

下水灌漑の2毛作栽培を想定したウイルス対象の健康影響評価

木更津工業高等専門学校 学生会員 ○田中 周弥, 丸山 涼介
正会員 大久保 努, 上村 繁樹

1. 目的

現在, 年間降雨量の少ない乾燥地域や半乾燥地域において深刻な水不足に陥っている. 原因として, 人口増加と食糧生産, 工業生産の増大が考えられ, 一人当たりが使用可能な淡水資源が減少している. 例えば, インドでは地下水の過度な汲み上げで枯渇が進み, 淡水資源の代替として下水の灌漑利用が行われている. エジプトでは近い将来危機的な水不足 (利用可能水量 $500 \text{ m}^3/\text{年} \cdot \text{人}$) に直面すると予想されており, エジプト政府は水不足脱却を目指し国土改造 20 カ年計画 (1997 年~2017 年) を策定し, 下水再利用の促進により 10 年間でその利用量を 3.5 倍に増やす目標を挙げている. 下水やその処理水が安定供給可能な観点から注目が寄せられているが, これらの利用は水系感染症の感染リスク増大や健康への影響も懸念される. そこで本研究では, 算出パラメータとして多数報告があるノロウイルスを対象に, 対象試料を灌漑に利用したと想定し, 2 毛作時のリスクを算定した. また, リスク基準を満足するために必要な処理水質を算定し, その水質を達成する後段処理の組み合わせを提示した.

2. 実験方法

2. 1 データ取得方法

試料は, インドの下水処理場より, 下水, UASB 処理水, UASB 後段のポンド処理水及び DHS 処理水の 4 試料, またエジプトの農業排水路 (流下長 2km) より, 上流から下流にかけて 4 試料の合計 8 試料を対象としてウイルス濃度を測定した. 対象ウイルスは, アデノウイルス, アイチウイルス, エンテロウイルス, A 型肝炎ウイルス, E 型肝炎ウイルス, ノロウイルス G I, G II, G IV, ロタウイルスの計 9 種類とした. この内, リスク評価の算定には感染力の高いノロウイルス G I と G II の 2 種を合算したウイルス濃度を用いた. 測定はサンプル濃縮 (PEG 沈法),

ウイルス濃縮, RNA 抽出, 逆転写反応を行った後, リアルタイム Microfluidic dynamic array で定量分析した. ウイルス定量に必要なプローブとプライマーは Ishii らの文献¹⁾を参考にした.

2. 2 健康影響評価方法

インドとエジプトの主要生産作物の上位は穀物が占めており, 想定栽培作物をトウモロコシ, 大麦, 米の 3 種とした. そして 2 毛作を行う組み合わせとしてトウモロコシと大麦, トウモロコシと米, 大麦と米の 3 つのパターンの栽培シナリオを作成した (表 1). 曝露日数 (=栽培日数) は日照時間等により各国で異なるため Cropwat ソフト (FAO) を用いて作成した²⁾. 曝露日数は各国で異なるが, 農作業時の曝露量については作物種別で統一した値を用いた. ノロウイルスによる健康影響評価は DALY を用いて評価を行った (式 1, 式 2)³⁾. DALY は障害や死亡による損失年数を用いた健康負荷の指標であり, 健康影響の評価を行うことができる. 付加する後段処理は標準活性汚泥法 (ASP), 膜分離活性汚泥法 (MBR), 塩素処理, オゾン処理, 砂ろ過の 5 種を想定した.

表 1 想定した作物種の組合せシナリオ

作物種	曝露日数 [日]		曝露量 [mL/日]
	インド	エジプト	
とうもろこし+大麦	18	79	0.2
とうもろこし+米	16	59	0.4
大麦+米	26	52	0.4

$$DALY = \left\{ 1 - \left(1 - P_{inf}(D) \right)^n \right\} \times R_{inf} \times DB \quad (\text{式 1})$$

$$P_{inf}(D) = 1 - \exp(\ln 0.5 \times D / ID_{50}) \quad (\text{式 2})$$

DALY: 一人 1 日当りの疫病負荷 [DALY/年・人],
 $P_{inf}(D)$: 1 回当りの感染確率, D : 摂取病原体数,
 n : 摂取日数, R_{inf} : 感染症発症確率 (0.8), DB : 疫病負荷 (9.0×10^{-4} [年])

キーワード 下水灌漑, DALY, 水系感染リスク

連絡先 〒292-0041 千葉県木更津市清見台東 2-11-1 木更津高専 TEL:0438-30-4165, E-mail:okubo@c.kisarazu.ac.jp

3. 評価結果及び考察

インドとエジプトに共通してエンテロウイルスが一番高い濃度となった（表 2，表 3）。ノロウイルスに関しては，ノロウイルス GII の方が GI に比べて高濃度で検出されたが，日本ではほぼ差が無かった。エジプト試料では，流下方向（エジ 1→エジ 4）で特にノロウイルス GII の減少傾向が確認された。

ノロウイルス GI と GII の除去率を算出したところ，UASB のみではそれぞれ 0.7 log と 0.6 log であったが，DHS を組合せた UASB+DHS システムでは 1.4 log と 1.2 log に向上した。既報の初沈+DHS の 2.3 log，1.5 log⁴⁾ には及ばないが，エンテロウイルスは初沈+DHS よりも高い除去率を示した。

想定した全てのシナリオにおいて，分析した試料に膜分離活性汚泥法を後段に付加しノロウイルスを 4 log 程度除去することで，WHO 基準 10^{-6} DALY を満たすことを確認した（図 1）。それに次いで活性汚泥法の付加により 10^{-5} DALY 程度を達成した。エジプト試料は曝露日数が多いがノロウイルス濃度が低いため，インドの下水試料と比べて DALY も低く算出された。

4. まとめ

下水処理 UASB+DHS でノロウイルスはそれぞれ 1.4 log (GI) と 1.2 log (GII) 減少することが確認された。2 毛作を行うシナリオでは，分析した試料に後段処理として膜分離活性汚泥法を付加することで，ノロウイルスの高い除去率が見込まれ，WHO 基準を満足した。シナリオ 1，2，3 の DALY に大きな差異は見られなかった。後段処理の選択枠を広げるには，例えば下水を対象とする場合，前段処理において更に 1~2 log のノロウイルス除去が必要である。安全を担保する必要性と共に現地に適用可能な技術であり，建設費や維持管理費を考慮した低コスト型下水処理方式の選択が今後必要と考えられた。

表 2 インド試料のウイルス濃度 [copies/mL]

ウイルス種	流入下水	UASB	UASB+DHS	UASB+ポンド
エンテロウイルス	4,200	1,800	310	2,600
ノロウイルス GI	110	22	3.9	37
ノロウイルス GII	1,100	230	58	450

表 3 エジプト試料のウイルス濃度 [copies/mL]

ウイルス種	エジ 1	エジ 2	エジ 3	エジ 4
エンテロウイルス	1,600	1,900	1,400	1,900
ノロウイルス GI	63	42	26	30
ノロウイルス GII	160	180	64	100

表 4 日本試料のウイルス濃度⁴⁾ [copies/mL]

ウイルス種	流入下水	初沈+DHS
エンテロウイルス	2,600	800
ノロウイルス GI	400	6.5
ノロウイルス GII	550	7.2

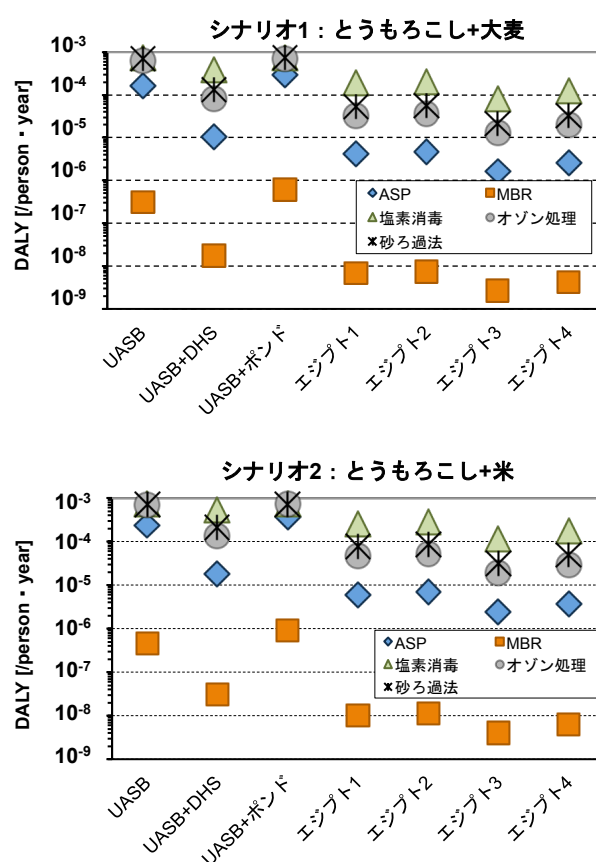


図 1 後段処理付加処理水による 2 毛作栽培時の各シナリオにおける年間 DALY

謝辞：本研究の一部は，JST 先導的創造科学技術開発費補助金および科学研究費補助金による助成を頂きました。ここに記して謝辞とします。

参考文献

- 1) Ishii *et al*, *AEM*, p7505-7511, 2014.
- 2) 内田ら，第 43 回土木学会関東支部技術研究発表会，2016.
- 3) 安井ら，土木学会論文集 G，Vol. 69，p647-656，2013.
- 4) Kobayashi *et al*, *Water Research*, p24-27, 2016.