



水纯化系统中的紫外线技术

Ichiro Kano、Daniel Darboure and Stephane Mabic
Research & Development, Lab Water Division,
Millipore S.A.S, Saint-Quentin-en-Yvelines, France

摘要: 由于紫外线的杀菌作用及降低有机物方面的作用，紫外线技术正日益广泛地应用在水净化系统中。本论文研究了紫外灯在水纯化过程中的作用，同时也探讨了选择紫外灯时需要考虑的参数与配置情况。本论文研究了紫外线不同类型细菌的影响以及不同波长的紫外线对有机分子的影响。本文了防水箱中生物膜形成的 254nm 紫外灯的杀菌效果，以及 Milli-Q 超纯水系统中降低有机污染物的 185nm 和 254nm 双波长紫外灯的效果。

前言

早在 1801 年，科学家就提出了一个假设：太阳的灼伤能量不可见的紫外线。对紫外线的理解取得了许多进展，同时，基于紫外线的技术。特别现在，紫外线已经广泛应用于水处理。本论文阐述了在为水纯化系

统选择紫外灯时所需考虑的参数以及配置情况对于杀菌（254nm）紫外灯效果的影响，以及双波长（185/254nm）紫外线对于降低有机物的影响。

理论回顾

紫外线波长从 100nm 到 400nm，x 射线与可见光之间（见图 1）。紫外线通常可分为 UVA 黑斑紫外线、UVB 红斑紫外线、UVC

灭菌紫外线及 UVD 真空紫外线。真空紫外线所生成的能量最高，并且能够与氧气形成臭氧。

按照量子论的观点，光子可承载能量。而方程 (1) 则给出了光子能量的计算公式，其中， h 为普朗克常数， λ 为波长， C 为光速。根据此方程，很容易推断出长波光（朝向可见光一侧）所生成的能量低于短波光（朝向 X 射线一侧），后者所生成的能量更高。紫外灯的能量可根据量子能量以及每单位时间所运送量子数量予以确定。

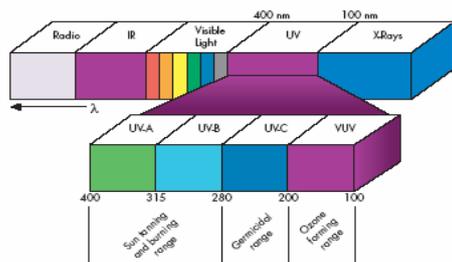


图 1：电磁波谱中的紫外线带宽

$$E = h \frac{C}{\lambda} \quad [\text{Equation (1)}]$$

与有机分子发生碰撞的量子对于化学键和原子中的电子有一定的影响。并非所有的化学键均具有相同的能量或者相同的反应活性；因此，通过不同波长的光子可以激活这些化学键。光子吸收能量后从基态跃迁到激发态，同时发散相应波长的光。从基态至激发态的过程称作跃迁。从化学角度来讲，这些跃迁与电子从低能轨道到高能轨道的过程相对应。最常见的跃迁指的是 σ 至 σ^* 、 n 至 σ^* 、 π 至 π^* 以及 n 至 π^* 。表格 1 中给出了实现这些转换所需能量及对应波长的示例。请注意，大约 254nm 波长的紫外光可以引发芳香族起反应，但是对 C-O 以及 C-C 单键结构没有影响。另一方面，180nm 波长附近的光可以使羟基 (OH) 处于激发状态。

表格 1: 使选定分子与化学物质分组处于活跃状态所需波长之示例

Molecules	Transition	Wavelength
<chem>H3C-CH3</chem>	σ to σ^*	135 nm
<chem>H2C=CH2</chem>	π to π^*	165 nm
<chem>H2O</chem>	n to σ^*	167 nm
<chem>H3C-OH</chem>	n to σ^*	183 nm
<chem>R2C=CR2</chem> R=alkyl	π to π^*	180-200 nm
<chem>RC(=O)NH2</chem>	n to σ^*	190 nm
<chem>c1ccccc1</chem>	π to π^*	254 nm

在 UV 辐射的过程中，分子及传播介质将在不同程度吸收紫外辐射的能量。例如，空气和真空均不会传播紫外线，同时，水比空气更易吸收紫外线。因此，在应用紫外线技术中，通过特定介质的紫外线能见度是需要考虑的首要因素。对紫外线能量急剧下降的水处理方面尤其重要。

紫外线灯的选择

在水纯化系统中，使用了低压汞灯。水银密封在灯管内部，利用放电过程启动水银灯。通过发送与特定光线或者波长对应的能量而使汞原子返回至基态。在低压情况下，水银在三种波长情况下发射能量：254nm (或者更精确值为 253.7nm)，185nm (184.9nm)、主要的辐射以及 194nm (194.2nm)、密度较低的谱带。254nm 波长紫外属于杀菌范围，而 185nm 波长的光可以使氧气转化为臭氧同时可以使水裂解，通常被用于有机物分子光氧化过程。普通玻璃能够吸收所有低于 320nm 波长的光，因此，无论是 185nm 还是 254nm 波长的光均可穿过玻璃。因此，为了使这些波长的光能够穿透水，汞灯必须采用石英套管，而这两种波长的光线在水中的表现存在一定的差异。由于水分子不能吸收 254nm 波长对应的能量，因此 254nm 很好地

被传送，而 185nm 的光波由于被水分子吸收强度迅速下降 (图 2)。此外，微粒与一定的有机物质 (例如腐殖酸与褐菌素) 能够阻止或者吸收紫外线。因此，使用紫外线处理方法来纯化水 (已被纯化的水) 具有很重要的意义 (在除颗粒方面)。

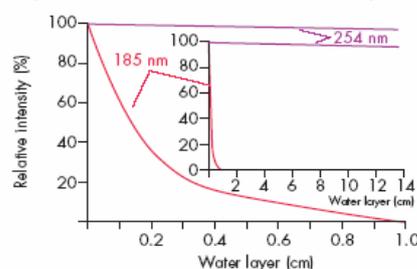


图 2: 185nm 与 254nm 紫外线在水中的传播情况

除了这些物理化学过程以外，其他参数，如密封在灯中的气体数量、水银的部分

压力、功率、电气放电过程以及灯的规格等均对灯泡的效率有一定的影响。所有这些因素的综合影响说明了不同供货商所供应的相同额定功率的紫外线灯泡之间存在差别的原因。为了系统地根据不同的流速来比较灯泡的效率，Millipore 研发部门研制了一些相关模型。这就使得我们能够快速、安全地对各种不同的灯泡进行对比。二次微分方程考虑了所传播的能量、所吸收的能量、灯泡的规格以及灯罩的直径，并与暴露在紫外线辐射下的水的停留时间以及流速有关。图 3 中为 4 瓦紫外线灯泡在流速与交付给水的净能量之间关系示例。

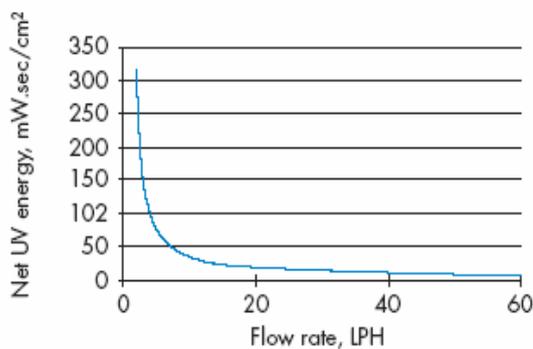


图 3: 流速对于功率为 4 瓦的紫外线灯泡所生成的净能量的影响

通过试验，我们测试了这些灯泡的效果，并得出了 254nm 紫外线灯泡（几乎专门用来提供 254nm 波长的灯泡）的灭菌效果以及 185+254nm 双波长紫外线灯泡所降低总有机碳（TOC）的相关数据。本论文给出了部分数据。

1. 不同流速情况下，两盏紫外线灯泡的灭菌效果作为细菌对数降低值（LRV）而进行比较（图 4）和绘图处理。四种 LRV 中的一种表明细菌的增长降低了 10000 因数。很明显，两盏灯泡的表现迥异。当 1 号灯泡在较低流速下能够充分发挥作用，并且在流速高于每小时 5 升的流速情况下无法使用时，2 号灯泡则能够在较为宽广的流速范围内适度发挥灭菌作用。由于这些灯泡不适合 Millipore 水净化系统的特别要求，因此，并未选用这两种灯泡中的任何一种。

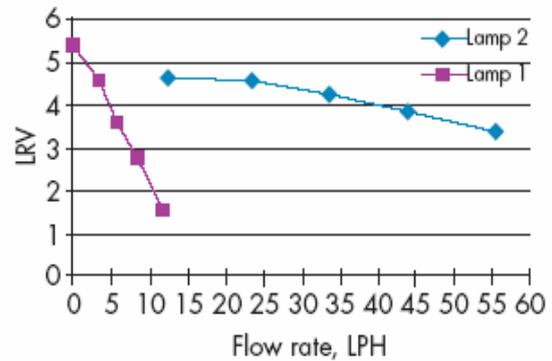


图 4: 在较低流速情况下运行的两盏紫外线灯泡在灭菌效果方面的比较(按照细菌 LRV)

2. 图 5 显示了利用两盏不同 [185+254nm] 紫外线灯泡所实现的总有机碳（TOC）降低值之间的对比。其中，选用了最有效（1 号灯泡）的灯泡用于 Milli-Q 超纯水处理系统。

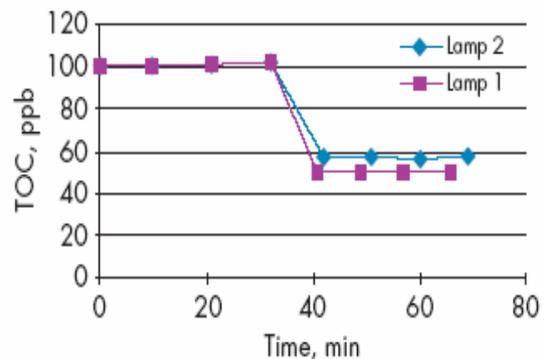


图 5: 利用两种不同的双波长紫外灯所实现的总有机碳（TOC）的降低值

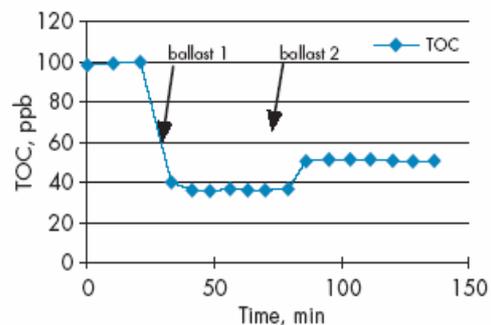


图 6: 利用带有两个不同整流器的相同灯泡来降低总有机碳（TOC）含量

3. 在水纯化系统中安装的紫外灯镇流器也略有差异。镇流器指的是能够生成最优 AC 电流（电压与频率）并为紫外灯供电，随后，低压管中的电气放电将启动汞蒸汽，并通过

电流供电。不仅仅对灯泡效率（如图 6 所示）且对紫外灯的使用寿命，均具有重要意义。需定期测试此类装置，从而将市场上可用的

最佳镇流器配备给水净化系统。2 号镇流器是选定用来配备 Millipore 水净化系统的镇流器。

254nm 紫外线灯泡与灭菌作用

对脱氧核糖核酸（DNA）的影响

如前所述（图 2），254nm 波长的光能够在水中很好地传播。多年以来，254nm 紫外灯得到了广泛应用，它能够杀死微生物或者使其失活，并防止水净化系统中的细菌增长和污染。在遗传性层面上出现了最富戏剧性的生物效果。最大的灭菌效果应该在 265nm 波长（图 7）获得，这也是嘧啶碱最大吸收量的波长，如胸腺嘧啶与胞核嘧啶。

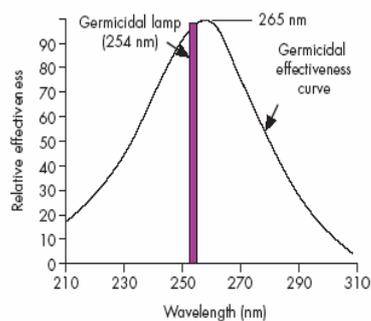


图 7: 与波长有关的灭菌效果曲线

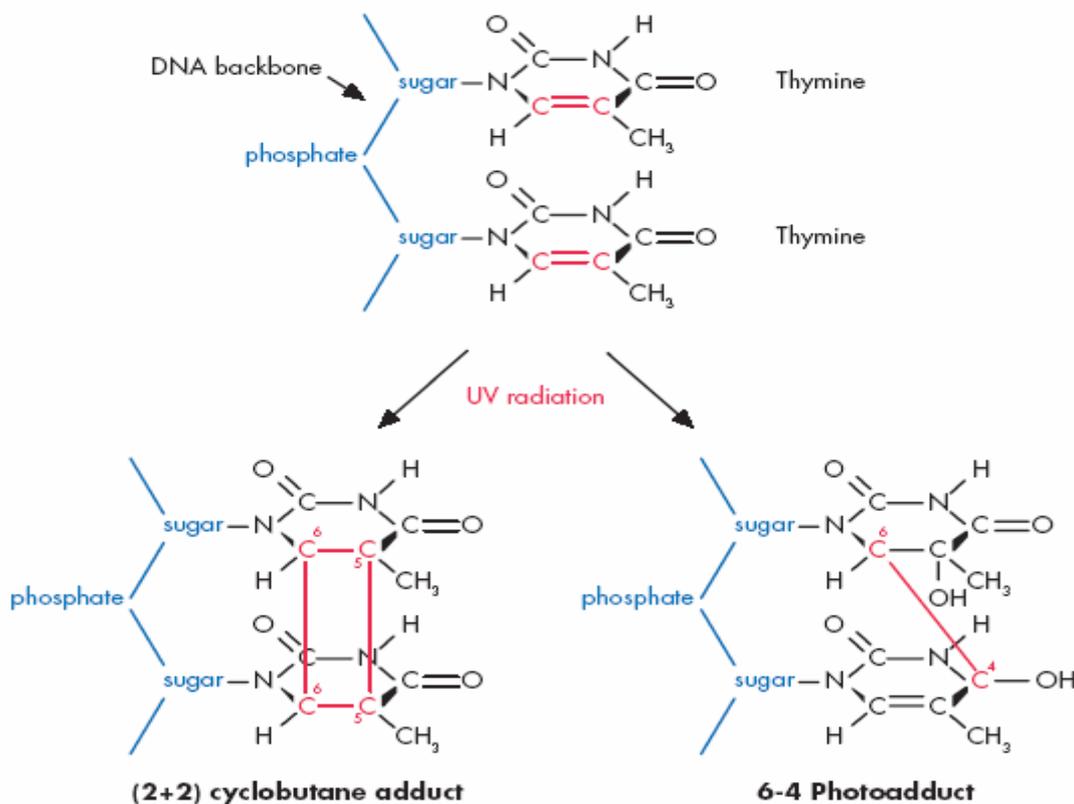


图 8: 254nm 紫外光催化生成脱氧核糖核酸

汞灯生成的 254nm 辐射将对脱氧核糖核酸（DNA）造成多种损伤。两种主要的光致化合物为胸腺嘧啶—胸腺嘧啶二聚物以及 d

二嘧啶（胸腺嘧啶—胸腺嘧啶、胸腺嘧啶—胞核嘧啶、胞核嘧啶—胸腺嘧啶或者胞核嘧啶—胞核嘧啶）6—4 光致化合物（图 8）。[2+2] 环加成所生成的环丁烷加合物及其

生物修复机理需要进行仔细的研究与归档整理。

紫外线剂量

使每一类型的微生物失活所需的功率或者紫外线剂量之间有着很大的不同(表格2)。细菌DNA很容易受到紫外线辐射而失活。最具有抵抗力的微生物是霉菌孢子与某些病毒,这是由于霉菌孢子与某些病毒的DNA受到壳体的良好保护。因此,紫外灯使细菌失活的效果取决于紫外灯的功率和与停留时间及水流经紫外灯的流速及相关辐射时间。

比如,两种细菌变种(大肠杆菌与绿浓杆菌)的失活分别需要6600与10500uW.sec/cm²紫外线剂量。水处理系统配备了嵌入式6瓦、7厘米、254nm的紫外灯,同时,流速固定在10升/小时。石英表面所测量到的能量为4.08mW/cm²。流经灯泡期间传递给细菌的净能量需按照37600uW.sec/cm²来计算。该能量足以使99.9%的两种细菌变种失活(参见表格2)。请注意表格2中引用了足以使所有细菌变种失活的紫外线剂量。本类型灯泡在线嵌入式安装在诸如Millipore公司的RiOs™反渗透系统和Elix系统等预处理系统中。Elix系统使用了反渗透技术和电气消除电离技术。按照先前的计算,需收集有关操作系统的实验性数据,并在高达40升/小时的流速情况下来测量5到6种细菌LRV(图9)。

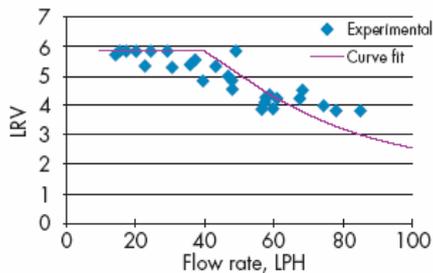


图9: 嵌入式紫外线灯的细菌LRV与流速

表格2: 使99.9%的各种微生物体失活所需的紫外线剂量 (uW.sec/cm²)

微生物	紫外线剂量	微生物	紫外线剂量
细菌		霉菌	
土壤杆菌	8500	黄曲霉	99000
杆状菌	8700	灰绿曲霉	88000
巨大有核红细胞	2500	黑曲霉	330000
枯草杆菌	11000	毛霉菌	77000
梭菌	23100	念珠霉菌	11000
肉毒杆菌	11200	黄青霉	56000
白喉棒状杆菌	6500	指状青霉	88000
痢疾杆菌	4200	扩展青霉	22000
伤寒沙门氏菌	4100	甘薯软腐病菌	220000
大肠杆菌	6600		
拉克普	3500	原生动物	
小球菌	12300	海生小球藻	22000
结核杆菌	12300	蓝绿藻	420000
粘膜炎细球菌	10000	肠兰伯式鞭毛	100000
Phytomonas	8500	虫	40000
tumefaciens		线虫卵	200000
病原细菌	8500	草履虫	
普通变形杆菌	6600		
绿浓杆菌	10500	病毒	6600
荧光极毛杆菌	6600	抗菌素	8800
深红红螺菌	6200	传染性肝炎	6600
付伤寒沙门氏菌	6100	流行性感冒	24000
伤寒沙门氏菌	7000	轮状病毒	440000
粘质沙雷氏杆菌	6160	烟草花叶病毒	
志贺氏痢疾杆菌	4200		
弗累克斯纳氏杆菌	3400	酵母	8800
菌	6160	发面[面包]酵母	6600
红色螺菌	6600	啤酒用酵母	13200
金黄色葡萄球菌	5800	普通鲜酵母	13200
表皮葡萄球菌	10000	酿酒酵母	
链球菌	4200		
脓链球菌	3800		
草绿色链球菌	6500		
霍乱弧菌			

嵌入式紫外灯与水箱使用的紫外灯

存储水接受紫外线辐射的重要意义也被考虑。在后续试验中，容量为 60 升的水箱中安装有一个空气过滤器和一个 8 瓦、254nm 紫外灯（自动卫生保持模块，ASM），

以 Elix 系统的产水为进水。对比两套 Elix 系统：一套系统配备有嵌入式 6 瓦、254nm 紫外线灯，而另外一套系统则未配备。每天，水箱中一半的水将被排放出去，同时，补充 Elix 系统制备的新鲜水。（图 10）。

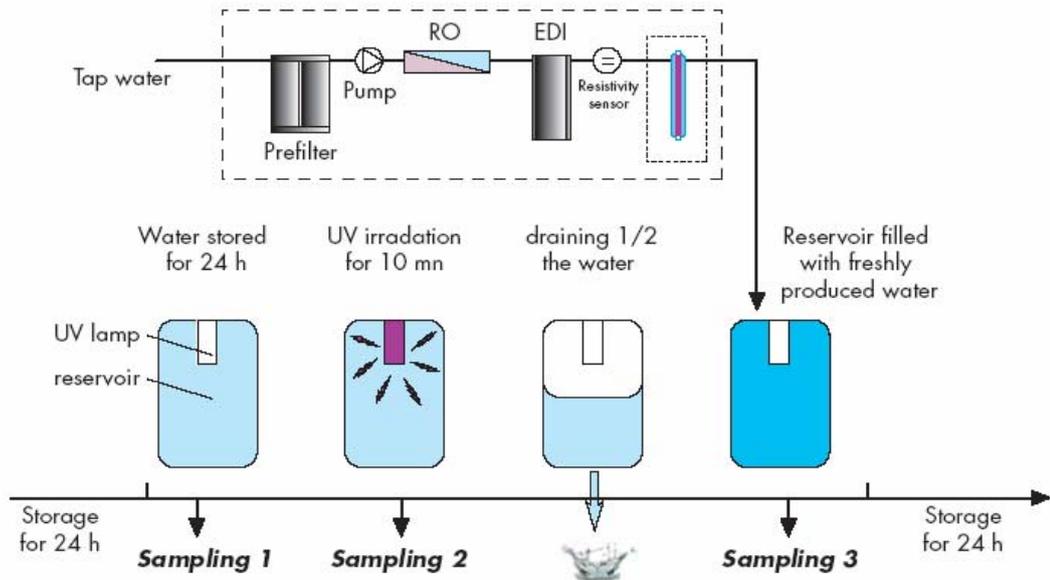


图 10：三种抽样均相隔 24 小时而完成。容器内加注了 Elix 系统所生成的水，而该系统并未包含嵌入式紫外线灯，而后，再利用包括嵌入式紫外线灯的 Elix 系统生成的水加注容器。图 11 给出了这些结论。

需要定期对这三种抽样进行测量。首先，需要测量前一天开始存储的水。其次，第二种抽样需要在 10 分钟辐射后（使用 ASM 灯）进行测量。最后，在水箱加注了刚刚纯化的水后，立即完成测量。两个月后，对比配有紫外线灯和没有配备紫外线灯的 Elix 系统纯化水在微生物含量方面的性能。

结论分析突出了几个不同点（图 11）。很明显，水箱中的紫外线辐射能够大幅度降低细菌含量：在未使用紫外灯净化的水中，系数为 50（图 11A），在使用嵌入式紫外灯照射的水中，则细菌含量将下降 5 到 10 倍（图 11B）。

Figure 11a

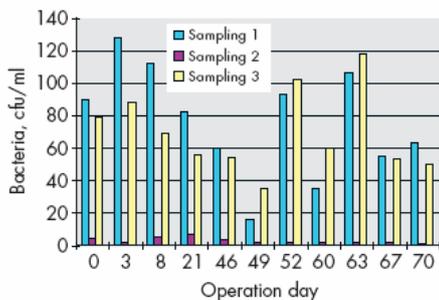


Figure 11b

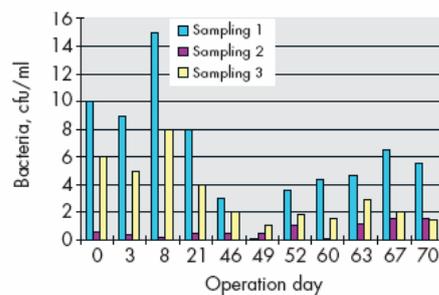


图 11：在未配备紫外线灯（图 11A）和配备了嵌入式紫外线灯（图 11B）系统中三个抽样点处的细菌数量。系数较低的原因在于试验用水中所含有的细菌本来就很少。在本实验中，选用了每

天一次、每次 10 分钟的辐射时间，每天的辐射时间和辐射频率可以进行调整。利用嵌入式紫外线灯生产的水，细菌含量始终低于 10cfu/mL，这个数值大大低于（大约 10 倍）没有接受嵌入式紫外线灯辐射的水中细菌含量（请注意，两个图标在比例方面的差异）。结论也显示，利用经过紫外线灯纯化处理的水能够防止过多的细菌引入到水箱中。实际上，紫外线灯处理过的水，在倒空并重新注满容器（使用前）以后可以降低细菌数。另一方面，在倒空和重新使用未经过嵌入式紫外线灯处理过的水加注容器前后，细菌数量没有差异。将嵌入式紫外线灯曝露与存储容器内部紫外线处理方法组合使用将是一个安全、有效控制细菌孳生、防止容器内生物膜集聚的方法。

另一种控制水箱中细菌生长的方法是使存储水在有紫外灯的管路中循环。此方法与先前讨论的水箱中水不循环而只是定期的接受紫外辐射进行对比。

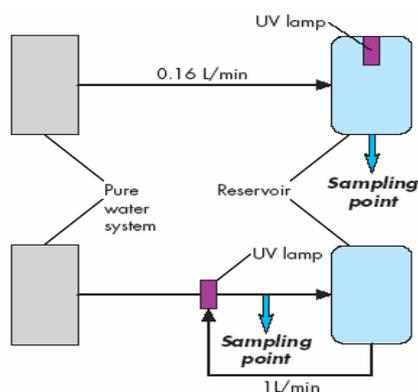


图 12：在线安装紫外线灯或在水箱中安装紫外线灯
图 14 中给出实验结果。

结论（图 13）显示，在循环管路中使用紫外线灯而在水箱中不配备紫外线灯不能很好的降低细菌数。实际上，紫外线灯的效果取决于流速，同时，容器内部的杂质也决不可能减少。因此，在重新循环期间尽管可以杀死细菌，但是，当水流回到水箱时，水又会重新受到污染。通过在容器中安装浸入式紫外线灯的方式，对微生物增殖进行有效的控制。

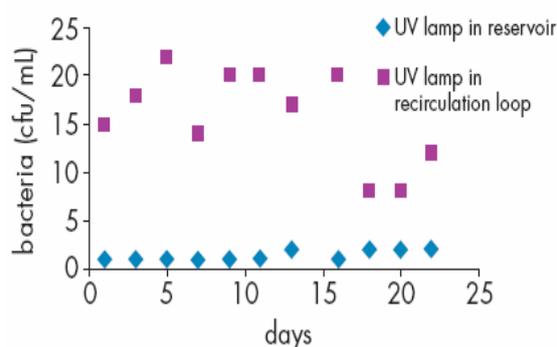


图 13：配备安装在重新循环回路中或者容器中的紫外线灯的系统中的细菌数量

材料与方法

利用带有 0.45 微米、额定膜漏斗的 Milliflex 装置以及 R2A 预填充琼脂盒完成细菌分析工作。培育工作 30°C，72 小时内完成。根据细菌含量，样本量的调整范围从 0.1mL 至 100mL。

利用双波长[185+254nm]紫外线灯对有机物进行光氧化处理

质谱技术可以使检测限降低 10 倍。因此对于样品溶解及液相色谱分离的样品制备中有机物污染非常敏感。因此，对于毒物学、药物(代谢)动力学、药物发现、染色体组、蛋白质体学以及环境分析领域的试验是否能够取得成功，如何将总有机碳含量尽可能降至最低就成为了关键性因素。

紫外线光氧化技术

利用双波长紫外线灯进行紫外光氧化处理，如今已经成为了水净化系统中用来将总有机碳（TOC）含量降低至 ppb 级（通常小于 5ppb）的一项广泛应用的技术。使用人工石英套管制成的紫外线灯能够发射出 185nm 波

长紫外线。在化学光辐射过程中，需使用与 185nm 和 254nm 波长相对应的能量。如前所述，185nm 波长提供了更高的能量，能够通过纯态氧，进而利用氧气形成臭氧。

185nm 波长也能够产生氢氧自由基 (OH)。这个自由基有一个非常高的氧化势 (2.80 伏)，并且，我们相信，这是有机分子氧化机理中的一个关键因素。

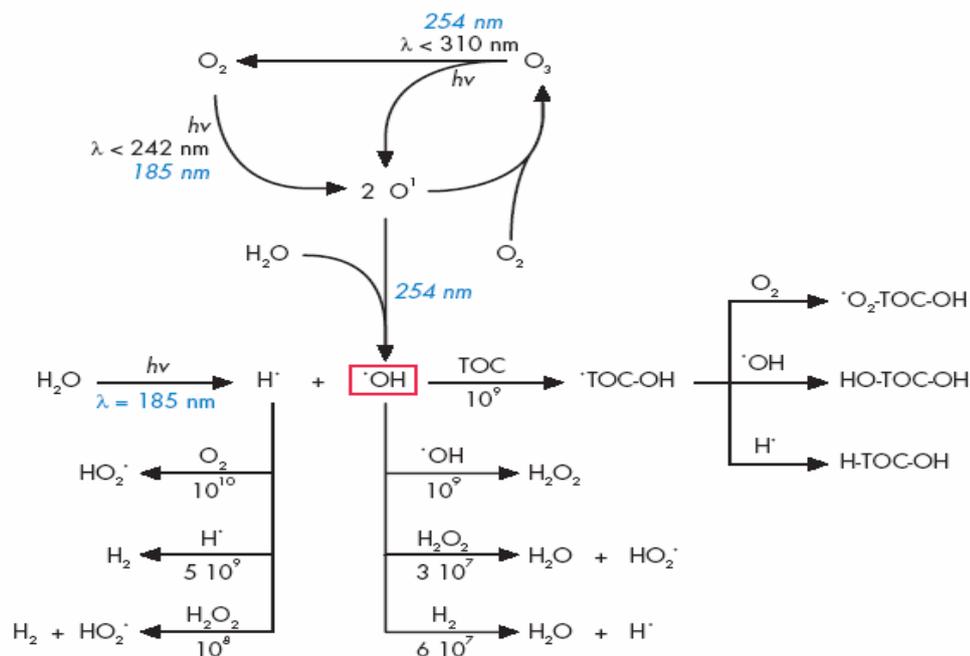


图 14: 紫外线对氧分子和水分子的影响以及后续自由基间反应。反应速度以秒为单位。

一旦OH自由基形成，那么H自由基与O自由基及与第二个H自由基形成氢气的反应及OH自由基与有机分子或与另一个OH自由基生成H₂O₂的反应就非常快了。请注意，在现有的所有氧化种类中，OH自由基具有最高的氧化电势（表格 3）。很难确定将出现哪种路径，可能几种路径相互竞争。

本论文提出了一些可能的化学反应来揭示有机分子的氧化过程。甲醇作为例子而被提出来（图 15）。几种路径再次完成，同时，图 15 给出合理的化学反应，这些化学反应能够从甲醛生成二氧化碳或者生成HCO₃⁻和H₂CO₃。一个有机碳能够生成一个

二氧化碳分子。某些有机物，尤其是那些具有双化合键（π，电子）的有机物，也能够直接由 185nm 紫外线激活，并与 O 自由基或 OH 自由基反应。

表格 3: 各种氧化物的氧化还原势（伏特）

氧化物	氧化还原势
羟基	2.80
臭氧	2.07
过氧化氢	1.78
高锰酸	1.69
氯	1.36
氧	1.23

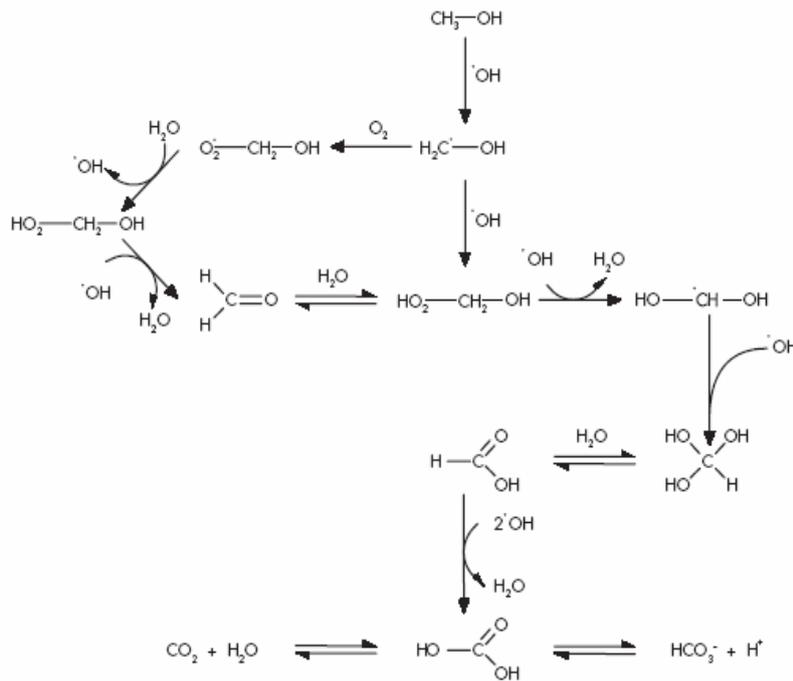


图 15: 有机分子氧化过程的化学反应

在水纯化系统中，采用了石英套管的汞灯嵌入到 316 不锈钢架构中，并安装在混合床树脂的上层。树脂的作用是除去 HCO₃⁻ 离子以及在光氧化过程中形成的带电有机分子。实际上，由于光氧化作用以及离子物的形成，纯净水电阻系数通常从 19 兆欧降低至 5—10 兆欧。此后，经过混合床树脂电阻率上升至 18.2 兆欧，并且，总有机碳含量通常小于 5ppb。请注意，带有 UV 灯的水纯化系统进水 TOC 值越高，产水的 TOC 值也越高。

质谱测量过程中紫外光氧化作用的影响

从 LC-MS 中获得的数据显示了对于像质谱分析这样对总有机碳敏感的技术，紫外光氧化的效果和重要意义。在水纯化系统中，打开或关闭 185/254nm 双波长紫外灯通过质谱测量 (MS) 所观察到的总离子数 (TIC) 见图 16。打开紫外灯测得的 TOC 值为 4ppb，关闭紫外灯测得的 TOC 值为 12ppb。很明显，水中的总有机碳含量 (TOC) 与通过质谱测量 (MS) 所测得的总离子数 (TIC) 具有相关性。

从同一时间的质谱峰值 (即 13.1 分钟

时) 可以看出，检测信号的强度有显著差别。打开紫外灯时的 TOC 值比关闭紫外灯时低 10 倍。图 17A 与 17B 在相同强度范围下对比了频谱，很明显，经过紫外灯处理后的水所造成的有机物污染较少。在紫外线灯打开的情况下，所记录的频谱将扩展至整个量程范围 (图 17C)，并且，即使最小的峰值也能够看得到。而在关闭紫外线灯的情况下，则无法检测到这些峰值。因此，在质谱分析中应该使用低于其 TOC 检测限的纯水。

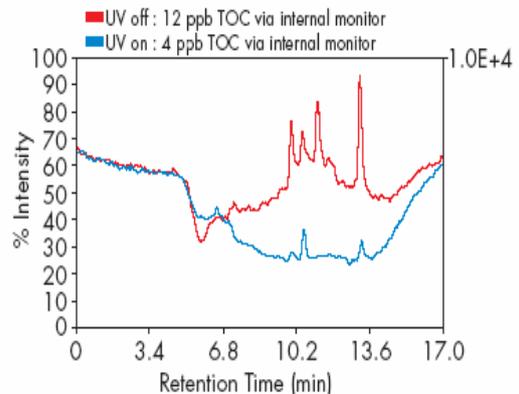


图 16: 使用或者未使用紫外线光氧化处理过的水进行质谱测量所获得的总离子数

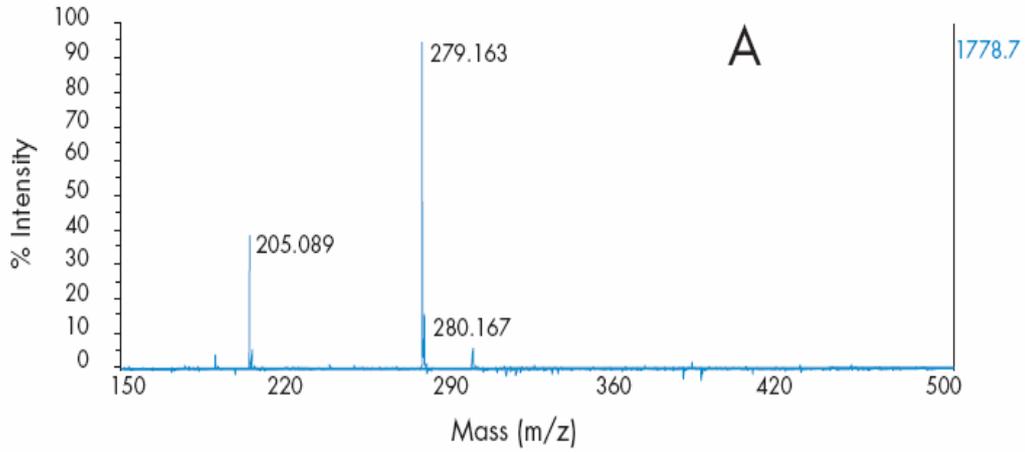


图 17A: 进行总离子数追踪期间, 非紫外线辐射水在 13.1 分钟时的质谱测量值。

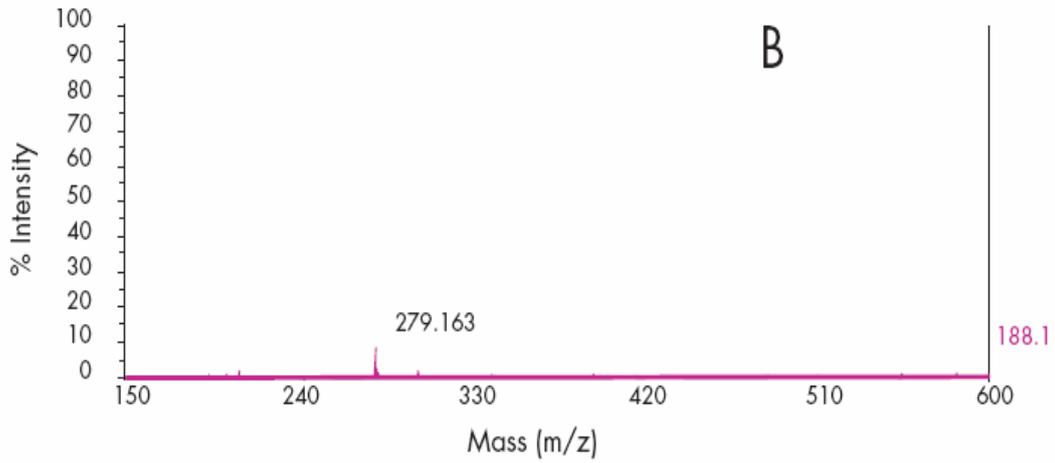


图 17B: 进行总离子数追踪期间, 紫外线辐射水在与图 17A 相同的绝对范围内, 在 13.1 分钟时的质谱测量值。

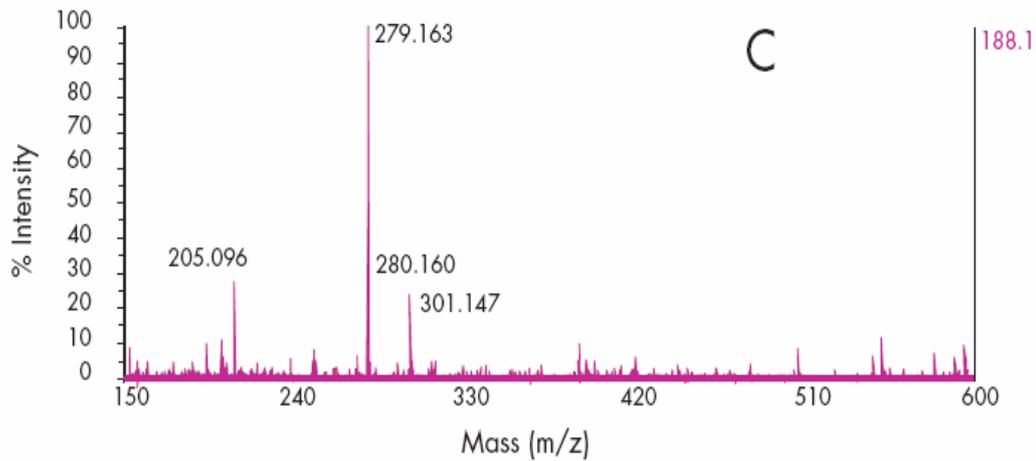


图 17C: 图 17B 的全范围扩展

图 17: 在进行总离子数追踪过程中, 在 13.1 分钟时的相应质谱测量值

总有机碳（TOC）监测

为了在最优条件下进行试验，并控制水质同时充分利用总有机碳的降低值，那么，是否能够监测水纯化系统出口水的总有机碳含量是非常有用的。在水分配前，在线安装TOC监测仪。MILLIPORE同Anatel合作共同开发出了总有机碳监测仪。总有机碳监测仪的原理也是基于使用了双波长【185/254nm】紫外光氧化技术。在清洗试管后，将水注入到试管中，并且测量其电阻率。随后，使用双波长紫外线灯照射试管中的水，延长照射时间从而确保将所有的有机

物分子在氧化反应作用下转变成 CO_2 。完全氧化所需时间由对各种不同类型的有机物分子进行试验而得出。所形成的 CO_2 与水反应生成 HCO_3^- （永久性）。再次测量电阻率，并且在进行紫外线光氧化前后的电阻率的差异与水的初始总有机碳含量相关。由于一个有机碳原子能够生成一个 CO_2 分子（图15），因此，本原则具有应用意义。对于精确测量而言，细胞中需有温度传感器，同时，需要将电阻率补偿至 25°C 。

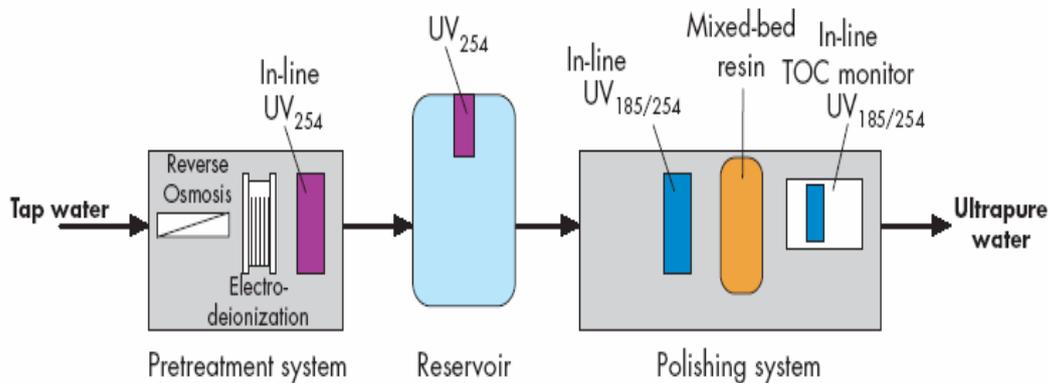


图 18：水纯化链中紫外灯的位置

结论

图 18 给出了完整水纯化流程示意图，同时，突出显示了在该过程中能够找到的不同类型的紫外线灯。初始灭菌用 254nm 紫外线灯需嵌入安装在预处理系统中，而第二盏 254nm 紫外线灯则设置在存储容器中。这两盏灯的作用是用来防止水纯化链受到细菌的污染。双波长[185/254]紫外线灯需整合到终端

系统中，从而通过光氧化过程来降低总有机碳（TOC）含量。请注意，此紫外线灯在波长为 254nm 情况下也能够辐射出紫外线，因此，也具有灭菌作用。最后，也可通过安装在水净化系统出口的双波长紫外线灯来完成对总有机碳含量的监控，从而确保水质。

参考文献

1. Zhou, H.; Smith, D.W.. “水和污水处理方面所采取的先进技术”。J.Environ. Eng.Sc.,1,247-264,(2002)
2. Patrick, M.H.; Rahn, R.O. “核酸的光化学与光生物学”。S.-Y. Wang Editor. 学术出版社, 纽约, 39—95
3. Varghese, A.J. “核酸的光化学及其组成”, 光生物学, 7: 207—274, (1972年)。
4. Durbeej, B.; Eriksson, L.A. “紫外线所造成的、DNA 内胸腺嘧啶二聚体的反应机理”。J. Photochem. Photobiol. A. Chemistry., 152, 95-101,(2002年)。
5. Ishii, N.; Kano,I. “水净化系统中微生物控制过程中对紫外线的最优使用方法”。研发手册, 卷 11, Nihon Millipore 有限公司。
6. Srikanth, B. “紫外线技术最近的发展改善了降低总有机碳含量的性能”。《超纯水》, 40—46, (1998年)。
7. Clark, K.; Retzik, M.; Darbouret, D. “测量总有机碳含量来维持高纯度水”。《超纯水》, 21—24, (1997年)
8. Baas, L. “改善 185nm 紫外线资源, 从而实现总有机碳含量降低至 1ppb 的目标”。《超纯水, 欧洲 2003 讨论会》, 2002 年 9 月 30 日至 10 月 1 日, 荷兰·阿姆斯特丹。
9. Jans, U.;Hoigen, J. “大气降水: 利用激活的光致反应或者炭黑将臭氧转化为氢氧自由基”。Atmosph. Environ., 34, 1069-1085,(2002年)

Lit. No. RD009EN00. Printed in France 02/03.
Copyright © 2003, Millipore Corporation, Bedford, MA, U.S.A.
Millipore, Milli-Q, Elix, and Milliflex are registered trademarks of Millipore Corporation.
RiOs is a trademark of Millipore Corporation. Anatel is a registered trademark of Anatel Corporation.
All rights reserved.

Internet: www.millipore.com/H2O