

环境化学实验

[澳] P. D. 沃拉斯 等著



上海科学技术文献出版社

环境化学实验

杭州大学化学系环境化学教研室译

戚文彬 校

上海科学技术文献出版社

·环境化学实验

[澳] P. D. 沃拉斯等著

上海科学技术文献出版社出版

(上海武康路2号)

总发行所上海发行所发行

上海商务印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 8.5 字数 70,000

1987年2月第1版 1987年2月第1次印刷

印数: 1—3,100

书号: 15192·502 定价: 0.75 元

《科技新书目》131-277

译 者 的 话

本书是一本提供读者观察研究环境中化学作用过程的实用和初步训练的教材，所编入的实验采用了目前已广泛应用的各种技术。通过此一系列实验训练，不仅可使读者对环境化学理论的学习加深理解，并可作为这些实验技术的训练打下较扎实的基础。

本书的主要内容已在原书的“导论”中译述，涉及环境化学的各个主要方面，我们认为通过本书的学习，可起如下作用：

1. 加深对发生在环境中的基本化学过程的感性认识；
2. 熟悉目前研究环境化学常用的实验技术；
3. 对收集、核对和解释环境污染数据获得基本训练；
4. 初步掌握如何整理和撰写环境化学数据和资料的报告的方法。

本书篇幅虽小，但内容丰富多样，不仅是一本学习环境化学以及有关课程有用的教材，而且也为中学高年级学生课外环境化学活动，提供良好的资料，对于从事环境科学工作的同志，亦有参考价值。

根据环境科学发展的需要，不少大专院校纷纷设置“环境化学”或类似课程，中学中也逐步对学生开展环境科学基础知识的训练，但目前实验室和现场作业

部分是这类课程和基础训练的最薄弱环境，国内尚无公开出版的“环境化学实验”教材，我们结合教学工作特将此书译出，以期对有关同志、部门和学校有所裨益。

本书由杭州大学化学系环境化学教研室同志集体翻译，参加工作的同志按翻译章节先后为王耕(目录、序言、导论、1.1及主题索引)、刘小军(1.2和1.3)、章乐琴(2.1至2.3)、周小靖(2.4和2.5)、傅克廷(第3部分)、沈学优(第4部分和第5部分)。

最后由戚文彬教授审校和通读。

因限于水平，缺点和错误，在所难免，欢迎广大读者提出宝贵意见。

导 论

本套实验为使用者提供观察研究环境中化学作用过程的实用的第一手的经验。实验采用了已广泛应用于官方实验室、工业和研究部门的各种技术。经过此一系列实验训练,可为环境化学理论课的学习打下坚实基础作补充。

本实验课程目的如下:

1. 加深对发生在环境中的基本化学过程的感性认识;
2. 取得收集、核对和解释环境污染数据的经验;
3. 熟悉环境化学中应用的实验技能;
4. 进一步掌握如何作有关环境数据资料报告的技能。

实验分为5个部分:第1部分“水生系统生化过程”,主要讨论碳、氮、磷和能量在水生系统中的迁移。内容有环境化学所包括的各个方面,如光合作用、呼吸作用、生物地球化学循环、初级生产量、植物营养物、水质、富营养化和废水处理等。该部分为给学生讨论环境化学中这些问题提供了有用的实践基础,也为进一步从生物学方面研究水生生态系统提供了一些基本知识。

第2部分“环境中的毒物”是根据它们在环境各部分的行为和存在而分类的多类环境污染物。这一部分介绍了气相色谱法、原子吸收光谱法、薄层色谱法和一些用以监测大气污染物的技术,其中也包括一个生物检定实验。该实验概括了检定物质毒性的技术,在此基础上,可将杀虫剂、重金属、石油化合物和大气污染物的环境性质进行讨论和进一步展开。

第3部分“食物添加剂和污染物”在许多地方类似于第2部分,只是该部分专门讨论食物和特意加入或其它过程引入食品

的外来物质。

生态系统中化学物质对控制和调节动植物习性作用的研究,是进展很快的研究领域。因某些关系过于复杂而不适宜于短期的学生实验,故未加叙述,因此第4部分仅包括一个实验。该实验作为化学生态学中一种内部作用类型的例证。该实验还引出了有关植物相克化学药品*、信息素**、化学防御物质等的一系列讨论。

第5部分“河流污染”是一个综合性的实验训练,实验中要核对和调整有关河流污染的广泛的数据资料。

如果学生们能在课前预习一下注意事项并明确实验的原理、目的,则将从实验中获得极大收益。有时,实验和现场实习中要用到某些药品和仪器,而如对该类物品处理不当则会发生危险。无论何种情况下学生们都应练习仔细判断能力,并应严格遵守实验室安全规程。

每个学生都应备有实验记录本,随时记录实验过程中得到的重量、长度读数、粗略计算和草图等原始资料。

尽管实验报告无固定形式,下述标题必不可少:

题目和日期

实验目的

结论

问题答案

在实验指导书中已有的材料和方法不必重复列出,如要列出,可写出所给方法中的重要部分。结果应当适当地加上标题,整理成文,列出图表。应该回答与实验有关的问题,这样所有有联系的地方就会触类旁通,但在回答问题时应力求简单明了。

* allclochemicals

** pheromones

目 录

译者的话

导论

第1部分 水生系统中的生物化学过程

- 1.1 光合作用、呼吸作用和生化需氧量(1)
- 1.2 富营养化(11)
- 1.3 污水处理——一次现场参观(20)

第2部分 环境中的毒物

- 2.1 纸烟烟尘中的杀虫剂(28)
- 2.2 挥发性烃类的气相色谱分析法(34)
- 2.3 铜离子对水生生物的毒性(41)
- 2.4 家用涂料中的铅(49)
- 2.5 大气污染物(53)

第3部分 食品添加剂和食物污染物

- 3.1 花生中的黄曲霉素(64)
- 3.2 食品添加剂(69)
- 3.3 面包中芥酸的含量(76)
- 3.4 人乳中的 DDT(79)

第4部分 化学生态学

- 4.1 美洲褐色大蝴蝶的化学防御(86)

第5部分 现场调查

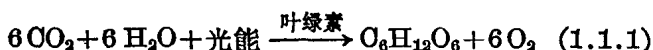
- 5.1 河流污染(94)

水生系统中的生物化学过程

1.1 光合作用、呼吸作用和生化需氧量

生命的化学起源可追溯至地球原始大气内简单的光催化反应。经过连续不断的化合和衰变，反应过程中产生的基本类型的分子经过漫长的地质时期，逐步演变成地球上的生命生态系统。今天，生物机体和生物机体的死亡及腐败的光化产物正以高度复杂的光合作用和呼吸作用的循环形式进行着。

光合作用包括绿色植物和一些细菌在吸收了光以后的光化学和缔合过程。这些过程可简单表示如下，即二氧化碳和水经过光能的作用形成了葡萄糖：



上述反应是以叶绿素为催化剂，将二氧化碳化学还原(加氢)而生成碳水化合物和氧气的过程。我们将以这样的方式由无机化合物和能量产生有机物的生物体称为“自养生物体”。

虽然方程 1.1.1 在描述总光合作用产生葡萄糖的过程是一个相当合理的表达式，但植物中却还含有种种其他物质。其它碳水化合物中诸如纤维素、蛋白质和脂肪也在植物的光合作用过程中产生。在这种情况下，需用更复杂的方程式来表达总反应，其中有些还包含氮、磷及其它一些物质。在所有情况下，从反应物如水、碳、二氧化碳转化为产物植物体的过程是一个目前

还未全搞清楚的高度复杂过程。

植物最明显的和最引人注目的特征似乎要算是它们的颜色了,从陆生植物的绿色直到水生植物的橙色和红色变化各异,叶绿素,特别是叶绿素- α ,是一种在光合作用中最突出起主导作用的色素。叶绿素吸收了白光里的蓝色和红色成分,反射了黄色和绿色波段的光而使自身表现出特征的绿色。

植物中的其它色素,它们对吸收中间波段的光起着重要作用,这些色素一般称辅助色素。这些辅助色素不直接参与光合作用,但能吸收不被叶绿素- α 吸收的波段的光能(如黄光和绿光),并将这些能量传递给叶绿素- α ,这些色素对水生植物尤为重要,因为水溶液强烈吸收长波段的光(红光)。

光合作用生产出的植物质料称为初级产品,这些产品合成后可作为高等生物的食物。初级生产量受许多因素影响,如阳光辐射量、阳光辐射的吸收效率、水分的可利用性等等(见表1.1.1)。未被吸收的太阳能转化为热而最终又辐射进入太空。

表 1.1.1 初级生产量和太阳辐射关系

植 物	太 阳 辐 射 [kcal/(m ² ·d)]	初 级 生 产 量* [kcal/(m ² ·d)]
甘蔗(夏威夷)	4000	306
灌溉过的玉米(以色列)	6000	405
甜菜(英格兰)	2650	202

- * 总的初级生产量,其中包括植物用于呼吸的能量

[摘自: Odum E. P(1971), *Fundamentals of Ecology*, 3rd Ed., Saunders, Philadelphia, p.45]

值得注意的是: 有少数自营生物并非从太阳光能中获取能量。大多数情况下,这种生物体从无机物的氧化过程中获得能量。但这些生物体在大多数生态系统中所起的总作用并不重要。

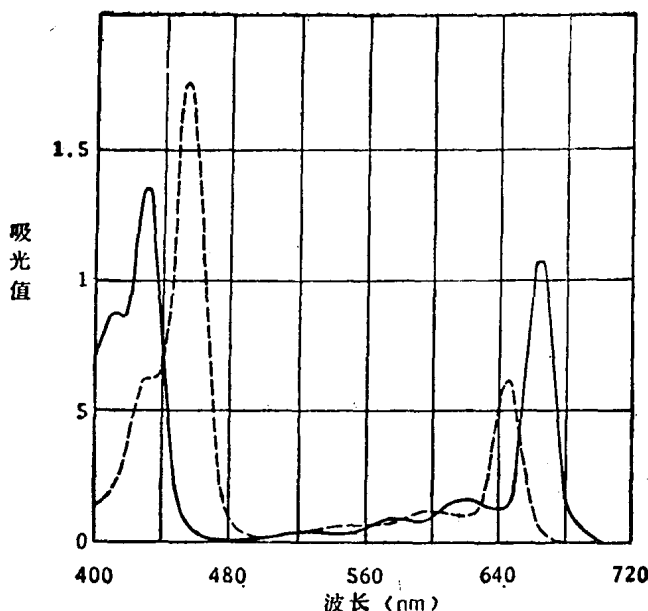
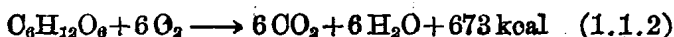


图 1.1.1 吸收光谱表明叶绿素- α (实线)和叶绿素- β (虚线)对蓝色和红色光有强烈的吸收。吸收峰之间的绿、黄和橙光波段被反射,从而使此两种色素呈现出大家熟悉的绿色

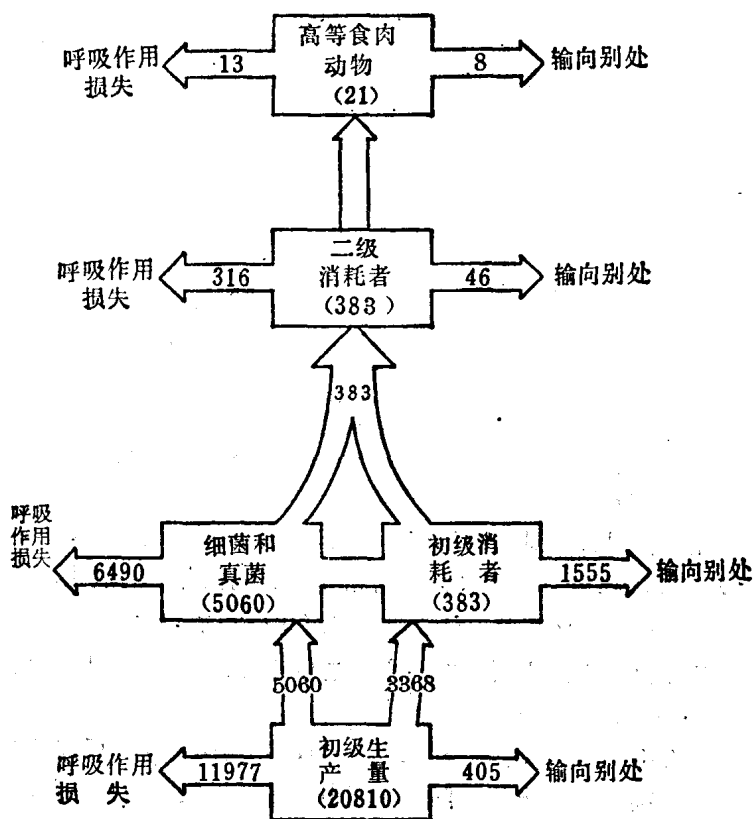
光合作用只是对植物而言,与此不同的是所有生物体都要呼吸。呼吸作用包括碳水化合物和其它有机化合物的氧化,在此过程放出贮存的能量,通常伴有二氧化碳和水的生成。葡萄糖是呼吸过程中的主要食料,这一过程的总化学计量反应式是方程 1.1.1 的逆过程:



除了碳水化合物外,自然环境中大量可以氧化的物料是脂类和蛋白质。哺乳动物和一些其他生物通过肺部从空气中吸入氧气,进入循环液(血液),将氧气输送入肌肉中,在肌肉里发生主要的呼吸作用。许多水生生物以相似的方式呼吸,但是是经

过腮而吸入水中的溶解氧。微生物无需以特殊机制获取氧气，因为氧气能穿透细胞壁进入耗氧部位。

图 1.1.2 指出了包含大量各类生物体的水生生态系统中能量的转递，能量唯一重要来源是植物的初级生产量，这个生产量



[摘自: Philipson, J. *Ecological Energetics*, Institute of Biology, Study in Biology No. 1. Edward Arnold, London (1976) p. 15]

图 1.1.2 佛罗里达银泉地区能量流量和预算 [$\text{kcal}(\text{m}^2 \cdot \text{a})$]

被植物本身的呼吸过程和生物体呼吸过程所从属的食物链中所消耗。该过程所需的氧气来源于水中溶解氧。无论在淡水中还是海水中, 氧的溶解度是有限的。通常我们遇到的水, 其间氧的含量至多不过 14 g/ml 。

今天人们在使用陆地和水泵时通常可将大量有机物排入水道。诸如污水排放和城市废水通常含有大量碳水化合物、蛋白质和脂肪。细菌极易很快利用这些废水, 并从呼吸过程中获取能量而大量繁殖(见方程 1.1.2)。随之而来的氧气消耗将导致水中溶解氧的严重枯竭, 经常是溶解氧为零。这对其它也需呼吸溶解氧而得以生存的生物机体意味着什么已是明摆着的了, 因为鱼类的生存条件通常是, 在水中最少要有氧 5 mg/l 。

要进行水质控制很重要的一点是, 要测定废水排放中随着细菌消耗有机物而同时发生的氧气吸收值, 这就是生化需氧量(BOD)实验的基点。实验中, 先将废水稀释, 如有必要加入一些常见的细菌, 然后按标准培养 5 天, 使得溶液发生需氧生物降解。在这段时间内溶解氧的降低值即称为该特定样品的 BOD 值, 河流本身的 BOD 值可用以评价污染程度。

实际上, 污染严重的河流或未经处理的废水其 BOD 值可达 5000 mg/l (见表 1.1.2)。这已远远超过了自然水中溶解氧 $7\sim 14\text{ mg/l}$ 的范围。为测定这些水中 BOD 值, 通常的步骤是用未污染的水将水样稀释至不同浓度, 在以此得到的一个或几个混合物中能测得溶解氧消耗量在 $4\sim 6\text{ mg/l}$ 范围内。

生物降解中的理论需氧量可以于有机物的完全化学氧化计算而得。以葡萄糖为例(见方程 1.1.2), 计算得 180 g 葡萄糖要和 192 g 氧反应, 比例为 $1:1.07\text{ W/W}$, 同样, 对蔗糖化学氧化反应方程式如下:



表 1.1.2 一些水和废水的典型 BOD 值

未污染河流	<1(mg/l)
严重污染河流	>10
二级处理排污水	5~10
原废水和工业污水	300~5000

这里 332g 碳水化合物消耗 384g 氧,其比例为 1:1.16。如果是还原性更高的含碳化合物如淀粉或脂肪等,则要吸收更高比例的氧。



图 1.1.3 水样从一只用于深水处收集水样的取样装置中倒出,接着就在实验室中进行溶解氧的测定

实验内容

主要内容是:

1. 测定水样的溶解氧量;
2. 半定量测定某些淡水藻的呼吸作用和光合作用的相对速率;
3. 说明水中含有进行呼吸作用和光合作用水藻时使溶液 pH 变化的情况;
4. 计算一些简单有机化合物水溶液的理论需氧量;
5. 做一次污染水的 BOD 分析。

仪器和药品

水槽 5l	DO/温度监测器
BOD 瓶	pH 计
生化培养箱	研钵和研杵
量筒	容量瓶
吸量管	磁力搅拌器
刮勺	浮游生物净化器, 1m ²
烧杯	铝箔
蔗糖	淀粉
葡萄糖	BOD 稀释用水(除去氯的
含单细胞藻类的池塘	自来水)
水	污染水

步骤

实验要花两个实验单位时间。第一次主要是熟悉溶解氧测定仪, 溶解氧的测定和准备 BOD 分析用的样品。

溶解氧测定仪的使用

1. 按照出厂说明书检查仪器是否正常, 特别要当心探头上的气体渗透膜, 膜上应无刺痕。如果该探头在水中浸久了, 小心

地擦拭膜面以除去藻类和细菌残骸。

2. 将已经用空气饱和过的水注入一个容器中 (BOD 瓶比较合适)。测量水温, 插入 DO 探头, 快速搅拌溶液以获得稳定读数, 调节仪器以获得表 1.1.3 所列相应的值。

3. 重新向水中通空气, 核对读数是否重现。如果要进一步校正探头, 则溶解氧的量可用文克勒方法进行滴定分析, 该法在大多数水分析标准方法手册中都有叙述。

不同水质条件水样的小规模试验

用 5 个小水槽盛取下述不同水质条件的水样: 贫营养, 富营养化, 厌氧 (有丰富的可生物降解的有机物, 如葡萄糖和培养细菌的琼脂)、盐水和加热过的水, 测量每一种水样的电导率或盐度、温度及溶解氧, 用 mg/l 和百分饱和度两种方法来表示溶解氧的量。

自制混合溶液的生化需氧量

1. 准确称取 80~100 mg 葡萄糖置于 250 ml 容量瓶中, 用水 (已去氯并用空气饱和过的自来水) 溶解并稀释至刻度, 吸取 10 ml 此溶液再稀释至 1 l, 该溶液应为含葡萄糖约 8~4 mg/l 的溶液。

2. 用蔗糖和淀粉代替葡萄糖制备溶液。在用淀粉时需将已称重的试样用研钵和研杵研成糊状, 然后以水制成悬浮液。

3. 取 4 只彻底清洗过的 BOD 瓶 (确证已用清洁剂洗过并已用热水冲洗过), 三只用来装上述碳水化合物的试液, 另一只用来装稀释水, 测定每一溶液的溶解氧, 将 BOD 瓶装满, 保证瓶内无空气泡, 将瓶封好, 20°C 培养一星期。本来 BOD 瓶培养标准时间为 5 天, 在此建议 7 天, 与实验时间安排一致。

4. 7 天以后, 重新测定溶解氧。用下述方程式计算以消耗掉的氧表示的 BOD:

表 1-1-3 水饱和和空气中水中氧的溶解度*

%NaCl	0	0.8%	1.6%	2.5%	3.3%
温度 °C	溶 解 氧 (mg/l)				
0	14.6	13.8	13.0	12.1	11.3
1	14.2	13.4	12.6	11.8	11.0
2	13.8	13.1	12.3	11.5	10.8
3	13.5	12.7	12.0	11.2	10.5
4	13.1	12.4	11.7	11.0	10.3
5	12.8	12.1	11.4	10.7	10.0
6	12.5	11.8	11.1	10.5	9.8
7	12.2	11.5	10.9	10.2	9.6
8	11.9	11.2	10.6	10.0	9.4
9	11.6	11.0	10.4	9.8	9.2
10	11.3	10.7	10.1	9.6	9.0
11	11.1	10.5	9.9	9.4	8.8
12	10.8	10.3	9.7	9.2	8.6
13	10.6	10.1	9.5	9.0	8.5
14	10.4	9.9	9.3	8.8	8.3
15	10.2	9.7	9.1	8.6	8.1
16	10.0	9.5	9.0	8.5	8.0
17	9.7	9.3	8.8	8.3	7.8
18	9.5	9.1	8.6	8.2	7.7
19	9.4	8.9	8.5	8.0	7.6
20	9.2	8.7	8.3	7.9	7.4
21	9.0	8.6	8.1	7.7	7.3
22	8.8	8.4	8.0	7.6	7.1
23	8.7	8.3	7.9	7.4	7.0
24	8.5	8.1	7.7	7.3	6.9
25	8.4	8.0	7.6	7.2	6.7
26	8.2	7.8	7.4	7.0	6.6
27	8.1	7.7	7.3	6.9	6.5
28	7.9	7.5	7.1	6.8	6.4
29	7.8	7.4	7.0	6.6	6.3
30	7.6	7.3	6.9	6.5	6.1
31	7.5				
32	7.4				
33	7.3				
34	7.2				
35	7.1				

* 在 760 mmHg 的大气压下

注意：此表仅在以含有已知或近似表中所列浓度范围的含盐水样进行标化时用到。