

DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2022.90017

不同负 ORP 值碱性电解水理化、抗氧化及缓解胃酸性能研究

Study on physicochemical properties, antioxidant and relieve hyperchlorhydria of alkaline electrolyzed water with different negative ORP value

夏 瑞 钟 耕 李 恬 杨 万 富 高 羽 歌

XIA Rui ZHONG Geng LI Tian YANG Wang-fu GAO Yu-ge

(西南大学食品科学学院, 重庆 400000)

(College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400000, China)

摘要:目的:以生活饮用水电解产生的 3 种不同负氧化还原电位值碱性电解水(alkaline electrolyzed water, AEW)为对象,研究其理化性质及抗氧化和缓解胃酸过多能力。方法:测定了 AEW pH 值、氧化还原电位(oxidation-reduction potential, ORP)、溶解性总固体(total dissolved solids, TDS)以及矿物质含量,研究 AEW 自由基清除率及抗脂质过氧化能力。模拟人工胃模型研究 AEW 体外中和胃酸能力。结果:AEW 负 ORP 值与 pH 值呈极显著正相关($P < 0.01$)。AEW 对超氧阴离子自由基、羟自由基、ABTS 自由基清除率及抗脂质过氧化能力显著高于饮用水($P < 0.05$),其抗氧化能力与负 ORP 值呈显著正相关($P < 0.01$)。AEW 具有中和胃酸能力且与饮用水相比有显著性差异($P < 0.05$),饮用水对胃酸有一定稀释作用。结论:电解生活饮用水产生的不同负 ORP 值 AEW 具有抗氧化性,抗氧化能力随负 ORP 值增大逐渐增强,具有缓解胃酸过多能力且效果与 0.2% NaHCO_3 溶液相当。

关键词: 电解水;氧化还原电位;理化性质;抗氧化;胃酸

Abstract: Objective: Alkaline electrolyzed water (AEW) produced by drinking water electrolysis with three different negative REDOX potential values was used to study its physical and chemical properties, antioxidant and gastric acid relieving capacity. Methods: The pH value, oxidation-reduction potential (ORP), total dissolved solids (TDS) and mineral content of AEW were determined, and the free radical scavenging rate and

anti-lipid peroxidation ability of AEW were studied by spectrophotometry. The acid capacity of different water samples *in vitro* was studied by artificial gastric model. Results: The negative ORP value of AEW is positively correlated with the pH value ($P < 0.01$). The scavenging rates of superoxide anion, hydroxyl radical, ABTS⁺ and anti-lipid peroxidation of alkaline electrolyzed water were significantly different from those of tap water ($P < 0.05$), and the antioxidant capacity of AEW was positively correlated with the negative ORP value ($P < 0.01$). The neutralization ability of AEW to artificial gastric acid *in vitro* was significantly different from that of tap water ($P < 0.05$), and tap water has a certain dilution effect on gastric acid. Conclusion: AEW with different negative ORP value produced by electrolysis of tap water has antioxidant activity, which gradually increases with the increase of negative ORP value, and has the ability to relieve gastric acid excess, with equivalent effect of 0.2% NaHCO_3 .

Keywords: electrolytic water; negative oxidation-reduction potential (ORP); physicochemical properties; antioxidant; gastric acid

自由基过多会导致机体氧化应激损伤^[1-2]。近年来,清除自由基,提高机体抗氧化能力成为预防和治疗疾病的着眼点。随着抗氧化剂的应用,发现一些化学合成抗氧化剂存在副作用^[3]。因此,寻求天然抗氧化剂,通过饮食调节清除自由基成为研究热点^[4]。

碱性电解水(alkaline electrolyzed water, AEW)是饮用水或电解质水经电解后在阴极生成的高负氧化还原电位碱性水^[5-6]。氧化还原电位(oxidation-reduction potential, ORP)作为水溶液获得或失去电子的趋势,反映出体系的氧化—还原性(电位为正,为氧化性;电位为负,为还原性)^[7]。Shirahata 等^[8]发现,还原电位越低(负 ORP 值越大),其给电子能力越强,与过氧自由基结合能力越强。

基金项目:国家级创新创业训练计划项目(编号:202110635096)

作者简介:夏瑞,女,西南大学在读硕士研究生。

通信作者:钟耕(1964—),男,西南大学教授,博士(后)。

E-mail: 980360686@qq.com

收稿日期:2021-09-15

研究^[9-10]表明, AEW 可以抑制脂质过氧化, 缓解氧化应激损伤。因此具有开发成为天然抗氧化功能饮料的潜力^[11]。目前关于电解水的研究主要集中于应用方面^[12-13], 迄今未见对不同负 ORP 值 AEW 抗氧化活性比较研究报道。

胃酸过多通常是吸烟饮酒、饮食不当等不良生活习惯导致, 会造成机体产生胸胃灼痛、呕吐等不良反应, 严重者还会引起其他肠胃疾病^[14]。用于治疗胃酸过多的药物包括能减少胃酸分泌的抑酸药, 如奥美拉唑; 中和胃酸的抗酸药, 如碳酸氢钠。这些药物疗效虽好但有较严重的副反应, 不能长期服用^[15]。碱性电解水 pH 呈弱碱性, 符合饮用水标准, 可作为天然抗酸剂^[16-17]。目前, 关于 AEW 缓解胃酸过多症的研究还未见报道。

试验拟以生活饮用水为对照, 开展不同负 ORP 值 AEW 抗氧化以及中和胃酸过多能力的研究, 探究 AEW 负 ORP 值与 pH 值对应关系以及负 ORP 值和 pH 值与 AEW 抗氧化和中和胃酸能力的关系, 旨在为新型饮品的开发和功能探索提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

雄性昆明小鼠: SPF 级, 许可证号为 SCXK(湘)2019-0004, 湖南斯莱克景达实验动物有限公司;

抗坏血酸、2,2-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐(ABTS): 北京索莱宝科技有限公司;

胃蛋白酶: 活性 3 200~4 500 U/mg, 北京索莱宝科技有限公司;

其他试剂均为国产分析纯;

试验用水均为超纯水。

1.1.2 主要仪器设备

紫外可见分光光度计: 759 型, 上海菁华科技仪器有限公司;

电解水机: XK-A7 型, 广东新康科技有限公司;

pH/ORP 计: pH/3C 型, 上海仪电科学仪器股份有限公司;

电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS): Agilent7700X 型, 美国安捷伦科技有限公司;

高速分散器: XHF-DY 型, 宁波新芝生物科技股份有限公司;

离心机: Eppendorf Centrifuge 5804 R 型, 德国艾本德科学公司。

1.2 试验方法

1.2.1 碱性电解水制备 使用电解水机电解生活饮用水制得不同负 ORP 值电解水(水样 1、水样 2、水样 3)。

1.2.2 水质理化指标测定 参照 GB/T 5750—2006《生

活饮用水标准检验方法》, 检测水样水质指标。检测指标包括: pH 值、TDS 值、ORP 值(采用 pH/ORP 计测定), 电解水中的矿物质元素采用 ICP-MS 法检测。各组试验平行测定 3 次。

1.2.3 抗氧化能力测定 以生活饮用水作比较, 测定不同负 ORP 值 AEW 水样 1、2、3 体外抗氧化活性。

(1) 超氧阴离子自由基清除率: 参考 Saad 等^[18]的方法, 稍作调整。取 pH 8.2 Tris-HCl 缓冲溶液 5 mL 于具塞试管中, (25.0±0.5) °C 水浴预热 20 min, 依次加入样品溶液 2 mL 和 0.5 mL 浓度 5.00×10^{-3} mol/L 邻苯三酚溶液(1.0×10^{-2} mol/L HCl 溶液配制), 摇匀, 25 °C 水浴 4 min, 320 nm 处测定其吸光度 A_1 ; 超纯水 2 mL 代替上述样品溶液, 测定吸光度 A_0 ; 以 1.0×10^{-2} mol/L HCl 参比溶液 0.5 mL 代替邻苯三酚溶液, 测定吸光度 A_2 。按式(1)计算超氧阴离子自由基清除率。

$$S = \frac{A_0 - (A_1 - A_2)}{A_0} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

S——自由基清除率, %;

A_0 ——空白组吸光度值;

A_1 ——试验组吸光度值;

A_2 ——对照组吸光度值。

以维生素 C 为标品, 得到维生素 C 质量浓度 x ($\mu\text{g}/\text{mL}$) 与超氧阴离子自由基清除率 y (%) 标准曲线方程为 $y = 0.0071x + 0.0288$, $R^2 = 0.9992$, 样品的超氧阴离子清除率结果以维生素 C 当量表示 (μg 维生素 C/mL)。

(2) 羟自由基清除率: 参考 Hui 等^[19]的方法并稍作修改。取 2.0 mL 样品液, 依次加入 9 mmol/L FeSO_4 溶液、9 mmol/L 水杨酸乙醇溶液和 8.8 mmol/L H_2O_2 溶液各 2.0 mL, 37 °C 水浴 30 min。用同体积超纯水代替样品液作空白组, 用同体积超纯水代 H_2O_2 溶液作对照, 510 nm 处测量吸光度值。按式(1)计算羟自由基清除率。

以维生素 C 为标品, 得到维生素 C 质量浓度 x ($\mu\text{g}/\text{mL}$) 与羟自由基清除率 y (%) 标准曲线方程为 $y = 0.0988x + 0.3192$, $R^2 = 0.9992$, 样品的羟自由基清除率结果以维生素 C 当量表示 (μg 维生素 C/mL)。

(3) ABTS 自由基清除率: 参考 Ayseli 等^[20]的方法, 略作调整。4 mL 样品液与 4 mL 0.1 mmol/L ABTS^+ 溶液混合, 剧烈震荡, 避光放置 10 min, 734 nm 处测定其吸光度, 用超纯水溶液代替样品作对照。按式(2)计算 ABTS 自由基清除率。

$$S = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

S——ABTS 自由基清除率, %;

A_0 ——对照组吸光度;

A_1 ——试验组吸光度。

以维生素 C 为标品,得到维生素 C 质量浓度 x ($\mu\text{g}/\text{mL}$) 与 ABTS 自由基清除率 y (%) 标准曲线方程为 $y=0.0679x+0.0171$, $R^2=0.9995$ 。样品 ABTS 自由基清除率结果以维生素 C 当量表示 (μg 维生素 C/mL)。

(4) 抑制 $\text{Fe}^{2+}-\text{H}_2\text{O}_2$ 诱导小鼠肝匀浆脂质过氧化能力(丙二醛抑制率):参考陈思南等^[21]的方法,略加修改。小鼠适应性喂养 1 周,颈椎脱臼法处死,取新鲜肝脏用预冷生理盐水冲洗后加入超纯水,高速分散器 3 000 r/min 匀浆 5 min,制成质量分数 5% 肝匀浆待用。4 $^\circ\text{C}$ 、3 000 r/min 离心 15 min,取 1.0 mL 肝匀浆上清液于样品管,加入 0.5 mL 样品液,混匀,37 $^\circ\text{C}$ 水浴 10 min,加入 0.5 mL 6 mmol/L FeSO_4 溶液和 40 μL 60 mmol/L H_2O_2 溶液作诱导剂,模型管不加样品溶液,空白管不加诱导剂,将模型管、空白管和样品管置于 37 $^\circ\text{C}$ 水浴 1 h。再冰浴 10 min 终止反应。向各管加入体积分数 15% 三氯乙酸 1.0 mL 和 0.67% 硫代巴比妥酸 1 mL,混匀,置于 100 $^\circ\text{C}$ 水浴 15 min,自来水冷却,6 000 r/min 离心 10 min,取上清液于 532 nm 处测吸光度。按式(3)计算丙二醛抑制率。

$$R = \left(\frac{A_{\text{模型}} - A_{\text{样品}}}{A_{\text{模型}} - A_{\text{空白}}} \right) \times 100\%, \quad (3)$$

式中:

R ——抑制率, %;

$A_{\text{模型}}$ 、 $A_{\text{空白}}$ 、 $A_{\text{样品}}$ ——模型管、空白管、样品管吸光度。

1.2.4 体外模拟缓解胃酸过多能力测定 参考文献 [22-23] 稍作修改。

(1) 人工胃液的配置:将氯化钠(2 g)和胃蛋白酶(3.2 mg)溶解于 500 mL 超纯水,加入盐酸(7 mL)用超纯水定容成 1 000 mL,定容后调节 pH 至 1.2。

(2) 不同负 ORP 值 AEW 对人工胃液 H^+ 的消耗:取上述人工胃液 200 mL,加热保持溶液温度在 (37.0 \pm 0.5) $^\circ\text{C}$,加入饮用水、水样 1、水样 2、水样 3 以及 0.2 g/100 mL 碳酸氢钠溶液 90 mL 作对照,100 r/min 摇床反应 5, 10, 30 min 时依次取出,吸取溶液 5 mL 用 0.45 μm 微孔滤膜过滤,取滤液用于下述测定。

(3) 胃酸消耗量测定:将上述滤液置于锥形瓶,以 1 g/L 酚红作指示剂,用 0.01 mol/L 氢氧化钠滴定,测定 H^+ 浓度,表征胃酸消耗量,按式(4)计算胃酸消耗量。

$$I = V_{\text{人工胃液}} \times C_{\text{H}^+} - V_{\text{NaOH}} \times 0.01 \times 1\,000, \quad (4)$$

式中:

I ——胃酸消耗量, mmol/L;

$V_{\text{人工胃液}}$ ——人工胃液体积, 200 mL;

C_{H^+} ——溶液中氢离子浓度, mmol/L;

V_{NaOH} ——消耗氢氧化钠体积, mL。

1.3 数据处理

采用 Excel 2016 进行统计分析,结果以“平均值 \pm 标准差”表示,SPSS 26.0 软件进行统计学分析,通过 Spearman 法进行相关性分析, Duncan 法进行多组间显著性分析,采用 Origin 2019 制图。

2 结果与分析

2.1 碱性电解水水质

2.1.1 pH、ORP 和 TDS 值 由表 1 可以看出,电解生活饮用水产生水样 1、2 的 pH 值符合相关企业标准,如 Q/TZYP 0001S—2019《苏打水饮料》和 Q/LBJX 0002S—2019《苏打水饮料》。国产的不论是人工调配还是天然苏打水,各类标准中,其 pH 值均要求不得超过 9。水样 3 pH 过高不符合标准,后续试验将其作为对照研究不同负 ORP 值 AEW 抗氧化和缓解胃酸能力。AEW 的负 ORP 值则随水样的 pH 值增大而逐渐增大,通过对表 1 AEW 负 ORP 值与 pH 值相关性分析,表明其呈极显著正相关 ($P < 0.01$)。有研究^[24]报道饮用 ORP 值低(即负 ORP 值大)的水,可以降低机体内氧化性物质的含量及其活性,提高抗氧化酶的活性,有益于人体健康。尹军等^[25]提出 ORP < 200 mV 可作为健康饮用水标准之一。由表 1 可知, AEW 水样 1、2、3 的 ORP 值为负值,显著低于 200 mV ($P < 0.05$),饮用水的 ORP 为正值(353 mV),且显著高于 200 mV ($P < 0.05$),说明 AEW 符合健康饮用水标准。浓度为 0.01 mol/L 的 NaOH 溶液,其 pH 值为 11.85,为强碱性溶液,但其 ORP 值为正值(286 mV);质量分数为 0.2% 的 NaHCO_3 溶液,其 pH 为 8.96,为碱性溶液,ORP 值为正值(273 mV),均显著高于 200 mV ($P < 0.05$),说明人工调制的碱性水不具有抗氧化性能,负 ORP 值为 AEW 的特点。

2.1.2 碱性电解水主要矿物质元素 由表 2 可知, AEW 水样 1、2、3 主要矿物质元素含量符合饮用水标准 GB 5749—2006《生活饮用水卫生标准》且 3 种水样无显著性

表 1 不同水样水质指标[†]

Table 1 Indexes of different water quality

组别	pH	ORP/mV	TDS/%
水样 1	8.55 \pm 0.02 ^d	-266.00 \pm 4.00 ^c	0.10 \pm 0.00 ^b
水样 2	9.01 \pm 0.03 ^c	-372.00 \pm 1.00 ^d	0.10 \pm 0.00 ^b
水样 3	9.59 \pm 0.04 ^b	-434.00 \pm 5.00 ^e	0.10 \pm 0.00 ^b
饮用水	7.22 \pm 0.06 ^e	353.00 \pm 10.00 ^a	0.10 \pm 0.00 ^b
NaOH(0.01 mol/L)	11.85 \pm 0.05 ^a	286.00 \pm 4.11 ^b	0.10 \pm 0.00 ^b
0.2% NaHCO_3	8.96 \pm 0.03 ^c	273.00 \pm 2.16 ^b	0.30 \pm 0.00 ^a

[†] 同列小写字母不同表示具有显著性差异 ($P < 0.05$)。

表 2 不同水样主要矿物质元素含量[†]

Table 2 Content of main mineral elements in different water

mg/L

组别	钙	铜	铁	钾	镁	锰	钠
水样 1	54.780±0.580 ^b	0.009±0.004 ^b	0.005±0.003 ^{ab}	2.160±0.133 ^b	3.360±0.074 ^b	0.001±0.001 ^a	4.720±0.048 ^{ab}
水样 2	56.310±0.330 ^b	0.010±0.004 ^b	<0.001 ^b	1.960±0.052 ^b	3.270±0.039 ^{bc}	<0.001 ^a	4.370±0.026 ^b
水样 3	57.500±0.600 ^b	0.012±0.003 ^{ab}	0.008±0.004 ^a	1.850±0.391 ^b	3.187±0.070 ^c	0.001±0.001 ^a	4.170±0.700 ^b
饮用水	79.710±1.510 ^a	0.019±0.003 ^a	0.009±0.001 ^a	2.591±0.127 ^a	3.712±0.091 ^a	0.001±0.001 ^a	5.281±0.013 ^a

[†] 同列小写字母不同表示具有显著性差异 ($P < 0.05$)。

差异,表明电解原料相同不同负 ORP 值对 AEW 矿物质含量无显著影响,与蔡怀或^[6]对 AEW 制备条件与矿物质含量关系影响研究结果一致。3 种水样中矿物质含量以钙含量最高,其次是钠和镁,可能与饮用水中矿物质含量高低有关。

2.2 碱性电解水体外抗氧化能力

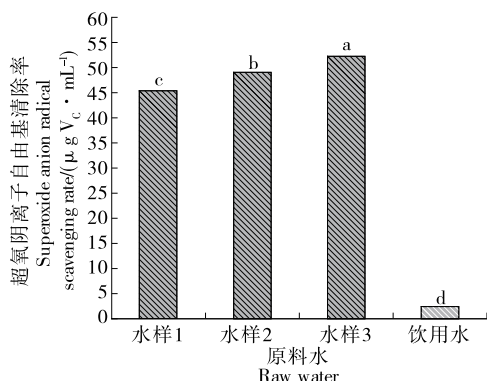
2.2.1 超氧阴离子自由基清除率 由图 1 可知,不同负 ORP 值 AEW 对超氧阴离子自由基清除能力由大到小为水样 3>水样 2>水样 1,且显著高于未电解饮用水 ($P < 0.01$)。其中水样 3 对超氧阴离子自由基清除作用最强,其维生素 C 当量为 $(53.25 \pm 0.76) \mu\text{g}$ 维生素 C/mL。饮用水对超氧阴离子自由基具有微弱的清除能力,与陈荣河等^[26]的研究结果一致,推测可能与饮用水中的无机成分含量有关。对比表 2 可知,不同负 ORP 值 AEW 主要矿物质含量除钙、钾、镁显著低于饮用水外,其他与饮用水相比无显著性差异。但不同负 ORP 值 AEW 对超氧阴离子自由基清除能力大小显著高于饮用水 ($P < 0.01$),说明 AEW 中的无机成分对其抗氧化作用无显著影响,AEW 抗氧化作用的主要原因是其负 ORP 值所致。通过对 AEW 负 ORP 值与超氧阴离子自由基清除能力相关性分析表明 AEW 负 ORP 值与超氧阴离子自由基清除能力呈正相关。说明负 ORP 值 AEW 可以清除超氧阴离子等氧自由基,具有一定抗氧化性,且 AEW 抗氧化能力增强

与 ORP 值大小相关。这与 Shirahata 等^[8]发现 AEW 可以清除活性氧,保护 DAN 免受氧化损伤的研究结果一致。

2.2.2 羟自由基清除率 由图 2 可知,AEW 水样 3 对羟自由基清除作用最强,水样 2 次之,水样 1 最低,饮用水对羟自由基无清除作用。对 AEW 负 ORP 值与羟自由基清除能力进行相关性分析,表明 AEW 负 ORP 值与羟自由基清除能力呈正相关。对比相关研究报道,Hu 等^[27]发现 AEW 能够缓解大鼠因活性氧(超氧阴离子自由基,OH 自由基)引起的氧化应激损伤,表现出一定的抗氧化性,与试验结果相似。

2.2.3 ABTS 自由基清除率 由图 3 可知,不同负 ORP 值 AEW 对 ABTS 自由基清除率为水样 3>水样 2>水样 1,各组间结果统计学差异显著 ($P < 0.05$),且均显著高于饮用水 ($P < 0.05$)。饮用水对 ABTS 自由基具有一定的清除作用,与卢婵^[7]对 3 种饮用水抗氧化功能的研究结果一致。相关性分析表明 AEW ABTS 自由基清除率与其负 ORP 值呈正相关。负 ORP 值 AEW 具抗氧化活性。Kim 等^[28]研究发现 AEW 可以通过清除自由基缓解小鼠氧化应激损失,与试验结果相似。

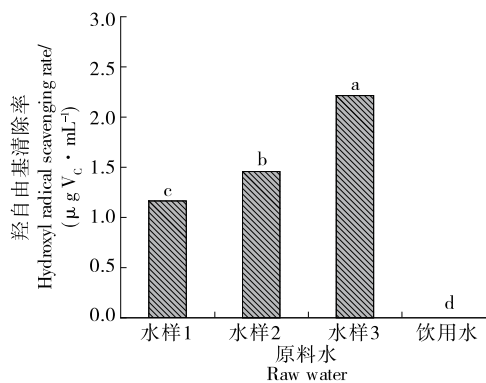
2.2.4 对 $\text{Fe}^{2+}-\text{H}_2\text{O}_2$ 诱导的肝匀浆脂质过氧化作用的影响 由图 4 可知,不同负 ORP 值 AEW 水样均能明显抑制肝匀浆体系 MDA 生成,而饮用水对 MDA 的生成无抑



小写字母不同表示具有显著性差异 ($P < 0.05$)

图 1 不同水样的超氧阴离子自由基清除能力

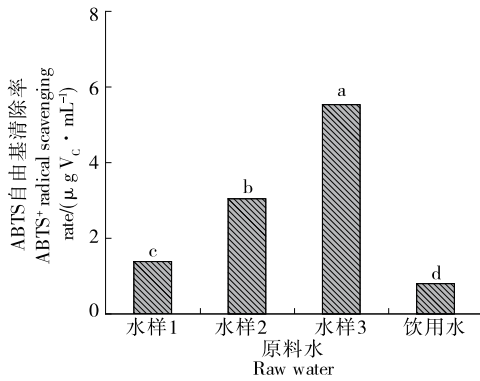
Figure 1 Superoxide anion radical scavenging ability of different water samples



小写字母不同表示具有显著性差异 ($P < 0.05$)

图 2 不同水样的羟自由基清除能力

Figure 2 Hydroxyl radical scavenging ability of different water samples



小写字母不同表示具有显著性差异 ($P < 0.05$)

图 3 不同水样的 ABTS 自由基清除能力

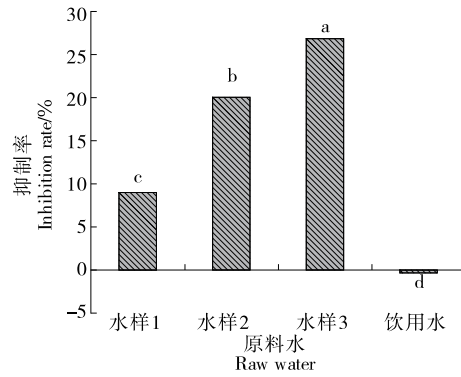
Figure 3 ABTS free radical scavenging ability of different water samples

制作用。其中,水样 3 对肝匀浆过氧化作用抑制率显著高于水样 2 以及水样 1 ($P < 0.05$),说明不同负 ORP 值 AEW 表现出一定的抗脂质过氧化性。相关性分析表明 AEW 对 MDA 生成的抑制率与其负 ORP 值呈极显著正相关 ($P < 0.01$)。刘秋芳等^[10]发现 AEW 可使 D-半乳糖所致的小鼠肝、肾、脑组织 MDA 的生成量下降,与试验结果相似,但其只使用了一种 AEW,未对不同负 ORP 值 AEW 进行比较研究。

4 种抗氧化指标结果表明,不同负 ORP 值 AEW 具有抗氧化性,且表现出较强的超氧阴离子自由基清除能力,自由基清除率大小与 AEW 负氧化还原电位大小相对应。研究^[8]发现,还原电位越低(负 ORP 值越大),其供电子能力越强,与过氧自由基结合能力就越强,因此含较高负 ORP 的物质表现出较强抗氧化作用。不同负 ORP 值 AEW 对 Fe^{2+} - H_2O_2 诱导肝匀浆体系 MDA 生成的抑制率随负 ORP 值增大而增强。综上,不同负 ORP 值 AEW 表现出抗氧化活性以及抗脂质过氧化作用。

2.3 碱性电解水负氧化还原电位与抗氧化指标相关性分析

AEW 负 ORP 值与 ABTS 自由基清除率、超氧阴离子自由基清除率、羟自由基清除率以及 MDA 抑制率相关



小写字母不同表示具有显著性差异 ($P < 0.05$)

图 4 不同水样对 Fe^{2+} - H_2O_2 诱导肝匀浆脂质过氧化作用的影响

Figure 4 Effect of different water samples on lipid peroxidation of liver homogenate induced by Fe^{2+} - H_2O_2

性分析见表 3。结果表明,AEW 负 ORP 值与 4 种抗氧化指标呈极显著正相关 ($P < 0.01$),负 ORP 值与 ABTS 自由基清除率、超氧阴离子自由基清除率、羟自由基清除率以及 MDA 抑制率相关系数分别为 0.965 ($P < 0.01$), 0.962 ($P < 0.01$), 0.920 ($P < 0.01$), 0.998 ($P < 0.01$)。说明 AEW 负 ORP 值与其抗氧化能力存在显著相关性,即负 ORP 值是 AEW 抗氧化能力的主要原因,负 ORP 值越大其抗氧化能力越强。

2.4 对体外人工胃酸过多的缓解作用

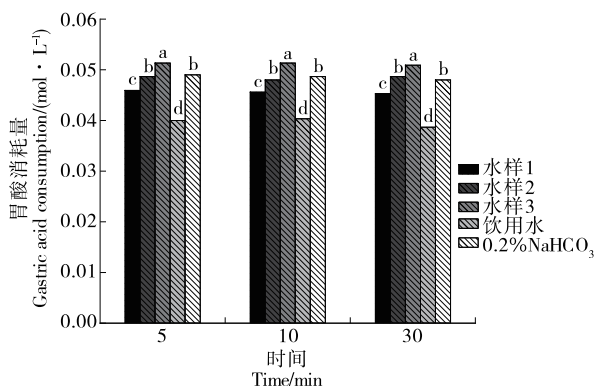
由图 5 可知,不同负 ORP 值 AEW 在人工胃液中反应 5 min,对体外人工胃酸中和能力均显著高于饮用水,水样 3 显著高于水样 2 与水样 1。与 0.2% NaHCO_3 相比,水样 2 与其对体外人工胃酸中和能力相当,水样 1 低于 0.2% NaHCO_3 ,水样 3 高于 0.2% NaHCO_3 。反应时间延长至 10,30 min,AEW 对人工胃液中中和作用未减弱,依然维持最初水平,水样 2 与 0.2% NaHCO_3 效果相同。因此,不同负 ORP 值 AEW 与饮用水相比具有中和胃酸能力,而饮用水作为一种溶剂,对胃酸有一定稀释作用^[22]。 NaHCO_3 作为一种抗酸剂,常用于治疗胃酸过多

表 3 不同负 ORP 值碱性电解水负 ORP 值与抗氧化活性的相关性分析[†]

Table 3 Correlation analysis between ORP value and antioxidant activity of different alkaline electrolyzed water

指标	负 ORP 值	ABTS 自由基清除率	超氧阴离子自由基清除率	羟自由基清除率	MDA 抑制率
负 ORP 值	1.000				
ABTS 自由基清除率	0.965 **	1.000			
超氧阴离子自由基清除率	0.962 **	1.000 **	1.000		
羟自由基清除率	0.920 **	0.991 **	0.986 **	1.000	
MDA 抑制率	0.998 **	0.963 **	0.970 **	0.917 **	1.000

[†] * 显著相关 ($P < 0.05$), ** 极显著相关 ($P < 0.01$)。



小写字母不同表示具有显著性差异 ($P < 0.05$)

图 5 不同水样对人工胃酸的体外中和能力

Figure 5 The neutralization ability of different water samples to artificial gastric acid in vitro

症,但长期服用会导致胃肠胀气、腹泻和便秘,钠摄入过多易诱发高血压^[22,29]。AEW 水样 2 中和胃酸效果与 0.2% NaHCO₃相当,说明 AEW 可以作为一种天然抗酸剂,是安全缓解胃酸过多症的替代方法。通过对 AEW pH 值和胃酸消耗量的相关性分析表明 AEW 中和胃酸能力与 pH 值呈显著正相关 ($P < 0.01$)。Panda 等^[22]研究发现较高碱度的植物食品表现出较强的缓解胃酸过多能力,说明 pH 与缓解胃酸能力相关,与试验结果一致。

3 结论

试验表明不同负氧化还原电位值碱性电解水 1、2 基本理化指标符合国内苏打水相关饮用标准,碱性电解水具有抗氧化以及缓解胃酸过多的能力,负氧化还原电位值是碱性电解水具有抗氧化能力机理所在。比较得出水样 2 具有较强抗氧化能力,其超氧阴离子自由基、羟自由基、ABTS 自由基清除能力分别为 (49.06 ± 0.16) , (1.46 ± 0.03) , $(3.04 \pm 0.08) \mu\text{g}$ 维生素 C/mL,MDA 抑制率为 $(20.40 \pm 1.56)\%$,缓解胃酸能力与 0.2% NaHCO₃相当。可开发为具有抗氧化和缓解胃酸作用的功能性饮用水,为消费者在饮用水健康需求方面提供新选择。后续可进一步对碱性电解水其他功能性质及负氧化还原电位值不同对其他功能性质的影响进行研究。

参考文献

[1] GIRGIH A T, HE R, HASAN F M, et al. Evaluation of the in vitro antioxidant properties of a cod (*Gadus morhua*) protein hydrolysate and peptide fractions[J]. Food Chemistry, 2015, 173: 652-659.

[2] 陈耕. 左旋樟醇的小鼠体内抗氧化及抗皮肤衰老活性研究[J]. 食品与机械, 2021, 37(2): 169-185.

CHEN Geng. Antioxidant and anti-aging activities of l-linalool in mice[J]. Food & Machinery, 2021, 37(2): 169-185.

[3] LI N, LU S, MA Y, et al. In vitro antioxidant and anti-aging properties of swim bladder peptides from Atlantic cod[J]. International Journal of Food Properties, 2020, 23(1): 1 416-1 429.

[4] ALASHI A M, BLANCHARD C L, MAILER R J, et al. Antioxidant properties of Australian canola meal protein hydrolysates[J]. Food Chemistry, 2014, 146: 500-506.

[5] KIM M, FISCHER J, HUNG Y C. Effect of reconstituted apple juice with alkaline electrolyzed water on cell proliferation and apoptosis of HT-29 cells[J]. Journal of Food and Drug Analysis, 2012, 20: 301-304.

[6] 蔡怀斌. 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: 14.

CAI Huai-Yu. Study on preparation conditions and stability of weak alkaline electrolytic reduction water[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2018: 14.

[7] 卢婵. 三种饮用水抗氧化功能的研究[D]. 福州: 福建医科大学, 2018: 28.

LU Chan. Study on antioxidant function of three drinking water[D]. Fuzhou: Fujian Medical University, 2018: 28.

[8] SHIRAHATA S, KABAYAMA S, NAKANO M, et al. Electrolyzed-reduced water scavenges active oxygen species and protects DNA from oxidative damage[J]. Biochemical Biophysical Research Communications, 1997, 234(1): 269-274.

[9] 胡军霞. 三七醇提物和碱性电解水抗氧化作用的研究[D]. 西安: 第四军医大学, 2012: 21.

HU Jun-xia. Study on Antioxidation of alcohol extract of Panax notoginseng and alkaline electrolyzed water[D]. Xi'an: The Fourth Military Medical University, 2012: 21.

[10] 刘秋芳, 逯晓波, 靳翠红, 等. 碱性电解水对 D-半乳糖致小鼠血液和肝、肾、脑组织脂质过氧化作用的影响[J]. 环境与健康杂志, 2010, 27(2): 105-107.

LIU Qiu-Fang, LU Xiao-bo, JIN Cui-hong, et al. Effect of alkaline electrolyzed water on lipid peroxidation in blood, liver, kidney and brain of mice induced by D-galactose[J]. Journal of Environment and Health, 2010, 27(2): 105-107.

[11] RIDWAN R D, TANTIANA T, SETIJANTO D, et al. The ability of electrolyzed reduced water to act as an antioxidant and anti-inflammatory agent in chronic periodontitis wistar rats (*Rattus norvegicus*) [J]. Kafkas Universitesi Veteriner Fakultesi Dergisi, 2019, 25(4): 539-544.

[12] 乔永祥, 谢晶, 雷昊, 等. 酸性电解水联合气调包装对鲜切生菜品质的影响[J]. 食品与机械, 2017, 33(2): 111-115.

QIAO Yong-Xiang, XIE Jing, LEI Hao, et al. Effect of acid electrolytic water combined with modified atmosphere packaging on the quality of fresh cut lettuce[J]. Food & Machinery, 2017, 33(2): 111-115

[13] 徐钰君, 肖宇, 韩军, 等. 不同电解水冰对河鲈的保鲜效果研究[J]. 食品工业科技, 2021, 42(6): 292-296.

XU Yu-jun, XIAO Yu, HAN Jun, et al. Study on the preservation effect of different electrolytic water ice on perch[J]. Food Industry Science and Technology, 2021, 42(6): 292-296.

[14] WALLACE J L. Recent advances in gastric ulcer therapeutics[J]. Current Opinion in Pharmacology, 2005, 5(6): 573-577.

[15] 陈嘉韵, 李安安, 吕朝晖, 等. 长期服用质子泵抑制剂对骨密度和骨代谢影响的 Meta 分析[J]. 中国组织工程研究, 2021, 25

- (17): 2 775-2 780.
- CHENG Jia-yun, LI An-an, LU Zhao-hui, et al. Effects of long-term proton pump inhibitors on bone mineral density and bone metabolism: A meta analysis[J]. Chinese Tissue Engineering Research, 2021, 25(17): 2 775-2 780.
- [16] XUE J, SHANG G, TANAKA Y, et al. Dose-dependent inhibition of gastric injury by hydrogen in alkaline electrolyzed drinking water[J]. Bmc Complementary and Alternative Medicine, 2014, 14: 147-182.
- [17] TANAKA Y, SAIHARA Y, IZUMOTANI K, et al. Daily ingestion of alkaline electrolyzed water containing hydrogen influences human health, including gastrointestinal symptoms[J]. Medical Gas Research, 2018, 8(4): 160-166.
- [18] SAAD H M, TAN C H, LIM S H, et al. Evaluation of anti-melanogenesis and free radical scavenging activities of five Artocarpus species for cosmeceutical applications [J]. Industrial Crops and Products, 2021, 161: 113-184.
- [19] HUI Y, JUN-LI H, CHUANG W. Anti-oxidation and anti-aging activity of polysaccharide from *Malus micromalus Makino* fruit wine[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 121: 1 203-1 212.
- [20] AYSELI M T, KELEBEK H, SELLI S. Elucidation of aroma-active compounds and chlorogenic acids of Turkish coffee brewed from medium and dark roasted *Coffea arabica* beans[J]. Food Chemistry, 2020, 338(5): 127-821.
- [21] 陈思南, 王心怡、李梦婷, 等. 五味子蜂花粉不同萃取物对小鼠肝脏脂质过氧化及 DNA 氧化损伤的作用[J]. 食品科学, 2019, 40(11): 146-151.
- CHEN Si-nan, WANG Xin-yi, LI Meng-tin, et al. Effects of different extracts of *Schisandra chinensis* bee pollen on lipid peroxidation and DNA oxidative damage in mice liver[J]. Food Science, 2019, 40(11): 146-151.
- [22] PANDA V S, SHINDE P M. A comparative study of the anticid effect of raw spinach juice and spinach extract in an artificial stomach model[J]. Journal of Complementary & Integrative Medicine, 2016, 13(4): 387-391.
- [23] 杨继国, 张嵩, 严骁, 等. 不同钙补充剂对体外胃酸消耗及大鼠胃液分泌的影响[J]. 现代食品科技, 2015(6): 18-22.
- YANG Ji-guo, ZHANG Song, YAN Xiao, et al. Effects of different calcium supplements on gastric acid consumption in vitro and gastric juice secretion in rats [J]. Modern Food Science and Technology, 2015(6): 18-22.
- [24] 段小龙, 宗永臣, 黄德才, 等. 西藏林芝地区天然饮用水健康意义研究[J]. 中国农村水利水电, 2020(7): 4.
- DUAN Xiao-long, ZONG Yong-chen, HUANG De-cai, et al. Study on the health significance of natural drinking water in Nyingchi, Tibet[J]. China Rural Water Conservancy and Hydropower, 2020 (7): 4.
- [25] 尹军, 刘志生. 饮用水 ORP 的健康意义及影响因素探讨[J]. 中国给水排水, 2005, 21(9): 25-28.
- YIN Jun, LIU Zhi-sheng. Discussion on health significance and influencing factors of ORP in drinking water[J]. China Water Supply and Drainage, 2005, 21(9): 25-28.
- [26] 陈荣河, 黄秋敏, 刘晰予, 等. 三种饮用水体内抗氧化能力比较[J]. 中国公共卫生, 2016, 32(11): 1 494-1 497.
- CHEN Rong-he, HANG Qiu-min, LIU Xi-yu, et al. Comparison of antioxidant capacity of three kinds of drinking water [J]. China Public Health, 2016, 32(11): 1 494-1 497.
- [27] HU D, LI D, SHIGETA M, et al. Alleviation of the chronic stress response attributed to the antioxidant and anti-inflammatory effects of electrolyzed hydrogen water[J]. Biochemical Biophysical Research Communications, 2021, 535: 1-5.
- [28] KIM M J, KIM H K. Anti-diabetic effects of electrolyzed reduced water in streptozotocin-induced and genetic diabetic mice[J]. Life Sciences, 2006, 79(24): 2 288-2 292.
- [29] 宋金春, 龙星颖. 碳酸氢钠临床应用的研究进展[J]. 医学综述, 2018, 24(15): 3 050-3 054.
- SONG Jin-chun, LONG Xing-ying. Research progress on clinical application of sodium bicarbonate[J]. Medical Review, 2018, 24 (15): 3 050-3 054.

信息窗

克罗地亚修订食品添加剂调味剂和食品酶法

2022年3月18日,克罗地亚发布第 NN36/2022 号公告,即《食品添加剂、调味剂和食品酶法》修正案。主要修订内容包括:① 在自控和危害分析体系内,食品经营者有义务制定食品添加剂、香精、酶的使用控制措施,制定产品年度抽样计划,对食品成分进行检验。生产中使用的添加剂和调味剂,并且在产品中具有规定的最大允许添加量或存在量。② 将第 2 条中“法规 (EC)no.欧洲议会和理事会于 2004 年 4 月 29 日颁布的第 (EC)882/2004 号条例,关于为验证食品和饲料条例

以及动物健康和福利条例的遵守情况而进行的官方控制[以下简称:条例 (EC) 第 882 号/2004]”修订为“2017 年 3 月 15 日欧洲议会和理事会关于官方控制和其他官方活动的条例 (EU) 2017/625,确保适用食品和饲料、动物健康规则和福利规则,植物健康和植物保护产品”。③ 修订了部分处罚条款。该公告在官方公报上公布后的第 8 天生效。

(来源: <http://news.foodmate.net>)