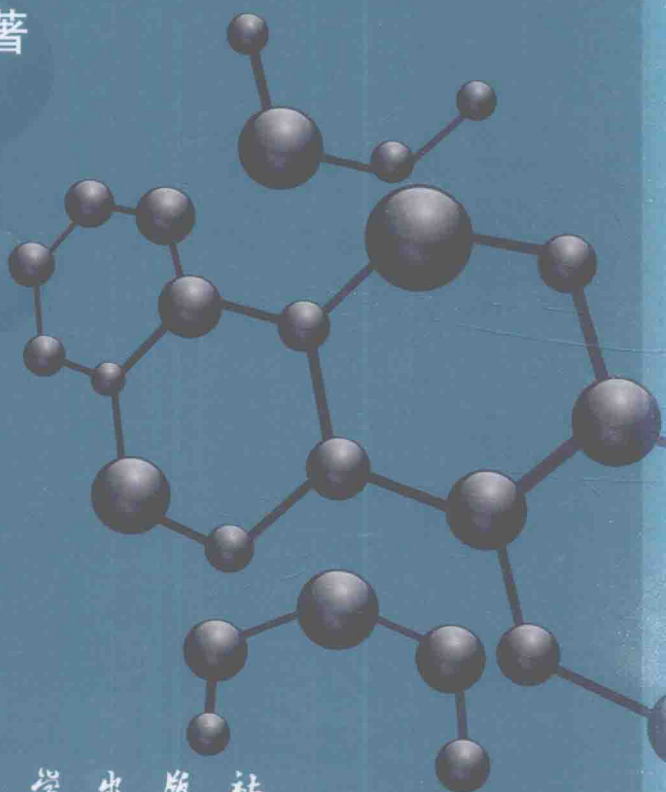


CHEMICAL ANALYSIS PRINCIPLES AND
TECHNICAL METHODS OF
ANTIOXIDANT CAPACITY

抗氧化容量化学分析原理 及技术方法

牛 利 韩冬雪 著



科学出版社

抗氧化容量化学分析原理 及技术方法

牛 利 韩冬雪 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书介绍和探讨了目前国内外现有生物抗氧化容量的分析测定方法及仪器应用等情况,逐一阐述了各个方法的检测原理和适用范围,并分析比较了其优势和局限性。同时深入介绍了新型基于光电化学的抗氧化容量分析方法,并从半导体材料的结构设计出发,合成了多种可有效模拟人体内源性自由基产生的光催化材料,以此为基础实现了总体抗氧化容量简单、快速的检测分析,并开展了包括食品、中药、化妆品等在内的多种实际体系的抗氧化容量检测。该技术方法可为食品加工、质检及中西医临床医学、药学药理分析研究等提供更为直接有效的分析方法和手段。

本书适用于食品科学、营养学、分析化学、生物化学等科学领域的研究生及质检、质监等领域的工作人员作为技术参考。

图书在版编目(CIP)数据

抗氧化容量化学分析原理及技术方案/牛利,韩冬雪著. —北京:科学出版社, 2016.11

ISBN 978-7-03-050414-2

I. ①抗… II. ①牛… ②韩… III. ①抗氧化剂—化学分析
IV. ①TQ047.1 ②O65

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 262750 号

责任编辑:杨 震 李 洁 / 责任校对:何艳萍

责任印制:张 伟 / 封面设计:铭轩堂

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京教图印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016 年 11 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2016 年 11 月第一次印刷 印张: 10 1/4

字数: 207 000

定价: 68.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

爱美和崇尚健康之心人皆有之，伴随着物质生活水平的提高，人们现在更加注重于内在的实质性提升。新陈代谢过程中，尤其是在有氧呼吸作用下，生物体内会产生大量的具有高氧化活性的物质。它们的存在是把双刃剑，浓度较低时，有利于维持机体的健康，如保持细胞氧化还原平衡、参与细胞间信号转导、调节人体免疫功能以及清除受损的组织等；浓度过高时，会造成脂质、蛋白质与 DNA 的氧化损伤，直接导致过度衰老和疾病，甚至是癌症的发生。食品营养学家发现，大多数天然果蔬中含有一类小分子抗氧化剂，如各种维生素、多酚类、类胡萝卜素等，可以与自由基反应，保护生物体免受氧化应激损害。因此对食品中抗氧化剂消除氧化活性物质的能力——抗氧化容量的测定和评价具有重要的意义。抗氧化容量是对被测体系整体的抗氧化成分清除自由基能力的一个量化，可为消费者的健康生活提供可靠的指南。

本书围绕生物体内的氧化-抗氧化平衡机制、氧化应激及内源/外源性抗氧化剂种类、反应机理及其分析测定方法展开论述，详细介绍了目前国内外现有的生物抗氧化容量分析检测方法和仪器手段，并对仪器系统技术特点、适用范围及性能指标等进行详细解读。目前常规的检测方式，如光谱法、电化学法和色谱法虽已在抗氧化测定上有诸多尝试，但都存在一定的局限性：光谱法主要以有色标准物质与氧化活性物质反应前后的颜色变化为测试依据，尽管其简单、廉价，但耗时较长且极易受背景颜色的干扰；电化学法中生物酶等保存条件苛刻，电极抗污性能差，导致检测数据缺乏重现性；色谱法仪器昂贵，前处理复杂，虽然可将被测体系中的抗氧化剂成分逐一区分并给出相关浓度信息，但由于抗氧化体系存在协同效应而无法实现真正意义上的抗氧化容量评价。由于人体内特殊的氧化活性物质及其相互作用，以及食品中抗氧化剂成分的多样性和复杂的相互作用机理，因此亟待建立一种低成本、简单快捷、灵敏度高的分析方法以克服以上不足。

光电化学传感是一种基于光生电流或光生电压响应的分析技术方法，兼具光谱法和电化学法的优点，已被用于检测多种分子，这种技术也为生物抗氧化容量的评估开辟了新途径。光电化学方法产生的自由基通常为 $\cdot\text{O}_2^-$ 、 $\cdot\text{OH}$ 等，与人体内源型自由基高度一致，能够更好地模拟人体内部的真实情况。其反应条件简单且更易于控制，可以不断重复产生自由基，对光电流的收集简单方便，不但可以

有效克服现有诸多方法的弊端，而且集前处理简便、检测速度快、灵敏度高、重现性和抗干扰性好等诸多优点于一身，因此在抗氧化容量测定及传感器研发方面显示出独特的魅力。本书详细介绍了基于光电化学方法的抗氧化容量分析研究及其仪器构建过程，探讨了激发光源、进样、光触发、电化学调制、检测方式等对于仪器系统设计和优化的影响，集成嵌入式控制、数据采集与处理和信息传输系统于一身的光电食品抗氧化容量分析仪可有效应用于诸多食品体系（包括天然水果、市售果汁、饮料、红酒、茶叶、咖啡等）的抗氧化容量分析测试，为相关标准的建立提供可靠依据。

本书的编写，既参阅了国内外相关专著和文献资料，也融入了课题组在抗氧化及光电化学领域多年来的研究结果，希望相关介绍可为人们的健康生活和食品质量监督监管提供一定的指导价值。本书编写过程中得到了天津科技大学刘继锋教授及本课题组多名研究生（马伟光、王玲楠、吴同舜）的大力协助，相关研究工作也得到了国家自然科学基金委员会科学仪器基础研究专款项目、面上项目、优秀青年科学基金项目等的支持，在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，疏漏与不当之处在所难免，殷切恳请广大读者给予批评和指正。



目 录

前言

第 1 章 氧化和抗氧化	1
1.1 生物体内氧化活性物质	1
1.2 氧化和抗氧化的平衡	4
1.3 氧化活性物质导致的疾病	8
1.3.1 心血管疾病	9
1.3.2 癌症	11
1.3.3 糖尿病	12
1.3.4 神经退行性疾病和其他疾病	14
参考文献	15
第 2 章 内源性和外源性抗氧化剂	17
2.1 内源性抗氧化剂	17
2.1.1 酶类抗氧化剂	17
2.1.2 非酶类抗氧化剂	19
2.2 外源性抗氧化剂	22
2.3 抗氧化剂的摄入	24
参考文献	25
第 3 章 光学方法测定抗氧化容量	26
3.1 氢原子转移方法 (HAT)	26
3.1.1 氧自由基吸收能力方法	26
3.1.2 总自由基捕捉抗氧化剂参数法	27
3.1.3 光化学发光法	27
3.1.4 LOO·漂白 β -胡萝卜素反应测定	28
3.2 单电子转移反应 (SET)	29
3.2.1 AO 还原铁离子 ($\text{Fe}(\text{III})$) 能力测定法	29
3.2.2 铜离子 ($\text{Cu}(\text{II})$) 还原比色法	29
3.2.3 二苯代苦味酰肼自由基猝灭法	30

3.2.4	ABTS 试剂脱色分析法	31
3.2.5	Folin-Ciocalteu (F-C) 抗氧化容量的测定	31
	参考文献	32
第 4 章	色谱方法测定抗氧化容量	37
4.1	抗氧化剂样品的富集与分离	38
4.1.1	提取方法	38
4.1.2	分离纯化方法	41
4.2	高效液相色谱法测定抗氧化剂	42
4.3	仪器联用技术测定抗氧化剂	45
	参考文献	48
第 5 章	电化学方法测定抗氧化容量	50
5.1	非自由基参与的电化学方法	50
5.1.1	电位法测定抗氧化容量	50
5.1.2	伏安法测定抗氧化容量	53
5.1.3	电化学发光法测定抗氧化容量	58
5.1.4	酶参与法测定抗氧化容量	60
5.2	自由基参与的电化学方法	62
5.2.1	自由基产生的方法	62
5.2.2	基于 DNA 损伤的抗氧化容量测定	64
5.2.3	基于超氧化物歧化酶和细胞色素 c 等含铁蛋白的抗氧化容量测定	66
5.3	几种电化学测定方法实例	68
5.3.1	电位法测定抗氧化剂的抗氧化容量	68
5.3.2	伏安法测定抗氧化剂的抗氧化容量	74
5.3.3	DNA 损伤法测定抗氧化剂的抗氧化容量	83
	参考文献	88
第 6 章	光电化学方法测定抗氧化容量	95
6.1	半导体光电化学基础理论	95
6.1.1	导体、半导体、绝缘体的能带	95
6.1.2	半导体中杂质和缺陷能级	96
6.1.3	带边位置	99
6.2	半导体带隙的功能化	100
6.2.1	半导体掺杂	100

6.2.2 形成固溶体·····	104
6.2.3 半导体复合·····	106
6.3 半导体光电化学检测基本原理·····	108
6.4 几种光电化学抗氧化容量传感器的研制·····	112
6.4.1 光电化学单个抗氧化剂抗氧化容量测定·····	112
6.4.2 光电化学平台总抗氧化容量的测定·····	121
参考文献·····	131
第7章 抗氧化容量分析仪器 ·····	134
7.1 光学试剂盒法·····	135
7.1.1 浴铜灵检测试剂盒·····	135
7.1.2 ABTS 抗氧化测定试剂盒·····	137
7.1.3 生物酶检测方法·····	138
7.2 发光抗氧化容量检测仪·····	139
7.3 电位法抗氧化容量检测仪·····	146
7.4 光电化学抗氧化容量检测仪·····	148
参考文献·····	152
展望 ·····	154

第 1 章 氧化和抗氧化

氧气是一个有危险性的朋友，尽管自然界中需氧生物的生长繁殖都离不开它，但不得不正视的是有氧呼吸过程中自由基和氧化应激严重影响着人类的健康和寿命。

自由基，又称游离基，是指含有奇数个自由存在的不成对电子的原子或分子。大量的自由基均源自生物体新陈代谢，其特点是性质活泼，不稳定，易引起连锁反应生成新的自由基或氧化物，具有顺磁性，寿命短。为了维持机体的正常运转，体内产生的水溶性或者脂溶性的抗氧化剂（antioxidant, AO）能有效地消除自由基的活性，确保氧化应激和氧化防御的平衡（图 1.1）。当机体的抗氧化机制不以最佳状态运行时，过剩的自由基将会损害各种生物分子，包括脂质、蛋白质、碳水化合物和核酸，进而导致各器官的衰退和疾病。

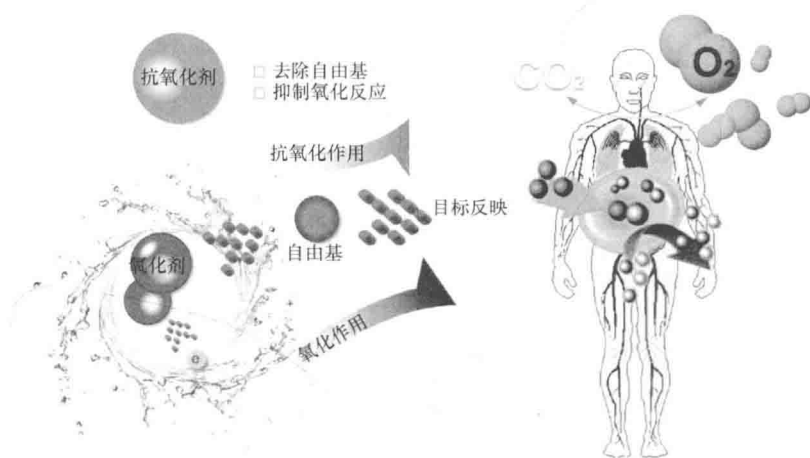


图 1.1 机体内的氧化与抗氧化作用

1.1 生物体内氧化活性物质

生物体内氧化活性物质是需氧细胞呼吸、代谢以及线粒体电子传递链过程产生的一类具有强氧化性的物质，从种类上可分为活性氧（reactive oxygen species, ROS）和活性氮（reactive nitrogen species, RNS）。

ROS 包括含氧中性分子（如 H_2O_2 、单线态氧、次卤酸）、含氧自由基（如羟基自由基、过氧化氢自由基、烷基过氧自由基和脂肪族烷氧自由基）和含氧离子

(如超氧化物阴离子)。生物进化进程中, 氧气被选定为呼吸的末端电子受体。虽然氧气是双游离基, 但其两个未配对电子处于相同的自旋方向上, 因此氧气本身不具有危险性。氧中性分子中, H_2O_2 是一种可渗透细胞膜的、相对稳定的活性物质, 大多由过氧化物酶体产生。 H_2O_2 不能直接伤害脂质或 DNA, 但能与体内金属离子(如铜离子、亚铁离子)通过 Fenton 反应形成复合物产生活性较高的羟基自由基。另外, 中性粒细胞中的过氧化物酶可催化 H_2O_2 与生理浓度氯化物反应生成次氯酸。在生命的基本过程呼吸作用中, 消耗的约 2% 的氧气会转化成超氧阴离子^[1]。超氧化物的半衰期与其他自由基相比较长, 但生物活性远不如羟基自由基。超氧化物阴离子在水中若发生歧化反应, 可得到电子激发的单线态氧。事实上, 羟基自由基或超氧化物阴离子能够与周围的生物分子作用, 发生连锁反应, 得到过氧化氢自由基、烷基过氧自由基和脂肪族烷氧自由基等, 其均在诱导氧化应激中起着重要作用^[2]。活性氧自由基的产生及转化过程如图 1.2 所示。

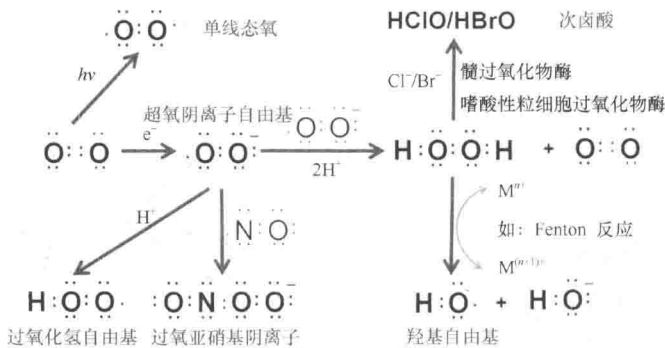


图 1.2 活性氧自由基的产生及转化

资料来源: Evans M D, Cooke M S. 2004. Factors contributing to the outcome of oxidative damage to nucleic acids. BioEssays, 26: 533-542.

RNS 则主要以一氧化氮 (NO) 及其衍生出的一系列具有高度氧化活性的含氮自由基和硝基类化合物 (如 $\text{ONOO}^{\cdot}$ 、 HOONO) 的形式存在。NO 是由 L-精氨酸通过不同类型的一氧化氮合酶 (NOS) 生成。NO 不仅可以与一些分子反应得到相关的活性氮, 而且可以与过渡金属如铁离子结合, 在第二信使环鸟苷酸的生成中扮演重要的角色^[3]。哺乳细胞中包含三种基因编码的 NOS (NOS1, NOS2 和 NOS3), 这三种同分异构体间有 51%~57% 的基因同源。鉴于 NOS1 (也称 nNOS, 首次从神经细胞纯化而来) 和 NOS3 (也称 eNOS, 首次从内皮细胞纯化而来) 各自从神经和内皮细胞不断地进行基因表达, 故而被看成是基本形式的 NOS。当组织中钙离子浓度增加时, NOS1 和 NOS3 被激活, 产生瞬态低浓度的 NO。相比而

言, NOS2 是不依赖钙离子的可诱导的 NOS (也称 iNOS) [4]。有炎症发生时, 伴随着 iNOS 的诱导合成, 将导致过剩的 NO 生成, 这对组织有较大损伤。更为严重的是, 过量的 NO 与超氧化物反应生成有剧毒的过氧亚硝基, 能氧化脂质、蛋白质和 DNA, 加剧机体损伤的可能性。

从氧化活性物质的形成方式上说, 其包含内源性和外源性两种不同形成方式:

内源性的氧化活性物质 (图 1.3) 源于: ①线粒体中的呼吸链过程, 这是自由基产生的主要来源。②生物分子的自动氧化, 诸如血红蛋白、肌红蛋白和儿茶酚胺等在体内可以产生超氧化物。③酶促反应, 类似黄嘌呤氧化酶、脂氧合酶、醛氧化酶等参与的反应则是自由基一大重要来源。④突发性的呼吸, 此时, 吞噬细胞如白细胞在吞噬作用下会消耗大量的氧气, 通过免疫防御产生超氧化物和 H_2O_2 。⑤体内微量的金属离子与 H_2O_2 反应。⑥剧烈运动可激活黄嘌呤氧化酶, 产生过量的自由基, 增加了氧化压力。⑦感染情况下, 免疫系统为了抵抗入侵的微生物会爆发式生成自由基。⑧局部缺血或者再灌注时, 也可激活黄嘌呤氧化酶, 促进氧化活性物质形成。

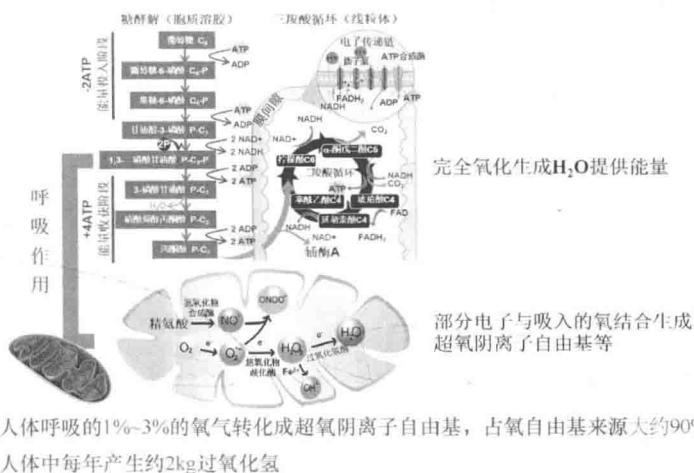


图 1.3 内源性活性氧/氮自由基形成

资料来源: Evans M D, Cooke M S. 2004. Factors contributing to the outcome of oxidative damage to nucleic acids. *Bio Essays*, 26: 533-542; Halliwell B. 1994. Free radicals, antioxidants, and human disease: Curiosity, cause, or consequence? *Lancet*, 344: 721-724.

相比而言, 外源性的氧化活性物质 (图 1.4) 来自于: ①大气污染, 包括一次污染和二次污染。一次污染指最初产生的大气污染物, 二次污染则指一次污染物在大气中发生反应后的生成物。常见的污染物有 O_3 、氮的氧化物 (如 N_2O 、NO)、 SO_2 、CO、挥发性有机物 (如甲烷、苯、二甲苯和氯氟烃)、 NH_3 、微粒物和重金

属（如 Pb、Cd、Cu、Sb、Hg、Cr、Co 和 Sr）。人暴露在污染的空气里，会破坏体内的氧化平衡，引发各种疾病。②空气中的无机粒子，特别是在含有细矿物微尘（如石英、 SiO_2 和石棉纤维）的工作环境中更易导致氧化应激损伤。③吸烟，烟草烟雾中含有大量的自由基和氧化剂，进入人体后会对组织和器官中关键的生物分子带来负面影响，同时，也会活化炎症细胞，进一步导致额外的氧化应激。④某些药物，即镇痛药（如阿司匹林和非那西汀）、抗癌药（如甲氨蝶呤、博来霉素、阿霉素和拓扑异构酶抑制剂等）、免疫抑制剂（如环孢霉素 A、霉酚酸、西罗莫司和他克莫司等）、抗疟药（如氯喹、甲氟喹、伯氨喹和扑疟喹啉等）、抗生素（如氯霉素、环丙沙星、莫西沙星、萘啶酸、诺氟沙星、氧氟沙星、磺胺醋酰、复方新诺明、磺胺嘧啶、磺胺、柳氮磺胺吡啶和磺胺异恶唑片）、抗结核药（如对氨基水杨酸和氨苯砒）、抗逆转录病毒药物（如茚地那韦、阿扎那韦和叠氮胸苷）、利尿剂（如安体舒通）、麻醉剂（如可卡因和苯丙胺等）以及乙醇，都会诱发体内氧化活性物质超出正常范围。⑤氯仿、四氯化碳等工业溶剂的吸入可能会激活负责肝脏代谢的细胞色素 P450^[5]，导致氧化活性物质失衡。⑥长时间处于日光浴下，尤其是紫外线辐射中会引起皮肤的氧化应激，造成机体功能障碍。

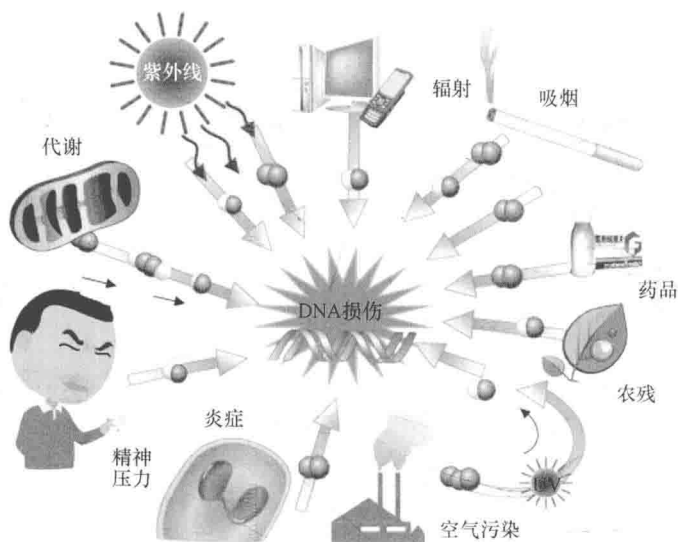


图 1.4 外源性活性氧/氮自由基形成

1.2 氧化和抗氧化的平衡

氧化活性物质的存在是把双刃剑，对机体既是必需的，但同时也表现出毒性

效应(图 1.5)。一般情况下,氧化活性物质的生成和清除处于动态平衡中,适当浓度的 ROS 和 RNS 有利于机体的正常运转。



图 1.5 自由基作用的两面性

资料来源: Valko M, Leibfritz D, Moncol J, et al. 2007. Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. *Int J Biochem & Cell Biology*, 39: 44-84; Dröge W. 2002. Free radicals in the physiological control of cell function. *Physiol Rev*, 82: 47-95.

氧化活性物质的正面作用主要表现为: ①保持正常氧呼吸代谢过程, 调节细胞氧化还原平衡。②对细胞信号转导有积极作用。高等生物所处的环境无时无刻不在变化, 机体功能上的协调统一要求有一个完善的细胞通信机制, 实现细胞彼此间沟通或者识别周围环境中存在的各种信号, 并经细胞内信号转导系统转换, 从而改变细胞内的某些代谢过程, 影响细胞的生长速度, 甚至诱导细胞的死亡。研究表明, 大多数类型的细胞当受到细胞因子、生长因子、各种白细胞介素、肿瘤坏死因子 α 、血管张力素 II、血小板生长因子、神经生长因子、血清转化生长因子 $\beta 1$ 、粒细胞-巨噬细胞集落刺激因子和纤维母细胞生长因子的刺激时, 会有一个小的氧化爆发, 产生低浓度的 ROS。因此, ROS 作为第二信使在信号转导的启动上发挥了一定的作用^[6]。③调节机体免疫功能。有炎症或者病原体入侵时, 免疫细胞开启防御功能, 爆发式产生大量的 ROS 用于杀灭细菌和寄生虫等。④清除受损组织。自噬是一个吞噬自身细胞质蛋白或细胞器并使其包被进入囊泡, 与溶酶体融合形成自噬溶酶体, 降解其所包裹的内容物的过程, 借此实现细胞本身的代谢需要和某些细胞器的更新。而 ROS 作为诱导自噬的信号分子, 参与多种诱导自噬的信号途径, 在自噬的形成过程中起着重要作用^[7]。⑤引发细胞有丝分裂过程。图 1.6 列举了三种典型的 ROS 产生渠道。

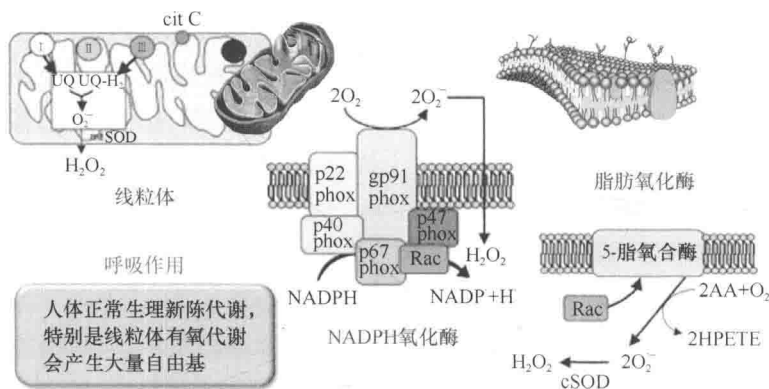


图 1.6 三种典型的 ROS 产生渠道，在体内正常呼吸过程中起着不可或缺的积极作用

氧化活性物质的正面作用，以肝脏对外来毒物解毒为例（图 1.7），肝微粒体细胞色素 P450 催化下可对各类毒物起羟化作用，连接于细胞色素上的 $O_2^{\cdot -}$ 自由基是真正起羟化作用的物质。肝脏解毒功能：在机体代谢过程中，门静脉收集自腹腔流来的血液，血中的有害物质及微生物抗原性物质，将在肝内被解毒和清除。肝脏是人体的主要解毒器官，它可保护机体免受损害，使毒物转换为比较无毒的或溶解度大的物质，随胆汁或尿液排出体外。肝脏解毒主要有四种方式：①化学方法：如氧化、还原、分解、结合和脱氧作用。氨是一种有毒的代谢产物，它的解

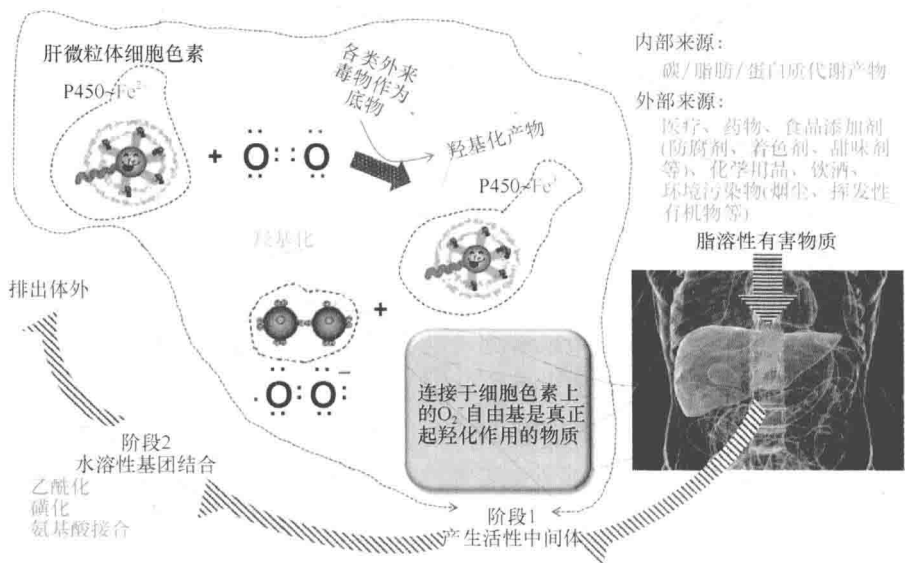


图 1.7 肝脏解毒过程中的自由基作用

毒主要是通过肝内合成尿素，随尿排出体外。有毒物质与葡萄糖醛酸、硫酸、氨基酸等结合可变成无毒物质。②分泌作用：一些重金属如汞，以及来自肠道的细菌，可随胆汁分泌排出。③蓄积作用：某些生物碱如土的宁、吗啡等可蓄积于肝脏，然后肝脏逐渐小量释放这些物质，以减少中毒过程。④吞噬作用：如果肝脏受损时，人体就易中毒或感染，肝细胞中含有大量的肝巨噬细胞，有很强的吞噬能力，起到了吞噬病菌保护肝脏的作用。

当氧化活性物质浓度偏高时，其危害就显现出来，如降低酶生物活性、损伤组织或细胞结构、破坏基因结构和细胞功能、诱发基因变异等。至此，人体内部完整的抗氧化防御系统开始运转，最大限度地降低氧化活性物质的生成速率及对组织的氧化损伤程度。该防御体系包含不同水平的功能：预防性、阻断性和修复性水平层次。预防性层次指可直接清除游离型自由基，防止其产生自由基反应；阻断性层次指中和还原，阻断 ROS 的生成链式反应；修复性层次指对受损的蛋白质和 DNA 等进行修复。按抗氧化结构和作用机制来分类，人体抗氧化系统可归纳为初级抗氧化防御系统和二级抗氧化防御系统。初级抗氧化防御系统主要针对游离型的氧化活性物质进行清除或中和还原，消除对细胞的毒害效应。这一系统进一步形成了酶类抗氧化系统及非酶类抗氧化系统。其中，酶类抗氧化系统主要由超氧化物歧化酶（SOD）、过氧化氢酶（CAT）、谷胱甘肽过氧化物酶（GPx）和过氧化物酶（POD）等组成，是人体的第一道抗氧化防线。而非酶类抗氧化系统则依赖于脂溶性抗氧化剂（如维生素 E、类胡萝卜素、辅酶）、水溶性抗氧化剂（如维生素 C、谷胱甘肽）、蛋白类抗氧化剂（如铁蛋白、转铁蛋白、乳铁蛋白、铜蓝蛋白和金属硫蛋白）、低分子量化合物（如尿酸盐）、褪黑素、植物化学物质（如酚类、萜类、植物纤维、天然色素和部分中药成分）等，共同筑成体内第二道防线，它们大部分通过体外摄取而得。二级抗氧化防御系统，又称抗氧化修复系统，主要用于修复氧化受损的蛋白质和 DNA，同时又囊括机体的解毒系统、膜修复和再生系统。蛋白质的修复分为两种方式：修复或者降解已损坏的分子。研究表明，在含有谷胱甘肽或硫氧还蛋白体系中，可实现蛋白质硫醇基团的直接修复。除此之外，在蛋氨酸硫氧化物还原酶或蛋氨酸还原酶存在的条件下，蛋氨酸亚砷得到直接修复还原成蛋氨酸。然而，蛋白质的修复是有限的，主要依靠水解酶和蛋白酶体对氧化修饰的蛋白质进行分解代谢。被氧化的脂质也只能氧化代谢成无毒分子。相比而言，对 DNA 损伤的修复机制比较健全（图 1.8 为氧化应激导致 DNA 损伤的示例），有错配修复、直接修复、切除修复、重组修复、应急反应（SOS response）和易错修复。人体的

抗氧化防御系统是一个有机的整体,各防线层次上相互协作、相互依存与补充。二级抗氧化防御系统效用的发挥依赖免疫系统和初级抗氧化防御系统的正常运作。初级抗氧化防御体系中,微量元素硒是含硒的 GPx 的辅因子,与其结构和功能密切相关;铜、锰、锌是 SOD 的必需成分。因此,非酶类抗氧化系统的材料支撑与供应为酶类抗氧化系统功能的正常发挥奠定了有利的基础。从这一角度来看,适度的膳食补充体液中抗氧化物质的浓度,对提升生命质量、延缓衰老具有重大意义。

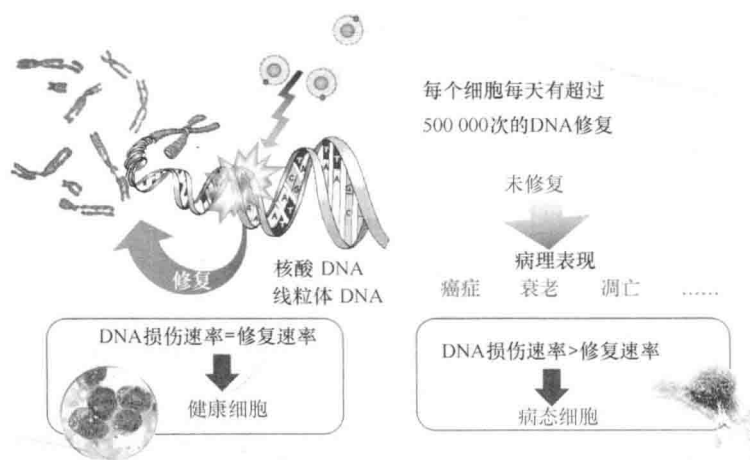


图 1.8 氧化应激导致 DNA 损伤

1.3 氧化活性物质导致的疾病

尽管工业文明的发展丰富了我们的物质精神生活,但是伴随而来的副作用,即环境污染(水、大气污染,臭氧层的破坏,离子辐射等)、不良的生活习惯(超量剧烈运动、抽烟酗酒、精神压力、摄入垃圾食品等)与病理因素(炎症、细菌感染、创伤、药物滥用等),造成了氧化活性物质的快速积累。同时,伴随着年龄的增长,体内自由基清除机制呈退化趋势,不能及时有效地发挥作用。在双重负面效应下,氧化活性物质严重超标,人体氧化和抗氧化的平衡被打破。大量生成的氧化活性物质遍布机体各个部位,游离于生物大分子间,进一步引发连锁反应,这样的状态也称氧化应激。当身体处于循环加重的氧化应激状态下,疾病可能随之而来(图 1.9)。



图 1.9 由体内自由基失衡引起的疾病

氧化应激的概念最早源于人类对衰老的认识。20 世纪 50 年代中期, 美国的 Harman 教授首次提出自由基衰老学说, 该学说认为自由基 (free radical) 攻击生命大分子造成组织细胞损伤, 是引起机体衰老的根本原因, 也是诱发肿瘤等恶性疾病的重要起因。1990 年美国衰老研究权威 Sohal 教授指出了自由基衰老学说的种种缺陷, 并首先提出了氧化应激的概念。

氧化应激是指机体在遭受各种有害刺激时, 体内高活性分子如活性氧 (reactive oxygen species, ROS) 和活性氮 (reactive nitrogen species, RNS) 产生过多, 氧化程度超出氧化物的清除, 氧化系统和抗氧化系统失衡, 从而导致组织损伤。

1.3.1 心血管疾病

心血管疾病是心脏血管和脑血管疾病的统称, 泛指高脂血症、血液黏稠、动脉粥样硬化、高血压等导致的心脏、大脑及全身组织发生缺血性或出血性疾病。心血管疾病是全球的头号死因, 2012 年有 1750 万人死于心血管疾病, 占全球死亡总数的 31%。仅美国, 每年将近有 50 万人因心肌梗死死亡^[8]。1948 年, 对参与弗雷明汉心脏研究的 5209 名男性与女性资料进行搜集, 除血脂异常外, 总结出其他重要的影响心血管疾病的风险因素, 具体的研究结果在表 1.1 中列出。