

面向 21 世纪 试用教材

现代农业和生物学中的物理学

习 岗 李伟昌 编著

科学出版社

2001

内 容 简 介

本书是教育部“高等农林教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”项目的研究成果之一。全书共分固体、液体、气体、热物理、静电场、电流、磁场、光和原子物理等九章内容,每章都在系统阐述物理学理论的基础上深入浅出地讨论各种与之相关的现代农业科学和生物学中的具体应用,同时涉及生命科学、环境、能源、生态、信息等现代农业和生物学的热点问题。内容新颖,交叉性强。

本书可作为高等农林院校农科类各专业和综合性大学生物类各专业的物理教材或教学参考书,对农林和生物学科技工作者也有重要的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

现代农业和生物学中的物理学/习岗,李伟昌编著.
-北京:科学出版社,2001.6

ISBN 7-03-009218-X

I. 现… II. ①习…②李… III. ①农业科学:物理学-高等学校-教材
②生物物理学-高等学校-教材 IV. ①S12②Q6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 06964 号

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号
邮政编码:100717

源 海 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2001 年 6 月 第 一 版 开本:720×1000 1/16

2001 年 6 月 第一次印刷 印张:23 1/4

印数:1—4 000 字数:439 000

定价:29.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈杨中〉)

前 言

现代科学技术发展的基本特征是交叉与融合,在这方面,物理学与农业科学和生物学的结合堪称典范。过去,农业科学和生物学曾得益于物理学概念、方法和技术的引入获得长足的发展。在 21 世纪,物理学与现代农业和生物学的关系将更加密切。物理学不仅将以超声、遥感、激光、X 射线衍射、电子显微镜、核磁共振等高新技术来支撑和促进现代农业和生物学的高速发展,还将以主力军的身份参与解决生物节律、生命起源等重大生物学难题。可以说,物理学原理、技术与方法的渗透与融合是现代农业和生物学发展的动力和源泉。这种状况表明,现代农业和生物学科技工作者必须具备宽厚的物理学知识,物理素质将成为现代农业和生物学科技工作者科学素质的重要组成部分。

然而,长期以来,在我国农业科学和生物学人才培养中,物理素质的培养较为薄弱,导致了我国大多数农业和生物科技工作者物理素质不高,研究水平较低。造成这种局面的原因是多方面的,其中一个原因是长期缺乏既能保持物理学精华,又能充分结合现代农业和生物学,并能反映现代科技发展的具有鲜明农业和生物学特色的物理教学内容体系。

过去几十年里,国外曾出版了一些系统论述物理学与生物学关系的专著和教材,例如 A. H. Cromer 等人所著的“Physics for The Life Sciences”(1977)、J. W. Kane 等人所著的“Life Sciences Physics”(1978)。但这些书籍的内容较为陈旧,起点低,没有与现代农林科技相结合。在国内,近年来虽有一系列高等农林院校专用的《物理学》教材出版,但在这些教材中,与农林科技和生物学的结合多属“蜻蜓点水”,既不密切,也不深入。

20 世纪 90 年代以来,为了找到物理学与现代农业科学和生物学的结合点,在此基础上构建物理教学内容新体系,以适应 21 世纪农业科学和生物学发展对人才素质的培养要求,我们大力开展了物理学与现代农业科学和生物学相互关系的研究。在这些研究的基础上,通过实施原国家教委“高等农林教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”研究项目(04-7),逐渐形成了本书的基本思路和主要内容。本书具有以下主要特征:

1. 对传统的庞大的物理学教学体系进行删减与重组,精选物理学理论的核心内容,补充和加强与现代农林科技和生物学关系密切的物理学知识,以适应 21 世纪农业科学和生物学人才培养对物理素质的要求。

2. 由于农业科学和生物学工作者从事的是自然现象的研究,因此本书从物性(固体、液体和气体)、热、电、磁、光、原子等各方面系统阐述各种自然现象的基本规律,使读者对人类所处的自然环境中的自然规律(特别是宏观自然规律)有完整的了解,构建宽广的知识背景。

3. 在各章节阐述物理规律的同时,不失时机地联系各类农业和生物学研究中的具体问题,安装好物理学与现代农业和生物学相结合的“接口”,并进一步讨论生命科学、人口、环境、能源和信息等现代农业和生物学关注的重大问题,使本书具有鲜明的农业特色和时代气息。

4. 在物理学与现代农业和生物学的结合点上内容较为丰富,避免“蜻蜓点水”。对生物膜、土壤-植物-大气连续体系中的水分运动,植物电阻,环境电磁场对农业和生物的影响,温室效应及其危害等一系列现代农业和生物学重大课题进行较深入的讨论,使读者能够迅速接近现代农业和生物学的某些前沿领域。

5. 考虑到本书是一本物理书籍,因而本书也从有关章节自然引出夸克、熵、耗散结构、超导、尖端电荷分布、量子霍尔效应等现代物理学前沿话题,为读者打开一扇了解现代科学技术发展的“窗口”。

6. 为了使本书通俗易懂,书中力求避免复杂的数学计算,深入浅出地介绍各种物理学原理和规律及其在农业和生物学中的应用,使本书便于自学。

7. 为了在有限的篇幅内尽量扩大信息量,书中列出了相当数量的参考文献。通过这些文献,有兴趣的读者可以对有关问题进行深入的了解。

8. 本书在每章末尾都配有一定数量的练习,这些练习有助于读者掌握有关物理学知识及其在农业和生物学中的应用原理,提高分析问题和解决问题的能力。

本书是我们长期在高等农林院校从事物理教学的经验总结,书中有些内容曾在《物理》、《大学物理》等期刊上发表过。在本书的构思和成书过程中曾经得到过西北农林科技大学张振瀛教授、王国栋教授,华中农业大学王海婴教授,山东农业大学原所佳教授的关心和帮助。我们希望本书的出版能够在物理学与现代农业和生物学之间架起一座桥梁,为高等院校相关专业的物理教学提供一部新颖生动、内容丰富、实用性强的教材或参考书,为现代农业和生物学科科技工作者了解有关物理知识、提高物理素质提供一本有价值的读物。

由于本书从体系的构建、材料的选择和练习的配置等各方面都不同于传统教材,许多方面都是尝试,因而难免有疏漏和不当之处,希望读者不吝指正。

作者

2001 年春

于华南农业大学

目 录

第一章 固体	(1)
§ 1 固体的结构	(1)
1.1 物态大观	(1)
1.2 晶体	(3)
1.3 晶体相变与作物抗冻性	(4)
1.4 土壤晶体	(6)
1.5 非晶体	(7)
1.6 生物材料	(8)
§ 2 固体分子的键联	(10)
2.1 离子键	(10)
2.2 共价键	(10)
2.3 金属键	(11)
2.4 范德瓦耳斯键	(11)
2.5 氢键	(13)
2.6 生物材料的键联	(14)
§ 3 固体的拉伸与压缩	(15)
3.1 应变与应力	(15)
3.2 晶体的拉伸与压缩	(18)
3.3 生物材料的应力与应变关系	(19)
3.4 生物材料的黏弹性	(21)
3.5 植物细胞壁的弹性	(22)
§ 4 固体的弯曲	(23)
4.1 杆的弯曲	(23)
4.2 材料的临界长度	(25)
4.3 生物学中的比例关系	(27)
练习	(29)
第二章 液体	(30)
§ 1 液体的结构	(30)
1.1 液体的结构与种类	(30)
1.2 水的结构与生理功能	(32)

1.3 液晶	(34)
1.4 生物膜及其相变	(36)
§ 2 静止液体的性质	(38)
2.1 液体的压强	(38)
2.2 液体的表面张力	(40)
2.3 拉普拉斯公式	(42)
2.4 植物水分上运的动力	(44)
2.5 土壤水分的保持	(46)
§ 3 液体的流动性质	(48)
3.1 液体的定常流动	(48)
3.2 连续性原理	(49)
3.3 伯努利方程	(50)
3.4 液体流量和流速的测定	(52)
§ 4 液体的黏滞性质	(54)
4.1 牛顿黏滞定律	(54)
4.2 泊肃叶公式	(56)
4.3 泊肃叶公式的应用	(58)
§ 5 物体在黏滞液体中的运动	(60)
5.1 斯托克斯公式	(60)
5.2 离心分离技术	(61)
5.3 雷诺数和流体相似率	(62)
5.4 生物体系的雷诺数	(64)
练习	(64)
第三章 气体	(66)
§ 1 气体的性质	(66)
1.1 分子力与气体的微观图象	(66)
1.2 理想气体的压强	(68)
1.3 理想气体的温度	(70)
1.4 理想气体的内能	(74)
§ 2 气体分子的热运动规律	(76)
2.1 麦克斯韦速率分布规律	(76)
2.2 分子速率的三种统计值	(78)
2.3 玻尔兹曼密度分布规律	(81)
§ 3 气体分子的扩散规律	(83)

3.1 气体分子的扩散·····	(83)
3.2 菲克扩散定律·····	(83)
3.3 植物叶片中的气孔扩散·····	(86)
练习·····	(90)
第四章 热物理 ·····	(92)
§1 传热的基本规律·····	(92)
1.1 历史的回顾:热的本质·····	(92)
1.2 热传导·····	(93)
1.3 对流·····	(97)
1.4 热辐射·····	(98)
1.5 红外测温与农业遥感·····	(101)
§2 热力学第一定律·····	(102)
2.1 热力学第一定律·····	(102)
2.2 理想气体的热功转换·····	(104)
2.3 大气绝热模型与干热风的形成·····	(107)
2.4 焓·····	(109)
§3 热力学第二定律·····	(112)
3.1 卡诺循环·····	(112)
3.2 热力学第二定律·····	(115)
3.3 热力学第二定律的诤难·····	(116)
3.4 热力学第二定律的生物学意义·····	(118)
§4 熵·····	(120)
4.1 熵的物理概念·····	(120)
4.2 熵的宏观意义·····	(122)
4.3 熵的微观本质·····	(123)
4.4 熵的计算·····	(124)
4.5 熵与信息·····	(127)
4.6 农业系统熵与土壤系统熵·····	(130)
4.7 熵与生命·····	(132)
§5 吉布斯自由能·····	(133)
5.1 吉布斯自由能的物理概念·····	(133)
5.2 吉布斯自由能的计算·····	(135)
5.3 化学势·····	(137)
5.4 水势·····	(139)

5.5 土壤-植物-大气连续体系中的水分运动	(141)
5.6 吉布斯自由能的生物学意义	(143)
练习	(144)
第五章 静电场	(147)
§ 1 电场强度	(147)
1.1 库仑定律	(147)
1.2 电场强度	(148)
1.3 高斯定理	(151)
1.4 电偶极子与分子键矩	(153)
§ 2 电势	(156)
2.1 电势能	(156)
2.2 电势	(157)
2.3 电偶极子与电偶层的电势	(159)
2.4 电场强度与电势的关系	(161)
§ 3 静电场对电荷的作用	(162)
3.1 静电场对点电荷的作用,电泳	(162)
3.2 静电场对电偶极子的作用,氢键	(164)
3.3 静电场对导体的作用,尖端放电	(166)
3.4 静电场对电介质的作用,电介质电泳	(169)
3.5 电容器与细胞电容	(172)
§ 4 大气电场及其对农业的影响	(175)
4.1 大气电场	(175)
4.2 大气电场的电容器模型	(176)
4.3 大气电场对生物的影响	(177)
4.4 大气电场对农业的影响	(178)
练习	(178)
第六章 电流	(182)
§ 1 电流密度	(182)
1.1 电流密度的物理概念	(182)
1.2 电流密度的微观意义	(183)
1.3 欧姆定律的微分形式	(185)
§ 2 电阻	(185)
2.1 导体的电阻	(185)
2.2 电阻的微观理论	(188)

2.3 生物组织的电阻	(189)
2.4 植物组织电阻的农业应用	(191)
§ 3 电动势	(192)
3.1 电动势的物理概念	(192)
3.2 化学电池	(195)
3.3 接触电动势	(196)
3.4 温差电动势	(197)
3.5 能斯特电动势及其生物学意义	(198)
练习	(200)
第七章 磁场	(202)
§ 1 磁场的概念及确定方法	(202)
1.1 磁力	(202)
1.2 磁感应强度	(203)
1.3 毕奥-萨伐尔定律	(204)
1.4 安培环路定理	(207)
1.5 磁矩与生物磁场	(209)
§ 2 磁场对运动电荷的作用	(211)
2.1 安培力与磁偶极子	(211)
2.2 洛伦兹力与质谱仪	(214)
2.3 霍耳效应与磁场测量	(216)
§ 3 磁场与物质的相互作用	(218)
3.1 弱磁质及其分类	(218)
3.2 弱磁质的磁化机理	(219)
3.3 铁磁质及其特征	(221)
3.4 铁磁质的磁化机理	(223)
3.5 生物和土壤的磁性	(223)
§ 4 环境磁场及其对生物的影响	(225)
4.1 地球磁场	(225)
4.2 磁层	(226)
4.3 磁暴	(228)
4.4 其他磁场	(228)
4.5 环境磁场对生物的影响	(229)
练习	(231)
第八章 光	(233)

§ 1 光的本性与光的测量	(233)
1.1 历史的回顾:光本性之争	(233)
1.2 光的电磁理论	(234)
1.3 光子	(236)
1.4 光能的测量	(237)
1.5 光照度	(238)
§ 2 光的干涉	(241)
2.1 干涉的一般描述	(241)
2.2 杨氏干涉与洛埃镜干涉	(244)
2.3 薄膜干涉及其应用	(247)
2.4 劈尖与牛顿环	(250)
§ 3 光的衍射	(252)
3.1 光的衍射现象	(252)
3.2 夫琅禾费单缝衍射	(253)
3.3 光栅	(256)
3.4 X射线衍射及其对生物分子结构的探测	(257)
3.5 夫琅禾费圆孔衍射与生物显微镜	(260)
§ 4 光的偏振	(264)
4.1 线偏振光的产生与检验	(264)
4.2 偏光显微镜	(270)
4.3 旋光与旋光色散	(271)
4.4 圆偏振光与圆二色性	(273)
4.5 生物的旋光性	(277)
§ 5 光的发射	(278)
5.1 发光的物理基础与单色光的获得	(278)
5.2 发光光谱分析	(281)
5.3 常见光源	(283)
5.4 激光光源	(286)
5.5 激光在现代农业和生物学中的作用	(289)
5.6 激光生命科学的新课题	(292)
5.7 生物发光及其农业应用的潜力	(293)
§ 6 光的吸收	(295)
6.1 光吸收的一般规律	(295)
6.2 原子吸收光谱分析	(297)

6.3 大气臭氧对光的吸收及其生态意义	(299)
6.4 大气二氧化碳和水对光的吸收及其生态意义	(302)
6.5 植物对光的吸收	(304)
6.6 作物的光能利用率	(306)
练习	(308)
第九章 原子物理	(310)
§1 原子的基本状况	(310)
1.1 原子的组成	(310)
1.2 氢原子的结构与能级	(312)
§2 量子力学对原子的描述	(315)
2.1 物质波	(315)
2.2 波函数与薛定谔方程	(317)
2.3 量子力学对氢原子的描述	(319)
2.4 原子的壳层结构	(322)
§3 磁场中的原子	(324)
3.1 原子的磁矩	(324)
3.2 磁场中的原子	(325)
3.3 电子顺磁共振及其在生物学中的应用	(326)
§4 原子核	(330)
4.1 原子核的基本状况	(330)
4.2 原子核的磁矩与核磁共振(NMR)	(332)
4.3 核磁共振谱分析	(335)
4.4 生物学中的 NMR 成像技术	(338)
4.5 NMR 在农业中的应用	(340)
§5 原子核的放射衰变	(341)
5.1 原子核的衰变规律	(341)
5.2 放射性同位素示踪技术	(344)
5.3 放射性同位素辐射加工技术	(348)
5.4 农用射线检测技术	(349)
练习	(350)
附录	
附表1 国际单位制(SI)的基本单位	(352)
附表2 SI 词头	(352)
附表3 基本物理常数表	(352)

参考文献.....	(353)
练习答案.....	(356)

第一章 固 体

固体是自然界中最常见的物体,农业和生物学中的许多重要材料都是固体。那么,固体的基本结构和性质是什么?了解这些对于现代农业和生物学有何意义?本章将讨论这些问题。

§ 1 固体的结构

1.1 物态大观

物态(state of matter)是物质聚集状态的简称,通常的物态有固态、液态和气态。一切具有固定形状和体积,并且不易变形的物态称固态(solid state);虽具有一定体积,但外形易于改变或容易流动的物态称液态(liquid state);没有固定形状和体积,能自发充满任何容器的物态称气态(gas state)。虽然物态有固态、液态和气态之分,但是如果从物质内部的结构与特征来细致考虑,物态就远不止这三态了。有些固体内部的分子或原子以规则、对称和周期性结构的状态出现,称结晶态(crystal state);另一些固体(如玻璃、沥青、木材、塑料等等)虽然在常温常压下有固定的体积与外形,并且不明显地表现出流动性,但内部结构却像液体,这种状态称非晶态(amorphous state);还有一些有机物质,它们介于液态与晶态之间,存在一种既具有流动性,又具有某些类似晶体的光学性质,这种物态称液晶态(liquid crystal state);当气体被高温加热或被电离辐射,气体中的原子被电离,整个气体成为带等量正电的离子和带负电的电子所组成的集合体,这种离子的聚合态称等离子态(plasma state);在极低温的条件下,某些金属的直流电阻将趋于零,金属的这种状态称超导态(superconducting state);在极低温时,有些液体(如液氦)的黏滞性会完全消失,液体的这种状态称超流态(superfluidity state);在宇观世界,人们还发现,在离地球很远的太空中,有一种质量很大而体积很小的恒星,称白矮星,其内部的压力和温度很大,造成星体内部原子的所有电子都脱离了原子核成为自由电子,而原子核则像晶体那样高度紧密、有规则地堆砌起来,由于其密度很高,便称超固态(supersolidity state);除此之外,还有密度更高的中子态(neutron state)、黑洞(black hole)等等。因此,物态实际上是广义的。当大量微观粒子在一定温度和压力下聚集为一种稳定状态时,就称之为一种物态。显然,物态与温度和压力有关,图 1.1 粗略地画出了物态与压强 p 和温度 T 的关系。

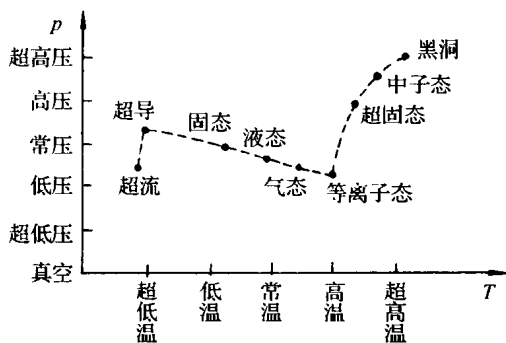


图 1.1 物态的变化

既然物态与温度和压力等外界条件有关,那么,当外界温度和压力改变后,同一种物质的物态也就可能发生改变,我们熟知的溶解、凝固、蒸发、沸腾、升华和凝华都指的是物态的转变。说到物态的转变必须说明一下相变。在化学中,常习惯将物态与相通用。实际上,物态与相是不同的物理概念。在物理学中,物质系统内物理性质处处相同的部分称为相(phase)。按此,固态也可称为固相,液态也可称为液相。但态与相的不同点是同一物态下可能有多种不同的相,例如,油和水不混溶就是两相。气体是个例外,因为不同气体会相互自动混合,在宏观上不可能在混合气体中找出某个明显的分界。

相与相之间的转变称为相变(phase change)。在相变这个大自然的舞台上许许多多出色的“演员”,水就是其中的典型。水可以随温度和气压的变化转变为云、雨、雾、露、霜、雪、雹、冰等各种形式。水的相变为一切生物的生存创造了条件,科学上对物质相变的研究也正是从水开始的。

从微观角度来看,物质处于某一状态是其内部分子的相互作用与热运动等因素相互斗争的结果。一般而言,物质的分子与分子之间存在着相互作用的引力,这种引力促使分子趋向于聚集,进入有序。而热运动等因素则使分子趋于分散,走向无序。当两种作用相互平衡时,物质达到一个稳定的状态。改变温度和压力,这种稳定的状态就会被打破,物质系统的有序程度将会发生变化。在许多情况下,当温度或压力达到一定值时,物质系统的有序状态会发生突变,突然从一种状态进入另一种状态,这时的温度或压力称相变点(phase point)。因而,相变往往是一种突变现象。物质结构或形状上的变化称第一类相变,固、液、气相之间的转变就是此类;物质仅发生物理参数的变化称第二类相变,也称特性相变。超导态的出现就属于第二类相变。

尽管物态有很多,但在常温常压下物质的聚集态主要是固态、液态和气态。在农业和生物学中涉及到的一切材料与物质大都属于这些物态。因此,本书将主要

研究这些物态的性质。

1.2 晶体

在常温常压下固体的物态有晶态(crystalline state)和非晶态(amorphous state)之分,或者说,固体有晶体(crystal)和非晶体(amorphous body)之分。这两种固体最显著的区别是晶体具有规则对称的外形,除此之外,物理性质上的各向异性和相变时具有确定的熔点也是晶体区别于非晶体的重要标志。

晶体的各向异性是 1669 年丹麦哥本哈根大学的数学教授巴塞利努斯(E. Bartholinus)首先发现的。他在测量从冰岛运到欧洲的方解石晶体的晶面时惊奇地发现,在晶体下面的纸上每一个字都产生了双像,这就是方解石晶体产生的双折射现象,它是晶体在光学上各向异性的表现。

在标准大气压下,一切晶体都是在某一确定温度下熔化的,这一温度称为该晶体的熔点(melting point)。我们知道,在一个大气压下, 0°C 的冰会融化为水,当然,水必须是纯水而不能含有任何杂质。对纯锡,当加热到 231.9°C 时纯锡会突然熔化。任何一种晶体当达到其熔点时,如果继续加热,温度仍会保持不变直到整个晶体熔完为止,而非晶体则没有一定的熔点。当加热到一定程度时,非晶体会逐渐变软,进而转变为流动状态。所以,熔化时是否具有熔点是区别晶体与非晶体的显著标志。

说水晶、金刚石等是晶体,一目了然。通常的金属是晶体吗?你可能会有这样的疑问。用金相显微镜观察磨光了的金属表面时就会发现,金属是由大量细微的晶粒构成的,这种由大量晶粒组成的固体称多晶体。对多晶体,由于各个单晶的取向不同,故在物理性质上有可能显示出各向同性,例如,金属的导电性和导热性都是各向同性的。

晶体的宏观特性自然会使人联想到它的内部结构,所以,探索晶体结构的奥秘和晶体的发现几乎同时就开始了。我国春秋时代的《演繁露》一书就有如下生动的记载:“盐已成卤水,暴烈日中,即成方印,洁白可爱,初小渐大,或数十印,累累相连。”这段话相当确切地描述了食盐的结晶过程,说明大晶体是由许多小晶体堆砌而成的。然而,真正揭示晶体的微观结构则是 19 世纪的事。法国人布拉维(A. Bravais)认为,晶体中的分子或分子集团的重心规则地分布在一些几何点上,这些点称结点。结点在空间规则地排列成行,同一平面上的结点连成面网,许多面网构成的空间格架称为晶格(crystal lattice),晶格中结点的总体称为空间点阵(spatial lattice),如图 1.2 所示。

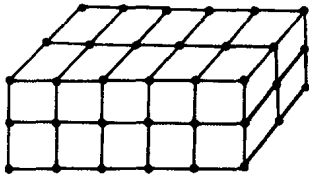


图 1.2 空间点阵示意图

在图 1.2 中,结点间的连线是假想的骨架,它代表了分子(或分子集团)之间的相互作用力。点阵中通过任一结点所作的一簇簇直线称晶列(crystal column),同一平面上的晶列就构成晶面(crystal plane),晶格中最小的平行六面体称晶胞(crystal unit cell)。

事实上,晶体中分子的有序排列是很容易理解的,因为,若所有分子整齐排列,形成一个如图 1.2 所示的周期性点阵,则每一个分子受到其他分子的作用力因对称性必然抵消,从而使整个体系处于一个能量最低的状态。所以,完全有序的周期性排列是固体分子聚集的最稳定的状态。由于晶体中某种规则的结构周期性地重复出现,因而晶体最本质的特征就是远程有序(远程是相对于微观尺度来说的,只要在比晶胞大很多的范围内是有序的,就可以说是远程有序)。

1.3 晶体相变与作物抗冻性

现在,我们再来考虑一下晶体的相变。晶体的相变有很多种类,前述在加热过程中,晶体在熔点时发生的从晶体到液体的“熔化”过程就是晶体的一种典型的相变。图 1.3 为晶体熔解过程中温度随时间变化的关系曲线。

在图 1.3 中,当加热晶体时,随着晶体的吸热,晶体温度会升高。当温度达到 T_0 时,晶体继续吸热,但此时吸收的热量用于克服分子之间相互作用的束缚以瓦解晶格,此时吸收的热量为熔解热。在晶体熔解过程中温度始终不变,直到晶相全部转变为液相时温度才会继续升高。

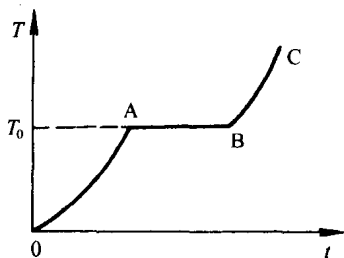


图 1.3 晶体的熔解曲线

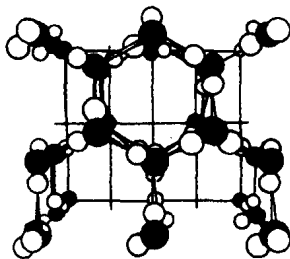


图 1.4 冰晶的结构

多数晶体转变为液相时无序度增加,分子间平均距离增大。由于分子间平均距离增大,分子密度变小,物质体积便会增大,这就是“热胀冷缩现象”。但也有一些物质是反常的,水是一种典型的“反常物质”。当水从 0°C 的冰融化为 0°C 的水时,在升温至 4°C 的过程中具有“热缩冷胀”的性质。水出现反常现象的原因在于水的结构。在水中,水分子通过氢键(见 2.5 节)相互联接成多分子聚合物。在冰的结晶中,多分子聚合物构成一个个具有相当开放结构的六面体晶格(见图 1.4,

图中黑圈表示氧原子,白圈表示氢原子,相邻分子间的连线代表氢键),各个晶格相互联接,使得整个冰晶像一个美丽的“水晶宫殿”。当冰融化时,上述结构部分溃散,其他的水分子进入冰晶的内部,使水分子的密度增大,体积收缩;当水结晶时,冰晶的空架结构使得体积增大。水的热缩冷胀现象使得冰因密度比水小而永远浮在水的表面,而表面下的水温始终高于 0°C ,大自然的这种“恩赐”与“杰作”为水中生物创造了冬季生存的条件。当然,水的冷胀现象也会带来危害,自来水管中水的冻结会使管道破裂,植物体内的细胞和纤维组织会因其中水的冻结而体积胀大,造成组织损伤。

说到水的冷胀现象必须提及水从液相到固态的转变过程。一般而言,随着温度降低,纯水和熔融的晶体在一定温度下也可以发生从液态到晶态的转变,这个温度称结晶温度(对水而言常称冰点)。降温的效果是减弱了分子热运动的剧烈程度,从而相对增强了分子间的相互吸引力,使分子从无序走向有序。图 1.5 给出了晶体结晶过程的示意图。在图中,晶体自高温冷却沿曲线 AB 降至 B 点,开始结晶。随着结晶过程的进行,晶体不断放出熔化时吸收的熔解热直到结晶完成。BC 虚线部分表示结晶过程, T_0 为结晶温度。在结晶过程中,由于晶体熔解热的放出,有一个升温过程。结晶温度是相变开始和大量结晶完成后达到的温度。

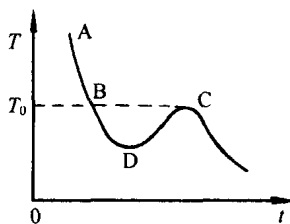


图 1.5 结晶过程示意图

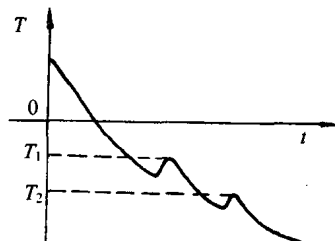


图 1.6 植物组织的过冷却点

对水而言,纯水的冰点约为 0°C ,水溶液的冰点与水中所含物质的浓度有很大关系。理论研究表明,1000g 水溶液中如含有 1mol 某种物质,其冰点要下降 1.86°C ^[1]。因此,水溶液的冰点一般低于 0°C ,这种现象称过冷却现象,过冷却水结冰的温度称过冷却点。对生物而言,由于生物细胞和组织内含有各种盐类、糖分和脂肪,因而,生物组织内的水分都不是在 0°C 时结冰的。

实验表明,随着环境温度的降低,植物组织的过冷却现象要涉及两个放热过程。当环境温度降至过冷却点时,首先引起细胞外水分结冰,此时因有熔解热的放出而出现第一次放热。随着温度进一步降低,细胞内的水分开始结冰,出现第二次放热,如图 1.6 所示。根据这个特性,将植物组织黏于热电偶上,通过光电检流计上光点位置的移动可以观察到组织温度的变化和两个过冷点,表 1.1 给出了几种