

旱地农业理论与实践

〔美〕K.G.布伦格尔著

金绍龄 田际良译

陈明 冯祖光校

农业出版社

旱地农业理论与实践

社

旱地农业理论与实践

〔美〕K.G.布伦格尔 著

冯祖光 金绍龄 田际良 译

王宝善 陈 明 冯祖光 校

Principles and Practices of
Dryland Farming
K.G. Brengle
Department of Agronomy
Colorado State University
Copyright 1982 by Colorado Associated
University Press

旱地农业理论与实践

〔美〕K.C. 布伦格尔 著

冯祖光 金绍龄 田际良 译

王宝善 陈 明 冯祖光 校

* * *
责任编辑 张兴瓚

农业出版社出版 (北京朝阳区东单路)

新华书店北京发行所发行 北京潮白印刷厂印刷

787×1092 毫米 32 开本 6 印张 135 千字
1987 年10月第1版 1987 年10月北京第1次印刷
印数 1—1,370 册 定价 1.45 元

ISBN 7-109-00112-1/S·78

统一书号 16144·3350

序

旱地农业是指无灌溉条件地区所从事的农业生产，有效水是该地区农业生产的主要限制因素，已受到二十世纪初在美国西部召开的国际旱农会议与会国政府的再度关注。国际旱农会议是应广大旱地农场主的需要而召开的，目的是加强相互交流不同环境条件下的生产经验和方法，使之更适于有经济效益的生产需要。多年之后，出于供养日益增长的世界人口的需要，加之全球水资源已达到最大利用限度时，促使人们重新对半干旱地区的旱农生产潜力的利用发生了兴趣。

全世界增加的粮食产量很大一部分来自于不发达国家的半干旱地区。其中有些国家，如土耳其和伊朗，都在其长期计划中把粮食的自给自足列为奋斗目标。为了达到这个目标，需要发展经大力改进的适合半干旱地区的生产方法。发展旱地农业已取得成效的国家，正通过有关院校、国际财团、联邦机构和联合国组织向不发达国家提供咨询。

鉴于本书拟作为大学的教科书，本书将分章介绍与旱地农业有关的气候、土壤、水分和植物基础；在论述旱地农业的实际问题及经验的诸章节中，为从事旱农生产的科学家、农艺师和咨询工作者提供大量参考资料。

从历史观点看，旱作区为世界人口不但提供了作为主食的谷物(如小麦、大麦、燕麦、粟和高粱)，也提供了豆类。半干旱地区不仅应继续提供上述食物，而且低生产地区也要

为日益增长的人口提供更多的产量。

所有半干旱区有其相似之处，也有相异之处，形成了各有其特点的问题。两个因素——对植物生长的有效水分供给的限制和严重的土壤侵蚀危险——是所有地区共有的特点。荒漠化，即沙漠向毗邻的半干旱区的侵入，是世界各地，尤其是非洲的撒哈拉地区的严峻问题，是不合理利用土地的恶果。当荒漠化一旦开始，若加以制止则是很困难的，因为它涉及到稳定正受侵蚀的土地和严格控制毗邻的土地。适用于发达国家大面积作业的方式和设备，不能直接用于不发达国家的小农场生产。但这些实践的原理，是立足于整个半干旱地区应用的。运用这些技术使其适应小农场和在不发达地区推进这些技术而需要的教育工作，是旱农专家所面临的艰巨任务。

目 录

序

一、绪论	1
世界干旱区	1
旱地农业简史	2
干旱地区的展望	5
二、气候	6
气候的分类	8
世界的半干旱气候	12
气候变率	19
三、旱地土壤和土壤水分	21
化学特性	24
有机质	26
有机质的损失	28
物理性质	32
土壤水分	34
四、土壤—植物—水分的关系	41
水分的移动和吸收	42
土壤水分和植物的生长阶段	44
蒸散	48
土壤和植物营养	56
五、干旱地区种植作物的适宜性	60
土地利用的经济学价值	61

土地利用的气候评价.....	64
土地生产力分级.....	66
六、风蚀和水蚀.....	68
水蚀.....	69
风蚀.....	71
七、夏季放牧休闲的原理和方法.....	81
休闲耕作方法.....	84
年周期和水分蓄积.....	91
休闲效率.....	92
休闲始耕期.....	94
夏耕次数.....	96
耕作深度.....	98
休闲地的耕作机具.....	99
覆盖对侵蚀的影响.....	106
八、水土保持.....	111
带状种植.....	111
应急耕作.....	116
梯田.....	117
覆盖作物.....	122
防风林带和风障.....	122
小结.....	126
九、干旱地区的作物和种植制度.....	128
一般生产措施.....	128
小麦.....	129
大麦.....	138
燕麦.....	139
粒用高粱.....	139
饲用高粱.....	144
玉米.....	145

粟	146
粒用豆类作物	148
油料作物	150
其他作物	151
干旱地区的作物种植制度	151
十、弃农还牧	165
整地	166
播种设备	168
行距	168
播种量	168
播种深度	169
播种期	169
牧草种的选择	169
出苗后的管理	170
参考文献	171

一、绪 论

旱地农业是没有补充灌溉条件的半干旱地区的农业生产。一般认为，年降水量在 250—500mm 范围的地区属半干旱区。除年平均降水量外，还有其他因素决定着农作物生产的范围和稳定性。半干旱地区年度间和季度间的温度变化、降雨类型及分布大不相同，也会导致农作物生产的差异。旱地农业遇到的任何问题，都基因于气候，或由于气候加剧了问题的严重性。

世界干旱区

世界干旱和半干旱区约 4470 万平方公里，其中半干旱区约占 39%，即 1740 万平方公里。

大部分半干旱区的土地不适于农作物生产，但可用于放牧。用于放牧的土地对这类地区的经济稳定很重要，但其利用不一定要和农作物生产联系在一起。世界上有成千上万公顷土地宜于放牧，却种植了农作物，这就涉及到从事干旱地生产的农学家们如何去合理利用这些土地了。

全球 90% 的干旱区集中在 27 个国家(图 2.2—2.7)，每个国家最少有 234000 平方公里的半干旱地，它们在世界食物生产和供应上显得日益重要。从热带到寒冷带都有半干旱地的分布，因而作物的种类与土地的经营管理制度，也随着气候的

不同而异。

美国的干旱地区：美国半干旱土地估计有 140 万平方公里，最大的半干旱区位于大平原的 10 个州，约 110 万平方公里；其它半干旱区可分为：包括俄勒冈和华盛顿两州东部、爱达荷州北部的太平洋西北区；科罗拉多州西部、犹他州和爱达荷州南部的山间区；以及加利福尼亚太平洋西南区。以上只是粗略的划分，各区之间的界限并不十分确切。

由于各区的气候因素不同，其种植的作物类型(冬性与春性谷物)，耕作管理方式等也不一致。区间的气候差异是由于降水总量及其分布，冬夏气温的高低以及适于作物生长季节的长短不同所致。

旱地农业简史

旱地农业已有很多世纪的历史，但仍存在于传统古旧农业地区的旱地农业，与现代发达地区的现行旱农制不同。比如非洲、中东的旱农区就变化甚微，大都仍处于原始状态，农业生产被手工工具和畜力动力限制在小面积上，自纪元之始至今，生产方式没有明显的变化。虽然第三世界一些国家的土地改革提供了发展的机会，但进展迟缓。这些地区变化最大的是实现了机械化(对这个区域内是可行的或在经济上是能够实现的)，尽管如此，在耕作类型、播种管理及收获程序等方面，仍与原来区别不大。许多国家所保有的农业手工劳动，乃是它们农村就业的主要方式。

所有发达国家的旱农生产，在作物和土壤管理方面，都有了相当大的变化。从管理的精细程度和旱农技术水平来说，高度发达的是澳大利亚、加拿大和美国，它们的管理体

制的发展已接近一致，但也不尽相同。如澳大利亚以绵羊和羊毛为主的生产现代化管理体制，与其他地区迥然不同。

虽然十九世纪六十年代犹他州就首次有了开拓村落居留地的纪录，但当时美国向旱农地区移民的工作进展缓慢。铁路的修筑对旱农地区的移民工作起了促进作用。铁路部门之所以对开发这些新土地感兴趣，一是可将当地农产品运到市场出售以取利；二是以此获得大量土地以图日后出售。他们为了证明这里的土地能够种植作物，曾资助几个州设立了试验站，以影响以后的移民。他们的影响甚至曾扩展到尝试实行旱农农业生产而未获成功的亚利桑那州。

直至跨进二十世纪，美国干旱地区的大多数移民没有什么经营劲头。他们发现自己处于与农业生产完全不相适应的环境中，既不具有经营旱农生产的实践知识，也没信息来源，出于他们急需必要的信息和有关的讨论会，以研讨解决所遇到的难题，才在二十世纪初期成立了泛密苏里旱农讨论会，它后来发展为国际旱农会议，1911年在科罗拉多—斯普林斯市召开的年会有12个国家的900名代表出席。会议每年印发年会活动情况的简报和探讨农民不同阶段有关经验的论文。所提出的农业生产体系，大多数为会议认可。“坎贝尔科学土壤耕作制”(The Campbell system of scientific soil culture)就是一例。此制度与当时其他制度一样，主张以深耕来贮蓄雨水，它提倡底土坚实法(用工具促使耕层稳定)和细土覆盖法(粉碎表土以减少土表大孔隙)以减少蒸发。还提出了诸如耐旱作物育种和新耕作方式等。

国际旱农会议总部于1912年由科罗拉多—斯普林斯市迁往加拿大阿尔伯达省的累斯布里奇。此后该组织的活动逐渐减少，至1917年完全停止了活动。

1902 年以前只有极少数试验站从事旱农研究，为此可获得联邦基金会的资助。1902—1939 年间，14 个州的 35 个试验站全部或部分地接受了联邦基金，开展了旱地研究。1912 年前大约就有一半试验站开始了工作。有 28 个试验站设在大平原各州，其余设在山间区和太平洋西北区。五十年代中期各州还另外成立了涉及旱地研究的 37 个试验站，以后不久中断了联邦基金的资助。

1915 年有些站已开始印行研究资料，这些以实际研究为依据的报告为很多地方采纳。重温早期一些文献表明，后来的旱地研究者重复了以往的工作，浪费了相当多时间。

加拿大最大的干旱区阿尔伯达省和萨斯喀彻温省，是美国大平原的向北延伸；不列颠哥伦比亚省南部的小块半干旱区，是美国太平洋西北区的延伸。加拿大旱地农业研究几乎与美国同时开展，两国毗邻地区的研究和农业措施也十分近似。

澳大利亚各州都有半干旱区，但其北部地区农作物生产的经济意义不大。澳大利亚旱地农业的发展与北美几乎一致，都具有连作与放牧休闲的相同经验，但澳大利亚的草粮轮作则遥遥领先。这种轮作制的实施，使其羊毛生产在经济上日益重要，但谷物生产有所下降。总的来说，它对畜牧业与种植业都有裨益。

二次世界大战以来，发达国家的旱地农业生产已有显著进展，在近一、二十年进步更快。改进耕作、栽培和收获机械，推广高产抗病品种，合理的施肥技术，都促进了农作物的生产。

热带半干旱区比温带半干旱区的雨量多些，但前者旱季具有蒸发量大大超过降雨量的特点，其雨季延续 2—10 个月

不等。印度的热带半干旱区年雨量在400—1500mm之间。由于这里全年温度变化很小，种植作物的生长季主要依降雨期而定。

干旱地区的展望

许多发展中国家在改进旱地农业以求得粮食自给方面的努力引人注目。这个地区的许多土地从气候方面衡量，适于农作物生长，特别是地中海沿岸和中东，但土地已被不合理利用了若干世纪，所以要在这类地区获得稳定产量，面临的困难还不仅是土壤和气候条件。经历了若干世纪的农业实践与社会习惯，使人们在引进新技术上变得很迟缓。印度的不适应高产的低水平管理方式，主要受到传统农业生产制度的束缚，年降水量中仅有一小部分供给作物生长，而持续的土壤侵蚀降低了土壤的生产力。

这些地区也必须走发达的干旱地区所经历过的推行新型农业管理体系的道路，但必须注意借鉴大量有益的资料和成功经验，以便在较短时间内赶上发达地区和避免不必要的损失。

二、气 候

由于降雨的形式和雨量的分布对农业生产极为重要，天气条件始终是半干旱地区的一个主要问题。诸如冰雹或干热风等其他严酷天气可损害未成熟的农作物，也是影响某些干旱地区农业生产的重要因素。应经常考虑构成天气的这些因素，掌握它们出现的概率和频率，以便确定适应特定地区的最稳定的农业型。气候——诸如夏、冬温度、年度与季度间的降水量、风向和风速等一般天气情况——控制着任何一个地区的农业生产潜力。鉴于各气候因素是以平均值表示的，所以天气预报的准确度取决于该气候因素平均偏差的极量与频率。由于变异性首先是对农业生产不利的偏差，故变异性是一种重要因素。

特定地区的气候，通过可控制该地区热量与水分平衡的大气环流的特定模式而定。水分平衡与热量平衡之间存在着密切而直接的关系，且一种平衡常受另一平衡的影响。两者的特性(组合方面)确定特定地区的气候关系。

热带地区茂密的植被和雨林，是由于赤道上升的热空气冷却导致降水的结果。当从赤道向南、北两方移动的是干燥的空气，当移至南或北纬 30° 时便形成干旱条件，在南、北纬 30° 以上地区出现的半干旱过渡地带，与这种大气模式有关。

陆地和海洋的分布缓和了纬度作为气候控制因素的影响。陆地表面易于吸热与放热，比水体变热、变冷更快。当

夏季吸收的热量大于散出的热量时，陆地比海洋更暖些；而晚间或冬季，当吸收热量较少或不足时，陆地冷却速度大于海洋。因此，陆地比海洋具有更大的温度日较差，即昼间较暖，夜间较冷。季节间的温度变化亦如此，即陆地的夏、冬温差大于海洋。水体上空云量与湿度的增加，阻挡了太阳辐射，亦有助于减缓温度的变化。

干旱与半干旱地区的气候常受大陆的盛行风和阻碍海洋空气团进入陆地的障碍物的影响。但各干旱地区之间在降水时间、数量和形式，温度季节性变化或任何可测定的气候因素等方面是有差异的。

干旱、半干旱地区分布于南、北纬 30° 以上地区，是由于其与赤道海洋气团源地较远或受地形屏障阻隔，使得空气变得干燥所致。另外，当空气沿山脉上升时冷却，形成了背风面的干燥气候。如北美洲中部盛行的西风被太平洋沿岸山脉阻挡，形成了山西边沿海地区的湿润气候和在沿岸山脉和落基山脉之间的以干旱气候占优势的干旱、半干旱区。西风再沿落基山脉上升，进一步干燥，落基山脉以东的大平原只能获得极少的来自太平洋气团的降水。大平原的降水大部分是北极下来的冷空气与墨西哥湾北上的热带海洋气团交锋或形成旋风的结果。由于两种气团相遇时发生的反应强烈；所以常发生强大的风暴和冰雹。该地区的这类风暴常多于落基山以西的山间地区。

来自墨西哥湾的暖湿气团常沿密西西比河流域移动，最后往东转向大西洋，而不能抵达大平原地区，使该区降水量偏低。遍及大平原的热带气团，通常源自墨西哥的干旱高原，含水极少。气压体系恰好位于从墨西哥湾移向大平原的合适的位置。

由于热带气团从源地移往遥远处时，含水量逐渐减少，导致降水量降低，因而大平原自南而北，降水量普遍减少，从得克萨斯州南部的 635mm，降到大平原北部的不足 305mm。

北非干旱地区是由于盛行风将地中海湿空气带到远离非洲海岸的结果。相反，欧洲地中海沿岸较少干旱地区，则是盛行风将海洋气团带到了内陆；西欧之所以很少干旱是由于没有什么阻碍盛行西风携带大西洋湿空气的障碍。

气候的分类

用于气候分类的方法很多。天然植被多年来一直是气候分类的主要依据。虽然植被可反映气候的影响程度，但无法提供有关特定地区内诸气候因素的变异性，在许多重要气候因子有差异的气候区内，常可见到相似的自然植被。因此，自然植被只能反映特定地区的一般气候条件，而不能解释该气候区的个别气候特性。矮小的草本植物指示着半干旱气候条件，仅反映存在于较广范围内的某种降水量与蒸散量的关系。植被的种类不能提供有关降水的类型、数量和年度分布，蒸散率，夏季与冬季的最高、最低温度的具体资料。

文献中最常用于确定半干旱气候的标准是潜在蒸散量、降水效率(P-E)指数和水分指数。

适合农业生产的半干旱区的全年气候可分为潮湿、过渡及干旱三个时期。潮湿月份的降水量超过潜在蒸发量；过渡月份的降水量加上贮存的土壤水等于或超过潜在蒸发量的 50%；干旱月份，降水量加上贮存的土壤水低于潜在蒸发量的 50%。鉴于全年中仅某一时期需要所贮存的土壤水，故按

平均值计算，任何半干旱区只有干旱月份、部分地区也只有干旱月份和过渡月份不适合农作物生产。

蒸发、蒸腾、蒸散量和有效降水量是常用于表示水的有效性与植物生长关系的术语。在土壤—植物—水系统中，蒸发涉及以水蒸汽形式从土壤中散失的水分；蒸腾涉及通过植物的生理过程从土壤中散失到大气中的水分；蒸散量是蒸发和蒸腾的合义词，表示在特定地区、特定时期内经植物体和土壤表面散失的总水分量。有效降水量是指不会通过蒸发、径流和渗至土壤深层(植物根系以下)而丧失的降水量，即以土壤水的形式贮存在根系分布范围的那部分降水量。潜在蒸散量不同实际蒸散量，它表示从完全覆盖植被而土壤中随时都有充足水分供植物吸收时植被释放到大气中的水量。实际蒸散量是指在一定的时期、气候与土壤水条件下经植物散失的土壤水分。

蒸散受控于多因子，但蒸散必须具备两个基本条件：一是必须有蒸散的能量，二是必须有水蒸汽通向蒸发表面的输送机制。一般是气候制约着蒸散过程，但土壤与植物也是主动地不时影响着气候。在半干旱条件下潜在蒸散量虽然很高，但因土壤中缺乏可供蒸散的水分，而实际蒸散量往往甚低。云量及雨量不足是干旱区潜在蒸散量高的原因，最终导致较高的白昼温度和低的相对湿度。

不能仅按降水量的多少来确定一个地区的气候是湿润或干燥，必须结合需水和水的累积作通盘考虑。降水效率指数和水分指数被用于确定任何一定地区热量和水分的关系。

降水效率(P-E)指数，是经过适当归纳修正的月平均降水量与月平均温度的比值，据此综合可提出年度值。表 2.1 列举了 Thornthwaite (1931) 提出的五个不同湿度类型地区