气候变化对宁夏自治区中卫市环香山地区气候生产潜力的影响

余海龙[1], 赖荣生[1], 黄菊莹[2]

(1. 宁夏大学 资源环境学院, 宁夏 银川 750021; 2. 宁夏大学 新技术应用研究开发中心, 宁夏 银川 750021)

摘 要: 根据宁夏回族自治区中卫市兴仁气象站 1961—2008 年逐月气温、降水数据,采用 Miami 和 Thornthwaite Memorial 模型模拟了中卫市环香山地区气候生产潜力及其变化。结果表明: (1) 环香山地区气候向"暖干型"方向变化,年平均气温呈明显上升趋势,降水量变化波动大,呈逐年递减的趋势; (2) 温度生产潜力逐年增加,降水生产潜力和气候生产潜力呈波动中减少的趋势; (3) 气候生产潜力与年平均降水量具有着极其显著的线性相关关系,与年平均气温没有明显的相关性,温度生产潜力分别是降水生产潜力和气候生产潜力的 2.79 和 2.35 倍,说明降水条件是制约环香山地区气候生产潜力的关键因子; (4) 对未来气候进行情景模拟分析,结果表明环香山地区气候主要以"暖干型"气候为主,这对当地农业生产极为不利,需大力发展节水农业技术以保证农业生产。

关键词: 气候变化; 气候生产潜力; 环香山地区

文献标识码: A **文章编号**: 1000-288X(2014)04-0291-05 **中图分类号**: S162.3, P467

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.04.070

Influence of Climate Change on Climatic Potential Productivity Around Xiangshan Mountain Area in Zhongwei City of Ningxia Hui Autonomous Region

YU Hai-long[1], LAI Rong-sheng[1], HUANG Ju-ying[2]

(1. *College of Resources and Environment, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia* 750021, *China*;
2. *Center of New Technology Application and Research, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia* 750021, *China*)

Abstract: Based on monthly data of the mean temperature and precipitation during 1961—2008 from the Xingren Meteorological Station in Zhongwei City, Ningxia Hui Autonomous Region, the climate potential productivity and its changes were calculated by using the Miami model and Thornthwaite Memorial model. The results indicated that: (1) The average temperature clearly tended to increase, and the precipitation fluctuated significantly and tended to decrease, which showed that the climate type becoming warm and dry. (2) The temperature potential productivity increased year by year while the precipitation potential productivity and climate potential productivity decreased with fluctuation. (3) The precipitation was highly linearly related to climate potential productivity, but average temperature had no obvious linear correlation to climate potential productivity. The average temperature potential productivity was 2.79 and 2.35 times of that of the precipitation and climate, which indicated that precipitation was the key factor that restricted the climate potential productivity around Xiangshan Mountain. (4) Through scenario analysis of future climate changes, it is found to be warm-dry-type climate as a whole, which is unfavorable for agricultural production around Xiangshan Mountain. Thus, the technology of water-saving agriculture should be rapidly developed to ensure the agricultural production.

Keywords: climate change; climate potential productivity; around Xiangshan Mountain area

气候生产潜力是指在充分和合理利用当地的光、热、水气候资源,而其它条件(如土壤、养分、CO_2 等)处于最适宜状况时单位面积土地上获得的最高生物学产量或农业产量[1],它定量表征了该地区气候资源

收稿日期: 2013-05-22 **修回日期**: 2013-07-21

资助项目: 宁夏自然科学基金项目"宁夏中部砂田土壤大孔隙特征及其对土壤水文过程的影响研究"(NZ1128); 国家自然科学基金项目(41261068)

作者简介: 余海龙(1979—),男(汉族),甘肃省酒泉市人,博士,副教授,主要从事干旱半干旱区生态恢复与治理方面的工作。E-mail: yhl@nxu.edu.cn。

状况、气候要素配置以及具备的农业基础潜力。气候生产潜力可以分为光合生产潜力、光温生产潜力和光温水生产潜力 3 个层次。显然，气温、降水等气候因子是影响气候生产潜力的主要气象因子，气候变化紧紧地与作物气候生产潜力变化联系在一起，其数值变化必将影响气候生产潜力变化。

近百年来，以全球变暖为主要特征的全球气候变化对我国气候产生重大影响，特别是对中国北方生态脆弱地带的影响更为明显[2]。农业是对气候变化反应最敏感和复杂的产业[3-5]。20 世纪 80 年代以来，全球气候变暖显著，温度、降水等气候因子发生了不同程度变化与波动，使得研究农业气候生产潜力的变化更具实际意义。鉴于此，本研究以宁夏自治区沿黄灌区中卫市环香山地区为对象，着重分析该区域近 48 a 来气候变化特征及其对气候生产潜力的影响。根据多年气象资料，应用 Miami 和 Thornthwaite Memorial 模型分析环香山地区温度生产潜力、降水生产潜力和气候生产潜力及其变化特征，探讨气候生产潜力与气候因子的关系，并确定其限制因子，深入研究气候变化对气候生产潜力的影响，为充分利用气候资源，提高作物产量及即将进行的“沿黄经济区”的农业发展规划提供理论依据。

1 研究区概况

环香山地区地处宁夏中部干旱带土石山区，平均海拔 1 760 m，总面积 1 124 km^2，约占中卫市国土面积的 1/3；光照资源丰富，昼夜温差大，无霜期 155 d 左右，年平均太阳总辐射量为 6.0×10^9 J/m^2；年平均温度 6.8 ℃，≥10 ℃积温为 2 332 ℃；年平均降水量 247.4 mm，多集中于 7—9 月，且多暴雨，年蒸发量 2 100～2 400 mm，约为降水量的 8～10 倍。由于该区降水稀少，干旱频发，风沙大，土壤侵蚀严重等原因，导致作物产量水平低且不稳定。环香山地区地形起伏较大，地貌类型分为沙漠、黄河冲积平原、台地、山地和盆地 5 种较大的地貌单元。土地类型多以砂地、荒地、未开耕的台地为主。近年来作为特色农业发展区域，其经济作物种植以硒砂瓜、设施蔬菜为主，特色林果产业以枸杞、红枣为主。截止 2008 年，以种植硒砂瓜为主的种植基地面积已达 6.7×10^4 hm^2，形成以兴仁镇、香山乡为中心，辐射沙坡头区、中宁县、海原县等。目前已成为中国最大的压砂瓜产区，并取得了显著社会、经济和生态效益。

2 资料来源与研究方法

2.1 资料来源

数据采用中卫环香山地区唯一气象站兴仁站气温和降水量资料(1961—2008 年)，该时段内数据完整，无缺失。

2.2 研究方法

气候生产潜力计算方法很多，如 Miami 模型、蒙特利尔模型等。Miami 和 Thornthwaite Memorial 模型具有数据获取容易，参数简单，实用性强，准确率较高等特点，能够较为准确地分析研究区气候生产潜力及其变化趋势[6-9]。因此，应用 Miami 和 Thornthwaite Memorial模型对环香山地区生产潜力进行估算。

2.2.1 Miami 模型 作物生产潜力除受品种、土壤、栽培技术等因素影响外，主要受气候条件的影响，温度和降水量是制约作物生长及其生物量形成的重要因子，可以单独或共同作用于作物生长发育过程[10]。应用 Miami 模型分析研究区年平均降水量和气温数据，可以计算温度生产潜力 Y_T 和降水气候生产潜力 Y_R，其计算公式为：

$$Y_T=30\ 000/(1+e^{1.315-0.119T}) \tag{1}$$

$$Y_R=30\ 000\times(1-e^{-0.000\ 664R}) \tag{2}$$

式中：T——年平均气温(℃)；R——年平均降水量(mm)；e=2.718 3；Y_T，Y_R——根据年平均气温和降水量计算的温度生产潜力和降水生产潜力〔kg/(hm^2·a)〕。

2.2.2 Thornthwaite Memorial 模型 Lieth[11]根据作物产量与年平均降水量、气温和蒸发量之间的关系，建立了一种运用实际蒸散量估算气候生产潜力的经验统计模型，即 Thornthwaite Memorial 模型。该模型充分考虑了光、热、水气候因素对作物干物质积累的综合作用，定量表征了作物产量与气温、降水量和蒸发量等要素的关系。其计算公式为：

$$Y_e=3000\times[1-e^{-0.000\ 969\ 5(V-20)}] \tag{3}$$

$$V=1.05R/\sqrt{1+(1.05R/L)^2} \tag{4}$$

$$L=300+25\times T+0.05\times T^3 \tag{5}$$

式中：L——年平均最大蒸发量(mm)；V——年蒸散量(mm)；Y_e——气候生产潜力〔kg/(hm^2·a)〕。

2.2.3 Liebig 定律 在估算气候生产潜力时，根据 Liebig 限制因子定律，选取温度生产潜力、降水生产潜力和气候生产潜力 3 者中较低值作为研究区生产潜力的标准值，并探讨制约气候生产潜力的关键因子。表达式为：

$$Y=\min(Y_T,Y_R,Y_e) \tag{6}$$

式中：Y——生产潜力标准值〔kg/(hm^2·a)〕；Y_T，Y_R，Y_e——温度，降水和气候生产潜力〔kg/(hm^2·a)〕。

3 结果与分析

3.1 环香山地区气候变化分析

环香山地区近 48 a 来平均气温、降水量逐年变

化和线性趋势如图 1 所示。由图 1 可以看出,该区域气候呈"暖干型"趋势变化,这与张智、陈豫英、袁海燕等[12-14]研究相一致,证实了宁夏地区现阶段正处于气温升高,降水减少的暖干阶段。

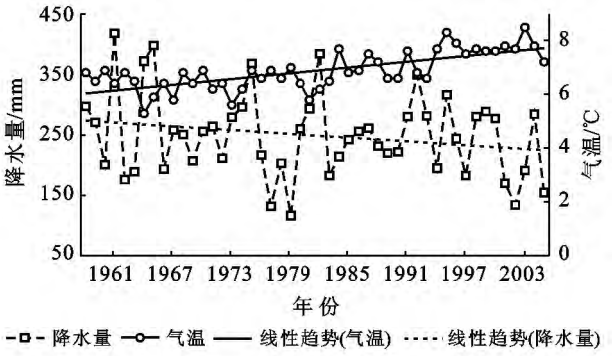


图 1　环香山地区年平均气温和降水量变化趋势

3.1.1　气温变化特征　近 48 a 来环香山地区年平均气温呈波动上升趋势,这与全球变暖趋势一致,平均以 0.375 ℃/10 a 的速度递增,高于全国平均增温率(0.22 ℃/10 a)。研究区多年平均气温为 6.88 ℃,最小值和最大值分别为 5.3 和 8.5 ℃,变异系数为 0.102 6,表明其变化波动相对较小;1961—1989 年平均气温为 6.49 ℃,气温距平值均为负值,其值为 0.39 ℃,1967 年出现最小值(5.3 ℃);1990 年以来升温明显,平均年气温为 7.48 ℃,高于 1989 年以前平均值 0.99 ℃,除 1992,1993,1995 和 1996 年外,均高于多年平均气温值,2006 年出现最高值(8.5 ℃)。

3.1.2　降水量变化特征　近 48 a 来环香山地区年平均降水量变化波动很大,总体呈递减趋势,平均以 10.375 mm/10 a 的速度递减。全区多年平均降水量为 249.3 mm,变异系数为 0.278 0,其中最大值和最小值为 417.4mm(1964 年)和 116 mm(1982 年),最大值为最小值的 3.6 倍,表明降水量年际变化波动显著;1994 年以后减少趋势更加明显,平均以 79.644 mm/10 a 的速度递减,远高于平均递减值;春季(3—5 月)平均降水量为 45.3 mm,夏季(6—8 月)平均降水量为 143.5 mm,约占全年降水量的 58%,秋季(9—11 月)平均降水量为 56.4 mm,冬季(12 至翌年 2 月)平均降水量为 4.1 mm,仅占年平均降水量的 1.645%,表明环香山地区降水量年内分布极不平均。这与研究区地处内陆深处,距海遥远,受海洋水汽影响小等因素有关。

3.2　环香山地区温度生产潜力、降水生产潜力和气候生产潜力分析

3.2.1　温度生产潜力和降水生产潜力分析　应用 Miami 模型对环香山地区温度生产潜力和降水生产潜力进行分析,其结果如图 2 所示。温度生产潜力多年平均值为 1.27×10^4 kg/(hm^2 · a),呈逐年递增的趋势,平均每 10 a 以 311.41 kg/(hm^2 · a)的速度递增。降水生产潜力多年平均值为 4 550.10 kg/(hm^2 · a),总体呈波动减少的趋势,平均每 10 a 以 170.94 kg/(hm^2 · a)的速度递减;变异系数为 25.5%,1962 年达到最大值,为 7 261.90 kg/(hm^2 · a),1982 年达到最小值,为 2 223.99 kg/(hm^2 · a),仅占最大值的30.6%和多年平均值的 48.9%,表明环香山地区降水生产潜力年际变化波动明显;1961—2008 年降水生产潜力均低于温度生产潜力,多年平均值仅为温度生产潜力多年平均值的 35.9%,表明环香山地区热量资源丰富,降水不足是制约降水生产潜力的主要因素。

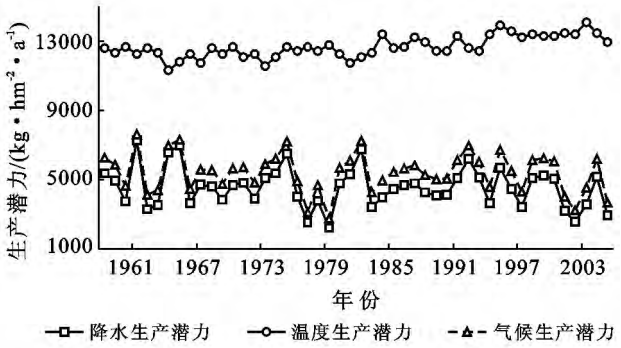


图 2　环香山地区的温度生产潜力、降水生产潜力和气候生产潜力变化趋势

3.2.2　气候生产潜力分析　应用 Thornthwaite Memorial 模型对环香山地区气候生产潜力进行分析,其结果如图 2 所示。由图 2 可知,该区平均气候生产潜力为 5 399.12 kg/(hm^2 · a),总体呈一定的递减趋势,平均每 10 a 以 126.59 kg/(hm^2 · a)的速度递减;变异系数为 20.93%,1982 年达到最大值,为 7 604.24 kg/(hm^2 · a),高出多年平均值达 40.8%,最小值出现在 1964 年,为 2 725.21 kg/(hm^2 · a),仅为多年平均值的 50.5%和最大值的 35.8%,表明气候生产潜力的年际变化波动明显。

3.2.3　气候生产潜力与气候要素的关系　根据 Liebig 限制因子定律,以温度、降水量作为参考,选取温度、降水和气候生产潜力 3 者中较低值作为研究区气候生产潜力的标准值,并确定制约环香山地区气候生产潜力的关键因子。由表 1 可知,降水生产潜力为 4 550.10 kg/(hm^2 · a),小于气候生产潜力值〔5 399.12 kg/(hm^2 · a)〕和温度生产潜力值〔12 678.03 kg/(hm^2 · a)〕,应选取降水生产潜力作为研究区气候生产潜力的标准值;气候生产潜力与年平均降水量、气温相关系数分别为 0.983 3 和 −0.245 7,

表明气候生产潜力与年平均降水量有着极其显著的线性相关，与平均气温没有明显的相关性；温度生产潜力远大于降水生产潜力和气候生产潜力，分别是降水生产潜力和气候生产潜力的 2.79 和 2.35 倍，表明环香山地区降水条件相对于热量供给明显不足，降水量是气候生产潜力最主要的限制因子。

表 1 气候生产潜力与气候要素相关性分析

数据分析	T/℃	R/mm	Y_T/(kg·hm^{-2}·a^{-1})	Y_R/(kg·hm^{-2}·a^{-1})	Y_e/(kg·hm^{-2}·a^{-1})	Y/(kg·hm^{-2}·a^{-1})
数值	6.88	249.30	12 678.03	4 550.10	5 399.12	4 550.10
变异系数 C_v	0.102 6	0.278 0	0.048	0.255 0	0.2093	0.255 0
与 Y_e 的相关性	−0.245 7	0.983 3	−0.243 6	0.988 0	1	0.988 0

注：T 代表温度；R 代表降水量；Y_T，Y_R，Y_e 代表温度生产潜力、降水生产潜力和气候生产潜力；Y 代表生产潜力标准值。

3.3 气候变化对环香山地区气候生产潜力的影响

3.3.1 气候生产潜力预测 通过对环香山地区气候生产潜力与年平均气温、降水量进行统计回归分析，可以得到一个表征年平均气温、降水量与气候生产潜力关系的二元一次回归方程，其方程式为：

$$Y_e=16.165r+85.077t+928.946 \quad (7)$$

式中：Y_e——气候生产潜力〔kg/(hm^2·a)〕；r——年平均降水量(mm)；t——年平均温度(℃)。

根据方程推算，当气温不变，降水量增加或减少 1 mm，气候生产潜力将增加或减少 85.077 kg/(hm^2·a)；当降水量不变，气温上升或减少 1 ℃，气候生产潜力将增加或减少 16.165 kg/(hm^2·a)。

3.3.2 环香山地区气候生产潜力对气候变化的响应 假设未来气候变化的 63 个情景，即气温变化 −3，−2，−1，0，1，2 和 3 ℃，降水量变化 −20%，−15%，−10%，−5%，0，5%，10%，15% 和 20%，则环香山地区气候生产潜力变化情况详见表 2。

由表 2 可知，气候生产潜力随年平均气温和降水量变化而变化，在单一要素不变的情况下，降水量变化对气候生产潜力的影响远大于气温变化的影响。在气候“暖湿型”变化情景下，气温升高 1 ℃，降水增加 5%，气候生产潜力将增加 5.19%；在“暖干型”变化情景下，气温升高 1 ℃，降水减少 5%，气候生产潜力将减少 2.28%；依此类推，在“冷干型”和“冷湿型”变化情景下，气候生产潜力将减少 2.19% 和增加 2.28%。

针对环香山地区，未来气候“暖湿型”变化对研究区气候生产潜力影响最为有利，平均增幅达 5.19%，而“暖干型”和“冷干型”变化对研究区气候生产潜力影响极为不利，平均减幅达 2.28% 和 5.19%。

表 2 年平均气温和降水量变化对环香山地区气候生产潜力的影响

气温变化/℃	降水量变化/%								
	−20%	−15%	−10%	−5%	0	+5%	+10%	+15%	+20%
−3	−19.30	−15.56	−11.83	−8.09	−4.36	−0.62	+3.11	+6.85	+10.58
−2	−17.84	−14.11	−10.38	−6.64	−2.91	+0.83	+4.56	+8.30	+12.03
−1	−16.39	−12.66	−8.92	−5.19	−1.45	+2.28	+6.02	+9.75	+13.49
0	−14.94	−11.20	−7.47	−3.74	0	+3.74	+7.47	+11.20	+14.94
+1	−13.49	−9.75	−6.02	−2.28	+1.45	+5.19	+8.92	+12.66	+16.39
+2	−12.03	−8.30	−4.56	−0.83	+2.91	+6.64	+10.38	+14.11	+17.84
+3	−10.58	−6.85	−3.11	+0.62	+4.36	+8.09	+11.83	+15.56	+19.30

相关研究[15]表明，近 100 a 来宁夏地区的气候主要以“暖干型”气候为主，这就意味着即使温度生产潜力逐年增加，但降水的逐渐减少，势必影响区域气候生产潜力的增幅。若气温升高 1～2 ℃，降水减少 10%～20%，气候生产潜力则减少 6.02%～12.03%。因此，需要通过调整农业种植制度和结构，合理安排农作物的布局来适应气候变化，保证农作物产量和品质。根据秦大河[16]预测，未来 50 a 我国北方可能呈“暖湿型”变化。杨侃等[17]预测结果显示未来 21 世纪末宁夏地区升温幅度可达 4～6 ℃，与全国平均的增温幅度大致相当，与升温趋势对应的是降水增加，至 21 世纪末宁夏地区的降水变化幅度约为 10%～40%。若气温升高 1～2 ℃，降水增加 10%～20%，气候生产潜力则增加 8.92%～17.84%。说明未来降水变化对研究区气候生产潜力和农业生产的限制作用更为显著。

4 结 论

(1) 通过对环香山地区近 48 a 来气候数据的统计分析,发现研究区气候呈"暖干型"变化趋势。年平均气温以 0.375 ℃/10 a 的速度递增,这与全球气候变暖趋势相一致,高于全国平均增温率 0.22 ℃/10 a(采用 1961—2008 年时段);年平均降水量波动变化大,总体呈递减趋势,平均以 10.375 mm/10 a 的速度递减。

(2) 根据 Miami 和 Thornthwaite Memorial 模型对环香山地区温度生产潜力、降水生产潜力和气候生产潜力进行分析。温度生产潜力呈明显增加趋势,降水生产潜力与气候生产潜力均呈波动中减少的趋势,气候生产潜力多年平均值为 5 399.12 kg/(hm^2 · a),并每 10 a 平均以 126.59 kg/(hm^2 · a)的速度递减。气候生产潜力与年平均降水量有着极其显著的线性相关(相关系数为 0.983 3),与年平均气温没有明显的显著相关性(相关系数为 −0.245 7),表明降水条件是制约环香山地区气候生产潜力的关键因子。

(3) 未来气候变化对气候生产潜力影响显著,"暖干型"气候变化对研究区气候生产潜力影响极为不利,"暖湿型"气候有利于研究区气候生产潜力提高和农业生产发展;未来降水量变化对气候生产潜力的影响强于气温变化的影响,说明降水对环香山地区气候生产潜力的限制作用将更为明显。

[参 考 文 献]

[1] 侯西勇. 1951—2000 年中国气候生产潜力时空动态特征[J]. 干旱区地理,2008,31(5):723-729.

[2] 秦大河,丁一汇,王绍武,等. 中国西部生态环境变化与对策建议[J]. 地球科学进展,2002,17(3):314-309.

[3] 张强,邓振镛,赵映东,等. 全球气候变化对我国西北地区农业的影响[J]. 生态学报,2008,28(3):1210-1218.

[4] 刘彦随,刘玉,郭丽英. 气候变化对中国农业生产的影响及应对策略[J]. 中国生态农业学报,2010,18(4):905-910.

[5] 王连喜,李菁,李剑萍,等. 气候变化对宁夏农业的影响综述[J]. 中国农业气象,2011,32(2):155-166.

[6] 高素华,潘亚茹,郭建平. 气候变化对植物气候生产力的影响[J]. 气象,1994,20(1):30-33.

[7] 侯光良,游松才. 用筑后模型估算我国植物气候生产力[J]. 自然资源学报,1990,5(1):60-64.

[8] 郭小芹,刘明春. 河西走廊近 40 a 气候生产潜力特征研究[J]. 中国沙漠,2011,31(5):1323-1329.

[9] 马甜,王俊波,张治华,等. 宁夏中部干旱带天然草地气候生产潜力研究[J]. 草地学报,2013,21(2):236-242.

[10] 陈国南. 迈阿密模型测算我国生物生产量的初步尝试[J]. 自然资源学报,1987,2(3):270-278.

[11] Lieth H, Box E O X. Evapotranspiration and primary productivity: Thornthwaite memorial model [J]. Climatology, 1972,25(2):37-46.

[12] 张智,林莉,梁培. 宁夏气候变化及其对农业生产的影响[J]. 中国农业气象,2008,29(4):402-405.

[13] 陈豫英,陈楠,郑广芬,等. 近 45 a 宁夏气温、降水及植被指数的变化分析[J]. 自然资源学报,2008,23(4):626-634.

[14] 袁海燕,张晓煜,徐华军,等. 气候变化背景下中国农业气候资源变化(Ⅴ):宁夏农业气候资源变化特征[J]. 应用生态学报,2011,22(5):1247-1254.

[15] 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.

[16] 秦大河. 中国西部环境演变评估综合报告[M]. 北京:科学出版社,2002:56-66.

[17] 杨侃,许吟隆,陈晓光,等. 全球气候模式对宁夏区域未来气候变化的情景模拟分析[J]. 气候与环境研究,2007,12(5):630-637.