

電解還原水消除「自由基」的實證

中山醫學院應化系講座教授
前台大醫學院生化研究所教授
呂鋒洲

公元 1997 年日本九州大學的白畑實隆 (S. Shirahata) 教授在國際性的生物化學學術雜誌 (B.B.R.C.) 上發表一篇有關電解還原水的重要的學術論文，證明電解還原水不僅可以消除活性氧，而且也可以保護 DNA 避免受到氧化傷害，因而奠定了電解還原水可以消除「自由基」的學說。

他先利用超純水系備製超純水，然後加入 0.1 克 / 升的食鹽用以提高超純導電度到 20ms/m，再把含有食鹽的超純水通入電解水機，在水之電解當中改變各種電壓後，就可以製造出各種表現不同的溶解氧 (DO)，溶解氫 (DH)，氧化還原電位 (ORP)，以及導電度 (EC) 之電解還原水。再利用「化學發光法」檢測所產生的電解還原水之具有「超氧化物歧化酶」(SOD)，過氧化氫酶 (catalase) 一樣的酵素活性，而

且與已知的抗氧化劑做抗氧化能力之比較。最後再做電解還原水保護 DNA 不受活性氧之傷害的實驗。

電解還原水的一般理化特性

法拉第 (Michael Faraday, 1791 ~ 1867) 發現電解的原理。在電解過程中，陰極發生還原作用 (reduction)；在陽極發生氧化作用 (oxidation)。水 (H₂O) 經過電解後解離成 H⁺ 及 OH⁻ 兩種離子。在陰極 H⁺ 離子獲得電子後轉變成具有活性的原子氫 (H)。具有活性的原子氫表現出高度的還原能力，它然後再轉變氫分子 (H₂)。氫分子在室溫下不具活性。在陽極，OH⁻ 離子失掉電子形成 OH，它然後產生 O₂ 和 H₂O。在陰極的鹼性水 (即還原水, reduced water) 富含溶解氫；而在陽極的酸性 (即氧化水, oxidized water) 富含溶解氧。電解後的水

不管是還原水或是氧化水，其 pH 值，溶解氧、溶解氫以及氧化還是原電位 (ORP) 都引起很大的變化。

電解還原水有 SOD 的催化活性

SOD (超氧化物歧化酶) 是一種蛋白質的催化劑，它的功用是把兩個「超氧化物陰離子自由基」(O⁻²) 歧化成過氧化氫 (H₂O₂)，以此方式消除「超氧化物陰離子自由基」。檢測 SOD 之活性的方法是在一個能夠產生 O⁻² 的實驗系統中，加入能夠顯示化學發光的探針 (prose)，讓 O⁻² 引導探針的發光。發光的強弱就用儀器測定。在這個實驗系統中，若加入某物質後，發光的強度受到抑制時，就可以知道該物質具有掃除 O⁻² 之能力。「黃嘌呤氧化酶」(xanthine oxidase) 可以把「次黃嘌呤」(hypoxanthine) 氧化成為「黃嘌呤」(xanthine)

，伴隨著把 O_2 轉為 O^{-2} ，發光劑 CLA（蟲螢光素類似物）會特異性的與 O^{-2} 作用後發光（chemiluminescence）。在這個實驗系統中，白畑實隆教授證明電解還原水可以完全抑制化學發光，表示電解還原水具有與 SOD 一樣的消除 O^{-2} 的活性。

若把氫氣灌入 NaOH 溶液（pH10.5）內，5 分鐘後，氧化還原電位從 + 116 mV 變成 - 842mV；溶解氧從 7.66mg/l 變為 1.98 mg/l；溶解氫從 0.0002mg/l 變為 0.938mg/l，但是 pH 值不會改變。若把氮氣灌入 NaOH 溶液（pH10.5）內，5 分鐘之後，氧化還原電位從 + 116mV 變為 + 83mV，溶解氧從 7.66mg/l 變為 1.82mg/l，溶解氫從 0.0002 mg/l 變為 0.0001mg/l，但是 pH 值不會改變。鹼性的含氫氣的水，以及鹼性的含氮氣的水都不具備有 SOD 一樣的活性。

電解還原水在儲存期間，雖然氧化還原電位和溶解氫的值會表現衰退，可是其 SOD 一樣的活性尚可以維持。這個實驗結果表示在電解還原水中所溶解的氫分子會反應氧化還原電位的變化而不會反應 SOD 一樣

的活性。

電解還原水有 SOD 一樣的活性

把電解還原水放入密閉的玻璃瓶中（4°C），經過一個月後，它的 SOD 一樣的活性還很安定。即使把電解還原水經過中和，重覆的冷凍又解凍的處理，用超音波去空氣 10 分鐘，用 0.22um 之濾紙重覆過濾，煮沸 10 分鐘，或裝入密閉玻璃瓶放在高溫（121°C）滅菌器內 20 分鐘，等各種處理後，電解還原水的 SOD 一樣的活性還是不會消失。可是若把電解還原水裝入開口的玻璃瓶中，在高溫滅菌器內 20 分鐘，其 SOD 一樣的活性會消失，表示存在於電解還原水中的具有 SOD 一樣的活性物質是揮發性的。

原子態的氫是揮發性的，可以還原金屬氧化物，例如三氧化鎢（tungsten trioxide），而分子態的氫卻不容易這樣做。一種靈敏的檢測原子態的氫的方法是三氧化鎢受到原子態氫的還原後顏色會改變。把電解還原水和三氧化鎢放入密閉的玻璃瓶中，在高溫殺菌器（121°C）內 20 分鐘，則電解還原水的 SOD 一樣的活性會損失 52%，這項實驗強烈的指示，能在電解還原水內提供 SOD 一樣的活

性的物質就是具有活性的原子態的氫。

實驗結果也證明電解還原水對 O^{-2} 的抑制效果，會隨著劑量的增加而增加，即是存在於電解還原水中的活性物質具有定量效應。

電解還原水具有「過氧化氫酶」（catalase）一樣的催化活性

「過氧化氫酶」（catalase）也是一種蛋白質的催化劑，它的功用是把有毒性的過氧化氫（ H_2O_2 ）分解成水。白畑實隆教授利用前述實驗系統即（HX-XOD），（次黃嘌呤—黃嘌呤氧化酶系統）中檢測電解還原水之消除 H_2O_2 的能力（這個系統也可以產生 H_2O_2 ）。實驗結果發現電解還原水在這個實驗系統中，首先疊積 H_2O_2 之濃度，然後逐漸的降低 H_2O_2 的濃度，表示電解還原水不僅表現去 SOD 一樣的活性，而且也具有「過氧化氫酶」一樣的活性，那電解還原水先把 O^{-2} 轉變為 H_2O_2 ，然後再把 H_2O_2 轉變為 H_2O 。另外的實驗是指把 H_2O_2 直接與電解還原水保溫後，也可以看出電解還原水與維生素 C 一樣的可以掃除 H_2O_2 。

電解還原水可以保護 DNA 避免

表 1 電解還原水，超氧化物歧化酶 (SOD)，過氧化氫酶 (catalase) 和各種自由基清除劑對於由 Cu^{+2} + 維生素 C 之氧化作用後誘導 DNA 單股斷裂的抑制作用的影響。

添加物	濃度	特異性	抑制百分比%
電解還原水	3.7 I C ₅₀ SO units		19
	7.5 I C ₅₀ SO units		38
	15.0 I C ₅₀ SO units		49
SOD	150 u/ml	O_2^-	2
Catalase	0.8 u/ml	H_2O_2	6
	4.0 u/ml	H_2O_2	36
	20.0 u/ml	H_2O_2	90
AET ^a	$4 \times 10^{-5}\text{M}$	一般性	44
KI	$1 \times 10^{-2}\text{M}$	$\cdot\text{OH}$	18
	$5 \times 10^{-2}\text{M}$	$\cdot\text{OH}$	53
NaN_3	$1 \times 10^{-2}\text{M}$	$^1\text{O}_2$	14
	$5 \times 10^{-2}\text{M}$	$^1\text{O}_2$	43

a1 AET=2-(amiroethyl) isothiuroium

I C₅₀SO units 在 HX-XOD 產生 O_2^- 的系統下，電解還原水可以消失 50% O_2^- 時的還原能力。

受到氧化傷害

Cu^{+2} 催進維生素 C 之氧化作用後產生 O_2^- 和 H_2O_2 ，兩者相互作用後再產生 $\cdot\text{OH}$ 。 $\cdot\text{OH}$ 會引起 DNA 之氧化傷害。

「超螺旋 DNA」(Super-coil plasmid DNA (Form I)) 受到氧化傷害後會單股斷裂產生「開放性環狀 DNA」(open-circular DNA (Form II))，「開放性環狀 DNA」再受氧化傷害後，雙股 DNA 斷裂變成「直線 DNA」(linear DNA (Form III))。

當「質體 DNA」(plasmid DNA

super coil plasmic DNA) 與「 Cu^{+2} + 維生素 C」共同保溫後「超螺旋 DNA」的量逐漸減少，而「開放性環狀 DNA」的量逐漸在增加，即發生 DNA 單股之斷裂現象。可是這種 DNA 單股斷裂現象卻會因添加電解還原水而受抑制。

如表(1)所示，電解還原水之抑制 DNA 單股之斷裂是一種劑量相關係。「過氧化氫酶」也會抑制 DNA 單股之斷裂，但是 SOD 則不會，表示 H_2O_2 參與 DNA 單股之斷裂，但 O_2^- 不會。由實驗結果證明電解還原水

可以防止 DNA 被由「 Cu^{+2} + 維生素 C」所產生的活性氧例如 H_2O_2 ， $\cdot\text{OH}$ 和 $^1\text{O}_2$ ，之破壞。而這種作用具有加成性。

結論

雖然好氣性的生物，演化到有能力使用氧，可是氧在本質上還是具有毒性；而電解還原水可以中和活生氧的毒作用，電解還原水可能是一種理想的，而且又是有力的抗氧化劑。以後需要繼續努力研究電解還原水對細胞生物學、免疫學和腫瘤學上的影響。

