

下水処理方式別の大腸菌低減効果と下水利用性評価

木更津高専 学生会員 ○小原 実幸, 三輪 めぐ美
正会員 上村 繁樹, 大久保 努

1. はじめに

世界における淡水資源の最大の利用用途は灌漑であり, 特にアフリカやアジアでは全淡水利用量の 85～90%が灌漑に利用されている. 世界人口の増加と食糧生産量の増大に伴い, 今後ますます灌漑用水の必要量は増加すると見込まれるが, 淡水資源の枯渇も進行しており新たな水資源の確保が必要である. そこで着目したのが, 安定的に水量を確保できる下水の灌漑利用である. 現在も開発途上国を中心に下水の灌漑利用が行われているが, 農作業従事者や作物消費者への水系感染症リスクが高い状況にあると考えられる. そのため, 衛生的観点から下水利用の安全性評価を行い, 今後の普及拡大を図る必要がある. 本研究では, 基礎的情報の収集として, 国内の 3 つの異なる下水処理方式による大腸菌低減を評価し, それらの処理水を灌漑利用した場合の水系感染症リスクを算出し下水の利用性評価を行った.

2. 実験方法

2.1 大腸菌・大腸菌群測定

国内で稼働中の標準活性汚泥法(流入下水, 塩素消毒前, 塩素消毒後), UASB+DHS 法(流入下水, UASB 処理水, DHS 処理水(塩素消毒前)), A2O 法(流入下水, 最初沈殿池, 塩素消毒前, 塩素消毒後)より試料を採水し, 実験に供した. 試料を適切な濃度に希釈後, コンパクトドライ「ニッスイ」EC(日水製薬)に 1ml 摂取し, 35±2℃の恒温槽で 22～24 時間培養して, 形成されたコロニー数(CFU/ml)を計測した. なお, 1 試料につき 3 プレートで測定した.

2.2 水系感染症リスクの算出

水系感染症リスクは, 2 つのシナリオを想定し算出した. 1 つは乾燥地での下水及び処理水を直接利用した場合を想定し算出し, もう一方は下水の放流先に河を想定して河川水による希釈倍率を乗じて算出した. また本研究では, 下水の灌漑利用を想定しているため, 利用用途を水稻栽培と散水とした(表 1).

表 1 リスクシナリオ¹⁾²⁾

主な用途	曝露形態	誤摂取量・頻度
水稻栽培	間接	0.3mL/日－27.2 日/年
散水	経口摂取	0.1mL/日－20 回/年

これらの条件設計の下, 以下の用量・反応モデル³⁾を用いて大腸菌(E. coli)により引き起こされる下痢症の 1 日あたりの感染リスクを算出した.

$$P = 1 - (1 + \frac{D}{\beta})^{-\alpha} \cdots (1)$$

P: 1 日当たりの感染リスク, D: 摂取する大腸菌の数(CFU/ml), $\alpha=0.178, \beta=1780000$ ⁴⁾

また, 年間感染リスクは反復曝露による感染リスクである以下の式⁵⁾より算出した.

$$P_n = 1 - (1 - P)^n \cdots (2)$$

P_n: 年間感染リスク, n: 摂取頻度

3. 結果および考察

3.1 大腸菌数測定結果

大腸菌および大腸菌群の測定結果を表 2 に示す. 単位は CFU/ml である.

表 2(a) 標準活性汚泥法の測定結果

	流入下水	塩素前	塩素後
大腸菌	1.08×10 ⁵	3.43×10 ²	2.25×10 ¹
大腸菌群	4.34×10 ⁵	2.45×10 ³	3.92×10 ²

表 2(b) UASB+DHS 法の測定結果

	流入下水	UASB	DHS(塩素前)
大腸菌	9.83×10 ⁴	8.93×10 ³	1.08×10 ²
大腸菌群	2.56×10 ⁵	4.62×10 ⁴	4.21×10 ²

表 2(c) A2O 法の測定結果

	流入下水	沈殿池	塩素前
大腸菌	6.93×10 ⁴	4.55×10 ⁴	1.07×10 ²
大腸菌群	2.05×10 ⁵	1.66×10 ⁵	4.43×10 ²

全ての流入下水の大腸菌は 10⁵ CFU/ml 程度となった. また, 塩素消毒前の各処理水は 10²～10³ CFU/ml

キーワード: 灌漑用水, 下水利用, 大腸菌, 水系感染症リスク

連絡先: 〒292-0041 千葉県木更津市清見台東 2-11-1 木更津高専環境都市工学科 0438-30-4165 (大久保)

程度となり, 処理により約 2log の減少が確認された。なお, A2O 法における塩素消毒後の値は 0 CFU/ml であったため省略した。

3.2 直接利用した場合の感染リスク

河川などに放流せずに下水や処理水を直接利用した場合の年間感染リスクを表 3 に示す。

表 3(a) 標準活性汚泥法を用いた場合

	流入下水	塩素前	塩素後
水稻栽培	8.3×10^{-2}	2.8×10^{-4}	1.8×10^{-5}
散水	2.1×10^{-2}	6.9×10^{-5}	4.5×10^{-6}

表 3(b) UASB+DHS 法を用いた場合

	流入下水	UASB	DHS(塩素前)
水稻栽培	7.6×10^{-2}	7.3×10^{-3}	8.8×10^{-5}
散水	1.9×10^{-2}	1.8×10^{-3}	2.2×10^{-5}

表 3(c) A2O 法を用いた場合

	流入下水	沈殿池	塩素前
水稻栽培	5.5×10^{-2}	3.6×10^{-2}	8.7×10^{-5}
散水	1.4×10^{-2}	9.0×10^{-3}	2.1×10^{-5}

米国 EPA によれば, 微生物許容感染リスクは 10^{-4} /年を満足することを目標としているが, 下水を直接農業利用した場合の感染リスクは 10^{-2} /年程度であり, EPA による微生物許容感染リスクを満足していない。しかし下水処理後は, 塩素消毒前の処理水でも $10^{-4} \sim 10^{-5}$ /年程度であり, 微生物許容感染リスクを満足していた。なお, A2O 法を用いた場合の感染リスクは 0/年であったため省略した。

3.3 河川で希釈された場合の感染リスク

下水及び処理水の河川への放流を想定し, 希釈を考慮した年間感染リスクを表 4 に示す。なお, この表の希釈倍率は, 渇水流量ベースの希釈率 5 パーセントイル値である 3 倍⁶⁾を想定して算出した。

表 4(a) 標準活性汚泥法を用いた場合

	流入下水	塩素前	塩素後
水稻栽培	2.9×10^{-2}	9.3×10^{-5}	5.7×10^{-6}
散水	7.1×10^{-3}	2.3×10^{-5}	1.4×10^{-6}

表 4(b) UASB+DHS 法を用いた場合

	流入下水	UASB	DHS(塩素前)
水稻栽培	2.6×10^{-2}	2.4×10^{-3}	2.9×10^{-5}
散水	6.5×10^{-3}	6.0×10^{-4}	7.0×10^{-6}

表 4(c) A2O 法を用いた場合

	流入下水	沈殿池	塩素前
水稻栽培	1.9×10^{-2}	1.2×10^{-2}	2.9×10^{-5}
散水	4.6×10^{-3}	3.0×10^{-3}	7.0×10^{-6}

希釈された下水を利用した場合の感染リスクは $10^{-2} \sim 10^{-3}$ /年となり, 直接利用した場合と同様に微生物許容感染リスクを満足していない。しかし, 下水処理後は各処理法ともに $10^{-5} \sim 10^{-6}$ /年程度となり, 微生物許容感染リスクを満足していた。なお, A2O 法を用いた場合の感染リスクは 0/年であるため省略した。

4. まとめ

本研究では, 開発途上国での下水の灌漑利用を想定し, 国内の下水処理場における大腸菌低減効果より農作業従事者への水系感染症リスクを算出した。全ての処理方式において, 塩素前までに約 2 log の大腸菌の減少が確認された。また, 開発途上国においては, 例え維持管理費が高い塩素処理施設が整わなくとも, 塩素処理の前段までの処理が実施されれば, EPA による微生物許容感染リスク 10^{-4} /年を満足できることが明らかとなった。

謝辞: 本研究は, 科学技術戦略推進費補助金「乾燥地域における灌漑再利用のための革新的下水処理技術開発の国際研究拠点形成」(代表: 原田秀樹) から助成を受けて一部実施しました。ここに記して深謝致します。

参考文献

- 1) 岡本ら, 21 世紀型都市水循環系の構築のための水再生技術の開発と評価, 科学技術振興機構, 2006
- 2) 南山ら, 下水道関係調査研究年次報告書集, 国土技術政策総合研究所, 39-44, 2004
- 3) 三浦ら, 環境工学論文集, Vol. 42, 451-462, 2005
- 4) Fewtrell *et al.*, Water quality: Guidelines, Standards and Health, IWA, 2001
- 5) 高度処理会議, ウイルスの安全性からみた下水処理の再生処理法検討マニュアル(案), 土木研究所, 2002
- 6) 化学物質管理センター, 化学物質の暴露評価に資する河川等の希釈率等に関連する調査, 製品評価技術基盤機構, 2004