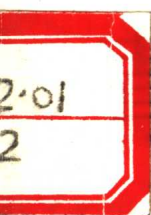


科学出版社



陈集贤 主编



青海高原春小麦生理生态

青海高原春小麦生理生态

陈集贤 主编

科学出版社

1994

(京)新登字092号

内 容 简 介

本书是作者几十年来对青海高原春小麦研究的系统总结。全书共十章,主要包括:青海高原的自然环境,青海高原春小麦的生态型、主要器官建成特点,青海高原春小麦的光合生产、矿质营养、水分供需、籽粒品质特点,青海高原春小麦的灾害性环境、高产栽培技术,以及青海高原春小麦生态区划等内容。书中比较全面系统地阐明了青海高原春小麦的高产机制,提出了更为合理的高产途径,从而进一步丰富了春小麦的高产理论并为正确地指导生产实践提供了科学依据。

本书可供农学、植物生理学、生态学工作者及教学人员参考。

青海高原春小麦生理生态

陈永贵 王德元

责任编辑 潘秀敏

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1994年6月第 一 版 开本:787×1092 1/16

1994年6月第一次印刷 印张:16 1/4 插页:2

印数:1—800 字数:373 000

ISBN 7-03-004122-4/S·126

定价:24.50元

前 言

春小麦是青海高原及其毗邻地区的主要粮食作物。青海省春小麦常年播种面积占粮食作物播种面积的 50% 左右,总产量约占粮食作物总产量的 60%,单产居各种粮食作物之首。春小麦适应性强,既广泛分布于海拔 1600—2600 米的地区,又能在海拔近 3000 米的地区种植,而且不论灌区还是旱作区,都可获得稳产高产。从 70 年代开始,青海高原东部灌区经常出现亩产 500 公斤左右的大面积丰产田,近年在年降雨量 400 多毫米的山旱地最高亩产为 589 公斤(高原 602),西部柴达木灌区已三次创造亩产突破 1000 公斤的纪录(高原 338)。

为了研究高原春小麦的高产机制,中国科学院西北高原生物研究所农业室人员,从 60 年代初期开始,分别在青海高原东、西部及其毗邻地区,就春小麦的生理、生态、遗传育种和高产栽培等进行了长期的系统的研究。结果表明,高原上丰富的太阳光能资源、长的日照时间及温凉的气候,尤其是籽粒产量形成期间气温适宜或略偏低、无致害高温出现,以及因夜温较低而引起的气温日差较大等自然生态条件,都有利于春小麦朝高产方向发育。与平原地区春小麦相比,高原春小麦有较长的幼穗形成期、籽粒灌浆期和叶片功能期,高的叶片净光合速率、群体单叶光饱和点及蒸腾效率,低的呼吸速率、光补偿点及籽粒蛋白质含量等。这些发育特点能促使春小麦具有高的生产潜力。为挖掘此潜力,不仅应培育出更多的适应高原的高产品种,在栽培技术上也应根据高产的需要,充分利用有利条件,克服不利因素,扬长避短,不断更新。为此,我们对前一阶段的研究工作进行了认真总结,编成此书,力求能较为系统地阐明高原春小麦的高产机制,找出更为合理的高产途径,进一步丰富春小麦高产理论并对其他麦区的小麦高产研究提供参考。多年来,中国科学院上海植物生理研究所、中国农业科学院有关研究所(室)、青海农林科学院、青海气象研究所、青海大学及青海省各州、县、农场等单位在春小麦高产研究方面作了大量工作,本书也参考、引证了他们的资料,在此一并表示感谢。

本书是根据各人所长分章编写,由主编统一修改补充、定稿。各章作者分别是:第一章一、二、五节陈集贤,三、四节马晓明;第二章白秦安;第三章一、三节赵绪兰,二节解俊峰,四节郁海;第四章一节陈集贤,二节高国强;第五章郁海;第六章部和臣;第七章张怀刚;第八章黄相国;第九章陈集贤;第十章程大志。

我们的研究工作曾得到青海省科学技术委员会、中国科学院生物技术局、中国科学院兰州分院的资助,特此致谢。

本书的插图由本所植物研究室王颖绘制,李毅、程大志同志参加了大量的组织和具体工作。

由于水平有限,错误在所难免,诚望给予指正。

陈集贤

1992 年 11 月

目 录

第一章 青海高原的自然环境	(1)
第一节 海拔高,垂直分布明显	(1)
一、黄土高原丘陵区	(1)
二、祁连山地	(2)
三、柴达木盆地	(2)
四、海南台地	(3)
五、青南高原	(3)
第二节 热量不足,无霜冻期短	(3)
一、地高气寒,年平均气温低	(3)
二、气温年较差相对较小,夏季温凉	(4)
三、夜温低,气温日较差大	(5)
四、无霜冻期短,霜冻时有发生	(5)
第三节 自然降水少,分布不均匀	(6)
一、降水少而分布不均匀	(6)
二、自然降水量不能满足春小麦生长发育的需要	(8)
第四节 太阳辐射强,日照充足	(10)
一、青海高原太阳光能资源丰富	(10)
二、光、热、水配合不协调	(11)
三、小麦气候生产潜力地区间差异大	(12)
四、高原光谱成分明显不同于平原地区	(13)
五、高原日照充足	(14)
第五节 土壤垂直分布明显,耕种土壤少	(15)
一、祁连山地	(15)
二、柴达木盆地	(17)
三、青南高原	(18)
参考文献	(19)
第二章 青海高原春小麦生态型	(20)
第一节 高原春小麦生态型特点	(20)
一、熟性	(21)
二、单穗生产力	(23)
三、植株形态	(24)
四、休眠特性	(26)
五、品质	(26)
第二节 高原各生态区春小麦生态型	(27)
一、高原灌区春小麦生态型	(27)
二、高原旱地春小麦生态型	(29)

参考文献	(33)
第三章 青海高原春小麦主要器官建成特点	(35)
第一节 分蘖发生	(35)
一、分蘖期较短, 消亡过程较长	(35)
二、有效分蘖期短, 成穗数少	(36)
三、大播量, 高基本苗	(37)
第二节 花序发育	(42)
一、小麦花序的演化及其变异	(42)
二、春小麦结实器官形成的研究	(58)
第三节 根系发生	(80)
一、种子根发生较多, 次生根受分蘖数的制约	(81)
二、根系分布与土壤耕作层深度的关系	(82)
三、争取种子根早生早发, 促进次生根早生多发, 是高原春小麦高产的重要途径	(83)
第四节 籽粒形成	(84)
一、高原春小麦籽粒形成和灌浆成熟过程	(84)
二、小麦籽粒灌浆的地区性差异	(88)
三、高原春小麦籽粒灌浆特点	(92)
参考文献	(94)
第四章 青海高原春小麦的光合生产	(97)
第一节 高原春小麦的光合性能	(97)
一、光合面积大	(97)
二、净光合速率高, 呼吸消耗少	(102)
三、光合时间长	(105)
四、干物质积累量大, 收获指数高	(107)
第二节 群体光合作用	(110)
一、高原春小麦群体的特点	(110)
二、高原春小麦群体的光能吸收与分布	(118)
三、光合产物及其分配	(119)
四、高原春小麦群体的光能转换效率	(121)
参考文献	(123)
第五章 青海高原春小麦矿质营养	(125)
第一节 高原春小麦对矿质营养的吸收利用规律	(125)
一、矿质养分的积累	(125)
二、矿质营养的分配	(129)
三、养分利用率	(131)
第二节 矿质营养的生产效能	(133)
一、矿质养分积累与产量的关系	(133)
二、矿质养分的生产效能	(135)
参考文献	(136)
第六章 青海高原春小麦的水分供需	(138)

第一节 春小麦的需水量	(138)
一、麦田耗水量	(138)
二、影响耗水量的主要因素	(139)
三、春小麦各生育期适宜水分状况	(145)
第二节 灌溉制度	(148)
一、不同时期灌水对小麦生长及产量的影响	(149)
二、高原春小麦灌溉制度的制订	(155)
参考文献	(157)
第七章 青海高原春小麦的籽粒品质特点	(159)
第一节 小麦籽粒构造与品质评价标准	(159)
一、小麦籽粒构造	(159)
二、小麦品质评价标准	(161)
第二节 高原春小麦品质现状及其原因分析	(163)
一、高原春小麦品质现状	(163)
二、原因分析	(174)
第三节 提高高原春小麦品质的可能性	(177)
一、春小麦品质性状的遗传	(177)
二、栽培环境对春小麦品质性状的影响	(181)
参考文献	(183)
第八章 青海高原春小麦的灾害性环境	(185)
第一节 侵染性病害	(185)
一、小麦真菌病害	(185)
二、小麦细菌病害	(190)
三、小麦病毒病	(191)
四、小麦线虫病	(192)
第二节 非侵染性病害 (生理病害)	(192)
一、干热风	(192)
二、霜冻	(193)
三、干旱	(193)
四、冰雹	(193)
第三节 青海高原麦田害虫	(193)
一、麦田地下害虫	(193)
二、麦茎蜂	(194)
三、小麦吸浆虫	(195)
四、麦蚜	(195)
五、麦秆蝇	(196)
六、小麦水蝇	(196)
七、麦穗夜蛾	(196)
八、粘虫	(196)
第四节 春小麦病虫害的防治对策	(197)
一、创造不利病虫害滋生的环境条件	(197)

二、增强小麦自身的抗病虫能力	(198)
三、防止外来危险性病虫害的侵入, 把好植物检疫关	(199)
四、化学药剂防除病虫害	(199)
第五节 农田杂草及防除对策	(200)
参考文献	(203)
第九章 青海高原春小麦的栽培技术	(205)
第一节 制定栽培技术措施的原则及主要栽培技术措施	(205)
一、突出一个“早”字	(207)
二、培肥地力是小麦高产的基础	(210)
三、建立高产群体, 提高光能利用率	(214)
第二节 模型化栽培	(220)
一、数学模型简介	(220)
二、描述性模型	(222)
参考文献	(224)
第十章 青海高原春小麦生态区划	(226)
第一节 生态区划的目的和依据	(226)
一、小麦生长发育特性和抗性	(227)
二、光、温、水等气候生态因子	(227)
三、耕地类型	(228)
四、地形地貌	(228)
五、耕作栽培条件	(228)
六、生态类型区的命名方法	(228)
第二节 生态类型区	(228)
一、黄、湟谷地暖温较高辐射低位水地生态类型区	(228)
二、黄、湟沟岔温凉较高辐射高位水地生态类型区	(232)
三、柴达木盆地温和高辐射绿洲生态类型区	(234)
四、海东温暖较高辐射低位山旱地生态类型区	(237)
五、海东凉温较高辐射中位山旱地生态类型区	(241)
第三节 高原各类型麦区的类似区	(244)
一、黄、湟谷地暖温较高辐射低位水地生态类型区的类似地区	(244)
二、黄、湟沟岔温凉较高辐射高位水地生态类型区的类似地区	(246)
三、柴达木盆地温凉高辐射绿洲生态类型区的类似地区	(246)
四、海东温暖较高辐射低位山旱地生态类型区的类似地区	(247)
五、海东凉温较高辐射中位山旱地生态类型区的类似地区	(248)
参考文献	(251)

图版说明及图版

第一章 青海高原的自然环境

青海省位于我国西部，处在北纬 $31^{\circ}39'$ — $39^{\circ}19'$ 和东经 $89^{\circ}35'$ — $103^{\circ}04'$ 之间，东西长约 1200 公里，南北宽约 800 公里，总面积 72 万平方公里（青海农业地理编写办公室，1976）。北部与东部和甘肃省相邻，东部接四川省，南部和西南部与西藏自治区毗连，西北部与新疆维吾尔自治区接壤。我国著名的昆仑山脉和祁连山脉以近东西或北西向伸展，境内唐古拉山、巴颜喀拉山等将高原分割成许多盆地和宽谷（青海省综合农业区划编写组，1985）。全省地域辽阔，山脉绵亘，地势高峻，形成了高原独特的自然生态环境。

第一节 海拔高，垂直分布明显

青海省地处“世界屋脊”青藏高原的东北部，日月山以东又属黄土高原的西部边缘，北部处于黄土、蒙新和青藏三大高原的交汇处。总地势自东向西海拔逐步升高，高山、丘陵、河谷、盆地、滩地、高原等地貌类型交错分布，形成了地势高峻、高差悬殊的特点。西北部青新交界处的昆仑山脉主峰——布喀达坂峰海拔 6860 米，东部民和县下川口河谷地区海拔 1650 米，相对高差 5210 米，全省 84.7% 的地区海拔在 3000 米以上（李思恭等，1985）。

根据地貌特征及自然条件，全省可分为祁连山地、柴达木盆地和青南高原 3 个地貌区域（青海农业地理编写办公室，1976）。若再考虑种植业的分布，又可分为黄土高原丘陵、祁连山地、柴达木盆地、海南台地和青南高原 5 类地区（李思恭等，1985）。海拔高、垂直分布明显的特点也反映在各类型区内。由于地形的影响，全省自然条件和农业分布的垂直变化十分明显，农业生产既有明显的区域性，又有强烈的立体性，春小麦的分布也依垂直高度而变化。

一、黄土高原丘陵区

位于日月山以东，由祁连山系的一系列西北至东南走向的山脉和谷地组成。从北至南有冷龙岭、达坂山、拉脊山、西倾山等山脉和大通河、湟水和黄河 3 个谷地，高山与宽谷相间，地形起伏，复杂多变，但气候较暖，是青海省的主要农业区。从河谷向两侧山地随海拔依次上升，形成了不同的农业地带。

1. 川水区

黄河及其支流湟水、大通河、隆务河两岸较宽的阶地。海拔 1650—2650 米，水利条件较好，耕作历史悠久，是春小麦的主要分布区，产量水平较高。黄河沿岸贵德县的春小麦最高单产达到 727.3 公斤（贵德县农业科学研究所，1981），湟水沿岸西宁市张家湾村最高单产 646.3 公斤（董涛等，1981）。

2. 浅山区

河谷两侧海拔 2000—2500 米的低位山旱地,为梁状或塬状丘陵沟壑区。气候较温暖,适宜春小麦种植,但因干旱缺水,植被稀少,水土流失严重,产量低而不稳。乐都县共和乡马厂村春小麦最高单产 358.0 公斤(董留卿等,1983)。

3. 半浅半脑区

海拔 2400—2700 米的中位山旱地。地势较平坦,气候温凉,雨热条件较好,春小麦产量较稳定。湟中县共和乡石城村春小麦最高亩产达到 584.9 公斤¹⁾。

4. 脑山区

海拔 2700—3200 米的高位山旱地。高寒湿润,土壤肥沃,春小麦分布少,其稳定成熟的上限高度为 2900 米(湟源县)。乐都县芦化乡岑岑村春小麦最高单产 455.5 公斤(张教五,1983)。

5. 高山区

海拔 3200 米以上,地高气寒,基本无农作物分布。

垂直分布的地带性,不但在大范围内是如此,而且在较小的范围内也非常显著。同一地区,甚至同一乡、村,由于海拔高度的差异,自然条件显著不同,山区农民有“十里不同天,一山有四季”的形象描述(李思恭等,1985)。如地处湟水流域的互助土族自治县南北宽 64 公里,南端湟水沿岸海拔 2100 米,向北是 2400—3500 米的丘陵和中高山,其间山岭相连、峰峦迭障、山川相间、沟壑纵横,直至中北部海拔 4242—4374 米高矗的龙王山、仙米达坂山和东岷山,高差达 2274 米。从仙米达坂山、龙王山又向东南倾斜,逐渐下降到大通河谷。

二、祁 连 山 地

从西北至东南有疏勒南山、托勒山,呈西北至东南走向,海拔较高,大多在 4400 米(雪线)以上,无春小麦分布。

三、柴 达 木 盆 地

位于青海省西北部,周围有祁连山、阿尔金山和昆仑山环绕,四周高山海拔 4000—5000 米,盆地内部海拔 2600—3200 米,东西长 850 公里,南北宽 250 公里,是我国地势最高的一个封闭的内陆高原盆地。整个地形,自盆地边缘至中心依次为高山、戈壁、沙丘、平原、盐湖和沼泽等地貌类型。大部分地区为半荒漠或荒漠土,气候极其干燥,其中东南部的香日德、察汉乌苏一带,黄土覆盖较厚,土壤盐渍化较轻;东部有一连串的

1) 1987 年 8 月高原 602 品种审定会提供。

山间盆地，其中希里沟、赛什克、德令哈及马海等地土层较厚；西南山麓的一条东西向戈壁滩，其东端向湖积细土平原过渡，为格尔木、诺木洪等地；西部的乌图美仁河、那陵郭勒河流域的局部地区，由于气候温凉，又有源于四周山地的冰雪融水和 70 余条大小河流可供灌溉，形成了点块“绿洲农业”区，春小麦种植比例大，产量水平高，最高亩产达到 1013.05 公斤（程大志等，1979）。春小麦稳定成熟的上限海拔高度为 3100 米。

四、海 南 台 地

位于青海南山以南，阿尼玛卿山以北，青南高原的东北部。山势较缓，黄河及其支流切割较深，形成许多谷地及台地。谷地内又有多级阶地，海拔 2500—3000 米，气候温暖，灌溉较方便，春小麦种植较多。台地海拔 2900—3500 米，大部分地区土地平坦，土层深厚，但热量条件差，仅有少量春小麦分布，其稳定成熟的上限海拔高度为 3100 米（共和县内）。

五、青 南 高 原

在柴达木盆地以南，昆仑山、巴颜喀拉山、可可西里山、唐古拉山、阿尼玛卿山等构成了此高原的巨大骨架。山脉高度多在 5000 米以上，山脉之间为海拔 4000 米以上的高原。只有南部的玉树、囊谦等地海拔 3700 米以下的长江、澜沧江谷地，由于纬度较低，气候湿润，可种植春小麦，其稳定成熟的上限海拔高度为 3600 米（玉树县香达）。

第二节 热量不足，无霜冻期短

青海地处高原，深居内陆，地域辽阔，地形复杂多样，使气温分布和时间变化形成如下特点。

一、地高气寒，年平均气温低

全省气温分布的总趋势是南、北低而中间高，气温逆河流而上，随海拔增高而逐渐降低。由于地形的影响掩盖了纬度高低的影响，因而依海拔高低形成了两个低温区和两个高温区。青南高原（南部谷地除外）和祁连山地中、西段是两个低温区，年平均气温均在 0°C 以下，日平均气温 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 的积温大部分小于 $1000^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$ 。日平均气温 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 的持续天数少于 50 天，其中不少地方平均气温终年都低于 10°C 。湟水、黄河谷地及柴达木盆地为两个相对高温区，但大部分地区年均温低于 5°C ，仅民和、乐都、循化、尖扎、贵德县可达 7°C 以上，以上两个相对高温区以及海南州的共和县、黄南州的同仁县，日均温 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 的积温多于 $2000^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$ ，部分地区可超过 $3000^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$ 。春小麦全生育期的气温平均在 $10-13^{\circ}\text{C}$ 的范围内，与国内其他主要春麦区相比，处在较低水平上。春小麦全生育期需 132—168 天，柴达木灌区较长，在 147 天以上；其他地区除塘格木之外，大部分在 140 天以下。全生育期间 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温在 $1540-2180^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$ 之间，柴达木灌区春小麦普遍需要

2000℃·日以上；品种不同或同一品种种植于不同地区，全生育期天数及积温也不一样（青海省气象科学研究所等，1985）。全省大部分麦田分布在 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 年积温 3000℃·日等值线与 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 年积温 1500℃·日等值线之间的区域。处于 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 年积温 3000℃·日左右地区的热量条件较好，积温利用率为 50—60%；在接近 1500℃·日等值线的地区，春小麦积温利用率接近 100%，热量往往不足（崔连生等，1988）。

二、气温年较差相对较小，夏季温凉

虽然高原深居内陆而远离海洋，但由于海拔高度的影响，气温年较差并不像其他内陆地区剧烈。最冷月 1 月份平均气温大部地区低于 -12°C ，仅日月山以东、海南台地及柴达木盆地大部，果洛、玉树两州的东南部高于 -12°C ，黄、湟谷地以及斑玛、玉树、囊谦县高于 -8°C ，极端最低气温高于 -30°C ，但尖扎县为 -19.8°C ，祁连山地和青南高原的广大地区均在 -12°C 以下，托勒最低达 -18.2°C ，极端最低气温在 -30°C — -40°C 之间，玛多达 -41.8°C 。由于春季（3—5 月）太阳辐射迅速增强，大部分地方又十分干燥，地表接受的辐射主要用于加热近地层的空气，因而升温较快。该季全省平均月际间升温达 5.4°C ，其中柴达木盆地和青海湖周围最大为 6.0°C ，黄、湟谷地和祁连山地为 5.7°C ，海南台地为 5.4°C ，青南高原最小为 4.6°C 。春季各月中又以 3 月和 4 月的升温最为迅速，除青南高原外，其他地区 3 月比 2 月、4 月比 3 月均升温 6°C 。尽管春季升温较快，但 4—5 月的气温仍较低，4 月平均月气温普遍在 2°C 以上，黄、湟谷地 7°C 以上，柴达木盆地高于 4°C 。各地春小麦播种期与日均温稳定通过 0°C 的初日基本相符，当日平均气温稳定通过 0°C 前后，土壤 5—10 厘米深处日消夜冻，正适合于生产上抢墒播种。春小麦从 3 月上旬开始播种，从东向西，从山下到山上，延续到 4 月上旬基本结束。播种至出苗所需日数的长短，在土壤水分适宜时，取决于温度，全省各地春小麦播种至出苗的天数，一般在 16—30 天之间，期间日平均气温为 3°C — 7°C ， $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温为 60—160℃·日，处于较低的水平。从 3 月下旬春小麦陆续出苗，依上述顺序到 5 月上旬，出苗到拔节也是随平均气温的增高所需日数减少。该期全省平均气温 8.5°C — 12.5°C ， $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温为 360—470℃·日，所需日数 33—43 天。拔节以后，气温仍处于偏低范围，拔节到抽穗期间，全省日平均气温为 12°C — 16°C ， $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温为 260—460℃·日，历时 20—35 天。春小麦前期所处偏低气温条件，延长了穗分化时间，有利大穗的形成。夏季（6—8 月）虽是一年中最热季节，但由于地势高的影响，该季各月的平均气温普遍较低，6 月中旬开始，春小麦依次抽穗，抽穗至成熟期间，全省小麦产区平均温度为 13°C — 20°C ，也处于适宜偏低范围。最暖月（7 月）全省各地平均气温在 5°C — 20°C 之间，即使属于全省最暖的循化和民和县也只有 19.8°C ；柴达木盆地为 13°C — 19°C ；青海湖周围及海南台地 10°C — 15°C ；祁连山地 9°C — 13°C ，青南高原大部分小于 10°C 。极端最高气温超过 30°C 的仅在黄、湟谷地和柴达木盆地少数地区短暂出现。东部川区春小麦在最热月收获，依次向西以及东部山区均在高温期过后气温下降过程中成熟。东部农业区抽穗至成熟经历 40—55 天， $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温 800—900℃·日；海南台地为 50—70 天， $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温 730—920℃·日；柴达木灌区 60—75 天， $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温 1100—1200℃·日。显著长的籽粒形成期，是高原春小麦大粒形成的主要生态因子之一。崔连生等（1988）认为，青海省春小麦的最高亩产随最热月平均气温不同而

呈明显的带状分布。平均气温 $16-18^{\circ}\text{C}$ 的地区，为产量最高带，最高亩产 $750-1000$ 公斤，相对应的海拔高度黄、湟流域为 $2000-2500$ 米，柴达木盆地 $2800-3000$ 米；平均气温 $>18^{\circ}\text{C}$ 的地区，最高亩产 $500-700$ 公斤，为中产水平，相对应的海拔高度为 $1700-2000$ 米，是全省热量条件最好的黄、湟谷地下游地区；平均气温 $14-16^{\circ}\text{C}$ 的地区，最高亩产水平 $500-700$ 公斤，相对应的海拔高度柴达木盆地为 3200 米，黄、湟流域为 $2600-2830$ 米；平均气温 $12-14^{\circ}\text{C}$ 的地区，最高亩产水平低于 500 公斤，为低产地带，相对应的海拔高度东部为 2800 米以上，北部 $2700-2800$ 米，南部 $3600-3700$ 米。在高原地区，热量条件对春小麦产量的高低起着重要作用。最热月（7月）平均气温 $16-18^{\circ}\text{C}$ ，是高原春小麦高产栽培的最佳热量指标或称为丰产热量指标； $\geq 18^{\circ}\text{C}$ 和 $14-16^{\circ}\text{C}$ 两个温度带，为春小麦稳产热量指标； $12-14^{\circ}\text{C}$ 的温度，热量不足，产量水平低，在低温多雨年份，生育后期的低温阴雨限制着籽粒灌浆的正常进行，使千粒重大幅度下降，甚至不能正常成熟，因此可以将 14°C 作为稳产下限热量指标；在 12°C 以下地区，基本没有春小麦栽培，故可将 12°C 视为春小麦栽培的下限热量指标。秋季（9—11月）气温剧烈下降，但全省多数地区春小麦已经收获，只有柴达木盆地部分地区及东部、南部山区春小麦在9月中、下旬收获。

三、夜温低，气温日较差大

由于高原地区的太阳辐射强，日间地面受热强烈，近地层气温较高，夜间地面辐射冷却快，降温迅速，造成普遍大的气温日较差。柴达木盆地大部、海南和黄南两州南部、果洛州东部、玉树州东部以及湟源县等地的气温日较差在 15°C 以上；柴达木盆地中、西部超过 17°C ，是全省年平均气温日较差最大的地区；黄、湟谷地、青南高原大部、祁连山山体部分以及柴达木盆地的香日德、都兰、德令哈地区在 14°C 以下。气温日较差冬季（12—2月）最大，大多在 16°C 以上；其次是春季（3—5月）、秋季（9—11月），夏季（6—8月）最小，但也多在 $13-14^{\circ}\text{C}$ 之间。在春小麦生长季节，尤其是籽粒产量形成期间，白天气温处于光合作用适宜范围，同化作用旺盛，夜温偏低而不致害，呼吸消耗少，利于物质积累和向穗部转运，所以高原气温对春小麦高产的生理效应，主要在于夜温偏低而形成的较大日较差所致。

四、无霜冻期短，霜冻时有发生

由于高原地区气温低，生长季短，往往在秋、春两季，甚至在高寒山区的夏季，近地层空气中的水汽在气温降至 $\leq 0^{\circ}\text{C}$ 时，在地面或近地物体上凝结成霜。霜的形成决定于温度和空气湿度。虽然高原上气温已降至 $\leq 0^{\circ}\text{C}$ ，但因空气湿度很低，往往见不到霜。因此，温度下降虽能造成冻害，但并不一定有霜的出现。用上半年日最低气温最后一次出现 $\leq 0^{\circ}\text{C}$ 的次日至下半年最低气温第一次出现 $\leq 0^{\circ}\text{C}$ 的前一日之间的天数作为无霜冻期，比无霜期更能反映热量资源的特点（青海省气象科学研究所等，1985）。

黄、湟谷地的无霜冻期始于4月下旬前，终于10月下旬，长达150天以上，其中民和、尖扎、循化县始于4月中旬，长达180天，是全省无霜冻期最长的地区。柴达木盆

地、海南台地大部以及东部除黄、湟谷地以外地区，初日始于6月上旬前，多数地区始于5月下旬前，终于9月上、中旬后，部分地区在9月下旬，无霜冻期一般在100天以上，柴达木盆地西部短于90天，东部可超过100天，其中香日德和格尔木可达125天左右。其余地区除青南高原的囊谦县外，均在100天以下。

青海省气象研究所等(1985)将作物生长季(4—9月)出现的低温霜冻划分4个等级： $0-2^{\circ}\text{C}$ (1)， $-2-4^{\circ}\text{C}$ (2)， $-4-6^{\circ}\text{C}$ (3)， $<-6^{\circ}\text{C}$ (4)。在黄、湟谷地及其南北山地的坡地，各级低温发生在5月前，此期春小麦处于耐冻力强的苗期，一般不形成冻害。在5月份大部分地区的春小麦处于分蘖至拔节阶段，耐冻力减弱，在这类地区的高寒山区，如湟源、大通、化隆、湟中等县，1级低温出现频率在10%以上，2级频率在5%左右，3级频率仅1%，虽有低温危害，但不严重。春小麦在拔节(5月下旬)以后 $0-2^{\circ}\text{C}$ 就会造成冻害，这级低温的频率在此类高寒区为6%以下。早霜冻在此类地区对春小麦的危害，多发生在其中的高寒地带，因那里的春小麦在8月底到9月份收获。1级低温在8月份只在湟源出现(频率为3%)，在9月份湟中(5%)、互助(7%)、湟源和大通县(11%)的频率较高，个别地方也出现2级甚至3级低温。

在柴达木盆地，一般春小麦在4月下旬出苗，1级和2级低温出现频率大部分在15%以上，3级也达9—17%之间，对春小麦幼苗有影响，而4级则多出现在非春小麦产区，如茶卡、大柴旦、乌图美仁和小灶火，均在22%以上。在5月份春小麦产区的德令哈、诺木洪、格尔木、香日德2级低温频率低于10%，非春小麦产区为20%，3级和4级除个别地方外在5%以下。6月份春小麦产区基本无低温出现。8月份大部地区春小麦处于乳熟至成熟阶段， $<-2^{\circ}\text{C}$ 便会引起严重霜冻，1—2级时有出现。

海南的共和县和黄南州的同仁县等春小麦产区，各级低温出现频率和黄、湟谷地及南北山区相类似。

第三节 自然降水少，分布不均匀

水分是一切生物所必需的基本因子之一，了解和摸清水分资源的分布特征及其变化规律，对农业生产具有极其重要的意义。水资源一般包括自然降水、地下水、土壤水和地表水，但自然降水是最基本的。

一、降水少而分布不均匀

1. 降水量的地域分布

青海高原年降水量少，绝大部分地区在500毫米以下；东南部的班玛、久治县等地虽稍多，但也少于770毫米；柴达木盆地大部地区均在50毫米以下。因此，降水量不仅大部地区较少，且地域分布上的差异又十分悬殊。高原地形复杂多样，致使年降水量各地分布很不均匀。总的分布趋势是由东南向西北逐渐递减。由于青南高原的东南部离本省主要的水汽源地——孟加拉湾较近，受西南季风影响较明显，同时由于青藏高原本身的作用，造成这一带低涡和切变活动比较频繁，而且地形由东南向西北升高，因而使这一带降水量较多。河南县—大武—清水河—杂多—一线以南绝大部分在500毫米以上，久治

县可达 764.1 毫米,是本省年降水量最多的地方。另外,祁连山东段矗立于黄土高原的西端,显著地受海洋季风影响(中国科学院高山冰雪利用研究队,1958),地形坡度大,上升运动强烈(叶笃正等,1979),因而使这一带形成了另一个次多雨区,年降水量也在 500 毫米以上。黄、湟谷地年降水量相对较少,一般在 400 毫米以下,循化和贵德县仅 250 多毫米,是本省东部降水最少的地方。祁连山西段和中段常年西风盛行,以西北风降水为主(中国科学院高山冰雪利用研究队,1958),因此降水量不多,大部在 200 毫米以下。柴达木盆地四周高山,地形闭塞,越山后的气流下沉作用明显,因而降水量很少,大部在 50 毫米以下,西部少于 20 毫米,是本省降水量最少的地区,也是我国最干燥的地区之一。柴达木盆地的东部可能受青海湖的影响,空气湿度相对较大,西来气流也容易受这一带地形的抬升作用,所以降水量相对较多,一般可超过 150 毫米。青南高原西部、黄河、长江源头一带年降水量大部在 300 毫米以下,青海湖周围年降水量可在 300—400 毫米之间(青海省气象科学研究所,1985)。

2. 降水受海拔的影响

柴达木盆地西部到东部从冷湖—格尔木—诺木洪年降水量在 17.6—38.9 毫米之间;至都兰县的香日德,年降水量达 163 毫米。除盆地和青南高原外,降水量有随海拔升高而增加的趋势。海东地区的循化县海拔 1870.3 米,年降水量为 264.4 毫米,大通县海拔 2567.8 米,年降水量为 513.8 毫米;海南的贵德县海拔 2237.1 米,年降水量为 254.2 毫米,共和县海拔 2835.0 米,年降水量为 306.6 毫米;黄南的尖扎县海拔 2084.6 米,年降水量为 353.0 毫米,泽库县海拔 3662.8 米,年降水量为 468.1 毫米(青海省气象科学研究所,1982)。青南高原的降水量是随海拔升高而减少。如通天河流域的玉树、治多、曲麻莱、五道梁,海拔分别为 3702 米、4180 米、4262 米和 4645 米,降水量则分别为 488 毫米、394 毫米、362 毫米和 267 毫米(李思恭等,1985)。

3. 冬春干旱,夏秋雨多

降水量不但在地域分布上很不平衡,而且在季节分配上也极不均匀,夏季最多,冬季最少,秋雨多于春雨。冬季(12—2月)和春季(3—5月)普遍干燥少雨,各地冬季降水量仅占年降水量的 3% 以下,并均为固态降水,春季降水量占年降水量的 10—22%。冬季由于温度低,基本无农作,仅在黄、湟谷地局部有小面积冬麦,但极少的降水量所造成的短暂积雪很快融化蒸发掉,对冬麦并无实际意义。只是在半浅半脑山和脑山地区的阴坡,可形成较久的积雪,对春后的土壤墒情好转可起一定的作用。春季是持续少雨,同时气温回升快,大风日数多,蒸发旺盛,大部分地区干旱缺水,春旱较频繁,对农业生产十分不利。夏季(6—8月)和秋季(9—11月)各地降水量均占年降水量的 70% 以上,有些地区如柴达木盆地大部超过 80%,个别地方甚至在 90% 以上。夏季是春小麦生长的旺盛期,温度高,需水量多,因此年降水量的这种分配,对农业是个有利的因素。秋季东部川水和大部浅山地区春小麦已经成熟或收割,脑山地区的春小麦入秋后也逐渐成熟,总的来看秋雨对当年的春小麦意义并不很大,若作好蓄水保墒工作对来年的春播、出苗有重要作用。脑山在 9 月尚有较多降水,往往影响收割打碾。

4. 夜雨多

除柴达木盆地北部及西部外,夜雨量普遍比日雨量多,但因地势和地形不同,各地夜间降水量占总降水量的百分率也不同。黄、湟谷地,青海湖周围和马可河谷地的班玛县,通天河支流谷地的玉树县,扎曲谷地的囊谦县以及地处小盆地中的共和县、同德县等地,夜雨率都在60%以上。这主要是地形作用造成的。因为山上夜间地面辐射冷却,而密度较大的冷空气从日落前就开始沿河谷两坡下沉,将河谷中的暖湿空气逐渐抬升,易成云致雨。高原及山地复杂的地形和本身特有的热力作用以及夜间云顶辐射冷却较强使云中不稳定度增加,导致高原地区普遍多夜雨。唯柴达木盆地的北部及西部夜雨率较低,但也在42—49%之间。夜雨率高,对于农业生产是有利的。“夜间下雨白天晴,家里粮食没处存”,这句农谚明确表达了夜雨的农业意义。因其既不影响绿色植物白天的同化作用,又能供给植物所必需的水分,夜间下雨,还会因云层的作用,减弱地面的有效辐射,相应地提高近地层的气温,这在初秋可以减轻早霜冻的危害。

二、自然降水量不能满足春小麦生长发育的需要

春小麦是高原的主要粮食作物,种植面积和产量均居各种作物的首位。春小麦产量高,适应性广,抗逆性强,遍布全省各地,从海拔1700米至3643.7米,东起东经102°56′,西到东经90°31′,南起北纬32°11′,北至北纬38°11′,地跨12个经度,6个纬度,都有种植(李思恭等,1985)。

1. 全省不同地区春小麦分布及其降水量

全省从海东、海北、海南、柴达木盆地到青南高原,春小麦都有分布。海东占播种面积42.4%,海北占3.7%,海南占24.2%,柴达木盆地占63.1%,青南占2%(李思恭等,1985)。海东的种植区有川水、浅山、脑山之分。川水由湟水、黄河两个河谷的谷地构成,地势由东南向西北、自河谷向两岸台地逐渐升高,种植业分布高度在海拔1700—2300米之间。由于特殊的河谷地貌形态,使东南季风可沿河侵入,形成了较温暖的区域性农业气候,年降水量254—450毫米,有利于春小麦的稳产高产。从民和县川口镇—湟中县拦隆口乡—大通县景阳乡—尖扎县康扬乡—同仁县保安乡为春小麦种植区。浅山由湟水、黄河河谷两岸的一系列丘陵低山组成。从民和县转导乡—湟中县升平乡—大通县石山乡—化隆县巴燕乡—平安县古城乡—乐都县马营乡等,海拔在2000—2500米之间,年降水量250—400毫米,是山区积温最高和降水量最少的地区,春小麦以旱作为主,地力贫瘠,生产力低下。脑山为高位山旱地,从互助县南门峡乡—大通县宝库乡—湟中县上五庄乡—湟源县波航乡等地,都有春小麦分布,海拔在2700米以上,年降水量可达500毫米。

海北的祁连山地,地势高峻,气候寒冷,无夏日,春秋冷凉,作物生长期短,大部分地区无绝对无霜期,年降水量277.8—499毫米。在气候较暖的祁连县黄藏寺乡、八宝乡、海晏县的金滩乡等地有小面积春小麦分布。

海南自然条件复杂多样,高山、丘陵、平滩、盆地、沙漠、台地、谷地交错分布。黄

河从东南入境，经龙羊峡东流出境。区内气候条件因地势不同而差异很大。黄河及其支流谷地，海拔在2800米以下，气候温暖，作物生长季150—200天，种有春小麦、蔬菜、瓜果等作物。唯降雨量较少，只250—300毫米，灌溉条件较好。

柴达木盆地处于本省的西北部，是一个为高山所环抱的巨大内陆盆地。海拔高，雨量少，但空气透明度好，光辐射量和日照时数仅次于西藏，居全国第二位，是我省光资源最丰富的地区。主要宜农区年降雨量100毫米左右。德令哈、戈壁—怀头他拉，希里沟—赛什克，察汉乌苏、查查香卡—大小灶火及乌图美仁一带，还有格尔木、诺木洪—香日德一带，为春小麦种植区。全区春小麦面积在30多万亩以上（李思恭等，1985）。但干燥少雨，有灌溉才有收获。

青南属青藏高原的一部分，纵跨长江、澜沧江、黄河三大流域。全区空气稀薄，气压低，气候寒冷，多大风。年均温度大多在0℃以下，年降水量267.6—764.4毫米。耕地主要分布在澜沧江、通天河、黄河沿岸海拔4000米以下地区，各类作物种植上限较高。春小麦种植高度为海拔3600米，比其他地区高500—600米。

2. 不同地区自然降水量对春小麦需水的满足程度

在春小麦生长季内的降水量和春小麦生长有着更为直接的关系，它较年降水量更有意义。青海湖周围及其以东地区，贵南、同德、尖扎、同仁县等地，春小麦生长季降水量都在300毫米以上。柴达木盆地的春小麦生长季降水量，除东部边缘地区的德令哈、乌兰、茶卡、都兰、香日德外，均在100毫米以下，且不少地方低于25毫米。各地春小麦生长季降水量与年降水量的比值是，东部地区的大部和柴达木盆地的部分地区达90%以上，黄、湟谷地超过96%，循化县达99%。可见在许多种麦区内，年降水量虽然不多，但绝大部分都集中在春小麦生长季内，有效性较高（青海省气象科学研究所，1985）。据李思恭等（1985）报道，水浇地每生产100公斤春小麦籽实，耗水116—150立方米，是籽实的802—1494倍。西宁地区（1955—1958年）每生产1公斤春小麦籽实，耗水1.32立方米，全生育期每亩总耗水量289.2立方米；随着产量的提高，需水量相应的增加，每增产50公斤，耗水量即增加20—30立方米。柴达木灌区亩产800公斤以上，需水370—640立方米。湟水灌区亩产500公斤左右，需水200—300立方米。春小麦需水量除受品种、土壤特征以及耕作措施影响外，还随温度条件的变化而变化。就全省而言，柴达木盆地需水最多，它的南缘海拔高度2800—3000米的春小麦种植区，低限需水量705—570毫米/亩；北缘海拔高度2850—3000米的地区，春小麦低限需水量615—595毫米/亩。但区内春小麦生长季降水均在100毫米以下，所以在盆地，没有灌溉就没有农业。东部农业区海拔高度1800—3000米，春小麦低限需水量也在450—285毫米/亩之间（李思恭等，1985），这里的春小麦生长季降水量虽然有效性较高但满足程度却不到50%，甚至更少。

降水对春小麦生产的利弊：青海省年降水分布的一般规律是，热量条件较好地区的降水量少，热量条件差的地区降水量却较多。由于降水量与热量在地区分布上的不协调，造成了较温暖的地区干旱缺水，而高寒地区却多雨湿润，使气候资源难以发挥其应有的作用，春小麦种植受到很大影响。东部农业区的浅山地区因降水量少，春小麦产量低而不稳，柴达木盆地因缺水严重限制了种麦区的扩大。降水量高度集中，各地6—9月的降水量普遍占年降水量的80%以上，其间多数月份是春小麦旺盛生长期，是需水量最多的