

西藏一江两河流域作物气候生产力对气候变化的响应

杜 军¹, 胡 军², 周保琴³, 刘依兰¹, 左慧林⁴

(1. 西藏自治区气候中心, 西藏 拉萨 850001; 2. 拉萨市气象局, 西藏 拉萨 850001;
3. 西藏林芝地区气象局, 西藏 林芝 860000; 4. 西藏自治区气象局, 西藏 拉萨 850001)

摘 要: 根据 1961~2005 年年平均气温、降水量资料, 采用 Thornthwaite Memorial 模型计算了西藏一江两河流域作物气候生产力(P_v), 分析了 P_v 的变化趋势, 以及未来气候变化对 P_v 的影响。结果表明: 近 45 年西藏一江两河地区 P_v 呈二次项曲线变化趋势, 前 22 年(1961~1982)表现为不显著的减少趋势, 减幅为 $376.0 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot 10\text{a})$, 1983 年以来呈显著的增加趋势, 增幅为 $682.6 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot 10\text{a})$ 。20 世纪 60 年代流域气温偏低, 降水偏多, P_v 为正距平; 80 年代多干旱少雨年, P_v 最低, 为过去 40 年最低的 10 年; 90 年代雨水偏多, 气温偏高, 气候“暖湿”, 植物干物质积累多, P_v 达到最高。“暖湿型”气候对作物生产最有利, 平均增产 11.62%, 而“冷干型”气候对作物生产最不利, 平均减产 12.13%。未来“暖湿型”气候趋势, P_v 将有不同程度提高, 有利于生态环境改善。

关键词: 作物气候生产力; 气候变化; 西藏一江两河流域
中图分类号: S162.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2008)01-0141-05

气候变化对全球的自然生态系统以及社会经济体系具有深远的影响, 是当今各国政府和科学界乃至普通民众广泛关注的热点问题。IPCC 报告认为全球气候变化将对农业产生重大影响, 其中对一些区域的影响是不利的, 尤其是那些适应、调整能力差, 生产异常脆弱的地区^[1]。已有的研究表明, 青藏高原年平均温度的变化具有总体一致性, 从 20 世纪 60 年代以来一直是逐渐升温的^[2~6]。与气温变化相比, 青藏高原降水的变化要复杂得多, 其变化趋势不一致。近 30 年青藏高原降水大体上以增加的趋势为主, 但总体显著性水平不高^[7]。1962~1999 年高原冬春降水的增加主要发生在藏东和海南地区, 西藏雅鲁藏布江流域的汛期降水明显增多^[5]。1971~2000 年西藏大部分地区年降水量变化为正趋势, 而阿里地区呈较为明显的减少趋势^[8]。

降水、温度等是植物生长的重要生理生态因子, 它们单独或复合的变化必将引起植物从分子到植被区域类型等不同尺度的变化^[9~11], 这种变化包含植物对全球变化的响应及其适应对策。近年来, 中国学者对气候变化对作物气候生产力的影响做了大量研究, 认为气候变化对植物气候生产力影响显著, “暖湿型”气候对全国都有利, “冷干型”气候对全国都不利^[12~15]。

青藏高原植被生态系统对人为干扰和自然环境变化的敏感性程度极高, 水分和温度的稍微变化就可导致生物生产力的改变。西藏“一江两河”流域是

西藏主要粮油生产基地和经济“金三角”, 属于高原温带半干旱季风气候, 这里是生态环境脆弱带, 农业生产和生态环境对气候条件的依赖性较强, 气候变化与气候生产力变化对当地社会经济发展影响重大。为此, 本文重点分析西藏“一江两河”流域作物气候生产力的变化和时空分布特征及其对气候变化的响应, 为农业生产应对气候变化提供依据。

1 资料来源与分析方法

西藏“一江两河”流域气象观测站点较少, 为了较客观地分析该地区近 45 年的气候变化特征, 本文选取了该流域 9 个气象站 1961~2005 年逐年平均气温、降水量等资料。其中年限较短站点(图 1 中黑圆点所示)的年平均气温、降水量资料, 首先用邻近年限长、地形相似的测站与其求相关(相关系数在 0.85 以上), 然后分别采用条件温差法和比值法, 对其进行延长订正。通过算术平均法建立了“一江两河”流域的年平均气温、降水量序列。多年平均值采用 1971~2000 的平均值。

本文选用 Thornthwaite Memorial 模型^[12, 16]估算作物气候生产力的公式, 即:

$$P_v = 30000[1 - e^{-0.0009695(V-20)}] \quad (1)$$

式中, P_v 是以实际蒸散量计算得到的作物气候生产力 $[\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})]$; V 是年平均实际蒸散量(mm), 本文采用目前国内大部分学者使用的简化计算公式, 即:

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

式中, R 是年降水量(mm); L 为年最大蒸散量(mm), 它是温度 t 的函数, L 与 t 间存在如下关系:

$$L = 300 + 25t + 0.05t^3 \tag{3}$$

式中, t 是年平均气温($^{\circ}\text{C}$)。

此外,采用气候倾向率方法分析近 45 年“一江两河”流域作物气候生产力、气温和降水的变化趋势。

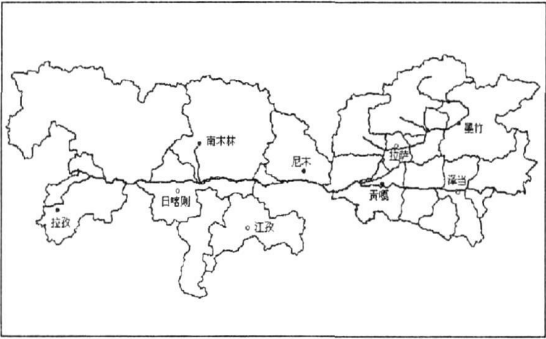


图 1 西藏“一江两河”流域气象站点分布图
Fig.1 Distribution of meteorological stations in central of Tibet

2 分析结果

2.1 “一江两河”流域气温、降水的变化趋势

近 45 年来,“一江两河”流域各站年平均气温呈极显著的升高趋势(表 1,均通过 0.01 的显著检验),平均升高 0.20~0.43 $^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,以拉萨升幅最大;尤其是近 25 年(1981~2005),拉孜、日喀则、拉萨、泽当增温幅度更明显,增幅为 0.32~0.54 $^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。就整个流域而言,年平均气温表现为极显著的升高趋势(图 2),升幅为 0.29 $^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,近 25 年增温幅度达 0.34 $^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,说明流域年平均气温的增温趋势在加大。

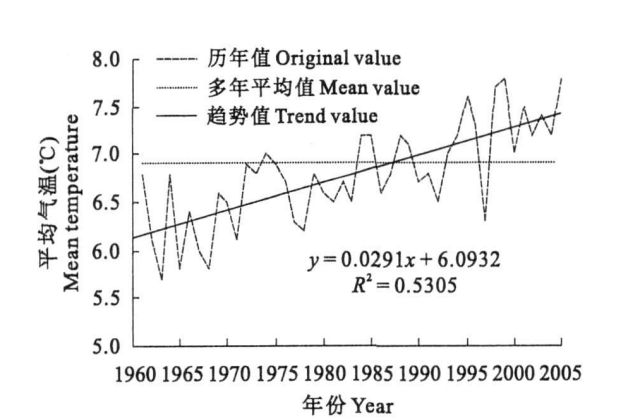


图 2 西藏“一江两河”流域年平均气温的变化
Fig.2 The variation of annual mean temperature in central of Tibet

表 1 西藏“一江两河”流域年平均气温、降水量的气候倾向率
Table 1 The Linear trend of annual mean temperature and precipitation in central Tibet

站 点 Location of station	年平均气温 Annual mean temperature ($^{\circ}\text{C}/10\text{a}$)		年降水量 Annual precipitation (mm/10a)	
	1961~2005	1981~2005	1961~1982	1983~2005
拉 孜 Lhatse	0.25★	0.46★	-66.8▲	50.3*
南木林 Namling	0.20★	0.18▲	-67.8*	84.5▲
日喀则 Shigatse	0.22★	0.32★	-71.7▲	35.3
江 孜 Gyantse	0.23★	0.35★	-8.5	-1.2
尼 木 Yemo	0.36★	0.33★	-44.4	45.1
拉 萨 Lhasa	0.43★	0.54★	-55.7	84.9★
墨竹工卡 Medro Gongkar	0.36★	0.25▲	-74.8	86.9▲
泽 当 Tesdang	0.31★	0.41★	-21.2	71.5▲
贡 嘎 Gonggar	0.23★	0.18	-38.9	74.3▲
一江两河流域 Cntral Tibet	0.29★	0.34★	-50.0	59.1▲

注: *、▲、★分别表示通过 0.10、0.05、0.01 显著性检验。下同。
Note: *,▲,★significant at the 0.10, 0.05 and 0.01 level. The same below.

从“一江两河”流域各站年降水量变化曲线来看,过去 45 a 绝大部分站的年降水量变化呈二次项曲线变化趋势,20 世纪 80 年代初是降水由多到少和由少到多的转折点。根据降水气候倾向率的分析(表 1),前 22 a(1961~1982 年)表现为减少的趋势,平均减少 21.2~71.7 mm/10a,1983 年以后降水有所增加,表现为较显著的增加趋势,平均增加 35.3~86.9 mm/10a,其中南木林、拉萨、墨竹工卡增幅在 80.0 mm/10a 以上(通过 0.05 的显著检验)。整个流域年降水量的变化也呈现二次项曲线变化趋势(图 3),前 22 年年降水量表现为不显著的减少趋势,减幅为 50.0 mm/10a,1983 年以来降水量呈显著的增加趋势,平均增加 59.1 mm/10a。

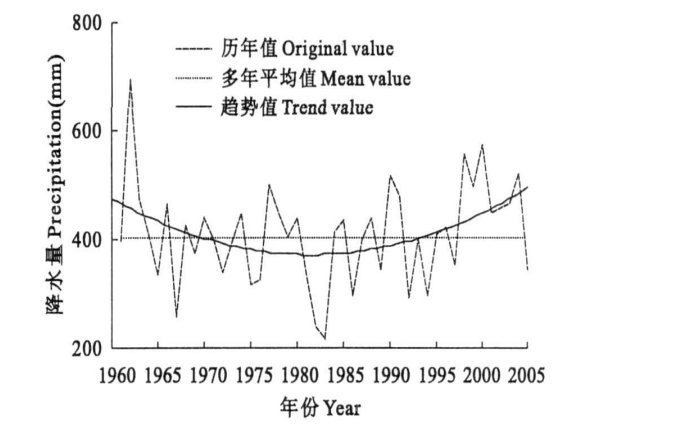


图 3 西藏“一江两河”流域年降水量的变化
Fig.3 The variation of annual precipitation in central of Tibet

2.2 作物气候生产力的空间分布特征

通过式(1)~(3)的计算,表 2 列出西藏“一江两河”流域作物气候生产力的多年平均值,从中可知,流域各站的 P_v 为 5 800~8 200 $\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$,呈自东向西递减的分布规律。东部气候温凉半湿润的墨

竹工卡, P_v 最大,为 8 183.49 $\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$,有些年份可达 9 309.08 $\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$;气候温凉半干旱的江孜, P_v 最小,为 5 855.66 $\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$,其中 1982 年因春、夏季出现大旱, P_v 降至历史最低值 3 060.25 $\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 。

表 2 西藏“一江两河”流域作物气候生产力的气候特征值
Table 2 The characteristic value of crop climatic productivity in central Tibet

站 点 Location of station	海拔 Altitude (m)	不同时段气候倾向率 Linear trend of different time [$\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot 10\text{a})$]		各年代的距平百分率 Percentage anomaly of crop climatic productivity in different decade (%)				多年平均值 Mean value [$\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$]
		1961~1982	1983~2005	1960s	1970s	1980s	1990s	
拉 孜 Lhatse	4000.0	-809.7▲	754.4*	5.29	0.89	-11.38	10.49	6473.68
南木林 Namling	4000.0	-349.3	680.9▲	3.12	2.48	-4.64	2.16	7556.15
日喀则 Shigatse	3836.0	-456.7	448.4	2.58	-0.12	-4.27	4.40	7538.80
江 孜 Gyantse	4040.0	-141.5	-22.9	-4.67	4.27	-4.79	0.52	5855.66
尼 木 Yemo	3809.4	-337.1	573.5*	0.42	-2.33	-2.84	5.17	6728.72
拉 萨 Lhasa	3648.7	-311.2	1024.9★	0.31	0.73	-6.38	5.65	7873.54
墨竹工卡 Medro Gongkar	3824.0	-161.2	644.8▲	-1.36	-0.50	-2.53	3.03	8183.49
泽 当 Tesdang	3551.7	-281.0	840.1▲	2.01	2.30	-7.53	5.23	7485.24
贡 嘎 Gonggar	3555.0	-410.2	775.9▲	2.57	1.40	-6.12	4.72	7535.82
一江两河流域 In central of Tibet	3807.2	-376.0	682.6▲	1.41	0.78	-5.36	4.58	7383.42

2.3 气候生产力的变化趋势

根据西藏“一江两河”流域 9 个站 P_v 的气候倾向率分析(见表 2),过去 45 a 除江孜变化不大外,其它 8 个站点 P_v 的变化呈二次项曲线变化趋势,20 世纪 80 年代初是 P_v 由多到少和由少到多的转折点。从线性趋势拟合来看,前 22 a(1961~1982 年)表现为减少的趋势,平均减少 141.5~809.7 $\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot 10\text{a})$,以拉孜减幅最大(通过 0.05 的显著检验);1983 年以后表现为较显著的增加趋势,平均增加 573.5~1 024.9 $\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot 10\text{a})$,其中以拉萨增幅最显著,其次是泽当,为 840.1 $\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot 10\text{a})$ (通过 0.05 的显著检验)。

就“一江两河”流域平均而言, P_v 的变化也呈现二次项曲线变化趋势(图 4),前 22 年 P_v 表现为不显著的减少趋势,减幅为 376.0 $\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot 10\text{a})$,1983~2005 年 23 年间 P_v 以 682.6 $\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot 10\text{a})$ 的速度增加。在过去 45 年里,1983 年 P_v 最低,为 4 955.66 $\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$,较多年平均值偏少 32.88%;1962 年 P_v 最高,达 9 072.81 $\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$,较多年平均值偏多 28.88%。

2.4 作物气候生产力的年代际变化

根据西藏“一江两河”流域 P_v 的年代际变化分析(表 2),20 世纪 60 年代至 80 年代绝大部分站的

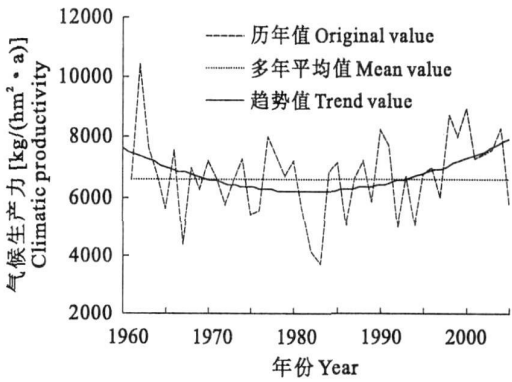


图 4 西藏“一江两河”流域气候生产力的变化曲线
Fig.4 The variation of crop climatic productivity in central of Tibet

P_v 表现为逐年代减少趋势,90 年代回升,为正距平。20 世纪 60 年代,除江孜为负距平外,其它大部分站点 P_v 较多年平均值偏多 1.41%~5.29%,其中拉孜增幅最大;70 年代以江孜增幅最明显,偏多 4.27%,其它大部分增减幅度在 2.0% 以内;80 年代为过去 40a 最低的 10 年,与多年平均值比较,各站偏少 2.84%~11.38%,以拉孜减幅最大,其次是泽当,为 7.53%;90 年代绝大部分站点的 P_v 明显增加,较多年平均值偏多 2.16%~10.49%,以干旱的拉孜增幅最大,其次是拉萨,增加 5.65%。

就平均而言,“一江两河”流域 20 世纪 60 年代气温偏低,降水偏多, P_v 为正距平;70 年代气温、降水正常, P_v 变化不大;80 年代多干旱少雨年, P_v 最低,为过去 40 a 最低的 10 年;90 年代雨水偏多,气温偏高,气候“暖湿”,植物干物质积累多, P_v 达到最高。

2.5 气候变化对气候生产力的影响

假设未来气候变暖或变冷,使西藏“一江两河”流域年平均气温升高或降低 1℃或 2℃,年降水量增加或减少 10%或 20%,在此气候变化情景下, P_v 的变化列于表 3。

由表 3 可知,西藏“一江两河”流域气候生产力 P_v 随气温和降水量的增减而增减,当单一的降水增减时, P_v 增减幅度要比单一的气温升降时大。

表 3 西藏“一江两河”流域年平均气温和年降水量变化情景下气候生产力的变化(%)

Table 3 Variation of climatic productivity under the scenarios of various annual precipitations and mean temperature variations in central Tibet

年平均气温变化(℃) Annual mean temperature variation	年降水量变化(%) Annual precipitation variation				
	−20	−10	0	10	20
−2	−16.10	−10.33	−5.42	−1.24	2.33
−1	−14.15	−7.95	−2.63	1.94	5.86
0	−12.34	−5.73	0.00	4.96	9.25
1	−10.66	−3.65	2.48	7.83	12.49
2	−9.10	−1.70	4.82	10.55	15.59

3 结论与讨论

本文利用 Thornthwaite Memorial 模型估算作物气候生产力,采用气候倾向率方法,分析了西藏“一江两河”流域作物气候生产力 P_v 的空间分布、变化趋势等特征,以及气候变化对 P_v 的影响,得到一些气候变化事实,主要结论有:

1) 西藏“一江两河”流域 P_v 呈由东向西递减的分布规律,气候温凉湿润的墨竹工卡 P_v 最高,为 8 183.49 kg/(hm²·a);气候温凉半干旱的江孜, P_v 最低,为 5 855.66 kg/(hm²·a)。

2) 近 45 a 西藏“一江两河”流域年平均气温表现为极显著的升高趋势,升幅为 0.29℃/10a,尤其是近 25 年增温幅度达 0.34℃/10a,这说明流域年平均气温的增温趋势在加大。流域年降水量的变化呈现二次项曲线变化趋势,前 22 a(1961~1982)降水量表现为不显著的减少趋势,减幅为 50.0 mm/10a,1983 年以来降水量呈显著的增加趋势,平均增加 59.1 mm/10a。

当气温升高 1.0℃,降水增加 10.0%,即“暖湿型”气候时, P_v 值增加 7.83%;当气温升高 1.0℃,降水减少 10.0%,即“暖干型”气候时, P_v 值减少 3.65%;依此类推,“冷湿型”气候和“冷干型”气候时, P_v 值增减分别为 1.94%、−7.95%。

由此可见,未来“暖湿型”气候对作物生产最有利,平均增产幅度为 11.62%,而“冷干型”气候对作物生产最不利,平均减产幅度为 12.13%。若在只考虑温室气体增加的情形下,2050 年西藏地区的温度增加 2~4℃,年平均降水为增加趋势,增加的范围在 2.5~10 mm/月^[17],在此气候情形下,西藏“一江两河”流域气候生产力 P_v 将增加 9.21%~26.58%。

3) 近 45 a 流域 P_v 的变化与年降水量的变化类似,前 22 a 表现为不显著的减少趋势,减幅为 376.0 kg/(hm²·10a),1983 年以来 P_v 表现为显著的增加趋势,增幅为 682.6 kg/(hm²·10a)。

4) 20 世纪 60 年代流域气温偏低、降水偏多, P_v 为正距平;70 年代气温、降水正常, P_v 变化不大;80 年代多干旱少雨年, P_v 最低,为过去 40 a 最低的 10 年;90 年代雨水偏多,气温偏高,气候“暖湿”,植物干物质积累多, P_v 达到最高。

5) 流域 P_v 随气温和降水量的增减而增减,当单一的降水增减时, P_v 增减幅度要比单一的气温升降时大,这说明水分是限制流域农区作物获高产的主要因素。“暖湿型”气候对作物生产最有利,平均增产幅度为 11.62%,而“冷干型”气候对作物生产最不利,平均减产幅度为 12.13%。在只考虑温室气体增加的情形下,2050 年西藏地区温度增加 2~4℃,年平均降水增加 2.5~10 mm/月, P_v 将增加 9.21%~26.58%,这有利于该流域生态环境的改善。

参 考 文 献:

[1] Houghton J T, Ding Y, Griggs J, et al. Observed Climate Variability and Change. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [A]. IPCC. Climate change 2001, The Scientific Basis [C]. Cambridge University Press, 2001. 1—881.

[2] 刘晓东, 侯 萍. 青藏高原及其邻近地区近 30 年气候变暖与海拔高度的关系[J]. 高原气象, 1998, 17(3): 245—249.

[3] 姚檀栋, 刘晓东, 王宁练. 青藏高原地区的气候变化幅度问题[J]. 科学通报, 2000, 45(1): 98—106.

[4] 杜 军. 西藏高原近 40 年的气温变化[J]. 地理学报, 2001, 56(6): 682—690.

[5] 韦志刚, 黄荣辉, 董文杰. 青藏高原气温和降水的年际和年代际变化[J]. 大气科学, 2003, 27(2): 157—170.

[6] 杜 军. 西藏高原最高最低气温的非对称变化[J]. 应用气象学报, 2003, 14(4): 437—443.

[7] 吴绍洪, 尹云鹤, 郑 度, 等. 青藏高原近 30 年气候变化趋势[J]. 地理学报, 2005, 60(1): 3—11.

[8] 杜 军, 马玉才. 近 30 年西藏高原降水变化趋势的气候分析[J]. 地理学报, 2004, 59(3): 375—382.

[9] 方精云. 东亚地区植被气候类型在温度、降水量坐标的表达[J]. 生态学报, 1994, 14(3): 291—294.

[10] 周广胜, 张新时, 高素华, 等. 中国植被对全球变化反应的研究[J]. 植物学报, 1997, 39(9): 879—888.

[11] 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.

[12] 田志会, 李凤琴, 郭文利, 等. 基于小网格的北京山区植物气候生产力及其限制因子分析[J]. 中国农业大学学报, 2004, 9(6): 21—26.

[13] 姚玉璧, 李耀辉, 王毅荣, 等. 黄土高原气候与气候生产力对全球气候变化的响应[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(2): 202—208.

[14] 姚玉璧, 张秀云, 朱国庆, 等. 青藏高原东北部天然草场植物气候生产力评估[J]. 中国农业气象, 2004, 25(1): 32—34.

[15] 张永红, 葛徽衍. 陕西省作物气候生产力的地理分布与变化特征[J]. 中国农业气象, 2006, 27(1): 38—40.

[16] 邵海荣, 贺庆棠. 用 LIETH 法估算北京地区的植物气候生产力[A]. 贺庆棠. 中国林业气象文集[C]. 北京: 气象出版社, 1989. 190—198.

[17] 徐 影, 丁一汇, 李栋梁. 青藏地区未来百年气候变化[J]. 高原气象, 2003, 22(5): 451—457.

Responses of climate-productivity to climatic change in central Tibet from 1961 to 2005

DU Jun¹, HU Jun², ZHOU Bao-qin³, LIU Yi-lan¹, ZUO Hui-lin⁴

(1. Tibet Climate Center, Lhasa 850001, China; 2. Lhasa Meteorological Bureau, Lhasa 850001, China; 3. Meteorological Bureau of Nyingtri District in Tibet, Nyingtri 860000, China; 4. Tibet Meteorological Bureau, Lhasa 850001, China)

Abstract: Based on the 9 meteorological stations' data of annual mean temperature and precipitation in central Tibet from 1961 to 2005, the data of the crop climatic productivity (P_v) are computed by Thornthwaite Memorial Model. The spatial distribution and variation of the P_v are analyzed, and the responses of P_v to climate change are discussed. The results show that the trend of P_v indicate a decrease of $376.0\text{ kg}/(\text{hm}^2\cdot10\text{a})$ in 22 years from 1961~1982, but it shows distinct increasing tendency from 1983 to 2005 and increased by $682.6\text{ kg}/(\text{hm}^2\cdot10\text{a})$. On an average in central Tibet, the cold and wet climate occurred in the 1960s, the P_v is positive anomaly. The when it is dry with less rain in the 1980s, the P_v is the lowest among the past 45 years, and during the warm and wet climate in the 1990s, the P_v is the highest. Under climate change scenarios, the warm and wet climate would benefit the P_v with an average increase of yield by 11.62% in central Tibet, while the cold and dry climate would have an adverse impact on P_v with an average decrease of yield by 12.13%. It can be deduced from existent research that the concerning temperature and precipitation trend in central Tibet belongs to the warm and wet climate trend which would increase the P_v and is advantageous especially for improving eco-environment.

Key words: climate-productivity; climatic change; central Tibet