

# 河西沿祁连山冷凉灌区春小麦气候生态的研究\*

邓振镛 林日暖

(甘肃省气象局)

## 提 要

河西冷凉灌区春小麦增产潜力大,具有光能丰富、温度适中、光温配合好、降水相对集中、有效风速大等气候优势,它可成为我国又一个小麦高产地区。限制该区春小麦生产潜力发挥的气候因素是分蘖-拔节期的干旱和开花-灌浆期的光照不足。本文还提出了相应的提高气候生产潜力的途径。

## 一、引 言

河西地区是青藏高原向蒙新高原的过渡地带,是国家确定的商品粮基地之一,主要粮食作物是春小麦。河西春小麦可划分三个明显的气候种植区。即沿沙漠温暖特干旱区(简称沿沙漠区,海拔高度低于1200m)、平川温和干旱区(简称川区,高度1200—1700m)和沿祁连山冷凉半干湿区(简称冷凉区,高度1700—2600m)。

冷凉区分布在河西地区的南侧,为祁连山脉北麓,由一系列平行山岭和山间盆地以及沿山地带的开阔地所组成,自南向北倾斜,总耕地面积为470万亩,春小麦面积为210万亩左右。

冷凉区春小麦长期处于单产150多公斤的低产水平。但自1981年农业气候区划首次提出发展春小麦生产的有利气象条件以来<sup>[1,2]</sup>,农业科研部门组织14万亩小麦丰产栽培试验,三年(1983—1985)平均单产净增100kg,增产率43.8%,冷凉区小麦增产潜力大的气候优势才逐渐被人们所认识。为系统分析该区气候生态条件,揭示限制产量的气候因素,并提出相应的农业生产措施,使生产力进一步提高,使它成为我国又一个小麦高产区,本文作了专门的论述。

## 二、冷凉区春小麦的气候生态

河西的春小麦较外地有很大的气候优势,其中冷凉区又比川区和沿沙漠区更为优越。

### 1. 光能丰富,利用率高

冷凉区年总辐射为6100—5700 MJ/m<sup>2</sup>。比川区6300—6100 MJ/m<sup>2</sup>少3.2—6.6%。但比相近纬度的东部地区多,如民乐县(38°27'N)比北京(39°80'N)多6.1%。河西年总辐射随高度而递减,每升高100m,减少41.2 MJ/m<sup>2</sup>。但因春小麦生育期随高度而延长,故生育期的总辐射随高度而增大,冷凉区为2280—2450 MJ/m<sup>2</sup>。比其它区长15—25天,

\* 本文于1985年9月13日收到,1985年7月1日收到修改稿。

多 120—150 MJ/m<sup>2</sup>。生育期比北京长 20—35 天, 辐射量多 360—500 MJ/m<sup>2</sup>。

冷凉区春小麦光合生产潜力大于其它区(表 1)。近年实际测定较大面积的高产地块也出现在冷凉区, 单产达 800—850 kg, 籽粒光能利用率为 1.6% 左右。不同生育期的光能利用率也较高。测定黄羊镇春小麦三叶期的光能利用率为 0.3—0.6%, 拔节期为 1.6%, 孕穗—开花期为 4.4—5.6%, 灌浆—黄熟期为 2.2—4.4%, 总干重为 3.1%。

表 1 不同高度春小麦生育期间总辐射与光合生产潜力

类 区	地 点	海拔高度 (m)	年总辐射值 (MJ/m <sup>2</sup> )	小 麦 生 育 期			光合生产潜力 (kg/亩)
				时段(日/月) 出苗—成熟	总辐射 (MJ/m <sup>2</sup> )	生理辐射 (MJ/m <sup>2</sup> )	
沿沙漠区	敦 煌	1139	6286.06	8/4—12/7	2238.94	1097.08	1962.1
川 区	张 掖	1483	6207.98	10/4—20/7	2264.40	1109.56	1984.4
冷凉区	黄羊镇	1766	6157.79	15/4—28/7	2295.69	1124.89	2011.9
	民 乐	2271	5996.42	2/5—25/8	2389.60	1170.90	2094.2

## 2. 温度适中, 穗大粒重

春小麦的幼穗分化期和灌浆期对温度要求较严格。幼穗分化期长短和温度高低是影响小穗数的关键期。穗分化期中的二棱至小穗分化期(简称幼穗分化期)和小花分化至大小孢子形成是穗分化各期中持续时间最长且变化最大的时期<sup>[3]</sup>。经统计, 小穗数与幼穗分化期天数正相关密切(表 2), 此期延长 3 d 可增 1 个结实小穗; 延长 2 d 可增 1 个小穗。这时期一般持续 20 d 左右, 出现在三叶一心至拔节。幼穗分化期要求适宜的温度。用多年分期播种试验资料, 计算出幼穗分化期生物学下限温度为 6—8°C。统计 1972—1980 年同品种春小麦结实小穗数与幼穗分化期的气温呈抛物线关系, 方程:  $y = -4.09 + 4.557T - 0.224T^2$ , 当气温为 9—12°C 时, 结实小穗数最多, 达 18—19 个。

表 2 不同的穗分化阶段持续天数与小穗数相关系数

(黄羊镇, 1982 年, 品种: 陇春 8 号)

不同阶段 \ 项目	小穗数	结实小穗数	不孕小穗数
伸长至大小孢子形成期	0.7437*	0.7173*	0.5225
二棱至小穗分化期	0.7587*	0.7659*	0.4952
小花至大小孢子形成期	0.4882	0.4107	0.4098

\* 信度在 0.05 时为显著性相关。

小麦灌浆期延长, 温度适宜, 有利于籽粒饱满, 粒重增加。从图 1 看出, 千粒重最高时, 达 52 g, 对应温度 17°C, 相当于高度 2100 m。最佳千粒重(≥50 g)的温度范围在 15.5—18.5°C, 高度为 1900—2300 m, 这也是冷凉区最佳地带。

冷凉区、川区和沿沙漠区的幼穗分化期气温分别为 9—13、13—15 和 15—17°C, 持续时间冷凉区比其它区长 3—5 d; 灌浆期的气温分别为 14—19, 19—23 和 23—25°C, 持续时间冷凉区比其它区延长 10—25 d。干热风平均天数分别为 0, 5.3 和 6.0 d。冷凉区春

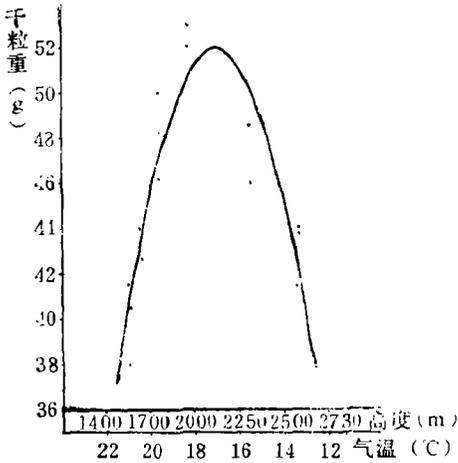


图 1 春小麦灌浆期温度与千粒重关系  
(武威地区品种区域试验资料, 1980年, 品种: 陇春 8 号、甘麦 8 号、665-7-3,  $y = -158.245 + 24.48 T - 0.713 T^2$ )

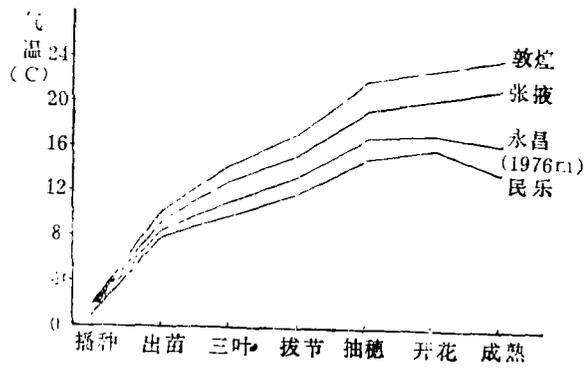


图 2 春小麦生育期气温变化趋势  
(资料年代: 1951—80年, 敦煌代表沿沙漠区, 张掖代表川区, 永昌和民乐代表冷凉区)

小麦生育阶段气温变化呈中间高两头低的趋势(图 2), 同春小麦生物学需求相适应, 这与其它区气温一直上升, 前期幼穗分化期温度偏高, 后期灌浆期遇高温、干热风的情况相比, 极有利于小麦生长发育, 因而促进了内部形态数量的变化。经 1981—83 年对张春 9 号品种试验测定, 冷凉区比川区的穗长多 0.3 cm, 小穗数多 0.9 个, 每穗多 6.3 粒, 千粒重多 g7。最高千粒重 74 g, 为国内罕见。

3. 光温配合好, 干物质积累多

上述分析, 高原小麦灌浆期的适宜温度为 16—19°C, 比一般认为适宜温度 18—22°C 略偏低<sup>[4]</sup>。冷凉区小麦灌浆期光最强的中午气温均 < 20°C, 利于光合作用, 且没有高温逼熟现象; 而川区白天的气温 > 23°C 出现 8 个小时, 正好在中午前后(表 3)。其日内处于适宜温度的时间较短, 而且只出现在早晚, 光强的午间被高温所占据, 故出现“午休”现象<sup>[6]</sup>。看来, 冷凉区小麦具有太阳辐射强的优点, 但没有温度不利的缺点。光合作用还与绿叶面积的大小及其维持的时间有关。从测定 1981—1983 年同品种灌浆期绿叶面积系数消长动态看出, 冷凉区叶面积系数在 40 d 内从 5.9 降到 1.1, 日下降为 0.107; 川区从 6.3 降到 0.7, 日下降为 0.124。冷凉区比川区下降慢, 常表现出下层绿叶维持时间长, 叶绿素含量高。

表 3 春小麦灌浆期白天各时气温比较(1975—1983 年, 单位: °C)

地点 \ 时间	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
川区(张掖)	15.9	18.6	20.7	22.3	23.6	24.5	25.3	25.6	25.7	25.6	25.0	24.1	22.8
冷凉区(民乐)	12.6	15.7	17.2	18.0	18.7	19.1	19.5	19.7	19.8	19.6	19.0	18.2	16.8

小麦的暗呼吸随温度的上升而增加<sup>[6]</sup>。冷凉区、川区和沿沙漠区小麦灌浆期的最低气温分别为 8—12°C、11—14°C 和 13—16°C。冷凉区夜间温度低, 呼吸消耗少, 从而增加了干物质的积累。

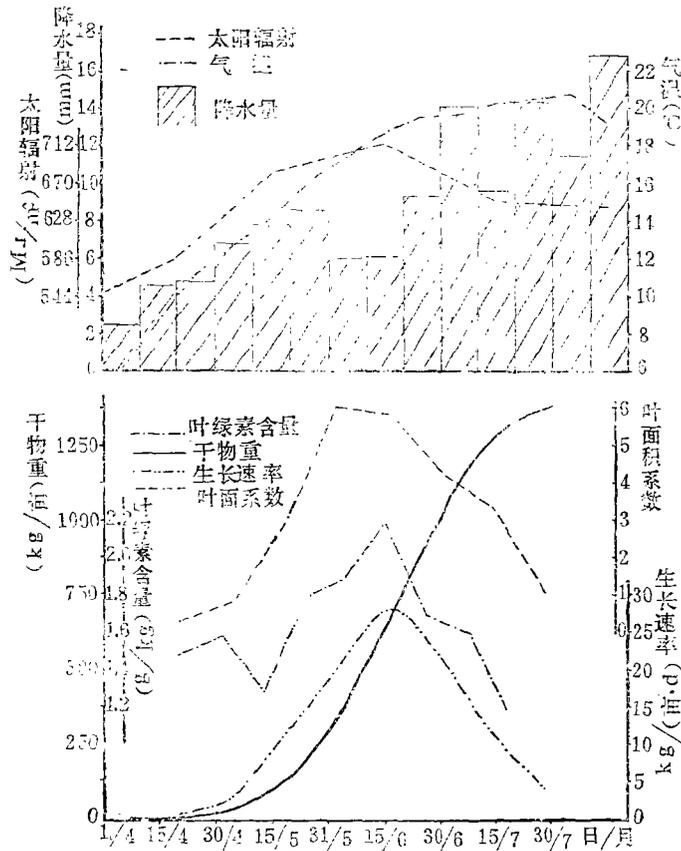


图 3 冷凉区气象条件与春小麦群体干物重、生长率、叶面积系数  
(黄羊镇, 1981—83年, 品种: 陇春 8号)

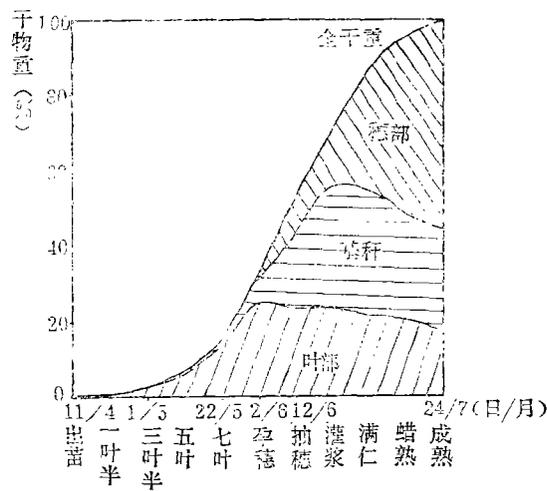


图 4 春小麦各生育期地上干物重变化  
(黄羊镇, 1980年, 品种: 陇春 8号)

从图 3 看出,冷凉区太阳辐射值最高时期,配合适宜温度,使生长率、叶面积系数以及叶绿素含量均达到最大值。说明光温配合得好,干物质积累得多。

冷凉区春小麦抽穗后干重增长时间长,增长的干重为总干重的 50% 左右。茎叶干重于抽穗后不仅没有立即下降,而且持续到灌浆期,增长 15 d 左右才缓慢下降。穗部干重的增长是从灌浆期后才逐渐超过茎叶干重(图 4)。而北京的小麦茎叶干重从开花后第八天就直线下降,十六天后才基本稳定<sup>[7]</sup>。因此,冷凉区干重演变也反映了高原的气候特点。

#### 4. 降水相对集中,供求矛盾缓和

河西年降水量空间分布从东向西递减,由低向高递增。高度 3000 m 以下,年降水量随高度呈幂函数曲线变化。冷凉区春小麦生长季内雨量比其它区多。据试验结果,本区春小麦一生耗水量为 450 mm 左右<sup>[8]</sup>。如果以降水量 80% 保证率来衡量,本区东部缺 300—210 mm;中部缺 290—170 mm;西部缺 360—330 mm。以代表站比较,冷凉区的降耗差(降水量与耗水量之差)比其它区小得多(表 4)。降耗差最大是分蘖—拔节期;而其它区还有抽穗—黄熟期。因而干旱仍是较突出的问题。

表 4 不同地区春小麦生育期降水量、降耗差比较(1951—80年,单位,mm)

发育期		播种—出苗	出苗—三叶	三叶—分蘖	分蘖—拔节	拔节—抽穗	抽穗—黄熟	全生育期
春小麦耗水量		6.9	19.5	35.3	144.6	38.4	213.5	458.2
冷凉区 (民乐)	降水量	16.2	19.2	11.2	21.0	30.0	129.5	227.1
	降耗差	9.3	-0.3	-74.6	-123.8	-8.4	-84.0	-231.1
川区 (张掖)	降水量	3.9	2.6	4.9	3.8	9.9	22.2	47.3
	降耗差	-3.0	-16.9	-30.4	-140.8	-28.5	-191.3	-410.9
沿沙漠区 (敦煌)	降水量	1.3	1.0	1.8	1.8	1.4	11.7	19.0
	降耗差	-5.6	-18.5	-33.5	-142.8	-37.0	-201.8	-439.2

冷凉区降水的另一个特点是强度小。雨季中日最大降水量为 30—50 mm,比川区小,有利于渗透,利用率高。加上冷凉区降水相对较多,气温偏低,蒸发小,大气干旱较轻等原因,故冷凉区春小麦一生浇 2—3 次水即可,而川区需 4—5 次,沿沙漠区需 5—6 次。第三个特点是雨季中降水的日变化非常明显,夜雨多,可达 60—70%。使得白天晴朗少云,有利光合作用进行。

#### 5. 有效风速大,CO<sub>2</sub> 供应充足

冷凉区春小麦拔节至黄熟期平均风速大,为 3.0—3.5 m/s,而其它区为 2.5 m/s 左右;但大风日数则冷凉区少,月平均为 1.4—2.0 d,其它区为 2.1—2.3 d。据研究<sup>[9]</sup>,风速增大到 ≥ 8 m/s 时,对气孔孔径有抑制作用,致使光合作用减弱。但在有效风速范围内风速增大,更利于群体内 CO<sub>2</sub> 浓度得以补充,是获得高产的原因之一。本区具有明显的山谷风特点,使得在垂直和水平方向上 CO<sub>2</sub> 充分交换,补充田间 CO<sub>2</sub> 的不足。

据测定,冷凉区春小麦抽穗期 1 m 高 CO<sub>2</sub> 含量最高值出现在早、晚,为 304 ppm 和 346 ppm,光合作用旺盛的中午最小,为 226 ppm,日变化呈“W”型。与高原上高产麦田中的 CO<sub>2</sub> 日变化和量值基本一致<sup>[8]</sup>,能满足小麦同化作用对 CO<sub>2</sub> 的需求。

### 三、限制春小麦生产潜力发挥的气候因素

冷凉区春小麦气候增产潜力很大,但也有影响产量的限制因素。为揭示气候要素变动与产量的关系,找出气候原因、关键期及主导因素等。用正交多项式处理产量,积分回归、数值相关、偏相关和逐步回归方法进行分析。

以民乐为例,从4/上(月/旬,下同)播种到8/下黄熟,整个生育期旬、月气象要素与气候产量相关和偏相关统计中,5,6月雨量相关极显著,尤其6/中、下(即分蘖—拔节期)相关系数最大;日照与产量相关均未达到显著水准,但7—8月相关系数较大;气温也无一达到显著水准,说明温度条件与小麦要求相适应。在积分回归 $a(t)$ 曲线上(图5),5/下—6/下降水对产量正效应在 $0.30 \text{ kg}/(\text{亩}\cdot\text{mm})$ 以上,其中6/中最大,达 $0.357 \text{ kg}/(\text{亩}\cdot\text{mm})$ ;日照 $a(t)$ 曲线以7—8月正效应较大,其中7/下达 $0.325 \text{ kg}/(\text{亩}\cdot\text{h})$ ,总的说来光照能满足,但多雨年仍显不够;温度与降水 $a(t)$ 曲线位相基本相反,它的变化是降水影响的结果,如除去降水影响,则温度对产量没有明显的效应。

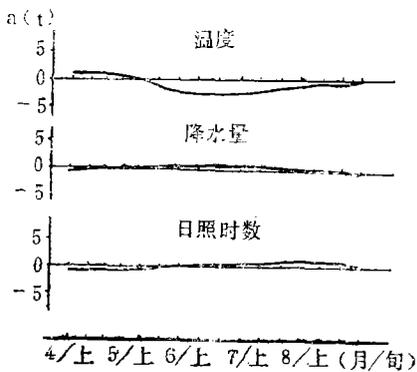


图5 民乐县气象要素积分回归 $a(t)$ 曲线

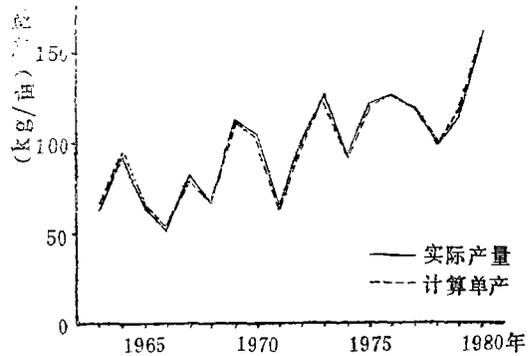


图6 民乐县1963—1980年逐年春小麦实际单产与计算值比较

上述结果表明,冷凉区限制春小麦产量的主要气象因素为:春末初夏(分蘖—拔节)干旱缺水,它随高度而减轻;7月(开花—灌浆)多阴雨光照不足,它随高度而加重。

气候产量模式可为作物产量估算提供重要信息。为全面描述冷凉区干旱的影响,除旬月降水因子外,还增加5,6月雨量和用以表征降水分布的5,6月连旱日数,共14个因子。筛选出三个因子,即 $x_4$ (5,6月雨量)、 $x_{11}$ (7月日照时数)、 $x_{14}$ (5,6月旱段)。并建立气候产量模式为:

$$\hat{y}_m = -198.8 + 0.82 x_4 - 14.10 x_{14} + 0.54 x_{11}$$

其复相关系数 $R=0.95$ , $F=43.2$ ,经检验达极显著水准,剩余标准差仅 $\pm 6 \text{ kg}/\text{亩}$ 。

依上式得各年气候产量估计值,加上趋势产量即求得各年单产计算值,与实际值非常吻合(图6)。为评价各因子对产量的贡献大小,计算出各自标准偏回归系数,结果是 $x_{14}$ 最大,为5.7; $x_4$ 次之,为0.8; $x_{11}$ 最小,为0.5。这就更清楚表明,导致产量波动的主导气象因子是春末初夏降水,其次是开花—灌浆期的日照。

#### 四、提高气候生产潜力的途径

1. 选用半矮秆大穗大粒型品种,合理利用光热资源,发挥“源”和“库”的作用。从株形上要选茎粗、叶宽、叶片较直立、株高 80 cm 左右的品种;从丰产性上,要选择穗大、粒大、光合效率高、经济系数大的品种。这样,能较好地解决“源”多“库”小的矛盾。

2. 变动头水灌溉时间,调节幼穗分化期温度。头水迟早主要受早春的温和土壤湿度的制约。本区灌溉水源是祁连山雪水,经测定,三叶期浇水后第三天,0—5 cm 平均地温比未浇地降约 4°C。从温度和水份条件分析,以春季  $\geq 10^\circ\text{C}$  日期,土壤湿度  $\leq 13\%$  时浇头水较适宜。此时小麦处于三叶一心,按习惯说, <1900 m 地区要适当早浇,而高于 1900 m 地区要适当迟浇。初步确定,常年浇头水日期,1700—1900 m 高度在 5/上,1900—2300 m 在 5/中,2300—2600 m 在 5/下。每年具体日期应视不同气候年而异,春季低温多雨年应推迟,春暖干旱年提早,使头水后幼穗分化期处于适宜温度 9—12°C 范围内。

3. 适时早播,充分利用气候资源。经试验和计算,分期播种产量( $y$ )与界限温度( $T$ )呈抛物线关系。 $y=92.248-4.126T-0.225T^2$ ,以  $-2-0^\circ\text{C}$  时播种的产量最高,也就是说能种即播,不能在  $2^\circ\text{C}$  以上播种,播期推迟,产量迅速下降。以确定气温通过  $0^\circ\text{C}$  为适播指标。适播期每升高 100 m,推迟 2.5 d。1700—1900 m 播期为 21/3—26/3;1900—2300 m 为 26/3—5/4;2300—2600 m 为 5/4—13/4。要适时早播必须秋施肥。秋施比春施肥效率高,并有增温保墒效应。

4. 建立良好的群体结构,使田间小气候趋于合理。经试验计算,密度与产量的关系均符合抛物线方程,因品种、水肥和气候年的不同,密度有一定差异。中等水肥条件下,每亩基本苗宜 25—35 万株,高水肥宜 23—30 万株。叶面积系数在 4.5—5.5 的范围内,透光率在 5% 左右,经济系数在 0.4 以上。这样能减轻开花至灌浆期光照不足的影响,有利于壮株和群体发育。同时,要使用浇水的迟早、施肥的次数等“调节器”,根据麦苗长势和气象条件来进行“壮前、控中、促后期”的管理方法<sup>[10]</sup>,使促控有机结合,形成一个良好的生态环境。

5. 防御春末初夏干旱。有灌溉条件的地方要搞好渠系配套,改串灌、漫灌为小块畦灌,提高水的利用率;干耨湿锄是苗期锄草、松土,保墒抗旱的有效措施;调整作物结构,压缩小麦面积,扩大秋田和经济作物及饲草绿肥面积,夏秋比例以 1700—2000 m 为 7:3;2000—2600 m 为 6:4 为宜,可调节用水矛盾;对于高于 2400 m 的阴坡地,以及坡度较大的旱地,要退耕还牧。

#### 参 考 文 献

- [1] 陈昌毓,河西春小麦农业气候分析及种植分区,甘肃气象,1982 试刊。
- [2] 林日暖,河西冷凉灌区春麦生态气候特征的探讨,甘肃气象,1984,3。
- [3] 李文雄等,春小麦穗分化的特点及其与高产栽培的关系,中国农业科学,1979,1。
- [4] 北京农业大学农业气象专业编,《农业气象学》,171,科学出版社,1984。
- [5] 张谊光等,青藏高原农业气候资源的考察研究,《农业气候资源分析和利用》,68—74,福建科学技术出版社,1982。
- [6] 金炎鑫等,青海柴达木盆地春小麦高产与光、温、风、湿的关系,农业气象,1981,1。
- [7] 王先明,麦类作物粒重与气象条件关系的初步探讨,农业气象,1981,1。
- [8] 杨飞雁,“高原 338”春小麦在甘肃省河西沿山冷凉灌区推广可能性的自然生态条件分析,甘肃农业科技,1985,2。

- [9] 董宏儒, 邓振镛等, 套种农田的环流特征和生产意义, 西北师范学院学报(自然科学版), 1982, 1。  
[10] 李守谦, 略论甘肃省河西沿祁连山冷凉灌区春小麦的生产潜力, 中国农业科学, 1984, 1。

## A STUDY ON CLIMATIC ECOLOGY FOR SPRING WHEAT IN COLD-COOL IRRIGATING AREA OF HE-XI ALONG THE QI-LIAN MOUNTAIN

Deng Zhenyong Lin Rinuan

(*Meteorological Bureau of Gansu Province*)

### Abstract

There are so many climatic potentials to increase the yield of spring wheat in cold-cool irrigating area of He-Xi, such as sufficient light, suitable temperature, light in tune with temperature, relatively concentrated rainfall and moderate effective wind speed. We are sure that it must be another higher yield area of wheat in our country. Analysis shows that the climatic factors which limit the development of productive potential for spring wheat are drought in tillering-jointing stage and lack of sunshine in blooming and milk-filling stages. Some ways to develop the climatic potential in this district are discussed.