

様々な下水処理水放流口の底生動物群集

大野正彦*

(*現自然環境部)

要 旨

下水処理水の水生生物に及ぼす影響を知るため、様々な処理水の放流口付近に生息する底生動物群集を比較した。オゾン処理水の放流口では地点により群集が異なり、巻貝類が著しく繁殖する地点や、ミズムシ、コガタシマトビケラの多数生息する地点があった。それらの地点ではユスリカが少なかった。紫外線処理や塩素消毒のみの処理水の放流口ではユスリカが多く、下水処理水の流れる水域の一般的な群集であった。オゾン処理水放流口の底生動物群集は他の地点と異なることがわかった。

キーワード：オゾン処理、紫外線処理、下水処理水、放流口、底生動物

1 はじめに

東京都は水の枯渇した河川の環境を改善するため、高度に処理した下水処理水を水の枯渇した河川や小水路に放流している。どのような生物が生息しているか把握し、処理水特に消毒の影響を検討することは、事業の円滑な遂行の上で重要である。著者らはオゾン処理水が放流されている北沢川緑道水路の生物相を調べ、放流口とその下流部では底生動物や付着藻類群集が異なることを報じた¹⁾²⁾。また、紫外線処理のみでオゾン処理をしていない目黒川や渋谷川の放流口の底生動物は、ユスリカ等が優占する一般的な群集で、流下に伴う変化はみられなかった¹⁾。オゾン処理放流口付近に生息する底生動物群集は特異であったが、それを確認するためには様々な処理水の群集と比較する必要がある。

放流口の底生動物の消毒方法による違いを比較したものとして、著者らの他にはわずかに田中らの報告³⁾がある。彼らの報告によると、塩素処理水のみで河川(残留塩素0.3~>2mg/L)ではなにも出現しないかユスリカのみで、塩素処理水が流量のほとんどを占める河川(同未検出~0.1mg/L)ではユスリカが優占し、オゾン処理水のみで河川ではサカマキガイやコガタシ

マトビケラが優占するという。このような優占種の違いが言えるのか確かめる必要がある。

そこで、北沢川緑道水路、目黒川及び渋谷川の他に野火止用水等の高度処理水放流水路と2つの下水処理場放流口の底生動物を調べ、その群集構成を比較した。

2 調査時期・地点

2000年6月に以下に示す10地点を調べた。原則的に晴天時に調査したが、中野処理場放流口の調査は前日からの雨であった。表1にその放流水の処理過程を示した。

北沢川緑道水路放流口3地点：橋場橋、中下橋、公園
渋谷川放流口1地点

目黒川放流口付近1地点：常盤橋

野火止用水放流口2地点：細流、本流

玉川上水放流口1地点

多摩川上流処理場放流口1地点

中野処理場放流口1地点

北沢川緑道水路の水源、目黒川及び渋谷川のほとんどの水量は、落合処理場の砂ろ過後の紫外線処理の高度処理水で、北沢川緑道水路の水源では、この高度処理水を更にオゾン処理・PAC(ポリ塩化アルミニウム)

表1 処理水の殺菌消毒方法

調査地点	放流水の処理法
北沢川緑道水路放流口	二次処理+塩素処理(0.8mg/L*)+砂ろ過+紫外線処理(4秒)+PAC処理+オゾン処理(6mg/L)
目黒川、渋谷川各放流口	二次処理+塩素処理(0.8mg/L*)+砂ろ過+紫外線処理(4秒)
野火止用水、玉川上水各放流口	二次処理+PAC処理+塩素処理(0.7mg/L*)+砂ろ過+オゾン処理(1~1.3mg/L)
多摩川上流処理場放流口	二次処理+塩素処理(0.7mg/L)
中野処理場放流口	嫌気好気法処理(窒素・リンの除去)+塩素処理(0.3mg/L)

* : 砂ろ過により残留塩素消失

処理を行っている。野火止用水と玉川上水の水源は多摩川上流処理場の二次処理水を砂ろ過・オゾン処理・PAC処理したものである（多摩川上流処理場は二次処理後塩素処理）。中野処理場は好気嫌気法による窒素・リンの除去を行っている。

調査河川・水路の特徴を以下に記す。北沢川緑道水路は下水処理水を維持用水とする、河床が小礫の人工的小水路で、渋谷川及び目黒川はコンクリート三面張りの都市河川である。野火止用水では2つの放流口があり、ホタル飼育のための細流（以下、ホタル水路という。）と本流放流口である。ホタル水路の水量は本流と比べ圧倒的に少なく、河床が小礫の約340mの小水路で、最終的に本流放流口に水が落ちる。玉川上水では処理水が滝のように落下し、その直後にある礫を採集した。多摩川上流処理場放流口では処理場から多摩川へ二次処理水を放流する際のコンクリート三面張りの流路で採集した。中野処理場放流口は放流河川の妙正寺川より30cmほど高く、川に流入する直前の箇所

3 調査方法

(1) 水質等環境要因

水温、pH、溶存酸素濃度および電気伝導度は、現地で水質測定器（堀場製作所水質チェッカー U-10）を用いて測定した。同様に、現場で溶存オゾン濃度をオゾン計（ハック社）で、残留塩素をパケットテスト（共立理化学研究所）で測定した。なお、溶存酸素濃度はウィンクラー法でも測定した。

各地点で採水し、アイスボックスに入れて持ち帰り、BOD、COD、栄養塩類（硝酸性窒素、亜硝酸性窒素、アンモニア性窒素、リン酸性リン）、2種の陰イオン（塩素イオン等）、4種の陽イオン（ナトリウム等）を測定した。CODは工場排水試験法（JISK 0102）に準拠し、栄養塩類はオートアナライザー（ブラン・ルーベ社）、

陰・陽イオンはイオンクロマトグラフ（ダイオネクス社DX-500）で測定した。

底生動物の採集箇所の川幅を巻き尺で、水深を物差しで測定した。表層（表面から3cm下）と底層（河床の2cm上）の流速を流速計（コスモ理研CR-7WP）で測定した。底質を記録した。

(2) 底生動物

25cm×25cmの枠付きサーバーネット（網目約0.35mm）を河床に置き、枠内の深さ10cm程度までの小石を下流側に置いた網の中に入れた。その後、枠内をブラシでよくかき混ぜて網に流下させた。底質がコンクリート面や大きな礫の時は、枠内底面をブラシで擦り網の中に試料を流し込んだ。網内の採集物をバットにあけ、ポリエチレン瓶に入れ、ホルマリンを全量の5%になるように加えた。北沢川緑道水路公園放流口と中野処理場放流口では1回の採集、他の各地点では3回の採集を試みた。

実験室において、ホルマリン固定の試料を二段重ねのふるい（目の開き0.25、0.07mm）にあけ、水洗後、実体顕微鏡下で底生動物を拾い、その同定と個体数を数えた。

4 結果と考察

(1) 水質等環境要因

調査時の川幅・流速・底質及び水質を表2に示した。採集箇所の形態は様々であった。底質の形状から礫（北沢川緑道水路、野火止用水ホタル水路、玉川上水放流口）とコンクリート面（他の5地点）に大きく分けられる。また、流速は北沢川緑道水路と野火止用水ホタル水路が小さかったが、渋谷川と中野処理場放流口では底層の流速も1m/秒を越した。

落合処理場処理水を水源としている北沢川緑道水路各放流口の放流水は、同じ水源の渋谷川・目黒川に比べ溶存酸素濃度が約2倍で（電極法とウィンクラー法

の値はほぼ等しい)、pHが低く、CODとリン酸性リン濃度が約2/3であった。これら（溶存酸素濃度増加、pH・COD・リン酸性リン濃度の減少）の原因は、新たに加わったオゾン・PAC処理によるものであろう。その他の水質項目は大きな違いはなかった。野火止用水と玉川上水の各放流口のリン酸性リン濃度も多摩川上流処理場放流水より低かった。調査日が離れているので単純な比較はできないが、清流復活施設のPAC処理のリンの除去によるものであろう。中野処理場の水質は他の調査地点に比べ値が低かった。これは中野処理場の処理方法（好気嫌気法）によることもあるが、調査前日からの降雨が影響していると思われる。

(2) 底生動物

採集された底生動物の個体数を表3に示した。野火止用水等の清流復活水路では、ウズムシ、ミミズ、ヒル、カワニナ、サカマキガイ、カワコザラガイ、ミズムシ、コカゲロウ、コガタシマトビケラ、ヒメトビケラ、ユスリカ、チョウバエが採集された。中野処理場放流口でもウズムシ、ミミズ、ヒル、ミズムシ、コカゲロウ、ヒメトビケラ、ユスリカ、ブユが採集された。これらは前報¹²⁾で記載した北沢川緑道水路等の底生動物相とほぼ同様の種類であった。下水の高度処理水放流河川・水路ではこのような底生動物相になるといえる。

しかし、個体数の多寡からみると地点間に違いがある。北沢川緑道水路各放流口では、ヒメモノアラガイ、サカマキガイ、カワニナ等の巻貝類が多く、ユス

表2 調査した処理水放流口の環境要因

項目	北沢川緑道水路 ¹⁾			渋谷川 ²⁾	目黒川 ²⁾	野火止用水 ³⁾		玉川上水 ³⁾	多摩川上流処理場 ⁴⁾	中野処理場 ⁵⁾
	橋場橋放流口	中下橋放流口	公園放流口	渋谷川放流口	目黒川放流口近く	ホタル水路放流口	本流放流口	本流放流口	処理水放流口	処理水放流口
調査日	2000/6/7	2000/6/7	2000/6/7	2000/6/8	2000/6/8	2000/6/1	2000/6/1	2000/6/1	2000/6/21	2000/6/14
調査時間	12:30	11:50	11:25	11:45	13:45	12:10	12:30	14:30	11:00	10:30
流出口からの距離 m	0	0	0	1	20	0.5	—	3	5	0
流速 cm/秒 (表層)	33	—	15	132	83	—	105	—	72	163
流速 cm/秒 (底層)	25	30	11	120	66	10	48	12	55	186
水深 cm	7.5	2.0	6.5	9.5	5.7	5.5	15.5	45	15.5	12.5
川幅 m	103	50	65	—	6	140	177	—	13	2.95
底質	礫	礫上に蘚類	礫	コンクリート平滑面	コンクリート平滑面	礫	コンクリート平滑面	大礫	コンクリート平滑面	コンクリート平滑面
水温 °C	25.3	26.5	25.1	25.6	25.2	24.8	24.2	24.7	25.4	21.2
pH	5.50	5.88	5.65	6.05	6.52	6.38	6.36	6.38	6.42	5.92
電気伝導度 μS/cm	398	401	402	387	382	508	505	472	461	140
濁度	—	—	—	—	—	2	4	2	3	7
溶存酸素濃度 mg/L (酸素電極)	16.05	13.67	13.79	7.25	6.65	4.12	6.31	6.21	7.36	7.72
同 (ウイングラ-法)	15.49	14.45	14.46	7.34	7.17	4.46	6.19	6.26	7.05	8.21
塩分 %	検出せず	検出せず	検出せず	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00
残留塩素 mg/L	検出せず	検出せず	検出せず	検出せず	検出せず	検出せず	検出せず	検出せず	0.1	検出せず
溶存酸素 mg/L	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
BOD mg/L	1.2	0.9	0.9	0.5	0.7	2.4	1.8	1.3	1.6	1.2
COD mg/L	4.6	4.7	4.6	7.1	7.0	7.9	8.1	7.3	7.6	4.2
硝酸性窒素 mg/L	12.84	13.25	13.83	11.05	10.80	11.10	11.74	10.84	8.25	4.70
亜硝酸性窒素 mg/L	0.00	0.00	0.00	0.08	0.10	0.47	0.23	0.08	0.02	0.00
アンモニア性窒素 mg/L	0.06	0.07	0.04	0.11	0.13	0.22	0.08	0.04	0.13	0.13
リン酸性りん mg/L	0.83	0.83	0.88	1.24	1.18	0.51	0.49	0.42	1.07	0.74
塩素イオン mg/L	57.1	57.2	54.3	50.0	50.6	64.8	66.2	59.1	54.3	14.7
硫酸イオン mg/L	37.5	39.0	38.2	35.9	37.2	55.6	56.0	50.2	51.2	12.9
ナトリウム mg/L	48.6	48.8	46.1	46.4	46.5	69.0	71.0	64.5	61.6	14.0
カリウム mg/L	11.1	11.1	10.5	10.6	10.4	11.2	11.4	10.3	9.8	3.7
マグネシウム mg/L	4.1	4.1	3.8	3.3	3.2	2.1	2.1	2.1	2.0	0.8
カルシウム mg/L	11.7	12.3	11.3	9.0	9.3	8.7	8.3	7.9	6.9	2.3

- 1) 二次処理+塩素処理(0.8mg/L)+砂ろ過+紫外線処理(4秒)+PAC処理+オゾン処理(6mg/L)
- 2) 二次処理+塩素処理(0.8mg/L)+砂ろ過+紫外線処理(4秒)
- 3) 二次処理+PAC処理+塩素処理(0.7mg/L)+砂ろ過+オゾン処理(1~1.3mg/L)
- 4) 二次処理+塩素処理(0.7mg/L)
- 5) 嫌気好気法処理(窒素・リンの除去)+塩素処理(0.3mg/L)

表3 様々な放流口直下の底生動物の生息密度(2000年6月調査)

北沢川緑道水路公園放流口と中野処理場放流口は25×25cm²の平方枠で1回採集。その他は3回採集。

底生動物	北沢川緑道水路			渋谷川	目黒川	野火止用水	玉川上水	多摩川上流	中野処理場
	橋場橋放流口	中下橋放流口	公園放流口	放流口並木橋	放流口近く常盤橋	ホタル水路放流口	本流放流口	本流放流口	処理場放流口
ウズムシ	1.0±1.7**	5.7±4.2	10	0	0	17.3±5.5	26.0±4.6	7.5±12.4	0
ミミズ	28.0±18.5	8.7±15.0	1	19.3±13.2	284.0±88.7	88.0±27.2	133.0±81.4	227.3±210.6	208.3±23.5
ヒル	1.3±1.5	0.7±1.2	0	1.7±2.1	0	3.0±2.6	7.7±2.1	0	0
カワニナ	0	0	2	0	0	79.3±10.0	0	0	0
ヒメモノアラガイ	28.3±17.0	3.7±3.8	0	0.3±0.6	0.3±0.6	0	0	1.3±1.0	0
サカマキガイ	22.7±14.2	3.0±1.0	14	1.3±1.5	0.3±0.6	0	5.3±2.5	1.5±3.0	0.7±0.6
カワコザラガイ	440.0±139.6	7.7±6.0	53	4.0±1.0	0	1.3±2.3	5.3±3.1	0	0
ミズムシ	2.0±1.7	64.3±85.8	21	0.3±0.6	0.3±0.6	27.3±5.5	1032.7±485.2	6.5±6.2	0.3±0.6
コカゲロウ	185.3±42.0	7.3±7.5	0	12.3±7.8	16.7±5.7	58.0±15.5	64.0±21.7	1.0±1.2	0.3±0.6
コガタシマトビケラ	0	0	0	0	0	1.0±1.7	39.3±28.0	0.8±1.0	0
ヒメトビケラ	0	0	0	0	0	0	3.3±1.5	0	0
ユスリカ	15.3±9.0	1.7±2.1	1	185.0±42.9	894.0±294.0	14.7±6.1	83.0±36.1	37.0±25.3	252.7±59.2
ヌカカ	0	0	0	0	0.3±0.6	1.0±1.0	0	0	0
チョウバエ	0	0.3±0.6	0	0	6.7±1.5	0	0	0	0
ブユ	0	0	0	0	0	0	0	0	3
ハエ	0	0	0	0	0	0	0	0	1.3±0.6
双翅目幼虫	0	0	0	0	0	0	0	0	0.7±0.6

数字:個体数/25×25cm²、*:3回採集試料の平均値、**:標準偏差

リカが少なかった。野火止用水ホタル水路放流口でもカワニナが多くユスリカが少なかった。野火止用水本流放流口では巻貝類がみられないものの、ユスリカは83個体/25×25cm²（平均値）と比較的少なく、ミズムシが多数採集された（約1000個体/25×25cm²）。この調査の前年1999年7月と11月に行った野火止用水放流口の調査では、ユスリカはそれぞれ7、4個体/25×25cm²で、ミズムシ（同19、3個体）よりコガタシマトビケラが優占し、それぞれ386、1452個体/25×25cm²であった。玉川上水放流口の調査地点は滝壺のような止水的環境になっており、底生動物群集の特徴を把握することができなかった。なお、50m下流の地点（流水域）では前報⁴同様、コガタシマトビケラが著しく繁殖していた。

一方、渋谷川・目黒川放流口、中野処理場放流口では巻貝やコガタシマトビケラがほとんどみられず、ユスリカが優占した。残留塩素が検出された多摩川上流処理場放流口ではユスリカとミズムシ類がほとんどを占め、サカマキガイ、ミズムシ、コカゲロウがごく少数採集された。

上記の結果は、塩素処理（残留塩素：未検出～0.1mg/L）の場合はユスリカが、オゾン処理ではサカマキガイやコガタシマトビケラが優占するという田中らの報告³と一致した。紫外線処理（渋谷川・目黒川）でもユスリカが優占することがわかった。

今回の調査結果を基に巻貝と他の底生動物の関係を

図1に示した。前報²の北沢川緑道水路のみで関係を調べたのと異なり、様々な地点の環境要因が影響するため、この図は種間関係を示すものではないが、巻貝が多い地点ではユスリカ、ミズムシ及びコガタシマトビケラは少ない傾向にあった。

(3) オゾン処理水放流口の底生動物群集の特徴

北沢川緑道水路の3つの放流口では3種の巻貝類、野火止用水ホタル水路放流口では巻貝の1種カワニナ、野火止用水本流放流口ではミズムシやコガタシマトビケラがそれぞれ著しく繁殖していた。しかし、北沢川緑道水路の下流部では巻貝が少なく^{1,2}、野火止用水でも同様であった。オゾン処理水放流口では特定の種が独占的に場を占める傾向にあるのかもしれない。

しかし、オゾン処理水放流水路である北沢川緑道水路と野火止用水の間で水質の共通性はみられなかった。北沢川緑道水路の3放流口はオゾン処理施設が近い（約60～450m）、低pH、高濃度の溶存酸素及び溶存オゾン検出等で他の調査地点と異なっていた。一方、野火止用水放流口（オゾン処理施設からの導水管約11km）の水質は、やや亜硝酸性窒素が多いものの通常値であった（表2）。なにが巻貝等を独占的に繁殖さす原因なのか、検討する必要がある。

(4) オゾン処理と紫外線処理の比較

塩素消毒の代替技術としてオゾン処理や紫外線処理が用いられている。放流先の生物相からみて、どの処

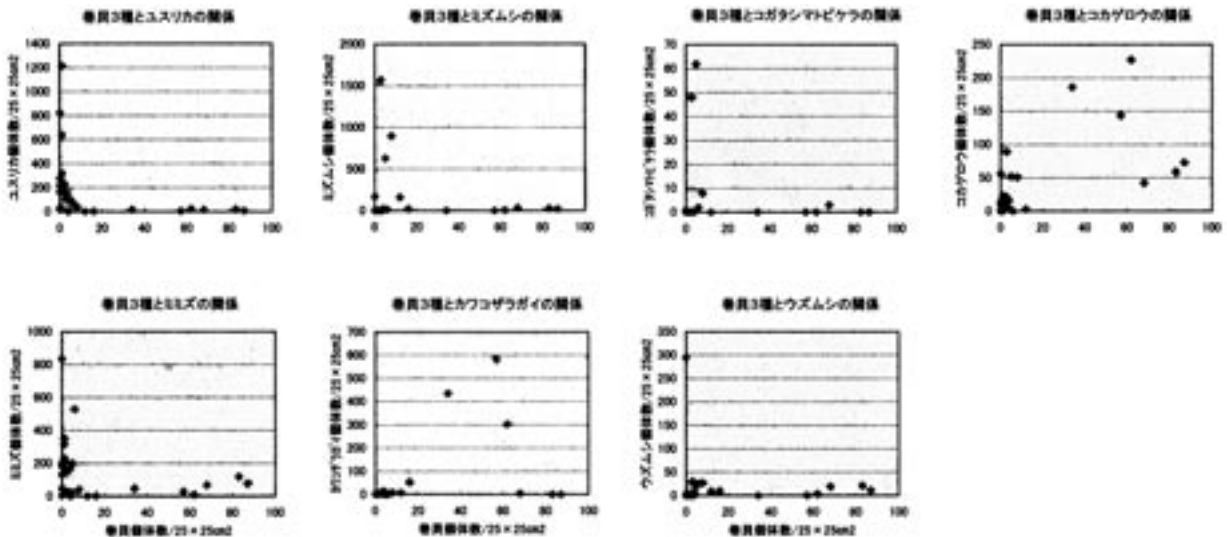


図1 巻貝類（サカマキガイ、ヒメモノアラガイ、カワニナ）と各種底生動物の関係（2000年6月調査）

理法が適当であろうか。

塩素消毒は放流先の底生動物・付着藻類に多大な影響を広い範囲にわたって及ぼすので⁵⁾、高濃度の塩素処理は適当な方法とはいえない。オゾン処理は①放流口付近において生物に影響を及ぼすという短所があるが、②放流口付近で巻貝等の繁殖を促して藻類の繁殖と不快害虫ユスリカ生育を抑制し^{1,2)}、③巻貝がホタル幼虫の餌となるためホタルの分布を可能にするという長所もある。一方、紫外線処理は①流下に伴う水質の変化が少なく、残効性もなく放流先の生態系に悪影響がない⁶⁾ という長所がある反面、②放流先で藻類やユスリカが著しく繁殖して近隣住民に苦情を生じさせる可能性もある。

オゾン処理（処理水量1万、10万m³/日）の設備費と維持管理費は、それぞれ20～7千円/m³、3.8～1.4円/m³である⁷⁾。紫外線処理（処理水量1千、1万m³/日）では、それぞれ22～10千円/m³、2.3～0.9円/m³である⁷⁾。処理水量1万m³/日で比較するとオゾン処理の経費のほうがやや高めである。どの方法を使用するかは、機器の耐用年数や、放流先の河川の生物の状況（水質汚濁に敏感な魚類等の生息している可能性、ユスリカや藻類大発生の有無）も考慮に入れて検討することが大切であろう。

5 おわりに

今回の調査で、オゾン処理水放流口の底生動物群集が他の処理水放流口と異なることがわかった。オゾン処理水放流口では、なぜ巻貝等が著しく繁殖するのか調べることで、底生動物群集の特異性の原因を明らかにできるかもしれない。

謝 辞

調査にご便宜を図っていただいた世田谷区北沢総合支所、(財)世田谷区都市整備公社まちづくりセンター、代沢せせらぎ公園協議会、目黒区環境清掃部環境保全課、渋谷区土木部公園課および東大和市環境部の皆様に深謝いたします。また、調査にご便宜を図っていただき助言を賜った下水道局落合処理場、中野処理場及び多摩川上流処理場の皆様に深謝いたします。水質分析にご協力いただいた当所基盤研究部安藤晴夫、栗田恵子研究員に深謝いたします。

引用文献

- 1) 大野正彦、津久井公昭：オゾン処理放流水路の生物相,東京都環境科学研究所年報2001,pp.133-141 (2001)
- 2) 大野正彦、津久井公昭、福嶋悟：オゾン処理水放流水路における底生動物と付着藻類の流程分布,東京都環境科学研究所年報2002,pp.209-216 (2002)
- 3) 田中宏明ら：河川水質と水生生物相との関係の把握,平成8年度下水道関係調査研究年次報告書集, pp.315-322 (1997)
- 4) 大野正彦、古明地哲人：清流復活水路のユスリカ群集に及ぼすPAC（ポリ塩化アルミニウム）・オゾン処理の影響,東京都環境科学研究所年報1993, pp.75-82 (1993)
- 5) Fukushima,S. and Kanada,S.: Effects on chlorine on periphytic algae and macroinvertebrates in a stream receiving treated sewage as maintenance water, Jap.J.Limnol.60,pp.569-583 (1999)
- 6) 神子直之、大垣眞一郎：紫外線消毒による処理特性とその機構,月刊下水道,18 (6) ,pp.20-23 (1998)
- 7) 日本下水道事業団技術開発部：下水処理法における消毒技術の評価, (1998)

Comparison among benthic macroinvertebrates communities of outlets of several treated wastewaters

Masahiko Ohno

Summary

Benthic macroinvertebrates communities were compared among of outlets of several wastewaters to know effects of disinfection processes on aquatic lives. Particular species, snails, an asellid or a caddis fly, dominated the community and chironomid larvae were scarce at the outlets of small streams receiving ozone-treated wastewater. On the contrary, chironomids were dominant species at the outlets of ultraviolet rays-treated wastewaters and secondary treated wastewater (chlorine treatment) . The community of the outlet of ozone-treated wastewater was unusual and different from those of the other outlets.

Keywords: ozone treatment, ultraviolet rays treatment, treated wastewater, outlet, benthic macroinvertebrates