

# 低氘水的制备与应用

张丽雅, 孔 卓, 陈大昌

(上海化工研究院, 上海 200062)

**摘 要:** 低氘水是一种稳定同位素产品, 低氘水的制备技术及应用研究近年来获得较大进展。研究发现低氘水具有活化免疫细胞、改善机体基础代谢水平、抗细胞突变和延缓衰老等功能, 有利于生命体的生长和繁衍, 拓展了低氘水的用途。

**关键词:** 低氘水; 稳定同位素; 制备; 应用

**中图分类号:** O 628.8      **文献标志码:** A

**文章编号:** 0367-6358 (2009)12-0748-03

## Preparation and Application of Deuterium Depleted Water

ZHANG Li-ya, KONG Zhuo, CHEN Da-chang

(Shanghai Research Institute of Chemical Industry, Shanghai 200062, China)

**Abstract:** Deuterium depleted water is a stable isotope product. The preparation technology and applied research on deuterium depleted water have developed in recent years. It has been found that depleted water have the functions of activating immune cells, improving the level of basal metabolic body, anti-mutation and anti-aging etc., which means it benefits the growth and reproduction of life, so the use of deuterium depleted water has been expanded.

**Key words:** deuterium depleted water; stable isotope; preparation; application

自然界中已知的 107 个化学元素有近 270 个稳定同位素<sup>[1]</sup>, 质量最小的是氢元素, 它有氕( $^1\text{H}$ )和氘( $^2\text{H}$  即 D) 两种稳定性同位素, 由此组成的水 $^1\text{H}_2\text{O}$  和 $^2\text{H}_2\text{O}$  (即  $\text{D}_2\text{O}$ ) 分别称为氕水(轻水)和氘水(也称重水)。天然水中氘的丰度很低, 一般为  $150 \times 10^{-4}$  atom %, 低氘水(又称贫氘水或无氘水)是指氘丰度低于天然丰度的水, 是一种稳定性同位素产品。

自从人类发现同位素以来, 同位素的制备技术和同位素产品的应用研究不断得到发展, 同位素产品在生命科学、核科学、生物学、医药学、地质学、农业科学等高科技研究领域发挥重要作用。氢同位素也是如此, 1931 年氘被发现至今, 重水的分离方法和应用范围取得了重大突破, 对各国的经济和军事

发展产生了深刻影响; 而低氘水的研究则滞后于重水, 是近年国外核医学和水生理学领域的研究成果。

### 1 低氘水的制备

国内关于低氘水的研究报道较少, 有些关于低氘水制备的专利技术<sup>[2-6]</sup>, 但大多缺乏实质性的研究内容。国外有不少国家涉足低氘水的研究<sup>[7-12]</sup>, 如匈牙利、乌克兰、罗马尼亚、俄罗斯、美国等国家的相关研究机构纷纷公开其研究成果: 早在 1992 年, 匈牙利 Somlyai 等人研制了用普通水经蒸馏制取低氘水的方法, 获得氘丰度  $15 \sim 30 \times 10^{-4}$  atom % 的产品; 1997 年, 匈牙利 Somlyai 等人又通过电解、蒸馏及其它方法的进一步研究, 将水中的氘降低为  $0.1 \times 10^{-4}$  atom %; 1995 年乌克兰 Nikolaevich 等公开了一种高真空汽化水的方法制取低氘、氘的应用水;

收稿日期: 2009-08-31

基金项目: 上海市科委资助项目(07HX11841)

作者简介: 张丽雅(1961~), 女, 高级工程师, 主要从事稳定性同位素分离技术研究和分离工程开发。E-mail: zhangliya@8163.net.cn

1998 年罗马尼亚 Regia Autonoma Activitati Nucleare Sucur 采用自来水或重水厂的废水, 真空蒸馏得到低氘水; 俄罗斯国家科学院也做过大量的水蒸馏研究工作; 美国公开了以海水为原料生产低氘水的装置技术。

纵观国内外的研究报道, 低氘水主要以水为原料, 采用分离方法制备而得。低氘水的分离原理虽然简单, 但由于天然水中氘同位素丰度极少且氢同位素的分离系数小, 因此分离氘是很困难的, 力求寻找能耗低、投资少、经济上适合工业规模的生产方法是研究重点。

就分离方法而论, 低氘水的分离方法有化学交换法、蒸馏法、电解法、热扩散法、膜扩散吸附法、离心法、激光法等方法以及上述几种方法的组合, 但作为工业化生产的方法主要推荐化学交换法和蒸馏法。

### 1.1 化学交换法

化学交换法是分离氢同位素的方法之一, 它根据热力学同位素效应, 利用同位素在不同化学组分间的分配不同而达到分离的目的。依据操作过程的不同, 化学交换法又可分成单温法和双温交换法。单温交换法的典型过程是  $\text{H}_2\text{O}-\text{H}_2$  交换法, 双温交换法的典型过程是  $\text{H}_2\text{S}-\text{H}_2\text{O}$  交换法。除  $\text{H}_2\text{O}-\text{H}_2$  交换法外, 其它化学交换法生产的低氘水不适宜用作饮用水。

### 1.2 蒸馏法

蒸馏法是分离液相混合物的经典方法, 是利用不同组分蒸汽压的差别来实现分离的, 由于同位素分子变种的蒸汽压相差甚小, 水蒸馏分离制备低氘水的能耗较高, 但是水蒸馏法操作简单可靠, 生产过程无污染, 是一种较容易实现的方法。

### 1.3 电解法

电解法是一种古老的分离方法, 水电解时, 阴极上析出氢气, 阳极上析出氧气, 由于水溶液中氘离子在阴极上电析速度比氢离子慢得多, 因此在阴极上析出的氢气中氘离子获得富集, 由此氢气和氧气可合成低氘水。

## 2 低氘水的应用

同一元素的同位素, 在物理化学和核性质上是有差异的, 这种差异(称为同位素效应)取决于同位素的相对质量变化和核壳层结构, 越轻的元素由质量差异所引起的同位素效应越强, 因此水中同位素氘和氘含量的变化, 使水的有些性质发生很大变化而改变其用途。根据氘丰度的不同, 低氘水主要用于制备超纯氘气、核磁共振溶剂、防治疾病、保健饮

用水及配方用水等。

### 2.1 制备超纯氘气和在核磁共振溶剂的应用

氘丰度  $\leq 1 \times 10^{-4}$  atom % 的低氘水, 可制备超纯氘气应用于实验研究。

氘丰度  $2 \sim 3 \times 10^{-4}$  atom % 的低氘水, 可用作核磁共振溶剂应用于核磁共振技术<sup>[13]</sup>。质子核磁共振技术是用来确定未知有机化合物结构的有效方法, 已经成为分子认证主要技术之一, 广泛应用在化学研究、生化、医药化学、聚合物科学、石油研究、农业化学和医学。

核磁共振成像技术是核磁共振在医学领域的应用, 人体内含含有非常丰富水, 不同的组织水的含量也各不相同, 探测水的分布信息, 就能够绘制出一幅比较完整的人体内部结构图像, 核磁共振成像技术就是通过识别水分子中氢原子信号的分布来推测水分子在人体内的分布, 进而探测人体内部结构的技术。

核磁共振技术是一种无侵袭的检查方法, 对患者没有射线影响, 诊断的依据是人体内水分子氢核发出的核磁共振信号, 信号强弱不仅取决于人体所含氢核密度, 而且还取决于氢核在分子结构中的位置和分子周围的环境状态。核磁共振成像的优点是不需要移动患者就能获得无重叠的、不失真的、任何解剖方向的断层图像, 打破了以往医学影像诊断的惯例, 克服了以解剖学为基础的局限性, 可以在分子结构的水平上进行诊断。它不仅能描述物质的物理特性, 还能观察活体组织的生物化学和生物状态, 利用核磁共振, 可以早期并全面地显示心肌运动障碍的范围和位置; 还能明确地划分出血栓形成的范围及显示人体组织中含水含脂肪的部分, 还能进行早期肿瘤结构与恶性肿瘤结构区分开。低氘水就是核磁共振技术使用的溶剂之一。

### 2.2 在疾病防治和饮料用水中的应用

氘丰度  $25 \sim 135 \times 10^{-4}$  atom % 的低氘水, 可用作疾病防治和饮料用水。在该领域, 低氘水有极其广泛的用途, 欧洲、美国、日本等国的科学家都开展了相关研究<sup>[14-18]</sup>。低氘水具有活化免疫细胞、改善机体基础代谢水平、抗细胞突变和延缓衰老等功能, 有益于包括人在内的各种动植物生命体的生存发展和繁衍。饮用低氘水可以预防疾病、保健身体, 特别是对某些癌症等疾病的辅助治疗, 是近年国外核医学领域和水生理学领域对低氘水应用研究的重大突破。

经  $\text{O}^{17}$  核磁共振分析证实, 低氘水的分子团较一般的水小 50% 以上, 这些较小的分子团在身体内

部移动穿越比其他的水更迅速有效,更容易被细胞吸收,使身体更快更有效地补充水分。

### 2.2.1 应用于防治癌症

低氘水防治癌症的方法最初是由匈牙利医生、分子生物学家 Somlyai G 研究发现的, Somlyai G 于 1990 年开始用低氘水对癌症、糖尿病等疾病患者进行大量的临床研究,揭示了低氘水抗癌效果的分子机理,发现低氘水能抑制肿瘤细胞生长,制约肿瘤细胞的分解复制,最后导致肿瘤质量减少,在有些情况下甚至全部覆灭,是一种全新的原创达到阻止肿瘤细胞成长的新疗法。饮用低氘水对防治癌症以及癌症患者的辅助治疗有作用。日本等国科学家的应用研究也表明了这一点。

### 2.2.2 应用于心血管、糖尿病等疾病的辅助治疗

美国霍普金斯医学院 Agre P 发现细胞膜上的水通道蛋白质,解开了水在生物体的吸收机理,而且进一步指出水通道蛋白的功能缺失与肾病、水肿有关。这是水生理学科领域的重大发现,从而获得 2003 年诺贝尔化学奖。同时指出,只有有序、结构化小分子团水能进入细胞内参与人体物质能量、信息代谢。因此低氘水是生命的激活剂、能激活人体细胞及机能、改善新陈代谢,饮用低氘水对心脑血管病、糖尿病、新陈代谢紊乱等疾病有一定的辅助治疗和预防作用。

### 2.2.3 应用于保健、抗衰老

罗马尼亚科学家 Haulica 等人的多年研究表明:低氘水具有抗氧化能力,在低氘水环境中,人类大脑和肝脏中抗氧化酶的活性显著提高。

超氧自由基是人类衰老的总根源。这是人的细胞中线粒体上出现的怪物,它专门吃掉 DNA、RNA 遗传因子或破坏细胞膜,阻碍正常细胞分裂,使人得不到新鲜细胞而衰老死亡。低氘水的分子非常活跃,会带动生命动力元素含水离子跑到人体的一切角落,靠生命动力元素的自身变价能力,把超氧自由基的电子吸引过来,使超氧自由基变成正常的氧分子,延缓衰老。饮用低氘水能保健、抗衰老。

可用低氘水制成酒精饮料<sup>[19-20]</sup>,如:伏特加、威士忌、白兰地、鸡尾酒、米酒、果酒以及啤酒等,区别于普通酒饮料,这种酒具有显著降低酒精毒性的作用,减少酒精性肝病的发生。用低氘水制成非酒精饮料,如:饮用水、矿化水、磁化水、软饮料和功能饮料等,能改善人类健康和生活质量。

## 2.3 在其它领域中的应用

### 2.3.1 在动植物生长中的应用

科学家指出,鲸鱼之所以长得很大,并生活在接

近冰山的融冰边缘区域,是因为寒冷极地附近水中的含氘量少,鱼类和浮游生物容易繁殖;侏儒人和矮小动物主要生活在氘含量多的赤道非洲西部,而大型非洲动物象和河马均在氘含量比正常值少的非洲东部。对于植物,用低氘水浸泡种子和浇灌,易于种子发芽和生长,提高产量和品质。

### 2.3.2 在化妆品中的应用

文献报道<sup>[21]</sup>,水中同位素氘的含量显著影响化妆品中蛋白质、碳酸化合物、脂类、核酸等物质的基本性能,使用氘含量低的水生产化妆品是优选的,低氘水是改进化妆品品质的安全且有效的组分,有助于提高皮肤细胞抗老化、保湿、抗紫外线照射、抗过敏等功能。

此外,低氘水还可用作制药用水、消毒用水、动植物培养剂等等<sup>[22]</sup>。

## 3 结束语

总之,水是生命之源,水中氘元素的含量是衡量水好坏的重要标准,低氘水不仅应用于科学研究,低氘水能活化免疫细胞、改善机体基础代谢水平、抗细胞突变和延缓衰老等功能,更有益于生命体的生存发展和繁衍,对于人类的健康具有重要意义。

## 参考文献:

- [1] (俄)巴朗诺夫 V U 主编,王立军等译.同位素[M].北京,清华大学出版社,2004.10-15.
- [2] 冯宏章. CN: 1 085 191A [P], 1994.
- [3] 丛峰松. CN: 101 117 210A [P], 2007.
- [4] 史育才,史尔勇,朱均裕,等. CN: 101 224 929A [P], 2008.
- [5] 波米特金·伊·安. CN: 101 146 543A [P], 2008.
- [6] 张丽雅,秦川江,陈大昌,等. CN: 101 481 088A [P], 2009.
- [7] Kótai L, József Lippart, István Gács, et al. Ind Eng Chem Res [J], 1999, 38: 2425-2427.
- [8] Somlyai G. HU: 66 414 [P].
- [9] Varnavskii I N. RU: 2 091 336 [P].
- [10] Zlotopolski V M. US: 20 050 109 604 [P].
- [11] Inst Nat Cerc Dezvoltare Tehnologii Crio. WO: 2 006 028 400 [P].
- [12] Kótai L. PCT/HU: 96/00 019 [P].
- [13] Gaede H C, Luckett K M, et al. Langmuir [J], 2004, 20(18): 7711-7719.
- [14] Regia Autonoma Activitati Nucleare Sucur. RO: 115 148 [P].
- [15] Krempels K, Somlyai I, Somlyai G. Integrative Cancer Therapies [J], 2008, 7(3): 172-181.

(下转第 765 页)

D5 均较同一系列的 D3、D4 和 D6、D7 给出最高的键合常数,究其原因可能归因于主-客体间严格的尺寸匹配,即双环糊精的桥链越短,两个环糊精的疏水空腔越容易协同包结客体分子。

尽管桥链的长度在某种程度上影响了主体对客体分子的分子键合能力,桥联环糊精对客体分子所形成超分子配合物的稳定性在很大程度上还是取决于客体分子的尺寸和构型。不同链长桥联环糊精对不同形状和尺寸的客体分子可能给出不同的分子选择性次序。

桥联环糊精的空腔尺寸也影响对客体分子的配位能力。双硫桥联环糊精 D12 ~ D14 对客体甲基橙(G7)或乙基橙(G8)的分子识别过程中,双硫桥联β-环糊精 D17 均给出了最高的包结常数,进一步表明

主-客体尺寸匹配在分子识别中起重要作用。

通过桥联环糊精分子识别的研究,充分认识环糊精包结配位的机制和一般规律,对于设计结构新颖、对客体分子具有更强识别能力的双环糊精主体具有实际的指导意义,使其在酶-底物和抗原-抗体强键合相互作用模拟研究中得到重要应用。

#### 参考文献:

- [1] 罗美明,谢如刚,赵华明.有机化学[J],1995,15:1.  
 [2] 宋芸,刘育.化学学报[J],2005,63(2):106.  
 [3] 刘育,尤长城,张衡益.超分子化学-合成受体的分子识别与组装[M],天津:南开大学出版社,2001.12:241.  
 [4] 宋乐新,孟庆金,游效曾.化学学报[J],1996,54:780.

(上接第 750 页)

- [16] 白井龍夫,JP:2004-175775A [P],  
 [17] 関邦博,白井龍夫,JP:2006-104A [P],  
 [18] Berdea P, Cuna Stela Cazacu M, Tudose M. Universitatis Babeş-Bolyai Physica Special Issue [J], 2001, (2): 256-258.

- [19] 索洛维约夫·谢. CN: 101 124 313A [P],  
 [20] 汪建国,汪奇.中国酿造[J],2006(6):4-7.  
 [21] 索洛维约夫·谢. CN: 101 137 416A [P],  
 [22] 波米特金·伊·安,索洛维约夫·谢. CN: 101 146 543A [P].

(上接第 768 页)

欧洲专利制度及其网络化学专利检索方法	9	572
油页岩渣的综合利用	9	574
用废旧轮胎制备活性炭方法的研究	10	636
中美化工专利说明书撰写差异及翻译	11	700
精心设问活化物理化学课堂教学	11	703
非化工专业物理化学教学方法改革的探索	12	755
从酸性含 Cu <sup>2+</sup> 蚀刻废液中回收铜	12	758

#### 化学天地

强化化学实验室化学试剂的安全管理	1	63
溶栓新药——纳豆激酶	2	126
绿色荧光蛋白	3	145
硒元素的发现与应用	8	511
丹参活性化学成分的研究	10	638
2009 年诺贝尔化学奖揭晓	10	封底
2009 年诺贝尔物理学奖揭晓	11	680
分子机器	12	761
桥联环糊精的分子识别研究	12	763

#### 学会活动

“研究与创新”主题年会在学会召开	1	39
分析化学学术年会在复旦大学召开	2	103
学会召开 2009 年工作会议	2	封底

红外光谱应用技术协作组举办专题报告会	2	封底
2008 年自动化应用技术学术报告会在学会召开		
	2	封底
上海市化学化工学会八届四次理事会胜利举行	3	封底
能源化工专业委员会在华东理工大学召开学术交流会		
	3	237
上海市高校化学教学科研交流会在会所举行	3	封底
2009 年食品安全学术报告会在交大举行	3	封底
上海市化学化工学会第 15 届化工类本科生优秀论文交流会	4	封底
学会启动科技评价机构的申报工作	4	封底
英国皇家化学会 CEO Pike 博士访问学会	10	封底
第 23 届全国高中学生化学竞赛(上海赛区)天原杯开赛		
	10	封底
院士专家华谊行活动圆满成功	11	封底
农用化学专业委员会召开 2009 年年会	12	封底

#### 编辑部动态

征稿简则	1	封底
《化学世界》举行八届三次编委会会议	4	封底
《化学世界》2009 年(第 50 卷)1~12 期目录索引		
	12	766
		全卷终