

陇东黄土高原沟壑区农业资源生产潜力及其开发

张希彪

(陇东学院生命科学系, 甘肃 庆阳 745000)

摘 要: 以陇东地区 1990~ 2002 年的气象资料和 1998~ 2002 年的农业生产资料为依据, 应用布达哥夫斯基连乘原理对陇东地区主要农作物的光能生产潜势、光温生产潜势、气候生产潜势进行测算, 结果表明各级生产潜力分别是: 小麦为 $19\,241\text{ kg/hm}^2$ 、 $12\,000\text{ kg/hm}^2$ 、 $7\,500\text{ kg/hm}^2$, 玉米为 $22\,500\text{ kg/hm}^2$ 、 $13\,500\text{ kg/hm}^2$ 、 $9\,000\text{ kg/hm}^2$, 马铃薯为 $24\,093\text{ kg/hm}^2$ 、 $16\,519\text{ kg/hm}^2$ 、 $10\,945\text{ kg/hm}^2$, 表明该地区农业资源可供利用的潜力较大。在对该地区农业资源利用现状分析的基础上, 通过优化种植业结构, 建立与水资源状况相适应的抗逆应变型种植制度; 采用集、节水技术, 增加能量投入, 提高水分的有效率等措施以最大限度地发挥农业资源潜力。

关键词: 陇东地区; 农业资源; 生产潜势

中图分类号: F301.24

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2004)03-0095-03

A Probe on Potential and Exploitation of Agricultural Nature Resources on Longdong Loess Plateau

ZHANG Xi-biao

(Department of Life Sciences, Longdong University, Qingyang 745000, Gansu, China)

Abstract: Ludging by meteorological records (1990~ 2002) and agricultural nature resources (1998~ 2002), photo-energy productive potential, thermal productive potential and climate productive potential of the main crops of Longdong Loess Plateau being estimated, the result indicates the productive potentials at different levels (winter wheat: $19\,241\text{ kg/hm}^2$, $12\,000\text{ kg/hm}^2$, $7\,500\text{ kg/hm}^2$, spring millet: $22\,500\text{ kg/hm}^2$, $13\,500\text{ kg/hm}^2$, $9\,000\text{ kg/hm}^2$, potato: $24\,093\text{ kg/hm}^2$, $16\,519\text{ kg/hm}^2$, $10\,945\text{ kg/hm}^2$). The utilization ratio of climate productive potential is 30%~ 35%, having a comparatively potential to increase production, to adjust the rational agricultural distribution, to set up plant system appropriate to nature resources situation, to make use of advanced catchment techniques in saving water, to increase energy input and to improve efficiency of water using. These are effective measures for full use of agricultural resources.

Key words: Longdong region; agricultural nature resources; productive potential

位于黄河中游黄土高原沟壑区的陇东地区, 农业生产条件相对较好, 是甘肃省的主要产粮区, 素有“陇东粮仓”之称。由于该区地处典型的半干旱地区, 具有农牧交错带、资源潜力带、生态环境脆弱带、农村经济贫困带的特点。因而, 农业生产问题是陇东经济发展问题的焦点之一^[1]。农业气候资源生产潜力的研究可为气候资源的评价与开发、土地资源的粮食供给量的估算、种植业结构的调整具有积极的意义, 我们就在以前工作基础上, 应用布达哥夫斯基连乘原理对陇东地区主要农作物的生产潜力进行分析, 为陇东黄土高原沟壑区农业生产可持续发展和资源利用效率的改善提供理论依据。

1 陇东黄土高原沟壑区的自然资源特征

1.1 气候类型复杂, 日照充足, 热量条件较好

陇东黄土高原深踞内陆, 属我国东部季风湿润区向西北干旱区的过渡区域, 光能资源丰富, 太阳辐射量为 $4\,438 \times 10^6 \sim 6\,615 \times 10^6\text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}$, 年光合有效辐射总量为 $2\,237 \times$

$10^6 \sim 3\,335 \times 10^6\text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}$, 日照时间为 $2\,250\text{ h/a} \sim 2\,600\text{ h/a}$ 。热量条件好, 一年一熟有余, 多数两年三熟, 少数一年两熟。年均气温 $7 \sim 10^\circ\text{C}$, 0 的积温为 $3\,300 \sim 3\,800^\circ\text{C}$, 10 的活动积温为 $2\,600 \sim 3\,400^\circ\text{C}$ 。该区 7~ 9 月日平均气温大于 10°C 的积温, 川区为 $1\,900 \sim 2\,400^\circ\text{C}$, 中南部的塬区为 $1\,700 \sim 1\,900^\circ\text{C}$, 光热资源条件适用于大多数作物的生长。

1.2 土地资源丰富, 利用率低, 土壤瘠薄, 生产力低

该区土地以旱地为主, 土地总面积 (346 万 hm^2) 占全省总土地面积的 7.5%, 其中耕地面积 ($106\,15\text{ 万 hm}^2$) 占全省耕地面积的 19.9%。全区比较平坦的川塬地只占耕地总面积的 38.9%, 而丘陵沟壑区占 60.9%。 $< 5^\circ$ 的地占土地面积的 17.4%, 而 $> 15^\circ$ 的坡地占全区耕地面积的 60.63%。随着人口的增长, 休闲和轮作面积减少, 进而大量的开垦, 造成环境恶化和土壤侵蚀加剧。加之有机肥和化肥投入不足, 长期掠夺式耕作, 致使土壤生产力低下。

1.3 水资源短缺, 雨热同季, 灾害频繁

收稿日期: 2004-02-25

基金项目: 教育部博士点专项科研基金资助(20030712001); 陇东学院资助项目

作者简介: 张希彪(1963-), 男, 甘肃省武威市人, 副教授, 主要从事生态学和自然资源教学研究。

首先是降水总量少,降水变率大,降水的时空分布不均,降水季节与作物生长季节不完全同步,增加了农业生产的风险性和不稳定性。该区多年降水量为 410~620 mm,但多集中在秋季,10 月至翌年 3 月份降水量只占全年降水量的 17%。从东南部 620 mm 向西北逐步减至 400 mm,由于降水的地区差异和时间分布上的不均衡性,加之地表径流严重,因而春旱和伏旱成为威胁农业生产的主要气象灾害。其次是水资源严重不足,人均水资源为 856 m³,仅为全国人均水平的 35%;耕地水资源 10 050 m³/hm²,相当于全国平均水平的 36%,地表水和地下水严重缺乏,加之地貌类型使有限的地表水资源难以通过人工措施,应用于作物生长过程致使粮食作物生长直接受制于降水资源的支配,从而使本区粮食生产长期低而不稳。

1.4 水土流失严重,地力衰退和农田蚕食加剧

由于受多重因素的影响,该区水土流失面积占土地总面积的 91.18%,占黄土高原水土流失面积的 7%。沟壑密度为 1.3~7 km/km²,冲刷深度 0.2~2.5 cm。土壤侵蚀模数为 5 000~10 000 t/(hm²·a),远大于黄河干流一般约 500 t/(hm²·a) 的土壤侵蚀模数。除塬面之外,大部分的耕地在 10°~25° 或更陡的坡上,25° 左右的耕地每年流失土壤达 120~150 t/hm²,每年损失 NPK 达 4 000 多万 t,大量肥沃的表土流失,养分总储量和有效养分含量接近土壤母质的水平。土壤有机质含量仅 0.5%~0.8%,纯氮含量 30~60 kg/hm²,致使土地产出能力低下。同时,由于沟谷塬边沟头侵蚀强烈,沟床下切,沟岸扩张,以及悬崖坍塌、滑塌等,使塬面不断被蚕食,据观测沟头平均每年前进达 1 m 以上。

2 农业气候资源潜力估算的数学模型

农作物的气候生产潜力是在一定技术条件下,由农田生态系统结构、状态决定的单位面积、单位时间内,农作物转化、固定物质能量可能形成(潜在)的生物产量或经济产量水平。它取决于作物群体截获的生理辐射量,最大光能利用率以及光温水气等影响的函数。作物产量的气候生产力模式为:

$$P_w = P_f \times f_{(T)} \times f_{(R)} \times f_{(d)}$$

式中: P_w ——气候生产潜力; P_f ——光合生产潜力; f ——各因子的效能系数; R ——作物生育期间的降水量; d ——大气中 CO₂ 的浓度; T ——平均温度。在自然生态平衡不被严重破坏时,其 CO₂ 的效能系数 $K(d) = 1$, 这样就可写成: $P_w = P_f \times f_{(T)} \times f_{(R)}$ 。计算出的气候生产潜力均为经济产量,其经济系数取 0.35。

2.1 光能生产潜力

作物的光合生产潜力是假定在各种环境因素均处于最适宜条件下,高光效作物组成的群体所能产生的最大干物质产量。作物的光能生产潜力用布达哥夫斯基连乘原理^[2,3]求得

$$P_f = Q \cdot \epsilon \cdot \alpha \cdot (1 - \rho) \cdot (1 - \gamma) \cdot \varphi \cdot (1 - \omega) \cdot (1 - \chi)^{-1} \cdot H^{-1}$$

式中: Q ——作物生育期内总辐射能; ϵ ——生理辐射系数($\epsilon = 0.49$); ρ ——非光合器官无效吸收率($\rho = 0.10$); γ ——非饱和吸收率(自然条件下 $\gamma = 0$); φ ——量子效限制率($\varphi = 0.224$); ω ——呼吸作用的耗损率($\omega = 0.30$); H ——每形成 1 g 干物质所需要的热量($H = 0.425$ kJ/kg); α ——光合有效辐射的吸收率; χ ——风干植株含水率($\chi = 0.145$)。

2.2 光温生产潜力

光温生产潜力是指在水肥保持最适宜状态时,由光温两

个因子共同决定的产量。当外界温度比最适温度低或者高时,对其表观光合作用的影响可粗略地视为线性下降。光温生产潜力模式为 $P_t = P_f \cdot f_{(T)}$, 根据侯光良等的研究成果^[4], 光合生产潜力的温度效能系数 $f_{(T)}$ 为

$$f_{(T)} = \begin{cases} 0.027t - 0.162 & (6 \leq t \leq 21) \\ 0.086t - 1.41 & (21 \leq t \leq 28) \\ 1.00 & (28 \leq t \leq 32) \\ -0.083t + 3.67 & (32 \leq t \leq 44) \end{cases}$$

式中: t ——月或旬平均气温。

2.3 气候生产潜力

气候生产潜力是指在养分保持最适宜状态下,由光、温和水分三个因子共同决定的产量。由于生育期降水总量和分配、年际变化等方面的干扰,对产量的波动起着关键性的影响。气候生产潜力模式为 $P_w = P_t \times f_{(W)}$

$$f_{(W)} = \begin{cases} (1 - C)R/E_0 & 0 < (1 - C)R < E_0 \\ 1 & (1 - C)R \geq E_0 \end{cases}$$

式中: E_0 ——土壤水分供给充分条件下的农田最大蒸散量; $E_0 = 0.0018(25 + T)^2 \cdot (100 - U)$; C ——径流量与降水量的比例系数,取 0.20; R ——降水量; U ——相对湿度。

作物在旱作条件下的气候生产潜力为: $P_w = P_t \times (1 - C)R/E_0$

3 陇东黄土高原沟壑区自然资源生产潜力

3.1 主要农作物的生产潜力

不同作物的气候生产潜力有较大差异,其排序为马铃薯 > 春玉米 > 冬小麦 > 春谷子 > 大豆,马铃薯的综合生产潜力最大,其次是玉米(表 1)。进一步对不同区域的气候生产潜力的估算(表 2),冬小麦的气候生产潜力为 4 500~7 875 kg/hm²,东南部为高产区,其次是中部地区,合水、正宁一带可达 7 500 kg/hm²,环县、华池在 5 250 kg/hm² 以下,其它区在 6 000~7 500 kg/hm² 之间。春玉米的气候生产潜力为 6 750~9 750 kg/hm²,中部地区为高产区,南部次之,其中庆阳、合水最高,在 9 000 kg/hm² 以上,环县、华池北部、镇原西北部最低,在 7 500 kg/hm² 以下。马铃薯的高产区在降水量较高而气候较为凉爽的中南部地区,在北部由于降水偏少,生产潜力不高。

表 1 陇东地区主要作物的生产潜力 kg/hm²

类 型	冬小麦	春玉米	马铃薯	春谷子	大豆
光温生产潜力	12000	13500	16224	7423	2798
气候生产潜力	75000	9000	10822	6342	2379

3.2 气候生产力指数

气候生产力指数(WCR)表示自然降水条件下降水满足作物需水的程度,能客观地反映光温水资源的配合协调程度。结果表明,陇东黄土高原沟壑区气候生产力指数由东南向西北递减,东南部最高可达 0.80,而西北部的环县最低,只有 0.40,其变化规律与作物生育期内的降水趋势基本吻合(表 3)。

3.3 气候生产力利用率和可能增产潜力

气候生产潜力利用率(η)可以反映气候生产潜力的发挥程度,以 1998~2002 年的平均单产为现实生产力,计算的气候生产潜力为理论生产力,从而得出各地的 η 。冬小麦的 η 在 20%~50% 之间,宁县、西峰的气候生产潜力利用率达 47% 以上,而环县、庆阳、镇原的 η 在 25% 以下,全区平均为

35%~70%。玉米的 η 也在 20%~50% 之间, 西峰最高, 可达 50%, 而庆阳、合水、宁县都在 20% 左右, 全区平均为 30%~70%。目前该区粮食生产仅实现了光合生产潜势的 10%~32%, 热量生产潜势的 21%~66%, 降水生产潜势的 29%~66%, 多为 30%~35%, 说明气候资源还有较大的农业生产潜力。可能增产潜力最大的是庆阳、镇原和合水, 气候资源相对较丰富, 冬小麦的可能增产潜力达 3 000 kg/hm² 左右, 春玉米的可能增产潜力在庆阳、合水, 可达 7 500 kg/hm² 以上, 镇原在 6 000 kg/hm² 以上, 其它地区在 5 200 kg/hm² 左右。

表 2 各地主要农作物的光、温、水生产潜势 kg/hm ²									
区域	冬小麦			春玉米			马铃薯(干重)		
	P_f	P_t	P_w	P_f	P_t	P_w	P_f	P_t	P_w
环县	19740	11565	4830	23175	12885	7095	23513	14253	7238
华池	18135	9795	5280	28470	10845	7530	23985	15892	8949
庆阳	20055	11550	7140	22125	13410	9375	24698	15994	9596
合水	20055	11295	7830	23175	13140	9690	24155	16785	10910
西峰	18120	9990	7050	29475	10710	7920	27980	17665	12521
镇原	20625	11505	6630	22065	13140	8700	22450	16560	12592
宁县	18180	10110	7110	21915	12390	8730	22430	16698	12785
正宁	19020	10065	7635	22980	11355	8820	22154	15950	11985

表 3 各地气候生产力指数(WCR)									
作物	环县	华池	庆阳	合水	西峰	镇原	宁县	正宁	
冬小麦	0.42	0.54	0.61	0.69	0.71	0.58	0.70	0.76	
春玉米	0.55	0.69	0.70	0.74	0.74	0.66	0.70	0.78	
马铃薯	0.50	0.56	0.60	0.65	0.71	0.76	0.77	0.75	

4 提高陇东黄土高原沟壑区自然资源生产潜力的途径

4.1 优化作物结构, 建立与水资源状况相适应的抗逆应变型种植制度

通过气候生产力的分析表明, 降水总量与作物产量相关性不大, 而与生长季节降水高度相关。因此, 应以水的现实承载力为根据, 建立一种能适应各种干旱气候类型的、稳定的、立足于抗旱减灾、趋利避害, 发挥地区资源优势的稳定性种植制度是提高粮食生产潜力的关键。庆阳地区的各级生产潜力存在着明显的地区间差异, 同样措施常常在生产潜力高的地区具有较大的增产效果, 合水、正宁、宁县等地是最有利于创造粮食高产的地区, 气候生产力指数的变化规律也证明了这一点。应按照自然资源分异规律调整种植业结构, 将不同种类的作物安排在最适宜的种植区, 以最大限度的发挥农业资源潜力。不同种类作物的气候生产潜力差异较大, 马铃薯>春玉米>冬小麦>春谷子>大豆, 玉米、马铃薯的增产潜力远大于小麦和其它作物, 玉米和马铃薯的 WCR 值不论在何种立地条件下, 都高于小麦, 说明目前的光、温、水条件对玉米和马铃薯的生产更为有利, 应进一步发展玉米、马铃薯生产。

4.2 发展雨水的资源化利用

参考文献:

[1] 张希彪, 上官周平. 黄土高原粮食生产潜势及可持续发展途径探讨[J]. 干旱地区农业研究, 2002, 20(1): 102- 106

[2] 陈明荣, 龙斯玉. 中国气候生产潜力区划的探讨[J]. 自然资源, 1984, (3): 94- 97.

[3] 邓根云, 冯雪华. 我国光温资源与生产潜力[J]. 自然资源, 1980, (4): 48- 51.

[4] 侯光良, 刘允芬. 我国气候生产潜力及其分区[J]. 自然资源, 1985, (3): 52- 59.

[5] 冷石林. 中国北方旱地作节水增产理论与技术[M]. 北京: 中国农业技术出版社, 1996

[6] 张希彪. 陇东黄土旱塬农业生态系统能流特征研究[J]. 农业现代化研究, 2002, 23(6): 414- 418

干旱缺水仍是制约本区作物生产潜力得以充分挖掘的重要限制因素, 然而自然降水的大量流失和无效蒸发是造成旱地作物产量低而不稳的根本原因。该区土壤多以轻壤土为主, 土壤持水能力强, 可蓄存年降水量的 60%~70% 以上。把坡度小于 25 的坡耕地改造成梯田就地全部富集拦蓄入渗降水径流, 可大大增加有效土壤水分含量。据研究 10 年以上的梯田土壤含水量比同等坡耕地提高 6%~12%, 水解氮提高 1.4 倍, 速效磷提高 14%, 速效钾提高 1.63 倍。普通梯田比坡耕地增产 30%, 优化梯田比坡耕地增产 50.8%, 所以梯田建设是改造微地形下垫面富集降水径流, 就地拦蓄入渗利用的重要措施。大量的研究表明, 采用集雨补灌, 作物的水分生产效率可由 0.4~0.6 kg/mm 提高到 0.8~1.2 kg/mm¹, 粮食单产增长 50%~100%。通过改变地形、地面结构形成积水区和阻水区, 防止径流的形成; 改革耕作制度, 对土壤少耕、免耕, 进行残茬或秸秆覆盖, 防止蒸发等无效损失, 以更多的蓄积水分。强化作物对土壤水分的吸收或强化作物对水分的转化效益, 使潜在的可能利用的水分转化为经济产物^[5]。

4.3 进行中低产田改造, 改善粮田生态环境

从气候生产力利用率来看, 玉米、马铃薯的利用率远大于小麦, 说明玉米、马铃薯的增产潜力还没有发挥出来, 应进一步采取措施提高玉米、马铃薯的产量。进行中低产田改造, 主攻单产, 是开发自然资源潜力的另一途径。中低产田改造的重点是大搞农田基本建设, 推广农业综合增产技术。农田防护、间作套种等各种农业技术的配套组装。配合重施化肥与农肥, 对坡耕地粮田, 应采用沟垄种植, 水平沟种植, 抗旱丰产沟种植, 进行少耕免耕, 轮作倒茬, 使坡耕地粮食生产力提高到中产水平。

4.4 选择和推广耐旱与丰产性能较好的旱肥型优良品种

品种的突破对改善和开发该区粮食生产潜势有决定性作用。实践证明, 在其它技术不变的情况下, 良种本身的增产幅度可达 15%~20%。该区不少地区养分资源稀缺, 通过改变作物遗传背景, 使其对稀缺养分资源不敏感或通过其较丰富养分资源产生替代效应, 获得一定的产量。恢复和加强良种繁育体系, 建立较为稳固的良种繁育基地, 使良种覆盖提高到 80% 以上, 发挥大面积良种的增产潜力。

4.5 增加农田投入水平, 提高农田养分的利用效率

对该区能流研究表明, 每公顷农田平均投能为 37.8 亿 J, 相当于全国平均水平的 58.7%, 农田产出能量与总投能量、投入生物能量、投入工业能量、投入化肥能量及投入农田能量均呈极显著正相关^[6]。现阶段生产条件下, 增加能量投入是开发农田生产潜势乃至整个农业可持续发展的战略选择。要加大工业能投入和化肥投入比重以优化投能结构; 大力修建基本农田, 发展水利以改善投能环境; 农家肥能与化肥能投入结合、农机能投入与劳力能投入结合、农药投入与种子投入结合等提高投能效率。