

目 录

绪论.....	1
一、生态学的内容、任务和方法	1
二、环境及环境因素作用的一般规律	2
三、生物圈.....	5
四、水圈的生物区	7
第一章 光的生态作用	10
一、光照强度与光合作用.....	12
二、光谱成分和藻类的色素适应	14
三、光与水生生物的行动.....	15
四、浮游生物昼夜垂直移动	17
五、光对动物生命过程的作用	20
第二章 温度的生态作用	22
一、水生生物的极限温度.....	24
二、温度和淡水生物的地理分布	28
三、温度对生长、发育的影响	31
四、温度的周期性变化对水生生物生活的意义.....	34
五、浮游生物的周期变态.....	36
第三章 水生生物和溶解盐类的相互关系	38
一、水体按盐度的划分.....	38
二、水生生物的水—盐代谢	39
三、水生生物的耐盐性.....	45
四、盐类成分的意义.....	49
五、离子的拮抗作用和协同作用	51
六、内陆咸水湖	52
第四章 水生生物和溶解气体的相互关系	55
一、氧气.....	55
二、二氧化碳及其他气体.....	66
第五章 其他非生物因素的生态作用	69
一、pH 值（氢离子浓度）	69
二、溶解有机质	71
三、悬浮物	74
四、底质.....	75
五、水的运动	76
六、水位	78

七、水体的容积大小	79
第六章 水生生物的营养	81
一、自养性营养	81
二、水生动物的异养性营养	85
第七章 水生生物种群	107
一、种群结构	107
二、种群中种内关系	112
三、种群的功能特点	113
四、种群的出生率	118
五、死亡率和存活率	120
六、种群的生长	125
七、种群数量和生物量的变动	128
第八章 水生生物群落	135
一、群落的结构	135
二、群落中种间关系	140
三、群落的适应	145
四、淡水生物群落的划分	151
第九章 水生生态系统的能量流和生产力	156
一、水生生态系统的特点	158
二、初级产量	159
三、次级产量	164
四、物质和能量的传递	166
五、水体能量流实例	170
第十章 水体中物质循环	177
一、氮循环	178
二、磷循环	186
三、碳循环	192
第十一章 水生生态系统的变化和发展	202
一、生态系统的演替	202
二、水体的富营养化和湖泊的演替	208
三、湖泊的分类	212
第十二章 水体渔业生产力	217
一、基本原理和概念	217
二、决定水体鱼产力的各项因素	218
三、世界海洋的鱼产力	221
四、水体鱼产力的估算	223
五、提高水体鱼产力的途径	228
六、养鱼池的鱼产力和鱼载力	231
第十三章 水体污染的生物学问题	236
一、水体污染的原因和对水生生物的影响	236
二、人为富营养化和增温化	237

三、水体的生物自净过程.....	241
四、污水的生物处理.....	244
五、水污染的生物学监测.....	246
主要参考资料	258

绪 论

一、生态学的内容、任务和方法

生态学 (ecology) 一词来自希腊文 “oikas” (栖所) 和 “logos” (研究), 意即生物栖息场所的研究。1869 年德国生物学家赫格尔 (E. Haeckel) 首先对生态学下了一个定义: 生态学即研究有机体和它们环境之间相互关系的科学, 这个定义一直广泛流行到现在。虽然有些作者认为有机体与其环境关系的研究几乎贯穿整个生物科学的内容, 这不是生态学所独有的, 于是也提出了一些新的概念, 但是到目前还没有一个更具体、更确切的可以取代赫格尔在前一世纪提出的生态学定义。

最近十几年来, 随着环境污染、人口增长、资源开发等问题的发展和深化, 生态学作为系统地处理这些问题的手段也发展壮大起来了。过去所谓 “有机体” 仅指不包括人类在内的动物和植物; 所谓 “环境” 也仅指动植物的栖息场所, 可是在现代的生态学里, 不但把人包括在 “生物” 之中, 而且十分强调人类活动所引起的影响; “环境” 不单指生物的栖息环境, 而且也着重于人类的生活环境。因此, 现代生态学研究的对象已超出生物科学的范畴, 几乎成为研究人类的自然环境和社会环境的一门综合性学科。

生物科学在其发展的初期, 研究对象主要为细胞与个体。本世纪六十年代以来, 生物学的研究向着微观和宏观两个方向发展。一方面从个体、细胞向细胞器、亚细胞器、分子的方面发展; 另一方面从个体向种群、群落、生态系统、生物圈的方面发展。因而, 生态学按其研究的生命体系的水平可分为个体生态学 (autecology)、种群生态学 (population ecology)、群落生态学 (community ecology)、生态系统生态学 (ecosystem ecology) 等, 后三类又合称为群体生态学 (synecology)。

个体生态学: 主要研究生物的个体发育和系统发育与环境的相互关系。

种群生态学: 主要研究同种个体组成的种群与环境的相互关系。

群落生态学: 主要研究由多种种群形成的群落的结构与功能、形成和发展等方面与环境间的相互关系。

生态系统学: 主要研究由群落与其周围理化环境构成的生态系统的结构与功能、系统的平衡与调控机制等。

个体生态学和群体生态学是生态学中不可分割的两个部分, 因为孤立地研究个体而不与同种其他个体或周围的异种种群和非生物环境结合起来考虑, 就很难得出正确的结论; 另一方面, 群落或生态系统是由不同的生物种群组成的, 如不了解组成群落的主要物种的

生态,也很难研究群落的生态。

生态学也可按研究的生物类别分为植物生态学、动物生态学和藻类生态学、鱼类生态学等等;或按栖息地的特点区分为陆地生态学、海洋生态学、内陆水生态学或淡水生态学等等。

有时生物学被用作生态学的同义词,因为狭义的生物学曾经被看作研究物种的生活方式的一门学科,如海洋和陆水的生态学常被通称为水生生物学或称为海洋生物学、淡水生物学等。

生态学的主要工作方法之一是测定各类群生物的数量或生物量和判定它们的功能作用。与此同时通常还测定环境条件。通过定量调查首先可以了解和核证物种的生态要求,如比较某种底栖生物在不同土壤中的数量,就可判定它们喜好哪种土壤和喜好程度;同样方式也可判定物种对温度、盐度和其他环境因素的关系。其次,根据定量资料可以了解种群和群落的结构、变动情况以及地区差异等等。此外,要了解各类生物在生态系统发展过程中的作用,定量调查也是不可缺少的一环。研究生态学方法的基础是对自然界直接观察和测定,有时为了精确地确定个别环境因素的作用,也可采用生理学的方法,通过实验观察来核证从自然界得来的材料。

为了判定各类生物在生态系统中的功能,必须确定它们在物质与能量的传递中的意义。为此,要应用生理学、微生物学、生物化学、毒理学、生物物理学和其他学科的工作方法。有时为了创造生态系统中主要生物学过程的数学模型,还要应用包括电子计算技术在内的现代化数理分析的手段。

水生生物学作为生态科学的一个分枝,它的主要任务是研究水圈中的生物学过程,以便控制这些过程最大限度地为人类谋福利;为了了解生物学过程也要研究各种水生生物的生态学。

为了解决不同问题的需要,当前水生生物学也发展了如下的若干分枝。

渔业水生生物学:探讨研究提高经济水生生物资源和改善其质量的远景,拟定预测和提高水体生物生产力的方法。

卫生水生生物学:研究形成水质的生物学过程和控制这些过程的方法,以保证人类的用水需要。

工艺水生生物学:研究清除船舶、码头、水利建筑、管道和其他工业建筑上附着的水生生物的方法以及怎样防止金属在水下受到生物的侵蚀等等。

农业水生生物学:研究水稻和其他半水生农作物田地中水生生物的形成过程和控制这些过程的方法,以便提高农作物的收获量。

航行水生生物学:研究与航运有关的水生生物学现象,如水生生物发光、附着生物在船舶的丛生等等。

二、环境及环境因素作用的一般规律

生态学的基本观点应该是生物与环境的辩证统一。生物是由非生物外界产生的,因此

有机体的生命活动不能脱离外界环境的影响,但是与此同时,有机体通过本身的生命活动也不断地改变着外界环境。每种有机体的生长、发育和繁殖都要求一定的外界条件,同时有机体又能在一定限度内适应外界条件。不同等级的生物系统——个体、种群、群落都和周围环境紧密地相互作用、相互制约,并处于结构和功能的统一状态。

环境一般泛指生物周围存在的一切事物。对于每一个有机体来说,周围的无机界和同种或异种的其他有机体都是它的环境。因此环境是由许多因素组成的,这些因素对有机体的影响程度也是不同的。有些因素是保证着有机体的代谢作用而为其生存、发育和繁殖所不可缺少的主要因素,有些是以不同程度改变着主要因素,因而是间接地影响有机体的因素;另一些则是对有机体及其主要环境因素都没有明显影响的因素。不过,对于每个物种来说,周围环境中完全无关的因素实际上是不存在的,因为这些因素都是相互联系、相互影响的,只是有时对有机体的作用极其微小,不具实际意义而已。随着人类对自然规律认识的提高,目前认为某些无关的因素,也可能成为重要的环境因素。

水体中环境因素按其性质可分三类:

1. 非生物因素 物理因素和化学因素,如光能、温度、水流、水中悬浮物、溶解盐类、溶解气体、pH值、溶解有机质等等;
2. 生物因素 同种或异种的其他生物;
3. 人为因素 人类活动的影响。

由于代谢特点的不同,同样的环境条件,对不同物种的作用可能是不同的。有些生物能适应较大幅度的环境变化,有些生物则只能适应较狭幅度的环境变化。有机体能够生存的环境变化幅度称为物种的生态幅(ecological valence)。具有广生态幅的种称为广生种,反之称狭生种。典型的狭生种,如石珊瑚(*Madrepora*)仅生活在水温不低于20℃、盐度很少变化和海区坚硬的土壤上。广生种较多,温带常见的淡水生物多属此类。有些具极高生态幅的广生种特称为随遇种,如一种肉足虫(*Cyphoderia ampulla*)在海水、混盐水和淡水中都可生活,在温水池塘和冷水湖泊中均能见到。同样,也可按个别环境因素的适应幅度,把水生生物划分为广温种和狭温种,广盐种和狭盐种等等。

物种生活的环境变化越剧烈,其生态幅就越大。比如在海洋沿岸生活的种类,就较生活于温度、盐度十分稳定的大洋种类更广盐性和更广温性,生活于表水层的生物通常也较深水层的种类更广生性。水体中生活条件的差异性越大,则其中生物的组成也越多样性;水体中某些环境因素偏离正常的平均值越大,则其中生物的种类越贫乏。

个体、种群和群落都有适应环境变化的能力,也就是说当外界条件变化时(在一定范围内)能够保持本身结构的完整性和功能的稳定性。任何适应性都表现在能量收支的调节上,从而保证在不同的环境状况下生物系统内部的能量平衡。按照系统的等级(个体、种群、群落),这些适应可以分别称为个体发生适应、种系发生适应和群落适应。如按照机制,则可分为生化适应、生理适应、行为适应、形态适应和其他一些适应。通常各种适应是相互联系和相互促进的,比如动物形成了皮下脂肪层(形态适应)可减少温度变化的作用,

与此同时也为本身选择最适温度区（行为适应）或改进酶系统的工作（生化适应）创造了条件。

每一物种以其确定的物质与能量代谢型式为特点，如果不能维持其固有的代谢型式，有机体就不能正常地生长和发育。当物质与能量的平衡受到破坏时，生物或是改变分布地点，尽可能迁移到适宜的环境去，或是改变代谢强度甚至代谢性质，以适应新的环境条件，否则就不能生存。

生物在保证本身代谢特点下消耗最少能量时的生活条件，称为最适条件。某一因素的最适度对有机体不同生理机能可能是不同的。比如杜邦钩虾（*Gammarus duebeni*）生长最快时的温度为19℃，但适合生殖的温度为4—16℃。最适度不是指保证某一功能的最适条件，而是指保证全部生理机能的最适条件。因素的最适度对每种生物不是固定的而是随生物的发育阶段、生理状态和其他环境因素的改变而有变化。比如，温度与昆虫生长率的关系，在不同龄期常有差别。鳟（*Salmo saler*）仔鱼和幼鱼所选择的温度是不一样的，仔鱼选择14℃，幼鱼则选择10.4℃。

种的生态幅也不是恒定的，而是随年龄和其他条件而改变。鲤仔鱼生活的盐度上限为6‰，当年鱼则达到7—10‰。一种糠虾（*Mysis relicta*）在波罗的海半咸水中能忍受的氧气低限达1.6毫升/升，而在淡水中低于3—4毫升/升即死亡。多数动物在繁殖期以及卵和幼体对环境的要求都较严格，这些时期的生态幅比较狭。

具有很大生态意义的不仅是某一因素的绝对值，还有其变化速度。如果变化不快，有机体较易适应，反之急速的影响常使有机体过度紧张而形成某种压力，如温度急变所引起的影响就叫温压，盐度急变的影响叫盐压，余类推。

在自然界任何环境因素都不是孤立地、单独地对生物起作用，而是综合在一起作用的。首先，每一因素的作用有赖于其他因素的结合，如丰富的食物必须在适宜的温度和氧气条件下才能发挥最大的作用；在足够的光照条件下，温度的适当增高可促进藻类的光合作用，如果光照不足，单方面提高温度反而抑制了藻类的生活。其次，环境各因素之间是相互影响、相互制约着，每一因素的变化，都伴随着其他因素的变化，因而引起整个环境的改变。例如，在水体中光照的增强必引起水温的上升，水温的升高加速了有机质的分解，丰富了水中的营养盐类，因而促进了浮游植物的繁殖。浮游植物的增长又改变了水中气体情况和水的pH值，还能促进浮游动物的孳生……。但是，任何时候作为综合的整体作用于有机体的许多生态因素中，必有一个是主要的，由于它的存在和发展规定或影响着其它因素的作用，这个因素称为主导因素或限制因子。由于环境是在不停地变化着，有时有机体本身在发育上要经过质上不同的一些阶段，每一阶段都具有相应的代谢性质的特点，所以环境的主导因素也是不断地改变着。例如，在温暖季节，池塘鱼类的生长和发育通常取决于食物条件，这时投饵和施肥可加速鱼的生长，但是投饵、施肥达到一定程度，由于有机质的积累和分解引起水质的恶化和氧的不足，主导因素即转为水质。在这种情况下，冲水或换水是促进鱼生长的有效措施。

环境因素有时比较稳定（大洋的盐度，深水湖深层水的温度等），但通常是变化着的。某一环境因素在空间和时间上的变化越剧烈，通常具有越大的生态意义。环境因素的变化有周期性变化和非周期性变化两类。周期性变化的因素导致物种形成特有的生物学周期、种群数量变动形式和其他特征；非周期性变化的因素主要影响物种的分布和数量。

环境因素的影响程度，可能与生物本身的密度有关，也可能与密度无关。生物因素的作用与密度的关系很密切，比如捕食者对被食者种群的作用，随后者密度的增大而加强，寄生者对寄主的影响也是这样；非生物因素的影响通常与密度无关或关系较小，但有时也有显著的关系，例如沿岸植物丛生时较单个时更易抵抗拍岸浪的冲击，鱼类成群时更易抵抗某些毒物的作用。

三、生物圈

地球上生命存在的部分称生物圈（biosphere）。生物圈是地球表面全部生物以及与其相互作用的非生物环境的总和，它仅占地壳很薄的一层。如果把地球比作一个苹果，那么生物圈就象果皮那样薄薄的一层包裹在地球外面。

地球是由气体层、固体层和液体层包裹起来的，分别称为大气圈、岩石圈和水圈。原始地壳中存在的碳氢化合物和氮、氧等许多其他元素在一定条件下经过漫长时期的作用产生了生命。原始生物首先出现于海洋，以后向陆地和大气低层发展终于形成了生物圈。生物圈一经形成以后，便参与了对岩石圈、大气圈和水圈的改造，促进了地球的发展。

生物在生物圈里按重量不过占0.05%左右，但是它的化学活力是很大的，它保证大气内游离氧的存在和有机岩层的形成；碳、氮及其他许多元素的循环也都和生物的活动有关；不仅沉积岩和变质岩受到有机体的作用，即使坚固的花岗岩也不断地受到有机体的作用。地质的形成过程和地壳的风化作用的特点，在植物和动物产生后起了根本的改变，土壤的出现就是矿物层和其中生物群相互作用的产物。

大气圈、岩石圈和水圈也是互相渗透、互相作用的。地壳（岩石圈）作用于大气圈和水圈，大气圈和水圈也作用于地壳。空气和水都是无孔不入的，而地面上的岩石和土壤到处都有空隙，因而也到处有空气和水的渗透。除了海洋以外，地表还有28%的水分布在陆地上，其中有的分布在地面上形成湖沼、河流、冰川、冰山等，有的渗透到土壤和岩层中，成为地下水。

大气圈的厚度可达800—1,000公里以上，但是活着的有机体，只分布在上限为10—15公里内，并且大多数集中于50—70米气层中，离地1公里以上的空间生物就很少见了。在15公里以上的高空只能见到细菌和真菌的孢子。大气圈不但供给生物活动所必须的碳、氢、氧、氮等元素，而且还保护地面生物免受外层空间各种宇宙射线的危害，防止地球表面温度剧烈变化和水分散失。我们知道，离地面20—30公里处有臭氧层的存在，由于臭氧层能强烈地吸收紫外线，从而防止了紫外线对生物的致死作用。

岩石圈指地球表面30—40公里厚的地壳，其中贮藏着丰富的地下矿物资源和植物所需

的矿质养分。在岩石圈中,大多数生物只能生活到5—6米深处,只有少数生物(主要为细菌)能存在于2.5—3公里深的地壳裂缝中。由于高压和高温的影响,所以生物不可能分布到地壳更深处。

只有在水圈中,才到处分布着生物,这是因为在水圈中具有许多对生命特别有利的生活条件。

1. 水的重要性 首先水是生物体组织不可缺少的物质,充分的水量是原生质进行一切化学作用所必备的条件。任何生物体的含水量均占体重的一半以上,在生活的植物体内平均水量达75%以上,人体含水量约63%。陆生哺乳动物消耗了体内的全部脂肪和50%的蛋白质时仍能生存,但在失水20%以上就要死亡。因此,陆生生物已发展了各种专门器官,如不透水的皮肤等来保持体内的水分,但在水生环境中,一般是不虞水分的缺乏。

2. 水的溶解能力 水是很好的溶剂,它具有极大的溶解能力。水中溶解有各种各样的在生命过程中所需要的无机和有机化合物,这对于水圈中生物的生长、发育具有极其重大的意义。因而,植物不仅能够在水底生长,而且在水层中也同样可以生活。

3. 水的热学性质 水的热容量、导热率、蒸发潜热、融解潜热、最大密度的温度等,对生物也有重大的意义。水是所有固体和液体中热容量最大的物质之一,因此能吸收很多的热量。由于导热率低,吸收的热量向周围散布很慢,加上水的不断蒸发也要吸收很多的热,这就使得水的温度能保持比较稳定,不会发生陆地上那种剧烈而突然的温度变化。这种情况对于大部分属于变温型的水生生物,具有极重大的意义。

水的融解热也很大,1克0℃的冰变成液体状态需要消耗80卡的热,而1克水变成冰也要放出同样卡数的热。在自然界中水要丧失这样大的热量是不容易的,加上水的导热率又很低,所以,在天然水体中,水不易完全结成冰。此外水和所有其他物质相反,在结冰时反而膨胀。水的密度以4℃时为最大,温度再降低时,密度就变小而上浮。由于浮在水面冰的掩盖使下面的水层不再继续冷却结冰,因而,即使在极冷的气候下水生生物也可以生活在冰下的水层中,不致冻死。

4. 水的密度 水的密度远较空气为大(空气密度为水的0.0013),因而许多比重较小的生物,在整个生命过程中能够在水中保持悬浮状态。因为水有较大的浮力,许多水生生物不需要骨骼的支持即可在水层中浮游生活,而在陆地上,这样构造的生物是不可能生存的。

5. 水的流动 水的水平流动和垂直流动使溶解的气体 and 盐类得以均匀分布,并使水生环境有周期性的更新循环。此外水流可以把动物的卵和幼体、植物和它的孢子等带到远处,有利于生物的繁殖和扩布。

由此可见,水圈是生命的理想环境。所以,动植物界有75%的纲与亚纲是起源于水中(海洋69%,淡水6%),仅25%起源于陆地。

但是在水生环境中氧气条件不及陆生环境,因此水圈中恒温动物较少。因为恒温动物在新陈代谢过程中需要的热量要比变温动物多得多,这就需要大量的氧气,而在水生环境

中是不能获得大量氧气的。

四、水圈的生物区

水圈包括海洋、江河、湖泊、池塘、水库和地下水等所有水体。地球上总水量约15亿立方公里，其中97%集中于海洋，余下的3%中大部分存在于两极和其他地方的冰雪中，存在于内陆水体的不过很小一部分。在太阳辐射能的作用下，地球上的水不断地进行循环。每年从海洋有453千立方公里的水蒸发和从内陆有72千立方公里的水蒸发进入大气圈，同样每年约有525千立方公里的水以降水形式回到海洋和内陆。海面的年降水量（411千立方公里）较年蒸发量少42千立方公里，这些差额通过河水的迳流量加以补充。从全世界海洋来说，年水量收支是平衡的，但在局部海区和不同季节则可能不同。有时流入的迳流量超过蒸发量，有时反之。

地球上的蒸发量各年份可能变化很大，这种变化对海洋水的平衡影响不大，而对内陆水体和地下水则影响较大，它能改变湖泊的水位和河流的迳流量。

水圈是地球上生命的发源地，现有的33个植物纲中，有18个出现于水圈，63个动物纲中有60个出现于水圈。在水圈中海洋动物的种数远较淡水丰富，如，棘皮动物门、尾索动物亚门和软体动物头足纲在淡水中完全没有出现，海绵动物、腔肠动物、苔藓动物、蠕虫动物多毛目等在淡水中种数也极少；仅出现于淡水中只有两栖纲和肺鱼亚纲两大类，主要生活于淡水的有轮虫类、软体动物的有肺目、甲壳动物的叶足目、蠕虫动物的寡毛目、环节动物的蛭纲和几乎全部的水生昆虫。

与动物界相反，在植物区系上淡水较海洋多样得多。在淡水中显花植物十分发达；藻类种数也很丰富，如绿藻、蓝藻、隐藻、金藻、黄藻、甲藻、硅藻等。海洋植物以红藻、褐藻、硅藻、甲藻为主，显花植物种数极少。

淡水根据水的运动和容积大小可分为下列几类。

（一）流水水体 具有沿一定方向流动的水流，它又可分为：

泉：由地下水流出的、容积很小的水体；

溪涧：由若干泉水汇合或由静水水体流出的水量小、流程较短的水体；

河流：水量较大，流程较长的流水水体。

（二）静水水体 不具沿一定方向流动的水流，它又可分为：

湖：面积较大，水较深，中央部分通常没有大形植物丛生；

池：面积较小，水较浅，大形植物可蔓延整个水区；

沼泽：水浅而面积宽大，挺水植物常耸伸整个水面。

（三）半流水水体 水库的情况介于流水和静水之间。

上述的划分仅是相对的，有些叫溪的其流程甚至超过小的河流，东北的泡子有的属于湖，有的属于池沼，有的水库在一年的大部分时间里是静水。

水生生物的分布与水体中的物理化学特点、水底地形和深度以及历史情况等有关。按

照这些特点, 在一个水体中可划分为若干级生物区 (biotic division)。水体中最大的生物区是水底区 (benthic division)、水层区 (pelagic division) 和水面区。

大型深水湖泊的水底区和水层区又可划分为几个次级生物区, 如图 (湖泊的生物区):

1. 水底区

(1) 沿岸带 (littoral zone) 由水边向下延伸到大形植物生长的下限。这一带的深度按水的透明度而不同, 一般为6—8米。

(2) 亚沿岸带 (sublittoral zone) 沿岸带和深底带的过渡区, 一般没有大形植物生长。有些湖泊这一带为贝壳所堆积。

(3) 深底带 (profundal zone) 深底带包括亚沿岸带以下的全部湖盆, 通常堆积着富有机质的软泥, 这一带没有植物, 动物的种类较少。

2. 水层区

(1) 沿岸区 (littoral zone) 沿岸带以上的浅水部分;

(2) 湖心区 (limnetic zone) 沿岸区以外的开阔部分。

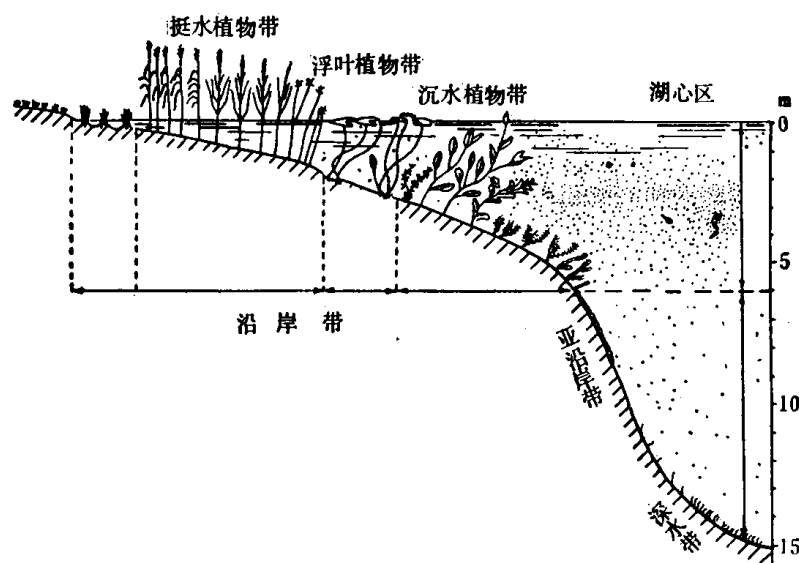


图 湖泊的生物区

浅湖和池沼由于水浅, 大形水生植物可蔓延整个水底, 其生活条件相当于沿岸带和沿岸区。

河流的水底区也可划分为河岸带、亚河岸带和河底带。水层区通常不再进行划分, 因为河水的流动使上下水层经常混合, 从表层到底层水温、氧气和其他环境因素都几乎一致。但河流从上游向下游流动中, 在流速、底质和其他条件上有明显的差别, 因此常常可按水平方向划分为上游区、中游区和下游区三个生物区。

水库兼具河流和湖泊的特征, 它们除了水底区和水层区外, 也可划分为上游区、中游区和下游区。

在各生物区中，都栖息着在生理和形态上与该区相适应的生物类群，不过水生生物常因主动或被动的因素而移栖，因而这一生物区的生物也常在另一生物区出现，特别是游动迅速的动物可以在短时间内几次改变其栖息场所。

生活在水层区的生物可分为浮游生物 (plankton) 和自游生物 (nekton) 两类。

浮游生物是不能主动地作远距离水平移动的生物，大多体形微小，通常肉眼看不见。它们没有游泳能力或者游泳能力很弱，一般不能逆水前进，只能依靠水流、波浪或水的循环流动而移动。

自游生物是形状较大，游动能力很强，能主动地作远距离游动的生物。也能逆流自由行动。

在水面区生活的生物类群称漂浮生物 (neuston)，它们的身体一部分在水中，另一部分则露出水面。

在水底区生活的生物类群，称为底栖生物 (benthos)。它们有的在水底固着生活；有的在水底移动甚至在一定时间内能离开水底区到水层区中游泳；有的钻埋水底土壤中以及钻蚀在坚硬物体中生活。此外，还有一些底栖生物是生活在水中的物体上。

第一章 光的生态作用

光是最重要的环境因素之一。光主要来自太阳辐射，其他星体的光仅占极小部分。地球上所有生命都是依靠进入生物圈的太阳辐射能流来维持的。太阳辐射对地球表面和水体不仅带来光照，还直接产生热效应，从而对动物和植物的生存提供能量的来源。

光直接影响植物的光合作用和色素的形成。没有光，绿色植物难以生存。水环境的光照条件远远不及陆地，即使在水的上层，光照强度也较空气中小得多，在水体的深处则是永远黑暗的。因此光在水生植物的生活中具有特别重要的生态意义。

光对于动物的重要意义，一方面是通过植物和影响其他环境因素的动态而产生的间接关系，另一方面主要起着信号作用，对于动物的行为和生理上有很大影响。在有些情况下光是动物生活中所需要的环境因素之一。

在大气层上界垂直于太阳光的平面上所受到的太阳辐射强度为 $1.94 \text{ 卡/厘米}^2 \cdot \text{分}$ ，被称为太阳常数。太阳辐射在遇到大气层的各种成分时，一部分被反射回宇宙空间，一部分被吸收，一部分被散射，因此到达地面（水面）的太阳辐射能在量和质（光谱组成）上都有不同程度的减弱和变化。

太阳辐射能达到水面的强度随地理纬度、季节和大气状况而变化，地面不同纬度年平均辐射量如下 (Moore, 1958):

纬度 (北→南)	60°	54°	42°	30°	10°	0°	10°	30°	42°	52°	60°
年辐射量 (卡/厘米 ²)	71	78	114	115	145	140	152	147	111	88	57

辐射能季节变化在高纬度大于低纬度。比如，在赤道海平面上12月到翌年6月平均日辐射为 480 卡/厘米^2 ，3—9月平均为 540 卡/厘米^2 ；在极地夏季可高达 670 卡/厘米^2 ，而实际上有半年等于零。

射到水面的太阳光一部分（约5—10%）被水面所反射，一部分透入水层。反射部分的大小和水面状况有密切关系。当太阳高度等于 35° 时，在光滑水面仅5%光被反射，在有风时则有17%被反射，在强风时反射部分达到30%。当水面结冰时，辐射能的透入大为减少。但透明的冰薄层对光的反射率和水面相近，较厚较浑的冰层反射率达35—40%，雪的反射率达到70—80%。据李永函等（1979）对哈尔滨地区一些鱼类越冬池的观测，在70厘

米厚的明冰下的照度仅及冰面的34%，在65厘米厚的乌冰下只有11.5%，在60厘米厚的覆雪冰下仅剩0.15%。

透入水层的光能受到强烈的吸收和散射。通常用每米水层吸收的光能和射入的光能的比值作为光的吸收系数。从表1—1可见水分子对不同光线的吸收系数是不一样的，最先吸收的是红外线、紫外线和波长长的红色光线，最后被吸收的是波长短的青色和蓝色的光线。至于散射情况则恰好相反，被水分子最强烈散射的是蓝色光线，散射最弱的则是红色光线。水中散射出来的光线落到观察者的眼中时，即使水面呈一定颜色。纯水散射的主要为蓝色光线，因而天然水越清静看去也越近蓝色，但是水中悬浮和溶解的各种物质对光的吸收和散射的情况和水分子不同，其他光线（绿光、黄光等）也被散射。因而浑浊的水常呈绿色甚至于褐色。

表 1—1 纯水对各种光的吸收系数

(自 Богословский 等, 1955)

光 色			波 长 (纳 米)	吸 收 系 数
紫	色	光	415	0.03
靛	蓝	光	450	0.02
蓝	色	光	470	0.02
蓝	绿	光	490	0.02
绿	色	光	530	0.02
黄	绿	光	550	0.03
黄	色	光	590	0.10
橙	色	光	615	0.20
红	色	光	660	0.25

由于被强烈吸收和散射，透入水层的光能随水深而迅速减弱。如果水柱中悬浮物的分布比较均匀，当水的深度按算术级数增加时，光照强度则呈指数递减的趋势。

如以 I_z 表示深度 z 时的光强， I_0 表示水面的光强， e 表示自然对数底， z 表示水的深度， ϵ 表示垂直消光系数 则：

$$I_z = I_0 e^{-\epsilon z}$$

ϵ 可以从实测的 I_0 和 I_z 中计算出来：

$$\epsilon = \frac{1}{z} 2.303 (\log_{10} I_0 - \log_{10} I_z)$$

实测表明： ϵ 值和水的透明度 (st) 有相当密切的相关，在英吉利海峡和苏联白海， $st/\epsilon = 1.7$ ，在黑海和里海为1.8，但在浑浊度较高（透明度较低）的水体，这个比值可降到1.4以下。

因为各种光线被吸收程度的不同，所以，在不同水层中光的组成也起了明显的变化。在表层以红色光线为主，越往深层蓝色光线越占主要地位（表1—2）。

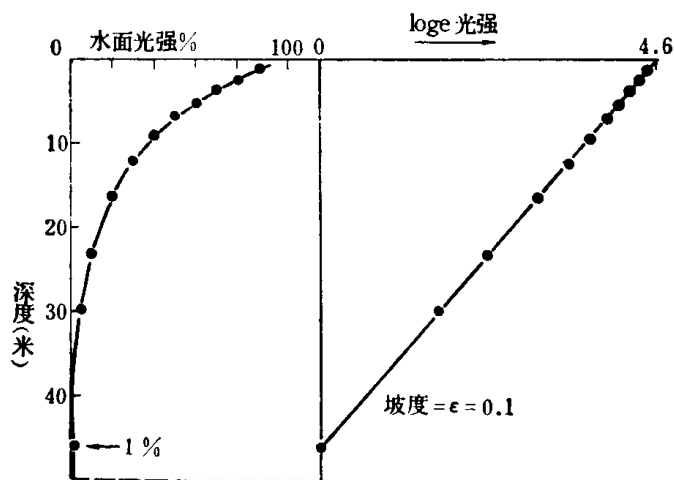


图 1—1 在较均匀的水柱中光的吸收情况 (自 Moss, 1980)

左方表示水面光强随深度递减的百分率
右方用自然对数值表示光强的递减

表 1—2 刺多牙湖不同深度的水层中太阳辐射能的光谱组成 (%)

(自 Константинов, 1967)

光谱波段 (纳米)	水 深 (米)			
	0.1	0.5	1	2
360—457	31.0	19.2	13.6	12.5
457—537	12.7	19.8	10.6	12.6
537—569	8.6	9.0	9.2—28.1	4.5
569—630	18.4	24.5	8.6	34.5
630—652	1.3	1.6	5.0	1.3
652—688	5.9	13.1	12.3	26.5
688—936	20.4	12.8	11.1	0.0
936—3000	2.1	0.0	0.0	0.0

一、光照强度与光合作用

水生植物光合作用的强度因光照强度的变化(光强)而变化。在一定范围内照度增加,光合作用的速度加快,但超出一定限度(饱和照度),光强增加而光合速度不再增大,甚至反而减弱而至于停止。

光照强度通常用照度单位——勒克斯 (lux), 1 勒克斯 = 1 米烛光 = 0.0929 英尺烛光。有时用能量单位——卡/厘米²·分或尔格/厘米²·秒, 1 卡/厘米²·分 = 0.697·10⁶ 尔格/厘米²·秒。同样辐射能当光谱组成不同时, 照度也有变化, 因此照度和能量只能粗略换算:

$$1 \text{ 勒克斯} = 14.34 \cdot 10^{-6} \text{ 卡/厘米}^2 \cdot \text{分}$$

浮游植物最适照度的测定, 有的用黑白瓶产氧法确定光合作用最适时的照度, 有的在不同光照强度下, 观察藻类细胞的分裂速率以确定最适照度。两种方法比较的结果, 表明

细胞分裂速率达到最高值时的照度较之光合作用最高值时的照度为低。这是因为细胞中含氮产物的形成在较低的照度下即可完成,而糖类的生物合成则继续随照度的增高而增强。各种藻类的最适照度差别很大。细胞分裂的最适照度,移散箱形藻 (*Biddulphia mobis*) 为 1,600 勒,一种四鞭藻 (*Carteria* sp.) 为 3,200 勒,一种隐藻 (*Cryptomonas* sp.) 为 4,800 勒,三角多甲藻 (*Peridinium triquetrum*) 为 1,150 勒,斜生栅藻 (*Scenedesmus obliquus*) 在 5,000—20,000 勒之间。总的说来,光合作用的最适光强,淡水浮游藻类中以绿藻为最高 (150卡/厘米²·天),硅藻次之 (100卡/厘米²·天),蓝藻更次之 (80卡/厘米²·天)。

浮游藻类光合作用的最适照度一般不超过 10,000—20,000 勒,生活于浅水的底生硅藻可达到 80,000 勒。喜荫种的饱和光强较低 (0.03卡/厘米²·分钟),喜光种则高得多 (0.15—0.20卡/厘米²·分钟)。喜光种的光合率在全日照的 20—30% 以内,与光强成正比,到全日照的 50—60% 时达到光的饱和;喜荫种则在全日照的 5—10% 时即达到光饱和。最适光强通常随温度的升高而升高,例如美星杆藻在 5℃ 时的最适光强为 20000 尔格/厘米²·秒,10℃ 和 17℃ 时则分别达到 35,000 和 55,000 尔格/厘米²·秒。此外还和藻类的生理状态有关,比如进行强烈繁殖时的细胞,其最适照度显然高于繁殖较弱的细胞。

光照过度对藻类是有害的,如小球藻在过强的光线下培养,细胞颜色淡绿,生长缓慢,最后失绿而死。致害的照度值也随温度而上升。7℃ 时 2,000 勒照度已使小球藻受害,在 25℃ 时这个数值可达 50,000 勒。大量的观测数据表明,白天靠近水面的日照强度对藻类有抑制作用。这时光合作用最强的水层不在水面,而在水面稍低处。不过过强的照度只破坏细胞内酶的活性而对叶绿素并没有影响,因此如果只是间断性地处于这种照度下,藻类还可恢复酶的活性而不受损害。例如,当浮游植物随着垂直水流的升降而上下浮沉时,水面过强的照度实际上没有多大的影响。

在透明度很高的水体中,特别是一些浅水水体,常可发现过强的照度。这时水生大形植物一般不伸到水面,而是丛生于水面以下某一深度,这样一来在某种程度上可减少了过强辐射的为害。在地中海透明度很高的海区,在水浅的沿岸带,仅春冬两季可发现海藻大量繁殖,夏季海藻则在深水区繁殖。同样的原因,在热带海区藻类的最大密度通常出现于 10—20 米深的水层中。

由于水中光照强度随深度而递减,因此水层中光合作用率也随深度而逐渐减弱,到了某一深度,照度已减弱到使植物在光合作用中所生成的氧量,仅能满足本身呼吸作用中的消耗,这时的照度称为这种植物的补偿点。补偿点所存在的深度称为补偿深度。在补偿点的照度下植物尚能生存,但不能繁殖;补偿深度则是植物向深层分布的界限。

大形水生植物的补偿点通常在 32—320 勒之间,各种藻类的补偿点可达到 0.002—0.005 卡/厘米²·分,也就是说约等于可见光总能量的 0.2—0.7%。补偿点随温度的降低而降低,例如几种水生植物的补偿点和温度的关系如下 (Скадовский, 1955):

植 物 种 类	补 偿 点	
	20℃	5℃
聚 草	128勒	—
水 绵	174勒	27勒
刚 毛 藻	258勒	63勒

因为太阳辐射能按地理纬度、季节、昼夜等而有明显的变化，所以补偿深度不仅在不同地理区域不同，并且同一水体在一年中的不同月份和一日的不同时间内都可能变化。一般说来，补偿深度约为水透明度的两倍（1.5—2.5倍）。

补偿点表示植物生存所需要的平均连续照度，如果由于昼夜变化引起的有光和无光的更替，某一段时间内光合作用暂停进行，那么，在另一段时间内的照度就必须高于补偿点。另一方面，如果植物在高照度下生活一段时间后，就可以在低于补偿点的照度下生活另一段时间，比如，藻类因水团的垂直混合而从上层被带到深层，由于它在上层已合成和积累了足够的营养物质，可以在低于补偿深度的水层中生活一段时间。

二、光谱成分和藻类的色素适应

植物在光合作用中并不能利用光谱中所有波长的光能，仅仅可见光部分（波长为380—760毫微米）的大部分光能被植物的色素所吸收和利用。通常把这部分辐射称为生理有效辐射，它约占太阳总辐射的40—50%。在有效辐射中，各种光的作用也是不一样的。普遍存在于各种藻类中的叶绿素a，对辐射能的吸收高峰在光谱中为405纳米和640纳米两部分；除蓝藻和红藻外各种藻类都具有叶绿素b，其吸收高峰在440纳米和620纳米两部分；藻蓝素和藻红素吸收的高峰在500—600纳米部分。因此，在光合作用中被吸收最多的是红色、橙色和黄色光线。只有几十种类胡萝卜素（carotenoid）能吸收范围最为广泛的光谱成分，在水生植物对光照条件适应上起着极重要的作用。

上述指出，虽然在特殊情况下水生植物可能处于光照过度的条件下，但是通常在水中光照是不足的，并随着深度的增加，不仅光的强度迅速减弱，而且光的质量也起了变化。在光合作用中最强烈被吸收的红色光线在表层即被水吸收，由于在较深层缺乏叶绿素所需要的红色光线，而深层存在的绿色光又是叶绿素所难以利用的，所以在进化过程中许多水生植物形成了各种辅助色素。如硅藻、褐藻、甲藻除含有一种或几种叶绿素外，尚含有各种类胡萝卜素，使本身能够利用深层水中的绿色和蓝色光能。类胡萝卜素除了可把吸收的能量传递给叶绿素外，还能保护藻类免受光的分解以及具有其他功能。

因为在植物的光合作用中，日光光谱中被利用得最多的光线通常是那些植物本身颜色的补足色，正是这种原因，产生了沿岸海藻垂直分布的特点：由浅到深依次为绿藻、褐藻和红藻。但也有例外情况，例如绿藻中的刚毛藻可在黑海120米深处发现，有时大量生活在深水湖的底部，红藻不但在深水生活，而且常和绿藻、褐藻一同在浅水中出现。不过在