

黄土高原农业气候资源及其合理利用 初步分析

陈国良

(中国科学院西北水土保持研究所)

黄土高原是我国文化的发祥地,农业自然资源丰富多样。但长期以来,由于实行单一农业经营的方针,农业自然资源利用极不合理,不仅粮食产量低而不稳,生态环境也日益恶化。为此,本文试图从农业气候资源合理利用的角度,就黄土高原的农林牧合理布局及提高粮食生产问题,作一初步分析。

一、黄土高原的气候特点

由于地理地形的影响,黄土高原具有大陆季风气候特点,冬季干燥寒冷,夏季温暖湿润,并由东南向西北呈地带状差异。按中国气候区划,全区分属四个气候区,南部(陇东南和渭北高原及其以南)为南温带半湿润气候区;陕西延安地区及晋中南部为南温带半干旱气候区;陇东、陕西北部、晋西北为中温带半干旱气候区;河套平原东部西山咀至乌审旗、盐池、同心、景泰一线以西为中温带干旱气候区。全区气候特点是:

1. 太阳辐射强,日照时间长。区内年总辐射量为120—160千卡/平方厘米,其中西部和西北部最高达140—160千卡/平方厘米,较同纬度的华北地区多20—30千卡/平方厘米。全年日照时数为2,000—3,100小时,北部2,800小时以上,较同纬度的华北地区多200—300小时。

2. 气候温和,冷暖分明。黄土高原具大陆性季风气候特点,气候较温和且冷暖气节分明。区内年平均温度在6—12℃之间;一月平均温度为-2—-4℃,最低温度平均-8—-22℃,极端最低温度平均-12—-36℃;七月平均温度为20—24℃,最高温度平均26—30℃;气温年较差为28—36℃,较华北地区年平均温度低3—5℃,年气温日差却大2—4℃。在作物生长的季节则大4—6℃(为10—18℃)。

3. 气温地区分布差异大,垂直变化明显。东南部渭河盆地、阶地及汾河下游地区较温暖,年平均温度9—12℃,最冷月平均温度-2—-6℃,最热月平均温度22—24℃左右;中部广大地区温凉,年平均温度8℃左右,最冷月平均温度-8—-10℃,最热月平均温度22—24℃;北部及西北部温冷,年平均温度6—8℃,最冷月平均温度-10—-14℃,最热月平均温度24℃。太行山北部的晋东北地区 and 宁夏南部六盘山区,由于海拔平均在2,000米左右,成为高原的低温区域,其年平均温度为2—6℃,一月平均温度-12—-14℃,七月平均温度18—20℃。在中、高山区和黄土丘陵沟壑区,相对高差一般在500—600米以上,沟谷处温暖,水利条件好时可二年三熟(如延安东部地区),而山丘坡地温度相对

要低得多，只能一年一熟（洋芋、糜、谷、莜麦等）。

4. 降水地区间差异显著，年、季间变化大。区内降水由东南向西北逐渐减少，全区年平均降水量150—800毫米之间。汾渭盆地600—800毫米，是区内自然降水最丰富的地区；自呼和浩特至乌审旗、吴旗、同心、兰州一线以东的广大黄土丘陵沟壑区和黄土塬地为400—550毫米；以西至河套银川平原以东为200—400毫米，河套及银川平原及其西部降水最少，只有150—200毫米。

黄土高原自然降水的另一特点，是年内分配不均，且年、季间变化大。冬季降水最少，占年降水量的3—5%；春季次之，占年降水量的8—15%；夏季降水最多，占年降水量的55—65%；秋季降水比春季略多，占20%左右。本区降水主要来自东南季风，且大部分地区只能受其余泽，因此季风气流的强弱盛衰，对本区降水多少影响极大，造成年、季降水相对变率均较我国其它地区突出。年相对变率平均在20—30%左右，多雨年雨量比少雨年雨量常高出3—10倍，北部个别地区甚至高达30—40倍。如太原少雨年仅仅有50毫米，而多雨年可高达700毫米，易于形成旱洪灾害。季节降水相对变率更大，除汾渭谷地低于40%以外，广大黄土高原高达50—90%，夏季相对变率较小，为30—40%，秋季30—50%。

5. 大风、沙暴日数多，蒸发力强。本区冬春季节，在蒙古高压的控制影响下，盛行干燥寒冷的西北风，是全国多大风、沙暴的地区之一。除南部平原盆地区外，多数地区全年大风日数在10—20天，西北部最多，达25天。在北部长城以北地区，随着大风的出现，常常引起表土的风蚀，流沙飞扬沉积，使土地沙化和形成新的沙丘。在干燥强风的影响下，水分蒸发加剧，一般蒸发量超过降水量的2—8倍，且与空气相对湿度的大小紧密相关。如西安年相对湿度为76%，年蒸发量1,420毫米；太原年相对湿度为60%，年蒸发量1,771毫米。

二、黄土高原有利与不利的农业气候条件

由于黄土高原具有大陆性季风气候特点，对农业生产既有许多有利条件，也有不少不利条件。如何使农、林、牧业布局与该区的气候特点相适应，做到充分利用气候资源，克服不利天气与气候条件，促进农业生产的发展和保持生态平衡，较之其它地区更有其重要意义。

（一）有利的农业气候条件

1. 光能资源丰富，光合生产潜力大。太阳辐射是地球上一切生物的能量源泉。黄土高原空气干燥，云量少，日照时间长，能提供较多太阳辐射能源，是我国辐射能源丰富的地区之一。如果作物生长的其它热量和水、肥条件得到满足，按黄秉维教授估算光合潜力的方法（太阳总辐射卡/cm² × 0.124 = 斤/亩），则太阳辐射每增加1千卡/平方厘米，每亩可多生产干物质约124斤/亩，折成经济产量（即粮食籽草比按0.4）约为50斤；再按偏低的光能利用率1%计算，每亩约为8斤。由此看出，黄土高原的光合潜力很大，比华北平原地区全年每亩光能潜力大400—620斤，折合粮食（籽干比按1:2）为133—206斤，其1%的光合总潜力（经济产量）约为1,100—1,300斤/亩。可惜的是黄土高原大部地区光热水结合条件不平衡，加之水土流失严重，土地瘠薄，大大限制了光能资源的利用。

2. 热量资源比较丰富，适于多种温带植物生长。黄土高原除高大山体（如六盘山、阴山、吕梁山、太行山）附近属冷温气候，年平均温度6℃左右，≥10℃积温<2,500℃，

无霜期120天左右外，大部地区属暖温、中温带，年平均温度8—12℃之间， $\geq 10^\circ\text{C}$ 的积温为2,500—4,500℃，无霜期150—250天。按此热量分布状况，在水分条件许可的情况下，本区从南向北适于一年两熟、二年三熟、一年一熟等多种熟制(表1)，汾渭盆地还可以种植喜温的水稻、棉花。对林草、牲畜的生长发育，比贺兰山以西、阴山以北的冷旱荒漠地带更具有优厚的环境条件，故历史上曾是林茂草丰之地。现在中部和南部地区仍是喜温的苹果、红枣、核桃及多种落叶阔叶树(如小叶杨、榆树、洋槐、臭椿、山桃、山杏、桑树)的生长发展之地。冬季温度虽低，但冬小麦仍可种至长城沿线而能安全越冬。

3. 气温日较差大，积温有效性高，有利于植物干物质积累。黄土高原气温日较差也是我国高值区之一，年平均在10—16℃之间，最大日较差达28—30℃。日较差大有利于干物质和糖分的积累，且品质好。据青海省农科院对春小麦测定，在日较差大的情况下，夜间的消耗物质仅占白天生产物质的1/4—1/3，这样就相对提高了积温的利用率。

4. 雨热同季，水热天热配合，水分利用率高。黄土高原降水和热量都不算十分丰

表1 主要复种制度所要求积温 ($\geq 10^\circ\text{C}$)

复种制度	作物组成	平均所需积温
小麦玉米两熟	小麦 + 玉米 + 农耗	3,700—4,100*
小麦谷子两熟	小麦 + 谷子 + 农耗	4,150
小麦糜子两熟	小麦 + 糜子 + 农耗	3,450

*前数指早熟玉米，后数指中熟玉米。

盛，尤其是降水相对变率大，蒸发强，常感水分不足。但好在70%以上的降水都集中在作物的生长季节。如榆林 $\geq 10^\circ\text{C}$ 期间的降水为312毫米，占年降水的77%。兰州 $\geq 10^\circ\text{C}$ 期内降水252毫米，占年雨量79%，此时正是作物旺盛生长，需水热最多的时候，从而水分利用率高，生产潜力相对增大。在陕西关中地区冬麦面积很大，这主要是具有：“八、十、三场雨”的有利条件，冬麦即令旱作，一般年份也能获得200—300斤/亩，甚至400斤的产量。在黄土塬区也有类似的情况。而在丘陵沟壑区，因水土流失严重，土壤保蓄水分少，以秋作物为主，充分利用夏季降水，不仅减少农业用水的循环周转，其产量往往高于麦子2—10倍以上。

(二) 不利的农业气候条件

1. 干旱频繁，严重影响作物高产稳产。黄土高原总的降水量在东南半部地区一般可以满足作物需要，在西北半部地区则显降水不足，加之降水不均和地形影响，土壤保蓄水分少，干旱十分严重，尤以春旱频繁。据榆林气象资料，1951—1970年20年间，年年有旱灾，其中大旱11年。又晋西旱年频率在一半以上，大旱年占三分之一，常常严重影响夏田作物的生长和秋作下种。

该区冬季降水只占2—5%，有的地区和年份(尤其是北部)一冬甚至滴水不下，对冬麦越冬极为不利。入春后，在大陆干燥气团的控制下，降水只30—120毫米，不及同期蒸发量1/5，甚至几十分之一，常常发生春旱。入夏后，温度高，蒸发强，雨季来临较迟，又常引起

初夏旱。此时正是冬作物生长迅速,需水最多,光照充足的时候,对产量影响十分严重,这是一般旱作农业只能亩产30—50斤的主要原因。大旱年份使农业大幅度减产,甚至绝收,对牧草返青生长也极为不利。如1965年陕北榆林地区发生特大干旱,粮食近乎绝收。1973年固原县因春夏大旱粮食减产,单产只26.9斤,不到常年产量的1/3。故该区有“六年一大旱、四年一中旱,年年有春旱”的说法,确实反映了这一地区干旱的发生规律。

2.降水集中,且多暴雨,容易引起水土流失和洪水灾害。黄土高原降水多集中在6—9月,降雨量占全年雨量的60—79%,且多暴雨。有时24小时暴雨量可达年雨量的50%以上。据气象资料记载,黄土高原大于100毫米的降水几乎每年有1—2次,大于200毫米的暴雨每三年有一次。呼和浩特年雨量400毫米左右,而一次最大雨量竟达193.2毫米,约占年雨量的50%。黄土高原由于地势起伏不平,植被稀少,一旦暴雨出现,极易酿成洪水灾害。如1973年陕北延川县降水112.5毫米,冲毁淤地坝3,300座,中小水库3座,冲毁率为43%;1977年6月安塞出现一次百年不遇的大暴雨,暴雨中心强度255毫米,造成大批坝库冲毁,延安市被水淹没,延河两岸川地20余万亩被毁一半。

3.春秋温度多变,霜冻危害严重。霜冻是影响热量资源充分利用和对作物生长极为不利的因子。本地区霜冻多发生在海陆季风交替、冷暖气流进退频繁的春秋季节。此期气温的波动很大,每遇冷空气入侵,降温常达7—8℃,有的达10℃以上。一般早霜多于晚霜,北部多于南部,尤其是丘陵地区北部,几乎年年均有发生。春霜最迟发生在5月初前后,此时正是麦子返青拔节,春播作物出苗时期,常造成出苗不齐和幼苗伤害,严重的甚至翻种。秋霜最早发生在9月上中旬,此时正是高粱、谷、荞麦扬花灌浆时期,造成空壳秕粒,影响产量。

4.冰雹、大风次数多,危害很大。大风多发生在冬春季节,以4、5月份大风最多。全年大风日数黄土高原大部地区5—10次,西北部20—24次。在北部和西北部大风出现,常伴以风沙发生。而且由于高原北部面临沙漠前沿,本地又多滥牧滥垦,风力达到5米/秒,即可产生风沙现象。大风风沙日数多,不仅易使作物叶片干枯,根部暴露,同时严重破坏土地,是造成沙漠南侵和沙化的重要因素。

冰雹多在中高山区和丘陵地区发生,一般每年1—2次,在高大的太行、六盘山体附近,多达3—4次,最多可达10次。冰雹次数总的来说不如大风霜冻次数多,但其发生时期正是夏秋作物成熟时期,危害严重。如山西灵邱县1974年7月13日,19个公社有18个遭受雹灾,受灾面积24万亩,其中无收成的5.8万亩,造成全县粮食大幅度减产。固原县1976年因雹灾损失粮食近6,000万斤,占多年平均总产量的1/3。

(三) 黄土高原合理利用农业气候资源的几个问题

1.从降水条件看农牧的适宜性。

这里主要讨论黄土高原丘陵沟壑区北半部以西的半干旱和干旱地区。该区年降水量为200—500毫米,10—6月(冬麦生长期)和10℃的生长季节(约为5月上旬至9月下旬)的降水量,大同、米脂、吴旗、靖边、固原一线东南分别为190—230和300—400毫米,西北为110—180和200—300毫米。后套沿黄河一带低于200毫米,如银川为160毫米,磴口为117毫米。结合几种主要作物中等产量水平的需水量(见表2)可以看出以下几点:

(1) 高原整个北半部自然降水均不能满足麦子的需要;(2)北半部的东南部能满足

表 2

主要粮食作物的需水量

作物	冬小麦	糜子	高粱	谷子
需水量(毫米)	262	244	336	292
产量水平(斤)	200	200	380	210

高粱的需水量；(3)西北部只能满足谷子、糜子的需水量；(4)后套地区如无灌溉条件，则不能进行种植业生产。如果再考虑去掉 <10 毫米和 >50 毫米的无效和低效的降水外，上述地区的降水条件更差。加上春季和初夏降水稀少，春旱严重，土壤瘠薄，降水有效性也差。一般有效系数为 $0.2-0.3$ （1毫米降水量生产粮食数）， $300-400$ 毫米降水，目前只生产粮食 $60-120$ 斤，显然对种植业极为不利。加上冻、雹、风害较多，农业更不易高产稳产。据榆林建国二十年的气象观测资料分析， $3-5$ 月多年平均降水次数多达 18 次，但有效降水（ >10 毫米）每月平均不到一次，总有效水仅 30 多毫米；如绥德、米脂一带的梁塔区，在约 450 毫米的年降水中，小于 10 毫米的“无效”降雨占 35% 以上，夏季径流占 38% ，只有 27% 的降水对土壤水分有较大的补充意义。可见该区大面积亩产平均只 $70-80$ 斤，水分不足是一个重要原因。而林草为多年生且生长期较农作物长 $2-3$ 个月，对水热要求不如作物那么严格，较能抗御自然灾害，能充分利用全生长季和低欠的水热条件，在相同自然条件下，比农作物容易获得正常生长和较好的产量。据青海有关农牧部门试验观察，即令一地的生长期在 145 天以下，降水量在 200 毫米左右，发展种植业非常困难，而牧草却能正常生长。因此按作物感到明显供水不足的 400 毫米为界，加上 10% 径流量，则在 450 毫米以下对作物便很不利，故在 450 毫米以下的黄土高原丘陵地区及其北部，尤其西北部，除了沟、谷、川、坪、塬地和缓坡地水分条件较好之处，适宜建立基本农田，发展种植业外，广大的山丘和坡地适宜发展牧业和林业，实行牧林为主，建设两个基地的方针，逐步退耕造林种草，实施草灌先行，尽快恢复生态平衡。

2. 按照农业气候资源和自然地理条件，合理布局黄土高原的农林牧业，才有利于扬长避短和逐步恢复生态平衡。

本区东南半部农业气候条件及土地类型与上半部的组合有所不同。从农业气候资源来说，水热条件较上半部丰富，一般 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温在 $3,000-4,000^{\circ}\text{C}$ ，无霜期 $140-210$ 天，年降水在 $500-600$ 毫米，绝大部分地区能满足一季中晚熟品种要求。东南部最前沿水热条件最好，还可一年两熟。从土地类型来说，河谷盆地及塬地较多，在黄土丘陵区，洛河、延河、无定河、三川河等大河流较多，且两岸都有较广阔的川坪地。所以在广阔平坦的汾渭盆地及陕西的洛川塬、长武塬、甘肃的董志塬等应以农为主，并大力开辟水源，注意合理用水，搞好农田防护林建设和实行一定数量的草田轮作，以促进关中驴、秦川牛、奶山羊等养殖业的发展，为农田提供更多的有机肥料和防止土壤盐渍化，尽快建成高水平的商品粮基地。而在中南部的黄土丘陵沟壑区，虽水热条件较好，但春旱和初夏旱严重，加之地形切割破碎，坡地占到 $60-70\%$ 以上，相对高差在 $100-200$ 米，水土流失严重，坡地土壤水分条件通常只有平地的 $1/2$ 。如继续开荒种地，不仅粮食无保证，还将加剧“山上开荒，山下遭殃”的恶果。故从长远来说，除宽谷平地社队外，丘陵拐沟社队不宜再以经

营粮食为主，应大力发展牧业和林果业，实行农林牧结合，以林护农，以牧促农的方针。在农林牧的布局上可采取草灌上山，乔木护沟，平缓地建农田的作法，使农林牧有机结合，互相促进，以建立合理的生态系统。但在人多地少的陕北榆林与晋西北的黄河峡谷区各县，川地和平缓坡地较少（只占5%左右），则应在建设林草的配合下，搞好梯田和水坝地建设，尽快改变广种薄收的作法。这个地区的林业建设，在海拔高、土层薄、热量低欠的山区（如子午岭、吕梁山、太行山的主体部位），应发展水源林和用材林，其它丘陵阴坡应重点建设水保林和薪炭林。浅山向阳坡地，则应利用气候温和、日较差大、光照充足的特点，大力发展温带落叶果树和经济林木，如苹果、核桃、大枣、桑树、山杏等，尽快建成林果基地，用以换取资金和粮食，以补灾年口粮不足和收入低微的困难。事实上有些队（如延安的柳林大队），发挥当地自然优势，从林果起家，已经走出了由穷变富的路子。

3. 提高降水利用率，是解决粮食自给的重要途径

干旱和水土流失是黄土高原的两大灾害，尤其是干旱，它既是黄土高原生态系统处于脆弱状态的主要因子，又是植被恢复缓慢和农业生产成败的关键。因此，在降水不足、水源缺乏的黄土高原地区，采用各种方式就地拦蓄雨水，提高降水资源的利用率十分重要；而且在现实生产和国外经验中，也证明这一途径是干旱地区解决干旱威胁的最经济有效的办法。其措施可以有如下几点：

（1）坡地改平，建设保水保土的旱梯田。据有关单位观察，黄土高原丘陵沟壑区的坡耕地年径流量每亩为60—104毫米（合40—70立方米），年土壤侵蚀量每亩为5,000—10,000公斤。如修成水平梯田，可保持全部水肥，在水平的田面上，即令连续降雨100毫米，也可全部拦蓄。如按0.3的有效降水系数折算，可增产粮食18—31斤；

（2）建立隔坡梯田。如按上述径流量计算，1:1的隔坡梯田可以再增加60—104毫米降水接纳量。据我们测定，在田间持水量条件下，黄土高原2米深土层可储水450—550毫米。所以上述水量，在无特大暴雨的情况下也是可以完全保蓄的。

（3）在凹陷的缓坡地区建立小型集水区（国内称洪漫地），接纳周围坡地径流，这在国外干旱区已广泛应用。在黄土高原西北部的固原县双井公社也小面积的试用此种办法，效果很好。该地区年雨量340毫米，春夏干旱均很严重，建立集流区的土地可亩产300—400斤。

（4）增施肥料，培肥土壤，提高蓄水保水能力和水分利用率。据我们在宁夏固原县考察分析，在相同降水条件下，精耕细作、培肥较好的鸭儿沟队，每生产一斤粮食耗水为3毫米，而相邻钦河队，培肥很差，每生产一斤粮食则耗水6毫米，产量也相差一倍，前者平均亩产200多斤，后者仅为100斤左右。

（5）夏田伏耕，秋田深耕。据我们在离石、天水、安塞等地试验，伏耕一项措施，在50厘米土层可多接纳15,000斤以上的雨水；秋田深耕，因起了增加储水和促进根系下扎的作用，利于利用深层土壤水，从而获得增产。如山西临县孙家沟大队，1965年深翻的谷子、高粱、玉米地分别比浅耕的增产22.3%、30.2%和10.7%。

（6）合理安排抗逆性强，耗水少的糜子、谷子等作物，也是提高降水利用率的有效方法。

据资料统计，1977—1978两年，黄土高原123个县中，农业人口达到粮食自给的已有

86县，不能自给的只37县。如果合理调整农业结构，实行建立两个基地的方针，将对防止水土流失，提高地力，减免水旱风雹灾害的危害起到有效的作用。在粮食生产中，如因地制宜地再采取上述提高降水利用率的办法，粮食自给是大有希望的。

4. 掌握气温垂直变化规律，充分利用山区水热资源

黄土高原高大山体较多，如太行山、吕梁山、子午岭、六盘山等，且坡麓缓长，土层深厚。这些山岭由于海拔较高（多在2,000米以上），山体庞大，大都形成凉湿的小区域性气候。如六盘山广大坡麓地段年均温6—7℃，年降水500—700毫米。这些地区在山岭主体周围因山势陡峭或为石质山地，应以发展林业为主。但在坡度平缓之处，具有农作物生长的水热条件，在不破坏林木草被的条件下，建立一定比例的基本农田，乃是解决当地群众粮食自给的有利因素。而这些地区，气温随海拔变化差异明显，必须按气温的垂直变化规律，合理安排作物，使其最大限度的利用气候资源，才能获得最佳产量。黄土高原一般海拔每升高100米，月平均温度降低0.6℃，无霜期减少5—7天， $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温减少100℃左右。按此变化结合作物的热量要求指标进行推算，玉米可种到1,200—1,400米，冬麦可种到1,300米（长城以南），马铃薯种到1,100米以上，胡麻、莜麦种到2,000米。

5. 合理安排沟、谷、川、坪地作物布局，提高水热资源利用率

黄土高原除汾渭平原、银川平原、董志塬、洛川塬、长武塬具有广大的平整土地外，在丘陵沟壑区还有为数众多大小不等的沟、谷、川坪地。这些地区一般海拔较低，虽热量资源大大富于水分资源（多数地区 $> 10^\circ\text{C}$ 积温在3,000—4,200℃，降水400—500毫米），但离水源较近，提灌容易。因此在平整土地的同时，应集中力量开发水利资源，并注意计划用水，节约用水，尽可能的扩大灌溉面积，则光热资源的生产潜力可以进一步发挥，产量可以得到大幅度增长。如汾渭平原按热量条件可一年两熟，但目前复种指数仅为150%左右，且常受春夏干旱威胁，按县平均亩产量上千斤的极少，多数为500—600斤。如能注意土地平整，适当多打机井，做到井渠配套，并改变大畦漫灌，节约用水，则可进一步保证两熟作物需要，减免干旱威胁。

渭北旱塬和丘陵地区的一些沟、谷、川地， $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温3,500—4,500之间，种一熟作物热量大大有余。在水肥满足的条件下，如能选用早熟品种和采取间套复种方式，可适当实行二年三熟或一年两熟。丘陵沟壑区，尤其是其间的沟、谷、川地，水热组合又有所不同。一般春秋雨少，而夏季（6—8月）雨多，春旱严重，不完全具备“八、十、三场雨”的条件，土地种植比例应以秋田为主，秋田又应以需水量大的玉米、谷子为主，这样较能充分利用夏季优厚的水热条件。但应注意选用早熟品种和抢墒适时早播，以免遭受早霜危害。

结 束 语

黄土高原地域广阔，土地类型多样，使得这个地区的农业气候资源存在形式差异很大，无论气象资料的收集、整理、分析方面，还是农业气候资源合理利用研究方面，都尚需作深入的研究工作。如农、林、草的气候生态适应性比较鉴定，不同土地类型的气候生产潜力，土壤水分随高度坡向的变化规律，丘陵山区农业气候区划方法（是连片划区还是按等高线间距划区）等，只能有待这些研究工作的深入开展，农业气候资源合理利用的建议，才能更加符合实际和更具有生产价值。本文只就已有的调查资料作一初步分析，无疑很不全面，有待今后进一步研究补充。