

doi:10.16055/j.issn.1672-058X.2022.0006.003

食物抗氧化剂预防 ROS/RNS 氧化损伤疾病研究进展

任建敏

(重庆工商大学 环境与资源学院, 重庆 400067)

摘要:ROS/RNS 是人类正常代谢的产物,有重要的生理活性,但高浓度时会产生氧化应激,引起癌症、心血管与肺部、高血压、神经退行性、糖尿病、呼吸道感染、类风湿性关节炎、白内障等氧化损伤疾病。为了预防疾病,促进健康,结合大量文献,概述了人体 ROS/RNS 来源及与疾病的关系。介绍了常见食物抗氧化剂如酚类化合物、维生素 E、类胡萝卜素及维生素 C 等,探讨了不同结构的抗氧化物质清除自由基、抗氧化机制。酚类化合物是人类饮食中广泛存在的抗氧化组分, β -类胡萝卜素为维生素 A 原,维生素 E 为脂溶性、断链抗氧化剂,能保护细胞膜的完整性。维生素 C 为水溶性,其自由基歧化速度远高于与其他生物分子如蛋白质、氨基酸、DNA 脂质等反应。它们与人体抗氧化系统,形成可逆的抗氧化防御,使人体生物大分子免受氧化损伤。提示人们养成好的膳食习惯,有利于提高生活质量。

关键词:ROS/RNS; 疾病; 抗氧化剂

中图分类号:TS201.2

文献标志码:A

文章编号:1672-058X(2022)06-0022-08

0 引言

O 是元素周期表二周期 VI 主族元素,在大气层中多以稳定的三线双自由基($^3\text{O}_2$)基态存在,两个未配对电子,以自旋平行存在于两个独立的反键轨道,是电负性第二大元素,易从大多数元素中得到电子,形成氧化物^[1-2]。

在自然界包括人等有氧生命,通过使用 $^3\text{O}_2$ 对摄入营养物质进行系列高度整合的氧化还原和酶反应,将电子从一个原子转移到另一个原子,O 是电子流系统中最终电子受体,以 ATP 的能量形式供生命活动所需,是其物质代谢与能量代谢的重要部分^[3]。

然而,当电子流变成未配对、产生自由基或其他活性氧(ROS)与活性氮(RNS)时,生理浓度 ROS/RNS 在调节生物体内许多依赖性氧化还原信号传导过程,发挥重要作用^[4],但高浓度 ROS/RNS 产生氧

化应激反应,导致慢性炎症,引起包括癌症、心血管与肺部疾病、高血压、神经退行性、白内障和自身免疫等氧化损伤疾病^[5]。近年来,随着人们对疾病与衰老的发生、发展机制不断深入研究,重视食物中抗氧化剂等营养物质的摄入,对预防疾病,提高生活质量,减少公共医疗费用,已引起各国相关研究者的极大关注。

1 人体 ROS/RNS 来源与作用

人体经呼吸大气层 $^3\text{O}_2$,在线粒体 O_2 运输链末端细胞色素氧化酶上四步单电子还原,历程见图 1^[6]:

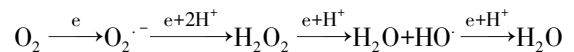


图 1 O_2 四步单电子还原

Fig. 1 4-step single-electron reduction of O_2

O_2 接受单电子生成 $\text{O}_2^{\cdot-}$,接受双电子生成 O_2^{2-} 或 H_2O_2 ,终产物大部分生成 H_2O ,约有 1%~3%以

收稿日期:2021-08-10;修回日期:2021-09-30.

作者简介:任建敏(1964—),男,重庆市人,博士,教授,从事天然药物与食品营养方面研究.

$O_2^{\cdot-}$ 、 HO^{\cdot} 、 H_2O_2 ,作为呼吸代谢的正常产物^[6-7]。

人体的 ROS,包括 $O_2^{\cdot-}$ 、 HO^{\cdot} 、 ROO^{\cdot} 、 RO^{\cdot} 和 1O_2 、 H_2O_2 等, $O_2^{\cdot-}$ 发挥了中心作用,其他 ROS/RNS 是在 $O_2^{\cdot-}$ 开始的反应顺序中形成。

HO^{\cdot} 是 OH^- 的中性形式。内源性 H_2O_2 在紫外光或高能辐照下裂解,或过渡金属离子催化,易形成 HO^{\cdot} 。小胶质细胞和巨噬细胞在接触到非常特定的病原体 and 某些细菌时,作为免疫作用,易产生这种 ROS。当免疫细胞过度激活, HO^{\cdot} 对邻近健康细胞有损伤与毒副作用^[6]。

$O_2^{\cdot-}$ 、 HO^{\cdot} 等自由基作用细胞脂质,引发多不饱和脂肪酸失去 H,生成 ROO^{\cdot} ^[8]。 ROO^{\cdot} 在生物系统中有相当长的扩散路径,自由基传递产生 RO^{\cdot} 和 $ROOH$ 。后者经重排成内过氧化物中间体,裂解生成醛,醛与蛋白质胺基反应,被认为是脂蛋白部分修饰的一种机制^[9]。

据报道, HO^{\cdot} (半衰期为 $10^{-9}s$) 和 RO^{\cdot} 非常活跃,迅速攻击生成位点附近的蛋白质、多糖和核酸等^[4]。 H_2O_2 是一种非自由基 ROS,极易在活细胞间扩散,被 H_2O_2 酶有效地转化为 H_2O 与 O_2 。一些证据表明 H_2O_2 通过核因子和载脂蛋白-1 途径参与信号转导,调节基因表达^[10]。

3O_2 在辐射能与光敏剂作用下,产生单线态高活性 1O_2 ,因其偏好与共轭双键反应,优先攻击细胞 DNA 碱基中的多不饱和脂肪酸或鸟嘌呤^[11]。还可以通过传递激发能或化学结合的方式与生物体其他分子相互作用^[12]。紫外线照射引起的皮肤损伤、光动力治疗癌症,都与高活性 1O_2 产生细胞毒性有关^[13]。

ROS 与酶作用于精氨酸,代谢产生 NO^{\cdot} 并转化成各种其他 RNS。 NO^{\cdot} 能放松血管壁平滑肌,从而降低血压。由活化的巨噬细胞产生的 NO^{\cdot} ,有助于初级免疫防御。过量的 NO^{\cdot} 有细胞毒性,直接与生物分子反应,与 $O_2^{\cdot-}$ 结合形成过氧亚硝酸根 ($ONOO^-$)^[14]。在正常的生理条件下, $ONOO^-$ 发挥着重要的生理功能,如 $ONOO^-$ 通过硝化络氨酸残基起到信号传导作用,对入侵的病原体起免疫作用,保护神经元免于凋亡,而且对维持细胞内氧化还原平衡,起着至关重要的作用。

但长期的高浓度 $ONOO^-$ 应力,诱导脂蛋白中的脂质过氧化,还可能通过硝化蛋白质中的酪氨酸残

基,干扰细胞信号传导^[15]。由于其氧化性质, $ONOO^-$ 破坏细胞内的多种生物大分子,包括蛋白质和 DNA,直接与富电子基团如硫醇锌盐、铁硫蛋白和酪氨酸磷酸酶的活性位点巯基发生反应^[16]。

在人体内,大多数低水平 ROS/RNS 是正常有氧代谢产物,在线粒体内通过黄嘌呤氧化酶、过氧化物酶体、吞噬作用、信号处理、局部缺血、花生四烯酸途径和体育锻炼形成。同时,环境污染物、吸烟、辐射、药物、臭氧、杀虫剂和工业溶剂,也是促进 ROS/RNS 产生的外部因素。因其活性高,它们通过给电子、接受电子、还原与氧化自由基、抽氢、自湮灭、加成和歧化反应等,与生物体大分子反应^[17],以发挥不同的生理与病理作用。

2 ROS/RNS 与疾病

ROS/RNS 是发挥生物功能还是引起疾病和衰老,取决于其在体内产生和清除的平衡。人体 ROS/RNS 保持平衡,或体内氧化和还原维持平衡,身体才能健康。生物体包括人类在漫长的进化中,建立了有效的酶促抗氧化和非酶促抗氧化防御系统,来维系这一平衡。

如果 ROS/RNS 产生过多或自身清除 ROS/RNS 能力下降,体内多余的 ROS/RNS 会损伤细胞成分,即“氧化应激”。氧化应激使一系列细胞功能失调,破坏重要的生物大分子,如 DNA、脂类、蛋白质、多不饱和脂肪酸和碳水化合物,最终导致疾病^[18-19]。

20 世纪 80 年代以来,越来越多的研究发现:人类最常见的疾病如癌症、心血管与肺部疾病、高血压、神经退行性疾病、糖尿病、呼吸道感染、类风湿性关节炎、白内障以及衰老,无一不与 ROS/RNS 密切相关。动脉粥样硬化,血栓的形成,心肌缺血再灌注损伤,糖尿病的发生、发展,ROS/RNS 均起着重要作用;致癌,促癌和癌形成的每一步都有 ROS/RNS 的产生和参与。在免疫反应的炎症中,巨噬细胞呼吸爆发释放大量 NO 和 ROS^[20,21]。

在机体自身抗氧化防御难以清除过量 ROS/RNS 的情况下,从膳食摄入抗氧化剂,帮助体内维持细胞稳态,可降低 ROS/RNS 对人体的危害^[22-23],预防与减轻疾病。

3 食物中常见抗氧化剂与预防疾病

食物中抗氧化剂存在于食用植物的各个部位,包括水果、蔬菜、种子、坚果、叶子、根和皮。植物在正常代谢过程中产生大量的次生代谢产物,如类黄酮、精油、生物碱、木酚素、萜类、生育酚、酚酸、多肽、有机酸等。这些代谢物在保护植物免受不良影响,起着重要作用。

食物中最突出的抗氧化剂有维生素 C、维生素 E、类胡萝卜素和酚类化合物。除维生素 C 外,这些抗氧化剂的每一类都由许多结构不同的化合物组成,在饮食中不同结构的化合物可能有多种生理功能与协同抗氧化作用^[9]。

3.1 酚类化合物

酚类化合物存在于几乎所有的植物、微生物、真菌,甚至动物组织中^[24]。大多数酚类化合物是人类饮食的组成部分,具有抗氧化、抗癌、抗诱变、抗菌、抗炎和其他生物学特性。最广泛存在的植物酚类化合物包括酚酸、类黄酮、单宁、木酚素和萜烯^[25-26]。

3.1.1 酚酸

酚酸是芳香族羧酸的羟基衍生物,由苯甲酸或肉桂酸组成,如对羟基苯甲酸、3,4-二羟基苯甲酸、香草酸、丁香酸、对香豆酸、咖啡酸、芥子酸、绿原酸、迷迭香酸等^[27]。

酚酸及其衍生物的抗氧化活性,取决于芳香环上羟基的数量、位置以及取代基的类型^[6,28]。肉桂酸具有清除 ROS/RNS、抵御紫外线、抗病毒和抗菌等多种生物活性^[27]。广泛存在于谷物、豆类、油籽、水果和蔬菜中。

羟基肉桂酸的抗氧化活性明显高于羟基苯甲酸,这是由于肉桂酸结构的 $-\text{CH}=\text{CH}-\text{COOH}$ 通过环上的双键共轭,增强了稳定自由基的能力。苯酚主结构中不同取代基的存在调节其抗氧化性能,特别是其供氢能力,单酚不如多酚的抗氧化能力^[29]。

近年研究:酚酸抗氧化剂清除自由基和抗氧化活性,由酚-OH 数量决定。在邻位或对位引入-OH 增加了清除自由基和抗氧化活性。甲氧基取代,大大提高了单酚类化合物的抗氧化效果,酸性酚的抗氧化性能更高。但糖基经与酯化降低了其活性,如

绿原酸不如咖啡酸有效。

据报道,根据偏好和饮食习惯,人类饮食中酚酸的平均摄入量为 200 毫克/天^[30]。酚酸以酯、糖苷和不溶结合物形式,约占膳食酚的 30%^[31]。水果和蔬菜中酚酸的摄入,对冠心病、中风和癌症等氧化损伤疾病^[32]和青光眼有保护作用^[27]。

3.1.2 类黄酮

类黄酮是一种环化的二苯丙烷多酚类化合物。已从植物的叶子、茎、根、果实或种子等几乎所有部位分离出了 8 000 多种多酚化合物,其中包括 4 000 多种类黄酮^[33]。

类黄酮及衍生物具有典型的 $\text{C}_6-\text{C}_3-\text{C}_6$ 碳骨架(图 2),一般都是 2-苯基色酮母体化合物的衍生物。化学结构和分子中不同部分的相对定位决定其生化过程^[26]。其结构基团决定类黄酮清除自由基和抗氧化性:B 环邻苯二酚、C 环 2,3 双键与 4-羰基共轭及 3 和 5 的位置-OH 的存在,即与金属离子螯合的羟基和羰基的排列、与自由基结合的氢或供电子取代基的存在,以及使未配对电子离域易于形成稳定苯氧自由基结构,均有利于清除过量的 $\text{ROO}\cdot$ ^[34]、 $\text{O}_2^{\cdot-}$ ^[35]、 $^1\text{O}_2$ ^[36]、 $\text{HO}\cdot$ 、 $\text{NO}\cdot$ 等 ROS/RNS。

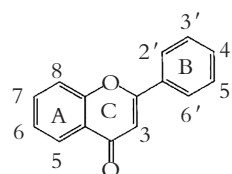


图 2 类黄酮骨架结构

Fig. 2 Skeleton structure of flavonoids

类黄酮广泛存在于植物性食物如水果、蔬菜和植物类饮料中,多以糖苷形式存在^[37]。常见有芹菜素、白桦素、木犀草素、橡精、杨梅素、槲皮素、山柰素和桑椹素等。

人类膳食中,每日摄入几百毫克类黄酮,通过减少低密度脂蛋白的氧化,预防心血管疾病、糖尿病等,调节各种酶活性和与特定受体的相互作用^[38]。内黄酮茶多酚、银杏黄酮、大豆异黄酮等对帕金森病、老年痴呆症、心脑血管病有明显预防和治疗作用^[39]。

3.1.3 维生素 E

维生素 E 是生育酚的总称,由芳香端基色满环和亲脂性类异戊二烯侧链组成的一种两亲性酚类化合物(图 3,图 4),R 为 H 或 CH_3 ,其数量和位置的

不同,构成 α -、 β -、 γ -或 δ 4 种生育酚和 4 种生育三烯醇 8 种异构体。带-OH 基的色满环,可提 H 供自由基还原,疏水侧链能渗透到生物膜^[40]。

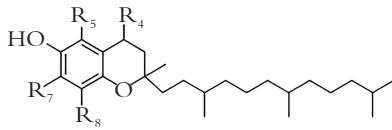


图 3 生育酚结构

Fig. 3 The structure of tocopherol

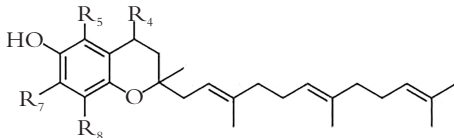


图 4 生育三烯酚结构

Fig. 4 The structure of tocotrienols

α -生育酚是人体中最有效、最丰富的异构体,提供酚氢给 $\text{ROO}\cdot$ 形成生育酚氧自由基,以稳定过氧化物,或还原为生育醌和生育酚二聚体,阻止脂质进一步过氧化。维生素 E 是血浆、红细胞和组织中主要脂溶性、断链抗氧化剂,能保护脂质结构,主要是细胞膜的完整性^[17]。

维生素 E 存在于几乎所有的食物中,含量最高的食物主要是植物油,其次是坚果和种子,包括全谷物还有抗炎、免疫调节等功能,以预防心血管疾病、糖尿病和神经性疾病等作用^[41]。

3.1.4 木脂素

木脂素是一类由两分子苯丙素衍生物(即 C_6 - C_3 单体)聚合而成的天然酚化合物,存在于植物界和人类食物中,通常是二聚体,少数以糖苷形式存在。

含木脂素食物有谷物类(如黑麦,小麦,燕麦,大麦等)、亚麻籽、芝麻、大豆、十字花科植物和一些水果(如草莓)。木脂素属于植物雌激素,能结合雌激素受体,并干扰癌促效应。有清除体内自由基、抗氧化、抗癌、神经保护作用。通过食物摄入较高木脂素的乳腺癌患者,有更好的生存机会,并能减少肿瘤生长^[42]。

3.1.5 鞣质

又称单宁,是酚酸或其衍生物与葡萄糖或多元醇主要通过酯化形成的多酚,广泛分布在植物与人类食物如香蕉、葡萄、高粱、菠菜、咖啡、柿子、巧克力和茶等中。

鞣质对 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 、DPPH 和 ABTS 自由基、 H_2O_2 等的有强的清除能力,对 Fe^{3+} 有强的还原能力和对 Fe^{2+}

等有良好的螯合能力^[32]。大量研究结果表明鞣质在抗氧化、降血糖、抗肿瘤、抗病毒等方面具有良好的效果。

此外,以二苯基乙烯为骨架的酚如白藜芦醇,常存在于葡萄、花生和高粱等中。具有抗氧化、清除 ROS/RNS、抗癌和抗肿瘤特性^[43]。因其生物活性和可能的药理应用,是研究最广泛的天然产物之一^[44]。

3.2 类胡萝卜素

类胡萝卜素是广泛分布于自然界的天然脂溶性、由植物和微生物合成的异戊二烯四萜烯色素。在人类饮食中,类胡萝卜素和维生素 A(视黄醇)等衍生物具有广泛的生物效应,包括抗氧化、调节缝隙连接通讯、调节生长因子、维生素 A 原效应、调节细胞周期等。

根据其化学结构,类胡萝卜素一般由 9 个共轭双键多烯链与两端基结合,分为胡萝卜素和叶黄素两大类,叶黄素是胡萝卜素的氧化衍生物,是蔬菜和水果的主要色素,也是人类饮食中主要的微量营养素与人体抗氧化防御系统的一部分。每个共轭双键降低了电子转换到更高能级所需的能量,使分子吸收逐渐向可见光波长变长方向移动。

据报道,人类饮食中含有 700 多种类胡萝卜素,其中 40 种可以从蔬菜和水果中摄取。由于类胡萝卜素因其强烈的着色与抗氧化潜力,已被广泛应用于食品工业。

人体从食物摄取的类胡萝卜素经小肠吸收,经代谢与转化由脂蛋白转运到肝脏、肾上腺、卵巢、皮肤、肺、睾丸、前列腺、皮肤等,发挥各自的功能与作用,促进人体健康。

具有至少一个未被取代的 β -环类胡萝卜素,如 β -胡萝卜素、 β -隐黄质与玉米黄质,被称为维生素 A 原,动物与人只能通过食物摄入或类胡萝卜素氧化裂解生成维生素 A。维生素 A 是人体不可或缺的营养素。在 $\text{ROO}\cdot$ 传递给脂质之前,维生素 A 与 $\text{ROO}\cdot$ 结合,抑制脂质过氧化,它对皮肤、眼睛和内脏等都有保护作用^[17,46]。在表面的皮肤和皮下组织,类胡萝卜素以酯化形式,吸收紫外线和猝灭 $^1\text{O}_2$ 和 $\text{ROO}\cdot$ ^[48],有利于皮肤健康与预防皮肤癌。在前列腺中积累番茄红素,可预防前列腺癌。类流行病学研究也表明:摄入各种类胡萝卜素丰富的绿黄

色蔬菜和水果,可降低患各种慢性疾病如癌症、心血管疾病、糖尿病、肥胖和一些与生活方式有关的疾病的风险^[49]。

3.3 维生素 C

维生素 C 又称 L-抗坏血酸(图 5),是高等灵长类动物与其他少数生物的必需营养素^[50]。但人类与其他灵长目动物,因合成维生素 C 酶-古洛糖酸内酯氧化酶的缺失,自身不能合成维生素 C^[51]。维生素 C 食物来源主要有:刺梨、针叶樱桃、余甘果、鲜枣、番石榴、猕猴桃、沙棘等,含量在 200 mg/100 g~3 000 mg/100 g,尤以刺梨维生素 C 含量最高。

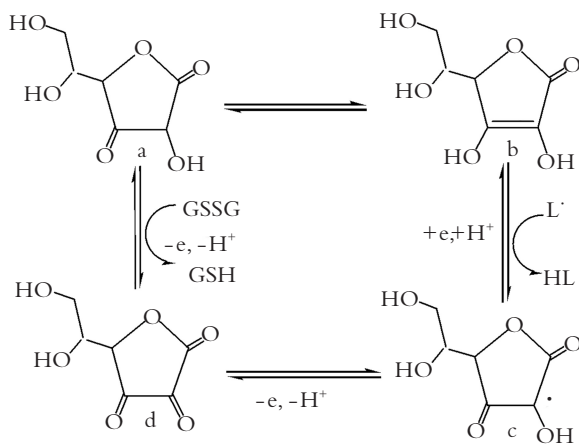


图 5 维生素 C 结构及相关抗氧化反应

Fig. 5 Vitamin C structure and related antioxidant reactions

人体膳食或补充的维生素 C,通过小肠上皮细胞 SVCT1 吸收,扩散进入周围毛细血管,经血液循环到全身组织,贮存于机体中。摄入量低,大部分小肠吸收;摄入量高,SVCT1 下调,主要依靠葡萄糖转运体(GLUT)的易化扩散进入体内,限制了血液中维生素 C 浓度不高于 220 $\mu\text{mol/L}$,健康人群血液中维生素 C 浓度为 60 $\mu\text{mol/L}$ ~100 $\mu\text{mol/L}$ ^[52]。

存在于细胞与血液中的维生素 C(图 5, a 或 b),其 2,3 位-OH 或 2 位叔碳,与呼吸链产生的 ROS/RNS 自由基 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 、 $\text{OH}\cdot$ 、 $\text{R}\cdot$ 、 $\text{ROO}\cdot$ 、 $\text{NO}\cdot$ 等反应,形成维生素 C 自由基 $\text{HA}\cdot$ (图 5, c),自由基猝灭形成氢化物 HL 如 RH 、 H_2O 等^[53](图 3)。 $\text{HA}\cdot$ 易发生歧化反应^[53,54],生成还原型抗坏血酸 H_2A (图 5, b)和氧化型抗坏血酸 A(图 3, d)。

在体内和体外,维生素 C 还可以从其生育酚自由基中再生 α -生育酚,从而恢复其抗氧化活性。维生素 C 与人体抗氧化物质,如与过氧化氢酶、谷胱

甘肽 GSH、维生素 E 等,形成可逆的氧化还原体系(图 5),调节机体氧化还原平衡,减轻氧化应激对 NADH、CoQ1 还原酶、乳酸脱氢酶、含巯基酶、四氢生物蝶呤(BH₄)等活性的抑制,保护血红蛋白正常的输氧能力,修复氧化损伤的 DNA、氨基酸等,以维持生命活动健康持续进行^[55]。

同时,维生素 C 自由基 $\text{HA}\cdot$ 发生歧化反应速率,远高于与机体其他他物分子如蛋白质、氨基酸、DNA 等,这极有利于包括人在内哺乳动物,抑制体内自由基链传递、清除 ROS,防止细胞膜与血浆中脂质氧化和损伤,预防因氧化引起的细胞 DNA 突变与蛋白质结构与功能变化。

维生素 C 还有参与胶原蛋白合成、促进血脂代谢等生理功能。多数动物不患坏血病或冠心病,是因为其血管有足够的维生素 C,使机体脂质过氧化等受损的血管能得到及时修复。而人类只能通过新鲜蔬菜与水果等植物性食物,获取维生素 C,以弥补自身功能缺陷^[52]。

维生素 C 通过还原 Fe^{3+} 为 Fe^{2+} ,提高小肠对非血红素 Fe 吸收。经-OH 与重金属离子配位反应与抑制亚硝胺生成等排解体内毒素。

影响血液中维生素 C 浓度的因素主要有:疾病、药物使用、怀孕、哺乳、年龄、压力、酗酒、吸烟、环境污染、辐射等。针对不同个体,应结合实际情况,提高食物维生素 C 日摄入量。特别是人体年老体衰、身患疾病,血液中浓度远低于正常值,仅靠食物摄入,已不能满足机体需求,这与人体在该状态下维生素 C SVCT 转运与贮存能力降低等有关。

人体缺乏维生素 C,将使体内氧化还原失去平衡,酶、激素与胶原蛋白等合成受阻,ROS/RNS、重金属离子等毒素累积,有机物或毒物代谢转化发生障碍,免疫能力降低等,导致伤口愈合缓慢、牙龈出血、骨质疏松、肥胖、糖尿病、动脉粥样硬化、白内障、癌症、衰老、神经组织退化等^[56]。

研究得出,健康人群推荐食物维生素 C 日摄入量为 100 mg,吸烟者 140 mg 以上^[56],能维持血液中维生素 C 正常浓度,满足机体依赖维生素 C 抗氧化等生物化学反应,以充分发挥生理功能,促进人体健康。

4 结 论

ROS/RNS 是有氧代谢的正常产物,是重要的细

胞信号分子,但在高浓度时人体难以清除 ROS/RNS 情况下,产生氧化应激,使一系列细胞功能失调,引起癌症、心血管与肺部、高血压、神经退行性、糖尿病、呼吸道感染、类风湿性关节炎等氧化损伤疾病。从富含酚酸、类黄酮、维生素 E、类胡萝卜素及维生素 C 等蔬菜、水果等食物中补充抗氧化剂,提高人体抗氧化防御,维持细胞稳态平衡,对促进健康,预防疾病是重要的。

参考文献 (References):

- [1] TASLIMI P, GULCIN I. Antioxidant and anticholinergic properties of olivetol[J]. *Journal of Food Biochemistry*, 2018, 42(3): e12516.
- [2] REZAI M, BAYRAK Ç, TASLIMI P, et al. The first synthesis, antioxidant and anticholinergic activities of 1-(4, 5-dihydroxybenzyl) pyrrolidin-2-one derivative bromophenols including natural products[J]. *Turkish Journal of Chemistry*, 2018, 42(3): 808—825.
- [3] ELMASTAS M, CELIK S M, GENÇ N, et al. Antioxidant activity of an anatolian herbal tea-*origanum minutiflorum*: isolation and characterization of its secondary metabolites[J]. *International Journal of Food Properties*, 2018, 21 (1): 374—384.
- [4] SHIVAKUMAR A, KUMAR M S Y. Critical review on the analytical mechanistic steps in the evaluation of antioxidant activity[J]. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 2018, 48(3): 214—236.
- [5] LOBO V, PHATAK A, CHANDRA N. Free radicals and functional foods: impact on human health[J]. *Pharmacological Reviews*, 2018, 4(8): 118—126.
- [6] GULCIN I. Antioxidant activity of food constituents: an overview[J]. *Archives of Toxicology*, 2012, 86 (3): 345—391.
- [7] HALLIWELL B. Oxidative stress, nutrition and health[J]. *Free Radical Research*, 1996, 25(1): 57—74.
- [8] REAVEN P D, WITZTUM J L. Oxidized low density lipoproteins in atherogenesis: role of dietary modification[J]. *Annual Review of Nutrition*, 1996, 16(1): 51—71.
- [9] DIPLOCK A T, CHARLEUX J L, CROZIER-WILLI G, et al. Functional food science and defence against reactive oxidative species[J]. *British Journal of Nutrition*, 1998, 80(1): 77—112.
- [10] SEN C K, PACKER L. Antioxidant and redox regulation of gene transcription[J]. *Febs Letters*, 1996, 10(7): 709—720.
- [11] DI MASCIO P, MARTINEZ G R, MIYAMOTO S, et al. Singlet molecular oxygen reactions with nucleic acids, lipids, and proteins[J]. *Chemical Reviews*, 1999, 119 (3): 2043—2086.
- [12] STAHL W, SIES H. Physical quenching of singlet-oxygen and cis-trans isomerization of carotenoids[J]. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1993, 691(1): 10—19.
- [13] HOMMA T, KOBAYASHI S, FUJII J. Induction of ferroptosis by singlet oxygen generated from naphthalene endoperoxide[J]. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 2019, 518(3): 519—525.
- [14] HOU Y C, JANCZUK A, WANG P G. Current trends in the development of nitric oxide donors[J]. *Current Pharmaceutical Design*, 1999, 5(6): 417—441.
- [15] PACKER L, NITRIC OXIDE. Part a: sources and detection of NO; NO synthase[J]. *Methods in Enzymology*, 1996, 268: 331—340.
- [16] PACHER P, BECKMAN J S, LIAUDET L. Nitric oxide and peroxynitrite in health and disease[J]. *Physiological Reviews*, 2007, 87(1): 315—424.
- [17] CAROCHO M, FERREIRA ICFR. A review on antioxidants, prooxidants and related controversy: natural and synthetic compounds, screening and analysis methodologies and future perspectives[J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2013, 51(1): 15—25.
- [18] TOHMA H, GULCIN I, BURSAL E, GÖREN A C, et al. Antioxidant activity and phenolic compounds of ginger (*Zingiber officinale* Rosc.) determined by HPLC-MS/MS [J]. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2017, 11(2): 556—566.
- [19] KOKSAL E, TOHMA H, KILIÇ O, et al. Assessment of antimicrobial and antioxidant activities of *nepeta trachonitica*-analysis of its phenolic compounds using HPLC-MS/MS[J]. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 2017, 85(2): 24.
- [20] FINKEL T, HOLBROOK N J. Oxidants, oxidative stress and the biology of aging[J]. *Nature*. 2000, 408(6809): 240—247.
- [21] TURKAN F, ATALAR M N, ARAS A, et al. ICP-MS and HPLC analyses, enzyme inhibition and antioxidant potential of *Achillea schischkinii* Sosn[J]. *Bioorganic Chemistry*, 2020, 94(1): 103333—103338.
- [22] ALAM N, BRISTI N C, RAFQUZZAMAN M. Review on in vivo and in vitro methods evaluation of antioxidant activity[J]. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 2013, 21 (2): 143—152.
- [23] EKINCI AKDEMİR F N, GULCIN I, et al. A comparative study on the antioxidant effects of hesperidin and ellagic acid

- against skeletal muscle ischemia/reperfusion injury[J]. *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 2016a 31(S4): 114—118.
- [24] SHAFUR R M. Handbook of food preservation[M]. Marcel Dekker, New York, 1999, 309—337.
- [25] NAZCK M, SHAHIDI F. Phenolics in cereals, fruits and vegetables: occurrence, extraction and analysis [J]. *J Pharm Biomed Anal*, 2006, 41(5): 1523—1542.
- [26] SHAHIDI F, AMBIGAIPALAN P. Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: antioxidant activity and health effects—a review[J]. *Journal of Functional Foods*, 2015, 18(18): 820—897.
- [27] OZTURK SARIKAYA S B, GULCIN I, et al. Carbonic anhydrase inhibitors. inhibition of human erythrocyte isozymes I and II with a series of phenolic acids[J]. *Chemical Biology & Drug Design*, 2010, 75(5): 515—520.
- [28] SROKA Z, CISOWSKI W. Hydrogen peroxide scavenging, antioxidant and anti-radical activity of some phenolic acids [J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2003, 41(6): 753—758.
- [29] CUPPETT S, SCHNEPF M, HALL C. Natural antioxidants—are they a reality? natural antioxidants: chemistry, health effects, and applications[M]. AOCS Press, Champaign, 1997.
- [30] CLIFORD M N, SCALBERT A. Ellagitannins—occurrence in food, bioavailability and cancer prevention[M]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2000, 80: 1118—1125.
- [31] ROSS K A, BETA T S, ARNTFELD D. A comparative study on the phenolic acids identified and quantified in dry beans using HPLC as affected by different extraction and hydrolysis methods[M]. *Food Chemistry*, 2009, 113: 336—344.
- [32] GULCIN I, BURSAL E, ŞEHİTOĞLU H M, et al. Polyphenol contents and antioxidant activity of lyophilized aqueous extract of propolis from erzurum, turkey[J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2010a, 48(8-9): 2227—2238.
- [33] HARBORNE J B, BAXTER H, MOSS G P. Phytochemical dictionary: handbook of bioactive compounds from plants (2nd ed.) [M]. Taylor and Francis, London, 1999.
- [34] TAKAHAMA U. Inhibition of lipoxygenase-dependent lipid peroxidation by quercetin: mechanism of antioxidative function[J]. *Phytochemistry*, 1985, 24(7): 1443—2146.
- [35] HU J P, CALOMME M, LASURE A, et al. Structure-activity relationship of flavonoids with superoxide scavenging activity[J]. *Biological Trace Element Research*, 1995 47(1-3): 327—331.
- [36] TAKAHAMA U. Hydrogen peroxide dependent oxidation of quercetin by intact spinach chloroplasts [J]. *Plant Physiology*, 1984, 74(4): 852—857.
- [37] MACHEIX J J, FLEURIT A, BILLOT J. Fruit phenolics [M]. CRC Press, Boca Raton, 1990.
- [38] WILLIAMS R J, SPENCER J P, RICE-EVANS C. Flavonoids: antioxidants or signalling molecules? [J]. *Free Radical Biology and Medicine*, 2004, 36(7): 838—849.
- [39] 赵保路. 自由基、营养、天然抗氧化剂与衰老[J]. *生物物理学报*, 2010, 26(1): 26—36.
ZHAO Bao-Lu. Free radicals, nutrition, natural antioxidants and aging [J]. *Acta Biophysica Sinica*, 2010, 26(1): 26—36.
- [40] BURTON G W, INGOLD K U. Autoxidation of biological molecules. 1. antioxidant activity of vitamin e and related chain-breaking phenolic antioxidants in vitro[J]. *Journal of the American Chemical Society*, 1981, 103(21): 6472—6477.
- [41] ETMINAN M, GILL S S, SAMII A. Intake of vitamin E, vitamin C, and carotenoids and the risk of Parkinson's disease: a metaanalysis[J]. *Lancet Neurology*, 2005, 4(6): 362—365.
- [42] EZZAT S M, SHOUMAN S A, ELKHOELY A, et al. Anticancer potentiality of lignan rich fraction of six faxseed cultivars[M]. *Sci Rep*, 2018, 8(1): 544.
- [43] KRAWCZYK H. The stilbene derivatives, nucleosides, and nucleosides modified by stilbene derivatives[J]. *Bioorganic Chemistry*, 2019, 90(9): 103073.
- [44] GULCIN I. Antioxidant properties of resveratrol: a structure-activity insight[J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2010, 11(1): 210—218.
- [45] RICCIONI G. Carotenoids and cardiovascular disease[J]. *Current Atherosclerosis Reports*, 2009, 11(6): 434—439.
- [46] JEE J, LIM S, PARK J, KIM C. Stabilization of all-trans retinol by loading lipophilic antioxidants in solid lipid nanoparticles[J]. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 2006, 63(2): 134—139.
- [47] DIMASCIO P, KAISER S, SIES H. Lycopene as the most efficient biological carotenoid singlet oxygen quencher[J]. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 1989, 274(2): 532—538.
- [48] STAHL W, SIES H. Antioxidant activity of carotenoids[J]. *Molecular Aspects of Medicine*, 2003, 24(6): 345—351.
- [49] 任建敏. 类胡萝卜素结构及在动植物中的功能与生理活性[J]. *重庆工商大学学报(自然科学版)*, 2021(4): 102—107.
REN Jian-min. Carotenoid structure, function and

- physiological activity in plants and animals[J]. Journal of Chongqing Technology and Business University (Natural Science Edition), 2021(4): 102—107.
- [50] 曾翔云. 维生素 C 的生理功能与膳食保障[J]. 中国食物与营养, 2005(5): 52—54.
- ZENG Xiang-yun. Physiological function and dietary security of vitamin C[J]. Food and Nutrition in China, 2005(5): 52—54.
- [51] NISHIKIMI M, FUKUYAMA R, MINOSHIMA S, et al. Cloning and chromosomal mapping of the human nonfunctional gene for l-gulonogamma-lactone oxidase, the enzyme for l-ascorbic acid biosynthesis missing in man[J]. Biological Chemistry, 1994, (269): 13685—13688.
- [52] SHAILJA C, SHAIENDRA D, KAMLA K S, et al. Vitamin C in disease prevention and cure: an overview [J]. Indian Journal of Biochemistry, 2013, 28(4): 314—328.
- [53] MC DE TULLIO, ARRIGONI O. Hopes, disillusions and more hopes from vitamin C[J]. Cellular and Molecular Life Sciences . 2004, (61): 209—219.
- [54] LIU Y, LIU Z, HAN C. Radical intermediates and antioxidants and antioxidant activity of ascorbic acid[J]. Reviews of Chemical Intermediates, 1988, (10): 269—289.
- [55] FREI B, ENGLAND L, AMES B N. Ascorbate is an outstanding antioxidant in human blood plasma[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 1989, 86(16): 6377—6381.
- [56] GERSTER H. Human vitamin c requirements [J]. Z Ernährungswiss, 1987, 26(2): 125—137.

Advances in the Prevention of ROS/RNS Oxidative Damage Diseases by Dietary Antioxidants

REN Jian-min

(School of Environment and Resources, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China)

Abstract: ROS/RNS is a product of normal human metabolism and has important physiological activities. However, high concentration of ROS/RNS produces oxidative stress, leading to cancer, cardiovascular and pulmonary diseases, hypertension, neurodegeneration, diabetes, respiratory tract infection, rheumatoid arthritis, cataract and other oxidative damage diseases. In order to prevent diseases and promote health, the sources of ROS/RNS in human body and the relationship between ROS/RNS and diseases were summarized based on a large number of literatures. Common dietary antioxidants, such as phenolic compounds, vitamin E, carotenoids and vitamin C were introduced. The mechanism of scavenging free radicals and antioxidation by different antioxidant compounds was discussed. Phenolic compounds are widely found as antioxidant components of the human diet, β -carotenoids are provitamin A and vitamin E are fat-soluble, chain-breaking antioxidants that protect the integrity of cell membranes. Vitamin C is water-soluble, and its free radical disproportionation rate is much higher than the reaction with other biological molecules such as proteins, amino acids, DNA, etc. Together with the body's antioxidant system, they form a reversible antioxidant defense to protect human biomacromolecules from oxidative damage. It is suggested that forming good dietary habits is beneficial to improve the quality of life.

Key words: ROS/RNS; disease; antioxidant

责任编辑:陈 芳

引用本文/Cite this paper:

任建敏. 食物抗氧化剂预防 ROS/RNS 氧化损伤疾病研究进展[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版), 2022, 39(6): 22—29.

REN Jian-min. Advances in the prevention of ROS/RNS oxidative damage diseases by dietary antioxidants [J]. Journal of Chongqing Technology and Business University (Natural Science Edition), 2022, 39(6): 22—29.