

紫外辐射^的 科学基础及应用

主 编 刘 玮

副主编 代彩红 田 燕

紫外辐射的科学基础及应用

主 编 刘 玮

副主编 代彩红 田 燕

编 者 (以姓氏笔画为序)

于家琳 (中国计量科学研究院光学所)

王 文 (北京宣武医院药物研究中心)

王学民 (上海皮肤性病医院)

王炳忠 (中国气象科学研究院)

代彩红 (中国计量科学研究院光学所)

田 燕 (解放军空军总医院皮肤科)

刘 玮 (解放军空军总医院皮肤科)

刘新志 (中国计量科学研究院生物所科学仪器研究室)

刘瑜玲 (北京大学附属三院眼科)

朱 平 (北京同仁医院)

朱璐平 (中国科学院地理科学

吴 艳 (北京大学附属一院皮

张光华 (北京博达技术研究所,

李海涛 (中国科学院地理科学与资源研究所)

杨 铭 (北京大学医学部天然仿生药物实验室)

陈 周 (北京大学人民医院皮肤科)

娜从璞 (北京华夏恒光公司)

徐 良 (北京日化研究所)

顾 恒 (中国医学科学院皮研所)

顾晨洁 (中国城市规划设计研究院水系统规划
划设计研究所)

黄 勃 (中国计量科学研究院光学所)

康玉英 (太原市中心医院皮肤科)

医院皮肤科)

学附属三院皮肤科)

林大学国际生态研究所)

蔡瑞康 (解放军空军总医院皮肤科)

人 民 卫 生 出 版 社

图书在版编目(CIP)数据

紫外辐射的科学基础及应用 / 刘玮主编. —北京:
人民卫生出版社, 2013.1

ISBN 978-7-117-16558-7

I. ①紫… II. ①刘… III. ①紫外辐射—研究
IV. ①O434.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 277537 号

人卫社官网	www.pmph.com	出版物查询, 在线购书
人卫医学网	www.ipmph.com	医学考试辅导, 医学数 据库服务, 医学教育资 源, 大众健康资讯

版权所有, 侵权必究!

紫外辐射的科学基础及应用

主 编: 刘 玮

出版发行: 人民卫生出版社(中继线 010-59780011)

地 址: 北京市朝阳区潘家园南里 19 号

邮 编: 100021

E-mail: pmph@pmph.com

购书热线: 010-67605754 010-65264830

010-59787586 010-59787592

印 刷: 三河市宏达印刷有限公司

经 销: 新华书店

开 本: 710×1000 1/16 印张: 25

字 数: 476 千字

版 次: 2013 年 1 月第 1 版 2013 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

标准书号: ISBN 978-7-117-16558-7/R·16559

定 价: 69.00 元

打击盗版举报电话: 010-59787491 E-mail: WQ@pmph.com

(凡属印装质量问题请与本社销售中心联系退换)

序

紫外辐射虽然只是光辐射中很狭窄的一个波段的辐射，但是近代紫外辐射的应用却得到迅速的发展。这些发展既体现在各种紫外效应在生物学、医学、工业加工、刑侦技术及通讯、探测等领域的应用上，也体现在紫外辐射对人类及其他生物危害的防护上。

中国照明学会光生物学和光化学专业委员会十几年来一直重视紫外辐射的应用及防护方面的研究和科普工作，专业委员会汇集的跨学科成员一直进行着该领域的学术交流。《紫外辐射的科学基础及应用》一书正是这些科学活动的成果。虽然有些应用本书未尽收入，但对有兴趣涉入紫外辐射应用领域的研究者而言，它仍不失为一本有参考价值的好书。

郝允祥

北京师范大学

2011年6月17日

前 言

近年来,关于太阳紫外辐射的基础及应用研究迅速增多,内容涉及环境气候变化、医药卫生、植物生长特性、光辐射安全等领域。就人类健康而言,紫外辐射是一把双刃剑,适度的阳光照射可以促进机体的骨骼发育和生长,过度的日晒则危及皮肤和眼睛的健康。紫外辐射的科学知识覆盖多学科领域,当我们需要系统、深入地了解紫外辐射的基础知识、工作原理,计量标准及光生物学效应等内容时,却很难找到一本内容全面、权威且学术性强的专业参考书籍。为此,我们依托中国照明学会光生物学及光化学专业委员会,组织各个领域的专家联合编写了这本书,内容包括光学、计量学、气象学、生物学、化学、医学、药理学、植物学等不同学科的专业内容。作为一本紫外辐射基础知识和应用方面的综合性参考书,本书可供不同专业和领域的本科生、研究生以及科研工作者使用。

本书开篇由中国气象科学研究院王炳忠研究员论述了地面紫外辐射的分布、影响因素和测定方法,随后从紫外辐射的定义、分类和波段划分出发,详细介绍了常用名词术语和基本定理,紫外辐射的测量方法、测量原理和测量仪器,紫外辐射的计量基标准、量值溯源和国际等效性,紫外辐射的光生物和光化学效应、紫外损伤的防护、紫外辐射的临床应用、人工紫外光源的原理及设计、紫外辐射的安全标准等。光谱辐射照度是一切紫外辐射度量值溯源的源头,中国计量科学研究院代彩虹博士专题论述了紫外辐射的计量基标准、量值溯源和国际等效性;近年来国际上光生物学和光化学发展极为迅速,本书也将紫外辐射光生物和光化学效应作为重点内容之一进行了专题讨论。内容包括紫外辐射对人类皮肤、免疫系统、眼睛、细胞DNA的影响、紫外损伤的防护以及在临床医学中的应用;另外专题论述了紫外辐射对植物光合作用的影响以及我国在植物光生物学和光化学方面取得的进展;人工紫外光源是研究光生物和光化学效应的基础,本书对这些仪器的工作原理、组成结构、光谱特性、注意事项和安全标准进行了讨论,参照了相关的国内外标准,能够帮助读者更加安全有效地使用紫外光源。

本书由于涉及内容广泛、编写时间仓促,难免存在不足之处。在此恳请读

者们对本书的不足之处不吝赐教,以便编者再版本书时进一步完善。

感谢中国照明学会光生物和光化学专业委员会的各位专家和委员在本书编写过程中所给予的大力支持!

刘 玮 代彩红 田 燕

2012年9月

目 录

第一章 地球表面的太阳紫外辐射	1
第一节 影响紫外辐射的臭氧	1
一、臭氧的产生及分布	1
二、臭氧的度量单位	4
三、臭氧洞	5
四、氯氟烃和臭氧	6
五、臭氧的历史变化	6
六、臭氧的垂直分布	8
七、极地平均臭氧	8
八、臭氧洞何以只在南极上空形成	9
九、全球臭氧总量变化	10
十、全球臭氧恢复的预告	11
第二节 影响地面紫外辐射的因素	12
一、地外太阳光谱的影响	13
二、臭氧柱总量的影响	15
三、云量的影响	15
四、海拔高度的影响	15
五、地表反照率(反射比)的影响	16
六、能见度的影响	17
七、地理纬度的影响	17
八、入射角的影响	17
九、其他介质的影响	18
十、大气散射的影响	18
第三节 研究地面紫外辐射的方法	19
一、地面测量	19
二、卫星测量	24
第四节 地面紫外辐射的分布	24

一、时间上的分布	24
二、空间上的分布	25
三、地面紫外辐射的变化幅度	26
第二章 紫外辐射的测量与标准	29
第一节 引言	29
一、紫外辐射的定义与波段划分	29
二、紫外辐射的生物学效应	31
第二节 紫外辐射名词术语与基本定理	33
一、紫外辐射名词术语	33
二、紫外辐射基本定理	41
第三节 紫外辐射度计量与标准	44
一、光谱辐射度国家基准装置	45
二、紫外辐射照度工作基准装置和量传体系	48
三、紫外辐射度计量与紫外辐射照度计	50
第四节 国际比对与量值的国际等效性	58
一、光谱辐射照度国际关键比对 CCPR-K1.a	59
二、紫外辐射照度亚太比对 APMP-PR.S1	62
第三章 紫外线对人类皮肤健康的影响	67
第一节 紫外辐射基本的光生物光化学效应	67
一、光化学效应	67
二、紫外辐射的光生物光化学效应	68
第二节 紫外辐射对人类健康的有益作用	70
一、维生素D的功能	70
二、维生素D的来源与代谢途径	70
三、维生素D缺乏的原因	71
四、人工紫外线对维生素D生成的影响	71
第三节 紫外辐射对人类皮肤的有害作用	71
一、皮肤日晒红斑	71
二、皮肤日晒黑化	80
三、皮肤光老化	87
四、皮肤光敏感和光感性皮肤病	93

第四章 紫外辐射对皮肤免疫系统的影响	100
第一节 皮肤免疫系统及其调节.....	100
一、皮肤免疫系统概念的发展.....	100
二、皮肤免疫系统的细胞.....	101
第二节 紫外辐射对皮肤免疫系统的影响.....	104
一、紫外线对免疫活性细胞的影响.....	104
二、紫外线对细胞因子的影响.....	106
三、尿刊酸在紫外线引起的免疫抑制中的作用.....	108
第三节 光免疫学在临床上的应用.....	109
一、银屑病.....	109
二、掌跖脓疱病.....	109
三、手部接触性皮炎.....	109
四、蕈样肉芽肿.....	109
五、异位性皮炎和慢性湿疹.....	109
六、光敏性皮炎.....	109
七、白癜风.....	110
八、色素性荨麻疹、日光性荨麻疹.....	110
九、其他.....	110
第四节 光免疫损伤的防护.....	110
第五章 紫外辐射对人类眼睛的影响	113
第一节 眼球基本组织生理学结构特点: 结膜、角膜、晶状体、视网膜 ...	113
一、眼球壁分层.....	114
二、眼内腔和内容物.....	114
三、视神经、视路.....	115
四、眼附属器.....	115
第二节 紫外辐射对人类视觉系统的影响.....	115
一、光致白内障.....	116
二、光致视网膜炎.....	117
三、光致角膜炎.....	117
第三节 紫外辐射对视觉系统损伤的主要机制: 自由基损伤.....	117
一、环境中的紫外线.....	118
二、到达晶状体的紫外线.....	118

三、紫外线对晶状体的影响及其机制·····	119
四、自由基概述·····	119
五、紫外辐射对晶状体的损伤·····	121
第四节 对于紫外线辐射晶状体损伤的防御·····	123
一、酶性清除剂·····	123
二、低分子清除剂·····	123
三、对紫外辐射晶状体损伤的干预·····	124
第六章 紫外辐射对细胞 DNA 的损伤 ·····	126
第一节 DNA 的基本结构·····	126
一、DNA 的基本组成单位·····	126
二、核苷酸的连接·····	127
三、DNA 的结构·····	127
四、DNA 的功能·····	130
五、DNA 的理化特性·····	130
第二节 紫外辐射引起的 DNA 损伤·····	130
一、DNA 直接损伤·····	131
二、DNA 间接损伤·····	132
第三节 紫外线引起的 DNA 损伤的修复·····	133
一、回复修复·····	134
二、切除修复·····	134
三、重组修复·····	136
四、错配修复·····	137
五、SOS 修复·····	138
第四节 紫外辐射引起的基因突变与细胞癌变·····	138
一、肿瘤发生的分子生物学基础·····	139
二、紫外线导致皮肤肿瘤·····	141
第七章 紫外辐射对植物生长特性的影响 ·····	146
第一节 紫外辐射对植物生长的一般影响·····	146
一、研究意义·····	146
二、地表 UV-B 辐射增强对植物影响的研究进展·····	148
三、地表 UV-B 辐射增强对农作物生物学效应研究方法概述·····	153
四、目前已有研究中存在的问题·····	154
第二节 紫外辐射对我国南方水稻产量和品质的影响·····	155

一、研究区概况·····	155
二、研究目标和内容·····	156
三、测定方法·····	157
四、统计方法·····	160
五、UV-B 辐射增强对水稻光合作用及叶绿素荧光参数的影响 ·····	160
六、UV-B 辐射增强对水稻生长发育指标的影响 ·····	172
七、UV-B 辐射增强对水稻籽粒品质指标的影响 ·····	176
八、紫外辐射对我国南方水稻产量和品质的影响研究结论·····	179
第三节 紫外线 B 对小麦产量和品质的影响 ·····	181
一、UV-B 辐射对小麦株高的影响 ·····	182
二、UV-B 辐射对小麦叶片的影响 ·····	183
三、UV-B 对小麦产量的影响 ·····	185
四、UV-B 辐射对小麦品质的影响 ·····	188
五、小麦对 UV-B 辐射的适应 ·····	190
第四节 室外大型 UV-B 自动控制系统的研制 ·····	191
一、硬件设计·····	192
二、灯架系统及实验小区田间布设·····	193
三、软件·····	195
四、系统性能检验·····	196
五、结语·····	197
第八章 紫外线屏蔽物质与防晒化妆品 ·····	210
第一节 防晒化妆品简介·····	210
第二节 紫外线吸收剂与屏蔽剂·····	214
一、紫外线吸收剂·····	214
二、物理性紫外线屏蔽剂·····	218
三、抵御紫外辐射的生物活性物质·····	220
第三节 防晒剂的配方设计·····	220
一、防晒剂使用概况·····	220
二、UV-A 吸收剂的选择 ·····	221
三、无机防晒剂的选择·····	221
四、防晒剂的复配使用·····	222
五、基质配方的筛选·····	222
第四节 防晒化妆品效果评价方法·····	225
一、防晒化妆品 SPF 值人体测定及表示法 ·····	225

二、防晒化妆品 SPF 值或防晒效果仪器测定法	236
三、防晒化妆品 SPF 值的抗水性能测定法	239
四、防晒化妆品 UV-A 防护效果测定及表示法	240
第五节 其他防晒物质: 太阳镜、织物、雨伞	246
一、太阳镜	246
二、织物与雨伞	247
第九章 人工紫外光源的临床应用	252
第一节 光化学疗法 (PUVA) 与皮肤病临床治疗	252
一、PUVA 定义	252
二、治疗方法	253
三、最小光毒量测定	254
四、适应证	254
五、不良反应	258
六、禁忌证	259
第二节 UV-A1 光疗法	259
第三节 窄谱中波紫外线 (NB-UV-B) 疗法	260
一、概述	260
二、适应证	260
三、不良反应	263
四、安全性	263
五、新型激光治疗仪	263
第四节 日光模拟器用于皮肤光生物学研究	264
一、最小红斑量的测定	264
二、MPPD 的测定	265
三、RCEE 标准化要求	265
第十章 紫外线照射血液充氧 (UBIO) 在生物医学中的应用	271
第一节 紫外线照射血液充氧 (UBIO) 概述	271
一、引言	271
二、发展史	272
三、作用机制探讨	272
四、UBIO 的光化学效应	277
第二节 UBIO 疗法的临床应用	284
一、神经系统疾患	284

二、心血管疾患	290
三、呼吸系统	296
四、五官科疾患	299
五、皮肤科	302
六、肿瘤	303
七、其他	309
第三节 紫外线照射血液充氧(UBIO)的具体实施	312
一、操作方法	312
二、主要适应证和禁忌证, 注意事项	313
第十一章 人工紫外光源的原理及设计	317
第一节 紫外线低压汞灯	318
一、紫外线低压汞灯的光谱特性	318
二、获得 253.7nm 最高辐射效率的最佳汞蒸汽压	320
三、汞灯的直径和长度	321
四、阴极低压汞灯的结构	321
五、低压汞灯的启动	322
六、低压汞灯的规格和应用	323
七、紫外线低压汞灯使用注意事项	323
八、冷阴极辉光放电低压汞灯	324
第二节 紫外线荧光灯	325
一、紫外线荧光灯的发光过程	325
二、紫外荧光灯的结构	326
三、紫外线荧光粉	326
四、几种用于不同领域的紫外荧光灯	326
第三节 紫外线高压汞灯	329
一、紫外线高压汞灯的光谱特性	329
二、紫外线高压汞灯的结构和设计要点	331
三、紫外线高压汞灯的点灯线路	332
四、紫外线高压汞灯的常用规格	333
五、球形超高压汞灯和毛细管汞灯	334
第四节 紫外线金属卤化物灯	335
一、灯内金属卤化物的循环过程	336
二、紫外线金属卤化物灯中汞的作用	336
三、长波紫外金属卤化物灯和碘镓灯	337

第五节 氙灯	340
一、高气压氙灯的连续光谱特性	340
二、长弧氙灯和短弧氙灯	341
第六节 日光(太阳)模拟器	343
一、系统构成及主要技术规格	344
二、人体测试用日光模拟器的工作原理和操作使用	348
三、人体测试用日光模拟器的量值传递与溯源	350
第十二章 人工光源紫外辐射的安全标准	351
第一节 概述	351
第二节 基本术语及定义	352
一、光化学剂量	352
二、对边角	352
三、孔径、孔径光阑	352
四、蓝光危害	352
五、连续发光灯	352
六、红斑	352
七、辐照距离	353
八、曝辐限值	353
九、眼睛运动	353
十、视场	353
十一、普通照明用灯	353
十二、危害距离	353
十三、红外辐射	354
十四、预期使用	354
十五、辐射照度	354
十六、灯	354
十七、灯系统	354
十八、大光源	354
十九、激光	355
二十、光	355
二十一、发光二极管	355
二十二、流明	355
二十三、灯具	355
二十四、勒克斯	355

二十五、眼睛危害距离	355
二十六、光学辐射	355
二十七、光致角膜炎和光致结膜炎	356
二十八、脉冲灯	356
二十九、辐射亮度	356
三十、辐射能量	356
三十一、曝辐射量	357
三十二、辐射功率	357
三十三、视网膜	357
三十四、视网膜灼伤	357
三十五、视网膜危害区	357
三十六、皮肤危害距离	357
三十七、光谱分布	358
三十八、光谱辐射照度	358
三十九、光谱辐射亮度	358
四十、球面度	358
四十一、紫外辐射	358
四十二、可见辐射	359
四十三、视角	359
第三节 曝辐限值	359
一、概述	359
二、与视网膜曝辐限值的确定和应用有关的特殊参数	360
三、辐射危害的曝辐限值	361
第四节 灯和灯系统的测量	368
一、测量条件	369
二、测量过程	374
三、分析方法	377
第五节 灯的分类	379
一、连续灯	380
二、脉冲灯	381

第一章

地球表面的太阳紫外辐射

从源头上讲,紫外辐射可以区分为源自太阳的自然紫外辐射和源自各种紫外灯的人工紫外辐射。前者具有自然属性,是不可控的,人类只能适应,或采取措施,降低其危害;后者则是可控的。鉴于本书的绝大部分内容涉及自然紫外辐射,下面介绍的内容主要涉及这部分。

第一节 影响紫外辐射的臭氧

由于影响太阳紫外辐射的因素众多,其中最有名的当属“臭氧洞”。人们之所以对太阳紫外辐射更加关注,也是在出现了臭氧洞之后。为了说清臭氧及其与紫外辐射的关系,涉及内容较为广泛,所以单独立为一节。

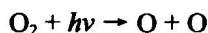
臭氧与紫外辐射关系极为密切,从本质上讲,对臭氧测量的实质仍是对紫外光谱的测量,所以二者的测量有许多共同之处,特别是在对紫外光谱测量方面。测量臭氧时,所关心的是几个波长上的光谱辐射量,而地面紫外辐射则更关心的是几个波段甚至整个紫外波段的累计量,就这个意义上讲,测量臭氧的历史要比紫外辐射更久远些。

一、臭氧的产生及分布

臭氧是由三个氧原子构成的一种气体(O_3)。在大气中臭氧的产生与破坏一直在持续进行中。Chapman 1930 年提出了一个简单的光化学理论。一个三体碰撞过程形成臭氧,不过此时形成的臭氧具有高能态,需要另一个分子与之作用,将能量吸收掉,进而形成稳定的臭氧,即:



这里 M 就是另外一个分子,通常是空气中的氮分子。上述过程中所需要的原子氧,是在分子氧吸收了波长小于 242nm 的紫外辐射后:



式中 ν 为辐射粒子的频率, h 为普朗克常数; 二者的乘积表示具有的能量。

此外, 当吸收了波长小于 310nm 的紫外辐射后, 臭氧会遭到破坏:



在二体碰撞中又形成:



在反应(1-1)中, 短波长的紫外辐射, 主要在低纬度较高的平流层大气中, 因此, 臭氧在赤道地区产生的量最大。然而, 最大的臭氧柱总量却出现在高纬度的冬季和春季, 最低值则出现在热带地区。这要归因于平流层中的纬向环流, 其特征是在热带大气中的上升运动 and 在中高纬度的下沉运动。这种输送在冬/春季节最强, 并能说明中高纬度地区臭氧总量的季节特征。图 1-1 显示了显著的季节变化以及在高纬地区(挪威, 奥斯陆)臭氧总量逐日的剧烈变化; 而在赤道地区(乌干达, 坎帕拉)变化幅度要小得多。中高纬度大的逐日变化, 特别是冬春季节, 是由复杂的平流层动力活动以及大量光化学反应, 包括众多的化合物和反应形成的。

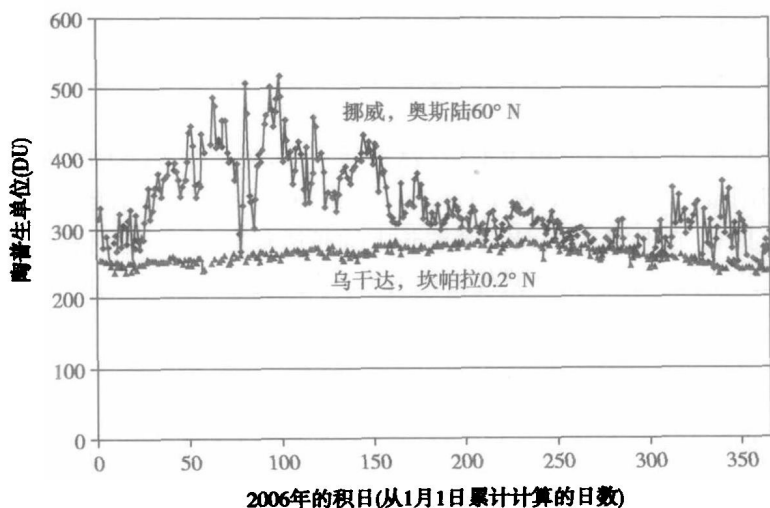


图 1-1 2006 年卫星在奥斯陆 (60°N) 和坎帕拉 (0.2°N) 测到的臭氧柱总量

不过总体来讲, 臭氧的数量还是很少的。然而, 平流层臭氧对于人类和其他生命相对于对流层臭氧来说, 则有很不相同的环境后果。因此, 臭氧的作用有好、坏之分。