

東北大学大学院環境科学研究科

秋季入学試験（令和6年8月27日～29日実施）出題意図

環境・地理群 専門科目

水資源システム学

大問1

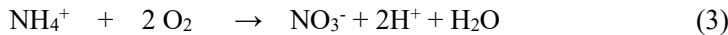
出題意図

排水処理工学の重要なプロセスである生物学的窒素除去法の原理に関する理解度をテストしたい問題である。硝化と脱窒の概念の他に、関与する反応と微生物に対する理解と計算能力を問いたい課題である。

解答について

(1)

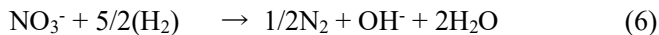
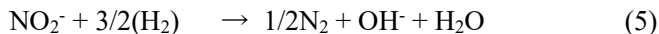
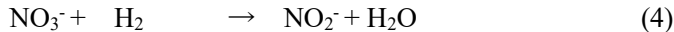
硝化とは酸素が存在する条件においてアンモニウム (NH_4^+) が硝化細菌によって、(1) 式と (2) 式のように亜硝酸塩 (NO_2^-) と硝酸塩 (NO_3^-) に酸化される生物化学的反応を指す。



硝化細菌とは、上記の反応(1)～(3)を行う独立栄養細菌のことを指す。具体的には上記反応(1)を行う細菌はアンモニア酸化細菌（略称 AOB）であり、*Nitrosomonas* 属がその代表となる。上記反応(2)を行う細菌は亜硝酸酸化細菌（略称 NOB）であり、*Nitrobacter* 属がその代表である。最近では、反応式(3)を行える細菌も報告されている。

(2)

脱窒とは、溶存酸素が存在しない条件下での通性嫌気性細菌の呼吸であり、式(4)～(6)のように硝酸態および亜硝酸態窒素を還元して窒素ガスを生成する一連の反応のことである。



脱窒細菌は式(4)～(6)のような脱窒反応を行える細菌群の総称であり、バラエティに富んでいる通性嫌気性細菌のグループである。

(3)

細胞増殖を無視してよいので、1g のアンモニア態窒素を亜硝酸と硝酸まで酸化するのに必要な酸素要求量をそれぞれ(1)式と(3)式に基づき計算できる。

(1)式によれば、1モルの NH_4^+ を NO_2^- までに酸化するのに1.5モルの O_2 が必要で、1gの窒素に換算すると、 $(16 \times 3)/14 = 3.43$ g 酸素となる。

また(3)式によれば、1モルの NH_4^+ を NO_3^- までに酸化するのに2モルの O_2 が必要で、1gの窒素に換算すると、 $(16 \times 4)/14 = 4.57$ g 酸素となる。

(4)

細胞増殖を無視してよいので、1gの硝酸態窒素を脱窒するのに必要な有機物の理論的酸素要求量 ThOD は (6)式に基づき計算できる。 $5/2(\text{H}_2)$ の ThOD 当量は $5/2(\text{O}) = 5/2 \times 16 = 40$ g である。1モル NO_3^- は14gの窒素を含んで、 $5/2(\text{H}_2)$ に対応するので、1gの硝酸態窒素に対応する有機物 ThOD 量 = $40/14 = 2.857$ g

大問 2

出題意図

代表的地球環境問題の一つである酸性雨問題に関する理解度と解析能力をテストしたいので、その定義、原因、関連汚染物質との定量的関係、その生態学的影響について回答してほしい。概念だけでなく、解析能力も問いたい課題である。

解答について

(1)

pH が 5.0 以下の雨のこと (pH5.6 以下という説明もある)

(2)

硫黄酸化物 (SO_x) と窒素酸化物 (NO_x) を挙げることができる。

硫黄酸化物 (SO_x) は硫黄を含む燃料 (石炭や石油など) により発生するので、火力発電所やボイラなどの燃焼設備から発生する。

窒素酸化物 (NO_x) は燃料由来のものと燃焼過程において空気から生成するものに分けられる。火力発電所、自動車、ボイラ、ごみ焼却などから発生する。

(3)

大気汚染物質 SO_2 や NO_2 がヘンリーの法則により水に溶けるので、その溶解濃度は汚染ガスの分圧に比例する。また溶解した汚染ガスが水の中で H_2SO_3 または H_2NO_3 となり、解離平衡により H^+ が生成される。従って、その pH は大気汚染物質の濃度に強く影響される。式の展開があれば、よい評価となる。

(4)

酸性雨により河川や湖沼の酸性化 (pH 低下) をもたらし、魚をはじめ水生生物に多大な影響を与える。また土壌の酸性化により土壌微生物の活動低下や栄養塩の流失などをもたらす。