反応速度論に基づくプラズマ処理水殺菌活性の pH 依存の物理化学機構

Physicochemical mechanism of pH dependence of plasma-treated water (PTW) activities based on chemical kinetics

○北野勝久[1]、井川聡[2]、中島陽一[2]、横山高史[1]、谷篤史[3]
（阪大工[1]、大阪府立産業技術総合研究所[2]、阪大理[3]）
°Katsuhisa Kitano[1], Satoshi Ikawa[2], Yoichi Nakashima[2], Takashi Yokoyama[1], Atsushi Tani[3]
(Eng. Osaka Univ.[1], TRI Osaka[2], Sci. Osaka Univ.[3])
E-mail: mail@plasmabio.com

プラズマの医療応用の一つとして、人体に対するプラズマ消毒の研究を進めている。人体はぬれ環境であるために液体に対する殺菌が重要であり、pH を 4.7 以下に調整することで D 値が 1/100 と劇的に効果が高まる「低 pH 法」を開発し[1]、歯科や外科への臨床応用に向けた研究を進めている[2]。O_2^-・と HOO・の酸解離平衡定数 p*K*a が 4.8 であり、酸性下で電気的に中性な HOO・が多量に供給されて細胞内部への酸化ストレスにより殺菌が進むと考えている。ミセルを用いた細胞モデルの内部色素脱色速度ならびに殺菌速度の実験結果から、O_2^-・の酸解離平衡と不均化反応の化学式より求めた各 pH における HOO・濃度が、殺菌速度と比例していた。これは「殺菌速度が化学種濃度に比例する」というチックワトソンの法則に従っており、HOO・が殺菌因子であると結論づけた[3]。また、プラズマ処理水（PTW: plasma-treated water）に殺菌活性が残存し、同様に低 pH 条件で殺菌力が格段に高くなった。クロマト分離により PTW 中には O_2^-・の前駆体となる活性種 X が存在していることが分かっているが、殺菌作用が活性種 X から放出された HOO・ではなく活性種 X が直接作用している可能性もあり詳細な検討が必要であった。

PTW の殺菌活性は一次反応により時間減衰するが、この半減時間が温度のみならず pH にも依存しており酸性条件下では半減時間が伸張することから、活性種 X が高濃度に保たれる効果と、酸解離平衡による効果が同時に進む。微生物と殺菌因子の化学反応で殺菌が進むが、PTW の殺菌作用に関して、活性種 X が直接的に作用しているのか、活性種 X から放出される HOO・が間接的に寄与しているのかを反応速度論を用いて検討した。それぞれの pH において、活性種 X と HOO・の濃度を実験結果とモデルにより計算を行い、殺菌速度との比較を行った（図１）。HOO・の場合に原点を通る直線が得られたことから、活性種 X が直接作用するのではなく、活性種 X から生成された HOO・が最終的な殺菌因子であると推察した。本研究のような、プラズマ－生体間相互作用への化学反応速度論の適用は、プラズマ医療分野における作用機序解明に向けて今後重要になっていくであろう。

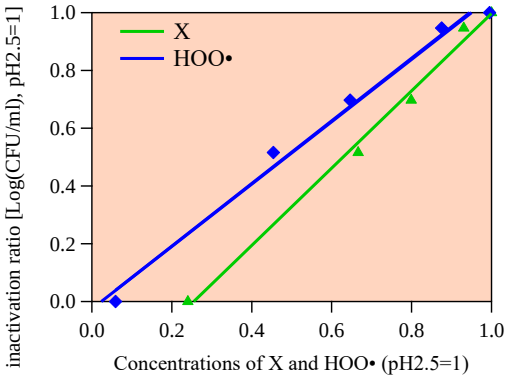

図１　PTW による大腸菌の殺菌において[活性種 X]と[HOO・]に対する殺菌速度。

[1] S. Ikawa, Plasma Process. Polym., 7, 33 (2010). 日本国特許第 4408957 号.米国特許第 8871146 号.
[2] H. Yamazaki, Dental Mat. Journal, 30, 384 (2011). E. Usui , Jpn. J. Conserv. Dent. 58, 101 (2015).
[3] E. Takai, J. Phys. D: Appl. Physics. 46, 295402 (2013).

© 2016年 応用物理学会