

前 言

生物多样性作为人类赖以生存和发展的基础，正面临着前所未有的挑战。由于人类对自然资源无序的开采与利用，诸多物种被推至濒危的边缘，生物多样性受到严重威胁。因此，基于对生物多样性的相关理论基础、详尽编目、科学分类及相互关系的深刻理解，开展精准的生物多样性调查和评估工作成为实现生物多样性保护和可持续发展不可或缺的先决条件。

民勤县地处甘肃省河西走廊东北部，石羊河流域下游，南临武威市凉州区，西南与金昌市连接，东、西、北三面均与内蒙古自治区接壤，被巴丹吉林和腾格里两大沙漠包围，属温带大陆性干旱气候区，生态环境脆弱。如果没有民勤绿洲的存在，两大沙漠将合二为一，从而加快南下沙化进程。因此，民勤的生态守护不仅关乎一地之安危，更关系着国家生态安全全局，对河西走廊生态治理与保护、促进丝绸之路经济带绿色发展具有重要意义。

青土湖曾是民勤境内最大的湖泊，作为石羊河的尾闾，横亘于腾格里和巴丹吉林两大沙漠之间，阻隔着两大沙漠的合拢，保卫着民勤绿洲。近年来，民勤县通过工程压沙造林、滩地造林、封沙育林、退耕还林、下泄生态用水等综合治理措施，加大了青土湖区域生态恢复和治理力度，使青土湖区域沙化得到有效治理，生态环境质量明显改善。青土湖为许多野生动植物提供了赖以生存的栖息地，对维护生态平衡、保护生物多样性具有不可估量的价值。

在此基础上，本书依托区域生物多样性与保护管理的相关理论基础，开展了青土湖区域生物多样性调查评估工作。通过“本底调查，摸清家底”，从生态环境变化的遥感识别、陆生植物、水域浮游生物、湖区土壤和底栖环境条件的分析等方面，系统呈现了青土湖区域生态环境变化和生物多样性的最新进展。同时，通过生物多样性及其保护意识与群众认知的社会学调查和访谈分析

这一互动过程，不仅获得了被调查者对青土湖生物多样性的主观感知，更启发管理人员捕捉认知与现实的差距。具体内容如下：

一是遥感监测方面。随着青土湖生态输水工程的推进实施，整个研究区水域面积增加，植被面积明显扩大，生长状况明显好转，沙化和盐渍化程度均有所减轻，生态环境状况不断好转，尤以青土湖及其周边区域的变化最为明显。

二是水生生物方面。共鉴定出浮游植物 113 种（变种），隶属于 7 门 64 属。浮游植物在数量上的优势种有 9 种，其中硅藻门 5 种、绿藻门 2 种、蓝藻门 2 种。常年优势种为膨胀桥弯藻、放射舟形藻、尖针杆藻、肘状针杆藻、转板藻和泥生颤藻。随着季节的变化，各月的优势种有所区别；浮游动物 5 类 48 种，其中原生动物 16 种、轮虫 24 种、枝角类 5 种、桡足类 2 种、节肢动物 1 种。浮游动物数量优势种有 10 种，随着季节变化，不同月份优势种也有所不同；底栖动物 13 种，隶属于 2 门 13 科 13 属，其中节肢动物 10 种、软体动物 3 种；采集到鱼类样本 1126 尾，结合走访调查，青土湖鱼类共有 11 种，隶属于 3 目 5 科 11 属，以鲤形目、鲤科鱼类为主，鲫、鲤、麦穗鱼为优势种，棒花鱼、大鳞副泥鳅、褐吻鰕虎鱼为常见种。鲫、麦穗鱼、棒花鱼、褐吻鰕虎鱼和小黄魮鱼 5 种鱼类能够在青土湖水域完成生活史过程。

三是陆生植物方面。共有维管植物 11 科 25 属 30 种，植物群落简单，形成了草原、荒漠、灌丛和草甸 4 个植被型组，温带荒漠草原、温带荒漠、温带灌丛和盐化草甸 4 个植被类型，丛生禾草荒漠草原，小半灌木荒漠草原，小乔木荒漠，半灌木、小半灌木荒漠，盐生小半灌木荒漠，盐地沙生灌丛，禾草盐化草甸 7 个植被亚型以及 11 个群系，其主要植物群系为芦苇群系和白刺群系；根据建群物种的差异，本调查区可以分为草甸区、盐化草甸区、荒漠区和梭梭人工林 4 个植被区域，其中，在草甸区，芦苇是绝对优势物种，在荒漠区和盐化草甸区，优势物种则是白刺；草甸区的土壤有机碳和含水量均显著高于荒漠区，土壤含水量对群落水平和物种水平都有非常显著的影响，对本区域的植物物种分布格局也产生了重要作用。

四是公众认知方面。通过对人员和机构访谈得知，近年来，特别是 2017 年实施武威市祁连山山水林田湖生态保护修复工程青土湖修复治理项目以来，青土湖区域的植被恢复明显，动物特别是鸟类的数量明显增加，鱼类等

水生生物从无到有，流沙基本得到了有效控制，生态建设与生物多样性保护成效显著。基层工作人员开展保护生物多样性工作的态度端正，种草植树积极性高，但是对生物多样性保护缺乏相关理论知识。农户十分支持湖区的生物多样性保护工作，积极性高、配合程度好，对保护成效表示满意，但对动物的熟见度和保护感知能力欠佳。这从侧面反映出开展生物多样性保护专题工作的必要性。

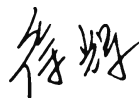
总体而言，青土湖区域的生物多样性保护工作取得了一定成效，为巩固保护成效，本书提出“一稳、二构、三权衡”的对策建议。“一稳”即稳定生态恢复。一是继续实行并强化生态输水，以维持来之不易的水域湿地生态系统；二是继续实行防风固沙、人工造林、自然保育等一系列生态恢复措施，以巩固和扩大已有成效；三是加快做好水资源论证，合理配置必需的生态补水，实现全流域水资源的合理分配和高效利用。“二构”即构建全方位综合监测系统和现代化决策支撑体系。构建全方位综合监测系统方面，一是借助卫星遥感技术（空）、无人机技术（天）和地面调查（地），构建青土湖生态环境“空-天-地”一体化综合监测系统，以实现区域生态环境的全方位综合监测；二是重点加强长期地面监测，选取生物多样性脆弱、胁迫等压力敏感重点区域，强化长期综合性定位检测建设，监测内容可包括气象因子、水环境因子、水生生物多样性动态，以及域内与周边植物、动物、微生物等多样性变化；三是加强湿地周边的经济社会活动及发展情况变化的持续监测等。构建现代化决策支撑体系方面，一是加强科学研究，夯实决策支撑，通过对区域生态环境的长期动态监测，摸清区域生态环境及生物多样性变化的规律、趋势、驱动因素及其作用机理和维度响应，为生态恢复活动提供基础支撑；二是加强科学指导，提升综合实效，如水生生物增殖放流对生态、生产、生活具有很好的共促作用，但现有水环境条件并不适宜增殖放流草鱼、鲢、鳙，而宜选取一些耐低氧的小型鱼类，如鲫、叶儿羌高原鳅和适量的鲇鱼；三是建立智能化决策支撑系统、引入科学化决策机制，提供专项资金和智力支持，建设“青土湖智能化决策支撑系统”，提升管理部门决策和管理人员履职的科学化能力、水平和实效，引入生态系统综合管理等先进理念和方法，开展适应性管理，及时、有针对性地制定

或调试相关保护措施和行为。“三权衡”即权衡输水量、多主体和多举措。在输水量方面，要科学测算多用途用水总量，进行动态科学分配，并做好输水量需求的权衡；在多主体方面，要优化激励机制，强化基层专业人员结构合理，并鼓励社会各方力量参与生物多样性保护；在多举措方面，强化宣传教育和培训，集思广益制定科学可行的保护举措，并建立定期评估机制，巩固保护成效的持续性。

本书的边际贡献在于将自然科学与社会科学相结合，将自然本底调查与社会调查相结合，更加有利于科研和管理人员掌握青土湖区域生物多样性现状及变化趋势，深度了解工作人员、当地老百姓对青土湖生物多样性的主观感知，从而为提升该区域生物多样性保护水平和管理决策能力提供有力支撑。

本书在调研过程中得到高一公、高崇、黄思琪、王亿文、张宗艳、郭梓聪、李丹丹、姚鑫、段应晓、曹衍衍、王宇、曹鹏举、张田田、魏兴华等人的支持，在问卷录入、整理和书稿校核过程中得到范志雄、刘潍嘉、牛霞霞、刘心怡、武彦青、寇靖、郑君仪等人的支持，在此一并感谢！

由于知识和条件所限，本书难免存在诸多不足之处，敬请读者批评指正。



2025 年 1 月

目 录

前言

第 1 章 生物多样性概述	1
1.1 生物多样性的概念	1
1.2 生物多样性的相关理论	2
1.3 生物多样性的相关研究	6
1.4 生物多样性评估概述	14
本章小结	23
第 2 章 区域生物多样性的特征和作用	25
2.1 区域生物多样性及其特征	25
2.2 区域生物多样性的作用	29
2.3 区域生物多样性保护面临的挑战	32
本章小结	33
第 3 章 区域生物多样性保护管理的重点与挑战	35
3.1 区域生物多样性保护管理的原则与目的	35
3.2 区域生物多样性保护管理的基本原理	40
3.3 区域生物多样性保护管理的重点	42
3.4 区域生物多样性保护管理的挑战与趋势	44
本章小结	48
第 4 章 青土湖区域概况与生态环境变化遥感监测	50
4.1 研究区域概况	50
4.2 研究范围和目标	52

4.3	数据来源	53
4.4	水域湿地变化情况	54
4.5	植被变化情况	55
4.6	沙漠化情况	64
4.7	盐渍化情况	69
	本章小结	73
第5章	青土湖水生生物多样性调查	74
5.1	调查内容	74
5.2	水环境及水生生物调查方法	75
5.3	水环境现状	78
5.4	浮游植物群落现状	80
5.5	浮游动物群落现状	83
5.6	底栖动物群落现状	88
5.7	鱼类群落现状	90
5.8	研究结论	106
	本章小结	107
第6章	青土湖陆生植物调查	108
6.1	野外调查概述	108
6.2	土壤理化性质测定	110
6.3	数据处理	110
6.4	植物种类调查	112
6.5	植物群系调查	116
6.6	不同区域的土壤理化性质	127
6.7	不同区域的植物群落特征	129
6.8	不同区域主要植物物种的特征属性	132
	本章小结	136

第7章 青土湖生物多样性认知调查	137
7.1 调查方案	137
7.2 样本选择	139
7.3 调查结果分析方法	143
7.4 机构访谈结果	145
7.5 结果汇总与比对-校正	162
7.6 青土湖生物多样性研究结论	170
7.7 青土湖生物多样性保护管理的途径	174
本章小结	177
参考文献	178
附录	190
附录1 青土湖浮游植物名录	190
附录2 青土湖浮游动物名录	197
附录3 青土湖底栖动物名录	199
附录4 青土湖鱼类名录及采集信息	201
附录5 青土湖浮游植物图谱	202
附录6 青土湖浮游动物图谱	222
附录7 青土湖底栖生物图谱	231
附录8 青土湖区域维管植物名录	234
附录9 样方调查点信息表	235
附录10 样方调查表	238
附录11 土壤理化性质调查表	243
附录12 灌木样方照片	245
附录13 草本样方照片	248
附录14 部分植物照片	252
附录15 部分航拍照片	256
附录16 青土湖生物多样性动态调查（机构和农户）	257

| 第 1 章 | 生物多样性概述

1.1 生物多样性的概念

生物多样性是动物、植物、微生物与环境形成的生态复合体以及与此相关的各种生态过程的总和（胡雄蛟等，2024）。早在 1943 年，Fisher 和 Williams 在研究昆虫物种与数量之间的关系时首次引入了“species diversity”（物种多样性）的概念（孙龙等，2013）。1968 年，美国野生生物学家雷蒙德·F·达斯曼（Ramond F. Dasman）首次将“biology”与“diversity”两个词汇融合，提出了“biological diversity”（生物多样性）的概念（朱红苏和邱杰，2016）。

1980 年，托马斯·洛夫乔伊（Thomas Lovejoy）创造性地使用了“biodiversity”这一缩写，使得生物多样性的概念在学术界与实践领域迅速传播开来（丁祖年，2021）。1985 年，罗森（W. G. Rosen）首次正式定义了“biodiversity”的缩写形式。

1988 年，哈佛大学著名生物学家、生物多样性领域的先驱爱德华·威尔逊（Edward O. Wilson）出版了《生物多样性》一书，为生物多样性的研究树立了里程碑（王焕校和常学秀，2003）。1992 年，在巴西里约热内卢召开的联合国环境与发展大会上，《生物多样性公约》诞生。随着该公约在各国的深入实施，生物多样性保护意识也得到了不断提升（周晋峰，2022）。

1.2 生物多样性的相关理论

1.2.1 生物多样性的层次

生物多样性是一个深刻的概念，用以描绘自然界中生命形式的多样性程度，或说是其复杂性与变异性的广度。简而言之，它涵盖了生物及其所构成系统的整体多样性与变异性。

起初，生物多样性的概念主要聚焦于对地球上所有植物、动物、真菌及微生物种类的详尽盘点。然而，随着时间的推移，这一范畴得到了极大的拓展，它不仅仅局限于“有多少种生物”的数量统计，而是深入到“同一物种内所有个体在遗传信息上的细微差异”以及“生物赖以生存的生态系统之多样化面貌”的探讨。因此，“生物多样性”这一术语现今通常涵盖了三个核心层面：遗传多样性、物种多样性以及生态系统多样性。

1.2.2 遗传多样性

遗传多样性构成了生物多样性的关键一环。McNeely 等（1990）在回答“什么是生物多样性”问题时，为遗传多样性下的定义是：“遗传信息的总和，蕴藏在地球上植物、动物和微生物个体的基因中。”但在群体遗传学界，遗传多样性主要指种内群体间和群体内的遗传变异，施立明等（1993）称之为“狭义”的定义，而把 McNeely 等的定义称为广义的定义。物种以上的分类群以及种群以上的生态学系统都包括各自的遗传多样性（胡志昂和王洪新，1996）。

换言之，在广义的范畴内，遗传多样性指的是地球上所有生物所承载的遗传信息的总和，这些信息被精心储存在每个生物个体的基因序列之中。因此，遗传多样性本质上即生物遗传基因的多样性体现。每一个物种乃至每一个生物

个体都蕴藏着庞大的遗传基因库，宛如一座座基因资源的宝库（gene pool）。一个物种的基因库越为丰富，其面对环境变迁时的适应能力便越强。基因的多样性不仅是生命进化历程中的基石，也是物种分化的原动力。

同样地，根据上述学者的定义，狭义上的遗传多样性特指在同一物种范畴内生物体内部遗传因子，即基因及其多样化组合的展现，这是生物多样性于物种层面的一种具体表现。它涵盖了生物种内基因的变化，这些变化不仅存在于显著不同的种群之间，也广泛存在于同一种群内部的遗传变异之中（世界资源研究所，1993）。在生物漫长的进化历程中，遗传物质的改变（或称为突变）是驱动遗传多样性产生的根本性原因。

遗传物质的变异主要呈现为两大类：一类是染色体层面的变化，涉及数目的增减与结构的调整，这类变异被命名为染色体畸变；另一类则是基因内部核苷酸序列的变动。除此之外，基因重组也是引发生物遗传变异的一个重要途径。

遗传多样性是一个多层次的概念，它在分子、细胞以及个体等多个维度上均有体现。基因突变与自然选择共同作用，使得同一物种的不同群体间展现出独特的遗传特征。同时，即便是在同一群体内部，基因多样性也普遍存在，正是这些差异塑造了形形色色的个体。在自然界中，对于大多数采用有性生殖的物种来说，种群内的个体几乎不可能拥有完全一致的基因型。种群正是由这些各具特色、遗传结构各异的个体共同构成的复杂集合。

1.2.3 物种多样性

物种构成了生物分类学的基石，其定义历来是分类学家与系统进化学家深入探讨的焦点。德裔美籍进化生物学与分类学家恩斯特·迈尔（Ernst Walter Mayr）于1953年提出，物种是指那些能够或潜在能够相互交配并维持自然种群的类群，这些类群与其他类群之间存在着生殖上的隔离。而我国学者陈世骧则在1978年给出了另一番见解，他认为物种不仅是繁殖的基本单元，由既连续又间断的种群构成，同时也是进化的单元，在生物系统树上扮演着不可或缺

的角色，并且是分类学中的基本单位。

在分类学的实践中，确定一个物种需综合考量其形态学、地理分布以及遗传学特征。具体而言，一个物种应满足以下条件：首先，它具有相对稳定且一致的形态学特征，这些特征使其能够与其他物种明确区分开来；其次，它以种群的形式生活在特定的空间范围内，占据一定的地理分布区并在该区域内繁衍生息；最后，每个物种都拥有一个独特的遗传基因库，同物种内的不同个体能够交配并繁衍后代，而不同物种的个体之间则存在生殖隔离，无法交配或即使杂交也无法产生具有繁殖能力的后代。

物种多样性作为地球上动物、植物、微生物等生物种类丰富性的体现，是生物多样性在物种层面的直接反映，也是其核心组成部分，因此常被用作衡量生物多样性的一个简化指标。生物多样性涵盖了两个核心维度：一是特定区域内物种数量的多少，这被称为区域物种多样性，它直观反映了该区域的物种丰富程度；二是从生态学角度出发，考察不同物种在个体数量上的分布均匀性，这被称为生态多样性或群落物种多样性（蒋志刚和马克平，1997）。物种多样性是衡量某一地区生物资源丰富程度的重要标尺，它不仅揭示了生物与环境之间错综复杂的关系，还彰显了生物资源的丰富多样。以两个地区为例，地区 A 和地区 B 均仅包含甲、乙两个物种，但两地的物种分布却大相径庭。在地区 A，甲、乙两物种各自拥有 50 个个体，而在地区 B，甲物种占据了 99 个个体，乙物种则仅有 1 个。尽管这两个地区的物种总数相同，但地区 A 的物种分布更为均衡，因此其物种多样性水平显著高于地区 B。

在评估一个国家或地区的生物多样性丰富度时，区域物种多样性是一个至关重要的衡量标准，通常涵盖以下三个维度的测量指标（高东和何霞红，2010）：

（1）物种总数。它代表在特定区域内某一特定类群所拥有的物种数量，是反映区域物种丰富程度的基础数据。

（2）物种密度。该指标通过计算单位面积内某一特定类群的物种数量，来进一步揭示生物多样性的空间分布特征。

(3) 特有种比例。它指的是在某一区域内, 某一特定类群的特有种占该区域物种总数的百分比, 这一比例的高低能够体现该地区生物多样性的独特性和珍稀程度。

1.2.4 生态系统多样性

生态系统 (ecosystem) 就是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, 是生命系统中重要的组织层次, 是自然界的基本单位 (吴甘霖, 2004)。

生态系统多样性是指生物圈内生境、生物群落和生态系统的多样性以及生态系统内生境差异、生态过程变化的多样性 (段晓梅, 2017)。在生态系统中, 各个物种之间既相互依赖又彼此制约, 且生物与其周围的各种环境因子也是相互作用的。因此, 生态系统的多样性离不开物种多样性, 当然也就离不开不同物种所具有的遗传多样性 (张步翀等, 2006)。从结构上看, 生态系统主要由生产者、消费者、分解者构成。生态系统的功能是使地球上的各种化学元素进行循环和维持能量在各组分之间的正常流动。生态系统的多样性主要是指地球上生态系统组成、功能的多样性以及各种生态过程的多样性, 包括生境的多样性、生物群落和生态过程的多样化等多个方面。其中, 生境的多样性是生态系统多样性形成的基础, 生物群落的多样化可以反映生态系统类型的多样性。

生态系统多样性是物种多样性的保证。任何生物都要生活在一定的环境中, 离开了适宜的环境, 生物很难适应。所以只有多种多样的生态系统, 才能保证这些生态系统中多种多样的生物的生存, 从这个意义上来说, 保护生物多样性最重要的一点就是保护生态系统的多样性 (何春光等, 2015)。

生态系统多样性的研究十分重要。一方面, 生态系统类型多样, 其物种组成、营养结构、空间分布格局及动态演替过程均呈现显著异质性; 另一方面, 生态系统多样性的研究又为其他水平的生物多样性研究提供有用的资料, 特别是作为生物的栖息地受到保护生物学工作者的高度重视 (何春光等, 2015)。

1.3 生物多样性的相关研究

在生物多样性研究领域已经取得了一系列显著成果，本书将从生物多样性的形成、生物因子和非生物因子以及人类活动对生物多样性的影响等方面进行简要介绍。

1.3.1 生物多样性的形成

在探讨生物多样性的形成与维持机制这一领域，国内外学者已提出了多种假说，如突变选择、新种效应、生态位多样性假设、与生态位紧密相关的竞争假说、环境变异假说、渐次变化时间假说、干扰假说、面积假说、生产力假说等。此外，还有综合作用假说（蒋有绪，1998）、资源平衡假说（Braakhekke and Hooftman, 1999），以及竞争平衡理论（Huston, 1994）和中度干扰假说（Hacker and Gaines 1997；Hacker and Bertness, 1999）。中度干扰假说是由美国生态学家康奈尔（J. H. Connell）等在1978年提出的一个假说，他认为中等程度的干扰频率能维持较高的物种多样性。如果干扰频率过低，少数竞争力强的物种将在群落中取得完全优势；如果干扰频率过高，只有那些生长速度快、侵占能力特强的物种才能生存下来；只有当干扰频率中等时，物种生存的机会才是最多的，群落多样性才是最高的（全国科学技术名词审定委员会，2007）。在一个生态系统中，植物群落的物种丰富度与限制性资源的数量有关。当多个资源的实际资源供给比率与植被的最佳供给比率达到平衡时，植物物种多样性最大，即资源平衡假说（Braakhekke and Hooftman, 1999）。

然而，尽管这些假说丰富多样，但都尚未构建出一个完整而系统的理论体系。值得注意的是，无论是平衡理论还是非平衡理论，均在某种程度上达成了共识：在中等尺度、中等频率及中等强度的干扰条件下，生物多样性往往能达到最大化（Roberts and Gilliam, 1995）。

1.3.2 生物因子对生物多样性的影响

1. 生产力与物种多样性的关系

生产力与生物多样性之间存在着一种固有的关联性，即草地物种多样性的变化主要受氮肥施用影响，而这种影响是通过改变生产力来实现的（Foster and Grass, 1998）。然而，这种关联性并非绝对，它受到一系列条件的制约，如不能人为地增减物种，同时其还会因生态系统类型及其演替阶段的不同而有所差异，并且呈现出非线性的特征（蒋有绪, 1998）。

生产力对生物多样性的影响可能产生不同的结果。多项研究表明，群落生产力的提升往往会导致物种多样性的下降。例如，在草地施用氮肥后，虽然生产力得到了提升，但这却有效地抑制了下层蕨类和本地种的萌发、存活与更新，进而降低了草地群落的物种多样性（Foster and Grass, 1998）。同样地，高生产力环境可能会导致物种数量的减少（Wohlgemuth, 1998）。类似的规律也在对湿地的研究中得到了印证，Pollock 等（1998）研究发现，在低到中等生产力水平且受中等洪水频率影响的样地中，物种多样性较高；而在低或高洪水频率及低生产力的样地中，物种多样性则较低。这些研究结果与 Huston（1994）提出的物种多样性动态平衡模型相吻合。然而，值得注意的是，在全球尺度上，生物多样性的变化趋势却与生产力正相关，即随着生产力的增加，生物多样性也相应增加（Jeffries, 1997）。

关于生物多样性对生产力的影响，学术界存在着两种截然不同的声音，其中一方以 Hector 等为代表，另一方则以 Huston 等为代表，这两派观点在 *Science* 杂志上展开了激烈的辩论（Huston et al., 2000）。大多数生态学家倾向于认为，植物种类的增多将促进生态系统净第一性生产力的提升（Naeem et al., 1994, 1996; Tilman et al., 1996; Tilman, 1999）。著名生态学家 David Tilman，同时也是 1996 年 Mac Arthur 奖的获得者进一步指出，竞争模型的预测结果与实验数据均表明，植物多样性的提高必然伴随着第一性生产力的提升

(Tilman, 1999)。此外,生态系统的功能组成与功能多样性也被视为影响植物生产力、氮含量以及光线穿透性的关键因素 (Tilman et al., 1997)。

植物多样性与群落组成同样对生态系统的生产力和土壤氮库产生深远影响 (Hooper and Vitousek, 1997)。在欧洲草地的研究中发现,植物多样性的减少会导致地上生物量的降低。而当物种数量保持一定时,功能群较少的群落往往表现出较低的生产力 (Hector et al., 1999)。这些发现为我们深入理解生物多样性与生产力之间的关系提供了新的视角。

2. 生物量与物种多样性的关系

物种丰富度与生物量之间的关系与环境梯度、竞争等有关。在没有人为增加或减少物种及其多度的条件下,生物量低时,物种丰富度与生物量正相关;生物量超过一定水平时,物种丰富度与生物量负相关;当取样区包含不同的小生境类型时,这种关系呈“钟”形曲线 (Guo and Berry, 1998)。

3. 种间关系对生物多样性的影响

在探讨种间作用对生物多样性的影响时,研究者们主要聚焦于种间协作、互惠共生、物种共存、竞争以及草食作用等方面。种间协作通过优化环境条件和促进幼年个体的生长与更新,有效降低了死亡率并促进了物种的定居或萌发 (Wilson and Nisbet, 1997)。此外,物种共存对于维持雨林中的物种多样性具有至关重要的作用 (Okuda et al., 1997)。

Hacker 和 Gaines (1997) 提出了促进种的概念,他们认为互惠和共生关系能够提高那些在高强度的自然干扰、胁迫或捕食者捕食等恶劣条件下原本难以生存的物种的存活率,从而增加群落的物种多样性。随后,他们通过精心设计的实验,在英国的一个盐沼泽群落中验证了竞争、促进作用以及环境因子对生物多样性维持的影响,并解释说,促进种是指那些能够改善环境条件、促进其他物种共存的物种。他们的研究进一步指出,在中上部潮间带,植物多样性的高水平主要得益于三个因素的共同作用:竞争优势种的缺乏、相对温和的自然条件以及促进种的存在 (Hacker and Bertness, 1999)。

此外，种间竞争还深刻影响着物种丰富度与生物量之间的关系（Guo and Berry, 1998）。草食哺乳类动物对植物物种多样性也产生了显著的影响（Gough and Grace, 1999）。Givnish（1999）则认为，在热带地区，高降水量和低降水变率的水分条件为昆虫和真菌这两类重要的植物天敌提供了理想的生存环境，而这些天敌通过直接增加密度降低植物的死亡率，进而促进了树种多样性的增加。

Penfold 和 Lamb（1999）则研究了补偿性死亡在维持物种多样性中的作用，他们发现，在亚热带雨林群落中，两个最优势种的补偿性死亡可以防止其他物种被排斥，然而这一机制尚不足以解释绝大多数物种之间的共存现象。

4. 土壤微生物对生物多样性的影响

众多研究已经揭示，土壤微生物在决定植物多样性方面扮演着至关重要的角色。特别是土壤中的病原体，对维持植物群落中的物种多样性具有显著影响（Mills and Bever, 1998）。以美国东部为例，当草原植物感染了真菌与内生菌共生体后，其物种多样性出现了减少的现象，然而，这些草原的总生产力并未发生明显变化（Clay and Holah, 1999）。

1.3.3 非生物因子对生物多样性的影响

1. 干扰、空间异质性等与生物多样性的关系

干扰和空间异质性被广泛认为是植物群落中调控物种多样性的两大核心要素（Groombridge, 1992；Ricklefs and Schluter, 1993；Huston, 1994；Roberts and Gilliam, 1995；蒋有绪, 1998）。干扰阻止单一或少数物种在竞争中占据主导地位，在维持物种多样性方面发挥着关键作用，这一观点得到了众多理论的支持（Roberts and Gilliam, 1995）。具体而言，小尺度且中等频率的干扰能够促进温带和热带森林的物种多样性增加（Brokaw and Scheiner, 1989；

Moloney and Levin, 1996; Busing and White, 1997)。在热带森林中, 经历灾难性干扰后, 树种多样性会随着时间的推移而逐渐恢复并增加 (Terborgh et al., 1996; Aplet et al., 1998; Givnish, 1999)。

自然或人为干扰 (如伐木) 通过改变生境异质性、打破种间竞争平衡以及创造特殊生境, 进而影响物种多样性 (Denslow, 1995)。以尼加拉瓜 Joan 飓风导致的树倒为例, 这一自然现象实际上降低了竞争优势, 从而有助于维持雨林的物种多样性 (Vandermeer et al., 1996)。在自然干扰中, 树倒、火烧、洪水等因素对生物多样性的影响引起了生态学家的广泛关注。无论是在温带林还是在热带林, 林隙及其动态在生物多样性的形成与维持过程中都扮演着重要角色 (Denslow, 1995; Duivenvoorden, 1996; Vandermeer et al., 1996; Busing and White, 1997; Pollock et al., 1998; Hubbell et al., 1999; 臧润国等, 1999; Gough and Grace, 1999)。

Hubbell 等 (1999) 基于长达 13 年、对超过 1200 个林隙的研究, 提出了一个假说, 即树木死亡所形成的林隙干扰对热带森林物种多样性的维持起着主导作用 (Hubbell et al., 1999)。Smith 等则从分子水平出发, 认为群落交错区对于热带雨林生物多样性的形成具有重大意义 (Smith et al., 1997; Enserink, 1997)。这些不同的研究视角为我们深入理解生物多样性的复杂机制提供了丰富的素材。

洪水对植物物种多样性具有显著影响 (Pollock et al., 1998; Gough and Grace, 1999)。Pollock 等 (1998) 的研究揭示了一个有趣的现象: 在阿拉斯加的某个湿地群落中, 那些受到中等频率洪水影响且洪水空间变化率较高的样地, 展现出较高的物种多样性。相反, 那些经历频繁、罕见或长期洪水但洪水空间变化较小的样地, 其物种多样性则相对较低。这一发现强调, 干扰在极小空间尺度上的变化足以显著改变其对物种多样性的影响。

景观的斑块大小及其空间分布模式对生物多样性的分布格局具有重要影响 (Harrison, 1997)。Brosfokske 等 (1999) 的研究深入探讨了植物种分布与景观结构特征之间的关系, 发现在不同尺度下, 众多植物种的分布与明确的景观斑块、道路等结构特征紧密相关。此外, 他们还指出, 在不同的空间分辨率下,

景观特征与植物多样性指数之间的关系呈现出差异性，特别是在景观尺度上，道路对植物多样性具有显著影响。

在北美寒温带针叶林地区，植物多样性的分布格局同样受到生态学过程及其空间配置的共同作用（Qian et al., 1998）。值得注意的是，森林景观的破碎化现象会导致生物多样性的减少（Aldrich and Hamrick, 1998）。Wahlberg 等（1996）通过应用模型，成功地模拟并预测了景观破碎化对物种濒危状态的影响，为生物多样性保护提供了重要参考。

遗传上相互隔离的种群构成了生物多样性不可或缺的一部分，它们的多样性随着生境的丧失而逐年减少，仅在热带森林中，每年就有大约 1600 万种的种群面临灭绝的风险（Hughes et al., 1997）。美国濒危物种数量的不断攀升，很大程度上归因于重要生境的持续破坏。为应对这一挑战，美国地方和联邦政府推出了“生境保护计划”，旨在通过保护濒危物种来维护生物多样性（Shilling, 1997；Mann and Plummer, 1997）。此外，林冠的高度与树种多样性之间存在着密切的关联（Duivenvoorden, 1996）。

2. 气候因子与生物多样性的关系

Whittaker（1986）指出，生物多样性似乎呈现出从极地和高山气候区域向热带低地气候区域递增的趋势；而在温带地区，则呈现出从海洋性气候的内陆区域向大陆性气候区域递增的趋势。物种多度的长期变化深受其对环境波动敏感性的影响，以及由种间相互作用所引发的环境波动幅度的制约（Ives et al., 1999）。因此，气温、水分等因子及其时空变化对生物多样性的影响极为显著（蒋有绪, 1998）。

在山地雨林中，植物的组成与多样性随着海拔的变化而呈现出明显的差异（Aiba and Kitayama, 1999；安树青等, 1999；王峥峰等, 1999）。特别是在中、高降水量的地区，树种多样性往往随着海拔的升高而降低（Lieberman et al., 1996；Aplet et al., 1998），这主要是由于气温和降水等生态因子随海拔的变化而有所差异。Wohlgemuth（1998）认为，温差的大小对区域物种多样性具有最大的影响。