苷均升高, 其中绿原酸含量升高最多。黄勇等<sup>[17]</sup>研究也证明烤烟多酚含量随 UV-B 增强而升高。云南烤烟多酚含量实际上是基因型与环境互动而表现出的综合结果。以南涧县为例, 全县实行“一县一品”的红花大金元种植布局, 烟区的海拔在 1 700~2 100 m, 基因型与环境之间的互动效应表现得尤为明显, 烤烟多酚含量在 5.50%~6.73%之间, 是云南省烤烟多酚含量最高、板块面积最大的烟区。

#### 4 结论

云南烤烟多酚含量具有中等的空间相关性

( $C_0/C_0+C=35.71\%$ ), 空间趋势效应不明显。多酚含量在 2.47%~6.73%之间, 平均 3.95%。大部分烟区烤烟多酚含量在 3.50%~4.00%之间(为背景值), 占统计面积的 52.48%。多数板块多酚含量由中心向四周呈梯度状由高到低分布。多酚含量在 5.50%~6.73%的板块位于南涧县、永平县北部、龙陵县西北部和武定县西部, 且位于南涧县的板块面积最大。

#### References

- [1] Akehunt B C. Tobacco. London: Longman, 1981. pp 549-851
- [2] Zhou J-H(周冀衡), Zhu X-P(朱小平), Wang Y-T(王延亭). Physiology and Biochemistry of Tobacco (烟草生理与生物化学). Hefei: University of Science and Technology of China Press, 1996. pp 495-496 (in Chinese)
- [3] Zhuang Y-D(庄亚东), Zhang Y(张映), Wang F(王芳), Shao X-G(邵学广). Analysis of polyphenols in cigarettes. *Tob Sci Technol* (烟草科技), 2004, (1): 23-26 (in Chinese with English abstract)
- [4] Kallianos A G. Polyphenols and acids in leaf and their relationship to smoking quality and aroma. *Recent Adv Tob Sci*, 1976, 2: 61-79
- [5] Snook M E, Chortyk O T. Improved extraction-HPLC method for

- tobacco polyphenols. *Crop Sci*, 1982, 25: 17–21
- [6] Tso T C. Leaf tobacco composition: The potential for genetic changes. *Tobacco*, 1969, 168: 69
- [7] Tso T C. Physiology and Biochemistry of Tobacco Plant. Maryland, USA: Ideals Inc, 1972. p 552
- [8] National Standardization Technical Committee of Tobacco(全国烟草标准化技术委员会). Tobacco and Tobacco Products—Determination of Polyphenols-Chlorogenic Acid, Scopoletin and Rutin. Beijing: Standards Press of China, 2006. pp 1–9 (in Chinese)
- [9] Wang Z-Q(王政权). Geo-statistics and Its Application in Ecology (地统计学及在生态学中的应用). Beijing: Science Press, 1999 (in Chinese)
- [10] Cambardella C A. Field scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Sci Soc Am J*, 1994, 58: 1501–1511
- [11] Sun Y-J(孙英君), Wang J-F(王劲峰), Bai Y-C(柏延臣). Study on progress of methods in geo-statistics. *Adv Earth Sci* (地球科学进展), 2004, 2: 268–274 (in Chinese with English abstract)
- [12] Wu L(武丽), Xu X-Y(徐晓燕), Zhu X-Q(朱小茜), Li Z-H(李章海), Huang Y-D(黄义德). Comparison on the partial chemical composition and polyphenols content of the flue-cured tobacco from different ecology smoke area in our country. *Acta Agric Boreali-Sin* (华北农学报), 2008, 23(suppl): 153–156 (in Chinese with English abstract)
- [13] Yang H-Q(杨虹琦), Zhou J-H(周冀衡), Wang Y(王勇), Yang C(杨程), Duan F-Y(段凤云), Luo Z-M(罗泽民). Study on the contents of chlorogenic acid and rutin in the different genotype of flue-cured tobacco leaves. *Tobacco Agric Sci* (烟草农业科学), 2005, 1(2): 187–191 (in Chinese with English abstract)
- [14] Zhang S-T(张树堂), Yang X-B(杨雪彪). Effects of ripeness at harvest on pigments and polyphenols of flue-cured tobacco. *J Yunnan Agric Univ* (云南农业大学学报), 2006, 21(6): 756–760 (in Chinese with English abstract)
- [15] Guo S-C(郭世昌), Chang Y-L(常有礼), Hu F(胡非), Zhang X-N(张秀年), Li L-J(李立娟). Numerical study for the influence of latitude and altitude on surface biologically-active UV irradiance in Yunnan region. *Yunnan Geographic Environ Res* (云南地理环境研究), 2004, 16(1): 9–13 (in Chinese with English abstract)
- [16] Han J-F(韩锦峰), Liu W-Q(刘维群), Yang S-Q(杨素勤), Lü Q-L(吕巧玲), Han F-G(韩富根). The effect of elevation on the aromatic components of flue-cured tobacco. *China Tob* (中国烟草), 1993, (3): 1–3 (in Chinese with English abstract)
- [17] Huang Y(黄勇), Zhou J-H(周冀衡), Zheng M(郑明), Yang H-Q(杨虹琦), Zhang N-Y(张芋元). Effect of UV-B on growth and development and secondary metabolism of flue-cured tobacco. *Chin J Eco-Agric* (中国生态农业学报), 2009, 17(1): 140–144 (in Chinese with English abstract)