

# 高等学历-生态学基础



类目：高等学历继续教育统考教材

书名：高等学历-生态学基础

主编：陈智秀

出版社：河北科学技术出版社

开本：大16开

书号：978-7-5717-1211-2

使用层次：成人教育

出版时间：2022年9月（2025.1重印）

定价：40

印刷方式：双色

是否有资源：是

责任编辑：张京生  
责任校对：王 宇  
美术编辑：张 帆

## 图书同步精讲课程

-课时多、讲得细、学得快，通过考试更容易-

提升学历就选高等学历继续教育



理论精讲

明确考情  
夯实基础



真题讲练

掌握规律  
巩固提升



专题突破

把握重点  
突破难点



模考训练

模考强化  
标准预测

全国各类高等学历继续教育招生考试备考专用书  
(专科起点升本科)

### 教材系列

- |                                        |                            |                               |
|----------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| <input type="radio"/> 政治               | <input type="radio"/> 英语   | <input type="radio"/> 高等数学(一) |
| <input type="radio"/> 高等数学(二)          | <input type="radio"/> 民法   | <input type="radio"/> 教育理论    |
| <input type="radio"/> 医学综合             | <input type="radio"/> 大学语文 | <input type="radio"/> 艺术概论    |
| <input checked="" type="radio"/> 生态学基础 |                            |                               |

### 试卷系列

- |                               |                            |                               |
|-------------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| <input type="radio"/> 政治      | <input type="radio"/> 英语   | <input type="radio"/> 高等数学(一) |
| <input type="radio"/> 高等数学(二) | <input type="radio"/> 民法   | <input type="radio"/> 教育理论    |
| <input type="radio"/> 医学综合    | <input type="radio"/> 大学语文 | <input type="radio"/> 艺术概论    |
| <input type="radio"/> 生态学基础   |                            |                               |



定价：40.00元

全国各类高等学历继续教育统考教材

生态学基础

专科起点升本科

主编 陈智秀

河北科学技术出版社

全国各类高等学历继续教育统考教材  
全国百所继续教育机构推荐用书

·全新版·

# 生态学基础

专科起点升本科

主编 陈智秀

重点讲解

强化训练

视频课程

全新真题

河北科学技术出版社

全国各类高等学历继续教育统考教材

全国百所继续教育机构推荐用书

# 生态学基础

---

专科起点升本科

---

主编 陈智秀



河北科学技术出版社

· 石家庄 ·

### 图书在版编目(CIP)数据

生态学基础：专科起点升本科 / 陈智秀主编. --  
石家庄：河北科学技术出版社，2022.9(2025.1重印)  
全国各类高等学历继续教育统考教材 / 张东红主编  
ISBN 978-7-5717-1211-2

I. ①生… II. ①陈… III. ①生态学—成人高等教育  
—升学参考资料 IV. ①Q14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2022)第 156606 号

### 生态学基础 专科起点升本科

SHENGTAIXUE JICHU ZHUANKE QIDIAN SHENG BENKE

主编 陈智秀

---

出版发行 河北科学技术出版社

地 址 石家庄市友谊北大街 330 号(邮编:050061)

印 刷 唐山唐文印刷有限公司

开 本 880 毫米×1230 毫米 1/16

印 张 10

字 数 240 千字

版 次 2022 年 9 月第 1 版

印 次 2025 年 1 月第 3 次印刷

定 价 40.00 元

---

# 出版说明

2022年,教育部印发《关于推进新时代普通高等学校学历继续教育改革的实施意见》(以下简称《意见》),要求推进新时代普通高等学校举办的学历继续教育改革发展。《意见》指出普通高等学校举办的学历继续教育统一通过成人高考入学,统一专业教学基本要求,统一最低修业年限,统一毕业证书。为了满足广大考生备考的需要,使其能够顺利通过成人高校统一入学考试,我们组织了有丰富成教经验的一线教师和专家,认真研究了教育部高校学生司和教育部考试中心2020年修订的《全国各类成人高等学校招生复习考试大纲》,并依据2024年版大纲的要求,在把握成人高考命题变化的基础上,精心编写了全国各类高等学历继续教育统考教材。

本系列教材包括:

高中起点升本、专科:《语文》《英语》《数学(文史财经类)》《数学(理工农医类)》《历史地理综合》《物理化学综合》。

专科起点升本科:《政治》《英语》《大学语文》《高等数学(一)》《高等数学(二)》《艺术概论》《民法》《教育理论》《生态学基础》《医学综合》。

在本系列教材的编写过程中,侧重体现如下几个特点:

## 1. 紧扣大纲,时代性强

本系列教材紧扣最新修订的《全国各类成人高等学校招生复习考试大纲》,内容的编排和选择与新大纲的知识系统完全一致,充分体现了新大纲的知识能力要求。在编写过程中,借鉴和吸收基础教育改革的成果,融入新的命题思想和观点,及时适应成人高考的新变化,具有较强的时代性。

## 2. 结构合理,重点突出

本系列教材根据知识的内在联系和考生的认知规律,既坚持了“少而精”的原则,又注重了教材内容的完整性,遵循从简单到复杂、由浅入深、循序渐进的原则进行编排。学习起点低,重点突出,更加有利于考生对学科知识内容的理解,提高复习效率。

## 3. 针对性强,科学实用

本系列教材针对成人高考的实际需要,注重基础知识复习和能力训练,具有较强的针对性和实用性。

本系列教材不仅可供参加全国各类高等学历继续教育统考的考生使用,也适用于高中及以上学历的学生、教师和教研人员学习、参考。

为进一步提高本系列教材的质量,欢迎广大师生提出宝贵意见和建议,以便及时修订,使之日趋完善。

编 者



## 超高命中,源自精选

命题专家深度解读历年考试真题,对出题内容、题型比例、考查重点、出题形式有独特的把握,在紧密结合考试大纲的基础上,精心提炼核心考点,辅以精选全真试题,准确洞悉命题方向,连续命中原题,一直保持超高命中率!

### 《生态学基础》命中实例

1.下列关于生态位的叙述,错误的是( C )。(2018 年统考题)

- A.在缺乏竞争者时,物种会扩张其实际生态位
- B.任何物种的生态位都是一个  $n$  维的超体积
- C.深根作物和浅根作物间作时,它们的生态位完全重叠
- D.生态位体现了物种在生物群落或生态系统中的地位和角色

2.生活在沙漠中的仙人掌和霸王鞭是不同种类的植物,但它们都以肉质化的茎等来适应干旱生境,这种现象称为( A )。(2018 年统考题)

- A.趋同适应
- B.竞争
- C.互利共生
- D.趋异适应

3.生态系统氮循环中氮的主要储存库是\_\_\_\_\_。(2018 年统考题)

答案:大气

4.水稻田属于(A)(2019 年统考题)

- A.湿地生态系统
- B.森林生态系统
- C.草原生态系统
- D.荒漠生态系统

5.关于当今海平面上升的主要原因,国际上公认的是(C)(2019 年统考题)

- A.水体富营养化
- B.臭氧层破坏
- C.CO<sub>2</sub>排放过多
- D.恶劣天气增多

6.简述生态系统及其共同特征。(2020 年统考题)

答:生态系统就是指在一定空间中共同栖居着的所有生物(即生物群落)与其环境之间由于不断地进行物质循环和能量流动过程而形成的统一整体。生态系统的共同特性:(2~3 条)

- (1)生态学上的一个结构和功能单位,属于生态学上的最高层次。
- (2)内部具有自我调节、自我组织、自我更新能力。
- (3)具有能量流动、物质循环和信息传递三大功能。
- (4)营养级的数目有限,是一个动态系统。

说明:由于篇幅所限,命中题目不一一列举,但都在书中以考题的形式出现。



# 目 录

## CONTENTS

|                          |    |
|--------------------------|----|
| ▶第一章 绪论 .....            | 1  |
| 第一节 生态学的概念和研究内容 .....    | 1  |
| 第二节 生态学的发展简史及发展趋势 .....  | 4  |
| 第三节 生态学的研究方法 .....       | 7  |
| ▶第二章 生物与环境 .....         | 12 |
| 第一节 环境与生态因子 .....        | 12 |
| 第二节 生物与光因子 .....         | 16 |
| 第三节 生物与温度因子 .....        | 21 |
| 第四节 生物与水因子 .....         | 29 |
| 第五节 生物与土壤因子 .....        | 31 |
| 第六节 生物与大气因子 .....        | 35 |
| 第七节 生物与地形因子 .....        | 41 |
| 第八节 生物对环境的综合适应及影响 .....  | 44 |
| ▶第三章 种群生态 .....          | 51 |
| 第一节 种群的概念和基本特征 .....     | 51 |
| 第二节 自然种群的数量变动 .....      | 56 |
| 第三节 种内、种间关系 .....        | 61 |
| 第四节 种群的进化与适应 .....       | 67 |
| ▶第四章 群落生态 .....          | 76 |
| 第一节 生物群落的概念与特征 .....     | 76 |
| 第二节 生物群落的种类组成与数量特征 ..... | 78 |
| 第三节 生物群落的结构特征 .....      | 85 |
| 第四节 生物群落的发生与演替 .....     | 89 |
| 第五节 生物群落的分类与分布 .....     | 94 |

|      |              |     |
|------|--------------|-----|
| ▶第五章 | 生态系统         | 103 |
| 第一节  | 生态系统概述       | 103 |
| 第二节  | 生态系统的能量流动    | 105 |
| 第三节  | 生态系统的物质循环    | 117 |
| 第四节  | 生态系统的发展与稳定   | 121 |
| 第五节  | 生态系统的主要类型    | 124 |
| ▶第六章 | 应用生态学        | 132 |
| 第一节  | 全球生态问题       | 132 |
| 第二节  | 生态系统管理与可持续发展 | 139 |
| 第三节  | 生态农业与生态工程    | 143 |

## 第一节 生态学的概念和研究内容

### 一、生态学的概念

自 20 世纪后半期以来,在世界人口剧增和经济高速发展的过程中,全球变暖、臭氧层破坏、大气污染与酸雨、土地退化与沙漠化、森林资源退化、陆地水域和海洋污染、生物多样性丧失等全球规模的环境问题越来越严重。这些环境问题已经对人类社会的持续发展构成了极大的威胁,向世界上的科学家和政治家们提出了严峻的挑战。联合国和各种政府联盟(UNEP、OECD、WMO、IPCC 等)以及各种民间机构(IIED、WRI、IUCN、WWF 等)组织实施了诸如世界气候计划(WCP)、世界气候研究计划(WCRP)、国际生物学计划(IBP)、人与生物学计划(MAB)、国际地圈生物圈计划(IGBP)、地球环境检测系统(GEMS)等一系列全球或区域规模的环境对策研究计划,并且就一些全球规模的环境问题进行了多种形式的政府间对话和政治协商。这些全球或区域规模的环境研究计划得到了世界范围内生态学家们的广泛响应和参与,他们积极倡导用生态系统的原理和方法来管理自然环境和资源,并创立和发展了生态系统管理这一生态学研究新领域。生态系统管理学已经成为当代生态学、环境学和资源科学的交叉领域和新的科学生长点,它不仅具有丰富的科学内涵,而且具有迫切的社会需求和广阔的应用前景。

“生态学”这个词是 1869 年由德国生物学家恩斯特·海克尔(Ernst Haeckel)首先提出的。在此以前,18 世纪和 19 世纪生物学复兴时,许多伟人曾经致力于这一学科,虽然他们并没有使用“生态学”这个词。例如,列文虎克(Antony van Leeuwenhoek)是 17 世纪早期著名的使用显微镜的先驱者,曾开创“食物链”和“种群调节”这两个现代生态学重要领域的研究工作。约从 1900 年开始,生态学被公认为是生物学的一个独立领域,而仅在过去的十年中,“生态学”才成为一个普通的词汇。今天,每个人都深刻认识到环境科学对于创造和保持高超的人类文明是必不可少的工具。因此,生态学迅速发展成为和人们每天的生活有着最密切联系的一门科学分支。

生态学是研究生物或者生物群体以及环境的关系,或者是生活着的生物及其环境之间相互联系的科学。因为生态学特别注意到生物群体的生物学及其在陆地、海洋和淡水中的功能过程,这就更应和现代的特点相称,而把生态学定义为研究自然界的构造和功能的科学,这里需要指出的是人类是自然界中的一部分。韦伯斯特字典中的一个定义,即“生物与其环境之间关系的形式或总体”,似乎特别适合于 20 世纪末十年。从长远来看,对这个内容广泛的生态学学科领域,最好的定义可能是最短的和最不专业化的,如“环境的生物学”。

在生态学看来,没有一种生命有机体是可以孤立存在的,任何一种有机体都必须依赖于周围的环

境——生物和非生物,都必须同周围环境进行物质、能量和信息的交换才能生存。

## 二、生态学的研究对象和内容

### (一)生态学的研究对象

生态学范围很广,从总体来看,分子、器官、组织、个体、种群、群落和生态系统都有涉及,具体的研究方法也有很多,涉及分子化学、物理、经济等。这就导致了所谓分子生态学、种群生态学、化学生态学、物理生态学和经济生态学等的产生。

生态学的研究范围异常广泛,从分子到生物圈都是生态学的研究对象,即生物大分子—基因—细胞—个体—种群—群落—生态系统—景观—生物圈(全球)都是生态学的研究对象。

### (二)生态学的研究内容

#### 1.个体生态学

个体生态学(Autecology)研究的是生物个体对环境的反应,是生态学研究的最小层次,在这个层次上,生态学与生物生理学有更多的结合,主要研究各种环境条件对生物个体的影响,以及生物个体对各种环境条件的适应和机制;生物个体从环境中获取物质、能量及其分配,生物的繁殖现象及原理以及生物体在进化中的对策。

个体生态学研究的是互不联系的生物个体。它是研究生态学的关键和基础,也是生态学最初阶段研究的内容。

#### 2.种群生态学

种群(population)指在一定时间内占据一定空间的同种生物的所有个体。种群生态学是研究种群的生态学,即从某种意义上把一个种的地区群体作为研究对象,研究栖息于同一地域中所有种群集合体的组成特点、彼此之间及其与环境之间的相互关系、群落结构的形成及变化机制等问题的学科。种群生态学是在个体、种群、群落中,以种群为研究对象的生态学分支。种群生态学是研究种群数量动态与环境相互作用关系的科学。

#### 3.群落生态学

群落(生物群落, biotic community)指一定时间内居住在一定空间范围内的生物种群的集合。它包括植物、动物和微生物等各个物种的种群,共同组成生态系统中有生命的部分。

群落生态学(Community Ecology)是研究群落与环境相互关系的科学,是生态学的一个重要分支学科。群落生态学不是以一种生物作为对象,而是把群落作为研究对象。

#### 4.生态系统生态学

生态系统(ecosystem)指由生物群落与无机环境构成的统一整体。生态系统的范围可大可小,相互交错,最大的生态系统是生物圈,最为复杂的生态系统是热带雨林生态系统。生态系统是生态学领域的一个主要结构和功能单位,属于生态学研究的最髙层次。

生态系统生态学(Ecosystem Ecology)是研究生态系统的组成要素、结构与功能、发展与演替、系统

内和系统间的能量流动和物质循环以及人为影响与调控机制的学科。

自 20 世纪 60 年代以来,由于世界的人口、环境等威胁人类生存的挑战性问题存在,生态系统研究也逐渐发展成为生态学研究的主流。

### 5. 景观生态学

景观生态学(Landscape Ecology)是 1939 年由德国地理学家 C.特洛尔提出的。它是以整个景观为对象,通过物质流、能量流、信息流与价值流在地球表层的传输和交换,生物与非生物以及与人类之间的相互作用与转化,运用生态系统原理和系统方法研究景观结构和功能、景观动态变化以及相互作用机理,以及景观的美化格局、优化结构、合理利用和保护的学科。

景观生态学是研究在一个相当大的区域内,由许多不同生态系统所组成的整体(即景观)的空间结构、相互作用、协调功能及动态变化的一门生态学新分支。景观生态学给生态学带来新的思想和新的研究方法。它已成为当今北美生态学的前沿学科之一。

### 6. 全球生态学

全球生态学(Global Ecology)是指研究整个地球生态问题的生态学,又称生物圈生态学。研究的是全球范围内生物机体与周围环境相互影响的过程,即生物圈与岩石圈、水圈和大气圈之间相互作用的过程。

生物圈是地球表面最大的生态系统,包括地球上的全部生物及一切适于生物栖息的场所。随着全球性环境问题的日益严重,研究生物圈中每个组成部分的完整结构和它们之间的相互作用、相互依赖以及生物圈的稳定性及其机制,成为 21 世纪受到人类关注的学科,全球生态学应运而生。

## 三、生态学的分支学科

随着生态学的发展,生态学的研究领域、研究范围以及研究内容都在不断扩大,已经形成了庞大的学科体系。

### (一) 根据组织层次分类

包括个体生态学(生理生态学)、种群生态学、群落生态学、生态系统生态学、景观生态学和全球生态学。

### (二) 根据所研究的生物类别分类

包括微生物生态学、植物生态学、动物生态学、普通生态学。动物生态学按动物分类,又可以细分为脊椎动物生态学、鸟类生态学、昆虫生态学等;而植物生态学也可分为蕨类生态学、藻类生态学等。

### (三) 根据生物栖居的环境分类

包括陆地生态学、水域生态学和太空生态学。陆地生态学又可分为森林生态学、草原生态学、荒漠生态学等;水域生态学可分为海洋生态学、湖沼生态学、河流生态学等。还有更细的划分,如植物根际生态学、肠道生态学等。

### (四) 根据交叉学科分类

生态学与非生命科学相结合的,有数学生态学、化学生态学、物理生态学、地理生态学、经济生态学

等;与生命科学其他分支相结合的有生理生态学、行为生态学、遗传生态学、进化生态学、古生态学等。

#### (五)根据研究方法分类

包括理论生态学、实验生态学、野外生态学等。

#### (六)根据应用领域分类

包括农业生态学、农田生态学、家畜生态学、森林生态学、渔业生态学、野生生物管理学、环境生态学、热生态学、放射线生态学、自然资源保护生态学、斜坡生态学、环境卫生学、生态工程学、土地生态学、社会生态学、经济生态学、城市生态学等。

## 第二节 生态学的发展简史及发展趋势

### 一、生态学的发展简史

#### (一)生态学的萌芽时期

古人在长期的农牧渔猎生产中积累了朴素的生态学知识,诸如作物生长与季节气候及土壤水分的关系、常见动物的物候习性等。我国《尔雅》一书将植物分为草、木两章,分别记载了 176 种木本植物和 50 多种草本植物的形态与生存环境。明代李时珍所著的《本草纲目》中描述了药用动植物生态习性与生存环境的关系。

亚里士多德的学生、公元前 3 世纪的雅典学派首领提奥夫拉斯图斯在其植物地理学著作中已提出类似今日植物群落的概念。公元前后出现的介绍农牧渔猎知识的专著,如古罗马公元 1 世纪老普林尼的《博物志》、6 世纪中国农学家贾思勰的《齐民要术》等,均记述了朴素的生态学观点。

#### (二)生态学的建立时期(17 世纪到 19 世纪末)

从 17 世纪德国生物学家恩斯特·海克尔首次提出“生态学”这一名词到 19 世纪末称之为生态学的建立阶段。

17 世纪以后,许多科学家通过科学考察积累了不少宏观生态学资料。1735 年,法国昆虫学家雷奥米尔发现,就一个物种而言,日平均气温总和对任意一个物候期都是一个常数,他被认为是研究积温与昆虫发育生理的先驱。19 世纪初叶,现代生态学的轮廓开始出现。如雷奥米尔的 6 卷昆虫学著作中就有许多昆虫生态学方面的记述。瑞典博物学家林奈首先把物候学、生态学和地理学观点结合起来,综合描述外界环境条件对动物和植物的影响。法国博物学家布丰强调生物变异基于环境的影响。德国植物地理学家亚历山大·洪堡创造性地结合气候与地理因子的影响来描述物种的分布规律。

进入 19 世纪之后,达尔文《物种起源》一书的出版,引起了生物界的轰动,对生态学和进化论的形成与发展作出巨大贡献,使得许多生物学家开展了环境诱导生物变异的实验生态学的研究。

19 世纪后期开展的对植物群落的定量描述以统计学原理为基础。1895 年丹麦瓦尔明著成《植物

分布学》，1898年德国生态学家辛格尔著成《以生理学为基础的植物地理学》，这两本书全面总结了19世纪末之前生态学的研究成就，被公认为是生态学的经典著作，标志着生态学作为一门生物学分支科学的诞生。

### (三)生态学的巩固时期(20世纪初到20世纪30年代)

20世纪初叶，人类所关心的农业、渔猎和直接与人类健康有关的环境卫生等问题，推动了农业生态学、野生动物种群生态学和媒介昆虫传病行为的研究。由于当时组织的远洋考察中都重视对生物资源的调查，从而也丰富了水生生物学和水域生态学的内容。

1913年亚当斯的《动物生态的研究指南》成为动物生理学的第一本教科书；十几年后，美国的伯斯、英国的埃尔顿分别著成的《动物生态学》，与法国赫斯写成的《动物地理学》一起成为当时动物生态学的重要著作。

由于不同地区自然条件的差异以及科学家的研究重点和方法的不同，在这一时期的植物生态学领域出现并形成了几个著名的学派，即英美学派、法瑞学派、北欧学派和苏联学派。英美学派的代表人物是美国的克莱门兹和英国的坦斯利，他们的主要成就是提出植物群落的定义和创建演替顶极学说，其重点在于动态生态的研究；法瑞学派的代表人物是法国的布朗—布兰奎特和瑞士的卢伯尔，主要成就是建立起比较严格的植物等级分类系统，其重点在于静态生物学的研究；北欧学派的代表人物是瑞典的舍诺得和瑞兹，主要成就是继承和发展了植物地理学的研究；苏联学派的代表人物是苏卡切夫，主要成就是建立起植被等级分类系统以及对植物生态、植物地理群落和应用方面的研究。

### (四)现代生态学时期(20世纪30年代末到现在)

自20世纪50年代以来，生态学吸收了数学、物理、化学工程技术科学的研究成果，向精确定量方向前进并形成了自己的理论体系。数理化方法、精密灵敏的仪器和电子计算机的应用，使生态学工作者有可能更广泛、深入地探索生物与环境之间的相互作用。由于世界上的生态系统大都受人类活动的影响，社会经济生产系统与生态系统相互交织，实际形成了庞大的复合系统。随着社会经济和现代工业化的高速发展，自然资源、人口、粮食和环境等一系列影响社会生产和生活的问题日益突出。

人们在寻求这些问题发生的原因及解决办法的过程中，认识到生态学对创造和保持人类高度文明的重要作用。这促使生态学研究与环境系统及生产应用广泛结合，形成了海洋生态学、土壤生态学、湖泊生态学、农业生态学、农田生态学、草原生态学和森林生态学等分支。生态学的原理和方法，更广泛地得到了应用，出现了更多的分支和边缘学科，充分体现了生态学的社会属性。1965年，联合国教科文组织制订了“国际生物科学研究计划”，研究地球生命与环境系统及其基本过程；1970年，该组织在其第十六届全国会议上又制订出“人与生物圈”的计划；1972年6月，在瑞典首都斯德哥尔摩举行了由113个国家参加的第一次人类环境会议，探讨保护全球的战略，发表了《人类环境宣言》，并通过了一个保护环境的“行动计划”，包括109项具体建议；1975年成立了国际生态系统研究组织；1986年第四届国际生态学大会；1990年第五届国际生态学大会；1992年在巴西里约热内卢召开了由183个国家参加的“联合国环境与发展大会”。

## 二、现代生态学的发展趋势

### (一) 研究层次向宏观和微观方向发展

现代生态学一方面向区域性、全球性乃至宇宙性方面发展;另一方面是向微观方向发展,与分子生物学、分子遗传学、生理学、微形态解剖学结合。系统理论在生态学中广泛应用,生态系统生态学成为生态学发展的主流,系统分析方法成为生态学的方法论基础。

### (二) 研究范围的扩展

生态学的研究内容和任务扩展到人类社会,渗入人类的经济活动,成为自然科学与社会科学相接的桥梁之一。

应用生态学得到迅速发展。生态学不再仅是一门解释自然的科学,而成为改造自然的武器。如生态学与环境问题研究结合,促进了污染生态学、保护生态学、恢复生态学和生态毒理学等学科的发展。生态学与社会科学的交叉是现代生态学的最新发展趋势,相继出现了生态伦理、生态工程、生态技术、生态建设和生态管理等概念。

### (三) 研究方法的更新

传统生态学由定性描述发展到定量研究。野外自计电子仪器、遥感与地理信息系统、生态建模等现代化测试技术、设备和手段得到广泛应用;系统分析方法以及系统生态学的发展,进一步丰富了本学科的研究方法。

### (四) 生态学研究的国际性日益增强

可以说,生态学已经发展成为一门研究人类与自然作为一个整体的综合科学,它在人类的实践中产生,伴随着社会的进步而发展,它与人类的命运息息相关,是一门人类“生存和发展”的学科。

## 三、我国生态学的研究和发展

“生态学”作为一门科学在我国发展较晚,如果按照不同时期主导的研究对象和研究方向加以划分,大体上可分为5个时期,即朴素的生态学萌芽时期、生物与环境本底状况的调查和研究时期、初期的个体和群落的生态学研究时期、以生态系统结构和功能定位研究为主的系统生态学发展时期以及以全球变化、生物多样性和可持续发展为代表的现代生态学研究时期。尽管每个阶段不是截然分开的,但是每个阶段发展的基本特点还是有差异的。

据研究,有关生物分布、物候、土壤,以及生物与环境关系的零星记载可见于春秋时期的《管子》一书;有关农业生产的书籍最早见于2000年前,既包括对具体农作物与环境关系的深刻理解,也包括对农作物栽培、园林设计以及畜牧蚕桑管理经验的总结。

1949年以来,我国生态学家结合国家建设任务和以中国科学院为主组织的各类综合考察队,在系统地收集、整理我国的自然、社会和资源利用及区域开发方面的资料,进行了大量的野外考察与研究。其中包括中华人民共和国成立初期我国政府组织的热带橡胶林地及农垦的调查,中国科学院自然资源综合考察委员会组织的一系列综合科学考察,其考察范围包括了西藏、黄河中上游、黑龙江、新疆、青

海、甘肃、内蒙古、西南以及南方亚热带山地。

20 世纪 70 年代末,我国生态学研究进入了对各类天然及人工生态系统结构与功能的定位观测时期。中国科学院于 20 世纪 50 年代末在云南西双版纳建立了我国第一个“生物地理群落实验站”。同时在苏联专家的建议下,全国划定了 15 处自然保护区。有关科研单位和高等学校结合科研、教学和生产的需要,也开展了一些小规模定位研究。

20 世纪 90 年代,特别是 21 世纪以来,生态学的研究进入了一个全新的阶段,以生物多样性保育、生态系统管理与监测、退化生态系统的恢复、全球变化和可持续发展为主要研究内容。这一时期,生态学的研究更加紧密地结合当今面临的人口、资源、环境等问题,不断突破其初始时期以动植物为中心的学科界限,把人类社会包括在内,并在实现社会的可持续发展中起着越来越重要的作用。

### 第三节 生态学的研究方法

根据生态学研究对象的多样性和复杂性,对生态学现象和生态学规律的研究,不仅要通过野外的观测和实地的调查研究,而且还需要通过严格的控制实验来模拟自然的生态过程与内在规律。

根据生态学研究的不同需要,可以分为原地观测研究方法、受控实验研究方法以及生态学的综合研究方法三大类型。

#### 一、原地观测研究方法

原地观测研究是指在自然实地对生物与环境关系的考察。生态现象的第一手资料皆来源于原地观测。因为生态学的研究对象(种群、群落等)均与特定的自然生境不可分割,生态现象涉及因素众多,联系形式多样,相互影响又随时间不断变化,观测的角度和尺度不一,迄今尚难以或无法使自然现象全面地在实验室内再现,原地观测仍是生态学的基本方法。原地观测研究方法包括野外考察、定位观测和原地实验等。

##### (一)野外考察

野外考察是考察特定生态要素(生物要素和环境要素)的时空分异和规律。野外考察首先必须确定需要考察的空间范围及其边界,以及考察对象。然后根据调查目的,设计相应的调查方案和调查指标。

##### 1. 生物要素

- (1)其调查边界通常因物种生物学特性而异。
- (2)植物种群不仅要考虑其定居的植株分布,还应包括种子的向外扩散范围。
- (3)动物种群的活动范围,其巢穴或防御的领地可能很小,但取食空间可能很大。
- (4)考察有定期长距离迁徙或洄游行为的动物种群往往要包括广大地区,考察动物种群活动可能要用飞机、遥感或标志追踪技术。

(5)陆地群落的生境划界,通常是依据植物群落或植被类型边界与地形地貌的联系。但在大范围内出现群落连续,或过渡性强时,则要借助于群落统计或航测及遥测技术。

(6)野外考察种群或群落特征,测计生境的环境条件,不可能在原地内进行普遍观测,只能通过适于各类生物的规范化抽样调查方法。

属于种群水平的考察项目主要有个体数量(或密度)、水平与垂直分布样式、适应形态性状、生长发育阶段或年龄结构、物种的习性行为等。

属于群落水平的考察项目主要有群落的种类组成,即对组成该群落的植物种类进行分类鉴定和记录、植物种的生活型或生长型、各种动物的生态习性和行为;各种动植物种群的多度、频度、显著度、分布样式、年龄结构、生活史阶段、种间关联和群落结构等。

同时,要考察种群或群落生境的主要环境因子特征,如对生境的总面积、形状、海拔、大气、水、土壤、地质、地貌等环境因子的描述和测量。

## 2. 社会经济要素

首先也需要确定研究对象和研究范围,然后根据研究目的,设计一系列调查表格和问卷,通过资料收集、当面采访、座谈会、问卷调查等方法,获取第一手和第二手的数据信息,如国民经济统计年鉴、地方志、产业发展概况、各种生产报表、人口状况、环境保护状况等,在此基础上进行统计分析,研究社会经济发展与资源和生态环境之间的关系。

### (二) 定位观测

定位观测是考察某个种群或群落结构功能与生境相互关系的时态变化。

先要设立一块可供长期观测的固定样地,样地必须能反映所研究的种群或群落及其生境的整体特征。

定位观测时限,取决于研究对象和目的,若是观测种群的生活史动态,微生物种群的时限只要几天,昆虫种群要几个月到几年,脊椎动物要几年乃至几十年,多年生草本和树木要几十年甚至几百年;若是观测群落演替所需时限更长;若是观测种群或群落功能或结构的季节或年度的动态,时限一般是一年或几年。

定位观测的项目,除野外考察的项目外,还要增加生物量增长、生殖率、死亡率、能量流、物质流等结构功能过程的定期观测。

### (三) 原地实验

原地实验是在田间条件下,采取某些措施,获得有关某个因素的变化对种群或群落其他因素及对某种效果所产生的影响。

例如,在牧场上进行围栏实验,可获得牧群活动对草场中种群或群落的影响;在森林或草地群落里人为去除其中的某个种群,或引进某个种群,从而辨识该种群对群落及生境的影响;在森林或草地群落进行施肥、遮光、改变食物资源条件,以了解资源供应对种群或群落动态影响的机制。

原地或田间的对比实验是野外考察和定位观测的一个重要补充,不仅有助于阐明某些因素的作用规律和机制,还可作为设计生态学受控实验或生态仿真的参考或依据。

## 二、受控实验研究方法

受控实验是仿真自然生态系统,严格控制实验条件,研究单项因子相互作用及其对种群或群落影响的方法技术。

例如,所谓“微宇宙”仿真系统,是在人工气候室或人工水族箱中建立自然生态系统的仿真系统,即在光照、温度、土质、营养元素等大气物理或水分营养元素的数量与质量都完全可控的条件下,通过改变其中某一因子或同时改变几个因子,来研究实验生物的个体、种群、小型生物群落系统的结构功能、生活史动态过程及其变化的动因和机理。

## 三、生态学的综合研究方法

生态学的综合研究方法是指对原地观测或受控的生态实验的大量资料和数据进行综合归纳和分析,表达各组变量之间存在的种种相互关系,反映客观生态规律性的方法技术。

### (一)资料的归纳和分析

生态学现象观测数据资料,涉及多种学科领域、众多因素的变量集,各组变量(属性)类型不同、量纲不一、尺度悬殊,为了便于归纳分析,需做以下工作:

首先,要进行数据的适当处理,包括对数据类型的转化,主要是把二元(定性)数据转化为定量数据;或者反之,以使数据类型一致。

其次,对不同量纲的数据进行数值转换,如将原始数值换成对数、倒数、角度、概率等,以便更合理地体现各类数据之间的数量关系,使其具有一定的分布形式(如正态分布)或一定的数据结构(如线性结构)。还可进行数据的标准化或中心化,即把各项数据的绝对值转换为相对值(比值),使变量的取值在 $0\sim 1$ ,从而获得数据的几何意义,能在一定维数的坐标上定位和进行运算。

### (二)生态学的数值分类和排序

数值分类是近 20 年来新发展的对群落进行客观分类及区分种群内生态类型的方法技术。

分类的对象单元是植被的抽样(样地),所以,样地的大小、数量和进行物种的数量特征(属性)的测计,都要按照规范化的方法。

各种属性原始数据经过处理,建立  $N$  个样地、 $P$  个属性的原始数据矩阵,再计算群落样地两两之间的相似系数或相异系数,列出相似系数矩阵,最后按照一定程序进行样地的聚类或划分,得出表征同质群落类型的树谱图和划分或聚合的分类结果。

数值分类技术的最大特点是原地调查抽样以及数据处理和计算分类程序的规范化,具有较大的客观性和可重复检验的特征,能应用计算机加快分类过程,实现最优化的分类。

### (三)生态学的数学模型和仿真

生物种群或群落系统行为的时态变化的数学概括,统称为生态系统的动态数学模型。数学模型仅仅是现实生态系统的抽象,每种模型都有一定的限度和有效范围。生态系统建模并没有绝对的法则,但必须从确定对象系统过程的真实性出发,充分把握其内部相互作用的主导因素,提出适合的生态学

假设,再采用恰当的数学形式来加以表达或描述。

数学模型经过验证,确定了它的真实性后,即可作为一项有用的工具,进行实验仿真,分别改变方程中的变量及常数的数值,在计算机上进行运算,即可得出与改变相应的种群或群落过程的特征或效果,恰似在实地进行实验一样,也是对模型的合理性与正确性的验证。



## 同步练习

### 一、选择题

1. 下列表述正确的是 ( C )

- A. 生态学是研究生物形态的一门科学
- B. 生态学是研究人与环境相互关系的一门科学
- C. 生态学是研究生物与其周围环境之间相互关系的一门科学
- D. 生态学是研究自然环境因素相互关系的一门科学

2. 生态学作为一个科学名词,最早是由哪位科学家提出并定义的 ( A )

- A. E. Haeckel
- B. E. P. Odum
- C. A. G. Tansley
- D. Darwin

3. 按下列哪一项划分,生态学可分为植物生态学、动物生态学和微生物生态学等 ( A )

- A. 生物类别
- B. 生物的组织层次
- C. 生态学的应用
- D. 生态系统

4. 生态学发展大致经历了生态学的萌芽时期、建立时期、巩固时期和 ( C )

- A. 生物学时期
- B. 环境科学时期
- C. 现代生态学时期
- D. 现代生物学时期

5. 目前,最受人们重视、最活跃的生态学研究领域是 ( D )

- A. 个体生态学
- B. 种群生态学
- C. 群落生态学
- D. 生态系统生态学

### 二、填空题

1. 生态学按组织水平可分为个体生态学、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和生态系统生态学等。
2. 20 世纪,由于各地自然条件、植物区系、植被性质及开发利用程度的差异,植物生态学在研究方法、研究重点上各地有所不同,形成了四大学派,包括\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_。
3. 生态学的研究方法主要有\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_等。
4. 现代生态学一方面向区域性、全球性乃至宇宙性方面发展;另一方面向\_\_\_\_\_发展。
5. 20 世纪,生态学界出现了四大著名生态学派,其中法国的布朗—布兰奎特、瑞士的\_\_\_\_\_是法瑞学派的代表人物。

### 三、简答题

1. 如何理解生物与地球环境的协同进化?

2. 简述生态学的定义、研究对象与范围。
3. 现代生态学的发展趋势是什么？
4. 简述经典生态学的几个学派及其特点。



## 参考答案

### 二、填空题

1. 种群生态学 群落生态学
2. 北欧学派 法瑞学派 英美学派 苏联学派
3. 原地观测研究方法 受控实验研究方法 生态学的综合研究方法
4. 微观方向
5. 卢伯尔

### 三、简答题

1. 生物依赖于环境,只有适应了环境生物才能生存并进化;同时,环境又靠生物来维持与调控;生物与环境是相互依存的。

2. 生态学的定义:生态学是研究生物及环境间相互关系的科学。生态学的研究对象与范围:从分子到生物圈都是生态学研究的对象。

3. 研究对象的层次性更加明显,向宏观与微观两极发展;研究手段的更新;研究范围的扩展,一是生态学的研究内容和任务扩展到人类社会,渗入人类的经济活动,成为自然科学与社会相接的桥梁之一,二是应用生态学得到迅速发展;生态学研究国际性日益增强。

4. 法瑞学派:重视群落研究的方法,用特征种和区别种划分群落的类型,建立了严密的植被等级分类系统。北欧学派:重视群落分析、森林群落与土壤 pH 的关系。英美学派:重视群落的动态,从植物群落演替观点提出演替系列、演替阶段群落分类方法,并提出了演替顶极的概念。苏联学派:注重建群种与优势种,建立了一个植被等级分类系统,并重视植被生态、植被地理与植被制图工作。

### 第一节 环境与生态因子

#### 一、环境的概念及其类型

##### (一) 环境的概念

环境是指某一特定生物体或生物群体以外的空间及直接、间接影响该生物体或生物群体生存的一切事物的总和。

环境是相对于某一事物来说的,是指围绕着某一事物(通常称其为主体)并会对该事物产生某些影响的所有外界事物(通常称其为客体),即环境是指相对并相关于某项中心事物的周围事物。

环境总是相对于某一中心事物而言的。环境因中心事物的不同而不同,随中心事物的变化而变化。围绕中心事物的外部空间、条件和状况,构成中心事物的环境。

##### (二) 环境的类型

环境是一个非常复杂的体系,至今尚未形成统一的分类系统。一般可按环境的主体、环境的性质、环境的范围等进行分类。

按环境的主体分类,目前有两种体系。一种是以人为主体的,其他的生命物质和非生命物质都被视为环境要素,这类环境称为人类环境。在环境科学中,多数学者都采用这种分类方法。另一种是以生物为主体的,生物体以外的所有自然条件称为环境,这是一般生态学书刊上所采用的分类方法。

按环境的性质可将环境分成自然环境、半自然环境、被人类破坏后的自然环境。

按环境的范围大小可将环境分为宇宙环境(或称星际环境)、地球环境、区域环境、微环境和内环境。

##### 1. 宇宙环境

宇宙环境指大气层以外的宇宙空间,是人类活动进入大气层以外的空间和地球邻近天体的过程中提出的新概念,也有人称之为空间环境。宇宙环境由广阔的空间和存在于其中的各种天体及弥漫物质组成,它对地球环境产生了深刻的影响。太阳辐射是地球的主要光源和热源,为地球生物有机体带来了生机,推动了生物圈这个庞大生态系统的正常运转。因而,它是地球上一切能量的源泉。太阳辐射能的变化影响着地球环境。例如,太阳黑子出现的数量同地球上的降雨量有明显的相关关系;月球和太阳对地球的引力作用产生潮汐现象,并可引起风暴、海啸等自然灾害。

##### 2. 地球环境

地球环境指大气圈中的对流层、水圈、土壤圈、岩石圈和生物圈,又称为全球环境。地球环境与人

类及生物的关系尤为密切。其中生物圈中的生物把地球上各个圈层密切地联系在一起,并推动各种物质循环和能量转换。

### 3. 区域环境

区域环境指占有某一特定地域空间的自然环境,它是由地球表面不同地区的自然圈层相互配合形成的。不同地区形成各不相同的区域环境特点,分布着不同的生物群落。

### 4. 微环境

微环境指在区域环境中,由于某一个或几个圈层的细微变化而产生的环境差异所形成的小环境。例如,生物群落的镶嵌性就是微环境作用的结果。

### 5. 内环境

内环境指生物体内组织或细胞间的环境,对生物体的生长和繁育具有直接的影响。例如,叶片内部直接和叶肉细胞接触的气腔、气室、通气系统,都是形成内环境的场所。内环境对植物有直接的影响,且不能为外环境所代替。

## 二、生态因子的概念与分类

### (一) 生态因子的概念

生态因子是指环境中对生物生长、发育、生殖、行为和分布有直接或间接影响的环境要素。例如,温度、湿度、食物、氧气、二氧化碳和其他相关生物等。生态因子中生物生存所不可缺少的环境条件,有时又被称为生物的生存条件。所有生态因子构成生物的生态环境。具体的生物个体和群体生活地段上的生态环境称为生境,其中包括生物本身对环境的影响。生态因子和环境因子是两个既有联系又有区别的概念。

生态因子的作用是多方面的。生态因子影响着生物的生长、发育、生殖和行为,改变生物的繁殖力和死亡率,并且引起生物产生迁移,最终导致种群的数量发生改变。当环境中的一些生态因子对某一种生物不适合时,这种生物就很少甚至不可能分布在该区域,因此,生态因子还能够限制生物物种的分布区域。但是,生物对自然环境的反应并不是消极被动的,生物能够对自然环境产生适应。由此可见,生物和环境之间的关系是相互的、辩证的。

### (二) 生态因子的分类

在任何一种生物的生存环境中都存在着很多生态因子,这些生态因子在其性质、特性和强度方面各不相同,它们彼此之间相互制约、相互组合,构成了多种多样的生存环境,为各类极不相同生物的生存、进化创造了不计其数的生境类型。按照传统的做法,可以把生态因子广义地分成两类、六个基本类型。

#### 1. 非生物因子

(1) 气候因子——光、温度、降水等。

(2) 土壤因子——土壤的物理性质等。

(3)地形因子——海拔、坡度、坡向等。

## 2.生物因子

(1)植物因子——植物之间共生、寄生、附生等关系。

(2)动物因子——摄食、传粉、践踏等。

(3)人为因子——垦殖、放牧、采伐等。

## 三、生态因子的作用规律

### (一)综合作用

任何一个生态环境,总是多个生态因子的综合,生态因子不可能单独存在。生物生存所需的生态因子,对于生物的作用是同等重要的,具有不可代替性。例如,当水分缺乏到足以影响植物的生长时,是不可能通过调节温度、改变光照和矿质营养等条件来解决问题的,只有通过增加水分才能解决问题。

### (二)主导因子作用

在生物体所需的生态因子中,其中一个因子对生物的生长发育具有决定性的作用,这个因子就被称为主导因子。对生物而言,主导因子不是绝对的,而是可变的,它随时间、空间以及生物有机体的不同发育时期而发生变化。

### (三)直接作用和间接作用

在生态环境中,各个生态因子对生物的作用是同等重要的,只有各种生态因子配合在一起才能发挥作用,其中不管某一个生态因子对生物的生长发育怎样适宜,如果没有其他因子的配合,生物也无法完成生长发育的全部过程。

在生态因子的相互作用中,一个生态因子发生了变化,常常会引起其他因子的变化。例如,光照强度增加,会引起气温和土壤温度升高、空气相对湿度降低、水分蒸发加强,使整个生态环境趋向干热。

### (四)阶段性作用

生态因子会随时间、空间的变化而变化,构成了生态环境的多样性和复杂性。自然界中,不存在完全相同的生态环境。光照、温度、湿度、降水等气象因子在一年、一月、一天之内都存在明显的、有规律的变化。即使是同一地点不同时间的生态因子也不完全相同。生物与环境长期适应的结果,形成了生态因子的多变性与生物对生态因子的需要的可变性达到一致,也就是说,生物本身对生态因子的需要也是在变化的。

### (五)不可替代性和补偿作用

光、热、水、空气等生活因子是生物生长发育中所需要的生存条件,它们同等重要,缺少哪一种都能引起植物的正常生活失调,甚至死亡。这种不可由其他因子代替,即生活因子的不可替代性或同等重要性定律,强调的是不可或缺性。

生活因子在量上不足,却可以由其他因子的增加或加强而得到相似的生态效应,即生活因子间的可补偿性,又称为生态因子间的可调剂性。

(六) 限制性作用及生物的耐受性

1. 限制因子

生物的存在和繁殖依赖于各种生态因子的综合作用,其中限制生物生存和繁殖的关键性因子就是限制因子(limiting factor),又称主导因子(图 2-1)。

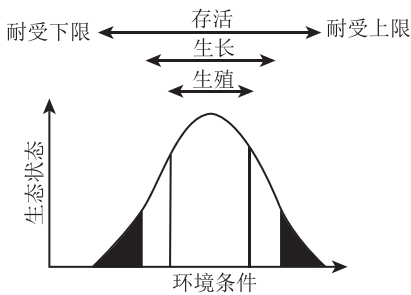


图 2-1 限制因子定律图示

由此可见,生物的生存和发展取决于条件(能量、养分、水、污染物等)的综合,其中任何条件如果超过生物的耐受极限,就成为限制因子。同样的因子在这种情况下可能是限制性的,而在另一种情况下则可能是非限制性的。例如,氧是任何动物必不可少的生存条件,但通常不成为陆地生物的限制因子,因为空气中的含氧量足够满足动物呼吸的需要。但在被有机物污染的河流中,氧常常被微生物分解而耗竭,造成鱼类缺氧死亡,这时氧就是限制性的。所以,在自然界中,一个物种的实际分布区域局限于对多种生态因子耐受范围的重叠部分。

2. 利比希最小因子定律

1840 年,德国农业化学家利比希(Liebig)首次指出:“植物的生长取决于那些处于最少量状态的营养元素。”其基本内容是低于某种生物需要的最少量的任何特定因子,是决定该种生物生存和分布的根本因素。因此,后人便将这一定律称为利比希最小因子定律。

利比希研究各种环境生态因子对植物生长的影响,发现作物的产量并不经常受到大量需要的物质(如二氧化碳和水)的限制,因为它们在自然环境中很丰富,却受到一些微量物质的限制,它们的需要量虽小,但在土壤中非常稀少。他提出“植物的生长取决于处在最小量的必需物质”。也就是说,一种生物必须有不可缺少的物质提供其生长和繁殖,这些基本的必需物质随种类和不同情况而异。当植物所能利用的量紧密地接近所需的最低量时,就对其生长和繁殖起限制作用,成为限制因子,这就是利比希最小因子定律。

3. 谢尔福德耐受性定律

谢尔福德耐受性定律是美国生态学家谢尔福德(V.E.Shelford)于 1913 年提出的。生物对其生存环境的适应有一个生态学最小量和最大量的界限,生物只有处于这两个限度范围之间才能生存,这个最小到最大的限度称为生物的耐受性范围。生物对环境的适应存在耐受性限度的法则称为耐受性定律。具体可定义为任何一种环境因子对每一种生物都有一个耐受性范围,范围有最大限度和最小限度,一种生物的机能在最适点或接近最适点时发生作用,趋向这两端时就减弱,然后被抑制。

1973年,美国生态学家奥德姆(E.P.Odum)等对耐受性定律做了如下补充:

(1)同一种生物对各种生态因子的耐受性范围不同,对一个因子耐受性范围很广,而对另一因子的耐受性范围可能很窄。

(2)不同种生物对同一生态因子的耐受性范围不同。对主要生态因子耐受性范围广的生物种,其分布也广。仅对个别生态因子耐受性范围广的生物,可能受其他生态因子的制约,其分布不一定广。

(3)同一生物在不同的生长发育阶段对生态因子的耐受性范围不同,通常在生殖生长期对生态条件的要求最严格,繁殖的个体、种子、卵、胚胎、种苗和幼体的耐受性范围一般都要比非繁殖期的要窄。例如,在光周期感应期内对光周期要求很严格,在其他发育阶段对光周期没有严格要求。

(4)由于生态因子的相互作用,当某个生态因子不是处在适宜状态时,生物对其他一些生态因子的耐受性范围将会缩小。

(5)同一生物种内的不同品种,长期生活在不同的生态环境条件下,对多个生态因子会形成有差异的耐受性范围,即产生生态型的分化。

任何一种生物,对自然环境中的各理化生态因子都有一定的耐受性范围,耐受性范围越广的生物,适应性越广。据此,可将生物大体划分为广适性生物和窄适性生物。

## 第二节 生物与光因子

### 一、生物与光质

#### (一)生理辐射

太阳可见光是由一系列不同波长的单色光组成的,通过三棱镜可将白光分解为红、橙、黄、绿、青、蓝、紫七种不同质(不同波长)的单色光,这些单色光的波长范围是380~760 nm,光合作用的光谱范围就是在可见光区内。不同的光质对植物的光合作用、色素形成、向光性、形态建成的诱导等影响不同。其中,红橙光主要被叶绿素吸收,对叶绿素的形成有促进作用;蓝紫光也能被叶绿素和类胡萝卜素吸收,因此,这部分光辐射被称为生理有效辐射,占总辐射的40%~50%。绿光很少被吸收利用,被称为生理无效辐射。

光质(光谱成分)随空间发生变化的一般规律是短波光随纬度增加而减少,随海拔升高而增加;在时间变化上,冬季长波光增多,夏季短波光增多;一天之内,中午短波光较多,早晚长波光较多。不同波长的光对生物有不同的作用,植物叶片对日光的吸收、反射和透射的程度直接与波长有关。当日光穿透森林生态系统时,大部分能量被树冠层截留,到达下层的日光不仅强度大大减弱,而且红光和蓝光也所剩不多,所以生活在那里的植物必须对低辐射能环境有较好的适应性。

#### (二)红外光和紫外光

红外光又叫红外线,光谱上面在红色光的外侧,是波长介于微波与可见光之间的电磁波,波长为

760 nm~1 mm,是波长比红色光长的非可见光。覆盖室温下物体所发出的热辐射的波段,透过云雾能力比可见光强,在通信、探测、医疗、军事等方面有广泛的用途。

自然界的主要紫外线光源是太阳,太阳光透过大气层时波长短于 290 nm 的紫外线被大气层中的臭氧吸收掉。紫外光波长比可见光短,但比 X 射线长。紫外光在电磁波谱中波长范围为 10~400 nm。紫外线可以防伪,还有生理作用,能杀菌、消毒、治疗皮肤病和软骨病等。紫外线的粒子性较强,能使各种金属产生光电效应。

## 二、生物与光照强度

### (一)光照强度对生物的影响

光照强度是指单位面积上所接受可见光的能量,简称照度,单位是勒克斯(lx),为物理术语,用于指示光照的强弱和物体表面积被照明程度的量。

光照强度会对植物产生很大影响。一切绿色植物必须在阳光下才能进行光合作用;植物体重量的增加与光照强度密切相关;植物体内的各种器官和组织能保持发育上的正常比例,也与一定的光照强度直接相关。

光照对植物的发育也有很大影响。要植物开花多,结果实多,首先要花芽多,而花芽的多少又与光照强度直接相关。

光对植物的形态建成和生殖器官的发育影响很大。植物的光合器官叶绿素必须在一定光强条件下才能形成,许多其他器官的形成也依赖于一定的光强。在黑暗条件下,植物就会出现“黄化现象”。在植物完成光周期诱导和花芽开始分化的基础上,光照时间越长,强度越大,形成的有机物越多,越有利于花的发育。光强还有利于果实的成熟,对果实的品质也有良好的作用。

光照强度在光补偿点以下,植物的呼吸消耗大于光合作用的生产,因此不能积累干物质;在光补偿点处,光合作用固定的有机物质刚好与呼吸消耗相等;在光补偿点以上,随着光照强度的增加,光合作用强度逐渐提高并超过呼吸强度,于是在植物体内开始积累干物质。但当光照强度达到一定水平后,光合产物也就不再增加或增加得很少,该处的光照强度就是光饱和点。各种植物的光饱和点也不相同,阴地植物比阳地植物能更好地利用弱光,它们在极低的光照强度(1 万 lx)下便能达到光饱和点,而阳地植物的光饱和点则要高得多。在植物生长发育的不同阶段,光饱和点也不相同,一般在苗期和生长发育后期光饱和点低,而在生长盛期光饱和点高。几乎所有的农作物都具有很高的光饱和点,即只有在强光下才能进行正常的生长发育。

光照强度与很多动物的行为有着密切的关系。在自然条件下,动物每天开始活动的时间是由光照强度决定的,当光照强度上升到一定水平(昼行性动物)或下降到一定水平(夜行性动物),它们才开始一天的活动。因此,这些动物将随着日出、日落和季节的变化改变其开始活动的时间。

### (二)生物对光照强度的适应类型

不同植物对光照强度的反应是不一样的,根据植物对光照强度适应的生态类型可分为阳性植物、阴性植物和中性植物(耐阴植物)。在一定范围内,光合作用效率与光照强度成正比,达到一定强度后实现饱和,再增加光照强度,光合效率也不会提高,这时的光照强度称为光饱和点(LSP)。当光合作用

合成的有机物刚好与呼吸作用的消耗相等时的光照强度称为光补偿点(LCP)。阳性植物对光要求比较迫切,只有在足够光照条件下才能正常生长,其光饱和点、光补偿点都较高。阴性植物对光的需求远较阳性植物低,光饱和点和光补偿点都较低(图 2-2)。中性植物对光照具有较强的适应能力,对光的需要介于上述两者之间,但最适合在完全的光照下生长。

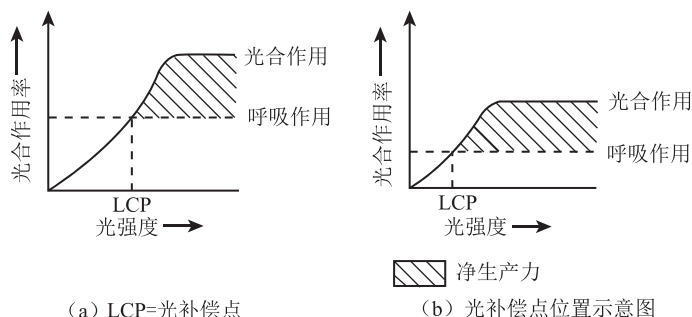


图 2-2 阳性植物和阴性植物

### 1. 阳性植物

阳性植物也称阳地植物。光照强度对植物的生长发育及形态结构的形成有重要作用,在强光环境中生长发育健壮,在荫蔽和弱光条件下生长发育不良的植物称阳性植物。

阳性植物要求全日照,并且在水分、温度等条件适合的情况下,不存在光照过强的问题。这类植物多生长在旷野、路边,如蒲公英、蓟、刺苋等。树种中的松、杉、麻栎、栓皮栎、柳、杨、桦、槐等都是阳性种类;药材中的甘草、黄芪、白术、芍药等也属于这一类;草原和沙漠植物以及先叶开花植物和一般的农作物也都是阳性植物。

阳性植物的光饱和点和光补偿点很高,一般高于自然条件下的光合有效辐射(PAR)值。因此,不存在光照过强而引起净光合速率( $P_n$ )下降的情况。而光补偿点较高就会较早进入呼吸作用不利于有机物的积累,因此不耐荫蔽。

### 2. 阴性植物

阴性植物又称阴地植物,是在较弱光照下比在强光照下生长良好的植物。它可以在低于全光照的1/50条件下生长,光补偿点平均不超过全光照的1%。阴性植物体内含盐分较少,含水分较多。这类植物枝叶茂盛,没有角质层或角质层很薄,气孔与叶绿体比较少。阴性植物多生长在潮湿、背阴处或密林内。例如,林下草本植物酢浆草、鹿蹄草、人参、细辛等。

### 3. 耐阴性植物

耐阴性指植物能在弱光下继续生存的能力。幼小植物的耐阴性在造林学上是一个重要的问题。日本冷杉、山毛榉、柯树、罗汉松等耐阴性较强;松树、落叶松、桦树等耐阴性较弱;栎树、毛叶花曲柳、枫树、橡树等耐阴性中等。一般耐阴性强的树种(阴树)最少受光量很小,而形成茂密的树冠。像日本冷杉、北海道云杉那样叶的寿命可长达数年乃至10年以上,每年只更替部分的叶,因此其耐阴性比短龄叶的树木要强。草本植物的耐阴性也有强弱之分,耐阴性弱的在暗处很难生长。根据这种条件,在水域或森林,依其深度(高度)的不同,可以看到按耐阴性顺序的各种生物种类的变化情况。

### (三)光照强度与动物的行为

光是影响动物行为的重要生态因子,很多动物的活动都与光照强度有着密切的关系。有些动物适应于在白天的强光下活动,如大多数鸟类,哺乳动物中的灵长类、有蹄类、松鼠、旱獭和黄鼠,爬行动物中的蜥、蝎和昆虫中的蝶类、蝇类和虻类等,这些动物被称为昼行性动物。另一些动物则适应于在夜晚或晨昏的弱光下活动,如夜猴、蝙蝠、家鼠、夜鹰、壁虎和蛾类等,这些动物被称为夜行性动物或晨昏性动物,因其只适应于在狭小的光照范围内活动,所以又称为狭光性种类。昼行性动物所能耐受的光照范围较广,故又称为广光性种类。还有一些动物既能适应于弱光也能适应于强光,它们白天、黑夜都能活动,常不分昼夜地表现出活动与休息的不断交替,如很多种类的田鼠,它们也属于广光性种类。土壤和洞穴中的动物几乎总是生活在完全黑暗的环境中并极力躲避光照,因为光对它们就意味着致命的干燥和高温。幼鳗的溯河性洄游则是选择在白天进行,一到夜间便停止洄游并躲藏起来。蝗虫的群体迁飞也是发生在日光充足的白天,如果乌云遮住了太阳使天色变暗,它们马上就会停止飞行。

在自然条件下动物每天开始活动的时间常常是由光照强度决定的。例如,夜行性的美洲飞鼠,冬季每天开始活动的时间大约是 16 时 30 分,而夏季每天开始活动的时间将推迟到大约 19 时 30 分(图 2-3)。昼行性的鸟类每天开始活动的时间也是随季节而变化的。例如,麻雀在上海郊区(晴天)每天开始鸣叫的时间:3 月 15 日为 5 时 45 分左右,6 月 15 日为 4 时 20 分左右,9 月 15 日为 5 时 18 分左右,12 月 15 日为 6 时 20 分左右。这说明光照强度与动物的活动有着直接的关系。

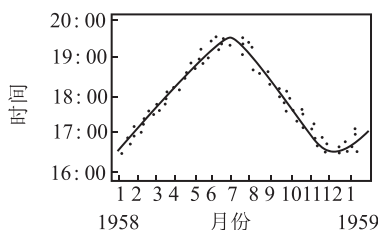


图 2-3 美洲飞鼠在自然光照条件下每天开始活动的时间与季节的关系

### 三、生物与日照长度

地球的公转与自转,带来了地球上日照长短的周期性变化。日照长度是指白昼的持续时数或太阳的可照时数。

在北半球从春分到秋分是昼长夜短,夏至昼最长;从秋分到春分是昼短夜长,冬至夜最长。在赤道附近,终年昼夜平分。纬度越高,夏半年(春分到秋分)昼越长而冬半年(秋分至春分)昼越短。在两极地区则半年是白天,半年是黑夜。因为我国位于北半球,所以夏季的日照时间总是多于 12 小时,而冬季的日照时间总是少于 12 小时。随着纬度的增加,夏季的日照长度也逐渐增加,而冬季的日照长度则逐渐缩短。

由于分布在地球各地的动植物长期生活在具有一定昼夜变化格局的环境中,借助于自然选择和进化而形成了各类生物所特有的对日照长度变化的反应方式,这就是在生物中普遍存在的光周期现象。例如,植物在一定光照条件下的开花、落叶和休眠以及动物的迁移、生殖、冬眠、筑巢和换毛、换羽等。日照长度的变化对动植物都有重要的生态作用。

### (一) 昼夜节律

生命活动以 24 小时左右为周期的变动, 又称近日节律。发光菌的发光, 植物的光合作用, 动物的摄食、躯体活动、睡眠和觉醒等行为显示昼夜节律。人体生理功能, 学习与记忆能力、情绪、工作效率等也有明显的昼夜节律波动。昼夜节律与人类的活动关系密切。生物的这种昼夜节律是长期选择和适应的结果, 是受生物内部控制机制控制的, 是生命的基本特征。

### (二) 光周期现象

#### 1. 植物的光周期现象

光周期是指昼夜周期中光照期和暗期长短的交替变化。光周期现象是生物对昼夜光暗循环格局的反应(图 2-4)。大多数一年生植物的开花取决于每日日照时间的长短。除开花外, 块根、块茎的形成, 叶的脱落和芽的休眠等也受到光周期(指一天中白昼与黑夜的相对长度)的控制。植物对周期性的, 特别是昼夜间的光暗变化及光暗时间长短的生理响应特点, 尤指某些植物要求经历一定的光周期才能形成花芽的现象, 其他生理活动也受光周期影响。

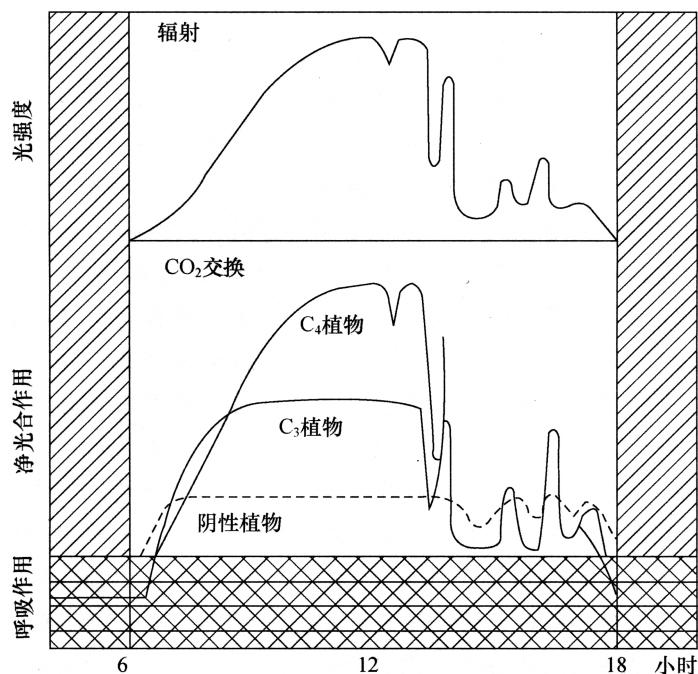


图 2-4 植物光合作用的昼夜变化

人们通过用人工延长或缩短日照长度的方法, 广泛地探测了各种植物开花对日照长度的反应, 发现植物开花对日照长度的反应有以下几种类型:

(1) 长日照植物: 指在 24 小时昼夜周期中, 日照长度长于一定时数才能成花的植物。对这些植物延长光照可促进或使其提早开花; 相反, 如延长黑暗则推迟开花或不能成花。属于长日植物的有小麦、大麦、黑麦、油菜、菠菜、萝卜、白菜、甘蓝、芹菜、甜菜、胡萝卜、金光菊、山茶、杜鹃、桂花、天仙子等。

(2) 短日照植物: 指在 24 小时昼夜周期中, 日照长度短于一定时数才能成花的植物。对这些植物适当延长黑暗或缩短光照可促进或使其提早开花; 相反, 如延长日照则推迟开花或不能成花。属于短日

植物的有水稻、玉米、大豆、高粱、苍耳、紫苏、大麻、黄麻、草莓、烟草、菊花、秋海棠、蜡梅、日本牵牛花等。

(3)日中性植物:这类植物的成花对日照长度不敏感,只要其他条件满足,在任何长度的日照下均能开花,如月季、黄瓜、茄子、番茄、辣椒、菜豆、君子兰、向日葵、蒲公英等。

## 2. 动物的光周期现象

在脊椎动物中,鸟类的光周期现象最为明显。很多鸟类的迁移都是由日照长度的变化所引起的,由于日照长度的变化是地球上最严格和最稳定的周期变化,所以是生物节奏最可靠的信号系统,鸟类在不同年份迁离某地和到达某地的时间相差无几。如此严格的迁飞节律是任何其他因素(如温度的变化、食物的缺乏等)都不能解释的,因为这些因素各年相差很大,同样,各种鸟类每年开始生殖的时间也是由日照长度的变化决定的。温带鸟类的生殖腺一般在冬季最小,处于非生殖状态,随着春季的到来,生殖腺开始发育,随着日照长度的增加,生殖腺的发育越来越快,直到产卵时生殖腺才达到最大。生殖期过后,生殖腺便开始萎缩,直到来年春季才开始再次发育。鸟类生殖腺的这种年周期发育是与日照长度的周期变化完全吻合的。在鸟类生殖期间,人为改变光周期可以控制鸟类的产卵量,人类采取在夜间给予人工光照的措施提高母鸡产蛋量的历史已有 200 多年了。

日照长度的变化对哺乳动物的生殖和换毛也具有很大的影响。很多野生哺乳动物(特别是生活在高纬度地区的种类)都是随着春天日照长度的逐渐增加而开始生殖的,如雪貂、野兔和刺猬等,这些种类可称为长日照兽类。还有一些哺乳动物总是随着秋天短日照的到来而进入生殖期,如绵羊、山羊和鹿,这些种类属于短日照兽类,它们在秋季交配刚好能使它们的幼崽在春天条件最有利时出生。随着日照长度的逐渐增加,它们的生殖活动也渐趋终止。实验表明,雪兔换白毛也完全是对秋季日照长度逐渐缩短的一种生理反应。

## 第三节 生物与温度因子

### 一、温度因子的生态作用

温度是一种经常起作用、到处存在的生态因子,任何生物都生活在具有一定温度的外界环境中,并受温度空间变化及时间变化的影响。地球表面的温度条件总是在不断变化的,在空间上它随纬度、海拔、生态系统的垂直高度和各种小生境而变化;在时间上它有一年四季的变化和一天的昼夜变化。温度的这些变化会给生物带来多方面的影响。外界环境温度在动物生命活动中起着尤为重要的作用,它直接或间接地影响着动物的生长、发育、繁殖、形态、生活状态、行为、数量及分布状况。同时,动物对环境温度及其变化又有着很好的适应性,从而确立了温度与动物的辩证关系。

温度还能引起周围环境其他生态因子,如湿度、降水、风、氧等因素的改变,因而对生物产生间接的影响。此外,温度还经常与光和湿度联合起作用,共同影响生物的各种功能。

#### (一) 温度与生物的生长

太阳使地球上的气候发生变化。赤道是太阳辐射最大的地方,气温最高,在赤道两侧低纬度地区,

有一恒定的热量,为热带。在两极(南极、北极)气温最低,为寒带。在赤道与两极之间,随着离赤道的远近有热带、亚热带、暖温带、温带和寒带。

根据动物与温度的关系,将动物分为恒温动物和变温动物。恒温动物在环境温度升高时,维持大致恒定的体温;而变温动物的体温随环境温度而变化。

根据植物所生长环境温度的不同,将植物分为高温植物、中温植物、微温植物、低温植物和极低温植物。

三基点温度(表 2-1)是作物生命活动过程的最适温度、最低温度和最高温度的总称。在最适温度下,作物生长发育迅速而良好;在最高和最低温度下,作物停止生长发育,但仍能维持生命;如果继续升高或降低,就会对作物产生不同程度的危害,直至死亡。

表 2-1 主要作物的三基点温度

| 作物种类 | 最低温度(℃) | 最适温度(℃) | 最高温度(℃) |
|------|---------|---------|---------|
| 水稻   | 10~12   | 25~32   | 35~38   |
| 小麦   | 3~5     | 20~25   | 30~32   |
| 棉花   | 10~12   | 25~32   | 40~45   |
| 玉米   | 8~10    | 30~32   | 40~44   |
| 油菜   | 4~5     | 20~25   | 30~32   |

## (二) 温度与生物的生长发育

温度与生物的生长发育有着明显的生态关系。

植物都生活在具有一定温度的外界环境中并受温度变化的影响。首先,植物的生理活动、生化反应,都必须在一定的温度条件下才能进行。一般而言,温度升高,生理活动和生化反应加快、生长发育加速;温度下降,生理活动和生化反应变慢、生长发育迟缓。当温度低于或高于植物所能忍受的温度范围时,生长逐渐缓慢、停止,发育受阻,植物开始受害甚至死亡。其次,温度的变化能引起环境中其他因子(如湿度、降水、风、水中氧的溶解度等)的变化,而环境诸因子的综合作用,又能影响植物的生长发育、作物的产量和质量。

动物的发育一般也随温度的升高而加速。在适于动物生长发育的温度范围内,外界温度与发育速度成正比,与完成发育期所需的时间成反比。动物的生长发育要求一定的温度范围,低于某一温度,动物会停止生长发育,高于这一温度,动物才开始生长发育,这一温度阈值称发育起点温度或生物学零度。例如,大马哈鱼 5.6℃、鲑鱼 3℃、小体鲟 7.2℃、青蛙 0℃、蟾蜍 6℃、蓼花臂尾轮虫 7~8℃等。

温度对动物的繁殖活动有制约作用,如草履虫在 14~16℃时,每 20 小时分裂一次,而在 18~20℃时,相同时间可分裂两次。动物生殖要求的适温范围较窄,如大型蚤和蚤状蚤一般在 12℃以上才开始进行单性生殖;鱼类必须在一定温度以上才开始产卵,如鲤鱼 18℃;轮虫、枝角类在温度过低、过高时为有性生殖,温度适宜时为孤雌生殖。

## (三) 温度与生物的地理分布

温度影响动物的生长发育,决定着动物的地理分布,特别是变温动物对环境温度的依赖性比恒温动物显著。地球上每种动物的生长、分布,都需要一定的热量,同时还要受高温和低温的限制。

温度作为动物分布的限制因子,一般是指极限温度。例如,菜粉蝶分布的最南方温度界限是  $26^{\circ}\text{C}$ , 原因在于高温会使其卵和幼虫致死;喜热的珊瑚和管水母只分布在热带水域,它们无法在水温低于  $20^{\circ}\text{C}$  的海域生存;大西洋和太平洋  $12^{\circ}\text{C}$  等温线阻止了冷水鱼的南下和温水鱼的北上。就变温动物的分布而言,温度往往起着直接的限制作用。各种昆虫的发育需要一定的有效积温才能完成生活史。苹果蚜分布的北界是一月等温线为  $3\sim 4^{\circ}\text{C}$  的地区;东亚飞蝗分布的北界是年等温线为  $13.6^{\circ}\text{C}$  的地区;玉米螟则只能分布在气温  $15^{\circ}\text{C}$  以上的日子不少于 70 天的地区。温度对恒温动物分布的直接限制较小,但也常通过影响其他生态因子(如食物)而间接影响其分布。例如,许多蝙蝠分布的北界与一年中霜冻期日数等值线吻合,这种关联可能与蝙蝠以捕虫为食有关,由于温度关系到昆虫的生存和分布,从而间接影响到蝙蝠的分布;很多鸟类秋冬季节不能在高纬地区生活,不是因为温度太低而是因为食物不足和白昼取食时间短。

温度不仅影响动物的水平分布,还能影响它们的垂直分布。在阿尔卑斯山脉维苏比山谷,步行虫科昆虫表现出不同的垂直分布。

一般来说,温度暖和的地区生物种类多;反之,寒冷地区生物的种类较少。例如,我国的两栖类动物:广西有 57 种,福建有 41 种,浙江有 40 种,江苏有 21 种,山东、河北各有 9 种,内蒙古只有 8 种。

#### (四)有效积温法则

温度与生物发育的关系比较集中地反映在温度对植物和变温动物(特别是昆虫)发育速率的影响上,即反映在有效积温法则上。有效积温法则最初是在研究植物发育时总结出来的,其主要含义是植物在生长发育过程中必须从环境中摄取一定的热量才能完成某一阶段的发育,而且植物各个发育阶段所需要的总热量是一个常数,因此可用公式  $N \cdot T = K$  表示,其中  $N$  为发育历期,即生长发育所需的时间, $T$  为发育期间的平均温度, $K$  是总积温(常数)。昆虫和其他变温动物也符合这一公式,但无论是植物还是变温动物,其发育都是从某一温度开始的,而不是从零摄氏度开始的,生物开始发育的温度就称为发育起点温度(或最低有效温度),由于只有在发育起点温度以上的温度对发育才是有效的( $C$  表示发育起点温度),所以上述公式必须改写为:

$$N(T-C)=K \quad (1)$$

$$T-C=\frac{K}{N}, \text{ 即 } T=C+\frac{K}{N} \quad (2)$$

$$T=C+K \frac{1}{N}=C+KV \quad (3)$$

式中, $V$  是发育速率,它是发育时间( $N$ )的倒数,所以  $V=1/N$ 。公式(2)相当于数学上的双曲线公式  $y=a+b/x$ ,表示温度与发育历期呈双曲线关系;而公式(3)相当于数学上的直线关系  $y=a+bx$ ,表示温度与发育速度呈直线关系。

求  $C$  值和  $K$  值的简便方法是在两种实验温度( $T_1$  和  $T_2$ )下,分别观察和记录两个相应的发育时间  $N_1$  值和  $N_2$  值。

因为

$$K_1=N_1(T_1-C)$$

$$K_2=N_2(T_2-C)$$

$$K_1=K_2$$

所以

$$\begin{aligned}N_1(T_1 - C) &= N_2(T_2 - C) \\N_1T_1 - N_1C &= N_2T_2 - N_2C \\N_2C - N_1C &= N_2T_2 - N_1T_1 \\(N_2 - N_1)C &= N_2T_2 - N_1T_1 \\C &= \frac{N_2T_2 - N_1T_1}{N_2 - N_1}\end{aligned}$$

求出  $C$  后,代入公式(2)就可求出有效积温  $K$ 。

## 二、节律性变温的生态作用

### (一) 温周期现象

在自然条件下气温是呈周期性变化的,许多生物适应温度的某种节律性变化,并通过遗传成为其生物学特性。这一现象称为温周期现象。

#### 1. 温度的季节变化

气温季节变化是指气温以一年为周期的有规律的变化。地球上绝大部分地区,一年中有一个最高值和一个最低值。由于气温的高低取决于地面储存热量的多少,地面储存热量最多的时期,就是气温最高值出现的时间;储存热量最少的时期,也就是气温最低值出现的时间。因此,一年中气温最高值和最低值出现的时间,不是太阳辐射最强和最弱所在的一天(北半球的夏至日和冬至日),也不是太阳辐射最强和最弱一天所在的月份(北半球的6月和12月),而是比这一天要落后1~2个月。即最低值出现在1月或2月,最高值出现在7月或8月。海洋上落后较多,陆地上落后较少。北半球,中高纬度内陆的气温,以7月为最高,1月为最低;海洋的气温,以8月为最高,2月为最低。

一年中,月平均气温的最高值与最低值之差,被称为气温年较差。它的大小与纬度、海陆分布等因素有关。赤道附近,昼夜长短几乎相等,最热月和最冷月热量收支相差不大,气温年较差很小;越到高纬地区,冬夏区分越明显,气温年较差越大。对于同一纬度的海陆相比,陆上气温年较差比海洋大得多。一般情况下,温带海洋上的年较差为 $11^{\circ}\text{C}$ ,大陆上的年较差可达 $20\sim 60^{\circ}\text{C}$ 。气温年较差也因天气状况的不同而不同。云雨多的地区,气温年较差小;云雨少的地区,气温年较差大。

#### 2. 温度的日变化

气温日变化指一天内气温高低的周期性变化。这种变化离地面越近越明显。大陆上最高气温一般出现在14时左右,最低气温一般在日出前。正午以后,太阳辐射虽开始减弱,但地面获得的太阳辐射热量仍比地面辐射失去的热量多,地面储存的热量继续增多,直到太阳辐射热量开始少于地面辐射失去的热量时,即由盈余转为亏损的时刻,地面温度达最高值。地面将热量传给空气还需一定时间,故最高气温出现在14时左右。夜间地面热量亏损,气温降低,直到日出前地面储存热量减至最少,故最低气温出现在清晨5时左右。

#### 3. 变温对植物的影响

节律性变温就是指温度的昼夜变化和季节变化两个方面。昼夜变温对植物的影响(表2-2)主要体现在能提高种子萌发率,对植物生长有明显的促进作用,昼夜温差大则对植物的开花结果有利,并能提

高产品品质。此外,昼夜变温能影响植物的分布,如在大陆性气候地区,树线分布高,是因为昼夜变温大。植物适应于温度昼夜变化称为温周期,温周期对植物的有利作用是白天高温有利于光合作用,夜间适当低温使呼吸作用减弱,光合产物消耗减少,净积累增多。温度的季节变化和水分变化的综合作用,使植物产生了物候这一适应方式。例如,大多数植物在春季温度开始升高时发芽、生长,继之出现花蕾;夏秋季高温下开花、结果和果实成熟;秋末低温条件下落叶,随即进入休眠状态(表 2-3)。这种发芽、生长、现蕾、开花、结果、果实成熟、落叶休眠等生长、发育阶段,称为物候期。物候期是各年综合气候条件(特别是温度)如实、准确的反映,用它来预报农时、害虫出现时期等,比平均温度、积温和节令要准确。

表 2-2 昼夜变温对植物生长的影响

| 温度条件              | 番茄茎的日生长量(mm) |
|-------------------|--------------|
| 1.昼夜 26.5℃        | 23.1         |
| 2.昼夜 19℃          | 19.5         |
| 3.白天 20℃,夜间 26.5℃ | 19.4         |
| 4.白天 26.5℃,夜间 20℃ | 26.1~35.0    |

表 2-3 变温对水稻成熟过程的影响

|      | 定温区(g) | 常温区(g) | 变温区(g) |
|------|--------|--------|--------|
| 一个穗重 | 11.93  | 13.56  | 13.65  |

4.变温对动物的影响

任何动物都生活在一定温度的外界环境中,并受温度变化的影响。除空间、地理因素外,温度对动物的影响在时间上会随季节和昼夜而变化。可以说,外界的环境温度对动物生命活动起着尤为重要的作用,直接或间接地影响着动物的生长、发育、繁殖、生活状态、行为。同时,动物对环境温度及其变化又有着很好的适应性。常年放牧饲养草食家畜的牧民必须掌握好天气变化,利用好气象条件,合理饲养家畜,从而达到提高养殖效益的目的。动物体内的各种生理过程必须在一定的温度范围内才能正常进行,温度也影响着动物的新陈代谢。一般来说,动物体内的生理生化反应随温度的升高而加快,从而加快生长发育的速度,同时也会随温度的下降而变缓,从而减慢生长发育的速度。当环境温度高于或低于动物所能忍受的温度范围时,其生长发育就会受阻,甚至死亡。虽然动物只能生活在一定的温度范围内,但不同动物和同一动物的不同发育阶段所能忍受的温度范围却有很大不同。温度的意义还在于其变化能引起环境中其他因素的改变,如引起湿度、降水、氧在水中的溶解度以及食物和其他动物活动和行为的改变等,从而间接影响动物的生命活动。

(二)物候节律

物候主要指动植物的生长、发育、活动规律与非生物的变化对节候的反应。例如,植物的冬芽萌动、抽叶、开花、结果、落叶;动物的蛰眠、复苏、始鸣、交配、繁育、换毛、迁徙等,均与节候有密切关系。非

生物现象,如始霜、始雪、结冻、解冻等,也称物候现象。

植物在一年的生长中,随着气候的季节性变化而发生萌芽、抽枝、展叶、开花、结果及落叶、休眠等规律性变化的现象,称之为物候或物候现象;与之相适应的树木器官的动态时期称为生物气候学时期,简称为物候期。

物候学是研究自然界植物和动物的季节性现象同环境的周期性变化之间的相互关系的科学,它主要通过观测和记录一年中植物的生长、荣枯,动物的迁徙、繁殖和环境的变化等,比较其时空分布的差异,探索动植物发育和活动过程的周期性规律及其对周围环境条件的依赖关系,进而了解气候的变化规律及其对动植物的影响。它是介于生物学和气象学之间的边缘学科。

### (三)休眠和滞育

休眠是指由不利环境引起的生命活动暂时停滞的现象。当不良环境条件消除时,便可恢复生长发育。如东亚飞蝗以卵越冬,甜菜夜蛾以蛹越冬等都属于休眠性越冬。休眠性越冬的昆虫耐寒力一般较差。滞育是动物受环境条件的诱导所产生的静止状态的一种类型。它常发生于一定的发育阶段,比较稳定,不仅表现为形态发生的停顿和生理活动的降低,而且一经开始必须度过一定阶段或经某种生理变化后才能结束。动物通过滞育及与之相似但较不稳定的休眠现象来调节生长发育和繁殖的时间,以适应所在地区的季节性变化。

昆虫和其他节肢动物在个体发育过程中或繁殖期所出现的静止状态可明确区分为休眠和滞育两大类。

休眠直接由低温、干旱等不利环境条件引起,环境恢复正常即可开始活动。

滞育则发生于个体发育的一定阶段,是在不利环境到来之前,由某些季节信号,尤其如光周期变化的诱导而引起。例如,柞蚕四五龄幼虫,特别是末龄幼虫,只要接收到每天 13 小时短光照的刺激,蛹期便进入滞育状态。滞育蛹即使有适宜温度仍不发育。滞育持续时间的长短,因昆虫种类而不同,有的数月,有的可达数年之久。如小麦红吸浆虫幼虫在土内滞育可超 10 年。在自然情况下,滞育的结束要求一定的时间和条件;这些过程受激素的调节和控制。滞育可以发生于昆虫的不同发育阶段:有的发生于胚胎发育的早期,如家蚕;有的发生于胚胎发育已完成的阶段,如舞毒蛾;有的可发生于幼虫的某一龄期,如松毛虫;有的发生于幼虫晚期阶段,如玉米螟;有的发生于蛹期,如柞蚕;有的发生于成虫期,如七星瓢虫。成虫期的滞育主要表现为生殖腺停止发育。

## 三、极端温度的生态作用

### (一)极端低温对生物的影响与生物的适应

温度低于一定的数值,生物便会因低温而受害,这个数值称为临界温度。在临界温度以下,温度越低,生物受害越重。

#### 1.低温对植物的危害

(1)寒害:又称冷害,指气温降至  $0^{\circ}\text{C}$  以上植物所受到的伤害。热带、亚热带植物,在气温  $0\sim 10^{\circ}\text{C}$  就能受到寒害。还有些热带树种,在  $0\sim 5^{\circ}\text{C}$  时,即在形态、生理和生长方面产生伤害。W.Larcher 把这类植物称为冷敏感植物。寒害可分两类:直接伤害和间接伤害。直接伤害指气温骤变造成的伤害。如

冷空气入侵,温度急剧降到 $0\sim 10^{\circ}\text{C}$ ,在 $1\sim 2$ 天内,就能在植物体上看到伤痕。间接伤害,是缓慢降温造成的危害, $1\sim 2$ 天内,从植物形态结构上还看不出变化, $1$ 周左右才出现组织萎蔫甚至脱水等。寒害的原因是低温造成植物代谢紊乱,膜透性改变和根系吸收力降低等。

(2)冻害:温度降低到冰点以下,植物组织发生冰冻而引起的伤害。冰点以下,植物细胞间隙形成冰晶,冰的化学势能、蒸气压比过冷溶液低,水从细胞内部转移到冰晶处,造成冰晶增大细胞失水。原生质失水收缩,盐类等可溶性物质浓度相应增高,引起蛋白质沉淀。当水与原生质一旦分离,酶系统失活、化学键断裂、膜透性改变和蛋白质变性,从而导致植物明显受害。

(3)冻举:又称冻拔,是间接的低温危害,由土壤反复、快速冻结和融化引起。强烈的辐射冷却使土壤从表层向下冻结,升到冰冻层的水继续冻结并形成很厚的垂直排列的冰晶层。针状冰能把冻结的表层土、小型植物和栽植苗抬高 $10\text{ cm}$ ,冰融后下落。从下部未冻结土层拉出的植物根不能复原到原来位置。经过几次冰冻、融化的交替,树苗会被全部拔出土壤。遭受冻拔危害的植株易受风、干旱和病原危害。冻拔是寒冷地区更新造林的危害之一,多发生在土壤黏重、含水量高、土表温度容易剧变的林地。

(4)冻裂:多发生在日夜温差大的西南坡上的林木。下午太阳直射树干,入夜气温迅速下降,由于干材导热慢,树干西南侧内热胀、外冷缩的弦向拉力,树干纵向开裂。受害程度因树种而异,通常向阳面的林缘木、孤立木或疏林易受害。冻裂不会造成树木死亡,但能降低木材质量,并可能成为病菌入侵的途径。东北的山杨、核桃楸、栎、椴等受害重,南方的橡树也常受害。

(5)生理干旱:这是另一种与低温有关的间接伤害。冬季或早春土壤冻结时,树木根系不活动。这时如果气温过暖,地上部分进行蒸腾,不断失水,而根系又不能吸水加以补充,时间长了就会引起枝叶干枯和死亡,称为生理干旱。

### 2. 低温对动物的伤害

(1)冷害:是指喜温动物在零摄氏度以上的温度条件下受害或死亡。冷害对喜温动物的伤害作用,主要是由于在低温条件下ATP减少,酶活性降低。酶系统紊乱导致动物各种生理功能的降低,彼此之间的协调关系受到破坏。

(2)霜害:是伴随霜而来的低温使动物受害,并非霜本身对动物造成伤害,因此,霜害可归类在冻害范畴。

(3)冻害:是指冰点以下的低温使生物体内(细胞内和细胞间隙)形成冰晶而造成的损害。冰晶的形成会使原生质膜发生破裂和使蛋白质失活与变性。极端低温对动物的致死作用主要是体液的冰冻和结晶,使原生质受到机械损伤、蛋白质脱水变性。

### 3. 生物对低温环境的适应

长期生活在低温环境中的生物通过自然选择,在形态、生理和行为方面表现出很多明显的适应。在形态方面,北极和高山植物的芽和叶片常受到油脂类物质的保护,芽具鳞片,植物体表面生有蜡粉和密毛,植物矮小并常成匍匐状、垫状或莲座状等,这种形态有利于保持较高的温度,减轻严寒的影响。生活在高纬度地区的恒温动物,其身体往往比生活在低纬度地区的同类个体大,因为个体大的动物,其单位体重散热量相对较少,这就是贝格曼(Bergman)规律。另外,恒温动物身体的突出部分如四肢、尾巴和外耳等在低温环境中有变小、变短的趋势,这也是减少散热的一种形态适应,这一适应常被称为阿伦(Allen)规律。例如,北极狐的外耳明显短于温带的赤狐,赤狐的外耳又明显短于热带的大耳狐。恒温动物的另一形态适应是在寒冷地区和寒冷季节增加毛和羽毛的数量和提升毛和羽毛的质量或增加

皮下脂肪的厚度,从而提高身体的隔热性能。

在生理方面,生活在低温环境中的植物常通过减少细胞中的水分和增加细胞中的糖类、脂肪和色素等物质来降低植物的冰点,增加抗寒能力。例如,鹿蹄草就是通过在叶细胞中大量贮存五碳糖、黏液等物质来降低冰点的,这可使其结冰温度下降到 $-31^{\circ}\text{C}$ 。此外,极地和高山植物在可见光谱中的吸收带较宽,并能吸收更多的红外线,虎耳草和十大功劳等植物的叶片在冬季时由于叶绿素破坏和其他色素增加而变为红色,有利于吸收更多的热量。动物则靠增加体内产热量来增强御寒能力和保持恒定的体温,但寒带动物由于有隔热性能良好的毛皮,往往能在少增加(红狐和雷鸟)甚至不增加(北极狐)代谢产热的情况下就能保持恒定的体温。动物对低温环境的适应主要表现在热中性区宽、下临界点温度低和在下临界点温度以下的曲线斜率小。例如,北极狐和生活在阿拉斯加的红狐,其热中性区都很宽,下临界点温度可低到 $-10^{\circ}\text{C}$ 以下,即使在下临界点温度以下代谢率的增加也很缓慢(红狐)甚至不增加(北极狐)。在低温环境中减少身体散热的另一种适应是大大降低身体终端部位的温度,而身体中央的温暖血液则很少流到这些部位。例如,生活在冰天雪地的北极灰狼,其脚爪可保持在接近冰点的温度。一只站立在冰面上的鸥,其脚掌部的温度为 $0\sim 5^{\circ}\text{C}$ ,温度自下而上逐渐升高,到达生有羽毛的胫部为 $32^{\circ}\text{C}$ ,而鸥的体温为 $38\sim 41^{\circ}\text{C}$ 。

行为上的适应主要表现在休眠和迁移两个方面,前者有利于增强抗寒能力,后者可躲过低温环境。

## (二)极端高温对生物的影响与生物的适应

### 1. 高温对生物的影响

高温致害机制主要是引起酶活性降低和紊乱、水分代谢失衡、有毒物质积累、细胞膜透性增加和功能降低、植物光合能力下降及呼吸作用加强。高温引起水稻、小麦等作物结实率降低,加快成熟从而降低品质,严重者引起绝收。

温度超过动物适宜温区的上限后就会对动物产生有害影响,温度越高,对动物的伤害越大。高温对动物的有害影响主要表现在破坏动物体内的酶活性,使蛋白质凝固变性、氧供应不足、排泄器官功能失调以及神经系统麻痹等。动物对高温的忍受能力依种类而异。大多数海产无脊椎动物能忍受的最高温是 $30^{\circ}\text{C}$ ,少数种类达 $48^{\circ}\text{C}$ ;淡水动物能忍受到 $41\sim 44^{\circ}\text{C}$ ;多数昆虫体温高于 $45\sim 50^{\circ}\text{C}$ 就死亡;爬行动物的耐受上限为 $45^{\circ}\text{C}$ 左右;鸟类为 $46\sim 48^{\circ}\text{C}$ ;哺乳类一般在 $42^{\circ}\text{C}$ 以上就会死亡。虽然生活在温泉中的斑鳕能忍受 $52^{\circ}\text{C}$ 或更高的水温,但目前除海涂火山口群落的动物外,还没有发现一种动物能在 $50^{\circ}\text{C}$ 以上的环境中完成其整个的生活史。

### 2. 生物对高温环境的适应

生物对高温环境的适应也表现在形态、生理和行为三个方面。就植物来说,有些植物生有密绒毛和鳞片,能过滤一部分阳光;有些植物体呈白色、银白色,叶片革质发亮,能反射一大部分阳光,使植物体免受热伤害;有些植物叶片垂直排列,使叶缘向光或在高温条件下叶片折叠,减少光的吸收面积;还有些植物的树干和根茎生有很厚的木栓层,具有绝热和保护作用。植物对高温的生理适应主要是降低细胞含水量,增加糖或盐的浓度,这有利于减缓代谢速率和增加原生质的抗凝聚力。另外是靠旺盛的蒸腾作用避免植物体因过热受害。还有一些植物具有反射红外线的能力,夏季反射的红外线比冬季多,这也是避免使植物体受到高温伤害的一种适应。

动物对高温环境的一个重要适应就是适当放松恒温性,使体温有较大的变幅,这样在高温炎热的时刻身体就能暂时吸收和贮存大量的热并使体温升高,而在环境条件改善时或躲到阴凉处时再把体内的热量释放出去,体温也会随之下降。沙漠中的啮齿动物对高温环境常常采取行为上的适应对策,即夏眠、穴居和白天躲入洞内、夜晚出来活动。有些黄鼠不仅在冬季进行冬眠,还要在炎热、干旱的夏季进行夏眠。昼伏夜出是躲避高温的有效行为适应,因为夜晚湿度大、温度低,可大大减少蒸发散热失水,特别是在地下巢穴中。这就是所谓夜出加穴居的适应对策。

## 第四节 生物与水因子

### 一、水因子的生态作用

#### (一)水是生物生存的重要条件

首先,水是生物体不可缺少的部分。植物体含水量一般达 60%~80%,而动物体含水量比植物更高。例如,水母含水量达 95%、软体动物达 80%~92%、鱼类达 80%~90%、鸟类和兽类达 70%~75%。一般情况下,生物体内的含水量在 70%以上时代谢活跃;含水量降低,则代谢不活跃或进入休眠状态。当自由水比例增加时,生物体的代谢活跃,生长迅速;而当自由水向结合水转化较多时,代谢强度就会下降,抗寒、抗热、抗旱的性能提高。

水是细胞内的良好溶剂,生物体内的大部分无机物及一些有机物,都能溶解于水中。水是物质扩散的介质,也是酶活动的介质。细胞内的各种代谢过程,如营养物质的吸收、代谢废物的排出以及一切生物化学反应等,都必须在水溶液中进行。

#### (二)水对动、植物生长发育的影响

##### 1.水对植物生长发育的影响

就植物而言,水量对植物的生长也有最高、最适、最低三个基点。低于最低点,植物萎蔫、生长停止;高于最高点,根系缺氧、窒息、烂根;只有处于最适范围内才能维持植物的水分平衡,以保证植物有最优的生长条件。种子萌发时需要较多的水分,因水能软化种皮,增强透性,使呼吸加强,同时水能使种子内凝胶状态的原生质转变为溶胶状态,使生理活性增强,促使种子萌发。水分还能影响植物的其他生理活动。试验证明,在植物萎蔫前,蒸腾量减少到正常水平的 65%时,同化产物减少到正常水平的 55%;相反,呼吸却增加到正常水平的 162%,从而导致生长基本停止。

##### 2.水对动物生长发育的影响

水对动物也有较重要的影响。水分不足可以引起动物的滞育或休眠。例如,降水季节在草原上形成一些暂时性的水潭,其中生活着一些水生昆虫,其密度往往很高,但雨季一过,它们就进入滞育期。此外,许多动物的周期性繁殖与降水季节密切相关。例如,澳洲鸚鵡遇到干旱年份就停止繁殖;羚羊幼兽的出生时间,正好是降水和植被茂盛的时期。

### (三) 水对动植物数量和分布的影响

降水在地球上的分布是不均匀的,这主要是地理纬度、海陆位置、海拔不同所致。我国从东南至西北,可以分为3个等雨量区,因而植被类型也可分为3个区,即湿润森林区、干旱草原区、荒漠区。即使是同一山体,迎风坡和背风坡也因降水的差异,各自生长着不同的植物,并伴随分布着不同的动物。水分与动植物的种类和数量存在着密切的关系。在降水量最大的赤道热带雨林中,每公顷植物达52种;而在降水量较少的大兴安岭红松林群落中,每公顷仅有10种;在荒漠地区,单位面积物种数量更少。

## 二、生物对水因子的生态适应

### (一) 植物对水因子适应

在生物圈中,水的分布是十分不均匀的,由此形成的不同类型的植物对水因子的要求各不相同,根据植物对水分的需求量和依赖程度,可把植物分为水生植物和陆生植物。

#### 1. 水生植物

生长在水中,长期适应缺氧环境,根、茎、叶形成连贯的通气组织,以保证植物体各部分对氧气的需要。水生植物的水下叶片很薄,且多分裂成带状、线状,以增加吸收阳光、无机盐和二氧化碳的面积。

#### 2. 陆生植物

生长在陆地上的植物统称为陆生植物,可分为湿生、中生和旱生植物。湿生植物多生长在水边,抗旱能力差。中生植物适应范围较广,大多数植物属中生植物。旱生植物生长在干旱环境中,能忍受较长时间的干旱,其对于干旱环境的适应表现在根系发达、叶面积很小、发达的贮水组织以及高渗透压的原生质等。

### (二) 动物对水因子的适应

动物按栖息地划分可以分为水生和陆生两大类。水生动物的媒质是水,而陆生动物的媒质是大气。因此,它们的主要适应特征也有所不同。

#### 1. 水生动物对水因子的适应

水生动物保持体内水分得失平衡主要是依赖水的渗透作用。渗透压调节可以限制体表对盐类和水的通透性,通过逆浓度梯度主动吸收或排出盐类和水分,改变所排出的尿和粪便的浓度与体积。例如,淡水动物体液的浓度对环境是高渗性的,体内的部分盐类既能通过体表组织弥散,又能随粪便、尿液排出体外。当体内盐类有降低的危险时,它们会使排出体外的盐分降低到最低限度,并通过食物和鳃从水中主动吸收盐类。海洋生活的大多数生物体内的盐量和海水是等渗的(如无脊椎动物和盲鳗),有些比海水低渗(如七鳃鳗和真骨鱼类),低渗使动物易于脱水,于是在喝水的同时又将盐类吸入,它们对吸入多余的盐类排出的办法是将其尿液量减少到最低限度,同时鱼的鳃可以逆浓度梯度向外分泌盐类。

#### 2. 陆生动物对水因子的适应

(1) 形态结构上的适应:不论是低等的无脊椎动物还是高等的脊椎动物,它们各自以不同的形态结构来适应环境湿度,保持生物体的水分平衡。例如,昆虫具有的几丁质(壳多糖)体壁,两栖类动物体表

分泌的黏液,爬行动物具有的很厚的角质层,鸟类具有的羽毛和脂腺,哺乳动物具有的皮质腺和毛,这些都能防止体内水分蒸发,以保持体内水分平衡。

(2)行为的适应:沙漠地区夏季昼夜的地表温度相差很大,因此地面和地下的相对蒸发力相差也很大。沙漠动物一般白天躲在洞内,夜里出来活动,更格卢鼠能将洞口封住,这表现了动物的行为适应。另外,一些动物白天躲藏在潮湿的地方或水中,以避免干燥的空气,而在夜间出来活动。

干旱地区的许多鸟兽和兽类在水分缺乏、食物不足的时候迁移到别处去,以避免不良的环境条件。在非洲大草原旱季到来时,大型草食动物往往开始迁徙。干旱还会引起爆发性迁徙,如蝗虫有趋水喜洼特性,常由干旱地带成群迁徙至低洼易涝地区。

(3)生理适应:许多动物在干旱的情况下具有生理上的适应特点。例如,“沙漠之舟”骆驼可以 17 天不喝水,身体脱水达体重的 27%,仍然可以照常行走。它不仅具有储水的胃,驼峰中还储藏有丰富的脂肪,在消耗过程中产生大量的水分,血液中还有特殊的脂类和蛋白质,不易脱水。

## 第五节 生物与土壤因子

### 一、土壤的生态意义

土壤是岩石圈表面的疏松表层,是陆生植物生活的基质和陆生动物生活的基底。土壤不仅为植物提供必需的营养和水分,而且也是土壤动物赖以生存的栖息场所。土壤的形成与生物的活动密不可分,土壤中总是含有多种多样的生物,如细菌、真菌、放线菌、藻类、原生动物、轮虫、线虫、蚯蚓等,少数高等动物(如鼯鼠等)终生都生活在土壤中。

土壤无论是对植物来说还是对土壤动物来说都是重要的生态因子。植物的根系与土壤有着极大的接触面,在植物和土壤之间进行着频繁的物质交换,彼此有着强烈影响。因此,通过控制土壤因素就可影响植物的生长和产量。对动物来说,土壤是比大气环境更为稳定的生活环境,其温度和湿度的变化幅度要小得多,因此,土壤常常成为动物极好的隐蔽所,在土壤中可以躲避高温、干燥、大风和阳光直射。由于在土壤中运动要比大气中和水中困难得多,所以除少数动物(如蚯蚓、鼯鼠、竹鼠和穿山甲)能在土壤中掘穴居住外,大多数土壤动物都只能利用枯枝落叶层中的孔隙和土壤颗粒间的空隙作为自己的生存空间。

土壤是所有陆地生态系统的基底或基础,土壤中的生物活动不仅影响着土壤本身,而且也影响着土壤上面的生物群落。生态系统中的很多重要过程都是在土壤中进行的,特别是分解和固氮过程。生物遗体只有通过分解过程才能转化为腐殖质和矿化为可被植物再利用的营养物质,而固氮过程则是土壤氮肥的主要来源。这两个过程都是整个生物圈物质循环不可缺少的过程。

### 二、土壤的类型及分布

土壤是由固体、液体和气体组成的三相系统,其中固相颗粒是组成土壤的物质基础,约占土壤总重

量的 85% 以上。根据土粒直径的大小可把土粒分为粗沙(2.0~0.2 mm)、细沙(0.2~0.02 mm)、粉沙(0.02~0.002 mm)和黏粒(0.002 mm 以下)。这些不同大小固体颗粒的组合百分比就称为土壤质地。根据土壤质地可把土壤区分为沙土、壤土和黏土 3 大类。在沙土类土壤中以粗沙和细沙为主,粉沙和黏粒所占比重不到 10%,因此土壤黏性小、孔隙多,通气透水性强,蓄水和保肥能力差。在黏土类土壤中以粉沙和黏粒为主,约占 60% 以上,甚至可超过 85%;黏土类土壤质地黏重、结构紧密,保水保肥能力强,但孔隙小,通气透水性能差,湿时黏、干时硬。壤土类土壤的质地比较均匀,其中沙粒、粉沙和黏粒所占比重大体相等,土壤既不太松也不太黏,通气透水性能良好且有一定的保水保肥能力,是比较理想的农作土壤。

土壤结构则是指固相颗粒的排列方式、孔隙的数量和大小以及团聚体的大小和数量等。土壤结构可分为微团粒结构(直径小于 0.25 mm)、团粒结构(直径为 0.25~10 mm)和比团粒结构更大的各种结构。团粒结构是土壤中的腐殖质把矿质土粒黏结成直径为 0.25~10 mm 的小团块,具有泡水不散的水稳性特点。具有团粒结构的土壤是结构良好的土壤,因为它能协调土壤中水分、空气和营养物之间的关系,改善土壤的理化性质。团粒结构是土壤肥力的基础,无结构或结构不良的土壤,土体坚实、通气透水性差,植物根系发育不良,土壤微生物和土壤动物的活动亦受到限制。

### 三、土壤的物理性质对生物的影响

土壤的质地和结构与土壤中的水分、空气和温度状况有密切关系,并直接或间接地影响着植物和土壤动物的生活。

#### (一) 土壤中的水分

土壤中的水分可直接被植物的根系吸收。土壤水分的适量增加有利于各种营养物质的溶解和移动,有利于磷酸盐的水解和有机磷的矿化,这些都能改善植物的营养状况。此外,土壤水分还能调节土壤中的温度,但水分太多或太少都对植物和土壤动物不利。土壤干旱不仅影响植物的生长,也威胁着土壤动物的生存。土壤中的节肢动物一般都适应于生活在水分饱和的土壤孔隙内。例如,金针虫在土壤空气湿度下降到 92% 时就不能存活,所以它们常常进行周期性的垂直迁移,以寻找适宜的湿度环境。土壤水分过多会使土壤中的空气流通不畅并使营养物随水流失,降低土壤的肥力。土壤孔隙内充满了水对土壤动物更为不利,常使动物因缺氧而死亡。降水太多和土壤淹水会引起土壤动物大量死亡。此外,土壤中的水分对土壤昆虫的发育和生殖力有着直接影响。例如,东亚飞蝗在土壤含水量为 8%~22% 时产卵量最大,土壤含水量为 3%~16% 时最适合卵孵化,含水量超过 30% 时大部分蝗卵就不能正常发育。

#### (二) 土壤中的空气

土壤中空气的成分与大气有所不同。例如,土壤空气的含氧量一般只有 10%~12%,比大气的含氧量低,但土壤空气中二氧化碳的含量却比大气高得多,一般含量为 0.1% 左右。土壤空气中各种成分的含量不如大气稳定,常依季节、昼夜和深度而变化。在积水和透气不良的情况下,土壤空气的含氧量可降低到 10% 以下,从而抑制植物根系的呼吸和影响植物正常的生理功能,动物则向土壤表层迁移以便选择适宜的呼吸条件。当土壤表层变得干旱时,土壤动物因此时土壤表层不利于其皮肤呼吸而重新