

# 西藏气候变化及其对作物产量潜力的影响

格桑曲珍<sup>1,2</sup>, 普布次仁<sup>1,3</sup>, 胡希远<sup>1</sup>

(1. 西北农林科技大学农学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西藏自治区林业科学院, 西藏 拉萨 850000;

3. 山南地区贡嘎县东拉乡政府, 西藏 贡嘎 850700)

**摘要:** 以西藏 1971—2010 年 6 个代表性气象站气象资料为依据, 运用线性倾向率方法分析了近 40 年来西藏气候变化的特征, 同时分析了 6 个农业主产区 40 年来青稞、小麦的光温与气候生产潜力的变化趋势, 并结合现实生产力数据分析了青稞和小麦的增产空间。结果表明: (1) 1971—2010 年 40 年间, 西藏温度和降水量均表现为升高趋势, 6 个农业主产区平均气温升高了 2.26℃, 远大于全国 1.1℃·100a<sup>-1</sup> 的平均气温升高速度; (2) 伴随着温度的升高, 青稞和小麦的光温生产潜力分别以每年 53 kg·hm<sup>-2</sup> 和 107 kg·hm<sup>-2</sup> 的速度增加, 气候生产潜力也随着降水量的小幅升高而有所增加, 平均每年增加 94 kg·hm<sup>-2</sup> 和 110 kg·hm<sup>-2</sup>; (3) 青稞与小麦的光温和气候生产增产空间均表现为减小的趋势, 但至目前, 青稞的光温和气候增产空间仍有 10 385 kg·hm<sup>-2</sup> 和 5 969 kg·hm<sup>-2</sup>, 小麦的光温和气候增产空间仍有 9 040 kg·hm<sup>-2</sup> 和 5 197 kg·hm<sup>-2</sup>。

**关键词:** 气候变化; 西藏; 生产潜力; 青稞; 小麦

**中图分类号:** S162.5 **文献标志码:** A

## Effect of climate change on yield potential of crops in Tibet

Gesangquzhen<sup>1,2</sup>, Pubuciren<sup>1,3</sup>, HU Xi-yuan<sup>1</sup>

(1. College of Agriculture, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Institute of Forestry Seedling Science & Technique in Xizang Autonomous Region, Lhasa, Xizang 850000, China;

3. The People's Government of Dongla Township, Gongga County, Shannan Prefecture,

Tibet Autonomous Region, Gongga County, Xizang 850700, China)

**Abstract:** Based on observation data of six representative meteorological stations in Tibet during 1971—2010, and using linear trend estimation, this study analyzed characteristics of climate change in the past 40 years in Tibet. We studied the changing trends of light-temperature productivity (LTPP) and climatic potential productivity (CPP) of barley and wheat in the past 40 years from six major agriculture areas in combination with the data of actual productivity. The results showed that: (1) In the past 40 years, the temperature and precipitation increased, the mean temperature increased by 2.26℃ in the six major agriculture areas, the increasing rate of mean temperature was higher than that of China (1.1℃·100a<sup>-1</sup>); (2) The LTPP of barley and wheat increased at an annual rate of 53 kg·hm<sup>-2</sup> and 107 kg·hm<sup>-2</sup> with the increased temperature, respectively. The CPP increased at an annual rate of 94 kg·hm<sup>-2</sup> and 110 kg·hm<sup>-2</sup> with a slight increasing of precipitation, respectively; (3) The changing trend of yield potential in terms of LTPP and CPP of barley and wheat decreased. For barley, there existed gap between the actual yield LTPP (10 385 kg·hm<sup>-2</sup>) and CPP (5 969 kg·hm<sup>-2</sup>) of barley, while those for wheat were 9 040 kg·hm<sup>-2</sup> and 5 197 kg·hm<sup>-2</sup>, respectively.

**Keywords:** climate change; Tibet; yield potential; barley; wheat

气候变化直接影响到人类的生存环境和经济社会的发展, 尤其是对包括西藏在内的许多适应及调整能力差、生产异常脆弱地区的农业生产的影响重大<sup>[1]</sup>。在全球气候变暖的背景下, 气候变化与农作

物生产的关系早在 19 世纪已受到人们关注。近年来, 气候变化越来越受到重视, 由于气候变化尚不能有效控制, 人们只能加强对气候变化的研究, 调整农业生产区划与对策, 以顺应气候变化的趋势。

收稿日期: 2014-04-17

作者简介: 格桑曲珍(1978—), 女(藏族), 西藏灵芝人, 硕士, 主要研究方向为作物高效栽培。E-mail: 1152068081@qq.com。

通信作者: 胡希远(1963—), 男, 教授, 主要从事生物统计应用研究。E-mail: xiyuanhu@yahoo.com.cn。

西藏自治区位于我国西南边陲,是青藏高原的主体区域,平均海拔在4 000 m以上。宜农面积45.37万  $\text{hm}^2$ ,占全区总面积的0.42%,主要分布在雅鲁藏布江流域和昌都,农业主产区降水集中在6—9月,具有光照资源丰富,气温年较差小、日较差大,雨热同季等气候特点。这一方面有利于作物光合作用,增加光合产物,延长灌浆期,形成大穗大粒获得高产;另一方面有利于作物密植、减轻倒伏及病虫害,开展高产栽培。但由于西藏农业基础条件比较差,生态系统十分脆弱,气象灾害发生较为频繁,严重制约了农业的持续稳定发展<sup>[2]</sup>。加强气候变化对西藏农业特别是粮食产量潜力影响的研究将有利于掌握西藏主要农作物生产潜力的变化趋势,充分挖掘农业发展潜力来增加当地收入、积极提高应对能力;着力保护高原脆弱生态环境、缓解气候变化所带来负面影响,正确进行农作物品种布局、合理调整种植结构、制定农业生产的适应性对策、提高农业气候资源的高效利用具有十分重要的现实意义。

## 1 资料与方法

### 1.1 数据来源

气象数据来源于拉萨市气象局数据中心,现实生产力数据来源于西藏统计年鉴<sup>[3]</sup>。本文选取作物种植面积较大、气象资料连续性较好的拉萨、泽当、日喀则、林芝、波密、昌都6个站点1971—2010年逐月平均气温、降水量资料。小麦和青稞现实产量资料来自西藏统计年鉴<sup>[3]</sup>。

季节的划分采用常规的划分标准:春季3—5月,夏季6—8月,秋季9—11月,冬季12月—次年2月。春季气温是3个月的平均值,降水量是3个月的总和,依此类推,得到夏季、秋季和冬季的年平均气温和降水量序列。

### 1.2 气候变化分析方法

本研究中对气候变化的分析采用气候倾向率方法。该方法用 $x_i$ 表示样本量为 $n$ 的某一气候变量,用 $t_i$ 表示 $x_i$ 所对应的时间,建立 $x_i$ 与 $t_i$ 之间的一元线性回归方程:

$$x_i = a + bt_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

此方程的含义是用一条合理的直线表示 $x$ 与其时间 $t$ 之间的关系,其中 $a$ 为常数, $b$ 为回归系数。对观测数据 $x_i$ 及相应的时间 $t_i$ ,回归系数 $b$ 和常数 $a$ 用最小二乘法进行估计。

其中 $b \times 10$ 即气候倾向率,单位为 $^\circ\text{C} \cdot 10\text{a}^{-1}$ 或 $\text{mm} \cdot 10\text{a}^{-1}$ 。回归系数 $b$ 的符号表示气候变量 $x$ 的趋势倾向,当 $b > 0$ 时,说明随时间 $t$ 的增加 $x$ 呈上升

趋势,当 $b < 0$ 时,说明随时间 $t$ 的增加 $x$ 呈下降趋势<sup>[4-5]</sup>。

### 1.3 生产潜力估算原理及方法

气候生产潜力一般可分为光合生产潜力、光温生产潜力和光温水生产潜力三个层次。实际工作中则常把光温水生产潜力作为气候生产潜力。

1.3.1 光合生产潜力 光合生产潜力 $Y_0$  ( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )是指假定作物的生长因子都处于最适宜条件下,其产量不受自然条件的限制,仅由太阳辐射能量决定,通过光合作用所能达到的最高产量,光合生产潜力一般采用式为

$$Y_0 = A \times F \times Q \times 10^5 / C \quad (2)$$

式中, $A$ 为经济系数,多数作物的 $A$ 值介于0.3~0.5之间,本文取0.4; $F$ 为作物生长期理论最大光能利用率,本文采用黄秉维1986年修正后的数值2.93%; $C$ 为能量转换系数,即1 g干物质结合的化学能,其取值为 $17.81 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ ; $Q$ 为生长期内太阳辐射总量<sup>[6-8]</sup>。

1.3.2 光温生产潜力 光温生产潜力又称为热量生产潜力,是指作物群体在其他自然条件适宜的情况下,由太阳辐射和温度因子所决定的作物产量上限。光温生产潜力一般是通过对光合生产潜力进行温度订正而得到:

$$Y_T = Y_0 \times f(T) \quad (3)$$

式中, $Y_T$ 为光温生产潜力; $Y_0$ 为光合生产潜力; $f(T)$ 为温度订正系数。

喜温作物和喜凉作物对温度的要求是不同的,因此采用不同的温度订正函数来计算温度订正系数,喜凉作物采用以下温度订正函数:

$$f(T) = \begin{cases} 0 & T \leq 0 \\ T/20 & 0 < T \leq 20 \\ 1 & T > 20 \end{cases}$$

式中, $T$ 为实际温度。

1.3.3 气候生产潜力 气候生产潜力是在光温生产潜力的基础上进行水分订正,其计算公式:

$$Y_2 = Y_T \times f(w) \quad (4)$$

式中, $Y_2$ 为气候生产潜力; $Y_T$ 为光温生产潜力; $f(w)$ 为水分订正系数。

本研究采用作物生育期的需水量 $E$ 与同期有效降水量 $EP$ 之比对光温生产潜力进行订正,一般情况下,实际降水量会小于或等于作物需水量。

$$f(w) = \begin{cases} 1 & (EP \geq E_0) \\ EP/E_0 = (1 - C)P_a/E_0 & (EP < E_0) \end{cases}$$

式中, $EP$ 为全生育期有效降水量(mm), $E_0$ 为作物

全生育期需水量(mm);  $C$  为降水流出率, 此处取 0,  $P_a$  为全生育期实际降水量(mm)<sup>[9]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 平均气温和降水量时间变化特征

近 40 年气温和降水量随时间变化如图 1、图 2 所示。从图 1 可以看出, 西藏农业主产区年平均气温总体呈升高趋势, 近 40 年平均气温升高了 2.26℃, 最高值出现在 2009 年, 平均气温升高速度

明显大于全国水平( $1.1^{\circ}\text{C}\cdot 100\text{a}^{-1}$ )。但其间也偶有降低, 1997 年是年均温较低的一年, 为 7.51℃。通过线性倾向率估计分析得出, 西藏平均气温自 1971 年以来气候倾向率为  $0.368^{\circ}\text{C}\cdot 10\text{a}^{-1}$ , 线性倾向率通过了  $\alpha = 0.1$  水平显著性检验。从图 2 可以看出, 全区降水量位于 379.87 ~ 756.12 mm 之间。其中 2009 年是降水量最少的一年, 1998 年是降水量相对最为丰富的一年, 降水量自 1971 年以来气候倾向率为  $14.747\text{mm}\cdot 10\text{a}^{-1}$ , 线性变化趋势不是很明显。

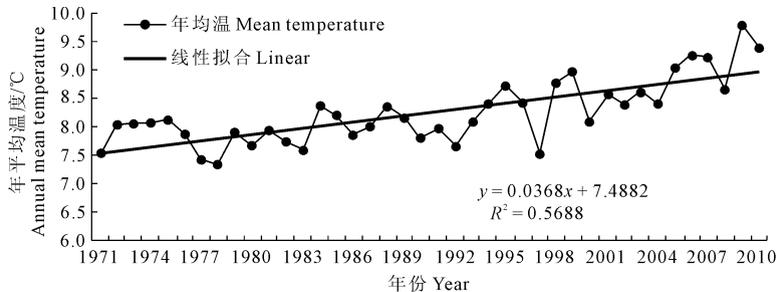


图 1 1971—2010 年西藏主要农产区逐年平均气温变化曲线

Fig. 1 Changing trend of mean temperature from 1971 to 2010 in major agriculture areas of Tibet

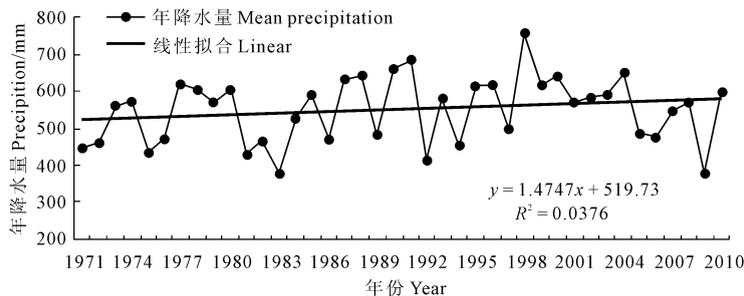


图 2 1971—2010 年西藏主要农产区逐年降水量变化曲线

Fig. 2 Changing trend of mean precipitation from 1971 to 2010 in major agriculture areas of Tibet

从主要生长季来看(见表 1), 季节平均温度表现为明显的增加趋势, 其气候倾向率为  $0.334^{\circ}\text{C}\cdot 10\text{a}^{-1}$ , 且通过了  $\alpha = 0.1$  水平的显著性检验。降水量表现为较弱的增加趋势, 气候倾向率为  $10.338\text{mm}\cdot 10\text{a}^{-1}$ , 且通过了  $\alpha = 0.1$  水平的显著性检验。

从春、夏、秋、冬来看, 四季气温均呈上升趋势, 且都通过了 0.1 水平的显著性检验。具体而言, 冬季的气候倾向率为  $0.447^{\circ}\text{C}\cdot 10\text{a}^{-1}$ , 其次是春季, 为  $0.352^{\circ}\text{C}\cdot 10\text{a}^{-1}$ , 最小的是夏季, 为  $0.321^{\circ}\text{C}\cdot 10\text{a}^{-1}$ ; 降水量在不同季节则表现为不同的变化趋势, 在春季表现为较明显的增加趋势, 通过了 0.05 水平的显著性检验, 气候倾向率为  $6.9\text{mm}\cdot 10\text{a}^{-1}$ 。夏季也表现为较弱的增加趋势, 但没有通过显著性检验; 秋、冬两季则表现为较弱的减少趋势, 但都没有通过显著性检验。

从月际尺度来看, 西藏的均温总体上表现为升

高趋势, 且以 1 月增幅最大, 达到了  $0.607^{\circ}\text{C}\cdot 10\text{a}^{-1}$ , 其中 10 月没有通过检验, 2 月、6 月通过了 0.05 水平的显著性检验, 其余的都通过了 0.1 水平的显著性检验。降水气候倾向率 1 月、6 月、9 月、11 月、12 月为负值, 其余的都为正值, 但都没有通过显著性检验。其中 8 月的降水气候倾向率最大, 为  $6.771^{\circ}\text{C}\cdot 10\text{a}^{-1}$ ; 6 月份最小, 为  $-3.878^{\circ}\text{C}\cdot 10\text{a}^{-1}$ 。

### 2.2 青稞与小麦的生产潜力

运用前述的生产潜力计算公式, 计算得到西藏主要农产区的青稞和小麦的生产潜力值。

从图 3、图 4 可以看出, 西藏青稞和小麦的光温生产潜力均表现为增长趋势, 其中光温生产潜力以每年  $53\text{kg}\cdot \text{hm}^{-2}$  和  $107\text{kg}\cdot \text{hm}^{-2}$  的速度增加, 对比分析平均温度的变化趋势不难看出, 两种作物的光温生产潜力随着平均温度的升高而增加。其中 1997 年由于全区温度偏低, 两种作物的光温生产潜力均

出现了近 40 年来的最低值,总体呈现上涨趋势。光温生产潜力增加的最主要的因素是温度偏高有利于青稞和小麦的出苗,提高出苗率,增加大田基本苗,延长生育期,但温度不宜过高。

表 1 西藏不同时段内温度、降水气候倾向率

Table 1 Climate tendency rate of mean temperature and precipitation in different periods of Tibet

时间 Time	平均温度倾向率 Mean temperature tendency/( $^{\circ}\text{C}\cdot 10\text{a}^{-1}$ )	降水量倾向率 Mean precipitation tendency/( $\text{mm}\cdot 10\text{a}^{-1}$ )
年际 Year	0.368**	14.747
主要生长季(5—9月) Main growth time(May - Sep.)	0.334**	10.338*
春 Spring	0.352**	6.9*
夏 Summer	0.321**	8.731
秋 Autumn	0.351**	-0.821
冬 Winter	0.447**	-0.063
1月 Jan.	0.607**	-0.088
2月 Feb.	0.346*	0.445
3月 Mar.	0.389**	1.623
4月 Apr.	0.335**	1.448
5月 May.	0.333**	3.828
6月 Jun.	0.305*	-3.878
7月 Jul.	0.347**	5.838
8月 Aug.	0.311**	6.771
9月 Sep.	0.375**	-2.222
10月 Oct.	0.259	1.503
11月 Nov.	0.418**	-0.102
12月 Dec.	0.389**	-0.419

注: \* 和 \*\* 分别表示通过 0.05 和 0.01 水平的显著性检验。

Note: \* stands for significant difference( $P < 0.05$ ); \*\* stands for significant difference( $P < 0.01$ ).

从图 5 和图 6 可以看出,气候生产潜力在经过降水有效系数修正后,表现为较弱的增加趋势,其变化趋势与降水量的变化趋势一致,也就是说,随着年降水量的增加,两种作物的气候生产潜力也在增加,

分别为每年  $94 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和  $110 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

### 2.3 青稞与小麦的增产空间

在青稞、小麦的光温和气候生产潜力计算的基础上,计算了其增产空间。具体计算公式为:增产空间 = 生产潜力 - 现实生产力,结果如图 7 和图 8 所示。

从图 7、图 8 可以看出,相对于光温生产潜力而言,青稞和小麦 32 a 间平均增产空间分别为  $10\ 619 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和  $8\ 979 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。两种作物的增产空间最大年份在 1979 年,分别为  $12\ 106 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和  $10\ 959 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,现实生产力仅仅占到光温生产潜力的 14%和 18%,仍有 86%和 82%的增产空间;增产空间最小的年份在 2004 年,分别为  $9\ 139 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和  $7\ 404 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,也仍有 64%和 54%的增产空间;相对于气候生产潜力上限而言,两种作物的增产空间的总体变化趋势表现为更明显的减少趋势。32 年平均的增产空间分别为  $6\ 043 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和  $5\ 175 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,青稞增产空间最大年份在 1998 年,为  $9\ 376 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,现实生产力仅仅占到气候生产潜力的 30%,仍有 70%的增产空间;增产空间最小的年份 2009 年,为  $2\ 016 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,也仍有 29%的增产空间;小麦增产空间最大年份在 1988 年,为  $8\ 477 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,现实生产力仅仅占到光温生产潜力的 25%,仍有 76%的增产空间;增产空间最小的年份 2009 年,为  $21\ 512 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,也仍有 24%的增产空间。

虽然无论是相对于光温生产潜力还是气候生产潜力而言,青稞和小麦单产增产空间均呈下降的趋势,但可以肯定的是增产空间仍然不小。因此,我们可以说,至少在最近一段时间内,温度和降水的变化并不是限制青稞和小麦单产提高的最主要的因素,只要农业科学技术足够发达,使得作物生长发育所需的各种条件得到适宜的供应,青稞和小麦单产的提高仍有较大的空间。大力发展灌溉农业、提高土壤有机质、采取各种提高光热资源利用效率的农艺和耕作措施,是未来西藏青稞和小麦增产稳产的重要方向。

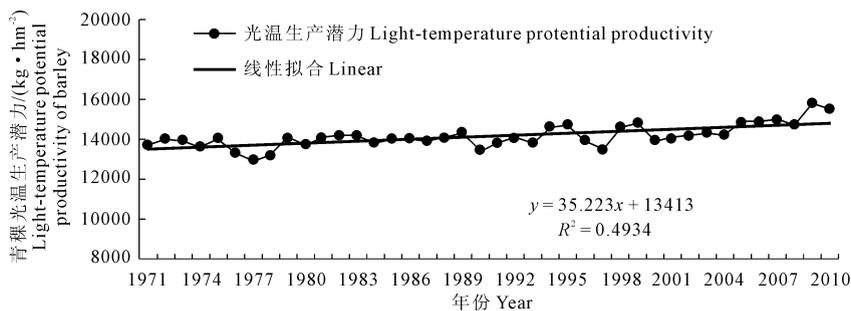


图 3 1971—2010 年西藏青稞光温生产潜力变化曲线

Fig. 3 Changing trend of photo-thermo potential productivity of barley from 1971 to 2010 in Tibet

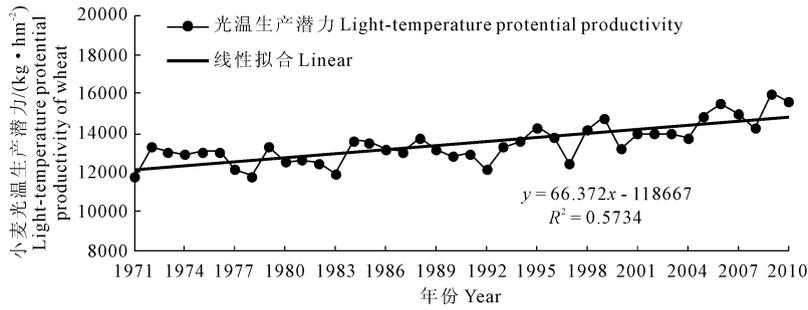


图 4 1971—2010 年西藏小麦光温生产潜力变化曲线

Fig.4 Changing trends of photo-thermo potential productivity of wheat from 1971 to 2010 in Tibet

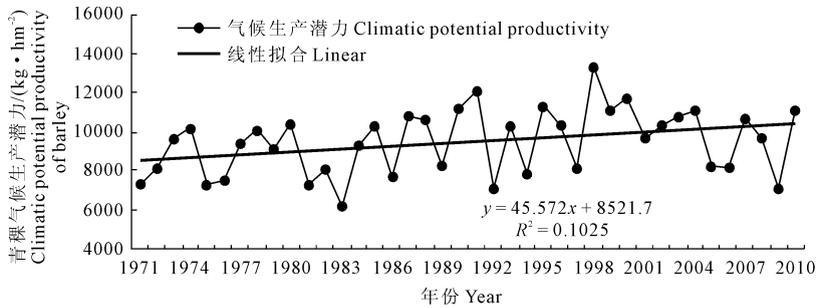


图 5 1971—2010 年西藏青稞气候生产潜力变化曲线

Fig.5 Changing trend of climatic potential productivity of barley from 1971 to 2010 in Tibet

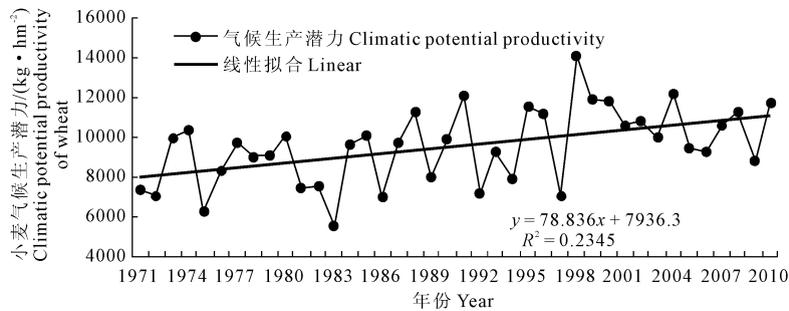


图 6 1971—2010 年西藏小麦气候生产潜力变化曲线

Fig.6 Changing trend of climatic potential productivity of wheat from 1971 to 2010 in Tibet

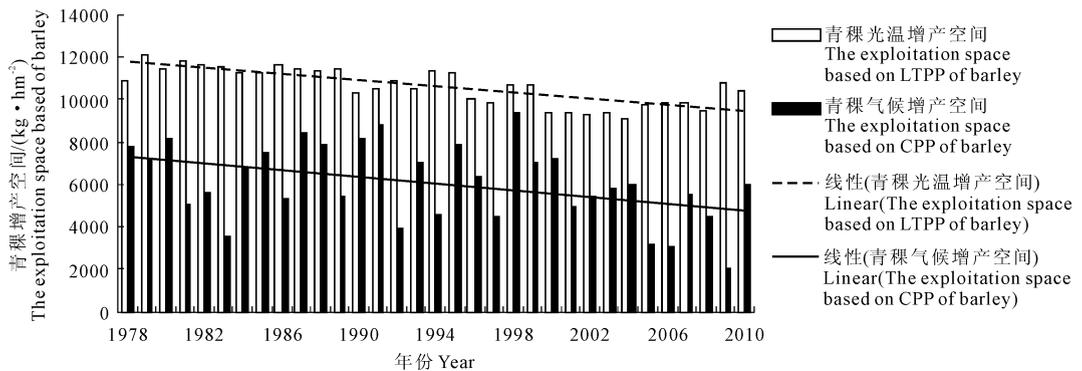


图 7 1978—2010 年西藏主要农产区青稞光温和气候增产空间变化

Fig.7 Gap between actual yield and potential yield (LTPP and CPP)of barley from 1978 to 2010 in six major agriculture areas of Tibet

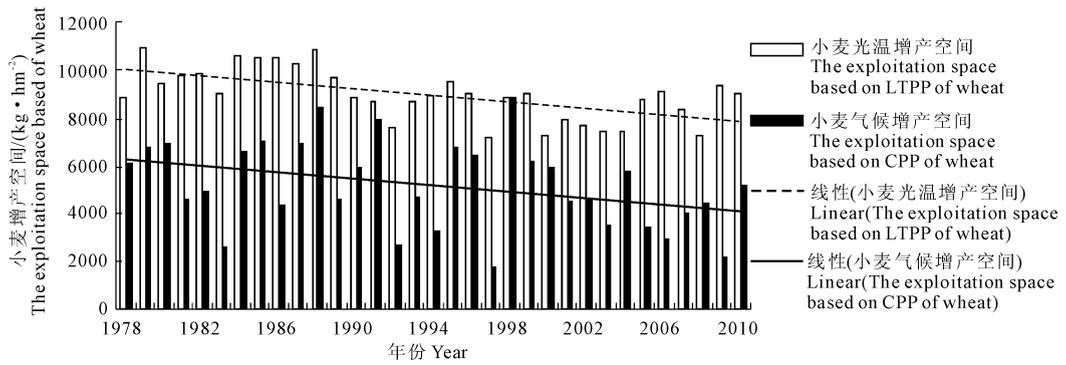


图8 1978—2010年西藏主要农产区小麦光温和气候增产空间变化

Fig.8 Gap between actual yield and potential yield (LTPP and CPP) of wheat from 1978 to 2010 in six major agriculture areas of Tibet

### 3 结论与讨论

本文在分析西藏气候变化特征的基础上,还分析了因平均温度和降水量变化对青稞和小麦生产潜力的影响及其增产空间的变化特征,结果表明:

1) 无论从年际、主要生长季、季节还是月季尺度来看,西藏平均温度表现为明显的增加趋势,近40年平均气温升高了 $2.26^{\circ}\text{C}$ ,降水量表现为较弱的增加趋势,这表明粮食生产区的主要生长季气候变化有较弱的干暖化趋势。

2) 平均温度和降水量的升高,对青稞、小麦的光温与气候生产潜力均成正相关,但相对于光温生产潜力而言,气候生产潜力增加速度较弱,这说明要实现增产稳产就要加强水利设施建设、改善灌溉条件、扩大灌溉面积,大力发展灌溉农业,以便充分利用丰富的光热资源,达到最高产的目的。

3) 从增产空间来看,青稞与小麦的光温和气候生产增产空间均表现为减小的趋势,但至目前,青稞光温和气候增产空间仍有 $10\ 385\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $5\ 969\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,小麦的光温和气候增产空间仍有 $9\ 040\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $5\ 197\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,这在一定程度上说明,温度和降水的变化并不是当前限制青稞和小麦单产提高的最主要的因素,所以应该在农艺措施上下功夫,

根据气候变化趋势,调整农业生产布局,调整种植业结构,建立一种能适应干旱、半干旱气候类型的、能发挥地区资源优势的种植业结构模式。

#### 参考文献:

- [1] 李蒙,朱勇,黄玮.气候变化对云南气候生产潜力的影响[J].中国农业气象,2010,31(3):442-446.
- [2] 杜军,张勇,李春艳,等.气候变化对西藏粮食生产的影响[C]//西藏科协2004学术年会论文集.拉萨:西藏科协,2004:60-64.
- [3] 西藏自治区统计局,国家统计局西藏调查总队.西藏统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,1971-2010.
- [4] 王秀芬,杨艳昭,尤飞.黑龙江省气候变化及其对玉米生产潜力的影响[J].干旱地区农业研究,2012,30(5):25-28.
- [5] 唐小萍,旦增顿珠,格桑,等.近46年西藏农区作物生长季气候变化特征及突变分析[J].干旱地区农业研究,2008,26(5):249-254.
- [6] 吴让,周秉荣.高原气候变化对青海省粮食生产潜力影响的研究[J].青海科技,2011,01:34-38.
- [7] 李继由.我国不同地区的作物光合潜力的计算[J].农业气象,1980,1(4):10-13.
- [8] 田展,梁卓然,史军,等.近50年气候变化对中国小麦生产潜力的影响分析[J].中国农学通报,2013,09:61-69.
- [9] 李建平.陕西省农业生产潜力与粮食安全实证研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2012.