

我国黄花蒿中青蒿素含量的气候适宜性等级划分

张小波, 郭兰萍, 黄璐琦*

(中国中医科学院中药研究所, 北京 100700)

摘要: 针对黄花蒿种植中适生地选择的迫切要求, 本文通过实地调查和查阅文献, 获得全国各地青蒿素的含量数据。应用统计分析方法研究青蒿素含量与气候因子和地理分布之间的关系, 应用 ArcGIS 软件的空间计算方法进行青蒿素含量的气候适宜性等级划分。结果显示: ① 青蒿素含量在我国各地差异较大, 青蒿素含量纬向变异明显, 北部高纬度地区青蒿素含量较低, 南部青蒿素含量较高。北纬 34 度以南, 东经 (100~120°E) 之间地区适宜黄花蒿的生长, 青蒿素含量相对较高。北纬 34 度以北高纬度地区不适宜黄花蒿的生长, 而且青蒿素含量低于 0.2%。② 在我国, 亚热带湿润气候区最适宜黄花蒿的生长, 而且青蒿素含量平均值大于 0.5%。③ 温度、日照时数和降雨量是影响青蒿素含量高低的主要气候因子。最适宜青蒿素积累的气候条件为: 温度 (13.9~22 °C)、日照时数 (853~1 507 h)、降雨量 (814~1 518 mm)。最适宜黄花蒿生长的气候条件为: 温度 (13~29 °C)、降雨量 (600~1 300 mm)。④ 广西西北部, 四川、贵州、云南东部, 重庆南部和湖南西部的气候条件最适宜黄花蒿的人工种植; 湖北、安徽和江苏的南部地区也有适宜黄花蒿人工种植的气候条件。

关键词: 青蒿素含量; 气候适宜性; 等级划分

中图分类号: R931

文献标识码: A

文章编号: 0513-4870 (2011) 04-0472-07

Climate suitable rank distribution of artemisinin content of *artemisia annua* in China

ZHANG Xiao-bo, GUO Lan-ping, HUANG Lu-qi*

(Institute of Chinese Material Medical, China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing 100700, China)

Abstract: At the urgent request of *Artemisia annua* (ART) planting, the paper gets artemisinin content (ARTC) of ART in China from literatures. The paper analyses the relationships between ARTC and ecological factors by statistical analytical methods. The paper also analyses the climate suitable rank distribution of ARTC in China by ArcGIS. The results display that first, ARTC is significantly different in China, that ART from the south regions ARTC is higher. Greatest north parts of China have not suitable climate for the growing of ART and the ARTC is lower than 0.2%, when ART grows above the 34th degree of northern latitude. ARTC is higher and ART grows well, when ART grows under the 34°N and grows at the areas between 100°E and 120°E. Second, subtropical zone is the best suitable climate zone for the growing of ART. ART grows well and ARTC is higher than 0.5%, when ART grows in the subtropical zone. Third, temperature, sunshine duration and rainfall are the main ecological factors that affect the growth of ART and the accumulation of ARTC. That the year temperature between 13.9 °C and 22 °C, sunshine duration between 853 h and 1 507 h, rainfall between 814 mm and 1 518 mm, is the best climate for the accumulation of ARTC. Temperature between 13 °C and 29 °C, rainfall between 600 mm and 1 300 mm is the best climate for the growth of ART. Fourth, in northwest

收稿日期: 2010-11-26.

基金项目: 国家“重大新药创制”科技重大专项 (2009ZX09502-026、2009ZX09301-005、2009ZX09308-002); 国家自然科学基金资助项目 (81072989); 国家中医药管理局行业科研专项 (201107009); 贵州省中药现代化科技产业研究开发专项 (黔科合社字 20095029); 中国中医科学院自主选题研究项目课题 (ZZ20090302, ZZ20090214); 云南省科技计划项目 (2008IF025-4).

*通讯作者 Tel: 86-10-64014411-2955, Fax: 86-10-64011944, E-mail: huangluqi@263.net

of Guangxi, eastern of Sichuan, Guizhou and Yunnan provinces, south Chongqing and west Hunan Province, there are suitable climate for the growth of *Artemisia* and for the accumulating of ARTC. There are also some suitable climate areas for the growing of *artemisia* in the south of Hubei, Anhui and Jiangsu provinces.

Key words: artemisinin content; suitable climate; rank distributing

随着全球气候变暖, 炎热高温使疟疾在热带地区大面积流行, 由于抗疟药物的短缺每年有近百万人死于疟疾^[1]。WHO 称青蒿素为“目前世界上唯一有效的疟疾治疗药物”^[2]。青蒿素主要来自菊科艾属一年生草本植物黄花蒿 (*Artemisia annua* L.) 的干燥地上部分^[3]。黄花蒿为广布种, 我国各地均有分布, 但是不同地区产的青蒿, 其青蒿素含量差异较大。在亚热带地区青蒿素含量在 0.4%~0.7% 之间^[4], 在温带和寒带地区青蒿中青蒿素含量都很低 (小于 0.1%)^[5]。选取适宜的区域种植黄花蒿是提高青蒿素产量的有效途径。本课题组曾从地形、气候条件等^[6, 7]方面进行了广西地区黄花蒿人工种植适宜性分析, 明确了广西地区青蒿素含量高低与生态环境之间的关系, 为广西黄花蒿种植基地的选取提供了依据。但在全国范围内如何科学的选取适宜的区域进行黄花蒿的人工种植, 为工业提取青蒿素提供有价值的工业原料, 尚属有待于进一步研究的科学问题。因此, 本研究在小区域黄花蒿种植适宜性等级划分研究的基础上, 进行我国黄花蒿中青蒿素含量的气候适宜性等级划分研究, 以期从气候条件方面为我国黄花蒿人工种植基地的选取提供科学依据。

材料与方法

研究区域自然环境概况 中国南部广大地区, 东南濒临太平洋, 西南与南亚次大陆接壤, 由于受季风影响, 降水以季风雨为主, 降水的地区分布不均匀, 东部近海多雨, 西部干旱少雨。年降水量一般在 1 000 mm 以上, 主要集中在夏季, 冬季较少。区域内 1 月平均气温高于 0℃, 7 月平均气温在 25℃左右。由于气温与降水的不同组合, 致使不同地区的气候条件多种多样。地势由东向西逐渐升高, 地貌类型复杂多样, 构成了多种多样的垂直分布生态环境类型。区域内特殊的气候条件为黄花蒿的生长提供了有利的条件。

青蒿素含量数据 通过查阅文献和实地调查, 共获得 13 个省 202 个采样点青蒿中青蒿素含量数据。其中通过实地调查获取广西壮族自治区 24 个县 31 个采样点的青蒿素含量数据。通过查阅文献, 共

获取 13 个省 108 个县 171 个采样点的青蒿素含量数据^[4-15]。本文所采用的青蒿素含量数据 (文献) 遵循: 原植物为黄花蒿 (*Artemisia annua* L.), 数据已公开发表, 采集时间在 7~9 月之间, 青蒿素含量测定部位为叶的原则。

气候数据 通过国家气象局气象数据库查询得到全国 740 个气象站点 30 年 (1971~2001 年) 共 75 个气象指标的均值数据, 包括年和月的气温、相对湿度、风速、降水量、日照时数的平均值、最高值、最低值, 共 195 个气象指标, 以及气象站的经纬度坐标、海拔高度等数据。

青蒿素含量与自然生态环境之间的关系分析 应用 Excel 的散点图和 SPSS13.0 统计软件的相关性分析方法, 对 202 个采样点的青蒿素含量与经度、纬度之间的关系进行分析; 以省为单位, 对采样点的青蒿素含量进行分组, 应用方差分析, 研究各省青蒿素含量的差异性。应用 SPSS13.0 统计软件的相关性分析方法, 对 202 个采样点的青蒿素含量与气象因子之间的相关性进行分析; 应用逐步回归分析方法, 筛选影响青蒿素含量的气象主导因子, 并构建青蒿素含量与气象因子的关系模型。

青蒿生长适宜性等级划分 以 *Artemisia annua* 为检索词, 在联合国粮农组织 Ecocrop 数据库内查询, 获取适宜青蒿生长的气候特征。应用 ArcGIS 的空间插值方法, 对全国 740 个气象站的气象数据进行空间插值。在此基础上, 应用栅格计算方法, 依据适宜青蒿生长的气候特征, 进行单因素气候适宜性区划。再应用空间叠加方法, 将单因素区划结果叠加, 进行综合因素的气候适宜性等级区划。

青蒿素积累气候适宜性等级划分 根据气温、相对湿度、风速、降水量、日照时数的年平均值、最高值、最低值, 共 15 个气象指标, 应用主成分分析方法, 计算 740 个气象站点的主成分值。以野生采样点的青蒿素含量为基础, 依据每个县有 4 个以上的采样点, 其中至少有 1 个采样点的含量大于 1%, 而且区域内青蒿素含量平均值大于 0.8% 的原则, 选取青蒿素含量最高的区域, 并提取其气候特征, 作为最适宜青蒿素积累的气候特征。应用 ArcGIS 对 740 个气象站点

的气温、相对湿度、风速、降水量、日照时数的年平均值、最高值、最低值,共 15 个气象指标的标准化数据进行空间插值,由气象站点的点状数据生成全国的面状数据。以青蒿素含量最高的区域的气候特征值(主成分值)为基准,计算全国各地与其气候特征值的相似度,根据相似度进行青蒿适宜性等级划分。

青蒿人工种植气候适宜性等级划分 根据青蒿素含量与气象因子的关系模型,应用 ArcGIS 空间分析方法,估算全国各地青蒿含量,并根据青蒿素含量高低进行等级划分。根据青蒿生长气候适宜性等级划分结果、青蒿素积累的气候适宜性等级划分结果和青蒿素含量等级划分结果,应用 ArcGIS 空间叠加方法,综合考虑三方面的因素进行我国青蒿人工种植的气候适宜性等级划分。

结果

1 全国各地青蒿中青蒿素含量

通过查阅文献和实地调查,收集得到全国 202 个野生采样点青蒿中的青蒿素含量数据。各采样点的地理分布,如图 1 所示。

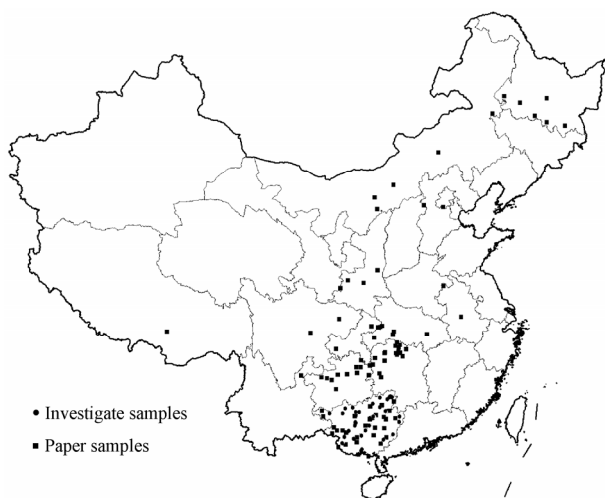


Figure 1 Distribution map of *Artemisia* samples in China

以县为单位计算 202 个野生采样点青蒿中的青蒿素含量,结果见表 1。通过对野生采样点青蒿中青蒿素含量的分析,结果显示:我国各地青蒿素含量差异较大,最低为 0.02%,最高可达 1.09%。青蒿素含量高于 1% 的采样点多分布于南部低纬度地区,青蒿素含量低于 0.1% 的样点多分布于北部高纬度地区。

2 青蒿中青蒿素含量的地理变异

通过散点图对野生青蒿中青蒿素含量与经度和纬度之间的关系进行分析,结果显示:采样点南北跨

越 25.78° (21.45~47.23°N),东西跨越 37.6° (91.76~129.36°E)。在北纬 34 度以北区域内野生青蒿中青蒿素含量均低于 0.2%,见图 2;东经 120°以东区域内的青蒿素含量均低于 0.2%,见图 3。

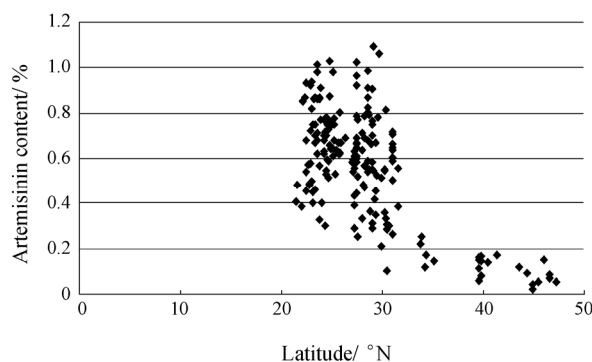


Figure 2 Scatter diagram between artemisinin content and latitude

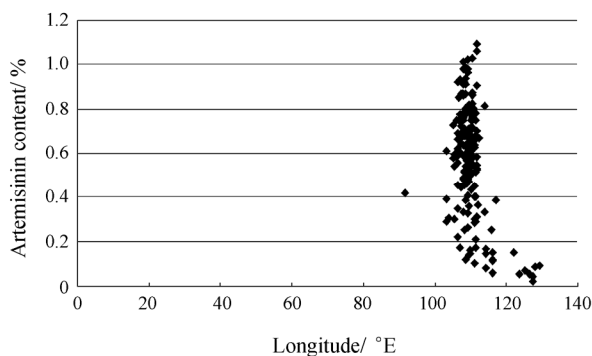


Figure 3 Scatter diagram between artemisinin content and longitude

通过对青蒿素含量与经度和纬度进行相关性分析,结果显示:青蒿素含量与经度和纬度均显著负相关 ($P = 0.000$),青蒿素含量与纬度的相关系数为 -0.668 ,与经度的相关系数为 -0.404 。通过对采样点所在的地理位置进行分析,结果显示:东经 120 度以东的采样点均分布于黑龙江境内,提示青蒿素含量较低可能是受纬度的影响,说明野生青蒿中青蒿素含量纬向变异明显,经向变异不明显;青蒿素含量高于 0.5% 的采样点,主要集中在 (22~34°N, 100~120°E) 之间的区域,该区域位于亚热带季风气候区,说明在我国亚热带地区野生青蒿中青蒿素含量较高。

对 202 个野生采样点青蒿素含量进行正态性检验结果显示:Shapiro-Wilk 统计量 = 0.937, $P = 0.638 > 0.05$,说明 202 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。

以省为单位对 202 个野生采样点进行分组,计算

Table 1 Artemisinin content of *Artemisia* in different areas

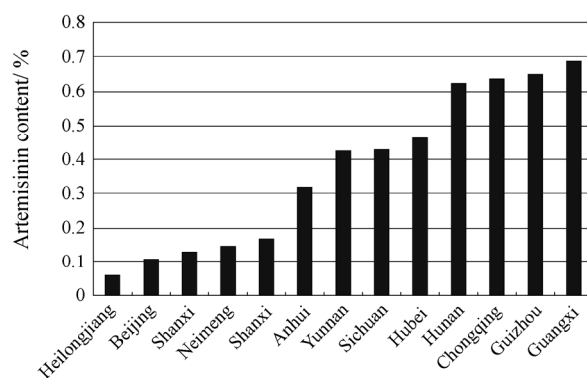
Province	County	Content/%	N	Province	County	Content/%	N	Province	County	Content/%	N
Guangxi	Baise	0.69	2	Guangxi	Luzhai	0.7	1	Guizhou	Tongren	0.8	5
	Beihai	0.41	1		Mengshan	0.62	1		Sinan	0.51	3
	Binyang	0.58	2		Nanning	0.69	2		Dejiang	0.49	2
	Cenxi	0.43	2		Pingguo	0.86	3		Bijie	0.58	1
	Chongzuo	0.89	3		Pingnan	0.86	1		Yinjiang	0.72	1
	Dahua	0.87	2		Pingxiang	0.85	1		Meitan	0.6	4
	Daxin	0.72	1		Qinzhou	0.43	2		Zunyi	0.73	3
	Duan	0.88	5		Wuxuan	0.68	1		Songtao	0.48	1
	Fengshan	0.78	1		Xing'an	0.65	2		Defang	0.57	2
	Fusui	0.48	2		Yangshuo	0.85	4		Qianxi	0.59	1
	Gongcheng	0.66	1		Yizhou	0.51	1		Guiyang	0.69	1
	Guanyang	0.64	1		Yongfu	0.64	1	Anhui	Hefei	0.39	1
	Guigang	0.66	2		Yulin	0.56	2		Bozhou	0.25	1
	Guilin	0.74	3	Hunan	Huarong	0.67	1	Chongqing	Youyang	0.8	6
	Hechi	0.71	3		Zhangjiajie	0.62	3		Chongqing	0.4	2
	Heshan	0.57	1		Baojing	0.67	2	Hubei	Fengjie	0.52	3
	Hexian	0.68	2		Qianyang	0.54	3		Wushan	0.63	3
	Hezhou	0.54	2		Taoyuan	1.09	1		qianjiang	0.68	2
	Jinchengshan	0.76	2		Changde	0.57	5		Enshi	0.48	3
	Jingxi	0.75	1		Dingcheng	0.7	1		Yichang	0.23	3
	Laibin	0.32	1		Hanshou	0.36	1		Badong	0.61	3
	Lipu	0.72	1		Huxi	0.71	2		Wuhan	0.57	2
	Lingui	0.68	1		Huaihua	0.52	1	Shan'xi	Fengxian	0.22	2
	Liuzhou	0.66	6		Jishou	0.63	4		Weibin	0.17	2
	Longlin	0.73	1		Lixian	0.6	3	Sichang	Pucheng	0.14	2
	Longsheng	0.62	1		Linli	0.52	1		Xi'an	0.12	1
	luchang	0.3	1		Shien	0.78	1	Neimenggu	Bazhong	0.56	1
	Quanzhou	0.7	3		Taoyuan	0.66	1		Chengdu	0.3	1
	Rong'an	0.77	4	Heilongjiang	Qiqihaer	0.05	1	Beijing	Bameng	0.17	1
	Rongxian	0.58	1		Daqing	0.07	1		Eerduosi	0.16	1
	Shanglin	0.68	1		Mudanjiang	0.09	1		Wulanhaote	0.15	1
	Tian'e	0.69	2		Tieli	0.08	1		Baotou	0.14	1
	Tiandong	0.67	1		Wuchang	0.03	2		Xilinhaote	0.12	1
	Tianlin	0.59	1		Haerbin	0.05	1		Beijing	0.11	3
	Wuzhou	0.4	1	Shanxi	Yixing	0.08	1	Xizang	Shannan	0.42	1
	Wuming	0.92	1		Guangling	0.16	2		Shaotong	0.43	3
								Yunnan			

各省青蒿素含量, 结果见图 4。通过方差分析对 13 个省野生青蒿中青蒿素含量的差异性进行分析, 结果显示: $F = 20.473 > F(1, 13) = 11.38$, $P = 0.000 < 0.05$, 说明 13 个省野生青蒿中青蒿素含量差异性显著 ($P < 0.01$), 处于亚热带季风气候区的广西、贵州、重庆和湖南等省野生青蒿中青蒿素的平均含量均高于 0.6%, 34°N 以北各省青蒿素含量均低于 0.2%。计算结果与通常所认识的情况相一致。

3 青蒿中青蒿素含量与气候的关系

通过对 202 个野生青蒿采样点的青蒿素含量与其所在地的气象因子的相关性分析, 结果显示: 青蒿素含量与温度、降雨量、相对湿度的年和月均值、最大值、最小值均显著正相关 ($P < 0.01$), 与风速和日照

时数的年和月均值、最大值、最小值均显著负相关 ($P < 0.01$)。说明在我国青蒿生长在温度高、降雨量大、

**Figure 4** Artemisinin content of *Artemisia* in 13 provinces

相对湿度较高的区域, 青蒿中青蒿素含量较高; 青蒿生长在日照时间较长、风速较高的区域, 青蒿中青蒿素含量较低。提示: 我国温暖湿润地区的青蒿素含量较高, 寒冷干旱地区的青蒿素含量较低。

用 SPSS13.0 统计软件对青蒿素含量与气象因子的年均值进行逐步回归分析, 得到青蒿素含量和气象因子的关系模型为: $Y_1 = 0.436 + 0.00127X_1 + 0.00019X_2 - 0.000213X_3$ (Y_1 : 青蒿素含量, X_1 : 年均温度, X_2 : 年均降雨量, X_3 : 年均日照时数)。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。

对回归方程中的气象因子数据进行 0-1 标准化处理后, 对回归方程进行修正, 得到: $Y_2 = 0.318 + 0.294X_1 + 0.272X_2 - 0.377X_3$ (Y_2 : 青蒿素含量, X_1 : 年均温度, X_2 : 年均降雨量, X_3 : 年均日照时数)。由模型 Y_2 可知年均日照时数对青蒿素含量的影响最大, 年均温度和降雨量次之。

4 青蒿中青蒿素含量的气候适宜性等级划分

4.1 青蒿生长的气候适宜性等级划分 以 *Artemisia annua* 为检索词, 通过 Ecocrop 数据库, 查询得到最适宜青蒿生长的气候条件为: 温度 (13~29 °C)、降雨量 (600~1 300 mm); 适宜青蒿生长的气候条件为: 温度 (10~35 °C)、降雨量 (300~1 500 mm); 适宜的海拔为 (0~3 600 m); 气候类型为热带干湿气候、亚热带湿润气候、温带大陆性气候。

应用 ArcGIS 软件, 以温度 (13~29 °C)、降雨量 (600~1 300 mm) 为最适宜区; 温度 (10~13 °C) 和 (29~35 °C), 降雨量 (300~600 mm) 和 (1 300~1 500 mm) 为适宜区; 温度小于 10 °C 或者大于 29 °C、降雨量小于 300 mm 或者大于 1 500 mm 为不适宜区, 进行我国青蒿生长的气候适宜性等级划分, 结果见图 5。从图 5 可知: 北纬 34° (34°N) 以南、东经 120° (120°E) 以西、东经 100° (100°E) 以东的区域为青蒿生长的最适宜区域。可知在我国青蒿生长的最适宜气候类型为亚热带湿润气候。

4.2 青蒿素积累的气候适宜性等级划分 根据每个县有 4 个以上的采样点, 其中至少有 1 个采样点的青

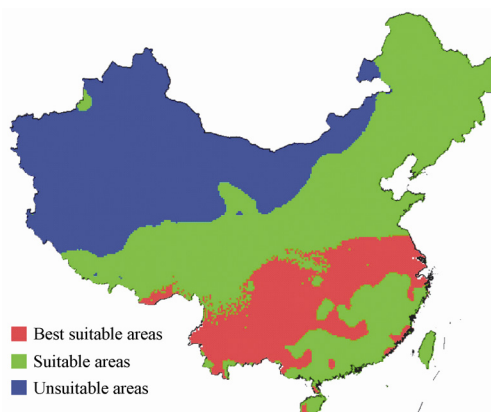


Figure 5 Suitable rank distribution map of *Artemisia* growing in China

蒿素含量大于 1%, 而且区域内青蒿素含量平均值大于 0.8% 的原则, 筛选得到酉阳、都安、铜仁为适宜青蒿素积累的最佳区域。通过提取得到 3 个最佳区域的气候特征值, 结果见表 2。

以酉阳、都安、铜仁的气候特征为基准, 分别计算全国各地气候特征主成分值与 3 个最佳区域气候特征的相似度。应用 ArcGIS 软件, 将 3 个气候适宜性等级划分结果进行叠加, 得到青蒿素含量积累的气候适宜性等级划分结果, 结果见图 6。

4.3 青蒿人工种植的气候适宜性等级划分 应用 ArcGIS 软件的空间计算功能, 以全国 740 个气象站的气象数据为基础, 根据青蒿素含量和气象因子的关系模型, 计算得到全国各地青蒿素含量, 结果见图 7。

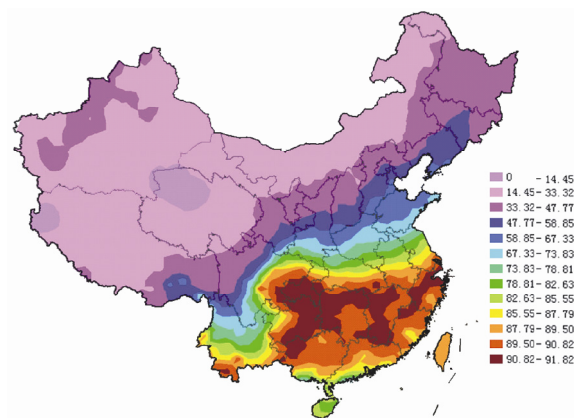


Figure 6 Rank distribution map of climate feature similarity

Table 2 Climate feature of highest artemisinin content areas. W: Wind speed; T: Temperature; R: Rainfall capacity; S: Sunshine duration; H: Humidity level

County	W	W _{max}	W _{min}	T	T _{max}	T _{min}	R	R _{max}	R _{min}	S	S _{max}	S _{min}	H	H _{max}	H _{min}
Duan	2.3	3.2	1.5	21.3	23.7	18	143.8	345.8	27.7	117.6	194.9	49.5	75	84	63
Youyang	0.8	1.3	0.3	14.8	17	12.5	111	257	29.1	89.7	156.6	30.7	80	85	71
Tongren	0.8	1.3	0.4	17	19.3	14.6	105.5	231.3	20.5	94.3	159.3	36.5	77	84	68

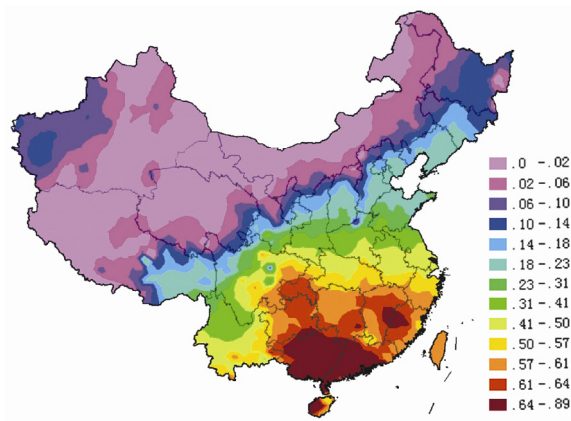


Figure 7 Suitable rank distribution map of artemisinin content

由于青蒿的人工种植是以获取青蒿素为主要目的，青蒿人工种植的气候适宜性等级划分，不但要考虑青蒿生长和青蒿素积累的气候适宜性，还要考虑青蒿素含量的高低。因此，依据青蒿人工种植气候适宜性区划指标等级划分标准，见表3，应用 ArcGIS 软件，将青蒿生长、青蒿素积累的气候适宜性等级划分结果和青蒿素含量等级划分结果进行空间叠加，进行我国青蒿人工种植的气候适宜性等级划分，结果见图8。可知广西西北部，四川、贵州、云南东部，重庆南部和湖南西部的气候条件最适宜青蒿的人工种植；湖北、安徽和江苏的南部地区也有适宜青蒿素积累的气候条件。

Table 3 Climate suitable rank distribution index of *Artemisia* planting in China

Suitable rank of artemisinin accumulating	Artemisinin content/%	Suitable rank of <i>Artemisia</i> growing	Climate feature similarity/%
Best suitable	>0.6	Best suitable	>90
Better suitable	(0.5-0.6]	Better suitable	(80-90]
Suitable	[0.2-0.5]	Suitable	[70-80]
Unsuitable	[0-0.2)	Unsuitable	[0-70)

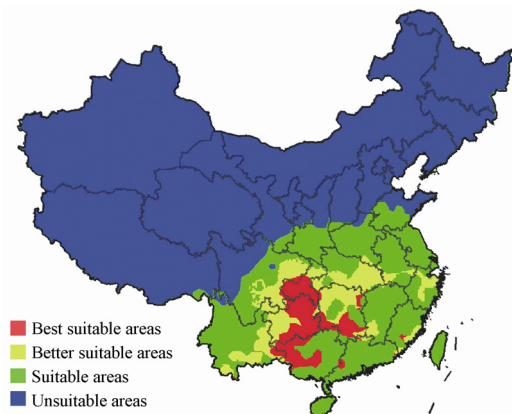


Figure 8 Climate suitable rank distribution of *Artemisia* planting

4.4 各区气候特征 以全国 740 个气象站的气象数据为基础，根据青蒿人工种植的气候适宜性等级划分结果，提取青蒿人工种植最适宜区域的气候特征值，结果见表4。

Table 4 Climate feature of best suitable areas of *Artemisia* planting

Value	Wind speed /m·s ⁻¹	Temperature /℃	Rainfall capacity /mm	Sunshine duration /h	Humidity level /%
Mean	1.49	18.05	1 085.07	1 096.71	79.04
Minimum	0.7	13.9	814.00	853.00	75.00
Maximum	2.6	22.0	1 618.00	1 507.00	83.00

讨论

青蒿中青蒿素含量与青蒿所生长的地理位置的关系 我国各地青蒿素含量差异较大，在我国北部青蒿中青蒿素含量较低，南部青蒿中青蒿素含量较高。通过研究发现：① 在我国，青蒿素含量纬向变异明显，北纬 34 度以南低纬度地区适宜青蒿的生长，而且青蒿中青蒿素含量相对较高，青蒿素平均含量高于 0.2%；北纬 34 度以北高纬度地区不适宜青蒿的生长，区域内青蒿中青蒿素含量相对较低，青蒿素平均含量低于 0.2%。② 北纬 34 度以南，东经 (100~120°E) 之间的区域适宜青蒿的生长，区域内青蒿中青蒿素含量相对较高；东经 100 度以西和东经 120 度以东区域不适宜青蒿的生长，区域内青蒿中青蒿素含量相对较低。即使通过人工改造药材原植物的生长环境，区域内所产青蒿中青蒿素含量依然较低，达不到工业生产对青蒿素含量的最低要求。

青蒿中青蒿素含量与气候条件的关系 我国的季风气候十分显著，主要气候类型包括：热带季风气候、亚热带季风气候、温带季风气候、高原山地气候和温带大陆性气候 5 种气候类型。通过研究结果显示：① 在我国亚热带季风气候区温暖湿润，区域内气候条件适宜青蒿的生长，而且青蒿中青蒿素含量相对较高，青蒿素含量平均值大于 0.5%。在我国区域内温暖湿润的气候条件适宜青蒿的生长，也有助于青蒿中青蒿素含量的积累。② 热带季风气候区终年高温多雨，相关研究结果表明，7~9 月份区域内温度过高不利于青蒿中青蒿素含量积累^[8]。我国的海南岛，以及台湾、广东、广西和云南四省的南部地区均处于热带季风气候区，该区域只有在海拔较高的地方，区域内气候条件才有利于青蒿中青蒿素含量积累^[7]。③ 青蒿素含量与温度、降雨量、相对湿度的

年和月均值显著正相关;青蒿素含量与风速和日照时数的年和月均值显著负相关,温带季风气候、高原山地气候和温带大陆性气候区,区域内寒冷干旱、降雨量较少、日照时数较长。④ 最适宜青蒿素积累的气候条件为:温度 (13.9~22 °C)、降雨量 (814~1 518 mm)、日照时数 (853~1 507 h)、相对湿度 (75%~83%)。最适宜青蒿生长的气候条件为:温度 (13~29 °C)、降雨量 (600~1 300 mm)。

青蒿种植气候适宜性等级划分 通过研究:① 在我国西北部广大地区不适宜青蒿的生长,区域内气候条件也不适宜青蒿中青蒿素的积累,青蒿中的青蒿素含量较低,区域内不适宜青蒿的人工种植。② 在我国东南部距离海洋较远的地区适宜青蒿的生长,青蒿中的青蒿素含量较高,区域内气候条件适宜青蒿的人工种植。广西西北部,重庆南部,四川、贵州、云南东部,湖南西部的部分地区气候条件最适宜青蒿的人工种植;湖北、安徽和江苏的南部地区也有适宜青蒿素积累的气候条件。③ 在我国东南沿海距离海洋较近的地区不适宜青蒿的生长,而且青蒿中的青蒿素含量较低,区域内气候条件不适宜青蒿的人工种植。

因此,全国各地有青蒿分布的区域,并一定都适宜青蒿的人工种植。要进行青蒿的人工种植,首先需要进行生态适宜性研究;以生态适宜性等级划分结果为指导,进行青蒿人工种植才能获取有价值的工业原料。区划等级划分标准是影响区划结果的重要因素。要提高区划的精度,需要综合考虑区域间气候条件的相似性、药材的质量(青蒿素含量)等多方面的综合因素。进行以质量为基础的青蒿种植的气候适宜性等级划分,比单独应用气候相似度为指标的区划结果,能更准确的指导青蒿人工种植基地的选取。

References

- [1] World Health Organization. Guidelines on Good Agriculture and Collection Practices (GACP) [C]. 2005, 6.
- [2] Yu JP. The artemisinin industries in China encounters crisis [J]. Med Ind Inf, 2006, 4: 34–35.
- [3] People's Republic of China Medical Department Pharmacopoeia Committee. Pharmacopoeia the People's Republic of China

(中华人民共和国药典) [M]. Beijing: China Medicopharmaceutical Science & Technology Publishing House, 2010: 184.

- [4] Zhong GY, Zhou RH. Quantitative analysis of *Artemisia annua* L. [J]. Chin Tradit Herb Drugs (中草药), 1998, 29: 264–267.
- [5] Li F, Wei X, Xu CQ, et al. The investigation on the forms of *Artemisia annua* L. in Guangxi [J]. Guihaia 1997, 17: 231.
- [6] Zhang XB, Wang LH, Guo LP, et al. Analysis of the effect of topographical conditions on the artemisinin content in sweet wormwood herb in Guangxi [J]. Acta Ecol Sin (生态学报), 2009, 29: 25.
- [7] Zhang XB, Guo LP, Wei X, et al. Study on climate suitability rank regionalization of *Artemisia annua* L. in Guangxi [J]. China J Chin Mater Med (中国中药杂志), 2008, 33: 1794.
- [8] Li JH, Zhang HL, Li XL, et al. Determination of artemisinin content in various counties of Inner Mongolia by SFE-HPLC [J]. J Chin Med Mater (中药材), 2000, 23: 756–759.
- [9] Li DP, Liang XY, Chen XZ, et al. Determination of artemisinin content in *Artemisia annua* L. in various counties, Guangxi by TLC-UV spectrophotometry [J]. Guihaia, 1995, 15: 254–255.
- [10] Zhang XB, Guo LP, Wei X, et al. Study on planting suitability regionalization of *Artemisia annua* L. in Guangxi [J]. Resour Sci (资源科学), 2008, 30: 759–765.
- [11] Zhang JQ, Chen Q, Liu ZH, et al. Determination of artemisinin content in *Artemisia annua* L. [J]. Shaanxi Chem Ind (陕西化工), 1996, (3): 34–35.
- [12] Zhou YD, Zhao M, Zhang RM, et al. Biomass and artemisinin content of wild *Artemisia annua* L. in Heilongjiang [J]. J Northeast Forestry Univ (东北林业大学学报), 2009, 5: 71–72.
- [13] Zhou XX, Zheng WX, Ge FH. Determination of artemisinin in *Artemisia annua* L. by HPLC-ELSD [J]. J Chin Med Mater (中药材), 2006, 29: 242–246.
- [14] Fan ZT, Ma XJ, Feng SX, et al. Inspection on result of artemisinin content rank distribution in Guangxi [J]. China J Chin Mater Med (中国中药杂志), 2009, 34: 269–252.
- [15] Zhang D, Yang L, Yang LX, et al. Determination of artemisinin, arteannuin B and artemisinic acid in *Herba Artemisiae Annuae* by HPLC-UV-ELSD [J]. Acta Pharm Sin (药学报), 2007, 42: 978–981.