2007, 22 Suppl 1: S73 – 78.
[2] Zou TB, Jia Q, Li HW, et al. Response surface methodology for ultrasound-assisted extraction of astaxanthin from *Haematococcus pluvialis*[J]. Mar Drugs, 2013, 11(5): 1644 – 1655.
[3] Alesci A, Salvo A, Lauriano ER, et al. Production and extraction of astaxanthin from *Phaffia rhodozyma* and its biological effect on alcohol-induced renal hypoxia in *Carassius auratus*[J]. Nat Prod Res, 2015, 29(12): 1122 – 1126.
[4] Ambati RR, Phang SM, Ravi S, et al. Astaxanthin: sources, extraction, stability, biological activities and its commercial applications – a review[J]. Mar Drugs, 2014, 12(1): 128 – 152.
[5] Park JS, Chyun JH, Kim YK, et al. Astaxanthin decreased oxidative stress and inflammation and enhanced immune response in humans[J]. Nutr Metab, 2010, 7: 18.
[6] Fassett RG, Coombes JS. Astaxanthin: a potential therapeutic agent in cardiovascular disease[J]. Mar Drugs, 2011, 9(3): 447 – 465.
[7] Turkez H, Geyikoglu F, Yousef MI. Beneficial effect of astaxanthin on 2, 3, 7, 8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin-induced liver injury in rats[J]. Toxicol Ind Health, 2013, 29(7): 591 – 599.
[8] 邹堂斌,黄明元,冼叶明,等. 虾青素抑制 MCD 饮食诱导的小鼠非酒精性脂肪肝纤维化[J]. 现代预防医学, 2016, 43(4): 700 – 703.
[9] Yang Y, Kim B, Park YK, et al. Astaxanthin prevents TGFβ1-induced pro-fibrogenic gene expression by inhibiting Smad3 activation in hepatic stellate cells[J]. Biochim Biophys Acta, 2015, 1850(1): 178 – 185.
[10] Piguet AC, Dufour JF. PI(3)K/PTEN/AKT pathway[J]. J Hepatol, 2011, 54(6): 1317 – 1319.
[11] Uyama N, Iimuro Y, Kawada N, et al. Fascin, a novel marker of human hepatic stellate cells, may regulate their proliferation, migration, and collagen gene expression through the FAK-PI3K-Akt pathway[J]. Lab Invest, 2012, 92(1): 57 – 71.
[12] Kim DH, Kim JM, Lee EK, et al. Modulation of FoxO1 phosphorylation/acetylation by baicalin during aging[J]. J Nutr Biochem, 2012, 23(10): 1277 – 1284.
[13] Adachi M, Osawa Y, Uchinami H, et al. The forkhead transcription factor FoxO1 regulates proliferation and transdifferentiation of hepatic stellate cells[J]. Gastroenterology, 2007, 132(4): 1434 – 1446.
[14] Tong Y, Zhu W, Huang X, et al. PI3K inhibitor LY294002 inhibits activation of the Akt/mTOR pathway induced by an oncolytic adenovirus expressing TRAIL and sensitizes multiple myeloma cells to the oncolytic virus[J]. Oncol Rep, 2014, 31(4): 1581 – 1588.
[15] Jia YY, Wu CY, Kim JY, et al. Astaxanthin reduces hepatic lipid accumulations in high-fat-fed C57BL/6J mice via activation of peroxisome proliferator-activated receptor(PPAR) alpha and inhibition of PPAR gamma and Akt[J]. J Nutr Biochem, 2016, 28: 9 – 18.

收稿日期: 2016-03-21　　(解学魁编辑　吴少慧校对)

· 实验研究 ·

三种饮用水体内外抗氧化能力比较*

陈荣河[1], 黄秋敏[1], 刘晰予[1], 吴芳[1], 吴晓敏[1], 张通年[2], 阮国洪[1]

摘　要: 目的　探究不同饮用水体内外抗氧化能力差异及可能机制。**方法**　测定纯净水、自来水及矿泉水的水质情况: 钙、镁、氯化物、硫酸盐及硝酸盐含量; 通过羟自由基、超氧阴离子自由基、DPPH 自由基清除实验检测 3 种饮用水体外抗氧化能力; 取 60 只清洁级 ICR 小鼠随机分为 3 组, 每组 20 只, 雌雄各半, 分别用纯净水(对照组)、自来水及矿泉水喂养, 90 d 后测定小鼠脑、心脏、肝脏、肾脏的总抗氧化能力(T-AOC)、抑制羟自由基能力、丙二醛(MDA)含量及过氧化氢酶(CAT)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)、总超氧化物歧化酶(T-SOD)活性。**结果**　3 种饮用水钙、镁含量: 矿泉水 > 自来水 > 纯净水, 而氯化物、硫酸盐及硝酸盐含量: 自来水 > 矿泉水 > 纯净水。自来水、矿泉水羟自由基清除率[分别为(45.60 ± 6.69)、(55.78 ± 3.85)%]和超氧阴离子自由基清除率[分别为(16.62 ± 7.50)、(17.24 ± 6.46)%], 明显高于纯净水(38.37 ± 5.13)%和(0.26 ± 4.29)%, 且矿泉水羟自由基清除率还明显高于自来水, 差异均有统计学意义($P < 0.05$)。自来水组、矿泉水组肾脏 T-AOC[分别为(4.33 ± 1.28)、(4.43 ± 0.74) U/mg prot]、抑制羟自由基能力[分别为(51.43 ± 15.27)、(59.13 ± 10.74) U/mg prot]、CAT[分别为(134.78 ± 22.34)、(156.46 ± 19.81) U/mg prot]、GSH-Px[分别为(92.53 ± 14.88)、(97.16 ± 19.86) U/mg prot]明显升高而 MDA 含量[分别为(1.75 ± 0.26)、(1.63 ± 0.20) nmol/mg prot]明显降低, 相比于纯净水组[依次为(2.20 ± 0.37)、(29.22 ± 5.72)、(75.59 ± 6.84)、(44.93 ± 12.82) U/mg prot 和(2.20 ± 0.27) nmol/mg prot], 且矿泉水组 T-SOD[(148.31 ± 21.47) U/mg prot]还明显高于纯净水组[(113.99 ± 15.25) U/mg prot], 差异均有统计学意义($P < 0.05$)。**结论**　自来水或矿泉水的体外及肾脏抗氧化能力优于纯净水, 其中矿泉水可能更优。

关键词: 饮用水; 体内外; 自由基; 抗氧化; 肾脏
中图分类号: R 1231　**文献标志码:** A　**文章编号:** 1001-0580(2016)11-1494-04　DOI: 10.11847/zgggws2016-32-11-12

Comparison of antioxidant capacity of three kinds of drinking water *in vitro* and *in vivo*

* **基金项目:** 福建省科技计划重大项目(2012Y4004)
作者单位: 1. 福建医科大学卫生检验与检疫学系, 福建 福州 350108; 2. 福建省润和矿泉水有限公司
作者简介: 陈荣河(1989 –), 男, 福建人, 硕士在读, 研究方向: 饮水与健康。
通讯作者: 阮国洪, E – mail: 843806593@qq.com
数字出版日期: 2015 – 11 – 12 15:06
数字出版网址: http://www.cnki.net/kcms/detail/21.1234.R.20151112.1506.046.html

CHEN Rong-he*, HUANG Qiu-min, LIU Xi-yu, et al (* *Department of Health Inspection and Quarantine, Fujian Medical University, Fuzhou, Fujian Province* 350108, China)

Abstract: Objective To explore the difference in antioxidant capacity of different kinds of drinking water and its possible mechanism *in vitro* and *in vivo*. **Methods** Concentrations of calcium, magnesium, chloride, sulfate, and nitrate in pure, tap, and mineral water samples were measured, respectively, and the antioxidant capabilities of the drinking water samples *in vitro* were evaluated with free radicals scavenging capability for hydroxyl, superoxide anion, and diphenylpicrylhydrazy (DPPH). Sixty ICR mice (half male and half female) were randomly divided into three groups and supplied with pure water (control group), tap water and mineral water as drinking water, respectively. After 90 days, total antioxidant capacity (T-AOC), hydroxyl radical inhibition capacity, content of malondialdehyde (MDA) and activity of catalase (CAT), glutathione peroxidase (GSH-Px), total superoxide dismutase (T-SOD) in brain, heart, livers and kidney of the mice were determined. **Results** For the three kinds of water samples, the mineral water had the highest contents of calcium and magnesium and the tap water had the highest contents of chloride, sulfate, and nitrate; while the pure water had the lowest contents of those inorganic substances. The scavenging rates of hydroxyl radicals (45.60 ± 6.69 and 55.78 ± 3.85%) and superoxide anion radicals (16.62 ± 7.50 and 17.24 ± 6.46%) of tap and mineral water were higher than those of the pure water (38.37 ± 5.13 and 0.26 ± 4.29%) (both $P < 0.05$), and the scavenging rate of hydroxyl radicals of mineral water was higher than that of tap water group ($P < 0.05$). Compared with those of the mice with pure water, significant decrease in MDA (1.75 ± 0.26 and 1.63 ± 0.20 vs. 2.20 ± 0.27 nmol/mg prot) and significant increases in T-AOC (4.33 ± 1.28 and 4.43 ± 0.74 vs. 2.20 ± 0.37U/mg prot), hydroxyl radical inhibition capacity (51.43 ± 15.27 and 59.13 ± 10.74 vs. 29.22 ± 5.72 U/mg prot), CAT (134.78 ± 22.34 and 156.46 ± 19.81 U/mg prot vs. 75.59 ± 6.84), and GSH-Px (92.53 ± 14.88 and 97.16 ± 19.86 vs. 44.93 ± 12.82 U/mg prot) were observed in the kidney tissues of the mice treated with tap and mineral water (all $P < 0.05$). In addition, T-SOD (148.31 ± 21.47 U/mg prot) in the kidneys from the mice with mineral water was higher than that of with pure water (113.99 ± 15.25 U/mg prot) ($P < 0.05$). **Conclusion** The antioxidant capability of tap water or mineral water *in vitro* and *in vivo* (mice kidney tissues) is superior to that of pure water, and the capability of mineral water may be higher than that of the tap water.

Key words: drinking water; *in vitro* and *in vivo*; free radical; antioxidation; kidney

水是机体内含量最多的物质,它是维持生命最重要的物质之一。体内的酶促和化学反应均是在水存在的情况下进行的,若水发生异常,可能影响各种酶的活力,进而引起体内各种代谢紊乱。自由基是生物体内氧化反应过程中产生的有害化合物,具有强氧化性,会导致机体组织和细胞损伤而引起各种慢性疾病和衰老的发生。目前已有研究发现,饮用某些类型的水可以在一定程度上改善自由基引起的组织氧化损伤,如矿泉水[1-2]、矿化水[3]、深海水[4]及氢水[5]等。但这些研究仅局限于某些组织中,尚不系统全面,另外,有关饮用水的体外抗氧化活性资料也少有报道。本研究以 3 种常见饮用水(自来水、纯净水及矿泉水)进行小鼠体内和体外抗氧化实验,比较分析不同饮用水体内外抗氧化能力差异并探讨其可能机制。现将结果报告如下。

1　材料与方法

1.1　*主要试剂与仪器*　纯净水(电导率≤5 MS/m,福建医科大学药理学院实验室提供)、自来水(福州市政供水)、天然矿泉水(富含硅、钙、镁等矿物元素,其中偏硅酸含量高达 87.89 mg/L,福建省润和矿泉水有限公司提供),均符合相应的国家饮用水水质标准。钙、镁标准溶液(1 mg/mL,北京有色金属研究总院),氯化钠、硝酸钾、硫酸钾(优级纯,上海国药集团化学试剂有限公司),1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(diphenylpicrylhydrazy, DPPH)(美国 Sigma 公司),总抗氧化能力(total antioxidant capacity, T-AOC)、过氧化氢酶(catalase, CAT)、谷胱甘肽过氧化物酶(glutathione peroxidase, GSH-Px)、总超氧化物歧化酶(total superoxide dismutase, T-SOD)、丙二醛(malondialdehyde, MDA)及羟自由基测定试剂盒(南京建成生物工程研究所)。TGL-20DK 高速冷冻离心机(上海安亭科学仪器厂),TAS986 火焰原子吸收分光光度计(北京普析通用仪器责任有限公司),UV9200 紫外分光光度计、VIS-7220N 可见分光光度计(北京瑞利分析仪器公司),IC 6000 离子色谱仪(安徽皖仪科技股份有限公司)。

1.2　*实验动物*　3 周龄清洁级 ICR 小鼠 60 只,雌雄各半,体重 14 ~ 18 g,由福建医科大学实验动物中心提供,许可证号:SCXK(闽)2012 - 0001。饲养于清洁动物实验房,环境温度为(23 ± 2)℃,环境相对湿度为(55 ± 15)%。本实验经福建医科大学实验动物伦理委员会批准。

1.3　*方法*

1.3.1　分组与处理　经适应性喂养 1 周后,小鼠按体重随机分为 3 组,纯净水组(对照组)、自来水组、矿泉水组,每组 20 只,雌雄各半。各组小鼠初始体重无明显差异,且生长发育良好、毛发浓密有光泽、精神良好、行动迅速,无任何异常状况,予自由摄水摄食,实验周期 90 d。实验结束时,各组小鼠禁食不禁水 12 h 后,颈椎脱臼处死,取材,检测各种指标。

1.3.2　水质分析　照国家标准"GB/T 5750-2006

生活饮用水标准检验方法”[6]。3 种饮用水钙、镁含量测定采用火焰原子吸收分光光度法，氯化物、硫酸盐及硝酸盐含量测定采用离子色谱法。

1.3.3　体外抗氧化活性测定　采用参考文献[7]方法并加以改进，分别测定 3 种饮用水对羟自由基、超氧阴离子自由基及 DPPH 自由基的清除率。方法改进之处：以水样为待测液，不做浓度梯度变化；以相同体积的双蒸水为空白对照，做 10 次平行实验。

1.3.4　抗氧化指标测定　剥离小鼠脑组织、心脏、肝脏及肾脏，精密称重后用冷生理盐水配制成 10% 组织匀浆液，离心后取上清液，分别按照试剂盒说明书测定小鼠脑组织、心脏、肝脏及肾脏的 T-AOC、CAT、GSH-Px、T-SOD、MDA 含量及抑制羟自由基能力。

1.4　统计分析　采用 SPSS 20.0 软件进行数据处理和分析，结果以 $\bar{x} \pm s$ 表示。采用单因素方差分析进行多组间差异比较，进一步的两两比较采用 Student-Newman-Keuls（S-N-K）检验。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2　结　果

2.1　不同饮用水的水质情况（表 1）　3 种饮用水钙、镁含量高、低依次为矿泉水 > 自来水 > 纯净水，而氯化物、硫酸盐及硝酸盐含量高、低依次为自来水 > 矿泉水 > 纯净水。

2.2　不同饮用水的体外抗氧化活性（表 2）　自来水和矿泉水羟自由基、超氧阴离子自由基清除率均明显高于纯净水，差异有统计学意义（$P < 0.05$）；且矿泉水羟自由基清除率还明显高于自来水，差异有统计学意义（$P < 0.05$）。

表 1　不同饮用水的水质情况

组别	钙（mg/L）	镁（mg/L）	氯化物（mg/L）	硫酸盐（mg/L）	硝酸盐（mg/L）
纯净水	< 0.05	< 0.02	< 0.10	< 0.20	< 0.05
自来水	4.40	1.44	10.86	20.84	10.30
矿泉水	19.38	4.77	3.07	1.32	0.61

表 2　不同饮用水体外抗氧化活性比较（$n = 10$，%）

组别	羟自由基清除率	超氧阴离子自由基清除率	DPPH 自由基清除率
纯净水	38.37 ± 5.13	0.26 ± 4.29	33.04 ± 16.97
自来水	45.60 ± 6.69[a]	16.62 ± 7.50[a]	27.68 ± 13.53
矿泉水	55.78 ± 3.85[ab]	17.24 ± 6.46[a]	21.13 ± 10.23

注：与纯净水组比较，a $P < 0.05$；与自来水组比较，b $P < 0.05$。

2.3　不同饮用水对小鼠体内抗氧化指标的影响（表 3）　自来水组、矿泉水组小鼠肾脏 T-AOC、CAT 活性、GSH-Px 活性及抑制羟自由基能力明显高于纯净水组，且肾脏 MDA 含量明显低于纯净水组，差异均有统计学意义（$P < 0.05$）；矿泉水组小鼠肾脏 T-SOD 活性还明显高于纯净水组，差异有统计学意义（$P < 0.05$）。但各组小鼠脑、心脏、肝脏的 T-AOC、CAT 活性、GSH-Px 活性、T-SOD 活性、MDA 含量及抑制羟自由基能力差异均无统计学意义（$P > 0.05$）。

表 3　各组小鼠体内 T-AOC、CAT、GSH-Px、T-SOD、MDA 及抑制羟自由基能力的比较（$n = 20$，U/mg prot）

组织	组别	T-AOC	CAT	GSH-Px	T-SOD	MDA	抑制羟自由基能力
脑	纯净水	5.60 ± 1.14	21.95 ± 6.24	17.94 ± 8.62	248.61 ± 33.14	3.17 ± 1.61	149.16 ± 14.45
	自来水	4.33 ± 0.87	20.03 ± 1.88	15.80 ± 9.06	196.99 ± 59.73	3.16 ± 1.45	147.30 ± 11.22
	矿泉水	5.97 ± 1.86	23.49 ± 6.70	11.53 ± 4.49	218.60 ± 45.58	2.59 ± 0.87	160.47 ± 29.64
	F 值	2.415	0.619	1.085	1.794	0.368	0.754
	P 值	0.098	0.542	0.345	0.176	0.694	0.475
心脏	纯净水	1.50 ± 0.42	12.39 ± 0.56	8.01 ± 1.87	183.57 ± 10.70	5.78 ± 2.79	40.63 ± 2.67
	自来水	1.38 ± 0.21	13.43 ± 1.60	8.24 ± 3.86	188.00 ± 11.57	3.60 ± 1.16	41.26 ± 3.96
	矿泉水	1.62 ± 0.32	11.89 ± 1.99	8.39 ± 3.93	178.27 ± 30.03	5.00 ± 1.77	38.08 ± 7.05
	F 值	0.748	1.637	0.02	0.371	1.787	0.705
	P 值	0.478	0.204	0.980	0.692	0.177	0.498
肝脏	纯净水	3.15 ± 2.10	76.39 ± 16.22	55.45 ± 5.58	181.60 ± 13.50	10.99 ± 2.57	38.42 ± 5.75
	自来水	4.96 ± 2.11	76.49 ± 20.81	57.30 ± 8.71	188.67 ± 7.88	12.25 ± 3.02	38.41 ± 5.60
	矿泉水	5.25 ± 0.77	88.70 ± 11.02	56.93 ± 4.62	185.38 ± 16.63	9.62 ± 2.25	45.30 ± 6.67
	F 值	2.469	1.104	0.134	0.432	1.497	2.616
	P 值	0.094	0.339	0.875	0.651	0.232	0.082
肾脏	纯净水	2.20 ± 0.37	75.59 ± 6.84	44.93 ± 12.82	113.99 ± 15.25	2.20 ± 0.27	29.22 ± 5.72
	自来水	4.33 ± 1.28[a]	134.78 ± 22.34[a]	92.53 ± 14.88[a]	137.81 ± 23.70	1.75 ± 0.26[a]	51.43 ± 15.27[a]
	矿泉水	4.43 ± 0.74[a]	156.46 ± 19.81[a]	97.16 ± 19.86[a]	148.31 ± 21.47[a]	1.63 ± 0.20[a]	59.13 ± 10.74[a]
	F 值	12.385	33.589	19.291	4.436	8.905	11.388
	P 值	0.000	0.000	0.000	0.016	0.000	0.000

注：与纯净水组比较，a $P < 0.05$。

3 讨　论

自由基是指单独存在的、具有配对价电子的离子、原子、分子基团,共同特征是最外层电子轨道上具有不配对电子,主要特点是性质活泼和反应性强[8]。羟自由基是目前所知活性氧自由基中最活泼、毒性最强的一种自由基;超氧阴离子自由基也是活性氧的一种,其为机体内寿命最长的自由基;DPPH 自由基是一种稳定的以氮为中心的自由基。本研究体外抗氧化实验结果表明,3 种饮用水对羟自由基清除能力从强到弱的顺序为矿泉水 > 自来水 > 纯净水,对超氧阴离子自由基清除能力为矿泉水和自来水明显高于纯净水,但对 DPPH 自由基清除能力的差异却不明显。这提示 3 种饮用水体外抗氧化活性的差异可能主要表现在活性氧自由基的清除上,从总体上看,矿泉水、自来水体外抗氧化活性均优于纯净水,矿泉水甚至更优于自来水。曾有研究报道,水中的镁离子具有体外抗氧化功能,随着水镁含量的升高,其对羟自由基的清除能力逐渐增强[9]。伊军等[10]发现在一定浓度范围内,增加水中的氯化物、硅酸盐浓度有降低水氧化还原电位的作用(水还原性增强),而增加硫酸盐则有升高水氧化还原电位的作用(水氧化性增强)。由于本实验 3 种饮用水的水质情况(以下指标除硅酸盐外,其他均在上述研究浓度范围内):钙、镁及硅酸[11]含量高、低依次为矿泉水 > 自来水 > 纯净水,而氯化物、硫酸盐含量高、低依次为自来水 > 矿泉水 > 纯净水,因此初步推测 3 种饮用水体外抗氧化活性的差异可能与饮用水中的无机成分有关。本研究动物实验结果还表明,相比于纯净水组,自来水组、矿泉水组小鼠仅肾脏 T-AOC、CAT、GSH-Px 活性及抑制羟自由基能力明显升高而 MDA 含量明显降低,且矿泉水组肾脏 SOD 活性也明显升高,但其余组织脑、心脏及肝脏抗氧化指标尚未观察到明显差异。T-AOC 反映的是机体总的抗氧化能力;CAT、GSH-Px、SOD 是体内重要的抗氧化酶,其活性均可反映机体抗氧化能力;而 MDA 是一种脂质过氧化物,可反映脂质过氧化程度,其含量间接反映组织受自由基损伤的程度。

综合以上几个抗氧化指标的变化,提示饮用 3 个月矿泉水或自来水的小鼠肾脏抗氧化能力明显优于纯净水,其中饮用矿泉水效果可能更优。此研究结果,与文献[12]报道的饮用 4 个月矿泉水的衰老小鼠全血抗氧化能力高于纯净水的情况有所相似。肾脏是机体供血量最丰富的器官,且含水量略高于脑、心脏及肝脏[13],小鼠长期饮用矿泉水有可能使肾组织处于抗氧化性较高的水环境下,有利于减少正常细胞生物氧化过程中产生的活性氧自由基,减轻各种抗氧化酶的负担,从而表现出较强的抗氧化能力。此观点仅为单个角度推测,正确与否还有待今后进一步探究。

参考文献

[1] Benedetti S, Benvenuti F, Nappi G, et al. Antioxidative effects of sulfurous mineral water: protection against lipid and protein oxidation[J]. European Journal of Clinical Nutrition, 2009, 63(1): 106 – 112.

[2] Kim AD, Zhang R, Kang KA, et al. Jeju ground water containing vanadium enhances antioxidant systems in human liver cells[J]. Biological Trace Element Research, 2012, 147(1 – 3): 16 – 24.

[3] Han JY, Hwang M, Hwa SY, et al. ENA-A actimineral resource A extends lifespan associated with antioxidant mechanism in SMP30 knockout mice[J]. Molecular and Cellular Biochemistry, 2014, 391(1 – 2): 175 – 182.

[4] Chen IS, Chang YY, Hsu CL, et al. Alleviative effects of deep-seawater drinking water on hepatic lipid accumulation and oxidation induced by a high-fat diet[J]. Journal of the Chinese Medical Association, 2013, 76(2): 95 – 101.

[5] Koyama Y, Taura K, Hatano E, et al. Effects of oral intake of hydrogen water on liver fibrogenesis in mice[J]. Hepatology Research, 2014, 44(6): 663 – 677.

[6] 国家标准局. GB/T 5750 – 2006 生活饮用水标准检验方法[S]. 北京:中国标准出版社,2006.

[7] 张黎明,李瑞超,郝利民,等. 响应面优化玛咖叶总黄酮提取工艺及其抗氧化活性研究[J]. 现代食品科技,2014,30(4):233 – 239.

[8] 夏世金,孙涛,吴俊珍. 自由基、炎症与衰老[J]. 实用老年医学,2014,28(2):100 – 103.

[9] 张红艳,赵飞虹. 海洋深层水抗氧化性实验[C]. //全国给水深度处理研究会年会. 2008.

[10] 尹军,刘志生,赵可,等. 饮用水中无机成分与氧化还原电位的关系[J]. 环境与健康杂志,2006,23(2):148 – 151.

[11] 陈荣河,陈楚,沈惠真,等. 水质对小鼠肥胖相关指标影响[J]. 中国公共卫生,2014,30(4):454 – 456.

[12] 景熙,董文彦,李桂荣,等. 天然矿泉水与纯净水抗过氧化作用的比较[J]. 中央民族大学学报:自然科学版,2004,13(3):213 – 216.

[13] 阮国洪. 水的科学与健康[M]. 上海:复旦大学出版社,2012:89 – 90.

收稿日期: 2015-03-12　　(吴少慧编校)

中国公共卫生 CPH