

富氢水在国内外应用的研究进展

董长勇, 于皎雪, 于伟厚, 车虹昌

大连双迪科技股份有限公司 (大连 116635)

摘要 氢气属于双原子气体, 无色无味、无毒, 是已知最轻的气体同时也是十分优质的选择性抗氧化物质。富氢水相比于氢气, 克服氢气难以储存和处理的问题, 是一种易于使用、安全且经济的新型饮用水。综述国内外有关富氢水技术的应用领域, 主要包括在医学领域缺血再灌注损伤、氧化应激、信号通路、细胞炎症因子、抗氧化等方面影响, 在农业领域汞镉胁迫、非生物胁迫和果蔬保鲜, 以及体育和美容领域的抗疲劳、美白等方面所起到的作用。探究富氢水对各项领域的作用效果和机制, 以期为今后富氢水的研究提供参考。

关键词 富氢水; 医学; 农业; 美容; 体育

Research Progress on the Application of Hydrogen Rich Water at Home and Abroad

DONG Changyong, YU Jiaoxue, YU Weihou, CHE Hongchang

Dalian Shuangdi Technology Co., Ltd. (Dalian 116635)

Abstract Hydrogen is a diatomic gas, colorless, tasteless and non-toxic. It is not only the lightest gas known, but also a very high-quality selective antioxidant. Compared with hydrogen, hydrogen rich water overcomes the problem of difficult storage and treatment of hydrogen. It is a new type of drinking water which is easy to use, safe and economical. The application fields of hydrogen rich water technology at home and abroad are summarized, mainly including the effects of ischemia-reperfusion injury, oxidative stress, signal pathway, cytokines and antioxidation in medical field, participation in mercury and cadmium stress, abiotic stress and fruit and vegetable preservation in agricultural field, as well as anti-fatigue and whitening in sports and beauty field. The effect and mechanism of hydrogen rich water on various fields are explored in order to provide reference for the research of hydrogen rich water in the future.

Keywords hydrogen rich water; medical science; agriculture; cosmetology; sports

富氢水是一种含有一定浓度氢气的新功能健康饮用水, 具有选择性抗氧化、抗炎、抑制细胞凋亡、调控基因表达等特性^[1]。在人体系统疾病的治疗和预防中, 富氢水主要通过减轻机体氧化应激状态、抑制NF- κ B信号通路、对相关信号转导通路调控炎症基因表达和其他细胞信号通路进行调节以及各种氧化相关酶的调控, 对氧化应激相关疾病(如代谢综合征、神经系统疾病和缺血再灌注损伤等)有一定治疗作用。富氢水可作为一种植物调节剂, 有效应对镉、汞、铝、渗透、冷、盐等各种胁迫同时参与根系的形成和发育, 并且还是一种良好的保鲜剂, 对于延迟采后果蔬的成熟和衰老效果显著^[2]。除了在医学和农业上的应用外, 在美容、体育中也日益受到人们关注, 对富氢水在各个领域的应用进行比较, 旨在探究富氢水的作用机制及调控效果, 为富氢水的发展方向奠定一定理论基础。

1 富氢水在医学领域的应用

1.1 富氢水在动物试验上的研究

缺血再灌注损伤(ischemia-reperfusion injury,

IRI)在1960年由Jennings提出, 是指在器官或组织缺血的情况下恢复血液供应后遭受过量的自由基攻击, 导致器官组织损伤甚至功能代谢及结构不可逆性损伤的现象^[3]。孙丰伟等^[4]发现富氢水能够通过降低谷丙转氨酶(ALT)和谷草转氨酶(AST)活性而减轻大鼠肝缺血再灌注损伤。李翔子等^[5]报道富氢水可有效地降低肿瘤坏死因子 α 、白细胞介素 1β 的表达水平来抑制炎症反应, 同时通过对NF- κ B/Bcl-2通路内Bcl-2、Bax、caspase3、NF- κ B等蛋白表达水平以减轻大鼠心肌缺血再灌注损伤程度。Sato等^[6]研究得到, 富氢水可显著将大鼠脑片缺血再灌注后形成的超氧化物减少27.2%。另有报道称富氢水通过清除缺血性再灌注所产生的氧自由基(oxygen free radical, OFR), 平衡肾脏的氧化和抗氧化水平, 进而起到保护肾脏的作用^[7]。

氧化应激和炎症细胞因子的激活在大鼠胰腺、肾脏、肠组织等器官的炎症起着至关重要的作用, 因此, 抗氧化应激、降低炎症细胞因子可能是减轻该类病情发展的重要手段。杨培等^[8]比较模型组(SAP+NS组)和氢水处理组(SAP+HRS组)对大鼠磺胆酸钠

诱导的重症急性胰腺炎(SAP)大鼠肺组织氧化应激反应的轻情况,结果发现后者对血清TNF- α 含量、肺组织TNF- α mRNA有较好的抑制作用,可有效地降低炎症细胞因子的水平。石运芝等^[9]研究表明,富氢水一方面可提高SOD含量,从而大幅提高大鼠牙龈局部的抗氧化能力,另一方面通过对核转录因子NF- κ B和促炎细胞因子TNF- α 的表达抑制而起到调控氧化应激相关炎症反应的作用,减缓孕激素对大鼠牙龈炎的刺激作用和牙龈炎症反应的进程。扈红蕾^[10]研究发现富氢水可与黄曲霉毒素B1(aflatoxin B1, AFB1)进入大鼠肝脏内所产生的ROS自由基反应而大大减少氧化损伤;通过提高还原型谷胱甘肽(glutathione, GSH)含量而大幅提高机体清除自由基能力,增强肝脏对活性氧的抵抗。张振等^[11]研究证实富氢水可有效降低大鼠肠组织中MDA含量同时提高超氧化物歧化酶(SOD)和二胺氧化酶(DAO)水平,大幅减缓肠组织中氧化应激的程度;富氢水通过对NF- κ B/Nrf-2通路(抑制NF- κ B蛋白、增加Nrf-2蛋白的表达)和炎症因子(降低TNF- α 、IL-1 β 、IL-6水平)的调节以改善大鼠肠系膜上动脉血管反应性和钙敏感性及肠黏膜损伤程度。

富氢水可作为一种氧化剂,在机体对抗其他外界有害因素的机制中扮演重要角色。Song等^[12]给高脂肪饮食喂养的叙利亚金黄地鼠摄入一定量的富氢水后检测发现,其血清总胆固醇(TC)和低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)水平降低,超氧化物歧化酶的增加以及整个血清和低密度脂蛋白中硫代巴比妥酸反应物质的减少,有效地改善血脂异常损伤的HDL功能且在降血脂和预防潜在的代谢综合征方面发挥有益作用^[13]。Li等^[14]探究得到富氢水通过减少脂质过氧化和过氧亚硝酸盐的形成,降低NADPH氧化酶和黄嘌呤氧化酶的活性,增加过氧化氢酶的活性,恢复肾脏线粒体功能,从而抑制亚硝酸三乙酸铁(Fe-NTA)诱导的氧化应激,减轻大鼠肾损伤。Zhang等^[15]研究表明富氢水可减轻急性腹膜炎的严重程度,其作用机制可能是通过抗炎、抗氧化、抗菌及降低腹腔组织NF- κ B的表达实现。Wang等^[16]提供证据表明富氢水在抵抗毒死蜱引起的大鼠神经毒性的过程中起到一种抗氧化剂的作用,可选择性地清除羟基自由基,提高MDA、GSH水平及SOD和过氧化氢酶(catalase, CAT)活性,同时在保护神经元免受铅诱导的细胞凋亡作用机制相似^[17]。Suzuki等^[18]结果表明用富氢水处理可降低氧化DNA损伤标记物(如磷酸化组蛋白H2AX和8-羟基-20-脱氧鸟苷)和衰老标记物(如细胞周期蛋白依赖性激酶抑制剂2A、细胞周期蛋白依赖性激酶抑制剂1和 β -半乳糖苷酶)的水平,减少香烟烟雾(CS)诱导的氧化性DNA损伤和肺部细胞过早衰老,减轻了衰老标记蛋白30基因敲除(SMP30-KO)小鼠中CS诱导的肺气肿。

此外,富氢水在动物肿瘤和其他疾病上也有一定的试验研究。李超富等^[19]研究小鼠肝内胆管癌的过程中发现,富氢水可通过抑制细胞增殖、促进细胞凋亡、调节细胞内氧化还原环境及IFN- γ 相关基因的表达而对肿瘤的形成、体积和质量发挥有效地调控作用,肝肿瘤发生率可减少至57.1%。杨庆玺等^[20]研究得到富氢水通过抑制小鼠外周血细胞的下降程度而对4 Gy X射线全身照射的小鼠的骨髓抑制起到良好的保护作用,同时在⁶⁰Co照后Beagle犬血液系统损伤也有类似的改善作用^[21]。张国文等^[22]研究得到富氢水对失重大鼠的肠道菌群有积极的调节作用且对肠球菌的抑制作用尤为明显。增殖细胞核抗原(proliferating cell nuclear antigen, PCNA)是真核细胞DNA合成的一种必要蛋白,是反应细胞增殖状态的良好指标,陈星权等^[23]对富氢水在SD大鼠动脉化静脉桥再狭窄中的作用,结果得到富氢水组大鼠右下肢肌肉萎缩发生率较低、基底膜完整性较好、PCNA高表达的比例相对稳定。

1.2 富氢水在临床上的应用

刘建华等^[24]探讨在新生儿缺氧缺血性脑病(HIE)治疗中富氢水的辅助疗效,富氢水充分参与机体的抗氧化系统,发挥针对性自由基清除作用而避免细胞氧化损伤。许长春等^[25]比较富氢水和生理盐水对急性放射性口腔黏膜反应的临床疗效,结果观察到后者可较好的缓解放射性口腔黏膜痛感。Dragana等^[26]发现氢可作为一种抗衰老剂在增加左侧额叶灰质的脑胆碱和NAA水平、右侧顶叶白质的脑肌酸和右侧顶叶内侧灰质的脑NAA水平方面较优,促使端粒延长同时改善睡眠质量和生化环境。于盈盈等^[27]用富氢水对强直性脊柱炎(ankylosing spondylitis, AS)患者进行全身温热浴,结果证明,富氢水是缓解AS疼痛感较优的辅助治疗方法,且无非甾类抗炎药对肝肾损伤的副作用。Ostojic^[28]发现富氢水还有可能是一种可以调节内源性H₂稳态和肠道微生物的新兴化合物。另外^[29],富氢水联合感知提醒疗法(SCT)和改良限制-诱导运动疗法(mCIMT)通过对SOD和MDA水平的调控而改善老年卒中中偏瘫患者的上肢运动功能和日常使用频率,使患者自理能力得到较大提升。

2 富氢水在农业领域的应用

重金属,如汞(Hg)和镉(Cd)是一种易被高等植物积累的有毒重金属,通过对植物光合、呼吸和氮代谢的抑制而出现生长抑制、失绿、坏死或程序性细胞死亡(PCD),甚至细胞死亡等明显的中毒症状。Cui等^[30]的研究结果为富氢水通过重建谷胱甘肽稳态而有效减少苜蓿对镉的吸收,抑制活性氧的产生,减轻镉诱导的氧化应激,同时50%饱和HRW能显著缓解大白菜镉中毒症状^[31];进一步研究结果表明^[32],

HRW可诱导紫花苜蓿幼苗过氧化物酶(POD)和抗坏血酸过氧化物酶(APX)的活性,同时还还原型-氧化型谷胱甘肽(GSH)、高型谷胱甘肽(hGSH)和抗坏血酸(AsA)比例增加,提高苜蓿幼苗对汞毒害的防御能力。Wu等^[33]研究表明,HRW抑制白菜中主要的镉转运蛋白BcIRT1、BcZIP2的表达而有效地降低白菜对镉吸收的功能。Zhao等^[34]发现,HRW通过减少ROS的积累和提高玉米幼苗中抗氧化酶(CAT、APX、SOD和POD)的活性,参与减轻铝诱导的氧化胁迫,显著提高光合作用和养分吸收。田婧芸等^[35]发现富氢水能增大气孔直径保持小麦幼苗根尖细胞的完整性以打破铜胁迫所造成的植株生长抑制现象。

富氢水是近年来应用于果蔬保鲜中的一项新兴的保鲜技术,可有效抑制褐变相关酶和果蔬组织内防御活性氧毒害相关酶活性起到促进作用,提高自身对活性氧毒害的抵抗和抗氧化能力,延迟机体衰老现象的发生。卢慧等^[36]研究发现,HRW有效促进多酚氧化酶(PPO)活性和番茄果实内源NO的生成积累,降低灰霉菌对番茄果实的伤害;进一步^[37]采用30%、80%和100%富氢水对猕猴桃进行处理,结果得到,80%的HRW对猕猴桃硬度的保持效果最为显著,有效降低猕猴桃呼吸强度,提高SOD活性并维持DPPH、O₂⁻、羟自由基清除能力,延缓果实贮藏期间的成熟和衰老。Li等^[38]研究结果表明,HRW处理有效地减轻鲜切菱角氧化损伤,抑制苯丙烷途径的激活,从而减缓黄酮类化合物的积累,最终减缓鲜切菱角在贮藏期间黄变进程,对于HRW有较好的保绿性,在小白菜^[39]研究中也得到证实。Zhang等^[40]发现对短波紫外线(UV-A)照射下的青萝卜采用富氢水处理后,二者的总酚、花青素、花青苷的含量及DPPH自由基清除能力均得到较大提升,其中总酚含量可提高至1.17倍,极大程度上提高二者的抗氧化能力。

近年来,HRW由于与植物对各种非生物胁迫的适应性反应有关而受到越来越多的关注。Guan等^[41]研究得到,HRW处理能显著提高黑大麦的发芽率和生长率,进一步研究得到,在浓度、温度、浸泡时间分别为1.5 mg/L、29 °C、13 h的工艺条件下,与纯水组相较糙米发芽势、发芽率、总黄酮含量可分别提高21%、14%和56.2 mg/100 g^[42]。研究表明^[43],党参多糖的含量随着富氢水浓度增加而增加,当多糖达到最大值36.45%时富氢水浓度为50%,并且对党参根系生长发育也有促进作用。丁芳芳等^[44]通过研究获得富氢水最佳的浸种浓度和时间分别为50%和24 h,该条件下当归种子的发芽率、发芽势、发芽指数及 α -淀粉酶活性均较高,为当归种子的萌发提供较高动力;同时50%富氢水通过增大当归叶面积,增强光合利用而使营养物质积累达到最高,有效促进当归的生长发育。宋韵琼等^[45]发现富氢水除了促进小苍兰的盛开率外,还发

现富氢水可较好地减少小苍兰丙二醛的积累同时在一定程度上抑制其膜脂过氧化过程,使细胞膜保持完整性,减缓其衰老进程。Hu等^[46]采用前用HRW灌溉黄花菜,可显著降低黄花菜活性氧水平、渗漏率和脂质过氧化程度,以及增加不饱和/饱和脂肪酸比率和内源性H₂含量,从而减轻萼片褐变等冷害症状,提高黄花菜芽产量;并且在富氢水浸种黄瓜幼苗耐冷性机制的研究中也发现,富氢水主要通过提高植物抗氧化系统活性和渗透调节能力2个方面提高抗性^[47]。另外,富氢水可导致更有利的钠钾比和细胞的持水能力,对大麦耐盐性均有有利影响^[48]。

3 富氢水在体育领域的应用

运动领域的一些研究证实,富氢水具有抗氧化、抗疲劳等作用。研究显示,长期饮用富氢水可有效调节耐力训练大鼠机体的氧化和抗氧化系统之间的平衡,从而缓解运动性氧化应激损伤^[49]。欧明毫等^[50]探讨比较富氢水和矿泉水对女子柔道运动员机体抗氧化能力指标的变化规律,得到前者通过总抗氧化能力(T-AOC)和SOD活性的提高以及对MDA含量的降低,有效抑制大负荷训练引起的机体脂质过氧化,对细胞膜损伤有一定的保护作用。力竭时,生物体内自由基的产生与清除的平衡状态将会打破,多余的自由基攻击生物膜产生脂质过氧化,使生物膜结构和功能被改变而引起一系列病理变化,导致疲劳的产生,而富氢水则通过对ONOO⁻与·OH的清除和SOD、GSH、MDA的积极调控,有效增加运动耐力,并且在足球现役裁判员跟踪监测中发现,富氢水可以影响重复力竭运动导致的机体酸化趋势而对疲劳的缓解有积极作用^[51]。张红红、江东等^[52-53]探讨得出,富氢水可通过对足球运动员白细胞(WBC)、血清免疫球蛋白(IgA、IgG、IgM)、补体(C₃和C₄)等免疫指标维稳而提高机体免疫系统的防御功能,同时增强特勤疗养官兵肌肉氧利用能力、运动耐力、运动机能等,有效改善机体炎症反应。

4 富氢水在美容领域的应用

人体皮肤暴露在太阳辐射下会导致皮肤老化,胶原蛋白的丢失被认为是老化皮肤的特征性组织学表现。Kato等^[54]研证实,富氢水可以作为日常皮肤护理,通过清除活性氧和促进真皮中I型胶原的合成来抑制紫外线诱导的皮肤损伤,并且可大幅增加I型胶原的合成量,最高可增加2.03倍。周平等^[55]对富氢水喷雾大鼠臀部皮肤创面观察得到,富氢水组创面愈合率较高,同时在高原皮肤病患者富氢水泡浴中,通过对炎性因子水平的降低和血浆氧化应激反应的改善2个途径也取得满意疗效^[56]。酪氨酸酶是黑色素生成过程中的关键作用酶,抑制酪氨酸酶的活性是减少皮肤

黑色素形成的途径之一,吕平等^[57]测试说明,富氢水可通过抑制酪氨酸酶的活性而具美白功效。

5 结语与展望

近年来,在消费升级的大背景下,人们对于美好生活的愿望越来越强烈,对于健康生活的需求也越来越强烈,水是人类生命活动的必需品,富氢水凭借其抗疲劳、抗癌、抗炎等多种附加功能逐渐进入人们的日常生活中,由于富氢水的应用发展时间尚短,人们对其了解有限,目前医学研究以动物试验居多,临床试验局限于口腔、肠道疾病调节方面,一些深层次的疾病研究仍缺乏大量试验证明。

在农业、体育和美容领域,富氢水主要通过参与机体生理代谢和增强自身抗氧化活性,从而发挥较好的抗氧化和抗衰老作用,未来依然需要对其作用机理进行深入且系统的研究。

富氢水作为一种安全有效、易于使用的新型饮用水,食品工业对其保持比较高的关注度,除了保持食品较高的营养品质、延长果蔬的货架期外,开展功能性食品的研究还需要进一步探索,如从抗氧化、抗衰老、抗炎作用机理出发,朝医学和食品结合的方向进行研究,开发对人类健康的医疗保健食品。

参考文献:

- [1] CHEN H, HAI H B, WANG H, et al. Hydrogen-rich water mediates redox regulation of the antioxidant system, mycelial regeneration and fruiting body development in *Hypsizygus marmoreus*[J]. Fungal Biology, 2018, 122(5): 310-321.
- [2] WANG C L, FANG H, GONG T Y, et al. Hydrogen gas alleviates postharvest senescence of cut rose 'Movie star' by antagonizing ethylene[J]. Plant Molecular Biology, 2020, 102: 271-285.
- [3] JENNINGS R B, SOMMERS H M, SMYTH G A, et al. Myocardial necrosis induced by temporary occlusion of a coronary artery in the dog[J]. Arch Pathol, 1960, 70: 68-78.
- [4] 孙丰伟, 韩玉刚, 孟令国. 富氢水预处理对大鼠肝缺血再灌注损伤的保护研究[J]. 泰山医学院学报, 2014, 35(10): 984-988.
- [5] 李翔子, 孙晓宇, 王赞, 等. 富氢水对大鼠离体心肌缺血再灌注损伤细胞凋亡的影响[J]. 实用医学杂志, 2018, 34(20): 3356-3361.
- [6] SATO Y, KAJIYAMA S, AMANO A, et al. Hydrogen-rich pure water prevents superoxide formation in brain slices of vitamin C-depleted SMP30/GNL knockout mice[J]. Biochemical and Biophysical Research Communications, 2008, 375(3): 346-350.
- [7] CHEN Y, JIANG J, MIAO H, et al. Hydrogen-rich saline attenuates vascular smooth muscle cell proliferation and neointimal hyperplasia by inhibiting reactive oxygen species production and inactivating the Ras-ERK1/2-MEK1/2 and Akt pathways[J]. Int J Mol Med, 2013, 31: 597-606.
- [8] 杨培, 冷波, 李波, 等. 富氢水对重症急性胰腺炎大鼠血清炎症细胞因子及肺组织氧化应激反应的影响[J]. 中华临床医师杂志(电子版), 2015, 9(18): 3394-3398.
- [9] 石运芝, 靳松, 郑慧慧, 等. 富氢水减轻丝线诱导的SD大鼠妊娠牙龈炎[J]. 上海口腔医学, 2018, 27(3): 252-256.
- [10] 扈红蕾, 高健, 郭文君, 等. 富氢水在黄曲霉毒素B₁致大鼠肝损伤模型中的抗损伤作用[J]. 生理学报, 2019, 71(5): 725-731.
- [11] 张振, 潘明, 周南, 等. 富氢水对感染性休克大鼠肠损伤及对NF- κ B/Nrf-2表达的影响[J]. 解剖科学进展, 2020, 26(2): 154-157, 161.
- [12] SONG G H, LI M, SANG H, et al. Hydrogen-rich water decreases serum LDL-cholesterol levels and improves HDL function in patients with potential metabolic syndrome[J]. Journal of Lipid Research, 2013, 54: 1884-1893.
- [13] 赵飞虹, 李复兴, 康峰. 富氢水和海洋深层水联用更加有效的缓解高血脂症[J]. 中国食品, 2020(11): 114-117.
- [14] LI F Y, ZHU S X, WANG Z P, et al. Consumption of hydrogen-rich water protects against ferric nitrilotriacetate-induced nephrotoxicity and early tumor promotional events in rats[J]. Food and Chemical Toxicology, 2013, 61: 248-254.
- [15] ZHANG J Y, WU Q F, SONG S D, et al. Effect of hydrogen-rich water on acute peritonitis of rat models[J]. International Immunopharmacology, 2014, 21(1): 94-101.
- [16] WANG T T, ZHAO L, LIU M Y, et al. Oral intake of hydrogen-rich water ameliorated chlorpyrifos-induced neurotoxicity in rats[J]. Toxicology and Applied Pharmacology, 2014, 280(1): 169-176.
- [17] PAULIS M G, HASSAN O A, MOHMED F. ABBASS, et al. Structural and lipid peroxidation effects of lead on rat hippocampus and its attenuation by hydrogen rich water[J]. Journal of Chemical Neuroanatomy, 2018, 91: 55-62.
- [18] SUZUKI Y, SATO T, SUGIMOTO M, et al. Hydrogen-rich pure water prevents cigarette smoke-induced pulmonary emphysema in SMP30 knockout mice[J]. Biochemical and Biophysical Research Communications, 2017, 492(1): 74-81.
- [19] 李超富, 高云姝, 周洲, 等. 富氢水协同金复康口服液阻断硫代乙酰胺诱发大鼠胆管癌上皮癌变的实验研究[J]. 解放军医学院学报, 2019, 40(6): 586-589, 604.
- [20] 杨庆奎, 郝瑞, 董瑶, 等. 富氢水对4 Gy X射线全身照射小鼠造血功能的影响[J]. 中华临床医师杂志(电子版), 2017, 11(10): 1795-1798.
- [21] 秦秀军, 孙鸽, 岳娟, 等. 富氢水对⁶⁰Co照射比格犬急性血液系统损伤的保护作用研究[J]. 辐射防护, 2018, 38(5): 428-433.

- [22] 张国文, 兰海云, 雷浪伟, 等. 富氫水对模拟失重效应大鼠肠道菌群的影响[J]. 食品科技, 2017, 42(5): 41-46.
- [23] 陈星权, 简杰, 郭惠明, 等. 富氫水对SD大鼠动脉化静脉桥再狭窄的作用[J]. 岭南心血管病杂志, 2018, 24(3): 333-338.
- [24] 刘建华, 许云波, 曹珊珊. 富氫水在新生儿缺氧缺血性脑病中的应用效果[J]. 中国妇幼健康研究, 2021, 32(7): 1005-1009.
- [25] 许长春, 李燕飞, 刘承军, 等. 富氫水防治放射性口腔粘膜反应110例临床观察[J]. 中国辐射卫生, 2018, 27(4): 363-365.
- [26] DRAGANA Z, NIKOLA T, DARINKA K, et al. The effects of 6-month hydrogen-rich water intake on molecular and phenotypic biomarkers of aging in older adults aged 70 years and over: A randomized controlled pilot trial[J]. *Experimental Gerontology*, 2021, 155: 111574-111574.
- [27] 于盈盈, 苏晓, 杨光辉, 等. 富氫水疗缓解强直性脊柱炎疼痛的临床观察[J]. 中国康复医学杂志, 2019, 34(2): 192-193, 203.
- [28] OSTOJIC S M. Hydrogen-rich water as a modulator of gut microbiota[J]. *Journal of Functional Foods*, 2021: 104-360.
- [29] 吕晨曦, 王瑞晨, 刘明亮. 富氫水联合不同上肢康复疗法对老年脑卒中偏瘫患者上肢功能、认知功能及氧化应激反应的影响[J]. 中国老年学杂志, 2021, 41(5): 1003-1006.
- [30] CUI W T, GAO C Y, FANG P, et al. Alleviation of cadmium toxicity in *Medicago sativa* by hydrogen-rich water[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2013, 260: 715-724.
- [31] WU Q, SU N N, CAI J T, et al. Hydrogen-rich water enhances cadmium tolerance in Chinese cabbage by reducing cadmium uptake and increasing antioxidant capacities[J]. *Journal of Plant Physiology*, 2015: 174-182.
- [32] CUI W T, FANG P, ZHU K K, et al. Hydrogen-rich water confers plant tolerance to mercury toxicity in alfalfa seedlings[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2014, 105: 103-11.
- [33] WU X, SU N N, YUE X M, et al. IRT1 and ZIP2 were involved in exogenous hydrogen-rich water-reduced cadmium accumulation in *Brassica chinensis* and *Arabidopsis thaliana*[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2021, 407.
- [34] ZHAO X Q, CHEN Q H, WANG Y M, et al. Hydrogen-rich water induces aluminum tolerance in maize seedlings by enhancing antioxidant capacities and nutrient homeostasis[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2017, 144: 369-379.
- [35] 田婧芸, 张慧洁, 陕嘉楠, 等. 富氫水处理对铜胁迫下小麦幼苗生长及其细胞结构的影响[J]. 河南农业大学学报, 2018, 52(2): 193-198.
- [36] 卢慧, 伍冰倩, 王伊帆, 等. 富氫水处理对采后番茄果实灰霉病抗性的影响[J]. 河南农业科学, 2017, 46(2): 64-68.
- [37] HU H L, LI P X, WANG Y N, et al. Hydrogen-rich water delays postharvest ripening and senescence of kiwifruit[J]. *Food Chemistry*, 2014, 156: 100-109.
- [38] LI F J, HU Y, SHAN Y X, et al. Hydrogen-rich water maintains the color quality of fresh-cut Chinese water chestnut[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2022, 183.
- [39] AN R H, LUO S F, ZHOU H S, et al. Effects of hydrogen-rich water combined with vacuum precooling on the senescence and antioxidant capacity of pakchoi (*Brassica rapa* subsp. *Chinensis*)[J]. *Scientia Horticulturae*, 2021: 289.
- [40] ZHANG X Y, WEI J Y, TIAN J Y, et al. Enhanced anthocyanin accumulation of immature radish microgreens by hydrogen-rich water under short wavelength light[J]. *Scientia Horticulturae*, 2019, 247: 75-85.
- [41] GUAN Q, DING X W, JIANG R, et al. Effects of hydrogen-rich water on the nutrient composition and antioxidative characteristics of sprouted black barley[J]. *Food Chemistry*, 2019, 299: 125095.
- [42] 杨丽, 肖斌, 肖登荣, 等. 富氫水发芽糙米加工工艺及其品质研究[J]. 食品工业科技, 2021, 42(9): 145-153.
- [43] 李晓花, 杨雯雯. 富氫水处理对党参多糖的影响[J]. 中外企业家, 2020(15): 249.
- [44] 丁芳芳, 程茜菲. 富氫水对当归种子发芽的影响[J]. 陕西农业科学, 2020, 66(4): 63-65, 100.
- [45] 宋韵琼, 丛峰松, 李朝阳, 等. 富氫水预处理对小苍兰切花瓶插寿命及其抗氧化系统的影响[J]. 上海交通大学学报(农业科学版), 2018, 36(1): 1-6, 13.
- [46] HU H L, LI P X, SHEN W B. Preharvest application of hydrogen-rich water not only affects daylily bud yield but also contributes to the alleviation of bud browning[J]. *Scientia Horticulturae*, 2021, 287.
- [47] 刘丰娇, 蔡冰冰, 孙胜楠, 等. 富氫水浸种增强黄瓜幼苗耐冷性的作用及其生理机制[J]. 中国农业科学, 2017, 50(5): 881-889.
- [48] WU Q, SU N N, SHABALA L, et al. Understanding the mechanistic basis of ameliorating effects of hydrogen rich water on salinity tolerance in barley[J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2020, 177.
- [49] 张双双, 张林, 沙继斌, 等. 富氫水干预对耐力训练大鼠氧化-抗氧化能力的影响[J]. 中国康复医学杂志, 2019, 34(10): 1150-1156.
- [50] 欧明毫, 刘建红, 黄森, 等. 富氫水对女子柔道运动员机体抗氧化能力的影响[J]. 中国运动医学杂志, 2017, 36(1): 17-20.
- [51] 邹仙, 李沁原, 左都霜, 等. 力竭后补充富氫水和葡萄糖对疲劳恢复趋势的影响[J]. 广东医学, 2017, 38(18): 2750-2754.

植物精油对干酪抑菌作用的研究进展

赵悦, 李玲玉, 闫清泉, 吴政, 赵中华, 宗学醒*

内蒙古蒙牛乳业(集团)股份有限公司(呼和浩特 011500)

摘要 植物精油是可挥发的天然植物源性物质,通过不同作用机制表现出较好的抗菌和抗氧化活性,是潜在天然抗菌剂,受到越来越多食品行业人员的关注。现如今,消费者对尽可能使用不含防腐剂或天然防腐剂的食品需求不断增加,迫使食品行业在产品生产中使用微生物等来源的防腐剂进行抑菌。因此,生产不含或含有少量合成防腐剂的安全食品是食品行业最重要的挑战之一。文章综述了植物精油作为天然抗菌剂在干酪生产中的潜在应用,及对干酪抗菌机理和抗氧化机制的研究,以减少常见的腐败菌、霉菌、酵母菌和致病菌。

关键词 植物精油;干酪;抗菌机理;抗氧化机制

Research Progress on the Antibacterial Effect of Plant Essential Oils on Cheese

ZHAO Yue, LI Lingyu, YAN Qingquan, WU Zheng, ZHAO Zhonghua, ZONG Xuexing*

Inner Mongolia Mengniu Dairy Industry (Group) Co., Ltd. (Hohhot 011500)

Abstract Plant essential oil is a volatile natural plant derived substance. It shows good antibacterial and antioxidant activities through different action mechanisms. It is a potential natural antibacterial agent, which has attracted the attention of more and more people in the food industry. Nowadays, the increasing demand of consumers for foods that do not contain preservatives or natural preservatives as much as possible has forced the food industry to use preservatives from microorganisms and other sources for bacteriostasis in product production. Therefore, the production of safe food without or containing a small amount of synthetic preservatives is one of the most important challenges in the food industry. This paper reviews the potential application of plant essential oil as a natural antibacterial agent in cheese production, and the research on the antibacterial mechanism and antioxidant mechanism of cheese, so as to reduce the common spoilage and pathogenic bacteria, mold and yeast.

Keywords essential oils; cheese; antibacterial mechanism; antioxidant mechanism

食品安全是食品行业的主要问题之一。干酪营养物质极其丰富,具有独特的风味和口感,受到许多消费者的喜爱,逐步成为餐桌上不可或缺的一部分。然而,在产品的生产、包装、运输、储存过程中,干酪很容易受到微生物的污染,破坏食品营养价值的同时也给消费者构成了健康威胁。为避免此类现象的发生,也开发了许多方法,包括热处理、降低水活度、酸化、辐照及添加化学防腐剂等方法用于生产更安全的食品,然而这些方法均有一定的局限性。为满足人们对食品感官和安全的要求,寻求一种天然、安全且具有光谱抗菌抗氧化效果的植物源抗菌剂非常重要。

精油是一种植物次级代谢产物,具有高效的抑菌作用、穿透力强、分子质量小且易吸收等特点,在食品、医药、化妆品等行业有着广泛的应用价值。

1 干酪成熟及储存期间的变化

干酪是乳制品中最有营养的产品之一,是蛋白质、维生素、矿物质、短链脂肪酸和一些反式脂肪酸等必需营养素的丰富来源。干酪的成熟在干酪生产中是至关重要的步骤,但往往也需要较长的时间,干酪所具有的独特风味和质地相关的生化反应(蛋白质分解、脂肪分解和糖酵解)主要是微生物产生的酶或微

- [52] 张红红, 卢杰, 李忠伟. 富氫水对青少年女子足球运动员免疫功能的影响[J]. 中国体育教练员, 2019, 27(3): 65-67.
- [53] 江东, 刘传芳, 马丽, 等. 饮用富氫水对特勤疗养官兵运动耐力和机体氧化应激的影响研究[J]. 职业与健康, 2021, 37(9): 1228-1232.
- [54] KATO S, SAITOH Y, IWAI K, et al. Hydrogen-rich electrolyzed warm water represses wrinkle formation against UVA ray together with type-I collagen production and oxidative-stress diminishment in fibroblasts and cell-injury

- prevention in keratinocytes[J]. Journal of Photochemistry & Photobiology, B: Biology, 2011, 106: 24-33.
- [55] 周平, 刘沙, 潘涛, 等. 富氫水对放射性皮肤损伤的作用研究[J]. 医学研究杂志, 2017, 46(1): 71-73, 83.
- [56] 李鸿昌, 代春丽, 张晖. 富氫水泡浴在高原官兵皮肤病患者中的临床效果及对炎性因子的影响研究[J]. 解放军医药杂志, 2021, 33(4): 104-107.
- [57] 吕平平, 李传茂, 杨登亮, 等. 富氫水对酪氨酸酶活性的抑制作用[J]. 广东化工, 2019, 46(6): 49-50.