

内蒙古皇甫川流域作物生长期气候旬变异特征 及其对作物产量效应分析

孙特生¹, 李 波^{1*}, 张新时^{1,2}

(1. 北京师范大学资源学院/地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875;

2. 中国科学院植物研究所植被数量生态学开放研究实验室, 北京 100093)

摘 要: 皇甫川流域地处我国北方半干旱区, 作物生产对气候变化具有明显的脆弱性。利用该流域 1961—2000 年生长期(5~9 月)的降水、气温数据、农作物播种面积和产量数据, 深入分析作物生产对旬尺度降水、气温变异的响应。研究表明, 排除社会经济因素影响, 皇甫川流域农作物生产对旬尺度降水、气温变异有明显响应, 但不同农作物的响应程度不同, 同一种农作物对不同旬的响应亦不同; 8 月上旬降水量的丰缺对糜黍、玉米、薯类和谷子等农作物的气候产量有明显正效应, 6 月下旬和 7 月上旬降水量的多少对高粱的气候产量有决定性的影响; 5 月中旬最高气温和 7、8 月份各旬平均气温、最低气温和最高气温的升高, 都可能使农作物的气候产量不同程度降低。因此, 加强生态环境建设特别是生长期(尤其是 7、8 月份)旱作区的田间管理, 降低农业生产对气候变化的敏感性, 显得尤为重要和必要。

关键词: 气候变化; 变异系数; 气候产量; 波动指数; 皇甫川流域

中图分类号: S162.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2012)03-0184-10

在全球气候变化的大背景下, 我国各地区的气候特征也相应变化, 区域农业生态系统的生产功能随之响应^[1-9]。玉米、小麦、马铃薯、糜子、黍等是我国北方地区的主要农作物, 较多研究分析了气候变化对这些作物生产的影响。比如, 王静等^[10]分析了三江平原地区极端降水的年际间变化特征、不同等级的降水量变化以及春玉米各生育阶段极端降水的分配特征。结果表明, 研究区自然降水条件下春玉米生长期干旱风险有所加大。姚玉璧等^[11]利用黄土高原半干旱区春小麦生长发育定位观测资料、加密观测和对应平行气象观测资料, 分析气候变化对春小麦生长发育的影响, 以及春小麦穗干重与气象条件的关系。杜瑞英等^[12]进行气候变化对我国干旱、半干旱区小麦生产影响的模拟研究, 结果表明在不考虑 CO₂ 对小麦影响的情况下, 由于热量充足, 只要水分条件适宜, 未来我国北方干旱、半干旱地区小麦产量整体都有增产趋势; 如果考虑 CO₂, 增产效果更加明显。姚玉璧等^[13]分析气候暖干化对甘肃马铃薯生产的影响后认为, 在降水量变化一定的条件下, 马铃薯产量随温度的升高而降低, 在温度变化一定的条件下, 马铃薯产量随降水的增加而增

加。高永刚等^[14]采用气候生产力变异系数的方法分析了黑龙江省马铃薯气候生产力特征及区划。蒲金涌等^[15]运用积分回归方法, 对庆阳西峰区、天水麦积区、定西安定区及武威凉州区 1985—2008 年糜子产量受气候因子的影响进行了分析。姚小英等^[16]运用统计学方法分析了气象因子对甘肃省各地糜子产量的影响。

上述研究成果侧重分析气候变化的年际、年代际以及长期趋势对作物生产的影响, 然而极端性气候/天气事件对农业不同行业的生产都显得危害很大, 而气候变化中区域性干旱将成为我国未来农业生产愈来愈严重的挑战^[17]。特别对于我国北方干旱半干旱区, 降水是决定农牧交错带位置及其气候生产力的关键因素, 未来干热的气候趋势有可能使该地区的环境状况变得更为严峻^[18]。皇甫川流域属于我国北方半干旱区, 其农业生产对气候变化具有明显的脆弱性。本文从旬尺度着手, 分析皇甫川流域农作物生长期(5~9 月)的气候旬变异特征, 以及降水、气温的旬变异对作物产量的影响, 据此加强旱作区的田间管理, 降低农业生产对气候变化的敏感性, 具有重要意义。

收稿日期: 2012-01-09

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(40871135); 国家 973 项目(2007CB106807)

作者简介: 孙特生(1975—), 男, 四川内江人, 博士生, 主要研究方向为全球变化与陆地生态系统研究。E-mail: suntesheng@mail.bnu.edu.cn。

* 通讯作者: 李 波, E-mail: libo@bnu.edu.cn。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

皇甫川流域是黄河中游的一级支流,流域总面积约为 3 240 km²,其中 86.2%在内蒙古自治区准格尔旗境内。皇甫川流域属于温带半干旱大陆性气候,降雨主要集中在 6~9 月,且多为暴雨,这四个月的降雨量约占全年的 76.7%,形成河川径流的汛期。该流域年降雨量和汛期降雨量具有明显的减少趋势而且降雨量年际之间的波动很大;年平均气温具有明显上升趋势,1961—2000 年的 40 a 平均气温升高了 0.4℃^[19]。皇甫川流域土壤类型以栗钙土、黄绵土、风沙土为主,其中栗钙土分布最多,植被类型主要有乔、灌、草、农、沙地植被和低湿地植被等。该流域种植的主要粮食作物有糜子、马铃薯、玉米、谷子、豆子、小麦、高粱等,油料作物有葵花籽、胡麻籽、油菜籽和花生等。受气候变化、地貌、土壤、植被等自然条件以及当地农民生产活动的影响,该流域上述各种农作物的播种面积和总产量每年均有不同程度的变化。

1.2 数据来源及预处理

本研究所用气象数据(1961—2000 年日降水量数据、日平均气温数据)从准格尔旗气象局和水土保持局获取,农作物播种面积和总产量数据(1958—2001 年)主要来自于准格尔旗统计局。本文利用 1961—2000 年农作物生长季(主要为 5~9 月)的日降水量、日平均气温、日最低气温和日最高气温数据,计算出生长季旬降水量、旬平均气温、旬最低气温和旬最高气温及其降水、气温变异系数。由于皇甫川流域 86.2%的面积在准格尔旗境内,因此本研究将皇甫川流域农作物生产与准格尔旗农作物生产作等同处理。为了排除农作物播种面积对波动指数的影响,利用 1961—2000 年准格尔旗各种农作物的产量和播种面积数据计算出该种农作物的单位面积产量,再计算出对应的单产波动指数。

1.3 研究方法

1.3.1 气候旬变异系数 变异系数是衡量资料中各观测值变异程度的一个统计量。当进行两个或多个资料变异程度的比较时,如果度量单位与平均数相同,可以直接利用标准差来比较。如果单位和平均数不同时,比较其变异程度就不能采用标准差,而需采用标准差与平均数的比值(相对值)。标准差与平均数的比值称为变异系数,记为 CV。变异系数可以消除单位和平均数不同时对两个或多个资料变异程度比较的影响。本研究中气候旬变异系数的计算

公式为:

$$CV = s/\bar{x} \times 100\%$$
 (1)

式中, CV 是变异系数, s 为样本标准差, $\bar{x}$ 为样本平均数。

1.3.2 作物产量及其波动指数 为了区分自然和非自然因素对农作物产量的影响,一般把作物产量分解为趋势产量、气候产量和随机误差三部分,趋势产量反映历史时期生产力发展水平的长周期产量分量,也被称为技术产量,气候产量是受气候要素为主的短周期变化因子影响的波动产量分量。其中,趋势产量常采用“时间”为自变量进行各种线性或非线性模拟。作物产量的计算公式如下^[32]:

$$Y = Y_w + Y_t + e$$
 (2)

式中, Y 为作物实际产量, Y_t 为技术产量, Y_w 为气候产量, e 是受随机因素影响的产量分量。因为 e 很小,以下的研究忽略 e 的影响。

波动的度量方法主要包括速度法^[20-21]、剩余法^[22-23]和滤波法^[24]3 种。其中,剩余法可将粮食生产的变动分解为长期趋势和波动两部分,因此能够准确描述波动,在计算时间序列波动方面具有一定优势。它的基本思想是按照某种方法将趋势变动剔除,剩余部分即为粮食生产的波动。分析变量长期趋势的方法主要有移动平均法、指数平滑法、最小二乘法、三点法以及三和法等^[25]。以剩余法建立的波动指数可以表示为:

$$V_t = (Y - Y_t)/Y_t \times 100\% = Y_w/Y_t \times 100\%$$
 (3)

式中, V_t 为波动指数; Y 为作物实际产量; Y_w 为气候产量; Y_t 为技术产量。

2 皇甫川流域作物生长期降水、气温旬变异特征

生长季旬尺度的降水变异系数能非常清晰地反映降水的变异情况。为深入揭示降水变异程度对农作物生产波动性的影响,本研究利用皇甫川流域日降水量数据(1961—2000 年),根据公式(1)计算出生长季旬尺度降水变异系数(表 1)。

由表 1 可知,皇甫川流域生长季旬尺度降水变异系数相对较小的年份有:1969(0.68)、1984(0.70)、1999(0.66);而较大的年份有:1966(1.37)、1970(1.33)、1972(1.48)、1974(1.35)、1981(1.44)、1988(1.35)、1989(1.34)、1991(1.37)和 1997(1.60)。另外,在整个 20 世纪 90 年代(1999 年除外)降水变异系数均较大。这说明皇甫川流域降水在旬尺度上表现出明显的波动性特征。

农业生态系统生产功能既受到降水变异程度的影响,还受到气温变异程度的影响。按照上述分析思路和方法,本研究利用皇甫川流域日平均气温数据(1961—2000 年),根据公式(1)计算出生长季旬尺度气温变异系数(见表 2)。

由表 2 可知,气温变异系数在 0.18 附近波动,最大值为 1997 年的 0.24,最小值为 1998 年的 0.13,同样说明皇甫川流域平均气温在旬尺度上也表现出明显的波动性特征。

表 1 皇甫川流域生长季旬尺度降水变异系数(1961—2000 年)

Table 1 Precipitation CV of ten-day scale during the growing season in Huangfuchuan basin

年份 Year	降水变异系数 Precipitation CV	年份 Year	降水变异系数 Precipitation CV	年份 Year	降水变异系数 Precipitation CV	年份 Year	降水变异系数 Precipitation CV
1961	0.90	1971	0.88	1981	1.44	1991	1.37
1962	1.07	1972	1.48	1982	1.14	1992	1.12
1963	0.85	1973	1.18	1983	0.90	1993	0.87
1964	1.04	1974	1.35	1984	0.70	1994	1.13
1965	1.27	1975	0.90	1985	1.27	1995	0.86
1966	1.37	1976	0.94	1986	0.69	1996	1.28
1967	0.95	1977	0.83	1987	0.75	1997	1.60
1968	1.21	1978	1.02	1988	1.35	1998	0.90
1969	0.68	1979	0.85	1989	1.34	1999	0.66
1970	1.33	1980	0.77	1990	0.91	2000	1.25

表 2 皇甫川流域生长季旬尺度气温变异系数(1961—2000 年)

Table 2 Temperature CV of ten-day scale during the growing season in Huangfuchuan basin

年份 Year	气温变异系数 Temperature CV	年份 Year	气温变异系数 Temperature CV	年份 Year	气温变异系数 Temperature CV	年份 Year	气温变异系数 Temperature CV
1961	0.21	1971	0.21	1981	0.16	1991	0.18
1962	0.18	1972	0.22	1982	0.18	1992	0.19
1963	0.17	1973	0.21	1983	0.16	1993	0.17
1964	0.18	1974	0.20	1984	0.19	1994	0.21
1965	0.16	1975	0.17	1985	0.21	1995	0.20
1966	0.18	1976	0.16	1986	0.17	1996	0.15
1967	0.21	1977	0.18	1987	0.16	1997	0.24
1968	0.19	1978	0.18	1988	0.16	1998	0.13
1969	0.15	1979	0.18	1989	0.17	1999	0.19
1970	0.21	1980	0.21	1990	0.16	2000	0.18

3 皇甫川流域作物生长期气候旬变异对其产量的影响

3.1 农作物单产波动指数

本研究中,小麦和玉米的技术产量采用指数曲

线拟合计算,糜黍、薯类、大豆、高粱、谷子和油料作物的技术产量采用最小二乘法经线性拟合计算(见表 3),再根据公式(2)、(3)计算各种农作物的气候产量与单产波动指数动态变化(见图 1)。

表 3 各作物技术产量的拟合曲线方程

Table 3 Fitting curve equation for the technology yield of crops

农作物 Crop	拟合曲线方程 Fitting curve equation	R^2	农作物 Crop	拟合曲线方程 Fitting curve equation	R^2
糜黍 Broomcorn millet	$Y=16.17X-31112$	0.282	大豆 Soybean	$Y=7.825X-15106$	0.193
玉米 Corn	$Y=2E-31e^{0.039X}$	0.676	小麦 Wheat	$Y=3E-48e^{0.058X}$	0.657
薯类 Potato	$Y=35.43X-68718$	0.337	高粱 Sorghum	$Y=26.99X-51981$	0.379
谷子 Millet	$Y=13.03X-25128$	0.253	油料 Oil crops	$Y=13.24X-25909$	0.505

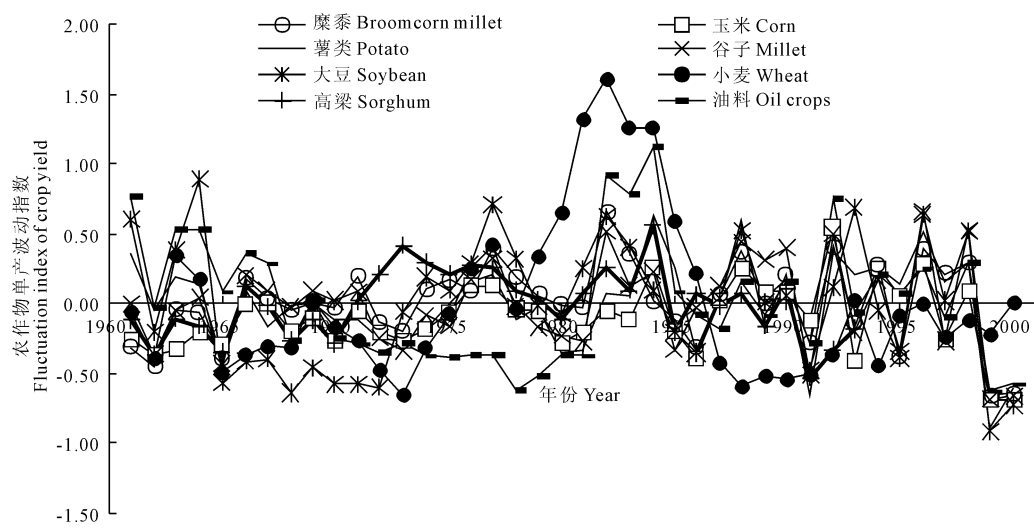


图 1 农作物单产波动指数动态变化

Fig.1 Dynamic changes in fluctuation index of crop yield

由图 1 可知,农作物单产波动指数在同一年份的不同农作物之间以及不同年份的同一农作物之间均存在明显差异。一方面,对于相同条件的水分、气温胁迫,不同农作物由于生理生态特征不同,作物生产特征亦不同。另一方面,在有些年份,作物生产受气候(尤其是降水)旬变异的影响,表现出较为一致的变化态势。比如 1962 年,生长季降水量少(仅 199.2 mm),而且降水变异系数较大(1.07),因而所有 8 种农作物的单产均低于正常趋势值;又如 1984 年,生长季降水量较多(387.9 mm),同时降水变异系数较小(0.70),全年所有农作物单产均不同程度地高于正常趋势值。

3.2 作物生产对降水旬变异的响应

3.2.1 农作物生产波动指数与旬尺度降水变异系数的关联性分析 降水变化对北方农作物气候产量的影响较为显著^[5,26-27],分析农作物生产波动指数与旬尺度降水变异系数的关联性,有助于揭示降水对作物产量影响的内在机理。

图 2 显示,皇甫川流域农作物生产波动指数与生长季旬尺度的降水变异系数之间存在以下关联性:

(1) 从总体上看,1961—2000 年皇甫川流域生长季旬尺度降水变异系数呈增大趋势,同期各种农作物生产波动指数也呈增大趋势(油料作物除外),即两者表现出较为一致的变化态势。另外,生长季降水变异系数偏离趋势值较小的年份,农作物生产波动指数绝对值也相对较小;而生长季降水变异系数偏离趋势值较大的年份,农作物生产波动指数绝对值也相对较大。

(2) 1961—2000 年皇甫川流域生长季旬尺度降水变异系数变化范围 0.66~1.60,但各种农作物生产的波动幅度却相对更大,糜黍、玉米、薯类、谷子、大豆、小麦、高粱和油料作物的波动指数范围分别为:−0.66~0.67、−0.69~0.55、−0.89~0.64、−0.69~0.66、−0.91~0.89、−0.64~1.61、−0.52~0.57、−0.62~1.13。其中,小麦和油料作物的波动幅度分别达到了 2.25 和 1.75;大豆单产在 1965—1974 年变化明显,小麦和油料作物单产在 20 世纪 80 年代初期变化异常突出。

(3) 糜黍、薯类、小麦、大豆和油料五种农作物单产在 1982 或 1984 年达到波动指数的最大值,说明这些农作物单产在 1982 或 1984 年远高于正常趋势值。另外,除玉米外的 7 种农作物单产在 1982—1984 年间均不同程度地高于正常趋势值。这说明国家政策(家庭联产承包责任制)对农业生产的积极影响。

3.2.2 农作物气候产量与生长季旬降水量的相关性 农作物气候产量是指农作物实际产量中扣除技术产量和随机产量(常忽略)后的产量,能反映气候变化影响下农作物的生产能力。在我国北方干旱、半干旱区,水分胁迫对作物产量的影响显著^[28-29]。运用 SPSS 13.0 统计软件,分析 1961—2000 农作物的气候产量与旬降水量的相关性(见表 5),发现:

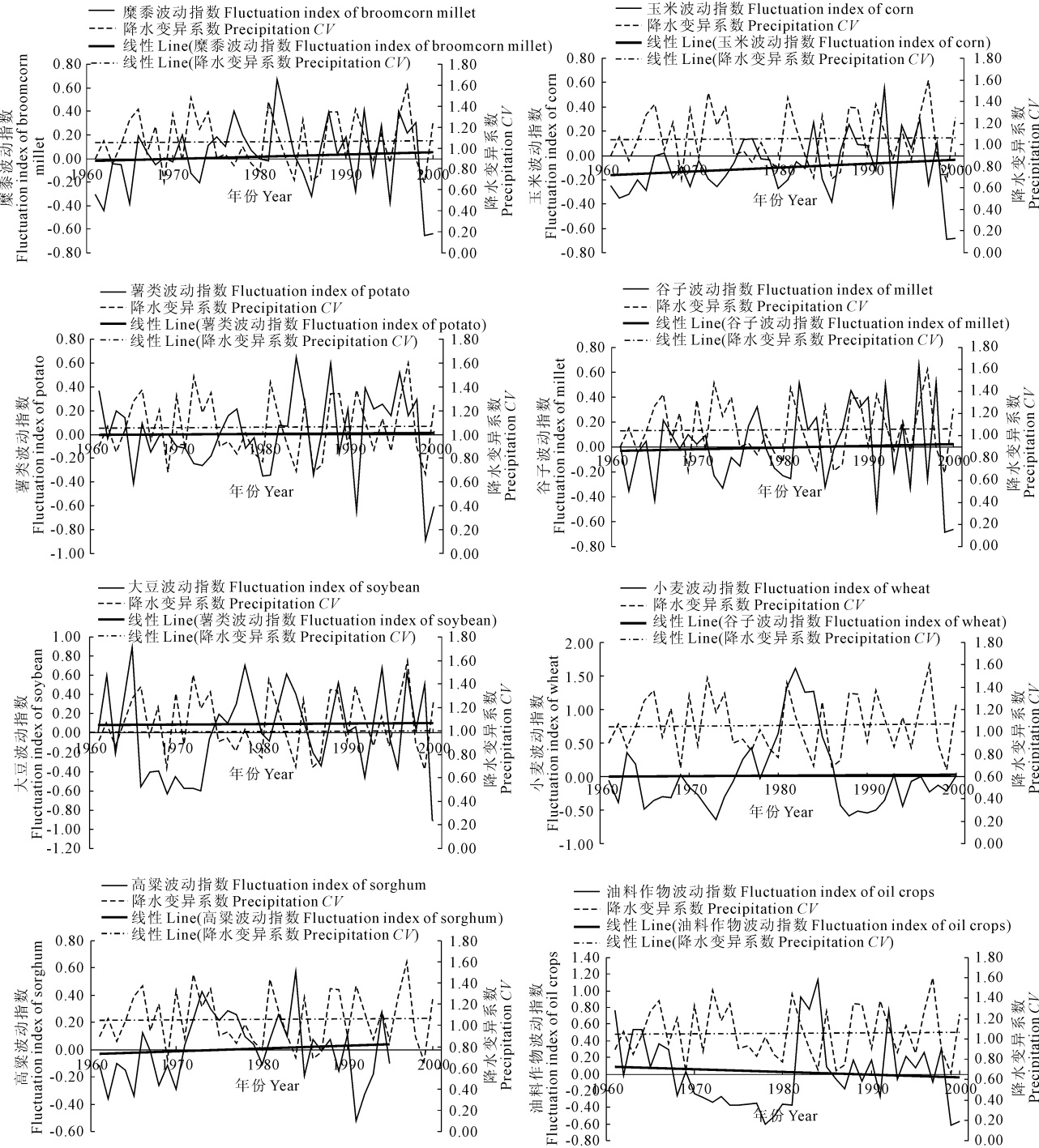
(1) 糜黍、玉米、薯类等的气候产量与 8 月上旬降水量在 0.05 水平上显著正相关,同时谷子的气候产量与 8 月上旬降水量在 0.01 水平上显著正相关,说明 8 月上旬降水量多少在较大程度上决定着糜黍、玉米、薯类和谷子等的气候产量高低,或者说 8

月上旬降水量的丰缺对皇甫川流域主要农作物的气候产量有明显正效应。

(2) 高粱的气候产量与 6 月下旬和 7 月上旬降水量在 0.05 水平上显著正相关,说明 6 月下旬和 7 月上旬降水量的多少对高粱的气候产量有决定性的影响。

3.3 作物生产对气温旬变异的响应

3.3.1 农作物生产波动指数与旬尺度气温变异系数的关联性分析 气温变异也在一定程度上影响着农作物的气候产量,分析农作物生产波动指数与旬尺度气温变异系数的关联性,可以揭示气温变异影响作物产量的内在机理。



注:高粱生产缺乏 1996—2000 年数据,故图 2 只显示了 1961—1995 年的情况。

Note: As the data of sorghum production from 1996—2000 are missing, only the situation of that from 1961—1995 is shown in the figure.

图 2 农作物生产波动指数与降水变异系数的关联性(1961—2000 年)

Fig-2 The correlation between crop production fluctuation index and precipitation CV(1961—2000)

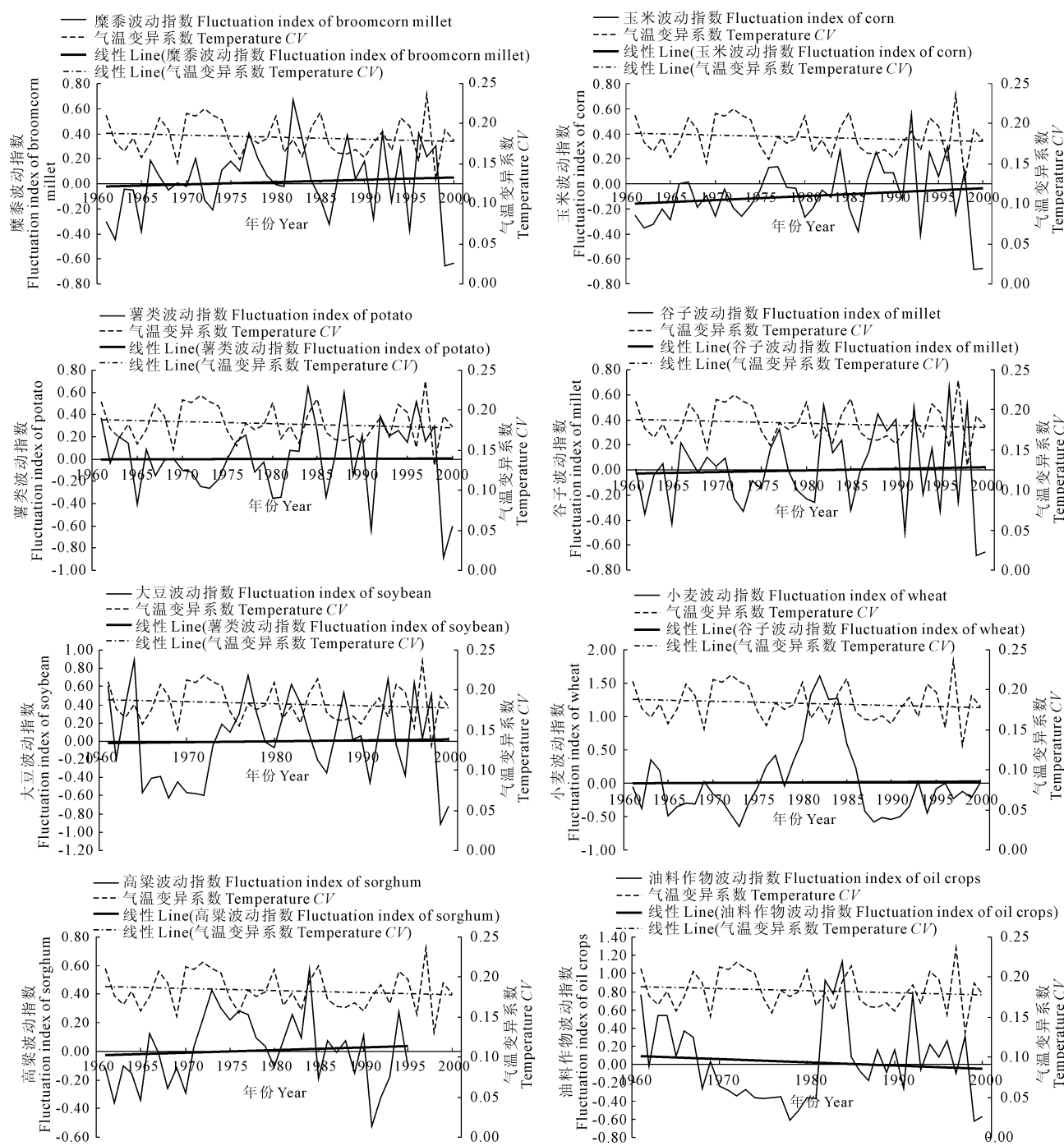


图 3 农作物生产波动指数与气温变异系数的关联性(1961—2000 年)

Fig. 3 The correlation between crops production fluctuation index and temperature CV(1961—2000)

由图 3 可知,总体而言,农作物生产波动指数与气温变异系数表现出较为一致的变动态势。具体地说,气温变异系数偏离趋势值较小的年份,农作物生产波动指数绝对值亦相对较小;反之亦然。如 1970—1974、1997、1998 年等,气温变异系数偏离趋势值较大,农作物生产波动指数绝对值亦较大,说明这些年份农作物单产远偏离正常值(要么增产,要么大幅度减产)。20 世纪 90 年代,气温变异特别明

显,这些年份农作物生产波动也相对突出。

3.3.2 农作物气候产量与生长季旬平均气温的相关性 专家预测^[2],气候变暖将使中国种植业生产能力未来 20 年下降 5%~10%。运用 SPSS13.0 统计软件,分析 1961—2000 农作物的气候产量与旬平均气温的相关性(见表 4),发现:

(1) 糜黍的气候产量与 6 月上旬、8 月下旬平均气温在 0.05 水平上显著负相关,说明 6 月上旬平均气温的升高,可能使糜黍减产。

(2) 玉米的气候产量与 8 月中旬平均气温在 0.05 水平上显著负相关,说明 8 月中旬平均气温的升高,可能使玉米减产。

(3) 薯类的气候产量与 7 月中旬、8 月上中旬平均气温在 0.05 水平上显著负相关,说明 7 月中旬、8 月上中旬平均气温的升高,可能使薯类减产。

(4) 谷子的气候产量与 8 月上、中、下旬平均气温在 0.05 水平上显著负相关,说明整个 8 月平均气温的升高,可能使谷子减产。

(5) 大豆的气候产量与 7 月中旬平均气温在 0.05 水平上显著负相关,说明 7 月中旬平均气温的升高,可能使大豆减产。

(6) 小麦的气候产量与 7 月上旬、8 月下旬和 9 月上旬的平均气温在 0.05 水平上显著负相关,说明 7 月上旬、8 月下旬和 9 月上旬平均气温的升高,可能使小麦减产。

(7) 高粱的气候产量与 8 月下旬平均气温在 0.05 水平上显著负相关,说明 8 月下旬平均气温的升高,可能使高粱减产。

3.3.3 农作物气候产量与生长季旬最低气温的相

关性 农作物的正常生长对最低气温较为敏感。分析气候产量与最低气温的相关性(见表 4)有助于加强田间管理,预防低温冷害。

(1) 薯类的气候产量与 8 月上旬最低气温在 0.05 水平上呈正相关,说明此类农作物的气候产量可能随最低气温的升高相应增加,意即 8 月上旬,若最低气温过低,对薯类生产较为不利。

(2) 小麦的气候产量与 7 月中旬最低气温在 0.05 水平上负相关,说明 7 月中旬最低气温的过高,可能使小麦减产。

(3) 油料作物的气候产量与 5 月下旬最低气温在 0.05 水平上正相关,说明此类农作物的气候产量可能随最低气温的升高,相应增加,意即 5 月下旬,若最低气温过低,对油料作物的生产较为不利。

3.3.4 农作物气候产量与生长季旬最高气温的相关性 对陆地生态来说,最高和最低温度的变化对环境 and 植物生理活动有着更重要的作用,高温低湿并伴随一定风速的干热风天气,对作物生长、灌浆是非常不利的^[30]。本研究结果亦印证了这一点(见表 4)。

表 4 农作物气候产量与旬尺度降水、气温的相关性									
Table 4 The correlation between crop climatic yield and ten-day scale precipitation and temperature									
月 Month	旬 Ten-day	糜黍 Broomcorn millet	玉米 Corn	薯类 Potato	谷子 Millet	大豆 Soybean	小麦 Wheat	高粱 Sorghum	油料 Oil crops
5 May	上 First								
	中 Middle	$T_{\max}^{-}$	$T_{\max}^{-}$	$T_{\max}^{-}$	$T_{\max}^{-}$	$T_{\max}^{-}$			$T_{\max}^{-}$
	下 Last								$T_{\min}^{+}$
6 June	上 First	T^{-}							
	中 Middle								
	下 Last							R^{+}	
7 July	上 First						$T^{-}, T_{\max}^{-}$	R^{+}	
	中 Middle			T^{-}		$T^{-}, T_{\max}^{-}$	$T_{\min}^{-}$		
	下 Last		$T_{\max}^{-}$	$T_{\max}^{-}$	S_h^{-}	$T_{\max}^{-}$			
8 Aug.	上 First	R^{+}	R^{+}	$R^{+}, T^{-}, T_{\min}^{+}$	R^{++}, T^{-}				
	中 Middle		T^{-}	$T^{-}, T_{\max}^{-}$	T^{-}	$T_{\max}^{-}$			
	下 Last	T^{-}		$T_{\max}^{-}$	$T^{-}, T_{\max}^{-}$		T^{-}	$T^{-}, T_{\max}^{-}$	$T_{\max}^{-}$
9 Sep.	上 First		$T_{\max}^{-}$				$T^{-}, T_{\max}^{-}$		
	中 Middle								
	下 Last								

注:表中 R^{+} 表示农作物气候产量与降水量在 0.05 水平上显著正相关; T^{-} 表示农作物气候产量与平均气温在 0.05 水平上显著负相关; $T_{\max}^{-(-)}$ 表示农作物气候产量与最高气温在 0.05(0.01)水平上显著负相关; $T_{\min}^{+(-)}$ 表示农作物气候产量与最低气温在 0.05 水平上显著相关。

Note: R^{+} represents the significant positive correlation between crop climatic yield and precipitation at 0.05 level; T^{-} represents the significant negative correlation between crop climatic yield and mean temperature at 0.05 level; $T_{\max}^{-(-)}$ represents the significant negative correlation between crop climatic yield and maximum temperature at 0.05(0.01) level; $T_{\min}^{+(-)}$ represents the significant correlation between crop climatic yield and minimum temperature at the 0.05 level.

(1) 糜黍的气候产量与5月中旬最高气温在0.05水平上负相关,说明5月中旬最高气温过高,可能使糜黍减产。

(2) 玉米的气候产量与5月中旬最高气温在0.01水平上负相关;与7月下旬、9月上旬最高气温在0.05水平上负相关,说明这些旬最高气温过高,可能使玉米明显减产。

(3) 薯类的气候产量与5月中旬最高气温在0.01水平上负相关;与7月下旬、8月中下旬最高气温在0.05水平上负相关,说明这些旬最高气温过高,可能使薯类明显减产。

(4) 谷子的气候产量与5月中旬、8月下旬最高气温在0.05水平上负相关,说明这些旬最高气温过高,可能使谷子减产。

(5) 大豆的气候产量与5月中旬、7月中旬最高气温在0.01水平上负相关;与7月下旬、8月中旬最高气温在0.05水平上负相关,说明这些旬最高气温过高,可能使大豆明显减产。

(6) 小麦的气候产量与7月上旬、9月上旬最高气温在0.05水平上负相关,说明这些旬最高气温过高,可能使小麦减产。

(7) 高粱的气候产量与8月下旬最高气温在0.05水平上负相关,说明8月下旬最高气温过高,可能使高粱减产。

(8) 油料作物的气候产量与5月中旬、8月下旬最高气温在0.05水平上负相关,说明这些旬最高气温过高,可能使油料作物减产。

综上所述,农作物生产对降水量特别敏感的旬是6月下旬、7月上旬和8月上旬;对最高气温较为敏感的旬是5月中旬、7月下旬和8月下旬;对平均气温较为敏感的旬是7月中旬、8月上、中、下各旬;对最低气温较为敏感的旬是5月下旬、7月中旬和8月上旬。总体而言,7、8月份的气候旬变异对农作物的气候产量影响显著。因此这期间特别需要加强旱作区的田间管理,以满足农作物的正常生长需要。

4 结论与讨论

本文利用皇甫川流域1961—2000年生长季的降水、气温数据、农作物播种面积和总产量数据等,计算出生长季旬降水量、旬平均气温、旬最低气温、旬最高气温及降水、气温变异系数、农作物单产波动指数及气候产量,深入分析了作物生产对旬尺度降

水变异、气温变异的响应。研究结果表明:

第一,对皇甫川流域降水变异系数、气温变异系数的计算分析说明,皇甫川流域生长季降水、气温在旬尺度上均表现出明显的波动性特征。受其影响,农作物的气候产量亦呈波动性变化。但不同农作物对旬尺度降水变异和气温变异的响应程度不同;同一种农作物对不同旬的降水变异和气温变异的响应亦不同。说明农作物的生产功能与其生理生态特征、降水旬变异和气温旬变异等都有紧密联系。

第二,农作物生产波动指数与旬尺度降水变异系数表现出较为一致的变化态势。同时,生长季降水变异系数偏离趋势值较小的年份,农作物生产波动指数绝对值也相对较小;而生长季降水变异系数偏离趋势值较大的年份,农作物生产波动指数绝对值也相对较大。对农作物气候产量与生长季旬降水量的相关性研究表明,8月上旬降水量多少在较大程度上决定着糜黍、玉米、薯类和谷子等农作物的气候产量高低,或者说8月上旬降水量的丰缺对皇甫川流域主要农作物的气候产量有明显正效应。此外,6月下旬和7月上旬降水量的多少对高粱的气候产量有决定性的影响。皇甫川流域降水主要集中于每年的6~9月^[19],然而历时短,强度大^[31],并且很快以暴雨径流和蒸发损失掉,能下渗到土壤中被作物吸收的不多,即每年7、8月份的土壤水分含量就成为流域农作物生产的主要限制性因子。因此,需进一步加强农业工程设施建设,增加地表植被覆盖,增加降雨就地入渗,以保障农作物生长需水。

第三,农作物生产波动指数与气温变异系数表现出较为一致的变动态势。具体地说,气温变异系数偏离趋势值较小的年份,农作物生产波动指数绝对值亦相对较小;反之亦然。农作物气候产量与生长季旬平均气温、旬最低气温和旬最高气温的相关性研究都表明,5月中旬和7、8月份不同旬气温(尤其是最高气温)升高,可能使皇甫川流域农作物的气候产量不同程度降低。有研究表明,气候变暖加剧了我国北方地区的旱情,农业灌溉受到很大的影响,同时温度愈高,生长期愈长,害虫繁殖愈快,也容易成灾,增加了控制的难度^[32-33]。皇甫川流域气候的暖干化^[19]将进一步加剧这种影响。因此,需要加强生态环境建设,降低农业生产对气候变化的敏感性,同时从实际出发,发展特色农业、旱作农业和生态农业^[34]

综上所述,皇甫川流域农作物生产对生长季降水量特别敏感的旬是 6 月下旬、7 月上旬和 8 月上旬;对最高气温较为敏感的旬是 5 月中旬、7 月下旬和 8 月下旬;对平均气温较为敏感的旬是 7 月中旬、8 月上、中、下各旬;对最低气温较为敏感的旬是 5 月下旬、7 月中旬和 8 月上旬。总体而言,7、8 月份的气候变异对农作物的气候产量影响显著,因此这期间特别需要加强旱作区的田间管理,以满足农作物的正常生长需要。此外,农业生态系统生产功能受到农作物生理生态特征、自然条件、社会经济发展水平(国家农业政策制度、物质资料投入和科技水平)等的综合影响。自然条件的变化非人力所能改变,但通过农作物生产对旬尺度降水、气温的响应研究,基本明确了影响皇甫川流域农作物气候产量的主要旬,为田间作物管理提供了依据。

参考文献:

- [1] 韩永翔,董安祥,王卫东.气候变暖对中国西北主要农作物的影响[J].干旱地区农业研究,2004,22(4):39-43.
- [2] 张 舵,王 建.气候变暖将使中国水稻玉米小麦等作物产量下降[J].北京农业,2009,(7):47.
- [3] 张谋草,段金省,李 宗,等.气候变暖对黄土高原区农作物生长和气候生产力的影响[J].资源科学,2006,28(6):46-50.
- [4] 高 蓉,张燕霞,石圆圆,等.西北干旱半干旱过渡区近 50 年气候变化特征分析及对粮食产量的影响[J].安徽农业科学,2009,37(14):6493-6497,6519.
- [5] 李 广,黄高宝.北方农牧交错带气候变化对农作物生产力影响的诊断分析——以定西县为例[J].干旱区资源与环境,2006,20(1):104-107.
- [6] Yuan Bin, Guo Jian-ping, Zhao Jun-fang, et al. Possible impacts of climate change on agricultural production in China and its adaptation countermeasures [J]. Agricultural Science & Technology, 2011, 12(3):420-425.
- [7] Na Ji-hai, Guo Shi-you, Hou Xu-ming. Cold/warm change characteristics in crop growing season in Heilongjiang Province during 1961—2009[J]. Agricultural Science & Technology, 2011, 12(6):914-919.
- [8] 孙 武,吴 薇.内蒙古高原东南部降水驱动的农业系统波动性分析[J].植物生态学报,2002,26(1):23-28.
- [9] 刘德祥,董安祥,邓振镛.中国西北地区气候变暖对农业的影响[J].自然资源学报,2005,20(1):119-125.
- [10] 王 静,杨晓光,李 勇,等.气候变化背景下中国农业气候资源变化Ⅵ.黑龙江省三江平原地区降水资源变化特征及其对春玉米生产的可能影响[J].应用生态学报,2011,22(6):1511-1522.
- [11] 姚玉璧,王润元,杨金虎,等.黄土高原半干旱区气候变化对春小麦生长发育的影响——以甘肃定西为例[J].生态学报,2011,31(15):4225-4234.
- [12] 杜瑞英,杨武德,许吟隆,等.气候变化对我国干旱、半干旱区小麦生产影响的模拟研究[J].生态科学,2006,25(1):34-37.
- [13] 姚玉璧,邓振镛,王润元,等.气候暖干化对甘肃马铃薯生产的影响[J].干旱地区农业研究,2006,24(3):16-20.
- [14] 高永刚,那济海,顾 红,等.黑龙江省马铃薯气候生产力特征及区划[J].中国农业气象,2007,28(3):275-280.
- [15] 蒲金涌,姚小英,辛昌业,等.甘肃糜子(*Panicum miliaceum* L.)生态气候适宜性研究[J].干旱地区农业研究,2010,28(1):223-227.
- [16] 姚小英,邓振镛,蒲金涌,等.甘肃省糜子生态气候研究及适生种植区划[J].干旱气象,2004,22(2):52-56.
- [17] 潘根兴,高 民,胡国华,等.气候变化对中国农业生产的影响[J].农业环境科学学报,2011,30(9):1698-1706.
- [18] 裴国旺,赵艳霞,王石立.气候变化对我国北方农牧交错带及其气候生产力的影响[J].干旱区研究,2001,18(1):23-28.
- [19] 高清竹,江 源,李立业.黄河中游砒砂岩地区皇甫川流域气候变化特征分析[J].干旱区资源与环境,2005,19(1):116-121.
- [20] 孙玉杰,徐梦洁,刘 勤,等.封丘县粮食产量波动性与关联因素分析[J].江西农业大学学报(社会科学版),2007,6(2):63-66.
- [21] 王吉恒,吴勇清.黑龙江粮食生产波动性分析[J].黑龙江八一农垦大学学报,2001,13(2):116-121.
- [22] 朱 泽.中国粮食安全状况研究[J].中国农村经济,1997,(5):26-33.
- [23] 张越杰,王 军.吉林省粮食产量波动分析[J].农业技术经济,2007,(3):74-79.
- [24] 罗光强,曾 伟.中国水稻产出的区域性波动及其协定性研究[J].农业现代化研究,2007,28(1):88-92.
- [25] 邓小华,周冀衡,李晓忠,等.烤烟质量与焦油量的灰色关联分析[J].江西农业大学学报,2006,28(6):850-854.
- [26] 王位泰,张天锋,姚玉璧,等.黄土高原夏半年降水气候变化特征及对作物产量的影响[J].干旱地区农业研究,2008,26(1):154-159.
- [27] 蒲金涌,张存杰,赵红岩,等.干旱对陇东及陇东南地区粮食产量的影响评估[J].华北农学报(增刊),2008,23:163-166.
- [28] 白雅梅.马铃薯的需水特性及水分胁迫对其生理特性的影响[J].马铃薯杂志,1999,13(2):117-120.
- [29] 肖俊夫,刘战东,段爱旺,等.中国主要农作物全生育期耗水量与产量的关系[J].中国农学通报,2008,24(3):430-434.
- [30] 王 菱,谢贤群,苏 文,等.中国北方地区 50 年来最高和最低气温变化及其影响[J].自然资源学报,2004,19(3):337-343.
- [31] 赵卫民,刘晓伟,王庆斋.黄河流域典型水文分区产流研究[M].郑州:黄河水利出版社,2006.
- [32] 李艳丽.全球气候变化研究初探[J].灾害学,2004,19(2):87-91.
- [33] 王建源,薛德强,邹树峰,等.气候变暖对山东省农业的影响[J].资源科学,2006,28(1):163-168.
- [34] 郑有飞,牛鲁燕.气候变暖对我国农业的影响及对策[J].安徽农业科学,2008,36(10):4193-4195,4215.

Analysis of climate variability in ten-day scale during crop growing season and its effect on crop yield in Huangfuchuan Basin of Inner Mongolia

SUN Te-sheng¹, LI Bo¹, ZHANG Xin-shi^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resources Ecology, College of Resources Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. Laboratory of Quantitative Vegetation Ecology, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China)

Abstract: Huangfuchuan basin belongs to semiarid region in northern China, where crop production has a significant vulnerability owing to climate change. Precipitation and temperature data during the growing season, crop acreage and production data from 1961—2000 in Huangfuchuan basin are used to analyze the response of crop production to precipitation CV and temperature CV. The results show that, excluding the impact of socio-economic factors, the response of crop production to ten-day precipitation CV and temperature CV is significant, but for different crops and ten-days, the response is different; During the first ten days of August, the abundance of rainfall has significant positive effect on climatic yield of main crops such as broomcorn millet, corn, potato, millet etc, while during the last ten days of June and the first ten days of July, the amount of precipitation has decisive impact on climatic yield of sorghum; The climatic yield of main crops may reduce if the maximum temperature during the middle ten days of May, and the mean, minimum and maximum temperature of all days during July and August rise. Therefore, it is particularly important and necessary to improve the ecological environment, especially strengthening dry-zone field management during the growing season (mainly July and August) and to reduce the sensitivity of agricultural production to climate change.

Keywords: climate change; coefficient of variability; climatic yield; fluctuation index; Huangfuchuan basin

(上接第 183 页)

Effect of exogenous hormones on main quality indices, yields and output value of tobacco in arid plateau of East Gansu

ZHANG Wen-ming^{1,2}, QIU Hui-zhen^{1,2*}, HE Xiu-cheng³, HU Juan⁴,
ZHANG Chun-hong^{1,2}, LI Ya-juan⁵, HAI Long^{1,2}

(1. College of Resources and Environmental Sciences, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China;

2. Gansu Provincial Key Lab of Aridland Crop Science, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China;

3. College of Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China; 4. Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun, Jilin 130030, China; 5. College of Prataculture, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: Low potassium (K) and high nicotine content of tobacco have restricted the development of tobacco production in East Gansu. Based on a field experiment, the effects of seven kinds of exogenous hormones after topping on the contents of potassium and nicotine in tobacco were studied in Zhengning of Qingyang in Gansu Province. The result showed that topping decreased K content and increased nicotine content significantly, and daubing seven kinds of exogenous hormones after topping could increase K content and decrease nicotine content obviously. Moreover, seven kinds of exogenous hormones had different effects on K and nicotine content. Compared with topping, GA had the best effect, which increased K content by 42.2%, 46.5% and 56.4% in upper, middle and lower leavers respectively and made it up to over 3%, and the content of nicotine deceased to optimum value (2.5% in upper and middle leavers and 1.8% in lower leavers), The effect of 2, 4-D was less effective. Daubing seven kinds of exogenous hormones after topping could increase yield, average price, ratio of mid-high grade leaves and output value of tobacco, and GA, CTK and CEPA had better effect, while 2, 4-D slightly decreased yield, average price, ratio of mid-high grade leaves and output value of tobacco. This indicated that suitable exogenous hormones could achieve high potassium and low nicotine content, resulting in the improvement of quality, yield and output value of flue-cured tobacco in East Gansu.

Keywords: tobacco; exogenous hormones; quality indices; output value