

电场对水结构的影响

——电场处理水的应用机理研究¹⁾

陈家森 叶士璟 陈树德 叶永青 吕凤俊

(华东师范大学物理系, 上海 200062)

摘要 水经电场作用后,能使其内部结构发生变化,造成它的理化特性出现一系列改变,根据所提供的实验数据,提出电场可引起部分水分子的氢氧键断裂,使水中出现过量的超氧阴离子自由基、过氧化氢及自由质子。这一结论可满意地解释如下现象:用电处理水喂养纤毛虫,其分裂速度加快;受电场刺激的鱼胚胎,其孵化率、存活率明显提高,其后期生长速度加快等。

关键词 电场处理,超氧阴离子自由基,过氧化氢,质子

1 引言

水是生命活动不可缺少的重要物质,但它并不是像人们通常所认识的那样由大量水分子的简单叠加所构成。根据物理学家、化学家的长期研究,发现水是一个极性分子,水分子与水分子之间存在着电偶极相互作用,使它们以氢键的形式相互偶联在一起,形成具有一定结构的各种不同大小的缔合态水分子。由于分子的热运动,不断地将分子间的氢键打断,致使其缔合态遭到程度不同的破坏,最终使纯水内部的水分子处在有序(缔合态)和无序(非缔合态)的统计平衡状态之中^[1]。

普通水当然是非纯水,它通常含有溶解的盐类和气体,有时还含有有机物。因为水是极性分子,所以它能使被溶解的离子处于较为稳定的状态。这是由于离子在水中可以形成水合物,即每一个负离子能够吸引邻近的水分子带正电的一端,将几个水分子一层层牢牢地结合在它的周围而形成水合物,致使它具有相当好的稳定性,这是水溶液的又一个重要特点^[2]。

人们还发现,水经过电、磁及其他物理因素处理后会出现多种有趣的效应,这些效应有的已开始工农业生产及人类生活中得到应

用^[3-6],但遗憾的是物理处理对水的内部结构的影响迄今尚未有一个有说服力的解释。我们在利用某些物理、化学的测试方法(如紫外透光率、质子核磁纵向弛豫、电导率、溶氧量、pH值及鲁米诺化学发光等)比较经电场处理前后水的部分理化特性并分析研究其测试数据后,认为电场能够使水分子的氢氧键断裂,在水中生成过量的超氧阴离子自由基、过氧化氢及自由质子,这一结论能圆满地解释我们已经取得成功的生命学科的研究课题。

2 实验设计的理论依据

在水溶液中存在的分子除 H_2O 外,主要还伴有 H_2O_2 和 O_2 ,当然还有极少量的其他气体分子及某些杂质。由于水中含氧量的多少对生命现象起着至关重要的作用,因此我们研究工作的出发点主要放在水中氧含量的变化。氧分子在近紫外 194nm 和 210nm 附近有吸收峰^[7],所以利用紫外可见分光光度计可测量水中氧含量的变化,辅以氧含量及 pH 值的专门测试可进一步证实经电场处理前后水中氧的浓度的变

1) 国家自然科学基金资助项目。
1994年8月15日收到初稿,1994年9月26日收到修改稿。

化。

在水中氧分子可以以分子态的形式出现,也可以以离子态的形式出现,这一点可以通过测试水的电导率来鉴别。

为了弄清水中氧含量变化的源泉,通过鲁米诺化学发光以确定水中过氧化氢分子浓度的变化,提供反应过程的信息。

质子核磁纵向弛豫时间的测定可进一步证实电场处理的水中确实有过量的超氧阴离子自由基存在,因为氧分子及超氧阴离子均为顺磁性物质^[4],前者受水中饱和氧浓度的制约,后者则和电场处理有着密切的关系。

通过电场对水分子附加能量的估算,对比水分子中氢氧键键能的大小,可以提出电场引起水结构改变的机理。

3 实验方法与实验结果

3.1 实验用水

为了简化经电场处理后的水的内部结构改变的机理模型,我们在比较天然水、蒸馏水、重蒸馏水及去离子水的理化特性的基础上,最后选用重蒸馏水作为我们的研究对象,因为它不仅可以排除其他杂质引起的干扰因素,而且便于同行进行重复试验。

3.2 含氧量的测定

测试仪器: DU-7 型及 UV-754 型紫外、可见分光光度计, JPB-607 型便携式溶氧仪及 PHS-2C 型精密酸度计。

3.2.1 测试 194nm 和 210nm 处的透光率

为了显示水经电场处理后在 194nm 及 210nm 处透光率确有变化,我们以重蒸馏水作为透光率为 100% 的基准,扫描经电场强度为 $2.0 \times 10^6 \text{V/m}$ 的电场分别处理 5min 和 30min 后的水,以测定它们的透光率的变化。图 1 是它们的扫描曲线。

为便于比较,我们用 UV-745 测试 194nm 和 210nm 处的水的透光率。为了与普通重蒸馏水进行对照,将空比色皿的透光率作为 100% 的基准,对普通重蒸馏水及经场强为 2.0×10^6

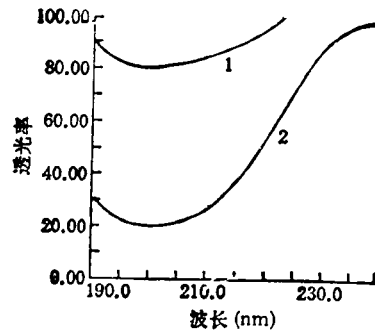


图 1 紫外透光率的扫描曲线(普通重蒸馏水的透光率为 100%)

曲线 1 是受强度为 $2 \times 10^6 \text{V/cm}$ 的电场处理 5min 的重蒸馏水;

曲线 2 是受强度为 $2 \times 10^6 \text{V/cm}$ 的电场处理 30min 的重蒸馏水

表 1 波长为 194nm 和 210nm 处水的透光率

条件 透光率 波长	对 照	电 处 理		
		3min	6min	9min
194nm	72.5 ± 0.3	34.6 ± 0.1	20.0 ± 0.1	10.7 ± 0.1
210nm	93.6 ± 0.1	49.8 ± 0.1	27.9 ± 0.1	12.9 ± 0.1

V/m 的脉冲场分别处理 3min, 6min 及 9min 的重蒸馏水进行透光率的测试, 其测试结果如表 1 所示。

由图 1 及表 1 的实验结果可见, 194nm 和 210nm 处透光率的变化是同步的, 即随着脉冲电场对水处理的时间增加, 其透光率减小, 这意味着水中氧的含量增多。为此, 在下面的实验中我们选用 210nm 处的透光率的测试值。

3.2.2 水经不同电场强度的脉冲电场处理后的透光率

我们分别利用电场强度为 $1.5 \times 10^6 \text{V/m}$

表 2 水经不同电场强度的脉冲电场处理后的透光率

处理时间 透光率 电场强度	6min	30min
	$1.5 \times 10^6 \text{V/m}$	89.6 ± 0.3
$2.0 \times 10^6 \text{V/m}$	27.9 ± 0.1	9.3 ± 0.1

表 3 电场处理水的“记忆”效应

测试条件 波长 \ 透光率	即时测试	16h 后	112h 后	112h 后再搅拌 1min	煮沸后
	210nm	21.0±0.2	21.8±0.1	29.5±0.7	29.5±0.5

和 $2.0 \times 10^6 \text{V/m}$ 的脉冲电场对重蒸馏水进行 6min 和 30min 的处理,其透光率的实验结果如表 2 所示。

表 2 说明,在相同电场强度的条件下,水的透光率随处理时间的增加而减小;在相同处理时间的条件下,水的透光率随电场强度的增强而减小。

3.2.3 水经电场处理后的“记忆”效应

用电场强度为 $2.0 \times 10^6 \text{V/m}$ 的脉冲场对水进行 15min 处理后,在 210nm 处测试如下五种情况的透光率:(a) 即时测试;(b) 存放 16 小时后进行测试;(c) 存放 112 小时后进行测试;(d) 存放 112 小时后用 SK-1 型快速混匀器搅拌 1min 后进行测试;(e) 煮沸后进行测试。其透光率的实验结果如表 3 所示。

表 3 的结果表明,电场处理水在 210nm 处的透光率具有记忆功能,因为当我们对水进行充氧气后,发现其透光率值会减小,但不到 1h 它就恢复原值。

3.2.4 静电场和脉冲场处理效果的比较

静电场和脉冲电场的强度均设置在 $8.0 \times 10^5 \text{V/m}$,对水的处理时间均为 1h,其透光率的测试结果见表 4。

表 4 水经不同性质的电场处理后的透光率

测试条件 波长 \ 透光率	对照	静电场	脉冲电场
	210nm	93.6±0.1	82.3±0.2

实验结果表明,静电场和脉冲电场对水具有大致相同的处理效果。

3.2.5 含氧量的测试

用 JPB-607 仪对用电场强度为 $2.0 \times 10^6 \text{V/m}$ 的脉冲电场处理后水中含氧量进行测试,

其测试结果如表 5 所示。

表 5 水中含氧量

测试条件 单位 \ 含氧量	对照	处理 30min
	mg/L	4.7±0.1

上述结果说明水经电场处理后其含氧量确实会发生变化,但由于该仪器的精度不高,不能反映出微小变化。

3.2.6 pH 值的测试

用 PHS-2C 酸度计对用 $2.0 \times 10^6 \text{V/m}$ 脉冲电场处理后的水的 pH 值进行测试,其测试结果如表 6 所示。

表 6 水的 pH 值

处理条件	对照	处理 5min	处理 30min
pH 值	5.72±0.06	5.05±0.03	4.61±0.11

表 6 给出的结果和透光率、含氧量的结果是同步的,即水中含氧量愈高,其 pH 值愈小,这与化学实验的结论也是一致的。

3.3 电导率的测定

测试仪器为 DSS-11A 型电导率仪。

3.3.1 电场处理前后水的电导率

用电场强度为 $2.0 \times 10^6 \text{V/m}$ 的脉冲电场对水分别进行 3min,6min,9min 和 30min 处理,其电导率值如表 7 所示。

表 7 说明,水中离子数随着电场处理时间的增加而增多,实验还发现它和透光率一样具有“记忆”特性,如表 8 所示。

上述实验结果和表 3 的结果是同步的,说明水中的离子是处于稳定的水合物状态之中。

3.3.2 不同类型水的电导率

表 7 电场处理前后水的电导率

测试条件		对 照	处理 3min	处理 6min	处理 9min	处理 30min
单位	电导率					
	mS/m	0.290±0.001	0.434±0.004	0.939±0.004	1.018±0.001	4.800±0.005

表 8 表 7 的实验用水存放 7 天后的电导率

测试条件		处理 3min	处理 6min	处理 9min	处理 30min
单位	电导率				
	mS/m	0.330±0.005	0.710±0.005	0.920±0.005	4.400±0.005

表 9 不同类型水的电导率

水的类别		重蒸馏水	电场处理 30min 后的重蒸馏水	双氧水
单位	电导率			
	mS/m	0.290±0.001	4.800±0.005	44.000±0.010

我们测试了重蒸馏水和受电场强度为 $2.0 \times 10^6 \text{V/m}$ 的脉冲电场处理 30min 后的重蒸馏水以及医用双氧水的电导率,其测试结果如表 9 所示。

实验结果表明,双氧水中的离子成分最多。

3.4 质子核磁纵向弛豫时间的测定

测试仪器为 MSL-300 核磁共振波谱仪。我们测试了表 9 中列出的三种水的质子核磁纵向弛豫时间 T_1 值,其实验结果见表 10。

表 10 不同类型水的 T_1 值

水的类别		重蒸馏水	电场处理 30min 后的重蒸馏水	双氧水
单位	T_1			
	ms	3269±69	888±84	3725±39

表 10 的实验结果说明,双氧水中的离子含量虽多,但均不属于顺磁性的,只有经过电场处理后的水中生成的离子才具有很强的顺磁性,它们是超氧阴离子,所以它能使质子的 T_1 成倍地下降^[8]。

3.5 鲁米诺化学发光的光子数

实验仪器为光子计数器。利用鲁米诺在碱

性条件下与双氧水结合能进入激发态,当它恢复到基态时能产生自发发光的原理^[9],测定水经电场强度为 $2.0 \times 10^6 \text{V/m}$ 的脉冲电场处理 30min 后在 10s 内的总光子数,其实验结果如表 11 所示。

表 11 电场处理前后水的鲁米诺化学发光的光子数

水的类别	序号	每 10s 内的总光子数		
		1	2	3
对照	1	566	410	367
	2	589	352	319
	3	986	451	386
电场处理水	1	24454	21720	20050
	2	21858	19270	17724
	3	27140	23954	22056

实验结果表明,水经电场处理后会现过量的过氧化氢分子。

4 讨论与结论

(1) 水经电场处理后,水中含氧量增加,并随着电场强度和处理时间的增加而增多。

(2) 水经电场处理后,水中出现过量的离子态水合物,它就是超氧阴离子自由基和质子,

它们具有长期存放的稳定性。所以水经电场处理后,水中的氧分子应分成两部分:一部分是可以与空气中的氧气进行自由交换的自由氧分子;另一部分是处于被水分子包围的离子态氧,即超氧阴离子自由基,这一点可从质子核磁纵向弛豫时间的结果得到证实。

(3) 水经过电场处理后,在水中除了会出现超氧阴离子自由基外,还会出现过量的过氧化氢分子。

(4) 水分子是电极性分子,在电场作用下能获得附加的电能在其平衡位置附近作往复振动。根据理论估算,每个水分子在实验所使用的电场强度条件下,其平均能量可达 $2.5 \times 10^{-5} \text{eV}$ 左右。由于电场作用使空气电离产生的加速粒子的能量则高达 7.5eV ,而水分子中氢氧键的键能仅 4.6eV ,故它们完全可能使水中部分水分子分解成 OH^- 和 H^+ ,其中 OH^- 中的电子在电场催化下被水中的氧分子俘获后生成超氧阴离子自由基,在水分子的包围下形成稳定的水合物。这时,由于水中自由氧分子的丧失,浓度降低,与空气中的氧分压失去平衡,致使空气中的氧分子向水中进行扩散,导致水中氧含量随着电场强度和处理时间的增加而增多。此外,水中 OH 基团则通过基团间的不断碰撞而合成过量的过氧化氢分子,并释放出剩余能量,通常它们是以热能的形式耗散,所以当水在被处理过程中,在器壁会出现大量由水蒸汽分子形成的微水滴。

(5) 在生命体内适量的超氧阴离子自由基具有代谢贮能、转化排废及防御消毒的作用,过量则会破坏脂质,损害核酸,破坏碳水化合物及

蛋白质,对生命体带来危害^[9]。这就是为什么鱼胚胎受适当强度的电场处理后能使其孵化率和存活率提高,后期生长速度加快,以及过量的处理会出现胚胎死亡及鱼苗畸变的原因^[10-12]。最近我们用弱电处理水喂养纤毛虫,发现它们的分裂速度比对照组快 1.47 倍。同样,过强的电处理水会引起纤毛虫的死亡及分裂速度减慢,这也可以用上述机理得到解释。

(6) 不同类型的电场——恒定场或交变电场,只要其强度(电场强度及处理时间)相同,对水进行处理后得到的结果是相同的,所以我们不能忽视长期生活在高压电线下的人们的健康会受到的影响,因为强度和时间的累积效应产生的结果是一致的,即在活体内会产生过量的超氧阴离子自由基。

致谢 本工作得到胡天熹教授、周萃副教授、江林华及章继敏同志的支持与帮助,特此致谢。

参 考 文 献

- [1] В. И. Классен, Химия, (1982).
- [2] 鲍林等,化学,科学出版社,(1982).
- [3] 李国栋,生物磁学及应用,科学出版社,(1983).
- [4] 陈赐令,生物医学物理研究,原子能出版社,(1992).
- [5] 张振球,静电生物效应,万国学术出版社,(1988).
- [6] 鲍重光,现代静电技术,万国学术出版社,(1988).
- [7] J. Wayne Rabalais, Principles of Ultraviolet Photoelectron Spectroscopy, John Wiley & Sons Inc., (1977).
- [8] 陈家森等,自然杂志,7-10(1983),795.
- [9] 胡天熹等,发光分析与医学,华东师大出版社,(1990).
- [10] 陈家森等,华东师范大学学报(自然科学版),No. 3 (1985),48.
- [11] 陈家森等,自然杂志,12-10(1989),769.
- [12] 叶士璟等,水产学报,14-3(1990),251.

1995 年第 8 期《物理》内容预告

知识和进展

扬振宁教授荣获富兰克林奖章和鲍威尔奖——杨-米尔斯规范场理论简介(马中骥);
有机强磁性研究进展(方忠等);
激光减速与囚禁的原子喷泉(甘建华等);
凝聚态中的维度性渡越(王晓斌等);

纪念 X 射线发现 100 周年

晶体结构的 X 射线粉末衍射法测定——纪念 X 射线发现 100 周年(梁敬魁等);
X 射线的发现及其对现代科学技术的影响——纪念伦琴发现 X 射线 100 周年(李美亚等);
关于伦琴的三篇通讯——纪念 X 射线发现 100 周年(宋德生)。