

广西地形对青蒿中青蒿素含量的影响

张小波^{1,2}, 王利红¹, 郭兰萍², 韦 霄³, 黄璐琦^{2,*}, 梁留科¹, 孙宇章², 吕金嵘^{1,2}

(1. 河南大学 资源与环境研究所, 开封 475004; 2. 中国中医科学院 中药研究所, 北京 100700;

3. 中国科学院 广西植物研究所, 桂林 541006)

摘要: 针对广西青蒿种植中适生地选择的迫切要求, 在对广西 31 个样地 155 株青蒿中青蒿素含量测定的基础上, 分析了青蒿素含量地理变异, 不同地形条件下青蒿素含量变异, 海拔高度、坡度、坡向等地形因子对青蒿素含量的影响, 不同区域内青蒿素含量变异分析, 并应用 GIS 技术开展了基于地形因子的青蒿种植区划分析。得到如下结果和结论: ①各样地间的青蒿素含量存在显著性差异 ($P=0.000<0.05$); ②海拔高度和坡度是影响青蒿素含量变化的主要地形因子, 生长在海拔较高、坡度较大的丘陵、山地区域内的青蒿, 青蒿素含量高于生长在海拔较低、坡度较小的平原区域内的 ($P=0.000<0.05$); ③桂西南地区内的青蒿素含量最高, 桂东南平原区域内的青蒿素含量最低, 二者与其他区域的青蒿素含量差异显著 ($P=0.000<0.05$); ④青蒿素含量在 (0.76% ~ 0.93%) 的为最适宜区, 主要包括桂东北和西南地区的阳朔、都安、大化、苹果、马山、武鸣、隆安、南宁和崇左等县市。青蒿素含量在 (0.61% ~ 0.76%) 的为较适宜区域。青蒿素含量在 (0.47% ~ 0.61%) 的为适宜区。青蒿素含量在 (0.32% ~ 0.47%) 的为不适宜区, 主要包括北海市、钦州市、贵港市、贺州市、梧州市和岑溪市的部分地区。⑤桂北地区地形复杂“小地形”、“小气候”特征明显, 从小尺度范围内研究青蒿的生态适宜性, 更能得到较显著的效果。

关键词: 青蒿素; 地形因素; 青蒿人工种植; 空间变异

文章编号: 1000-0933(2009)02-0688-10 中图分类号: Q142, Q948, S567.239 文献标识码: A

Analysis of the effect of topographical conditions on the artemisinin content in sweet wormwood herb in Guangxi, China

ZHANG Xiao-Bo^{1,2}, WANG Li-Hong¹, GUO Lan-Ping², WEI Xiao³, HUANG Lu-Qi^{2,*}, LIANG Liu-Ke¹, SUN Yu-Zhang², LÜ Jin-Rong^{1,2}

1 The Research Institute of Resources and Environment, Henan University, Kaifeng, 475004, China

2 Institute of Chinese Material Medical, China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing 100700, China

3 Guangxi Institute of botany, Chinese Academy of Sciences, Guilin 541006, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(2): 0688 ~ 0697.

Abstract: With the increasing demands of artemisinin, artificial planting of Sweet Wormwood Herb is necessary. These are close relationships between topographical conditions and artemisinin content in Sweet Wormwood Herb. In order to explore the spatial variability of artemisinin content in Sweet Wormwood Herb and select most suitable planting regions, 155 samples of Sweet Wormwood Herb are collected from 31 sites in Guangxi, one of the main habitats of Sweet Wormwood Herb in China. The artemisinin content is analyzed precisely in the laboratory. Based on these sample data and GIS technology, the spatial relationships between topographical conditions and the artemisinin content in Sweet Wormwood Herb in Guangxi, China are examined statistically and spatially. First, there is a significant difference in artemisinin content in different sample sites statistically ($P=0.000<0.05$). Second, elevation and slope are the key terrain factors affecting the artemisinin content. The artemisinin content sampled from the mountainous regions is evidently higher than that from plain

基金项目: 国家重点基础研究发展计划资助项目(2006CB504700); 国家自然科学基金资助项目(30672616、30672617); 国家科技支撑计划资助(2006BAI09B02、2006BAI09B03); 广西科技厅科技攻关与新产品试制资助项目(桂科攻 0663003)

收稿日期: 2007-08-21; 修订日期: 2008-08-15

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: huangluqi@263.net

areas ($P = 0.000 < 0.05$). Third, in southwest low-mountain Guangxi, the artemisinin content in herb sample is the highest, and in the southeast plain areas it is the lowest. It is also observed that artemisinin content reduces along with the increase of elevation, but increases along with the increase of slope. Forth, according to the artemisinin content in samples, regional suitability for artificial planning of *Artemisia annua* L. can be classified as most suitable, where the artemisinin content is between 0.76% and 0.93%, more suitable (0.61%–0.76%), suitable (0.47%–0.61%) and unsuitable (0.32%–0.47%). The northeast and southwest Guangxi, including the mountainous counties of Yangshuo, Yangshuo, Duan, Dahua, Pingguo, Mashan, Mingwu, Duan, Nanning and Chongzuo, are the most suitable. The most part of prefecture regions, such as Beihai, Qinzhou, Guigang, Hezhou, Wuzhou and Cenxi, are classified as unsuitable. Fifth, the topographical effect is complex in the north part of Guangxi, where the microclimate and micro-terrain is clearly presented. The authors believe that the ecological suitability research at small scale will be effective in.

Key Words: artemisinin; topographic factors; artificial planting; spatial variability

中药青蒿为菊科黄花蒿(*Artemisia annua* L.)的地上部分^[1],其所含的青蒿素对治疗疟疾有很好的疗效,被 WHO 称为“目前世界上唯一有效的疟疾治疗药物”^[2]。由于野生青蒿资源量有限,目前青蒿素产量远远满足不了市场需求。广西是我国青蒿的主产地,为了加速青蒿产业化发展,更科学、更准确地指导广西的青蒿生产。有必要对青蒿素含量与生态因素之间的关系进行研究。

地形是影响中药材分布、产量和质量的重要因素。青蒿最佳生长海拔高度因区域而异,在我国青蒿主要分布于 400m 以下的地区^[3],在越南为 50~500m,在坦桑尼亚和肯尼亚则为 1000~1500m^[4]。广西地处山地,地形因素对青蒿中青蒿素的积累有怎样的影响?什么样的地形条件适于青蒿素的积累。本文通过对广西地区的青蒿素含量与地形因子之间的相关,并通过曲线拟合,研究青蒿素含量受地形影响的空间变化规律,以明确青蒿素含量的主要地形因子。目的是为广西特殊地形条件下,青蒿种植最佳区域的选取提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 自然概况

广西壮族自治区位于 20°54′~26°23′N, 104°29′~112°04′E, 年均温在 16~23℃ 之间、年降雨量在 1000~2800 mm 之间、太阳年总辐射量达 $90 \times 4.18 \sim 100 \times 4.18 \text{ kJcm}^{-2}$ 。广西地处低纬度地区,南濒热带海洋,北为南岭山地,西延云贵高原东南边缘,山地丘陵性盆地地貌是广西地区的主要地貌特征。桂西、北部为云贵高原边缘、桂东北为南岭山地地势均较高,东南及南部是云开大山和十万大山。盆地中部被弧形山脉分割,形成大小盆地相杂的地貌结构。广西地形的主要特点是山地多平地少,地势由西北向东南倾斜,四周山地环绕,盆地边缘多缺口。河流大多沿着地势倾斜面,从西北流向东南,形成了以红水河—西江为主干流的横贯广西中部以及支流分布于两侧的树枝状水系。河流冲积平原主要分布于河流的中下游沿岸,较大的平原有浔江平原、郁江平原和南流江三角洲平原等。由于广西地形条件比较复杂,不同区域内小地形特征明显,受地形的影响,桂西、桂北和东北具有山地气候一般特征,山地气候较为明显;中部和南部多为平地地势较平缓,受地形和海陆位置的影响广西南部 and 东南部具有温暖湿润的海洋性气候特征。

1.2 研究材料与方法

1.2.1 样品的采集与含量的测定

(1) 青蒿样品的采集 本课题组于 2006 年 9 月上旬,根据以往调查研究的经验和相关研究资料,分别在广西的西南、西北、东北、东南青蒿分布较多的区域,共选取 31 个有代表性的野生青蒿样地。在同一时间段(12:00~16:00),每个样地采集 5 株青蒿全草。实地测量获得每个样地的地形数据信息,包括:采样地的经度、纬度、坡度、海拔高度和坡向等地形数据见表 1。

(2) 青蒿素含量的测定 青蒿素的含量用柱前衍生 RP-HPLC 法测定,使用 Agilent-1100 分析型高效液相色谱仪,采用 ZORBAXXDB-C₁₈(4.6mm×150mm, 5μm) 色谱柱,甲醇-0.01mol/L 醋酸钠-醋酸缓冲液(pH =

5.8, 体积分数 62:38) 为流动相; 检测波长 260nm; 流速 0.8ml/min; 柱温 30℃^[5]。31 个样地的青蒿素含量见表 1。

表 1 31 个野生青蒿样地青蒿素含量(%) 和地形数据

Table 1 Data of artemisinin content(%) and topography in 31 wild Sample sites

样方 Sample	地名 Name	含量均值 Artemisinin(%)	经度(°E) Longitude	纬度(°N) Latitude	坡度(°) Slope	海拔(m) Altitude	坡向 Aspect	地形描述 Topography
1	都安	0.77	108.11	23.93	5	199	西南 SN	山地 Hilly
2	地苏	0.91	108.05	23.94	35	159	西南	山地
3	大化	0.86	108.02	23.73	15	172	西北 NW	山地
4	崇左	0.93	107.05	22.41	10	117	西北	山地
5	大新	0.72	107.24	22.86	5	241	北 N	山间平地 Smooth
6	平果	0.87	107.56	23.33	0	127	—	丘陵 Knoll
7	田林	0.59	105.97	24.55	5	614	东北 NE	山地
8	凤山	0.78	107.03	24.57	3	505	东南 SE	山间平地
9	河池	0.59	108.1	24.7	10	217	西北 NW	山地
10	天峨	0.75	107.82	25.03	15	382	东北 NE	山地
11	天峨	0.64	107.23	24.94	10	238	西南	丘陵
12	柳州	0.71	109.51	24.39	3	79	东 E	山地
13	阳朔	0.87	110.48	24.79	40	141	东	山地
14	全州	0.8	110.82	25.82	8	189	东	山间平地
15	全州	0.67	110.89	25.88	5	187	西北	山间平地
16	全州	0.63	111.03	25.8	6	226	东南	山间平地
17	龙胜	0.62	110.03	25.78	38	242	东	丘陵
18	融安	0.53	109.46	25.34	8	195	东	丘陵
19	永福	0.64	110.02	25.06	0	161	—	平地
21	贺州	0.55	111.61	24.39	10	154	东北	山间平地
22	梧州	0.4	111.57	23.99	15	125	北	丘陵
23	岑溪	0.4	111.07	23.09	10	134	西南	丘陵
24	玉林	0.58	110.3	22.7	30	110	东南	山地
25	北海	0.41	109.15	21.45	2	19	东南	平地
26	钦州	0.38	108.62	21.96	0	21	—	平地
27	兴安	0.67	110.66	25.64	2	244	西北	山间平地
29	来宾	0.32	109.21	23.75	5	91	北	平地
30	宾阳	0.46	108.88	23.37	5	99	西南	平地
31	南宁	0.94	108.58	22.98	5	96	东南	丘陵
32	扶绥	0.49	107.95	22.74	20	97	西南	山地
33	宜州	0.51	108.37	24.71	3	21	东北	山间平地

1.2.2 数据分析

(1) 青蒿素含量地理变异分析 利用 EXCEL 对各样地青蒿素含量排序后做折线图, 对广西各地青蒿素含量进行初步观察。然后, 使用 SPSS13.0 统计软件, 对 31 个样地的青蒿素含量进行正态性检验后, 对不同产地的青蒿素含量进行统计报表分析和方差分析。分析不同产地间的青蒿素含量的差异性。

(2) 不同地形条件下青蒿素含量变异分析 按采样地的地形特征描述对各样地进行分组: 山地为一组, 路边为一组, 丘陵为一组, 平地为一组。对分组后的青蒿素含量用 SPSS13.0 统计软件进行方差分析, 分析不同地形条件下青蒿素含量的差异性。

(3) 不同地形因子对青蒿素含量的影响分析 对青蒿素含量与海拔高度、坡度、坡向等进行相关和方差分析, 分析各地形因子对青蒿素含量的影响。做青蒿素含量与海拔高度、坡度之间的散点图, 并进行曲线拟

合,分析广西地区青蒿素含量与海拔高度的线性关系。对青蒿素含量与海拔高度进行回归分析,构建青蒿素含量与海拔高度间的关系模型。

(4) 不同区域内青蒿素含量变异分析 用 ArcMap 在广西地图上根据采样地的经纬度值,做 31 个样地的地理分布图。按采样地的地理位置临近和采样地在散点图上位置临近(含量接近)、地形相似的原则,对 31 个样地进行分组。用 SPSS13.0 统计软件对分组后各组间青蒿素含量进行方差分析,研究不同区域间青蒿素含量的变异。

用 SPSS13.0 统计软件对不同区域内青蒿素含量与地形因子进行相关和逐步回归分析,构建小区域内青蒿素含量与地形因子之间的线性关系模型,研究不同区域内青蒿素含量的空间变异规律。

(5) 基于地形因子的青蒿种植区划分析 空间插值法是一种估计观测样点间内插值的地质统计学方法。地理空间相关性是空间插值理论假设的基本前提,认为空间上距离较近的点比距离较远的点其特征值具有更大的相似性。空间插值是将离散点的测量数据转换为连续的数据曲面。其特点是只根据插值要素自身的空间分布特征拟合生成函数方程,方程中只包含自身的特征值和地理位置,而不包含其它地理要素^[6]。

用 ArcGIS 软件,选用克里金插值法(Kriging method)方法对青蒿素含量进行插值,将离散点的测量数据转换为连续的数据曲面,得到广西地区青蒿素含量的空间分布模型。结合上文地形、海拔对青蒿素含量的影响及不同区域青蒿素含量的变异分析,按青蒿素含量由高到低,并依据地理相近、地形相近的原则,进行青蒿素积累的适宜性区划。

2 结果与讨论

2.1 青蒿素含量的地理变异分析

对 31 个样地青蒿素含量的平均值排序后,青蒿素含量变化的折线图如图 1 所示:从图上可以看出,31 个样地间的青蒿素含量存在差异性。对 31 个样地的青蒿素含量进行正态性检验结果显示:Shapiro-Wilk 统计量为 0.966, $P = 0.423 > 0.05$,说明 31 个样地的青蒿素含量服从正态分布,青蒿素含量连续变化,可以用统计学的方法对其进行分析。

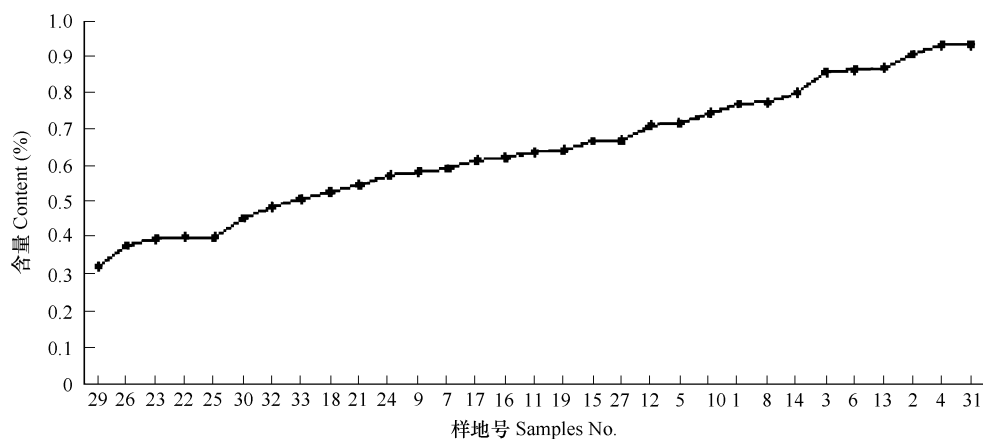


图 1 31 个野生青蒿样地的青蒿素含量变化曲线图

Fig. 1 The change curves of artemisinin content in 31 sample sites

对 31 个样地 155 株青蒿中的青蒿素含量进行方差分析结果显示: $F = 12.766 > F(1, 154) = 11.38$, $P = 0.000 < 0.05$,说明广西地区 31 个样地青蒿素含量之间的差异有统计意义,各样地间的青蒿素含量存在显著性差异。统计分析结果见表 2。

2.2 不同地形条件下青蒿素含量变异分析

由上述分析可知,31 个样地间的青蒿素含量存在显著差异,为明确地形对青蒿素含量的变化是否有影响,按采样地的地形特征对 31 个样地进行分组,地形特征描述见表 1。地形地貌特征描述为山地的为一组作

为山地组,山间平地的为一组,丘陵的为一组,平地的为一组。对上述4组样地的青蒿素含量进行方差分析结果显示:不同地形条件下的青蒿素含量之间存在显著性差异($P=0.015<0.05$),说明地形对青蒿素含量的地理变异有影响。分布于陡峭山坡内的青蒿素含量最高^[7],青蒿素含量明显高于生长在平地的^[8],山间平地 and 丘陵地区内的次之,低平区域内的青蒿素含量最低,不同地形条件下的青蒿素含量见表3。可见,生长在海拔较高、坡度较大的丘陵、山地区域内的青蒿,青蒿素含量高于生长在海拔较低、坡度较小的平原区域内的。

表 2 31 个样地青蒿素含量的统计报表
Table 2 Statistic table of artemisinin content of *Artemisia annua* L. in 31 sample sites

No. 样地号	Mean 含量均值	Std. D 标准差	Min 最小值	Max 最大值	No. 样地号	Mean 含量均值	Std. D 标准差	Min 最小值	Max 最大值
1	0.77	0.13	0.59	0.93	17	0.62	0.16	0.44	0.87
2	0.91	0.07	0.80	0.99	18	0.53	0.13	0.38	0.69
3	0.86	0.11	0.68	0.95	19	0.64	0.09	0.56	0.78
4	0.93	0.07	0.85	1.00	21	0.55	0.15	0.34	0.72
5	0.67	0.16	0.41	0.84	22	0.40	0.08	0.30	0.51
6	0.87	0.13	0.71	1.00	23	0.40	0.06	0.33	0.47
7	0.59	0.12	0.41	0.72	24	0.58	0.08	0.49	0.66
8	0.78	0.02	0.76	0.81	25	0.41	0.11	0.34	0.59
9	0.59	0.10	0.48	0.70	26	0.38	0.10	0.22	0.44
10	0.75	0.12	0.55	0.84	27	0.67	0.16	0.55	0.94
11	0.64	0.12	0.48	0.78	29	0.32	0.11	0.22	0.45
12	0.71	0.19	0.59	1.04	30	0.46	0.09	0.35	0.60
13	0.87	0.19	0.63	1.03	31	0.94	0.06	0.90	1.03
14	0.80	0.05	0.77	0.89	32	0.49	0.10	0.34	0.63
15	0.67	0.08	0.52	0.73	33	0.51	0.06	0.43	0.59
16	0.63	0.06	0.56	0.69	总体 Total	0.64	0.22	0.22	1.06

表 3 不同地形条件下青蒿素含量变异
Table 3 The differences of artemisinin content under different landforms

组分 Group	坡度均值 Slope mean(°)	海拔高度均值 Altitude mean(m)	青蒿素含量均值 Artemisinin content(%)
山地组 Hilly	17.09	207.91	0.73a
山间平地组 Smooth	5.25	245.25	0.67a
丘陵组 Knoll	12.29	165.28	0.63a
平地组 Flat	2.40	78.20	0.44b
总体 Total	10.58	187	0.64

同一列右下角不同角标代表差异显著 Difference is significant with mark

2.3 地形因子对青蒿素含量的影响分析

2.3.1 各地形因子对青蒿素含量的影响

对青蒿素含量与海拔高度、坡度进行相关分析结果显示,青蒿素含量和海拔高度、坡度之间相关性显著,见表4。对不同坡向的青蒿素含量进行方差分析结果显示,坡向对青蒿素含量的影响不明显。

表 4 青蒿素含量和海拔高度、坡度的相关性
Table 4 Correlations between artemisinin content and altitude, slope

项目 Item	青蒿素含量 Artemisinin content	坡度 Slope	海拔 Altitude
皮尔逊相关系数 Pearson Correlation	1	0.180(*)	0.174(*)
假设检验 Sig. (2-tailed)		0.025	0.030
样本数 N	155	155	155

* 在显著性水平 0.05 下相关性显著 Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

2.3.2 海拔对青蒿素含量的影响分析

对采样地的经纬度与海拔高度进行相关分析,结果显示,海拔高度与经度显著负相关,海拔高度与纬度正

相关。对采样地海拔高度进行空间插值,得到采样地海拔高度等级分布图2。从图2可以看出,采样地的地势由西北向东南倾斜,说明采样地的地势特征与广西的实际地势特征相一致。

由上述分析知,地形对青蒿素含量有影响,而且生长在海拔较高、坡度较大的丘陵、山地区域内的青蒿,青蒿素含量高于生长在海拔较低、坡度较小的平原区域内的。由于海拔高度和坡度是影响地形的主要因子^[9],所以研究青蒿素含量和海拔高度、坡度之间的数量关系,有助于进一步明确青蒿素含量受地形影响的空间变化规律。

对31个样地的青蒿素含量和海拔高度做散点图、拟合曲线,见图3。从图3上可以看出,青蒿素含量与海拔之间有一定规律性。但规律较复杂,空间地理位置接近的样地,在青蒿素-海拔含量图中处于同一区域,提示青蒿素含量可能存在一定的空间自相关性。为此,以青蒿素-海拔含量图为基础,将样地分成4个区域,见图3。不同区域内青蒿素含量随海拔的变化规律不同。青蒿素含量在第1、4区域内的变化与海拔有关,但变异规律相反,第1组青蒿素含量随海拔增加而降低;第4组青蒿素含量随海拔增加而增加。而2、3组青蒿素含量随海拔高度的增加变化不明显。

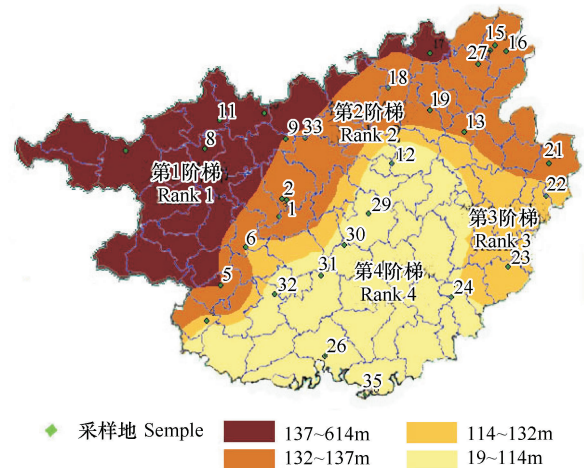


图2 采样地海拔高度等级分布图

Fig. 2 Rank distribution map of altitude above sea level of sampling

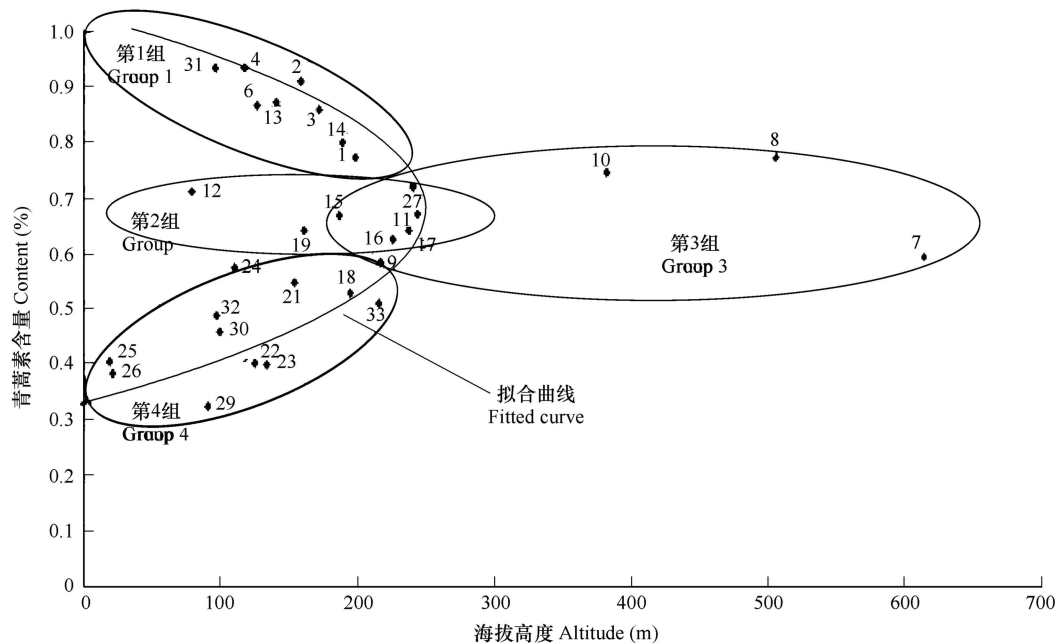


图3 31个样地的青蒿素含量和海拔高度之间的散点图及拟合曲线

Fig. 3 Scatter diagram and fitted curve between artemisinin content and altitude

2.3.3 青蒿素含量和海拔高度之间的关系模型

用SPSS13.0统计软件对青蒿素含量和海拔高度进行回归分析,青蒿素含量和海拔高度之间的关系模型为:

$$Y_1 = 0.682 \pm \sqrt{0.125 - 0.000502 \times X_1} \quad (X_1 \in (0, 249], Y_1: \text{青蒿素含量}, X_1: \text{海拔高度})$$

对模型进行显著性检验:查 F 表有 $F_{0.05}(2,28) = 3.34 < F = 5.998, P = 0.010 < 0.05$,说明方程效果显著,可以投入使用。由模型 Y_1 可知拐点出现在海拔高度为 249m 处。海拔高度在 249m 左右的青蒿素含量为 0.682%,说明广西地区海拔高度在 250m 左右的区域内均可得到有价值的青蒿原料。从图 2 中可以看出,第 2、3 组区域内青蒿素含量随海拔高度虽然变化规律不明显,但青蒿素含量均在 0.682% 左右。由于模型中需要进行开方计算,正负号的使用范围不能确定,有必要分区域分别研究各个区域内青蒿素含量与海拔之间的关系。

2.4 不同区域内青蒿素含量变异分析

2.4.1 青蒿素含量在区域间的差异性分析

上文研究证实,青蒿素含量可能存在一定的空间自相关性,并认为广西青蒿可按青蒿素含量分为 4 个区域。为明确广西地区不同区域内青蒿素含量的差异性和青蒿素含量在不同区域内的变异规律。在保持采样地地形特征相近、采样地在区域内连续分布和青蒿素含量随海拔高度变化规律明显性的原则下,即采样地的地理位置临近和采样地在散点图上位置临近的原则,对 31 个样地进行重新分组,进一步分析不同区域内青蒿素含量和地形因子之间的关系。

对 31 个样地的分组结果如下,第 1 组包括:1、2、3、4、5、6 号和 31 号样地,位于桂西南的大明山和十万大山以西的地区(31 位于大明山西坡和曲线的上部分,所以归在第 1 组);第 2 组包括:12、13、14、15、16、17、18、19 号和 27 号样地,位于桂东北南岭西北(13、14、18 地理位置位于桂东北,所以归在第 2 组);第 3 组包括:7、8、9、10、11 号和 33 号样地,位于桂西北云贵高原西南(33 地理位置位于桂西北);第 4 组包括:21、22、23、24、25、26、29、30 号和 32 号样地,位于桂东南的平原地区。31 个采样地的地理分布,见图 4。

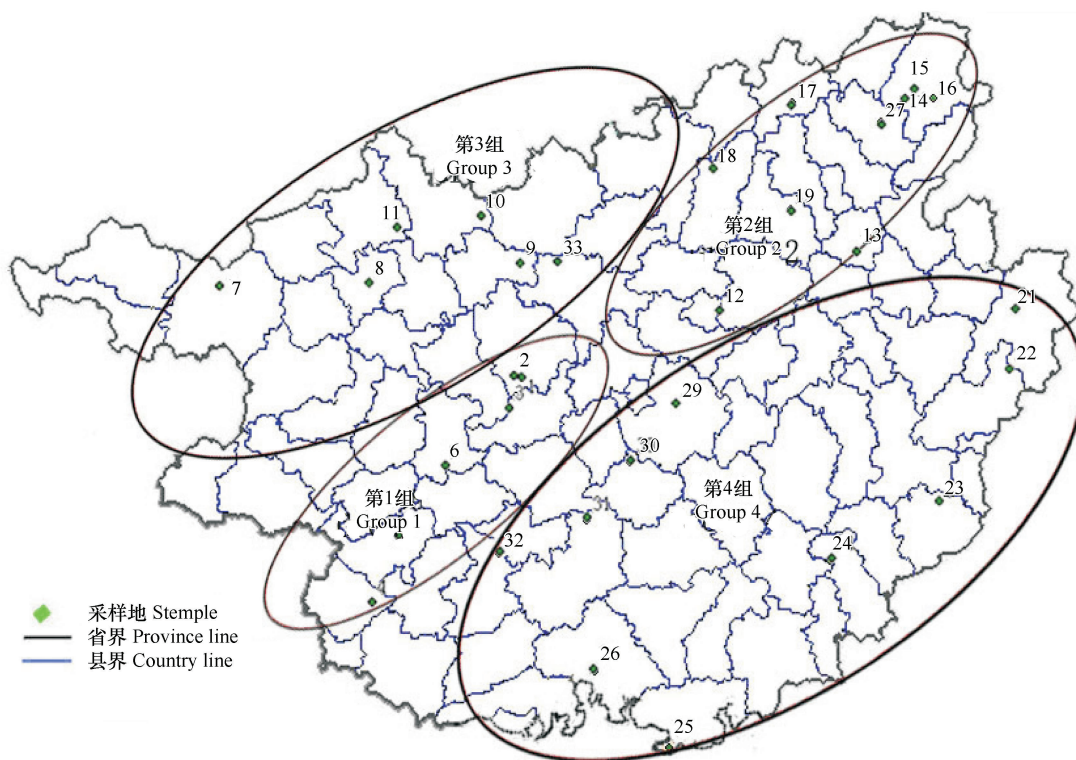


图 4 31 个采样地的地理分布图

Fig. 4 Geography distribution map of 31 sample sites

对以上 4 组样地的青蒿素含量进行方差分析: $F = 27.337 > F(1,30) = 4.17, P = 0.000 < 0.05$,说明分布于各区域内的青蒿,青蒿中青蒿素的含量存在显著的地理变异。各组青蒿素含量见表 5。第 1 组桂西南地区内的青蒿素含量与其它 3 个地区的差异性显著;第 2 组桂东北山地区域内的青蒿素含量与第 1、4 区域的差异

拔高度)。对模型显著性检验:查 F 表有 $F_{0.05}(1,49) = 4.08 < F = 17.302, P = 0.000 < 0.05$, 说明多元线性回归方程效果显著, 可以投入使用。

综上所述可知, 广西地区青蒿素含量的空间分布特征: 桂西南丘陵、山地区域内的青蒿素含量最高, 桂东北山地次之, 桂西北云贵高原边缘区域內的较低, 桂东南平原地区的最低。垂直方向上分布规律是: 丘陵、山区的低海拔区域內的青蒿素含量最高, 青蒿素含量随海拔高度的增加而减少, 随坡度的增加而增加。平原地区海拔较高、坡度较大的区域青蒿素含量最高, 青蒿素含量随海拔高度和坡度的增加而增加。

2.4.2 模型的预测

由于模型 Y_1 中根号下的数值小于 1, 模型 Y_2 中青蒿素含量随海拔高度的增加而减少, 模型 Y_3 中青蒿素含量随海拔高度的增加而增加, 所以模型 Y_1 开平方后, 取正值的实用区域是桂西南地区, 负值的实用区域是桂东南地区。由于模型 Y_1 中海拔高度的取值范围是 0 ~ 249m, 可以预测, 桂西南地区青蒿素含量的变化范围是 0.68% ~ 1.033%, 桂东南地区青蒿素含量的变化范围是 0.328% ~ 0.682%。海拔高度对北部山区青蒿素含量变化的影响不明显, 但由图 3 可以看出桂北山地青蒿素含量均在 0.5% 以上。可以预测在桂北山地海拔高度 250m 左右的区域, 均可以获得有价值的青蒿原料。

由模型 Y_2 可知: 桂西南海拔较低的区域內青蒿素含量较高, 受海拔高度的影响, 分布于 400m (为方便使用和记忆取 397 取为 400) 以上区域內的青蒿, 青蒿中青蒿素含量降低于工业提取最低要求 0.5%, 已经不具备工业提取价值。由模型 Y_3 可知: 桂东南海拔较低的区域內青蒿素含量较低, 受海拔高度的影响, 分布于 140m (为方便使用和记忆取 137 为 140) 以下区域內的青蒿, 青蒿中青蒿素含量降低于工业提取最低要求 0.5%, 该区域內的青蒿不具备工业提取价值。

综上所述可知: 模型 Y_2 和 Y_3 比模型 Y_1 的更实用, 提示在广西地区, 从小区域出发研究青蒿素含量与地形因子之间的关系, 比从大尺度研究更能揭示青蒿素含量的空间分布特征。桂东南地势平缓区域海拔高度在 140m 以上, 桂西南陡峭山地海拔高度在 400m 以下, 桂北海拔高度在 250m 左右的区域均是青蒿人工种植的适宜区域。

2.5 青蒿人工种植适宜性区划

用 GIS 软件的空间插值功能对采样地的青蒿素含量进行空间插值的结果见图 6, 根据青蒿素含量的高低进行青蒿种植适宜性区划: 青蒿素含量在 (0.76% ~ 0.93%) 的为最适宜区, 主要包括桂东北和西南地区的阳朔、都安、大化、苹果、马山、武鸣、隆安、南宁和崇左等县市。青蒿素含量在 (0.61% ~ 0.76%) 的为较适宜区域。青蒿素含量在 (0.47% ~ 0.61%) 的为适宜区。青蒿素含量在 (0.32% ~ 0.47%) 的为不适宜区, 主要包括北海市、钦州市、贵港市、贺州市、梧州市和岑溪市的部分地区。

广西的平原面积占全区土地总面积的 23.4%, 70% 耕地集中在浔江平原、南流江三角洲、贺江中下游平原、钦江三角洲等桂东、桂东南的平缓区域内。桂东南的郁江平原、浔江平原、南流江三角洲平原是广西稻谷与甘蔗的主产地。沿江和沿河的平缓区域是城市和基础设施的所在地, 该区域内不适宜青蒿的人工种植, 青蒿人工种植并不会占用现有的工业、农业和基础设施用地。因此, 充分利用广西地区的地形优势, 选取适宜的区域进行青蒿的人工种植, 可以获得优质的青蒿原料。

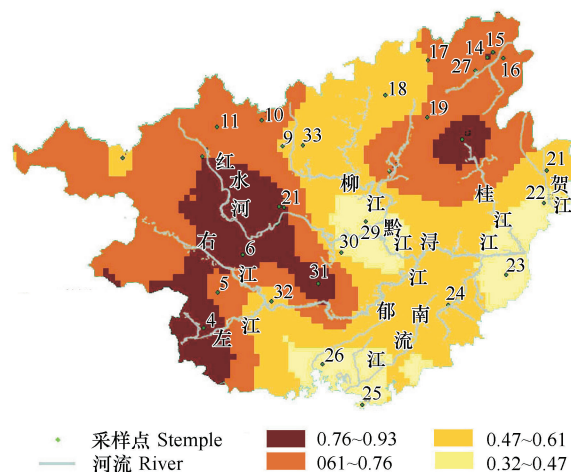


图 6 广西壮族自治区青蒿素含量等级分布图
Fig. 6 Rank distribution map of artemisinin content in Guangxi

3 结论

3.1 青蒿素含量与地形因子之间的关系

青蒿素含量与海拔高度和坡度之间的关系显著,生长在海拔较高、坡度较大的丘陵、山地区域内的青蒿,青蒿素含量高于生长在海拔较低、坡度较小的平原区域。在南部地区海拔高度对青蒿素含量的影响较北部大。北部地区地形复杂“小地形”、“小气候”特征明显,从小尺度范围内研究青蒿的生态适宜性,更能得到较显著的效果。

3.2 广西地区青蒿素含量的空间分布规律

桂西南丘陵、山地区域内的青蒿素含量最高,桂东北山地次之,桂西北云贵高原边缘区域内的较低,桂东南平原地区的最低。垂直方向上分布规律是:丘陵、山区的低海拔区域青蒿素含量最高,青蒿素含量随海拔高度的增加而减少,随坡度的增加而增加。平原地区海拔较高、坡度较大的区域青蒿素含量最高,青蒿素含量随海拔高度和坡度的增加而增加。从小区域出发研究青蒿素含量与地形因子之间的关系,比从大尺度研究更能揭示青蒿素含量的空间分布特征。

3.3 各区域内青蒿种植的适宜海拔高度范围

桂东南平缓区域海拔高度在 140m 以上的区域,桂西南地区海拔高度在 400m 以下的区域,桂北海拔高度在 250m 左右的区域。

3.4 广西青蒿种植适宜区域等级划分

桂西南地势较低的丘陵、山地区域是种植青蒿的最佳区域,桂西北和桂东北山地较适宜,桂东南平原地区海拔较高的区域次之,桂东南平原地区海拔较低的区域和桂西南、桂东北、桂西北海拔较高的山地不适宜青蒿的人工种植。

References:

- [1] People's Republic of China Medical department Pharmacopoeia Committee. People's Republic of China pharmacopoeia. Beijing: People's Medical Publishing House, 1990. 170.
- [2] WHO. UNDP/World Bank/WHO special program for research and training in tropical disease. The role of artemisinin and derivatives in the current treatment of Malaria. Report of an Informal Consultation Convened by WHO in Geneva. 27—29, September, 1993.
- [3] World Health Organization. Guidelines on Good Agriculture and Collection Practices (GACP). 2005, 6.
- [4] Wang S G, Liang Y. The Ecological and Physiological Character of *Artemisia annua* and Its Comprehensive Utilization. Chinese Wild Plant Resources, 2003, 22(4): 47.
- [5] Liu J L, Li D P, Wei X. Determination of artemisinin in *Artemisia annua* with RP-HPLC. Guihaia, 2007, 27(5): 808—810.
- [6] Zhu H Y, Liu S L, Jia S F. Problems of the spatial interpolation of physical geographical elements. Geographical Research, 2004, 24(4): 425—432.
- [7] Zhong G Y, Zhou R H. Quantitative Analysis of *Artemisia annua* L. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 1998, 29(4): 264—267.
- [8] Li F, Wei X, et al. The Investigation on the forms of *Artemisia annua* in Guangxi. Guihaia, 1997, 17(3): 231.
- [9] Ma J H. Modern Physiography. Beijing: Beijing Normal University Publishing House, 2002, 146.

参考文献:

- [1] 中华人民共和国卫生部药典委员会. 中华人民共和国药典. 北京:人民卫生出版社, 1990. 170.
- [3] 世界卫生组织专著. 青蒿种植和采收质量管理规范, 2005, 6.
- [4] 王三根, 梁颖. 中药青蒿的生态生理及其综合利用. 中国野生植物资源, 2003, 22(4): 47.
- [5] 刘金磊, 李典鹏, 韦霄, 等. 黄花蒿中青蒿素含量的 RP-HPLC 法测定. 广西植物, 2007, 27(5): 808~810.
- [6] 朱会义, 述林, 绍凤. 自然地理要素空间插值的几个问题. 地理研究, 2004, 24(4): 425~432.
- [7] 钟国跃, 周华蓉, 凌云, 等. 黄花蒿优质种质资源的研究. 中草药, 1998, 29(4): 264~267.
- [8] 李锋, 韦霄, 许成琼, 等. 广西黄花蒿类型调查研究. 广西植物, 1997, 17(3): 231.
- [9] 马建华. 现代自然地理学. 北京: 北京师范大学出版社, 2002. 146.