



1981年11月第1版

# 农业气象学原理

冯秀藻 陶炳炎 主编

气象出版社

(京) 新登字046号

### 内 容 简 介

本书从理论上论述了农业气象要素(光、热、水、气)对农业生物生长、发育、产量形成影响的基本理论与规律,以及农业气象模拟与模式研究的基本方法;简要地介绍了农业生物(农作物、林木、牧草与家畜)生长、发育对气象条件的要求与反应,及生产中的主要气象问题。全书取材广泛,内容翔实、新颖,基本反映了当前国内外农业气象原理研究的最新成果。除可作为高等学校农业气象专业的教材外,还可供气象、农、林、牧、生态等专业的业务、科研工作者及高等学校有关专业师生参考、学习之用。

### 农业气象学原理

冯秀藻 陶炳炎 主编

责任编辑 殷 钰

\*

气象出版社出版

(北京西郊白石桥路46号)

北京昌平环球科技印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行 全国各地新华书店经销

\*

开本: 850×1168 1/32 印张: 14.25 字数: 366千字

1991年9月第一版 1991年9月第一次印刷

印数: 1—1500 定价: 4.60元

ISBN 7-5029-0666-5/P·0358 (课)

## 前 言

农业气象学是随着农业的发展而产生的、旨在为农业生产服务的应用性学科。正当全国突出地强调农业的基础地位以及农业发展必须依靠科学（包括农业气象学）之时，出版本书，能为我国农业水平的提高贡献绵薄之力，正是笔者几十年从事农业气象工作孜孜追求的目标。

农业气象原理是农业气象学的重要组成部分，是农业气象学专业的主要课程之一。它主要论述了农业气象要素（光、热、水、气）对农业生物生长发育、产量形成影响的基本理论与规律，并为农业气象专业及有关农业学科专业的后继课程打下必要的基础。全书共九章：第一章从农业生产与气象条件关系入手，阐述农业气象学的概念、目的、任务以及国内外农业气象学的发展；第二、三、四、五章分别阐述了光、热、水、气等农业气象要素对农业生物的一般影响及不利条件的危害；第六章主要介绍了农业气象系统分析与农业气象模式建立的基本方法；第七、八、九章则从农业生产对象（即农业生物）角度，分别论述了农作物（水稻、小麦、棉花、油菜等）、林木、牧草与家畜生长发育的气象条件与生产中主要的气象问题。我们在编写中力求内容翔实、新颖，能反映当前水平。

七十年代以来，国内外农业气象研究进展较快，最为突出的就是土壤—植物—大气系统（或农业气象系统）中物质与能量传输的研究及农业气象模拟、模式的研究，现虽未臻十分成熟，但成果颇丰，尽可能的吸收这方面的成果，并整理出农业气象模式一章，是本书的一个特点。近年来我国农业气象工作的一个明显拓宽，就是将研究对象由单一的种植业扩展到“大农业、大粮食”。

为了适应这一变化,我们尝试着在不影响原来主要内容的情况下,增加了作物气象、林业气象、畜牧气象等方面的内容,此为本书的另一特点。

本书是在我院历年《农业气象学》教材基础上修改而成,因而它是众多同志辛勤劳动的结晶,最后的修改稿由四位同志完成。其中第一、二、八章由冯秀藻完成;第四、六、七章由陶炳炎完成;第五章由王华松完成;第三、九章由闵庆文完成。最后由冯秀藻(主编)、陶炳炎(副主编)审定。李莉参加了第二、四章的部分修改。曾担任该课教学的陈玉麟、吴涛、张正元、王生明、谈红宝等同志,都提出过不少有益的意见并做了不少工作,特此致谢。

限于水平,书中会有不当乃至谬误之处,敬请读者指正。

编著者

1990年5月,于南京

# 目 录

第一章 绪论	( 1 )
§1 农业生产与自然环境	( 1 )
§2 农业气象学的定义及其研究对象	( 6 )
§3 农业气象学的诞生与发展	( 9 )
参考文献	(15)
第二章 太阳辐射与农业生产	(17)
§1 光的生物学意义与植物的光学特性	(17)
§2 光合有效辐射	(28)
§3 光照长度对植物的影响	(32)
§4 光照强度及其对植物的影响	(45)
§5 不同光谱对生物的影响	(57)
§6 光能利用率及其提高	(60)
参考文献	(71)
第三章 热量条件与农业生产	(72)
§1 温度的农业意义及温度指数的概念	(72)
§2 温度强度及其对农业生物的影响	(86)
§3 温度的累积及其对农业生物的影响—— 积温学说及其应用	(94)
§4 温度的周期性变化及其对农业生物的影响	(116)
§5 不利温度条件对农业生物的影响及其调节	(127)
参考文献	(151)
第四章 水分与农业生产	(153)
§1 水的农业意义	(153)
§2 土壤—植物—大气水分循环系统	(155)
§3 土壤—植物—大气水分传输	(169)
§4 水分与作物的生长发育及产量形成	(181)

§5 不利水分条件对农业生产的影响及其调节·····	(201)
参考文献·····	(211)
<b>第五章 空气、风与农业生产·····</b>	<b>(212)</b>
§1 碳、氮、氧的循环及对植物的影响·····	(212)
§2 大气污染与植物·····	(233)
§3 风与植物·····	(246)
参考文献·····	(254)
<b>第六章 农业气象模式·····</b>	<b>(256)</b>
§1 概述·····	(256)
§2 农业气象模式的研究方法·····	(263)
§3 作物气象模式·····	(279)
参考文献·····	(291)
<b>第七章 作物气象·····</b>	<b>(293)</b>
§1 水稻气象·····	(293)
§2 小麦气象·····	(311)
§3 棉花气象·····	(323)
§4 油菜气象·····	(335)
参考文献·····	(346)
<b>第八章 林业气象·····</b>	<b>(348)</b>
§1 树木、森林生长发育与气象条件·····	(349)
§2 营林与气象·····	(371)
§3 林业气象灾害·····	(379)
参考文献·····	(392)
<b>第九章 畜牧气象·····</b>	<b>(394)</b>
§1 草原、牧草与气象·····	(394)
§2 家畜生产与气象·····	(420)
§3 畜牧气象灾害·····	(439)
参考文献·····	(446)

# 第一章 绪 论

## §1 农业生产与自然环境

### 一、生物有机体生长发育和产量形成

生物体的全部生命过程，既存在它内部生命活动的矛盾，也存在它与外界自然环境的矛盾，还存在人类活动与它所处的自然环境的矛盾。这些矛盾构成一个辩证的统一整体。生物体的生命活动就是这些矛盾作用下的结果。

生物有机体发展的内因充满着各种矛盾，同化与异化则是基本矛盾，贯穿于生命活动的始终。从有机体生命过程的总趋势看，同化作用又构成矛盾的主要方面，正是这样，生物有机体才能不断长大、增重、成熟、繁殖后代。生物有机体的内部矛盾决定着它的发展方向、性质和速度，决定着其一生所需要的外界自然条件。而一切外部矛盾又必须通过内部矛盾才能起作用。因此生物有机体内部矛盾是它生长发育和产量形成的根据。

生物有机体生长发育的外因也是一个复杂的外部矛盾的总体的。既有不同的外界自然因子如土壤、气候、地形地势等与生物有机体的矛盾，又有外界人为因素如农业措施、社会经济条件等与其生育的矛盾。而在气候条件中，又有光、热、水、气等因子与它的矛盾。外部矛盾是生物体发展的条件，它和内部矛盾一起，影响生物体发展的进程，参与决定生物体发展的性质和方向。但是外部矛盾在一定条件下，也可对生物有机体的生育起决定的作用。例如，当外界条件出现了超过生物体所能适应的限度时，外部原因常能起决定作用。又如生物有机体的能量与物质是从环境中摄取的，因此，不具备其所需的外因，生物体仍然不能生长、发育。



认识生物有机体内因与外因的辩证关系，当然不限于研究它们之间的规律，更主要的是在于认识这种规律，去能动地改造生物有机体，改造外界自然环境与条件，使它们朝着人们需要的方向发展。栽培植物和饲养动物就是在人类参与下进行生命活动的例子。

人的主观能动性对农业生产的作用就在于认识生物有机体发展的进程和所需要的外界条件，以便合理布局农业，有效地利用自然资源；就在于研究生物有机体和各种不利于它们的外界条件如旱涝、低温、冷害、病虫害等之间的矛盾，以便采取措施防御它们；就在于有意识地改变和控制它们的生活条件，使之朝着人们需要的方向发展，生产出更加满足人们要求的产品。

人们的主观能动性对农业生产的这些作用，便成为农业气象学的目的与任务的根本依据。生物有机体内因与外因的辩证关系是农业气象实践中的理论基础。

## 二、农业生产与气象条件

在影响农业生产的外界自然环境的诸因子中，气象因子是十分重要的。它是动植物生活所必需的基本因子。

气象条件影响农业生产，首先它作为自然资源为第一性生产和第二性生产直接或间接地提供它们所需要的能量与物质，生物体如不从大气中摄取光、热、二氧化碳和从土壤中获取水分与营养物质，便不可能有生命活动。其次，农业生物的生命过程既然在外界自然环境中完成，就必然受到气象条件的有利和不利的影 响。即使今后农业生产技术达到了极高的水平，人们还是要根据以至控制外界气象条件取得最优方案来安排生产的。其三，通过气象条件对外界其他因子如土壤、水文、地形地势、地面覆盖物的作用，从而又对气象条件的反馈来影响农业生产。其四，气象条件中光、热、水、气等因子的不同组合对农业生产会有不同的影响，不利的组合将导致农业减产，有利的组合必使农业增产，而其最佳组合，则会使农业获得更好的收成。

正是由于生物体深受气象条件的制约，可以这样说，在一定的生产水平下，植物以及动物的分布又几乎都由气候条件所决定。因此农业生产的一个特点就是地域性和季节性都很强。不同生物要求不同的土壤、气候条件；同一生物不同生长发育时期要求的天气气候条件也不尽同；就是同一生物不同品种要求的环境条件也有差异。发展农业生产，必须“因时因地制宜”。所谓时，实际是指气象条件，说明气象条件对农业生产的重要意义。

农业生产特别是生产过程中的一些农业技术措施，也会反过来影响气象条件。生物有机体的不同生育时期形成不同的农业小气候条件；人们的生产活动，又是形成农业小气候条件的主要因素。因此，人们的各项针对性的农业措施，不仅能有效地利用农业小气候资源；而且能改善不利的农业小气候条件，从而促进农业高产丰收。

我国农业生产的优良传统之一，就是推行精耕细作技术体系，这也是我国农业生产的一个显著特点。在实现我国农业现代化时，这个特点还必须保持和发扬。精耕细作就是在人们的作用下，让动植物“吃饱、喝足、居住舒服”，为它们安排一个适宜的生长发育环境。这个环境是它们所需要的光、热、水、气和营养物的综合。精耕细作的主要内容有深耕改土、增施肥料、建设农田水利工程、改良品种、合理密植、防治病虫害以及间作套种、复种多熟、保护地栽培、多种经营等。要充分发挥这些措施的功能，几乎无一不与天气气候条件有关，有些措施，在某些情况下，如不考虑气象因素，不仅发挥不了作用，甚至会得到相反的效果。

农业生产对象有其自身的生长发育规律、气象条件也有它自己的变化规律。我国幅员广大，气候资源丰富多彩，对发展农林牧副渔各业生产极为有利，生产的气候潜力巨大；但各种气象灾害又不同程度、不同时、空尺度地频繁发生，常给农业生产带来危害。这就看出，农业生产对象的生育规律和天气、气候变化规律相结合所形成的农业气象规律，有时会有利于农业生产，使农业丰产

丰收；有时又会不利于农业生产，使农业减产歉收。因此，要搞好农业生产，必须掌握和遵循农业气象规律，作到“趋利避害”。

### 三、土壤—植物—大气系统

农业生产是一个有机联系的复杂系统。它以生物体为生产对象，以具有一定的生态系统的自然环境为其生产场所。农业生产过程是对气候、土壤、地形、生物等自然资源综合利用、调节与改造的过程。农业自然资源是可以更新的，只要合理利用，就可以在不断地把它转化为农业产品的同时，得到恢复与更新，形成一个有效的循环系统，持续地为人类提供农产品。当然，这个系统还应加上经济因素、技术因素、农业政策等才能最后形成高产、优质、低耗、多品种、高效益的农产品，可称之为农业生产系统。

实际上生物有机体所处的外界环境，在生物体上下边界层之

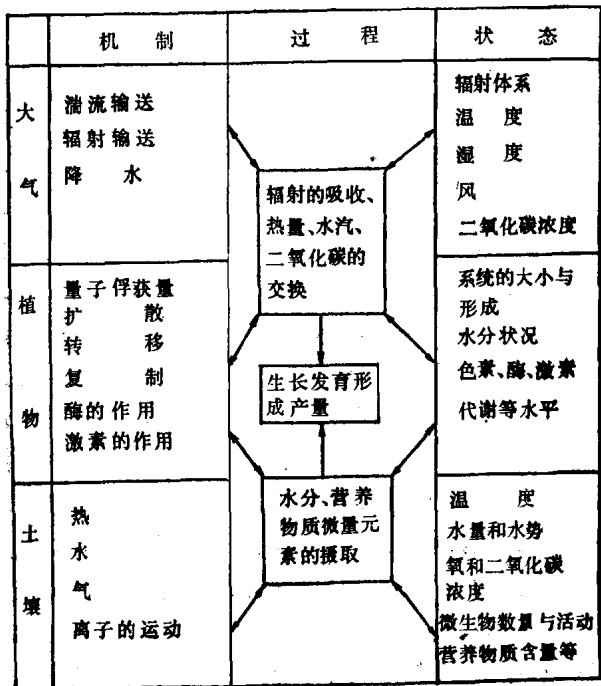


图1.1 土壤—作物—大气系统示意图

间的垂直尺度并不大。其上部边界层距离地面最高不过20—30米左右，下部边界层深入土壤中也只在30—50厘米以至几米上下。从农业气象学科考虑，栽培植物及其生产过程是一个作用系统，即土壤—植物—大气系统，或可称之为农业气象系统。这个系统各个参量及其相互关系，蒙蒂斯 (J.L. Monteith) 等人用图 1.1 表示，可供参考。

农业气象学的任务，实质上就是要了解这个系统内的机制、状态与过程的相互关系；从物质守恒与能量平衡定律来阐明农业生产对象从系统外部的输入项如何促使生物体生长发育和形成产量；从能量转换与物质输送的观点出发，按照需要，为采取措施以利用、调节和改造这个系统，提供依据；最后，为获得高产优质的农产品，提供最优气象条件与气象措施。

#### 四、居住环境、生存条件和影响因素

生物体的居住环境是指它一生中所处周围环境条件的总和。居住环境相同，适宜种植的植物不一定相同；反之，同一种植物也可以在不同的居住环境中生长。例如水稻，从我国海南岛南部一直到黑龙江北部都可以种植，它们的居住环境很不相同。再如马铃薯原产于南美洲，引进我国后，从平原到高山，从寒冷到炎热，从湿润到干旱的地区都能种植。因此，用居住环境来讨论其对农业生产的影响是不确切的。

实际上，生物体一生所需要的环境因子只是其居住环境中的一部分因子。生物体一生所必需的那些环境因子，称之为生物体生存条件。就气象因子来说，就是农业气象条件。

生物体所处的环境中，还有一些因子对生物体的生育起着危害作用，这类环境因子称为影响因素，它们是生物体生长发育的限制因子。农业气象灾害如干旱霜冻、冷害、干热风、大风等都是影响因素；其他如土壤中盐分过多，植物病虫害以及动物疫病等，能危害动植物，因而也是影响因素。

## §2 农业气象学的定义及其研究对象

### 一、农业气象学的定义

农业气象学是研究农业生产与气象条件的相互关系及其规律的科学。它是根据农业生产的需要，运用农学和气象科学技术来不断揭示和解决农业生产中的农业气象问题，以谋求合理利用气候资源，战胜不利气象因素，促使农业发展的实用性学科。

农业气象学的研究对象不能单指生物体及其生产过程，也不能单指生物体所处的气象环境，而是生物体与气象条件两者相互作用的规律及其影响。一方面研究农业生产对气象条件的要求和反应，气象条件对农业生产的影响；同时，另一方面也研究农业生产对气象条件的影响。

农业气象学是一门边缘而又独立的学科。气象工作为农业生产服务时，要在两者相互关系上进行，因而产生了农业气象学。它是应用气象学的一个分支，属于气象科学的范畴。农业气象学也可属于农学的范畴，正如农业土壤学属于农学的范畴一样，成为农业科学的基础学科。这种特点，使它能综合农学和气象学的成就，成为农业气象学发展的力量源泉。事实上，当代科学技术发展的主要特征之一正是学科不断分化成更加专门化的分支学科，各学科之间的互相渗透，不断发展，又形成新的边缘学科。农业气象学正是这样发展而形成的学科。

### 二、农业气象学的目的、主要内容及其基本任务

如前所述，农业气象是一门应用学科，因此从农业生产实际出发，围绕农业专业化、商品化和现代化，以及加强农业基本建设，改善农业生产条件，实现农、林、牧、副、渔全面发展和科学种田等需要，不断认识和解决它们中的气象问题，使农业生产能充分而合理地利用气候资源，战胜不利气象条件，逐步为农业发展提供科学的气象依据和措施，便是农业气象学的目的。

农业气象学的主要内容大体可归纳为以下几个方面：

### (一) 农业气象基本方法与理论的研究

作为农业气象工作的基础，农业气象监测及其仪器要朝向自动化、遥测化和综合记录化方向发展，并积极运用卫星图像提供的气象和有关农学信息，开展农业气象研究；研究利用卫星和航测等新技术对作物生长状况及气象灾害等进行监测。

农业气候资源分析、评定区域气候对农业生产的利弊，预测未来气象条件对农业生产的影响以及为改善农业小气候条件提出有效措施等都必须有相应的衡量气象条件对农业生产利弊的尺度，这些尺度称之为农业气象指标。它是在当地气象条件与农业生产水平下，生物体的生长发育、产量形成以及各项农事活动对气象条件要求与反应的参数值。研究与确定各类农业气象指标，是农业气象研究与服务的基础工作。

在对气象因子与作物生长发育和产量形成关系分析的基础上，开展农业气象模拟和模式的研究，使农业气象工作走向定量化、客观化，并从建立作物—天气的统计模式深化到从理论观点建立作物—天气模式与作物—土壤—天气模式。

### (二) 农业小气候研究

利用、调节和改造设施农业的小气候环境是十分重要的，也是可能的。即使将来人工控制天气和改造气候的能力提高，这项工作仍然十分必要。因为在大气背景背景下，设施农业的小气候环境影响农业生产更为直接。我们要根据土壤—植物—大气系统中农业生物生长发育规律和农业产量形成的研究成果，能动地为设施农业中农业生产对象和生产过程创造出最优的农业小气候环境。这是农业气象科学发展的重要方向。

### (三) 农业气象灾害规律及防御措施的研究

由于我国天气、气候特点，各种农业气象灾害频繁，往往导致农业减产甚至失收，因此战胜灾害是保证农业稳产的重要措施。从观测受害症状、受害时期、研究受害机制，确定受害气象指标，分析灾害发生的天气、气候规律，发布灾害预报以及提出有效防御措

施等这项系列工作，是研究并战胜农业气象灾害的具体任务。

我国干旱、半干旱地区约占国土面积二分之一，农业干旱是这个地区农业发展的主要障碍，也是这里生产水平低下，生态平衡失调的主要原因之一。但这个地区光、热资源丰富，高山水量也较多，是我国今后经济发展的重点开发区之一。因此研究该地区农业干旱规律、探求防旱、抗旱对策，对制定该区大农业发展的战略决策、改善生态环境，具有重大的理论与实践意义。在我国湿润、半湿润的易旱地区，干旱危害有时也很严重，同样需要研究并力求对策的。

#### (四) 农业气候资源分析及其开发利用研究

这是一项具有战略性意义的任务，能为农、林、牧、副、渔的全面发展，最合理地改革种植制度，规划农业布局，开垦荒地，引进优良品种以及重大农业技术改革等提供决策服务与气候保障。

我国山区占国土面积的68%，遍及全国各地，正是发展农、林、牧、副立体农业的良好基地。开展农业地形气候工作，特别是热带、亚热带地区的这方面工作，显得更为迫切。这是当前我国农业气候工作的一项重要任务。

#### (五) 农业气象情报、预报方法研究与服务

开展农业气象服务系统的研究，逐步建立农业气象情报、预报服务自动化体系。从农业生产全过程出发，抓住关键时期进行农业气象情报预报服务，以便及时采取措施，是一项具有战术性意义的任务。

#### (六) 因地制宜开展专业气象研究和服务

根据保护生态平衡，全面发展农、林、牧、副、渔以及逐步改变我国人民食物结构的需要，因地制宜地开展畜牧、渔业、林业、园艺、病虫以及养蜂、蚕桑、各地“名特优”产品等专业气象研究与服务。

今后一段时间内，我国农业气象工作的发展方向和基本任务是：紧密围绕农业专业化、商品化和现代化的需要，积极发展农

业气象信息产品，大力加强农业气象应用和开发研究，加速建设具有我国特色的农业气象业务、服务体系，逐步实现农业气象科学技术现代化。

农业气象实践的深入，必然要求采用新的实验手段解决农业气象中一些基本理论问题，因此，必须进一步开展农业气象基本理论的研究和不断引进新技术、新方法在农业气象中的应用。

### §3 农业气象学的诞生与发展

#### 一、我国农业气象工作的建立与发展

##### (一) 我国古代丰富的农业气象经验与知识

几千年来，我国人民在农业生产实践中，发现了农业生产与天时的密切关系，积累了丰富的农业气象经验，在历代农业知识宝库中，农业气象知识极为丰富。如诗经、吕氏春秋、管子、汜胜之书、淮南子、齐民要术等书不仅是农业生产的经验总结，也包含有丰富的农业气象知识。大量的经验还以谚语、诗歌等形式在人民群众中广为流传，至今仍对农业生产起着重要作用。

战国时代《荀子》就谈到：“春耕、夏耘、秋收、冬藏，四者不失时，故五谷不绝，而百姓有余食也”。秦朝《吕氏春秋》有：“夫稼，为之者人也，生之者地也，养之者天也”。西汉《汜胜之书》有：“凡耕之本，在于趣时，和土，务粪泽，早锄早获”。北魏《齐民要术》有“顺天时，量地利，则用力少而成功多，任情返道，劳而无获”。这些古书中的天、时、天时等都是指的农业气象条件。

历代劳动人民不仅认识到“天”、“时”对农业生产的重要作用，而且还找到了“不违农时”的许多客观标准。用自然物候确定农时是古代最常用的，有些至今还在沿用。例如，用物候确定农作物播种期方面，《齐民要术》种谷篇中有“二月上旬及麻苧杨生者为上时，三月上旬及清明节桃始花为中时，四月上旬及枣叶丛生，桑花落为下时”。《月令辑要》中有“伎儿鸟春来则种禾，



秋去则种麦”等记载。用物候确定农业措施也有阐述。如《汜胜之书》中“杏始华荣，辄耕轻土弱土，望杏花落，复耕，耕辄藺之”。

《齐民要术》中有“二月冻解地开，烧而干之”等记载。这种利用物候现象来指导农业生产的方法为现代物候学奠定了基础。

二十四节气是我国古代农业气象学中一项伟大成就。它是农业对象、农业措施和天时的结合，长期以来，在我国起着农事历的作用，至今还为广大农民所习用。二十四节气源于黄河中下游，反映了这个地区的气候与农业生产特点。在它逐渐向黄河流域以外的地域推广过程中，结合了各地气候与农作物的生育情况并不断总结经验，加以修改，创造了适应当地生产的农谚。只要比较各地有关冬小麦播种期的农谚，就可知劳动人民是如何灵活运用二十四节气的。华北北部为“白露早，寒露迟，只有秋分正当时”，华北南部为“秋分早，霜降迟，只有寒露正当时”，至华中、华东一带推迟到“寒露、霜降正当时”，更南至浙江则迟至“立冬种麦正当时”了。据研究，冬小麦播种适期一般是日平均气温稳定通过 $16-18^{\circ}\text{C}$ 的时期，上述地区相应的几个节气前后，历年平均气温大致都在 $16-18^{\circ}\text{C}$ 之间，证明这些地区农民非常科学地运用了二十四节气。在较小的地区，二十四节气也得到了灵活运用。如浙江宁波一带的经验是“立冬种麦正当时”，而温州地区则为“小麦冬至前”。山西临汾则更有“处暑种高山，白露种平川，秋分种门边，寒露种河滩”的农业地形气候的经验。

在战胜农业气象灾害方面，《汜胜之书》有“冬雨雪止，辄以藺之，掩地雪，勿使从风飞去，后雪复藺之；则立春保泽，冻虫死，来年宜稼”，这种增墒、防旱、防病虫害的措施至今仍然采用。《齐民要术》中提到：“凡五果花盛时，遭霜则无子，常预于园中，往往贮恶草生粪。天雨新晴，北风寒切，是夜必霜；此时放火作煴，少得烟气，则免于霜矣”。这里对霜的危害、预防以及预报等，都是符合现代农业气象科学的。《汜胜之书》种谷篇提到：“始种稻欲温，温者缺其垡，令水道相直，夏至后天