

黄土塬区主要粮食作物增产潜力分析

王宗明 梁银丽

(中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西杨凌 712100)

提要: 研究一个地区的作物生产潜力可以发现提高产量的主要障碍因子, 为合理进行农业生产规划提供依据。本文以长武试区冬小麦和春玉米为例, 计算了黄土塬区光温潜力 气候潜力, 并与实际产量进行比较。结果表明, 该区光温潜力多年平均值冬小麦为 6910.5 kg/hm^2 , 春玉米为 10663.4 kg/hm^2 , 年际变化不大; 气候生产潜力多年平均值冬小麦为 5904.6 kg/hm^2 , 春玉米为 8148.4 kg/hm^2 , 年际波动较大。冬小麦 WCR 为 0.84; 春玉米 WCR 为 0.76。试区大田产量冬小麦为旱作产量潜势的 57.7%, 光温潜力的 46.3%, 春玉米为旱作产量潜势的 82.8%, 光温潜力的 61.6%, 还有较大的增产潜力。

关键词: 黄土塬区; 冬小麦; 春玉米; 生产潜力

中图分类号: F326.11

文献标识码: A

研究一个地区的作物生产潜力对指导粮食生产及制定经济发展战略有重要作用。光温生产潜力反映一个地区可能达到的最大生产力, 限于多方面原因, 现阶段的农田现实生产力远远达不到此水平。在缺乏人工补充水源的雨养农业区, 农田生产潜力可视为降水生产潜力, 即气候生产潜力, 在现实生产条件下, 农田现实生产力由于受到诸多因素的制约, 与气候生产潜力尚存在相当的距离。

黄土塬区是我国重要的旱作农业区之一。该地区气候生产潜力可观, 雨热同步, 是全国光能资源最丰富的地区之一, 但年降水和季节降水相对变率较大, 分别为 20- 30% 和 50- 90%, 蒸发量大^[1,2]; 现实生产力水平低, 农田产量潜势实现率低, 按照人均粮食占有量(400kg/年·人) 计算, 尚不能实现粮食自给^[3]; 本文以长武王东沟试区冬小麦和春玉米为例, 对黄土塬区作物生产潜力进行分析, 探查自然气候条件下能够实现的生产能力, 以便为制定农业发展规划, 揭示障碍因素, 提高黄土塬区作物产量提供依据。

1 作物光温生产潜力

1.1 试区作物生产现状

长武王东沟试区位于黄土高原渭北旱塬的陕西省长武县塬地上, 海拔 1220m, 年均温 9.1°C , 年均降水 584.1mm, 无霜期 171d; 试区土壤为中壤质黑垆土, 全剖面土壤质地疏松, 孔隙率占 50% 左右, 是较好的旱作土壤。主要粮食作物为冬小麦和春玉米, 冬小麦大田产量多年平均值 3198.2 kg/hm^2 , 春玉米大田产量多年平均值 6037.5 kg/hm^2 。

研究指出, 长武试区科研人员经过科技攻关, 已完成了肥力因子由限制作物产量提高的首要障碍因子向非障碍因子的转变, 水分因子取代肥力因子成为限制产量进一步提高的首要障碍因子^[3]。试验年份

* 收稿日期: 2001- 10- 23

基金项目: 本研究由中国科学院知识创新项目(KZCX1- 06- 02- 01) 资助

作者简介: 王宗明(1976—), 男, 硕士研究生, 研究方向为生态系统生产力。

包括了干旱、平水和丰水三种水文年份,由表 1 可知 10 年的平均降水量略低于多年平均值,冬小麦和春玉米生育期内 10 年平均降水量和多年同期平均值非常接近。

近十年缺水减产情况见表 2, 1986~1995 十年间,小麦缺水减产率为 0.0%~75.2%,平均为 25.8%;玉米缺水减产率为 4.6%~72.8%,平均为 23.1%;可知农田水分亏缺是生产潜力开发的严重障碍。

表 1 长武试区试验年份降水情况 (单位: mm)

Tab. 1 Precipitation of Changwu in experiment years

年份	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	平均值	多年平均值	
生育期降水	冬小麦	272.6	285.4	275.6	340.0	268.1	315.3	288.7	260.2	311.6	302.6	292.0	301.9
	春玉米	352.2	326.7	358.8	590.1	399.6	538.2	204.2	472.9	380.5	195.7	381.9	401.6
生育年降水	490.4	442.4	532.7	734.3	559.8	582.3	710.8	359.2	550.8	544.8	550.8	587.4	

表 2 长武试区十年试验冬小麦缺水减产率

Tab. 2 The yield decrease caused by water deficiency in 1986-1994 in Changwu

年份	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	
冬小麦	充分供水处理产量 (kg/hm ²)	5082.0	3780.0	2638.5	4716.0	3136.5	3384.0	5017.5	6879.0	5749.5	5257.5
	旱作处理产量 (kg/hm ²)	4170.0	1695.0	2298.0	4395.0	2973.0	2122.0	2292.0	6471.0	1360.5	1305.0
	缺水减产率(%)	17.9	55.1	12.9	6.8	5.2	-	54.3	5.9	24.2	75.2
春玉米	充分供水处理产量 (kg/hm ²)	6091.5	5269.5	6117.0	6576.0	8763.0	11797.5	10844.0	-	10825.5	11701.5
	旱作处理产量 (kg/hm ²)	5595.5	4123.5	5835.5	5754.0	7990.5	7399.5	9435.0	-	5224.5	3178.5
	缺水减产率(%)	8.1	21.7	4.6	12.5	8.8	37.3	13.3	-	51.9	72.8

注:表中缺水减产率(%)为大田施肥水平旱作产量与大田施肥水平充分供水处理产量相比较所得。

1.2 旱地作物生产潜力模型

作物生产潜力计算公式应用较多的有瓦格宁根法,FAO 推荐模型、阶段模型等。前两种模型考虑因素较为周全,机制比较合理,但参数源自国外,虽有一些现成的参数可供查用,但还没有经过我国通过系统试验取得的数据,如何取值及修正意见不一,而且有些参数所需数据难以得到^[6,7]。因此本文选用我国学者提出的旱地作物生产潜力模型。此模型属于阶段模型,是逐级订正而成的,首先估算作物的光合生产潜力 Y_P ; 然后考虑各时段生长状态及温度对光合生产潜力的影响,估算出光温生产潜力 $Y_T = Y_P \times f(T)$,最后考虑水分条件对热量生产潜力的影响,订正得到光温水生产潜力 $Y_W = Y_T \times f(W)$ 。旱地作物生产潜力模型表述如下:

$$Y_W = CE \sum_{i=1}^n Q_i \cdot \frac{t_i}{T} \cdot \frac{L_i}{L} K_w \quad (1)$$

式中, Y_W 为光温水生产潜力; C 为能量转换系数; E 为光能利用率; i 为作物生长时段序号(按旬或按月计); Q_i 为第 i 个生长时段太阳总辐射 (MJ/m^2); t_i 为作物各生育阶段的生理温度, T 为光合最适温度; L_i 为第 i 个生长时段群体的叶面积指数, L 为该作物理想群体的最大叶面积指数(小麦 $L=6$, 玉米 $L=10$)。

= 5⁽⁷⁾)。

1.3 温度订正

考虑温度条件对光合生产潜力的影响,进行温度修正如下:

$$f(T) = \frac{t_i}{T} \tag{2}$$

t_i 为作物各生育阶段的生理温度, T 为光合最适温度(小麦为 12~25, 玉米为 18~27):

$$t_i = \begin{cases} 0, & \text{当 } t' \geq T_{\text{上}} \text{ 或 } t' \leq T_{\text{下}} \\ t', & \text{当 } T_{\text{下}} < t' \leq T_2 \\ T_2 - (T' - T_2), & \text{当 } t' > T_2 \end{cases} \tag{3}$$

$$T = \begin{cases} T_1, & \text{当 } T_{\text{下}} < t' \leq T_1 \\ t', & \text{当 } T_1 < t' \leq T_2 \\ T_2, & \text{当 } t' > T_2 \end{cases} \tag{4}$$

式中 t' 为实际温度, $T_{\text{上}}$ 为作物生长的最高上限温度, $T_{\text{下}}$ 为最低下限温度, T_1 为作物生长最适温度下限, T_2 为最适温度上限。

2 水分订正及 K_y 的确定

水分订正取 FAO 推荐的通用公式:

$$f(W) = 1 - K_y(1 - ET_a/ET_m) \tag{5}$$

式中 K_y 为作物产量反应系数, ET_a 为作物需水量, ET_m 为作物耗水量。

2.1 K_y 的确定

本文以试区连续多年的旱作水分产量潜势系数 K_p 值及 ET_a/ET_m 值来确定 K_y :

$$K_y = (1 - K_p) / (1 - ET_a/ET_m) \tag{6}$$

K_p 指在养分供应充足,栽培优化条件下的旱作产量 Y_d 与养分水分皆充足,栽培优化条件下的最大产量 Y_m 之比,即 $K_p = Y_d/Y_m$ 。计算结果表明, $(1 - K_p)$ 与 $(1 - ET_a/ET_m)$ 呈明显线形相关, K_y 多年平均值冬小麦为 1.13, 春玉米为 1.25。

2.2 验证与分析

为验证以上所选光合生产潜力公式及温度、水分修正函数、产量反应系数是否恰当,现将试区多年旱作产量潜势试验值与计算值相比较(表3与表4):

表3 长武试区冬小麦多年气候生产潜力、旱作产量潜势、大田产量比较

Tab.3 The comparison of CPP, dryland yield potential, and field yield of winter wheat in Changwu

年份	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	平均值
光温潜力 (kg/hm ²)	6979.5	6685.5	7029.0	6825.0	6641.0	6769.5	6857.0	7258.5	7149.5	6910.5
ET_a/ET_m	-	0.71	0.90	1	0.95	-	0.86	0.94	0.89	0.89
气候生产潜力 (kg/hm ²)	-	4417.0	6234.5	-	6265.0	-	5772.0	6766.0	6263.0	5904.6
旱作产量潜势 (kg/hm ²)	5895.0	4209.0	6117.0	6343.5	5158.5	4779.0	5242.0	6378.0	5749.5	5541.3
相对误差 (%)	-	4.94	1.92	-	21.45	-	10.11	6.08	8.94	8.91
大田产量 (kg/hm ²)	4174.5	1695.0	2298.0	4395.0	2974.5	3384.0	2292.0	6210.0	1360.5	3198.2

由比较结果可知,冬小麦试验值与气候潜力计算值之间的相对误差变化范围在 1.92%(1988年)~21.45%(1990年)之间,多年平均误差为 8.91%;春玉米相对误差变化范围在 2.16%(1992年)~13.20%(1990年)之间,多年平均误差为 7.05%,这说明以上公式的选择及参数的修正较为合理。

表 4 长武试区春玉米多年气候生产潜力、旱作产量潜势、大田产量比较

Tab. 4 The comparison of CPP, dryland yield potential, and field yield of spring maize in Changwu

年 份	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	平均值
光温潜力 (kg/hm ²)	9558.0	9869.5	10716.5	11769.5	9958.0	10754.5	11797.5	10884.0	10663.4
ET _a /ET _m	0.82	1.00	0.65	1.00	0.84	0.91	-	0.92	0.88
气候生产潜力 (kg/hm ²)	7407.5	-	6028.0	-	7966.5	9544.5	-	9795.5	8148.4
旱作产量潜势 (kg/hm ²)	7575.0	8415.0	5730.0	9054.0	7081.5	8431.5	7558.5	9588.0	7929.2
相对误差 (%)	2.21	-	5.20	-	12.51	13.20	-	2.16	7.05
大田产量 (kg/hm ²)	6375.0	5599.5	4123.5	5835.0	5754.0	7990.5	7399.5	5224.0	6037.5

该区冬小麦光温生产潜力在 6641.0kg/hm² ~ 7258.5kg/hm² 之间, 多年平均值为 6910.5kg/hm², 标准差 197.3kg/hm², 最高值为最低值的 1.09 倍, 说明光温生产潜力年际变化不大。气候生产潜力在 4417.0kg/hm² ~ 6766.0kg/hm² 之间, 多年平均值为 5904.6kg/hm², 标准差 744.7kg/hm², 最高值为最低值的 1.53 倍; 说明由于降水变率大, 气候生产潜力年际波动较大。春玉米光温生产潜力在 9558.0kg/hm² ~ 11797.5kg/hm² 之间, 多年平均值为 10663.4kg/hm², 标准差 739.3kg/hm², 最高值为最低值的 1.23 倍, 年际变化不大。气候生产潜力在 6028.0kg/hm² ~ 9795.5kg/hm² 之间, 多年平均值为 8148.4kg/hm², 标准差 1395.7kg/hm², 最高值为最低值的 1.63 倍, 年际波动较大。

3 讨论

黄土塬区的光能充足, 不是造成该区作物产量低而不稳的原因, 而温度、降水等远不如江南和华北丰富, 故必然成为影响旱作生产潜力实现的重要因素^[6], 本文通过分析温度满足率 TCR 和水分满足率 WCR 来揭示黄土塬区温度和水分对生产潜力的影响程度, 即温度和降水满足作物需求的程度。温度满足率可以用光温生产潜力平均值与光合潜力之比来表示, $TCR = Y_T / Y_P$; 在自然降水条件下, 水分满足率可以用气候生产潜力平均值与光温生产潜力平均值之比来表示 $WCR = Y_W / Y_T$ 。现将塬区小麦和玉米的 TCR 及 WCR 总结如下:

表 5 长武试区主要作物的 TCR、WCR

Tab. 5 The TCR, WCR values of main crops in Changwu

作物	光合潜力 (kg/hm ²)	光温潜力 (kg/hm ²)	TCR	气候潜力 (kg/hm ²)	WCR	旱作产量潜势 (kg/hm ²)	大田产量 (kg/hm ²)
冬小麦	16026.0	6910.5	0.43	5904.6	0.85	5541.3	3198.2
春玉米	19388.0	10663.4	0.54	8148.4	0.76	7929.2	6037.5

结果表明, 黄土塬区玉米的温度满足率 TCR 为 0.54, 明显高于小麦的温度满足率 (TCR= 0.43); 而玉米的水分满足率 WCR= 0.76, 明显低于小麦的水分满足率 (WCR= 0.85)。从表 3 可以算出, 试区小麦大田产量多年平均值 3198.2kg/hm², 只占旱作产量潜势的 57.7%, 光温潜力的 46.3%; 试区玉米大田产量多年平均值 6037.5kg/hm², 占旱作产量潜势的 82.8%, 光温潜力的 61.6%; 采用合理施肥方式和加强田间管理, 进一步提高水分利用效率, 发展节水农业, 本区主要作物还有较大的增产潜力。

参考文献

- [1] 中国科学院水利部水土保持研究所主编. 土地资源及生产力研究[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1991. 4~6.
- [2] 杨文治, 余存祖主编. 黄土高原区域治理与评价[M]. 北京: 科学出版社, 1992. 68~72.
- [3] 梁银丽, 党廷辉, 张成娥. 黄土区农田生态系统生产力研究[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 2000. 56~60.
- [4] 信乃谄, 王立祥主编. 中国北方旱区农业[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1998. 150~164.
- [5] 李玉山, 苏陕民主编. 长武王东沟高效生态经济系统综合研究[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1991. 115~119.

[6] 山仑, 陈培元主编. 旱地农业生理生态基础[M]. 北京: 科学出版社, 1998. 194 ~ 211.

[7] 中国科学院黄土高原综合科学考察队. 黄土高原地区农业气候资源的合理利用[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1990. 44 ~ 50.

Simulation of Main Crop Potential Productivity on Loess Plateau

WANG Zong-ming LIANG Yin-li

(Institute of soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100 Shaanxi)

Abstract

To research the crop potential productivity can find the obstacles of improving yield and can offer grounds for programming agricultural production. The paper computed the temperature and climate potential productivity of Changwu district of ten years; compared with practical yield, winter wheat and spring maize being put as example. The result show that: the wheat's average heat potential productivity was 6910.5 kg/hm^2 in studied ten years of the district, that of maize was 10663.4 kg/hm^2 , variance between years was not obvious. The wheat's average climate potential productivity was 5904.6 kg/hm^2 , that of maize was 8148.4 kg/hm^2 ; variance between years was very large. To winter wheat, TCR was 0.43, WCR 0.84; to spring maize, TCR was 0.54, WCR 0.76. The field yield of winter wheat in the district was only 57.7 percent of rainfed yield potential, 46.3 percent of heat potential; that of spring maize was 82.8 percent of rainfed yield potential, 61.6 percent of heat potential, so there is a great potential to improve yield.

Key Words: loess highland, winter wheat, spring maize, production potential