

# 河南省沁阳市气候变化特征及其对怀药的影响研究\*

任爱华<sup>1</sup>, 李亚飞<sup>2,3</sup>, 陶 贞<sup>2</sup>, 张乾柱<sup>2</sup>, 徐 鹏<sup>2</sup>, 杨 冰<sup>2</sup>

(1. 河南省沁阳市气象局, 河南 沁阳 454550;

2. 中山大学地理科学与规划学院//广东省城市化与地理环境空间模拟重点实验室, 广东 广州 510275;

3. 中国科学院地理科学与资源研究所陆地水循环重点实验室, 北京 100101)

**摘要:** 根据河南省沁阳市 1971-2013 年日照时数、气温和降水资料, 采用滑动平均、Mann-Kendall 突变分析和多元回归分析, 探讨沁阳市气候变化特征及其与怀药生长和产量的关系。结果表明: 沁阳市冬季和春季平均气温升温率分别为 0.4 °C/10a 和 0.5 °C/10a, 怀药生长期平均气温变化趋势为 0.3 °C/10a;  $\geq 10$  °C 活动积温呈显著增加趋势 ( $P < 0.05$ ) 且持续时间延长; 年降水量呈现不明显的下降趋势, 降水季节分布与怀药不同生长期“少-多-少”的需水过程一致; 强降水事件的减少有利于降低蓄根类怀药根(茎)腐烂的风险; 气候变暖有利于怀药品质和产量的提高; 在怀药全生长期, 气温和降水的同期协调作用显著影响怀药的产量 ( $P < 0.05$ )。研究结果可为气候变化背景下怀药生产区采取科学的生产管理措施提供依据。

**关键词:** 气候变化; 怀药; 对策; 道地产区

中图分类号: S162 文献标志码: A 文章编号: 0529-6579(2016)05-0119-08

## The influence of climate change on the Huai medicine growth and production

REN Aihua<sup>1</sup>, LI Yafei<sup>2,3</sup>, TAO Zhen<sup>2</sup>, ZHANG Qianzhu<sup>2</sup>, XU Peng<sup>2</sup>, YANG Bing<sup>2</sup>

(1. The Meteorological Bureau of Qinyang County, Qinyang 454550, China;

2. Geography and Planning School//Guangdong Provincial Key Laboratory for Urbanization and Geo-simulation, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;

3. Key Lab of Water Cycle, Institute of Geographic Sciences & Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

**Abstract:** On the basis of the meteorological database including monthly cumulative sunshine hours, temperature and precipitation (1971-2013) from Qinyang Meteorological Bureau, Henan province, the climatic change characteristics and its effect on the growth and production of the Huai medicine were analyzed by the methods of moving average, M-K mutation test and multiple linear regression. The results showed that the average temperature increased at the average speed of 0.3 °C/10 a in the period of the Huai medicine growth. The average temperature increased 0.4 °C/10 a and 0.5 °C/10 a in winter season and spring season, respectively. Accumulated temperature  $\geq 10$  °C presents significantly increasing trend ( $P < 0.05$ ) and delaying sustained time. The mean annual precipitation decreased slightly. The

\* 收稿日期: 2016-01-22

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41340019); 广东省自然科学基金资助项目(2015A030313070, 2014A030311003)

作者简介: 任爱华(1965年生), 女; 研究方向: 应用气象学; 通讯作者: 陶贞; E-mail: taozhen@mail.sysu.edu.cn

seasonal distribution of precipitation was corresponding to the water requirement of the Huai medicine in different growth processes, and the frequency of strong precipitation has decreased, which resists the decaying roots or tubers to a certain extent. The cooperative function of the atmospheric temperature and precipitation significantly affects the production of the Huai medicine ( $P < 0.05$ ) in the growth period and in the inflated period of roots and/or tubers. The atmospheric temperature change comprised a crucial factor on the Huai medicine production in Qinyang County. To ensure the Huai medicine quality, production and the market demand, the responding measures need to be adopted in the Huai medicine origin region with the global warming.

**Key words:** climate change; Huai medicine; strategies; origin region

气候变化是各国政府和科学界关注的核心问题之一。1911 年以来全球平均气温变化趋势为  $0.73\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{a}$ <sup>[1]</sup>。气候增暖引起的高温、干旱、沙尘暴、洪涝等气象灾害风险进一步加大;同时也改变了农业气候资源(主要包括光资源、热量资源和水资源<sup>[2-4]</sup>)的数量及其配置,直接影响农业种植制度、品种布局、生长发育和产量的形成<sup>[5-8]</sup>。

怀药(又称四大怀药),是指河南省焦作市域所产的怀山药(*Rehmannia glutinosa* (Gaetn.))、怀地黄(*Libosch. ex Fisch. et Mey*)、怀牛膝(*Achyranthes bidentata* Blume)和怀菊花(*Dendranthema morifolium* (Ramat.) Tzvel.)等 4 种中草药,其性味功能在《伤寒论》、《千金要方》、《图经本草》和《本草纲目》等中药典籍中均有精辟论述。怀药作为特殊的经济作物,其产量和品质受自然地理环境的影响。自然地理环境组成要素中气候要素是最活跃的关键要素。怀药的道地性主要源自焦作市道地产区特有的光、热和水资源同期且协调增减的气候特征<sup>[9]</sup>。对“同种异地”的怀山药质量分析表明,道地产区怀山药中多糖含量高于非道地产区<sup>[10]</sup>。怀地黄块根中梓醇的含量与年平均气温、年积温呈显著正相关<sup>[11]</sup>;年日照时数和 10 cm 深土壤温度影响怀菊花的活性成分(黄酮类和绿原酸)含量<sup>[12]</sup>。在全球气候变化背景下,怀药道地产区的日照、气温和降水等气象要素发生变化,这一变化如何影响怀药的生长、品质和产量,迄今未见报道。

为了揭示怀药生长对气候变化的响应,本文依据怀药道地产区中心地(沁阳市)的日照、气温、降水等气象资料,分析日照、气温、降水的变化趋势,探讨沁阳市气象要素变化对怀药品质和产量的影响,为气候变化背景下怀药基地建设和规范化生产提供科学依据。

## 1 研究区概况

沁阳市隶属于河南省焦作市,位于太行山南

麓。地势呈西北高,东南低;地质构造上位于太行山前新华夏系大断裂带与近东西向盘古寺断裂带的复合部位,活动性断裂构造比较发育。沁阳市北部低山、丘陵区主要出露寒武系、奥陶系、石炭系、二叠系地层,岩性以灰岩、砂岩、页岩、泥岩为主;冲积平原区地表岩性为第四系黄土状亚粘土、亚砂土和砂土<sup>[13]</sup>。北部太行山区与山前冲积平原区相对高差 800 m 以上;风化侵蚀切割强烈。

沁阳市属温带大陆性季风气候。多年平均气温  $14.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;7 月份平均气温为  $29.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;1 月份平均气温为  $-2.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。多年平均降水量达 564 mm,且夏季降水量占年降水量的 52.78%;多年平均日照时数为 2 154 h。流经沁阳市域的河流有黄河一级支流—沁河及其支流丹河。沁河干流总长 485 km,落差 1 844 m;多年平均年径流量达 12.78 亿  $\text{m}^3$ <sup>[14]</sup>。沁阳市位于沁河冲积平原中上部,接纳了沁河径流携带太行山区岩溶作用释放的营养元素,形成了较为肥沃的潮土<sup>[15]</sup>,为蓄根类怀药生长提供了特有的土壤条件。

## 2 数据来源和研究方法

气象数据来源于沁阳市气象观测站。该观测站位于沁阳市清平村( $35^{\circ}07\text{ N}$ ,  $112^{\circ}55\text{ E}$ ),海拔高度为 119.6 m;数据包括 1971—2013 年逐月日照时数、平均气温、活动积温和逐日降水量以及 2001—2013 年逐日平均气温;怀山药平均产量(2004—2013 年)数据来自沁阳市农业局。

应用软件 MATLAB13 进行 Mann-Kendall 突变检验分析确定气候突变年<sup>[16-19]</sup>;应用软件 SPSS19.0 进行相关性分析和多元回归分析,量化气象要素与怀药产量的关系。

## 3 结果与分析

### 3.1 气候变化

#### 3.1.1 日照变化 沁阳市怀药生长期(4—10 月)

多年平均日照时数占全年日照时数的 64.47%，6-8 月日照时数占全年日照时数的 28.04%。自 20 世纪 70 年代以来怀药生长期日照时数呈现 -102.03 h/10 a 的减少趋势 ( $P < 0.05$ )，1980 年代

中期日照时数发生突变 (图 1)，2000 年以来怀药生长期日照时数减少趋势显著 ( $P < 0.05$ )。日照时数减少的原因有待进一步探讨。

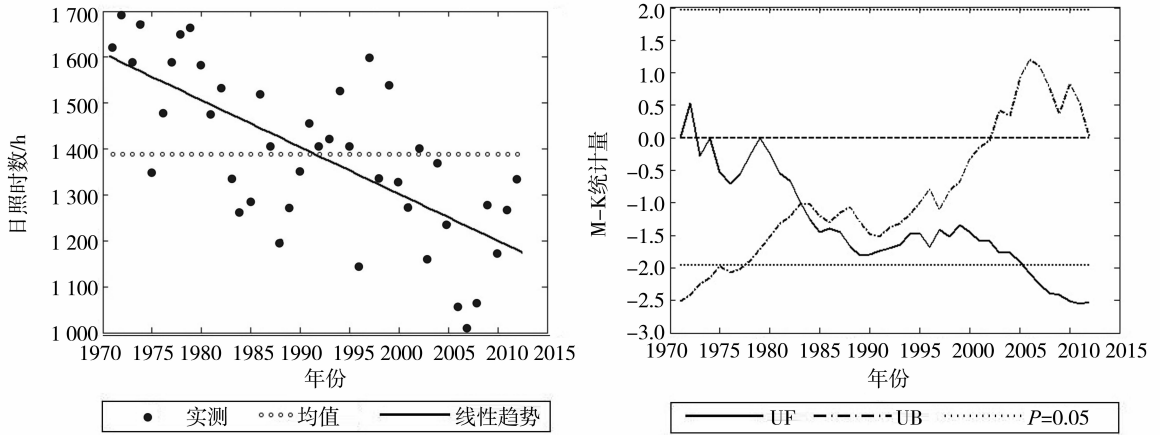


图 1 沁阳市怀药生长期日照时数年际变化及其突变判别

Fig. 1 Annual variation of sunshine hours in the growing period of Huai medicine and the corresponding mutation test in Qinyang County

3.1.2 气温变化 40 多年来，沁阳市年均气温呈显著上升趋势 ( $P < 0.05$ )，而且增温趋势存在季节性差异：冬季多年平均气温为 2.11 °C，平均气温上升速率为 0.4 °C/10 a；春季多年平均气温为 15.39 °C，平均气温增暖趋势为 0.5 °C/10 a。怀药生长期多年平均气温为 22.04 °C，并呈 0.3 °C/10 a 的升温趋势 (图 2)，低于同期华北地区气温变化的平均值<sup>[20]</sup>；1990 年代中期以前，沁阳市怀药生长期、冬季和春季气温滑动平均值均低于同期多年平均值；1990 年代中期以后均高于同期多年平均值，呈持续上升趋势 ( $UF > 0$ )，且春季气温上升幅度最大；2000 年之后沁阳市冬季和怀药生长期平均气温上升趋势更加显著 ( $P < 0.05$ ,  $UF >$  临界线)。沁阳市冬季平均气温于 1980 年代末期发生突变，而怀药生长期和春季平均气温发生突变稍后，于 1995 年附近发生突变。沁阳市气温的这一变化趋势一致于全球和我国其他地方的地表温度变化趋势<sup>[1, 21]</sup>。

比较发现，沁阳市冬季多年平均气温 (2.11 °C) 较同一纬度其他地区偏高 (表 1)，这是由于太行山脉阻挡减弱冬季风影响的结果。

日平均气温稳定通过 10 °C ( $\geq 10$  °C) 的活动积温是表征一个地区热量资源的重要指标，决定着该地区喜温农作物的生长、产量和质量<sup>[22]</sup>。沁阳市 43 a 来  $\geq 10$  °C 积温年平均值为 4 880.99 °C，

高于华北平原的相应值<sup>[21]</sup>，且总体呈逐渐增加趋势 ( $R^2 = 0.58$ , 图 2)。但是存在年代际差异，20 世纪 70-80 年代  $\geq 10$  °C 积温 (分别是 4 717.09 和 4 669.22 °C) 均低于平均值；20 世纪 90 年代  $\geq 10$  °C 积温 (平均为 4 913.58 °C) 开始回升，逐年显著增加 ( $P < 0.05$ ,  $UF > 0$ )，并在 1995 年附近发生突变，1997 年  $UF$  超过临界线。特别是 2000 年以后沁阳市  $\geq 10$  °C 积温迅速增加，平均值达到 5 132.29 °C， $\geq 10$  °C 积温平均增加趋势为 89.94 °C/10 a。沁阳市  $\geq 10$  °C 积温的变化趋势一致于其他地区的相应变化<sup>[22]</sup>。

沁阳市无论是平均气温还是  $\geq 10$  °C 活动积温突变发生的年份均与我国华北其他地区的相应变化年份一致<sup>[2-3, 22]</sup>。

表 1 沁阳市与同纬度其他地区冬季平均气温的比较

Table 1 Average temperatures in winter season over Qinyang and other near latitude regions

地名	地理位置	冬季均温 °C
晋城	35.18° - 36.07°N, 111.88° - 113.62°E	-1.8
运城	34.35° - 35.49°N, 110.15° - 112.04°E	0.2
菏泽	34.65° - 35.87°N, 114.75° - 116.42°E	0.5
济宁	34.43° - 35.95°N, 115.87° - 117.60°E	0.5
沁阳	35.03° - 35.31°N, 112.73° - 113.05°E	2.1

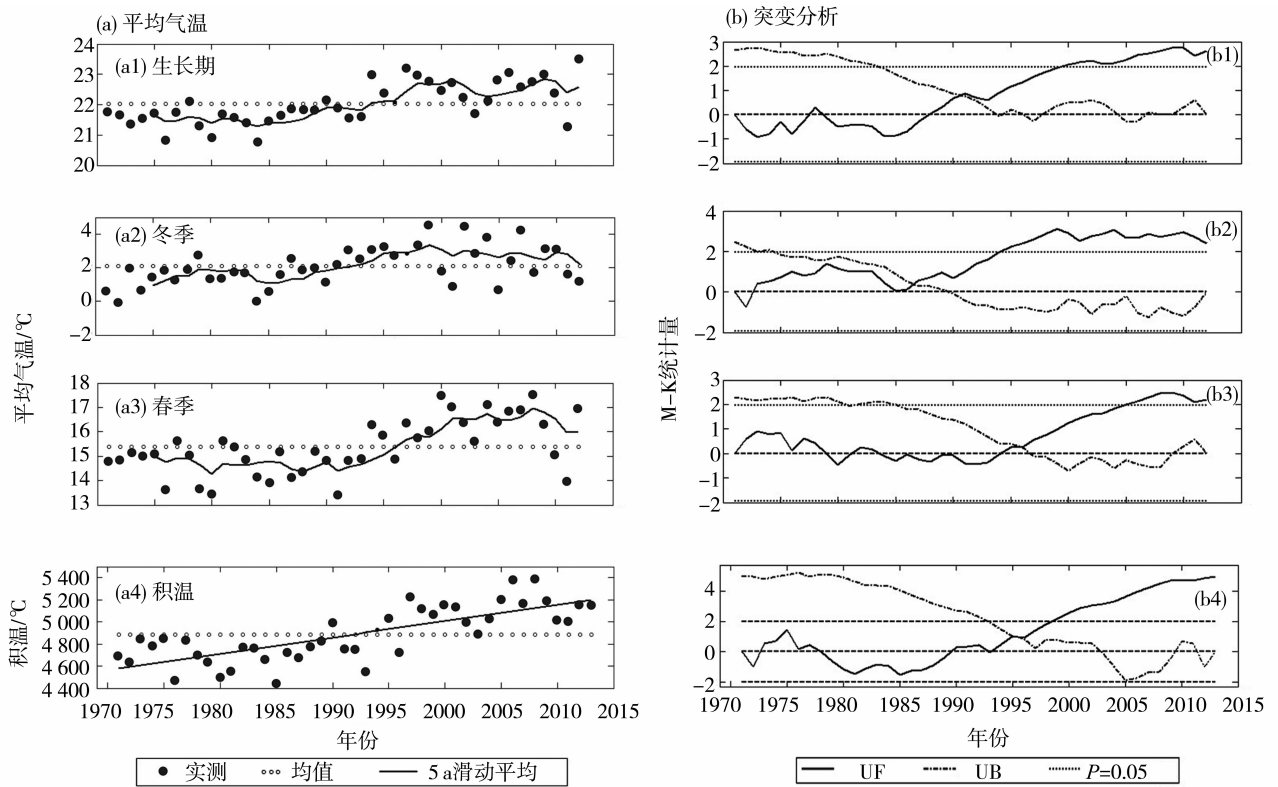


图 2 沁阳市不同时期年平均气温和  $\geq 10^\circ\text{C}$  积温变化及其相应的突变分析

Fig. 2 Variations of the annual average temperature and  $\geq 10^\circ\text{C}$  accumulated temperature and its mutation test in Qinyang County

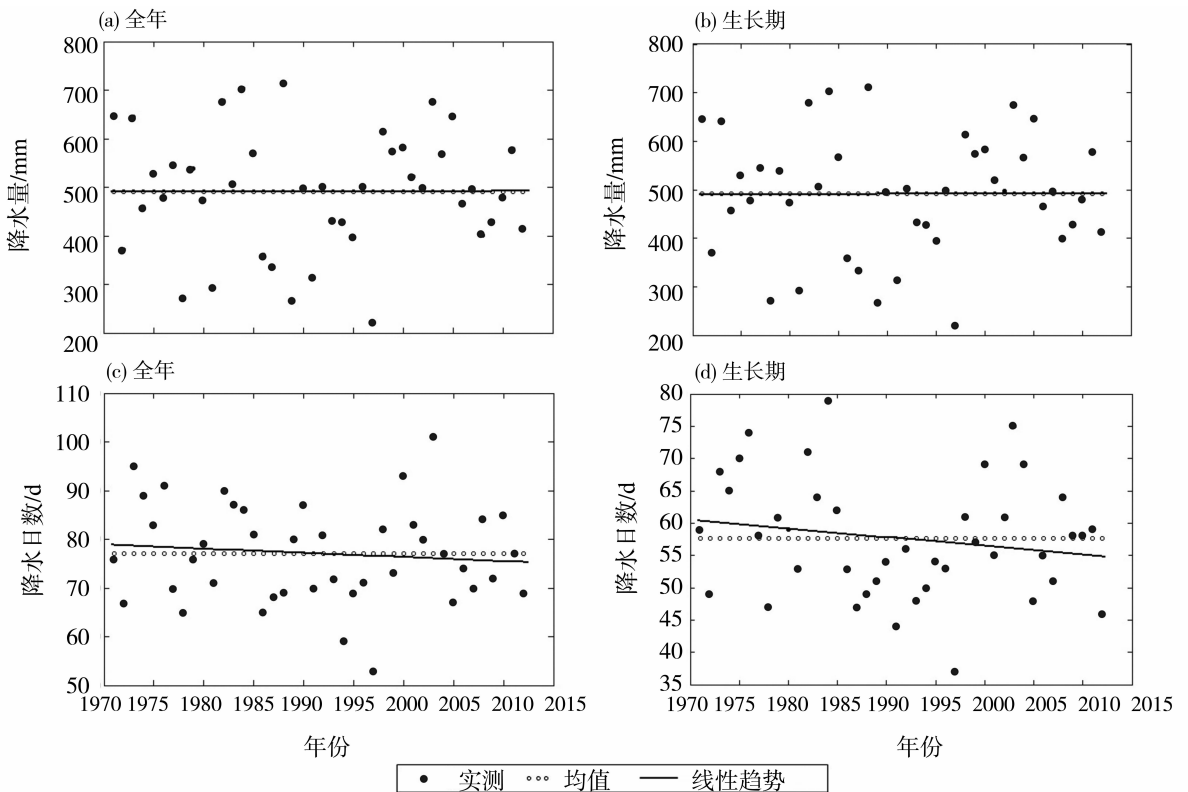


图 3 沁阳市年降水量和怀药生长期降水量年际变化

Fig. 3 Annual variations of precipitation during a whole year and the growing period in Qinyang County

沁阳市日平均气温  $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  持续时间的多年平均日数为 226.33 d，且有逐渐延长的趋势：20 世纪 80 年代以前  $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  的年平均日数为 219.42 d；20 世纪 90 年代年平均日数为 225.30 d；2000 - 2012 年年平均日数长达 237.23 d。沁阳市  $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  的初日由 3 月下旬提前大约 10 d 至 3 月中旬， $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  的终日由 11 月上旬延迟 7 d 左右至 11 月中旬，且有逐渐延长的趋势。沁阳市  $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  积温和持续时间的变化趋势与华北平原的相应变化一致<sup>[2]</sup>。

3.1.3 降水变化 沁阳市降水季节变化较大：冬春季降水仅占年降水总量的 22.52%；受湿热的夏季风影响，夏季降水量占全年降水量的 52.78%，

秋季降水较少，占 24.7%。怀药生长期多年平均降水量为 492 mm，占年降水总量的 87%。沁阳市降水量变化呈现波动变化特征，其变率为 0.44 mm/10 a。1990 年之后年降水日数和怀药生长期降水日数均有减少趋势（图 3）。

依据沁阳市降水特征，选择  $\geq 50\text{ mm/d}$  降水作为强降水指标计算沁阳市强降水量的变化。强降水量呈波动变化趋势，1997 年之后强降水量出现不明显 ( $P > 0.05$ ) 的增加趋势 ( $UF > 0$ )。强降水变率为 3.7 mm/10 a。20 世纪 70 年代后期以来强降水频率呈下降趋势 ( $UF < 0$ )，2000 年之后这一下降趋势显著 ( $P < 0.05$ )（图 4）。

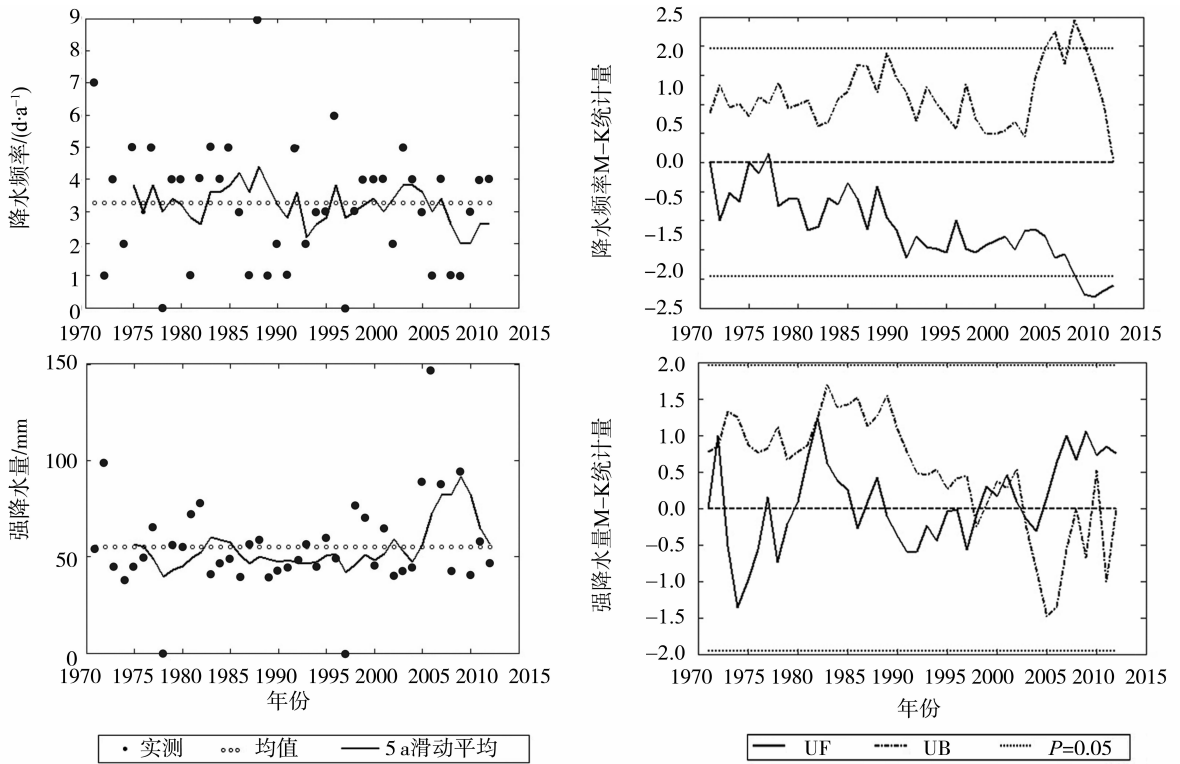


图 4 沁阳市强降水频率、强度年际变化及其突变判别

Fig. 4 Annual variations of frequency and strength of strong precipitation in Qinyang and its mutation test

### 3.2 气候变化对怀药的影响

3.2.1 光、热、水配置与怀药的生育发育 四大怀药均是喜光、喜温、需水又怕水的作物。其中蓄根类怀药（怀牛膝、怀山药和怀地黄）从播种到成熟整个生长期（4 - 10 月）分为幼苗期、盘棵期、根茎膨大期和成熟期 4 个阶段；怀菊花生长亦分为幼苗期、蕾期、花期、越冬期 4 个阶段<sup>[9, 23]</sup>。下面以怀山药为例，探讨沁阳市气候特征对怀山药主要生育阶段的影响。

幼苗期（3 月中下旬至 4 月上中旬）：这一时期怀山药对水分的需求量较少，气温决定怀山药的播种。据统计，日平均气温  $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  是怀山药播种出苗的下限温度<sup>[9]</sup>。沁阳市较高的冬季气温有利于怀山药种子（块根）越冬。春季气温的升高有利于怀山药出苗。沁阳市日平均气温  $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  的初日平均为 3 月 20 日前后，保证率为 67%；最晚通过日期为 1994 年 4 月 12 日。而且，4 月份沁阳市日照充足，气温逐渐升高（图 5），有利于种子（块

根)发芽和提高出苗质量;但是平均大约4年一遇的春旱和非周期冷空气南下导致的低温是这一时期怀山药生长的不利气象条件。

盘棵期(5月上中旬至6月下旬):这一时期怀山药以生长茎蔓和叶片为主,主蔓6月中旬生长最快。地下茎于5月底开始形成,6月底快速生长,此时段怀山药对日照和水分的需求量逐渐增加。沁阳市5-6月份日照时数达到最大值、降水持续增多(图5),有利于怀山药光合作用的进行和壮苗的形成。

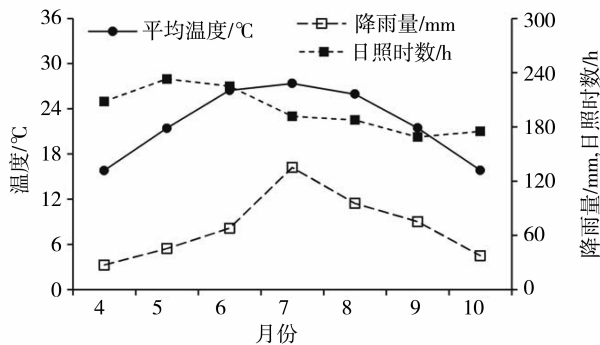


图5 1971-2013年怀山药生长期光、热、水资源变化

Fig. 5 The variations of sunshine, temperature and precipitation during the growing period of Huai medicine during 1971-2013

根茎膨大期(7月上旬至9月上旬):这一时期是怀山药生育期中最重要的时期,也是怀山药生长期的主要需水期。这一时期怀山药生长需要较大的昼夜温差,适宜的土壤水分(18%~20%<sup>[9]</sup>)。据统计,沁阳市这一时期的平均气温达到最高(27.37°C,7月份)、日较差达9.5°C左右;降水量最多,占全年降水量的54.9%(图5)。雨热同期,有利于地上茎叶的生长,可为地下根茎的膨大生长积累充足的养分。这一时期强降水事件的出现是怀山药生长的不利气象条件。响应于全球气候变化,沁阳市这一时期强降水量有增加趋势。若遇到排水不畅,容易出现田间高温积水,造成怀山药根茎被浸泡腐烂。因此,响应于气候变化,怀山药田间排水管理非常重要。但是强降水事件的渐少(图4),有利于保证怀山药的产量和品质。

成熟期(9月中旬至10月底):9月份怀山药开始果实着色和糖分积累,10月份怀山药块根(茎)进入生长末期,忌水涝。此时,西太平洋副热带高压已经南撤,中高纬度干冷空气时常南下,沁阳市降水逐渐减少(9月份多年平均降水量为

75 mm,10月份多年平均降水量降至37.41 mm)。气温、日照亦呈减少趋势(图5),气温日较差增大,有利于地上茎叶的养分向地下块根输送<sup>[24]</sup>。沁阳市10月份多年平均气温为15.83°C,日照为175 h,能够满足怀山药完全停止生长(一般在霜降以后-10月底)前需要适宜温度和日照来稳定块根内各种营养成分并充分成熟的生理需求,提高怀山药的产量和延长其储藏期。

沁阳市雨热同期的气候条件使怀山药中可溶性总糖、淀粉、粗蛋白质、必需氨基酸和总氨基酸含量较非道地产区的相应值高,且含水量较低<sup>[24]</sup>。保证了怀山药的药效和滋补品质。

### 3.2.2 气候环境变化对怀山药产量和质量的影响

怀山药全生长期(4-10月),尤其根茎膨大期(7-9月),气候要素(光、热、水)变化直接影响怀山药的产量和质量。将沁阳市气象(光、热、水)数据(2004-2013年)与相应年怀山药平均产量进行统计分析,结果表明:怀山药产量与日照时数无显著相关性( $P=0.74$ )。日照时数变化不是怀山药生长的限制性因素。这与我国华北平原地区日照充足,能够满足农作物生长需求的结论一致<sup>[25]</sup>。不论是怀山药生长期还是根茎膨大期,沁阳市平均气温均呈升高趋势,降水呈现逐渐减少。相关分析(图6)表明:怀山药产量与气温显著正相关( $R_{生}=0.822$ , $P_{生}=0.004$ ;  $R_{膨}=0.93$ , $P_{膨}=0.007$ ),与怀山药生长期和根茎膨大期的降水负相关( $R_{生}=-0.65$ , $P_{生}=0.04$ ;  $R_{膨}=-0.58$ , $P_{膨}=0.08$ )。可见,随着全球气候变化,沁阳市气温升高,这有利于怀山药产量的提高,一至于气候变暖使得马铃薯产量<sup>[26]</sup>和棉花产量提高<sup>[27]</sup>的结论,不同于气候变暖导致冬小麦产量<sup>[28]</sup>和春玉米产量下降<sup>[29]</sup>的结论。可见,不同作物对气候变暖的响应不一致,其机理有待进一步研究。

比较研究得出:收获时间不同影响怀山药的产量和品质。例如,收获时间推迟至10月25日-11月25日,怀山药中粗蛋白和微量元素Zn含量增加,含水率降低。有利于提高怀山药的品质和产量<sup>[30]</sup>。沁阳市40多年来日平均气温 $\geq 10^\circ\text{C}$ 的年平均日数渐增,终日有向11月下旬延长的趋势。因此,沁阳市域怀山药的收获时间可以推迟,以确保怀山药的品质更佳。

怀山药生长态势、品质和产量是生长期日照、气温、降水等气象要素同期协调作用的结果。在 $R^2=0.700$ , $P=0.016$ 条件下,怀山药产量与日照、气温和降水之间的量化关系为:

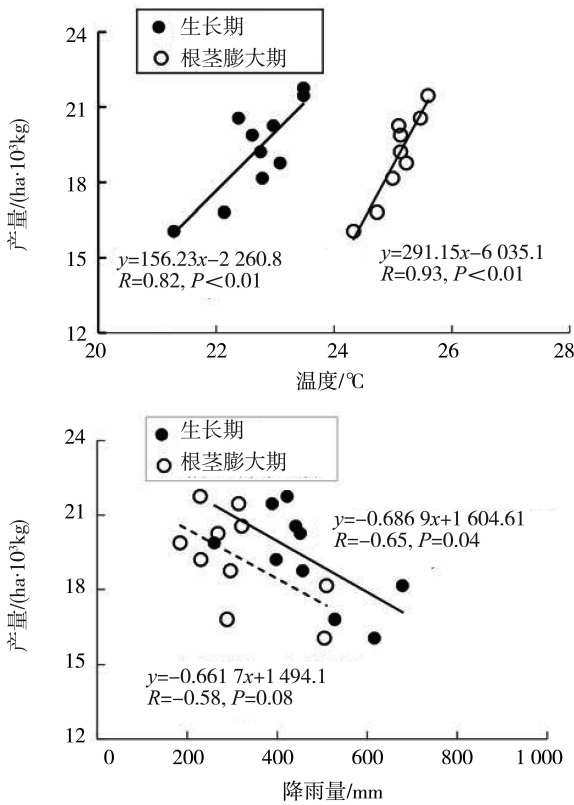


图 6 怀山药产量与平均气温、降水的关系

Fig. 6 The relationships between average temperature, precipitation and the yield of Huai medicine

$$y = 0.161x_1 + 120.652x_2 - 0.477x_3 - 1427.202 \quad (1)$$

式中,  $y$  为怀山药产量 (kg);  $x_1$  为生长期日照时数 (h);  $x_2$  为气温 (°C);  $x_3$  为降水 (mm)。

由 (1) 式可见, 怀山药产量变化受其生长期光、热、水等气象要素同期协调作用的影响。根据相关系数  $R^2 = 0.700$  推测: 怀山药生长期日照时数 ( $x_1$ )、气温 ( $x_2$ ) 和降水量 ( $x_3$ ) 对怀山药产量 ( $y$ ) 的协同影响达到 70.0%。

怀山药的产量主要决定于怀山药根茎的膨大状况。在  $R^2 = 0.602, P = 0.017$  条件下, 根据模型 (2) 可以定量计算怀山药产量与怀山药根茎膨大期气温、降水之间的关系:

$$y = 104.511x_4 - 0.326x_5 - 1254.74 \quad (2)$$

式中,  $y$  为怀山药产量 (kg);  $x_4$  为根茎膨大期平均气温 (°C);  $x_5$  为平均降水量 (mm)。

怀山药产量显著受其根茎膨大期气温和降水同期协调作用的影响, 二者的协同影响达到 60.2%。由于气温、降水的单位、数值不同, 采用回归模型 (1) 和 (2) 中系数的大小难以比较气温、降水分别对怀山药产量的影响程度。根据相关系数的大

小<sup>[12, 31]</sup>, 初步推断: 气温对怀山药产量的影响 > 降水。

比较根据模型 (1) 和 (2) 计算的怀山药产量与实际怀山药产量, 发现二者差异不显著 ( $P > 0.05$ ), 表明此计算模型较为合理。

## 4 结论

沁阳市独特的自然地理环境条件, 尤其是光、热、水资源协同变化的气候特征成为怀药兼具医药性和食用性的主要因素。模型 (1) 和 (2) 计算结果表明, 若不考虑怀山药品种、田间栽培管理技术、病虫害防治等因素差异影响时, 气象要素的协同作用构成怀山药生长、品质和产量的主要不稳定因素。全球气候变化趋势不可逆转, 为保证道地产区怀药的品质和产量, 提出气候变化背景下怀药生长的适应对策:

1) 加强怀药生长发育规律与气候变化规律间关系的监测研究。大气  $CO_2$  浓度升高、平均气温升高和降水量变化是全球气候变化影响农业生产和农业生态系统最重要的 3 个气象要素。考虑到气候变化是一渐变过程, 怀药道地产区各县 (市) 应联合起来建立多站点、开展长期性的气象要素变化监测, 揭示怀药种植区气候变化规律与怀药生长发育规律之间的关系, 建立影响怀药品质和产量的气象灾害风险评估模型, 为怀药 GAP 基地选择、调整、品种引进、高产栽培提供气候依据。

2) 加强田间管理, 健全保温、灌排水设施。响应于全球变暖, 怀药道地产区冬季和春季气温升高, 土壤水分蒸发; 冬季和春季, 尤其春季, 降水甚少。春季气温升高和降水少的协同作用使土壤湿度降低, 春旱趋势加剧; 研究区夏季强降水量增加, 存在发生涝灾的风险。建议当地主管部门督促怀药种植者加强田间灌排水设施建设: 采用既保温又能保持土壤水分的地膜覆盖、设施种植和喷灌、滴灌等农业气象实用技术, 确保怀药种子实时发芽、出苗; 夏秋季遇到强降水能够及时排除田间积水, 防止怀药根茎浸泡腐烂; 响应于气候变暖, 研究区  $\geq 10^\circ C$  积温增加且持续时间延长, 建议适当推迟怀药收获期, 确保怀药品质和产量。

3) 加强怀药病虫害的防御研究, 保证怀药品质和产量。全球气候变暖有利于农作物病虫害的发育繁殖。研究区暖冬有利于农作物病虫害安全越冬; 春季气温升高伴随阶段性干旱, 延长病虫害的繁殖时间和增加繁殖数量, 同时怀药病虫害的种群结构亦可能发生变化。因此, 怀药道地产区农业部

门要加强对怀药病虫害主要种类、种群结构和发生流行动态等监测和研究,确定病虫害防治最佳用药时期,获得最优的病虫害防治效果,保证怀药品质和产量,满足国内外药材市场的需求,同时带动怀药道地产区的产业结构调整 and 经济发展。

### 参考文献:

- [1] QIAN W H, LU B, ZHU C W. How would global-mean temperature change in the 21st century[J]. Chinese Science Bulletin, 2010, 55: 1963 - 1967.
- [2] 谭方颖, 王建林, 宋迎波, 等. 华北平原近 45 年农业气候资源变化特征分析[J]. 中国农业气象, 2009, 30(1): 19 - 24.
- [3] 蔡霞, 吴占华, 梁桂花, 等. 近 53a 山西朔州市农业气候资源变化特征分析[J]. 干旱气象, 2011, 29(1): 88 - 93.
- [4] 王艳皎, 周兵, 司东, 等. 2012 年夏季我国降水异常及成因分析[J]. 气象, 2013, 39(1): 118 - 122.
- [5] 叶笃正, 吕建华. 气候研究进展和 21 世纪发展战略[J]. 自然科学进展, 2013, 13(1): 42 - 46.
- [6] 秦大河. 气候变化的事实与影响及对策[J]. 中国科学基金, 2003, 17(1): 1 - 3.
- [7] 冶明珠, 郭建平, 袁彬. 气候变化背景下东北地区热量资源及玉米温度适宜度[J]. 应用生态学报, 2012, 23(10): 2786 - 2794.
- [8] 肖国举, 张强, 王静. 全球气候变化对农业生态系统的影响研究进展[J]. 应用生态学报, 2007, 18(8): 1877 - 1885.
- [9] 刘跃红, 闫小珍, 焦振法, 等. 焦作气候生态环境对四大怀药生长的影响[J]. 气象, 2007, 33(5): 105 - 110.
- [10] 张重义, 谢彩侠, 黄晓书, 等. 怀山药道地产区与非道地产区药材质量比较[J]. 现代中药研究与实践, 2003, 17(1): 19 - 20.
- [11] 王太霞, 李建军, 李景原, 等. 不同产区地黄的比较研究[J]. 河南农业科学, 2005(10): 69 - 73.
- [12] 梁迎暖, 郭巧生, 张重义, 等. 气象因子对怀菊品质影响分析[J]. 中国中药杂志, 2007, 32(23): 2474 - 2478.
- [13] 王兴民, 梅秀杰, 耿怡智, 等. 河南省焦作市环境地质问题及防治对策[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2007, 18(3): 141 - 144.
- [14] 张志红, 陈红莉, 何宏谋. 沁河流域近十几年来水资源量偏枯原因分析[J]. 水文, 2004, 24(1): 32 - 34.
- [15] 龚子同. 中国土壤地理[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 102.
- [16] 李艳春, 李艳芳. 宁夏近百年来的气候变化及突变分析[J]. 高原气象, 2001, 20(1): 100 - 104.
- [17] 刘世薇, 周华荣, 梁雪琼, 等. 新疆石河子地区气候变化特征分析[J]. 干旱地区农业研究, 2012, 30(1): 230 - 237.
- [18] 李淑珍, 孙琳丽, 马玉平, 等. 气候变化对宁夏固原地区胡麻发育进程和产量的影响[J]. 应用生态学报, 2014, 25(10): 2892 - 2900.
- [19] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 2007: 175 - 181.
- [20] 张晶晶, 陈爽, 赵昕奕. 近 50 年中国气温变化的区域差异及其与全球气候变化的联系[J]. 干旱区资源与环境, 2006, 20(4): 1 - 6.
- [21] 刘志娟, 杨晓光, 王文峰. 气候变化背景下中国农业气候资源变化 IV. 黄淮海平原半湿润暖温带 - 玉两熟灌溉农区农业气候资源时空变化特征[J]. 应用生态学报, 2011, 22(4): 905 - 912.
- [22] 李艳春, 杨建玲, 苏占胜, 等. 近 50 a 河套地区东部  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  积温的演变特征及成因分析[J]. 干旱气象, 2013, 31(3): 511 - 516.
- [23] 赵玉琴, 李成杰. 四大怀药[M]. 郑州: 中原农民出版社, 2004: 1 - 13, 32 - 45.
- [24] 陈怀亮, 任景全, 王连喜, 等. 怀山药的研究现状及其发展的几点建议[J]. 作物杂志, 2012(1): 13 - 17.
- [25] 陈红梅, 张立波, 娄伟平. 近 50a 华北平原日照时数的时空特征及其影响因素[J]. 气象科学, 2012, 32(5): 573 - 579.
- [26] 肖国举, 仇正跻, 张峰举, 等. 增温对西北半干旱区马铃薯产量和品质的影响[J]. 生态学报, 2015, 35(3): 830 - 836.
- [27] 王润元, 张强, 刘宏谊, 等. 气候变暖对河西走廊棉花生长的影响[J]. 气候变化研究进展, 2006, 2(1): 40 - 42.
- [28] 张建平, 赵艳霞, 王春乙, 等. 气候变化对我国华北地区冬小麦发育和产量的影响[J]. 应用生态学报, 2006, 17(7): 1179 - 1184.
- [29] 尚宗波. 全球气候变化对沈阳地区春玉米生长的可能影响[J]. 植物学报, 2000, 42(3): 300 - 305
- [30] 赵冰, 李志芳, 刘学军, 等. 不同收获期对山药产量及品质的影响[J]. 特产研究, 2005, 27(1): 1 - 4.