

碱性电解水在食品领域中的应用

李玉锋¹, 王敬敬², 檀利军², 曾思颖¹, 刘繁宇¹, 赵勇^{2*}

(¹安徽工程大学生物与食品工程学院 安徽芜湖 241000

²上海海洋大学食品学院 上海 201306)

摘要 碱性电解水(BEW)是通过电解稀盐溶液制备的水溶液,具有绿色安全、广谱性杀菌和价格低廉等优点。BEW 还具有较高的 pH 值与还原电位以及强穿透性,使得其在食品杀菌、加工、保鲜和提取等领域显示出巨大的应用潜力。本文综述近年来 BEW 在食品领域中的应用研究进展,重点阐述 BEW 在食品安全控制、食品保鲜应用和食品活性物质提取等方面的最新研究,以期 BEW 在食品领域中的高效应用和深入研究提供理论依据和方法学借鉴。

关键词 碱性电解水; 食品安全控制; 食品保鲜; 提取

文章编号 1009-7848(2023)12-0421-12 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2023.12.041

电解水因对环境友好、成本低廉和使用方便被广泛应用于食品多个领域的研究^[1]。通过隔膜将电解槽内的阳极和阴极分开,通电电解槽内稀盐(NaCl)溶液在阳极生成酸性电解水(Acidic electrolyzed water, AEW),同时在阴极生成碱性电解水(Basic/Alkaline electrolyzed water, BEW)。AEW 具有绿色安全、高效杀菌和价格低廉等优点,目前已作为杀菌剂广泛应用于食品、医药和农业等诸多领域^[2-4]。BEW 作为 AEW 的副产物,同样具备优良的理化性质,这些性质使得 BEW 能广泛应用于食品领域的研究。

目前有大量关于 BEW 理化性质、功能特性和在食品中应用的研究,如 BEW 在食品杀菌、食品保鲜和清除农药残留等方面展现出巨大的潜力^[1,5-6]。本课题组长期从事电解水理化性质、功能特性和保鲜机理相关的研究,研究发现 BEW 可用于提取南极磷虾蛋白质,与传统方法相比,使用 BEW 提取南极磷虾蛋白的提取率提高了 9.4%。此外,BEW 的高还原电位显著降低了磷虾蛋白中活性基团的氧化,从而提升了蛋白质的乳化性和起泡性^[7]。另一项研究还发现,弱碱性电解水能有效增强光敏剂(叶绿素铜钠盐)的渗透性、润湿性和稳定性,可进一步提高光敏剂生成活性氧的能力,

从而显著提升其介导光动力技术清除混合生物被膜的效率^[8]。值得注意的是 BEW 具有安全和对环境友好的优点,当其排放到自然环境时,它会迅速恢复为普通水^[9],更重要的是弱碱性电解水(pH 8~10)可直接被人体饮用,具有维持人体内酸碱平衡的作用^[9]。迄今为止,尚未对 BEW 在食品中的应用进行系统的综述。基于此,本文综述近年来 BEW 在食品中应用的研究进展,包括 BEW 在食品安全控制、食品保鲜应用和食品活性物质提取等方面的研究,以期更好地为其在食品领域中的高效应用和深入研究提供理论依据。

1 BEW 的制备及理化性质

1.1 BEW 的制备原理

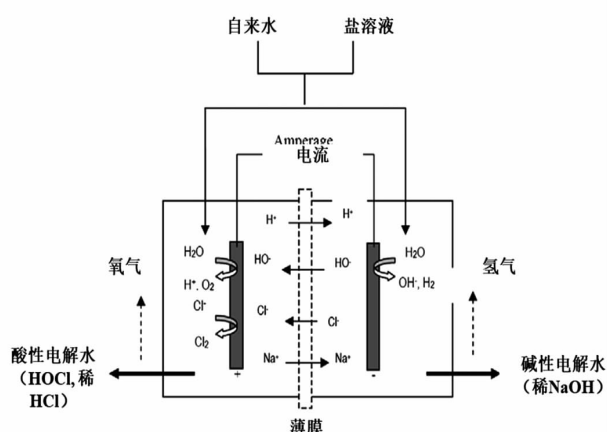
BEW 是通过电解稀盐溶液(NaCl 溶液)制备而成的,电解过程仅需消耗少量的电能,具有制取成本低廉、环保和安全等优点。具体制备原理如图 1 所示,在电流的作用下,电解液中的 NaCl 会解离成 Cl⁻和 Na⁺,溶液中的部分 H₂O 分子会解离形成 OH⁻和 H⁺。在这个过程中,溶液中的 Cl⁻和 OH⁻等阴离子向正极移动,OH⁻在正极释放电子生成 O₂,Cl⁻释放电子生成 Cl₂或 ClO⁻,ClO⁻与溶液中生成的 H⁺结合成 HClO,在正极生成 AEW。同时,Na⁺和 H⁺等阳离子向负极移动,并在负极获得电子。此时,H⁺得到电子生成 H₂,Na⁺与溶液中的部分 OH⁻形成 NaOH,在负极生成 BEW^[10-11]。具体反应如公式(1~5)所示:

收稿日期: 2022-12-20

基金项目: 安徽省高校自然科学基金项目(2022AH050994)

第一作者: 李玉锋,男,博士生,讲师

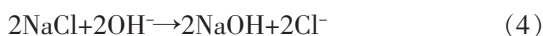
通信作者: 赵勇 E-mail: yzhao@shou.edu.cn

图1 电解水生成示意图^[12]Fig.1 Schematic of electrolytic water generation^[12]

正极反应:



负极反应:



1.2 BEW 的理化性质

BEW 在食品领域具有广泛的应用主要得益于其具备优异的理化性能(高 pH 值、高还原电位和强渗透能力),这些理化性质主要是由电解装置的类型、电解液种类、电解液浓度和电解时间决定^[13-14]。BEW 的 pH 值一般在 8.5~12 之间,pH 值的不同取决于电解液的种类和电解装置的不同^[1,9]。电解装置分为有隔膜和无隔膜,无隔膜的电解装置中生成的 BEW 碱性较低 (pH 值介于 8.5~10 之间),称为弱碱性电解水;有隔膜的电解装置中生成 BEW 碱性较强 (pH>10),称为强碱性电解水。此外,BEW 的 pH 值与电解液的浓度成正比。BEW 的氧化还原电位 (Oxidation reduction potential, ORP)为-800~900 mV,较高的还原电位表明 BEW 具有较强的抗氧化能力,可用作食品加工过程中的抗氧化剂^[15]。与自来水和 AEW 相比,BEW 中溶解氧含量相对较低,且含有大量 5~6 个水分子组成的小分子团簇,呈六元环状结构,具有极强的穿透和溶解能力^[6,16]。

2 BEW 在食品安全控制领域的研究进展

2.1 BEW 在食品杀菌领域应用的研究进展

BEW 具有温和的杀菌效果,对细菌、真菌和生物被膜都有较好的杀灭和清除能力,这主要得益于其具有较高的 pH 值和还原电位。BEW 的高 pH 值可以抑制微生物的生长和繁殖,较高的还原电位可以改变细胞膜的表面电位,进而破坏细胞的新陈代谢和 ATP 生成,最终使细菌失活^[11]。此外,BEW 可改变微生物细胞膜的通透性,降低其对消毒剂的抵抗能力^[5,10],使用 BEW 预处理微生物,然后再用其它杀菌试剂处理比单独使用杀菌剂处理具有更好的杀菌效果。

2.1.1 BEW 在控制细菌方面的研究 在食品加工和储存过程中,过量的细菌会引起食品发生物理或化学变化,导致食品失去原有的质地和营养价值^[17],因此科研工作者都在积极开发绿色控制细菌的技术和方法。Ovissipour 等^[18]研究表明 BEW 可以有效杀灭空肠弯曲菌和大肠杆菌。还有研究发现 BEW 能有效杀灭葡萄中的布鲁氏菌,在酿造葡萄酒的过程中降低布鲁氏菌对葡萄酒的污染,进而显著提升葡萄酒的品质和安全性^[19]。更为重要的是,不同于化学杀菌试剂,BEW 是一种温和的杀菌试剂,其对食品的组织结构和营养价值的破坏较小,同时不会在食品表面残留有害的化学试剂^[18,20]。此外,大量的研究表明 BEW 对食品中的细菌具有广谱性的杀菌能力,如对柑橘、桃子、葡萄和苹果等水果表面的细菌都具有很强的杀灭能力^[21-23]。

BEW 协同其它技术可显著提升其对细菌的杀灭效果。Iram 等^[10]研究表明:与单一使用 BEW 或 AEW 处理相比,BEW 和 AEW 交替组合使用具有更强的杀菌能力,可作为食品加工车间的清洗剂。Hao 等^[24]也发现 BEW 和 AEW 联合使用对香菜表面的有害细菌具有更强的清除能力。Rahman 等^[25]将 BEW 溶解柠檬酸(1%),在室温下处理鲜切的胡萝卜丝,发现其可以在不损害胡萝卜丝品质的情况下有效降低其表面的腐败性细菌。此外,BEW 与超声波联合使用也可显著提升其对细菌的杀灭效果^[26]。

2.1.2 BEW 在控制真菌和真菌毒素方面的研究

真菌毒素是真菌代谢过程中产生的一种低分子

质量的天然次生产物,对人体具有很强的毒害作用,主要表现为损害机体肝肾、致癌和致突变等^[27-28]。玉米、花生和小麦等农作物在收获、运输和加工过程中极易受到真菌毒素的污染,严重危害着人们的生命健康和财产安全^[29]。BEW 对真菌毒素具有较强的破坏作用,其是通过破坏真菌毒素分子中的双键结构,从而达到降解真菌毒素的目的^[30]。Lyu 等^[31]使用不同 pH 值(8~12)的 BEW 浸泡小麦,发现不同 pH 值的 BEW 对真菌毒素均具有较强的破坏作用,更为重要的是 BEW 不会影响小麦的品质(含水量、粗蛋白含量和面筋含量等)。孙文烁等^[30]使用 BEW 代替去离子水浸泡鱼干,研究发现其可以有效清除鱼干中多种真菌毒素(黄曲霉毒素 B₁、B₂、G₁、AFB₁、AFB₂、AFG₁、AFG₂ 和赭曲霉毒素等)。此外, BEW 还可以清除食用油中的真菌毒素, Fan 等^[32-33]研究表明使用 BEW (pH=12.2) 以 220 r/min 的转速下清洗 5 min, 可以完全消除花生油和橄榄油中的黄曲霉毒素 B₁。

BEW 除了具备清除真菌毒素的能力,其还可用于控制食品中的有害真菌,有效降低食品在储存过程中受到的真菌污染。有研究表明 BEW 对柑橘上的霉菌具有较强的抑制作用,可有效降低柑橘霉病的发病率和病变直径^[34]。除了 BEW 具有直接清除真菌和真菌毒素的能力外,其协同其它技术可以更有效的清除食品中的真菌和真菌毒素。如 Rahman 等^[25]研究表明, BEW 耦合柠檬酸可显著减少萝卜丝中的真菌。

2.1.3 BEW 在控制生物被膜方面的研究 微生物能在食品或食品加工器具表面形成一层生物被膜,其是一种具有三维结构的微生物聚集体,主要包括蛋白质、多糖、核酸和脂质等^[35-37]。在自然条件下,90%以上的微生物都是以生物被膜的形式存在,被膜态细菌比浮游态细菌的抵抗能力高 1 000 倍以上^[8]。BEW 的主要成分是 NaOH,低浓度的 NaOH 溶液可与蛋白、油脂等有机物发生皂化反应,生成可溶性的醇和脂肪酸钠,进而瓦解生物被膜的三维结构达到清除生物被膜的目的^[38]。沈瑾等^[38]研究表明, BEW 对生物被膜的清除率为 99.95%。Ayebah 等^[39]先用 BEW 处理,然后用 AEW 处理单增李斯特菌的生物被膜,发现 BEW 可以有效瓦解其生物被膜的三维结构,显著提升 AEW 的

杀菌效率,二者结合使用对生物被膜具有更有效的清除能力。

除了上述直接清除生物被膜外, BEW 还可以提升其它清除生物被膜技术的清除效率。Tan 等^[8]使用 BEW 作为溶剂溶解光敏剂,并结合新型的光动力技术处理混合生物被膜,研究发现 BEW 可以提升光敏剂(叶绿素镁钠盐)产生单线态氧的能力,最终提升光动力清除混合生物被膜的能力,并能有效清除食物接触表面(不锈钢和鱼鳞)上的混合生物被膜。

2.2 BEW 在清除农药残留的研究进展

农药作为一种快速、高效且经济性高的防治虫害的武器,在保障农业生产中发挥着重要的作用^[40]。然而,过度的使用化学农药不仅会造成环境污染,也会引起农产品农药残留的问题,严重危害食品安全和人类健康。在人类接触农药的众多途径中,最有可能的途径就是食用含有农药残留的农产品^[41-42]。收获后的农产品在食用前通常使用自来水清洗,然而大多数农药都是疏水性的,自来水清洗无法有效清除农产品中的农药残留^[43]。电解水是一种安全无污染的试剂,当前已有研究表明其在清除农产品表面农药残留方面具有良好的效果^[9]。

BEW 和 AEW 对农药都具有较强的降解能力,二者降解农药能力的差异与农药的结构相关。AEW 在降解含有 P=S 双键的农药方面较为有效,如图 2 所示,含有 P=S 双键的二嗪农和亚磷酸等杀虫剂对 AEW 更敏感,这是由于 P=S 双键更容易被高氧化性的 AEW 氧化和降解。BEW 可以有效降解含有其它自由双键的农药,如 C=O、C=N 和 N=O 等双键,这是因为这些自由双键更容易被高还原电位的 BEW 还原和降解^[43-44]。BEW 和 AEW 都能有效破坏含有 P=O 双键的甲胺磷等农药,这是因为 P=O 双键的稳定性介于 P=S 双键和其它自由双键之间,对 AEW 和 BEW 都具有高度敏感性^[9]。

目前大量的研究结果表明, BEW 对水果和蔬菜表面的农药残留具有较好的清除能力。沈民越等^[45]使用 BEW 在室温条件下对白菜浸泡处理 5 min,白菜中乐果和敌敌畏两种有机磷农药的清除率分别达到了 93.31% 和 88.55%。Yang 等^[44]使用

pH 值为 12.5 的 BEW 清洗金桔 20 min, 发现其可有效清除金桔上的多种农药残留。还有研究发现 BEW 对菠菜中乙酰甲胺磷和氧化乐果等农药的清除率超过 50%^[9]。刘海杰等^[46]采用 BEW (pH=11) 处理含有氯氟氰菊酯的苹果, 发现在 20 °C 的条件下, BEW 对苹果中氯氟氰菊酯的降解率高达 75%。BEW 对农药的清除能力高度依赖其还原能力, Han 等^[47]发现, pH 值达到 12.2 时, BEW 具有最高的还原能力, 对豇豆上的农药残留具有最高的清除能力。对于一些表面粗糙和凹凸不平的蔬菜(如西兰花、菜花等), 其表面与水的接触角较

小, 临界表面张力较大, 附着的农药难于被自来水冲走。而 BEW 具有较小的界面张力和较强的表面活性作用, 其对西兰花表面的农药(西米酮和百菌清)的清除能力显著高于 AEW 和自来水^[15]。综上所述, BEW 是一种有前途的清除水果和蔬菜表面农药残留的绿色试剂, 在未来的研究中需要重点关注 BEW 清洗过程中各种农药代谢物的危害性。同时需要进一步研究 BEW 与其它清除农药技术的协同处理方法, 进一步开发清除水果和蔬菜中农药残留的新型方法, 解决清除农药残留和保证食品质量之间的平衡关系。

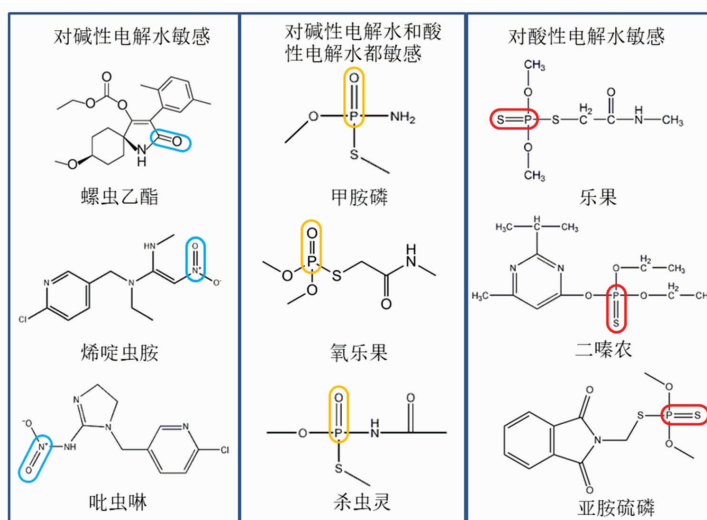


图 2 对 BEW 和 AEW 敏感的代表性农药的分子结构和敏感位点^[9]

Fig.2 Representative pesticide molecular structure sensitive to BEW, AEW and both BEW and AEW^[9]

3 BEW 在食品保鲜应用方面的研究进展

BEW 可以在较短的时间内杀灭腐败性微生物, 同时兼具较强的抗氧化性能, 在食品加工和保鲜领域显示出巨大的应用潜力^[1]。不同于 AEW 和化学保鲜剂, BEW 中不存在有效氯成分, 在对食品的保鲜过程中不会出现氯残留的问题, 广泛应用于水产品、畜禽肉和果蔬的保鲜和贮藏^[5, 48-49]。

3.1 BEW 在水产品保鲜方面的应用进展

水产品因其营养丰富和味道鲜美受到消费者的青睐。我国是水产品生产和消费大国, 水产品产量已连续多年位居世界第一^[50]。然而, 水产品在进行加工和贮藏过程中, 由于其自身蛋白酶和腐败性微生物的存在, 水产品中的蛋白和脂肪极易发生氧化酸败和腐烂变质^[51]。

BEW 可有效降低微生物对水产品的污染, 同时 BEW 兼具有抗氧化和钝酶的作用, 在贮藏的过程中可以有效保持水产品的品质^[49, 52]。Mahmoud 等^[53]通过响应面法得到了使用 BEW 保鲜罗非鱼的最佳方法, 该方法可以降低罗非鱼体表 94.1% 的微生物, 同时能有效降低罗非鱼体内自溶酶的活性, 显著提升罗非鱼的安全性和货架期。Xie 等^[52]研究发现使用 BEW 处理南美白对虾, 可以显著降低南美白对虾中细菌的含量。Lin 等^[48]研究发现 BEW 可以有效提升冷冻鲢鱼鱼片的持水能力, 保持其良好的组织质地, 有效抑制鲢鱼鱼片蛋白和脂质的氧化。

需要注意的是水产品中 pH 值过高时, 蛋白质和水之间的氢键增加, 肌原纤维中产生更强的静

电斥力,严重影响水产品的口感^[54]。因此,使用 BEW 在对水产品的处理过程中需要注意 BEW 的 pH 值和用量,同时 BEW 在使用过程中也需注意其不同贮藏条件下的稳定性问题。更重要的是水产品的种类多、分布广,不同种类的水产品之间的保存和处理方法差别较大,BEW 对其它水产品的影响还需要进一步研究。

3.2 BEW 在畜禽肉保鲜方面的应用进展

畜禽肉是人们主要的动物性蛋白来源,对人们的饮食结构具有重要意义^[59]。然而畜禽肉在贮藏、运输和加工过程中,极易发生腐败变质和氧化酸败的问题,因而对畜禽肉保鲜和防腐的研究具有重要意义。目前对畜禽肉的防腐处理主要是通过抑制和杀灭致腐和有害微生物,传统的化学和物理杀菌方式往往会降低肉质的品质,如高温处理会引起肉制品中蛋白质的氧化,不适用于新鲜肉的杀菌和保鲜。

BEW 兼具杀菌和抗氧化的性能,在畜禽肉的保鲜领域具有广泛应用。Shimamura 等^[55]使用 BEW 浸泡被金黄色葡萄球菌污染的新鲜鸡胸肉,发现 25 °C 下处理 3 min 后,BEW 可以有效抑制葡萄球菌肠毒素 A 的转录,并显著降低鸡肉中的细菌含量,且对鸡肉的 pH 值、脂质氧化、颜色和氨基酸含量没有影响。Arya 等^[56]也发现 BEW 可以有效杀灭牛肉和猪肉表面的大肠杆菌,显著延长了牛肉和猪肉的货架期。Bosilevac 等^[57]发现 BEW 可用于牛皮和牛肉的清洗,有效降低牛皮和牛肉上的微生物。Degala 等^[58]研究发现 BEW 还可以提高 AEW 清除山羊肉上大肠杆菌的效率,显著缩短加工处理时间。此外,在屠宰过程中,BEW 与 AEW 组合使用可改善猪肉品质和减少猪肉中微生物的含量,有效抑制猪肉蛋白的氧化,有效保持了贮存过程中猪肉的品质^[59]。BEW 耦合超声波处理可降低肉制品中 NaCl 的含量,显著提升肉类乳液的氧化稳定性和感官特性^[60]。此外,BEW 具有广谱抗菌和抑制酶活性的能力,能够降低畜禽肉中蛋白酶的活性,保持畜禽肉质品的组织质地。

3.3 BEW 在果蔬保鲜方面的应用进展

采摘后的水果和蔬菜在保存、加工和销售过程中极易发生褐变,直接影响果蔬的营养价值和外观质地^[61]。果蔬的褐变主要是其自身的多酚氧

化酶(PPO)和过氧化物酶(POD)引起的。采摘后,新鲜果蔬的细胞结构被破坏,酶与底物接触,在有氧的情况下极易发生氧化褐变反应^[62]。同时多酚氧化酶可以催化单酚(单酚酶)的羟基和邻二酚氧化为邻醌(双酚酶),最终聚合成棕色色素。在引起水果和蔬菜损坏的众多因素中,酶促褐变引起的水果和蔬菜损坏占比高达 50%^[63]。

BEW 中的分子氢和还原性电位可以阻止其与氧发生反应,其可通过阻止邻醌的生成抑制新鲜水果和蔬菜发生褐变^[64]。此外,BEW 中的 HO⁻可增强抗坏血酸的还原能力,Kim 等^[65]使用 BEW 代替去离子水作为溶剂溶解抗坏血酸,并将其用于抑制苹果褐变,结果表明抗坏血酸的抗褐变能力提升了 66%。Oh 等^[66]也发现使用 1%柠檬酸和 BEW 同时处理莴苣,对莴苣具有更好的抗褐变效果。

除了上述对水果和蔬菜具有抗褐变的功能外,BEW 还可保持水果的质地和减少腐烂,在贮藏期间有效维持水果和蔬菜的品质,从而延长其货架期。Hao 等^[24]研究发现使用 BEW 处理油桃后,可以有效减少其腐烂的发生率。还有研究发现 BEW 可以有效抑制番茄中尖孢镰刀菌、地霉半乳杆菌和链格孢菌的生长,进而降低番茄腐烂症状的发生率^[9]。但是 BEW 对水果和蔬菜保鲜的具体的机理还没有系统地研究,期望科研工作者在以后的研究中能使用新型的研究方法和手段,如蛋白质组学和代谢组学技术,解析 BEW 延长水果和蔬菜其货架期和抗褐变的具体分子机制。

4 BEW 在食品活性物质提取方面的研究进展

与普通水相比,BEW 中 H-O 离子键的键角更大,水分子间的吸引力较低,因此具有较高的渗透性和溶解性^[67-69],这在一定程度上表明 BEW 具有较强的提取能力。此外,BEW 还含有丰富的自由电荷和官能团,这有利于维持提取后天然分子结构的稳定。

目前提取蛋白质主要是使用碱溶酸沉法提取,在提取过程中需要使用强酸或强碱调节提取液的 pH 值,这个过程中蛋白质的结构与功能会产生不同程度的破坏,且在提取过程中使用的大

量 NaOH 排放到环境中,会严重破坏环境^[7]。兼具抗氧化和碱性的 BEW 可替代 NaOH 用于蛋白质的提取(表 1)。李志豪等^[70]使用 BEW 提取籽瓜种仁蛋白质,相比于传统碱溶酸沉法,BEW 可显著提升籽瓜种仁蛋白质的提取率。此外,BEW 提取的蛋白中必需氨基酸含量、溶解性、起泡性和乳化性显著提升。Li 等^[7]建立了 BEW 耦合超声波提取南极磷虾蛋白的新方法。与传统方法相比,该方法在提取磷虾蛋白的过程中减少 30.9%的 NaOH 使用量,蛋白的提取率和溶解度分别提升了 9.4%和 8.5%,乳化特性显著提升。谭晓妍等^[71]使用 BEW 耦合酶提取茶渣蛋白,发现经过 BEW 和酶处理茶渣后,茶渣蛋白的提取率提升至 83%,显著高于传统提取方法的提取率。同时该方法提取的蛋白质具有较高的抗氧化能力。此外,BEW 也广泛应用于其它蛋白质的提取,如杏仁蛋白和葵花籽蛋白质等^[67,70,72]。BEW 能提升蛋白质的提取率的主要原因是其可以破坏蛋白分子间氢键,使蛋白暴露出更多的裂解位点,这个过程导致蛋白质二级结构中

的 α -螺旋和 β -转角转化为无规卷曲,提高了蛋白质的溶解率,最终提升了蛋白质的提取率。此外,BEW 中 OH⁻的含量较多,其可以促进 H⁺从硫酸盐基团上脱离并加速氢键的断裂,增加了蛋白质的表面电荷,进而增加蛋白质间的静电排斥和水合能力,并最终提升了蛋白质的溶解性。

BEW 除了上述用于提取蛋白质外,还可用于多酚、多糖和鱼油的提取^[48,68]。Zhao 等^[73]研究发现 BEW 可用于提取酚类和黄酮类化合物。与传统方法相比,BEW 与超声波联合使用可有效降低黄酮类化合物的提取时间(缩短了 87.5%),同时 BEW 还可有效降低黄酮类化合物的氧化。此外,有研究发现使用 BEW 提取灵芝多糖,灵芝多糖的提取率提高了 74.7%^[74]。Toge 等^[75]利用 BEW 有效的提高了鱼油的提取率。综上所述,BEW 是一种绿色无污染且具有强抗氧化和强穿透性提取剂,在未来蛋白质、多酚、多糖和油脂工业生产中发挥着重要的作用,同时也为生物大分子的提取方面提供了新的方法学借鉴。

表 1 碱性电解水用于食品领域的提取总结

Table 1 Summary of BEW used for extraction in food field

提取物质	提取条件	提取率/%	提取优势	文献来源
南极磷虾蛋白	pH=12; 超声 30 min	72.1	蛋白的提取率和溶解度分别提升了 9.4%和 8.5%;蛋白活性基团氧化程度降低,起泡性和乳化性显著提升	[7]
杏蛋白	pH=9.5	90	提取的杏蛋白必需氨基酸含量高,具有更好的乳化稳定性和起泡性	[67]
籽瓜种仁蛋白质	pH=8.5~10.0, 料液比 1:30, 35 °C 提取 3 h	90.07	蛋白质的溶解性、乳化性和起泡性方面都有显著提高;必需氨基酸(半胱氨酸、缬氨酸、异亮氨酸、亮氨酸)含量显著提高;结构和功能破坏较小	[70]
茶渣蛋白	pH=9; 碱性蛋白酶(2 500 IU/g 茶渣, 酶解 32 h)	83	提取率提高了 34.7%; 蛋白质总抗氧化能力 (668 单位/mL) 显著提升	[71]
茶多酚、黄酮类化合物	pH=12 超声波	/	处理时间缩短了 87.5%	[73]
灵芝多糖	pH=12.5; 料液比 1:60 (g:mL); 时间 105 min	3.11	提取率提高了 74.72%; 多糖分子质量略大, 具更好的生理活性	[74]
鱼油	pH=11.9	39.1	提取的鱼油中多不饱和脂肪酸(如二十碳五烯酸, EPA 和二十二碳六烯酸, DHA)含量高; 加工过程中的氧化程度更低	[75]

5 总结与展望

BEW 在食品领域的应用不仅仅局限于食品

安全控制、食品保鲜和食品功能性物质提取等方面。BEW 可清除细胞中的氧化自由基,降低其对

机体 DNA、蛋白质和其它分子的氧化损伤,在改善癌症、糖尿病和肾损伤等多种疾病方面发挥着重要作用^[76-77]。因此探究 BEW 与食品的相互作用以及其与人类机体的作用关系,能更好的促进 BEW 在食品领域中的应用。本文基于 BEW 的理化性质,结合目前其在食品领域的研究现状,对未来 BEW 在食品领域中的研究和应用提出以下几点展望,旨在为 BEW 在食品领域的研究提供新的理论和学术内涵,进而更好地保障公众健康和食品安全。

5.1 使用分子生物学技术揭示 BEW 与食品的相互作用

现阶段对 BEW 与食品的相互作用的研究方法依然非常有限,使用新兴的食品生物技术进一步解析 BEW 与食品的相互作用,并在食品的生产中制定行之有效的方法。因此需要进一步使用新兴生物学和分子生物学技术揭示 BEW 与食品的相互作用关系。

5.2 BEW 联合其它新型技术在食品领域中的应用

虽然目前已有的研究表明 BEW 对食品的杀菌、保鲜、活性物质提取和清除农药残留等方面是有效的,但是还有很大的提升空间。因此,BEW 可进一步与其它新型技术(光动力杀菌技术、微波射频技术等)结合使用,联合不同的食品加工策略能让各技术相互取长补短,开发新型食品安全控制、加工和保鲜技术,进而降低食品中的化学添加量和改善食品品质,是未来开发"绿色标签理念"食品的一个光明的研究方向。

5.3 推动 BEW 与人类健康之间关系的研究

BEW 被证明是可以直接饮用的功能性水,日本多年来一直将弱碱性电解水作为饮用水。BEW 可通过影响肠道微生物的组成,促进消化系统的健康,同时还可通过提升胆固醇代谢和肝脏保护增进机体的健康。此外,BEW 还有一些潜在的用途,例如加速伤口愈合、口腔保健和减肥等。然而,关于这一方面的实践研究并不深入、不彻底,目前只停留在对模型鼠的实践研究。BEW 在食品加工过程中是直接作用于食品表面,并残留在食品表面进而被人体吸收。因此开展 BEW 与人类健康之间功效关系的研究是未来的重要方向。

参 考 文 献

- [1] RAHMAN S, KHAN I, OH D. Electrolyzed water as a novel sanitizer in the food industry: Current trends and future perspectives[J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2016, 15(3): 471-490.
- [2] 曹泽钰. 微酸性电解水在食品安全领域的应用研究进展[J]. *中国消毒学杂志*, 2020, 37(3): 229-232.
CAO Z Y. Research progress on the application of slightly acidic electrolyzed water in the field of food safety[J]. *Chinese Journal of Disinfection*, 2020, 37(3): 229-232.
- [3] 钟强, 董春晖, 黄志博, 等. 酸性电解水保鲜机理及其在水产品中应用效果的研究进展[J]. *食品科学*, 2021, 42(5): 288-295.
ZHONG Q, DONG C H, HUANG Z B, et al. Recent Progress in the Preservation Mechanism of Acidic Electrolyzed Water and Its Application in the Preservation of Aquatic Products[J]. *Food Science*, 2021, 42(5): 288-295.
- [4] 励建荣. 海水鱼类腐败机制及其保鲜技术研究进展[J]. *中国食品学报*, 2018, 18(5): 1-12.
LI J R. Research progress on spoilage mechanism and preservation technology of marine fish[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2018, 18(5): 1-12.
- [5] HRICOVA D, STEPHAN R, ZWEIFEL C. Electrolyzed water and its application in the food industry[J]. *Journal of Food Protection*, 2008, 71(9): 1934-1947.
- [6] 蔡怀戡. 弱碱性电解还原水的制备条件及稳定性研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2018.
CAI H Y. Study on preparation conditions and stability of weakly electrolyzed reduced alkaline water [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2018.
- [7] LI Y F, ZENG Q H, PENG Z Y, et al. Effects of ultrasound-assisted basic electrolyzed water (BEW) extraction on structural and functional properties of Antarctic krill (*Euphausia superba*) proteins[J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2021, 71: 105364.
- [8] TAN L J, ZHAO Y, LI Y F, et al. Potent eradication of mixed-species biofilms using photodynamic inactivation coupled with slightly alkaline electrolyzed water[J]. *Lwt*, 2022, 155: 112958.

- [9] ZHANG W L, CAO J K, JIANG W B. Application of electrolyzed water in postharvest fruits and vegetables storage: A review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2021, 114: 599–607.
- [10] IRAM A, WANG X, DEMIRCI A. Electrolyzed oxidizing water and its applications as sanitation and cleaning agent[J]. Food Engineering Reviews, 2021, 13(2): 411–427.
- [11] AMPIAW R, YAQUB M, LEE W. Electrolyzed water as a disinfectant: A systematic review of factors affecting the production and efficiency of hypochlorous acid[J]. Journal of Water Process Engineering, 2021, 43: 102228.
- [12] HUANG Y. Application of electrolyzed water in the food industry[J]. Food Control, 2008, 19(4): 329–345.
- [13] HSU S. Effects of water flow rate, salt concentration and water temperature on efficiency of an electrolyzed oxidizing water generator[J]. Journal of Food Engineering, 2003, 60(4): 469–473.
- [14] 裴海生, 孙君社. 强电解水及其在食品工业中的应用[J]. 中国食品学报, 2011, 11(9): 268–271.
- PEI H S, SUN J S. Strong electrolytic water and its application in food industry[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2011, 11(9): 268–271.
- [15] LIU Y F, WANG J, ZHU X R, et al. Effects of electrolyzed water treatment on pesticide removal and texture quality in fresh-cut cabbage, broccoli, and color pepper[J]. Food Chemistry, 2021, 353: 129408.
- [16] HENRY M, CHAMBRON J. Physico-chemical, biological and therapeutic characteristics of electrolyzed reduced alkaline water (ERAW)[J]. Water, 2013, 5(4): 2094–2115.
- [17] 励建荣, 檀茜倩, 王丹, 等. 基于益生菌及其代谢物的食源性致病微生物控制技术研究进展[J]. 食品科学技术学报, 2022, 40(3): 1–12.
- LI J R, TAN X Q, WANG D, et al. Recent approaches in probiotics and their metabolites research to control foodborne pathogens[J]. Journal of Food Science and Technology, 2022, 40(3): 1–12.
- [18] OVISSIPOUR M, AL-QADIRI H M, SABLANI S S, et al. Efficacy of acidic and alkaline electrolyzed water for inactivating *Escherichia coli* O104:H4, *Listeria monocytogenes*, *Campylobacter jejuni*, *Aeromonas hydrophila*, and *Vibrio parahaemolyticus* in cell suspensions[J]. Food Control, 2015, 53: 117–123.
- [19] FRANCESCO C, VASILEIOS E, KALLIOPI R, et al. Control of *Brettanomyces bruxellensis* on wine grapes by post-harvest treatments with electrolyzed water, ozonated water and gaseous ozone[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2018, 47: 309–316.
- [20] 宋光明, 邓玲, 赵祎, 等. 碱性电解水提取对羊肚菌多糖性质及抗氧化活性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(22): 208–214.
- SONG G M, DENG L, ZHAO W, et al. Effects of alkaline electrolyzed water extraction on the properties and antioxidant activity of *Morchella polysaccharides*[J]. Food and Fermentation Industry, 2023, 49(22): 208–214.
- [21] FRIDA F, ANTONIO I, ANGELA L, et al. Electrolyzed sodium bicarbonate inhibits *Penicillium digitatum* and induces defence responses against green mould in citrus fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2016, 115: 18–29.
- [22] JANE L, KANG L, MICHAEL A, et al. Postharvest management of gray mold and brown rot on surfaces of peaches and grapes using electrolyzed oxidizing water[J]. International Journal of Food Microbiology, 2010, 143(1/2): 54–60.
- [23] BELAY Z, BOTES W, CALEB O. Effects of alkaline electrolyzed water pretreatment on the physicochemical quality attributes of fresh nectarine during storage[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2021, 45(10): e15879.
- [24] HAO J X, LI H Y, WAN Y F, et al. Combined effect of acidic electrolyzed water (AcEW) and alkaline electrolyzed water (AIEW) on the microbial reduction of fresh-cut cilantro[J]. Food Control, 2015, 50: 699–704.
- [25] RAHMAN S, JIN Y, OH D. Combination treatment of alkaline electrolyzed water and citric acid with mild heat to ensure microbial safety, shelf-life and sensory quality of shredded carrots[J]. Food Microbiology, 2011, 28(3): 484–491.
- [26] BRASIL C C, MENEZES C R, LOPES E J, et al. Combined application of electrolysed water and ultrasound to improve the sanitation of knives in the meat industry[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2019, 55(3): 1136–1144.
- [27] JAFARZADEH S, HADIDI M, FOROUGH M, et

- al. The control of fungi and mycotoxins by food active packaging: A review [J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2022, 63(23): 6393–6411.
- [28] HOU Y J, JIA B Y, SHENG P, et al. Aptasensors for mycotoxins in foods: Recent advances and future trends [J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2022, 21(2): 2032–2073.
- [29] 王琦, 杨庆利, 吴薇. 基于氧化石墨烯的荧光适配体传感器检测食品中真菌毒素[J]. *食品科学*, 2021, 42(24): 318–322.
- WANG Q, YANG Q L, WU W. A graphene oxide-based fluorescent aptasensor for determination of mycotoxins in food[J]. *Food Science*, 2021, 42(24): 318–322.
- [30] 孙文烁, 靳梦瞳, 武爱波, 等. 电解水对鱼干中真菌毒素消除效果研究[J]. *现代食品科技*, 2015, 21(10): 222–226.
- SUN W S, JIN M T, WU A B, et al. Elimination of mycotoxins in semi-dried fish products with electrolyzed water treatment[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2015, 21(10): 222–226.
- [31] LYU F, GAO F, ZHOU X X, et al. Using acid and alkaline electrolyzed water to reduce deoxynivalenol and mycological contaminations in wheat grains[J]. *Food Control*, 2018, 88: 98–104.
- [32] ABDOLMALEKI K, KHEDRI S, ALIZADEH L, et al. The mycotoxins in edible oils: An overview of prevalence, concentration, toxicity, detection and decontamination techniques[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2021, 115: 500–511.
- [33] FAN S F, ZHANG F Z, LIU S W, et al. Removal of aflatoxin B-1 in edible plant oils by oscillating treatment with alkaline electrolysed water [J]. *Food Chemistry*, 2013, 141(3): 3118–3123.
- [34] YOUSSEF K, HUSSIEN A. Electrolysed water and salt solutions can reduce green and blue molds while maintain the quality properties of ‘Valencia’ late oranges[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2020, 159: 111025.
- [35] CHEN B W, HUANG J M, LI H H, et al. Eradication of planktonic *Vibrio parahaemolyticus* and its sessile biofilm by curcumin-mediated photodynamic inactivation[J]. *Food Control*, 2020, 113: 107181.
- [36] LI Y F, TAN L, GUO L X, et al. Acidic electrolyzed water more effectively breaks down mature *Vibrio parahaemolyticus* biofilm than DNase I [J]. *Food Control*, 2020, 117: 107312.
- [37] 檀利军, 王敬敬, 彭知云, 等. 食品工业中混合菌生物被膜的形成、相互作用与新型控制策略[J]. *食品科学*, 2022, 43(19): 285–294.
- TAN L J, WANG J J, PENG Z Y, et al. Formation, interaction and novel control strategies of mixed-species biofilm in the food industry[J]. *Food Science*, 2022, 43(19): 285–294.
- [38] 沈瑾, 段弘扬, 邱侠, 等. 碱性电解水与医用清洗剂去除细菌生物膜的研究[J]. *中华医院感染学杂志*, 2018, 28(7): 979–982.
- SHEN J, DUAN H Y, QIU X, et al. Bacterial biofilm removal effects of medical detergents and alkaline electrolyzed water [J]. *Chinese Journal of Nosocomiology*, 2018, 28(7): 979–982.
- [39] AYEBAH B, HUNG Y, FRANK J. Enhancing the bactericidal effect of electrolyzed water on *Listeria monocytogenes* biofilms formed on stainless steel[J]. *Journal of Food Protection*, 2005, 68(7): 1375–1380.
- [40] VAN DELDEN S, SHARATHKUMAR M, BUTTURINI M, et al. Current status and future challenges in implementing and upscaling vertical farming systems[J]. *Nature Food*, 2021, 2(12): 944–956.
- [41] AZAM S M, MA H, XU B, et al. Efficacy of ultrasound treatment in the removal of pesticide residues from fresh vegetables: A review[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2020, 97: 417–432.
- [42] 曾定玲, 方长发, 顾亚萍, 等. 大气压化学电离质谱法快速测定四种果蔬中阿维菌素农药残留[J]. *食品与发酵工业*, 2022, 48(6): 276–280.
- ZENG D L, FANG C F, GU Y P, et al. Determination of avermectin residues in four kinds of fruits and vegetables by LC-APCI-MS-MS[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2022, 48(6): 276–280.
- [43] QI H, HUANG Q G, HUNG Y C. Effectiveness of electrolyzed oxidizing water treatment in removing pesticide residues and its effect on produce quality [J]. *Food Chemistry*, 2018, 239: 561–568.
- [44] YANG J, SONG L, PAN C P, et al. Removal of ten pesticide residues on/in kumquat by washing with alkaline electrolysed water[J]. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 2020, 102(15): 1–14.
- [45] 沈民越, 程梓杰, 张子茜, 等. 碱性电解水对白菜表

- 面有机磷农药的去除效果研究[J]. 农产品加工, 2021, 14(7): 8-10, 13.
- SHEN M Y, CHENG Z J, ZHANG Z Q, et al. Study on the effect of alkaline electrolyzed water on the removal of organophosphorus pesticides on the surface of cabbage[J]. Farm Products Processing, 2021, 14(7): 8-10, 13.
- [46] 刘海杰, 李润泽, 苏东海, 等. 碱性电解水降解苹果表面的高效氯氟氰菊酯农药[J]. 食品科技, 2015, 40(2): 123-127.
- LIU H J, LI R Z, SU D H, et al. Degradation of Lambda-cyhalothrin in fruits and vegetable by alkaline electrolyzed water[J]. Food Science and Technology, 2015, 40(2): 123-127.
- [47] HAN Y T, SONG L, AN Q S, et al. Removal of six pesticide residues in cowpea with alkaline electrolysed water[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2017, 97(8): 2333-2338.
- [48] LIN H M, HUNG Y C, DENG S G. Effect of partial replacement of polyphosphate with alkaline electrolyzed water (AEW) on the quality of catfish fillets[J]. Food Control, 2020, 112: 107117.
- [49] 梁凤雪, 陈海强, 梁钻好, 等. 碱性电解水对罗非鱼活体杀菌工艺优化[J]. 农业工程, 2019, 9(5): 62-67.
- LIANG F X, CHEN H Q, LIANG Z H, et al. Disinfection technology optimization of alkaline electrolyzed water for living tilapia[J]. Agricultural Engineering, 2019, 9(5): 62-67.
- [50] 蓝蔚青, 张炳杰, 谢晶. 超高压联合其他保鲜技术在水产品中应用的研究进展[J]. 高压物理学报, 2022, 36(2): 197-204.
- LAN W Q, ZHANG B J, XIE J. Research progress on the application of ultra-high pressure combined with other preservation technologies in aquatic products[J]. Chinese Journal of High Pressure Physics, 2022, 36(2): 197-204.
- [51] OLUMIDE A O, OLUWADARA O A, MARIYANA S, et al. Understanding spoilage microbial community and spoilage mechanisms in foods of animal origin[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2020, 19(2): 311-331.
- [52] XIE J, SUN X H, PAN Y J, et al. Combining basic electrolyzed water pretreatment and mild heat greatly enhanced the efficacy of acidic electrolyzed water against *Vibrio parahaemolyticus* on shrimp[J]. Food Control, 2012, 23(2): 320-324.
- [53] MAHMOUD B, YAMAZAKI K, MIYASHITA K, et al. Decontamination effect of electrolysed NaCl solutions on carp[J]. Letters in Applied Microbiology, 2004, 39(2): 169-173.
- [54] BERTRAM H, MEYER R, WU Z, et al. Water distribution and microstructure in enhanced pork[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008, 56(16): 7201-7207.
- [55] SHIMAMURA Y, SHINKE M, HIRAISHI M, et al. The application of alkaline and acidic electrolyzed water in the sterilization of chicken breasts and beef liver[J]. Food Science & Nutrition, 2016, 4(3): 431-440.
- [56] ARYA R, BRYANT M, DEGALA H, et al. Effectiveness of a low-cost household electrolyzed water generator in reducing the populations of *Escherichia coli* K12 on inoculated beef, chevon, and pork surfaces[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2018, 42(6): 13636.
- [57] BOSILEVAC J M, SHACKELFORD S D, BRICHTA D M, et al. Efficacy of ozonated and electrolyzed oxidative waters to decontaminate hides of cattle before slaughter[J]. Journal of Food Protection, 2005, 68(7): 1393-1398.
- [58] DEGALA H, SCOTT, RICO E, et al. Synergistic effect of ozonated and electrolyzed water on the inactivation kinetics of *Escherichia coli* on goat meat [J]. Journal of Food Safety, 2019, 40(1): e12740.
- [59] ATHAYDE D R, FLORES D R, DA SILVA J S, et al. Application of electrolyzed water for improving pork meat quality[J]. Food Research International, 2017, 100(Pt1): 757-763.
- [60] YASMIM S, MARIANA B, CLEUZA T, et al. Ultrasound and basic electrolyzed water: A green approach to reduce the technological defects caused by NaCl reduction in meat emulsions [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2020, 61: 104830.
- [61] 李彩云, 李洁, 严守雷, 等. 果蔬酶促褐变机理的研究进展[J]. 食品科学, 2021, 42(9): 283-292.
- LI C Y, LI J, YAN S L, et al. Progress in research on the mechanism of enzymatic browning in fruits and vegetables [J]. Food Science, 2021, 42(9): 283-292.
- [62] MA Y H, WANG H Y, YAN H, et al. Pre-cut NaCl solution treatment effectively inhibited the

- browning of fresh-cut potato by influencing polyphenol oxidase activity and several free amino acids contents [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2021, 178: 111543.
- [63] ZHAO L, ZHAO M Y, PHEY C P, et al. Efficacy of low concentration acidic electrolysed water and levulinic acid combination on fresh organic lettuce (*Lactuca sativa* Var. *Crispa* L.) and its antimicrobial mechanism[J]. *Food Control*, 2019, 101: 241–250.
- [64] SHIRAHATA S, KABAYAMA S, NAKANO M, et al. Electrolyzed-reduced water scavenges active oxygen species and protects DNA from oxidative damage[J]. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 1997, 234(1): 269–274.
- [65] KIM M, HUNG Y. Effect of alkaline electrolyzed water as an inhibitor of enzymatic browning in red delicious apples [J]. *Journal of Food Biochemistry*, 2014, 38(6): 542–550.
- [66] OH D. Effect of Electrolyzed Water and Citric acid On Quality Enhancement and Microbial Inhibition in Head Lettuce [J]. *Korean Journal of Food Science and Technology*, 2009, 41(5): 578–586.
- [67] LI Z H, ZHOU B, LI X T, et al. Effect of alkaline electrolyzed water on physicochemical and structural properties of apricot protein isolate[J]. *Food Science and Biotechnology*, 2019, 28(1): 15–23.
- [68] 王晓娟, 冯浩, 李志义. 电解水预处理对玉米秸秆和柳枝稷酶解产糖的研究[J]. *高校化学工程学报*, 2012, 26(1): 169–174.
- WANG X J, FENG H, LI Z Y. Effects of electrolyzed water pretreatment on hydrolysis of corn stove and switchgrass[J]. *Journal of Chemical Engineering of Chinese Universities*, 2012, 26(1): 169–174.
- [69] 张建旭, 王旭旭, 孙一丹, 等. 电解水在小龙虾壳脱矿物质和蛋白质中的应用[J]. *中国食品学报*, 2021, 21(1): 157–165.
- ZHANG J X, WANG X X, SUN Y D, et al. The application of electrolyzed water in demineralization and deproteinization of crayfish shell [J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2021, 21(1): 157–165.
- [70] 李志豪, 周彬, 王萍, 等. 碱性电解水对籽瓜种仁蛋白质提取效果的影响[J]. *食品科学*, 2019, 40(7): 95–100.
- LI Z H, ZHOU B, WANG P, et al. Effect of alkaline electrolyzed water on extraction of seed kernel protein from *Citrullus lanatus* var. *megalaspermus*[J]. *Food Science*, 2019, 40(7): 95–100.
- [71] 谭晓妍, 孙君社, 宁慧娟, 等. 碱性电解水耦合酶提取茶渣蛋白工艺优化[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(15): 213–218.
- TAN X Y, SUN J S, NING H J, et al. Optimization of extraction process of protein from exhausted tea by alkaline electrolyzed-reducing water synergized with protease[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2018, 39(15): 213–218.
- [72] AIDER M, GNATKO E, BENALI M, et al. Electro-activated aqueous solutions: Theory and application in the food industry and biotechnology[J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2012, 15: 38–49.
- [73] ZHAO Y S, LI P, GE L, et al. Effect of electrolyzed reduced water on chiral theanine and polyphenols in tea[J]. *Food Chemistry*, 2012, 134(4): 1761–1766.
- [74] 苗雨欣, 刘旭, 宁慧娟, 等. 碱性电解水提取灵芝子实体多糖的工艺优化[J]. *中国食用菌*, 2020, 39(11): 62–67.
- MIAO Y X, LIU X, NING H J, et al. Optimization of alkaline electrolyzed water extraction process of *Ganoderma lucidum* polysaccharides by response surface methodology [J]. *Edible Fungi of China*, 2020, 39(11): 62–67.
- [75] TOGE Y, MIYASHITA K. Lipid extraction with electrolyzed cathode water from marine products[J]. *Journal of Oleo Science*, 2003, 52(1): 1–6.
- [76] PARK S, KIM J, YU A, et al. Electrolyzed-reduced water confers increased resistance to environmental stresses[J]. *Molecular & Cellular Toxicology*, 2012, 8(3): 241–247.
- [77] IGNACIO R, KANG T, KIM C, et al. Anti-obesity effect of alkaline reduced water in high fat-fed obese mice[J]. *Biological & Pharmaceutical Bulletin*, 2013, 36(7): 1052–1059.

Research Progress on Properties of Basic Electrolyzed Water and Its Application in Food

Li Yufeng¹, Wang Jingjing², Tan Lijun², Zeng Siying¹, Liu Fanyu¹, Zhao Yong^{2*}

(¹College of Biological and Food Engineering, Anhui Polytechnic University, Wuhu 241000, Anhui

²College of Food Sciences and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306)

Abstract Basic electrolyzed water is prepared by electrolyzing dilute salt solution, which is widely used in the research of food field with the advantages of green safety, broad-spectrum sterilization, efficient preservation and low price. BEW possesses high pH and reduction potential, and strong penetration, which makes it show great application potential in the fields of food sterilization, processing, preservation and extraction. This paper reviews the application and research progress of BEW in food in recent years, and focuses on the latest progress of the application of BEW in food safety control, food preservation application and food active substance extraction, in order to provide theoretical guidance and methodological reference for the efficient utilization and further research of BEW in the field of food.

Keywords basic electrolyzed water; food safety control; food preservation application; extraction