

Biomagnification of Mercury Through the Aquatic Food Chain in Lake Lebo Taliwang West Sumbawa

A. Rahman^{1*}, Andi Maria Ulfa¹, Junaidi Efendi², Eko Supriastuti³

¹Program studi Pemanfaatan Sumber Daya Perikanan, Fakultas Pertanian dan Perikanan, Universitas Cordova, Taliwang, Indonesia;

²Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Cordova, Taliwang, Indonesia;

³Program Studi agribisnis, Fakultas Pertanian, Universitas Mataram, Mataram, Indonesia;

Article History

Received : June 26th, 2025

Revised : June 29th, 2025

Accepted : July 04th, 2025

*Corresponding Author: A. Rahman, Program Studi Pemanfaatan Sumber Daya Perikanan, Universitas Cordova, Taliwang, Indonesia. Email: Armanthegreen@gmail.com

Abstract: Lebo Taliwang Lake has been reported to be polluted by mercury compounds. This study aims to determine the occurrence of mercury biomagnification in the food chain in Lebo Lake Taliwang. Samples of water, tilapia, water strider and japan pond heron were taken at two sampling locations: inlet and outlet. Samples were tested for mercury content with a mercury analyzer. The results show that there is mercury accumulation in the Lebo Taliwang Lake ecosystem. The average of each sample was 1.95 in water, 99.5 in tilapia, 79.8 in water strider, and 948.09 and 143 in feathers and blood, respectively. Furthermore, the results of the biomagnification factor (BMF) value show the $BMF > 1$. This means that there is biomagnification of mercury in Lebo Taliwang Lake. The biomagnification value of japan pond heron in feather and blood with nile tilapia is 9.52 and 1.43. Meanwhile, with water strider, the values are 11.87 and 1.81. This study recommends enhanced monitoring and regulation of illegal gold mining (PETI) activities, as well as environmental rehabilitation efforts around Lake Lebo

Keywords: Accumulation, biomagnification, mercury, Lebo Lake.

Pendahuluan

Merkuri secara global diemisikan dari berbagai sumber alami dan antropogenik, seperti letusan gunung berapi, penambangan emas skala kecil dan pembakaran bahan bakar fosil (Gworek et al., 2017; Charvát et al., 2020). Lingkungan perairan merupakan kawasan yang paling berpotensi tinggi tercemar oleh senyawa merkuri semenjak deposisi atmosfer dan *water-runoff* yang berasal dari aktivitas industri kebanyakan akan terkumulasi pada ekosistem perairan (Zamani-Ahmadm Mahmoodi et al., 2010; Fitzgerald, 2007). Selanjutnya merkuri yang ada di perairan dapat mengalami metilasi yang kemudian terakumulasi dalam makhluk hidup perairan dan masuk dalam rantai makanan (Poissant et al., 2002; Barkay dan Poulain, 2007; King et al., 2000).

Merkuri yang terlepas ke lingkungan sebagian besar akan bermuara ke ekosistem akuatik seperti sungai, danau, dan laut. Di

perairan, merkuri mengalami transformasi menjadi bentuk yang sangat toksik sehingga mudah diserap oleh organisme akuatik. Senyawa ini kemudian mengalami akumulasi biologis (bioakumulasi) pada organisme tingkat trofik rendah seperti fitoplankton dan zooplankton, yang selanjutnya dimakan oleh ikan kecil, dan terus menumpuk ke organisme predator puncak melalui proses biomagnifikasi. Biomagnifikasi adalah proses yang menyebabkan peningkatan bertahap konsentrasi zat, seperti bahan kimia beracun atau logam berat, dalam tubuh organisme pada setiap tingkat trofik dalam rantai makanan. (Saber, 2023; Saidon et al., 2024).

Merkuri dalam bentuk uap dapat masuk ke tubuh organisme melalui sistem pernapasan, sedangkan bentuk kimiawi lainnya dapat masuk melalui konsumsi makanan yang terkontaminasi. Merkuri yang masuk ke dalam tubuh akan diedarkan melalui sistem sirkulasi darah dan dapat terakumulasi di organ seperti hati, ginjal, otak, dan jaringan otot (Suhendrayatna et al.,

2019). Akumulasi ini dapat menyebabkan berbagai gangguan kesehatan baik bagi hewan air maupun manusia yang mengonsumsi hasil perikanan dari perairan tercemar. Oleh karena itu, pemantauan dan pengendalian cemaran merkuri di lingkungan perairan menjadi sangat penting untuk menjaga kesehatan ekosistem dan keselamatan manusia.

Danau Lebo Taliwang merupakan perairan air tawar yang terletak di Kabupaten Sumbawa Barat yang tercemar oleh senyawa merkuri akibat adanya penambangan emas tradisional yang berlokasi di sekitar danau dan pinggir sungai yang mengalir ke Danau Lebo. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Amanda (2016), terjadi akumulasi merkuri dalam air, sedimen dan ikan yang hidup di Danau Lebo Taliwang. Tidak menutup kemungkinan organisme lain yang hidup di Danau Lebo Taliwang juga terakumulasi oleh senyawa merkuri.

Burung blekok sawah merupakan salah satu burung air yang hidup di Danau Lebo Taliwang sekaligus sebagai predator puncak dalam ekosistem yang memangsa sejumlah ikan dan serangga. Di Danau Lebo Taliwang terdapat ikan nila dan serangga air sebagai makanan dari burung blekok sawah. Burung Bkekoks sawah sebagai predator puncak dapat terakumulasi senyawa merkuri dalam jumlah banyak. Penelitian yang dilakukan oleh Houserová et al., (2007) dan Saeki et al., (2000) melaporkan bahwa Burung Kormoran Besar, terpapar biomagnifikasi merkuri sebagian besar karena lokasinya yang berada di ujung rantai makanan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui apakah terjadi biomagnifikasi merkuri di ekosistem Danau Lebo Taliwang, dari air, biota air hingga organisme puncak pada rantai makanan di Danau Lebo yaitu Burung Blekok Sawah.

Bahan dan Metode

Alat dan bahan

Alat penelitian ini diantaranya yaitu pancing, *hand net*, *Bottle glass* ember, *coolbox* plastik *ziplock* botol kaca untuk menampung sampel air, kertas label, jarum, timbangan analitik, *hotplate*, labu ukur, tabung reaksi dan LA-254 *mercury analyzer* VM-3000. Bahan penelitian yaitu Darah, bulu (sayap), dan feses

burung blekok sawah (*Ardeola speciosa*), *Prey* (ikan nila dan anggang-anggang), air dan sedimen *aquades*, HNO_3 , HClO_4 , KMnO_4 0,1%, Hydroxilamine hydrochloride, dan $\text{SnC L}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Metode Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan November 2017 hingga April 2018 di Danau Lebo Taliwang dan Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu (LPPT) UGM. Titik sampling dalam penelitian ini ditentukan berdasarkan jarak dengan sumber polutan. Terbagi menjadi stasiun 1 (*inlet*) yaitu area yang dekat dengan sumber polutan dan stasiun 2 (*outlet*) yaitu area yang jauh dengan sumber polutan. Tiap lokasi dilakukan pengumpulan sampel masing-masing 3, terdiri dari burung belok sawah, ikan nila, anggang-anggang, dan air. Sampel di simpan dalam plastic *zyproc* dan dibawa ke Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu (LPPT) UGM untuk dilakukan pengujian.

Uji kandungan merkuri pada bulu, darah, feses burung blekok sawah, ikan nila, anggang-anggang dan air menggunakan alat mercury analyzer dengan penambahan bahan kimia berupa *aquades*, HN03 , HClO_4 , KMnO_4 0,1%, Hydroxilamine hydrochloride, dan $\text{SnCL}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Analisis data

Data hasil pengujian selanjutnya dianalisis dengan menggunakan ANOVA satu arah (*One Way ANOVA*) dengan program IBM SPSS statistik versi 24 untuk melihat perbedaan rata-rata pada sampel darah, bulu dan feses. Sedangkan untuk mengetahui besaran biomagnifikasi merkuri yang terjadi dalam rantai makanan dilakukan penghitungan dengan rumus *Biomanification Factor* (BMF). BMF dihitung berdasarkan konsentrasi merkuri di bulu, dan darah burung blekok sawah dengan mangsanya. BMF di jelaskan oleh Gobas dan Morrison (2000):

$$BMF = \frac{C(predator)}{C(pre)} \quad (1)$$

Dimana $C(predator)$ adalah konsentrasi Hg yang ditemukan di predator dan $C(pre)$ adalah konsentrasi yang ditemukan di mangsa (*prey*).

Hasil dan Pembahasan

Konsentrasi merkuri dalam air

Pengujian kadar merkuri dalam air diuraikan pada tabel 1. Konsentrasi merkuri pada daerah inlet lebih tinggi dibandingkan outlet. Hal ini disebabkan karena area inlet merupakan pintu masuk air sungai ke danau. Air sungai yang membawa merkuri kemungkinan akan lebih

banyak mengendap di daerah inlet. Konsentrasi merkuri yang tinggi pada area yang dekat dengan sumber polutan juga ditunjukkan oleh penelitian Zhang et al., (2010). Kecepatan arus air danau yang rendah dan keberadaan tanaman air *Myriophyllum spicatum* yang tumbuh di dasar perairan menyebabkan merkuri yang terkonsentrasi di daerah inlet tidak dapat tersebar dengan merata ke daerah outlet.

Tabel 1. Konsentrasi merkuri dalam air Danau Lebo Taliwang

	Lokasi	Min	Mean±SD	Max
Air (µg L ⁻¹)	Inlet (n=3)	1,22	1,43±0,33	1,82
	Outlet (n=3)	0,86	0,96±0,39	1,29
Total Mean ±SD			1,95±0,34	

Konsentrasi merkuri pada mangsa burung blekok sawah

Konsentrasi rata-rata merkuri di hati ikan nila (*Oreochromis niloticus*) lebih tinggi dibandingkan dengan an anggang-anggang (*Gerris* sp), baik pada stasiun 1 (*inlet*) maupun pada stasiun 2 (*outlet*) (Tabel 2). Tingginya konsentrasi merkuri pada ikan nila dibandingkan dengan anggang-anggang dapat disebabkan karena ukuran spesies. Ikan nila yang digunakan dalam penelitian ini berukuran kecil. Menurut penelitian Rahmawati (2006), umumnya ikan

yang berukuran kecil lebih banyak mengakumulasi logam berat. Tingginya akumulasi merkuri pada ikan nila berukuran kecil disebabkan karena belum memiliki proses detoksifikasi yang baik dibandingkan dengan ikan yang berukuran besar, sehingga logam yang masuk tidak dapat terdetoksifikasi dengan baik. Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya (Amanda 2016) di Danau Lebo yang menggunakan ikan nila yang lebih besar menunjukkan bahwa ikan nila dalam penelitian ini lebih tinggi 10,6 kali.

Tabel 2. Konsentrasi merkuri pada mangsa (*Prey*) (µg kg⁻¹)

Sampel	Lokasi dan koordinat	Min	Mean±SD	Max
Hati ikan nila (<i>Oreochromis niloticus</i>)	Inlet (n=3)			
	8°41'38.5836" LS 116°51'32.598" BT	63,5	108,5±33,6	142
	Outlet (n=3)			
	S8°42'11.8764" LS E116°51'30.0204" BT	49	51,5±0	50
Total mean ±SD			99,5±33,7	
AnggangAnggang (<i>Gerris</i> Sp)	Inlet (n=3)			
	8°41'43.4184" LS 116°51'22.2444" BT	70	99,1±22,3	136
	Outlet (n=3)			
	8°42'13.4028" LS 116°51'21.8844" BT	29	44,5±4,7	54,5
Total mean ±SD			79,8±38,8	

Rendahnya akumulasi merkuri pada anggang-anggang dibandingkan dengan ikan nila dalam penelitian ini mungkin dapat disebabkan karena jenis anggang-anggang itu sendiri. Menurut Stewart (1997), uptake merkuri pada

suatu organisme salah satunya dapat disebabkan karena jenis spesies. Anggang-anggang yang digunakan dalam penelitian ini mungkin termasuk jenis yang tidak dapat mengakumulasi merkuri lebih banyak. Karena jika dibandingkan

dengan anggang-anggang pada penelitian lainnya, konsentrasi merkuri pada anggang-anggang lebih tinggi 3,51 kali (Jardine et al. 2009) dan 10 kali (Jardine et al. 2004) dibandingkan dengan hati ikan nila dalam penelitian ini.

Konsentrasi merkuri pada burung blekok sawah

Bulu terakumulasi merkuri lebih banyak dibandingkan dengan darah. Hal ini karena bulu merupakan jaringan penyimpanan merkuri. Merkuri membawa darah secara terus menerus selama bulu dalam fase pertumbuhan (Dauwee et al., 2000). Hal itu memungkinkan bulu terakumulasi merkuri dalam jumlah yang banyak dibandingkan dengan darah.

Tabel 3. Konsentrasi merkuri ($\mu\text{g kg}^{-1}$) pada bulu dan darah burung blekok sawah (n=4)

	Bulu	Darah
Mean $\pm$ SD	948,09 ^a $\pm$ 224,29	143 ^b $\pm$ 79,72

Keterangan: Perbedaan signifikan diantara jaringan ditunjukkan dengan huruf (a, b).

Darah adalah jaringan yang mengakumulasi merkuri terendah. Hal ini mungkin disebabkan karena darah adalah jaringan transportasi. Darah berfungsi membawa dan mendistribusikan merkuri ke berbagai organ dalam jaringan tubuh burung, seperti hati, ginjal dan bulu (Goede dan de Bruin, 1984; Aazami, 2012). Menyebabkan kadar merkuri dalam darah tidak tetap dan berfluktuasi seiring dengan mobilisasi jaringan darah.

Biomagnifikasi

Biomagnifikasi adalah masuknya senyawa polutan dalam rantai makanan. Polutan dapat berpindah dari tropik bawah hingga tropik tertinggi dari peristiwa memakan dan dimakan. Pada ekosistem perairan. Air merupakan wadah pertama yang dapat tercemar senyawa polutan yaitu merkuri. Selanjutnya, hewan air seperti ikan yang berinteraksi dengan air dapat terakumulasi senyawa merkuri. Selanjutnya, ikan yang mengandung merkuri termakan oleh organisme puncak seperti burung air yang kemudian merkuri berpindah ke tropik selanjutnya yang bahkan kadarnya lebih tinggi dari tropik dibawahnya. Besarnya nilai bioakumulasi merkuri dari air ke organisme yang berinteraksi dengan air dihitung dengan rumus

faktor bioakumulasi (Lonescu et al., 2019).

Tabel 4. Nilai faktor bioakumulasi biota air

	Ikan nila	Anggang-anggang
Air	51	41

Nilai bioakumulasi untuk air ke ikan nila sebesar 51, sedangkan anggang-anggang sebesar 41. Nilai 51 dan 41 artinya adalah jumlah kali lipat lebih banyak. Dimana, ikan nila mengakumulasi merkuri sebanyak 51 kali lipat dibandingkan dengan air. Sedangkan anggang-anggang mengakumulasi sebanyak 41 kali lipat dibandingkan dengan ikan nila. Menurut Suseno (2011) dan Newman (2008), merkuri dapat berinteraksi dengan organisme melalui makanan, terhirup dan kontak melalui kulit. Ikan nila dan anggang-anggang dapat terpapar dan terakumulasi senyawa merkuri secara langsung melalui mulut (menelan air) dan juga lewat kulit. Selanjutnya ikan nila dan anggang-anggang yang mengandung senyawa merkuri termakan oleh predator dalam hal ini yaitu burung blekok sawah yang juga hidup di Danau Lebo. Merkuri yang ada dalam tubuh ikan dan anggang-anggang akan berpindah ke tubuh Burung Blekok Sawah. Proses ini disebut biomagnifikasi. Nilai biomagnifikasi Burung Blekok Sawah dan mangsanya diuraikan pada tabel berikut:

Tabel 5. Faktor biomagnifikasi (BMF) blekok sawah (predator) dengan mangsa (*prey*) di Danau Lebo

	Bulu Burung Blekok Sawah	Darah Burung Blekok Sawah
Ikan nila	9,52	1,43
Anggang-anggang	11,87	1,81

Nilai biomagnifikasi dihitung antara mangsa yaitu ikan nila dan anggang-anggang dengan blekok sawah sebagai predator dengan jaringan bulu dan darah. Nilai biomagnifikasi bulu burung blekok sawah dan ikan nila sebesar 9.52, dan dengan darah sebesar 1.43. Sedangkan anggang-anggang dengan bulu sebesar 11,82 dan dengan darah sebesar 1,81. Biomagnifikasi terjadi jika nilai BMF lebih dari satu. $\text{BMF} > 1$ (Szkudlińska et al., 2011) Nilai biomagnifikasi merkuri burung blekok sawah dan mangsanya lebih dari satu. Ikan nila 9,52 dan $1,41 > 1$. Anggang-anggang 11,87 dan $1,81 > 1$. Artinya

terjadi Biomagnifikasi merkuri pada rantai makanan di Danau Lebo Taliwang.

Kesimpulan

Danau Lebo Taliwang terakumulasi senyawa merkuri dalam berbagai kompartmen yaitu air dan beberapa makhluk hidup seperti ikan nila, anggang-anggang dan burung blekok sawah dan telah terjadi Biomagnifikasi merkuri, yaitu perpindahan senyawa merkuri melalui rantai makanan, makan dan dimakan. Proses ini bermula dari akumulasi senyawa merkuri oleh ikan nila dan anggang-anggang dari air. Selanjutnya ikan nila dan anggang-anggang termakan oleh burung blekok sawah yang akhirnya merkuri pindah ke burung blekok sawah. Nilai biomagnifikasi blekok sawah pada bulu dan darah dengan ikan nila yaitu 9,52 dan 1,43. Sedangkan dengan anggang-anggang yaitu 11,87 dan 1,81.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan, bantuan, dan kontribusi dalam pelaksanaan penelitian ini. Segala bentuk bantuan yang telah diberikan sangat berarti bagi keberhasilan penelitian ini

Referensi

- Aazami, J., Esmaili-Sari, A., Bahramifar, N., & Savabieasfahani, M. (2012). Total and organic mercury in liver, kidney and muscle of waterbirds from wetlands of the Caspian Sea, Iran. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 89(1), 96–101. <https://doi.org/10.1007/s00128-012-0653-4>
- Amanda, D. D. (2016). Akumulasi merkuri di Danau Lebo, Kabupaten Sumbawa Barat, Nusa Tenggara Barat [Skripsi, Universitas Gadjah Mada].
- Barkay, T., & Poulain, A. J. (2007). Mercury (micro)biogeochemistry in polar environments. *FEMS Microbiology Ecology*, 59, 232–241. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2006.00246.x>
- Charvát, P., Klimeš, L., Pospíšil, J., Klemeš, J. J., & Varbanov, P. S. (2020). An overview of mercury emissions in the energy industry – A step to mercury footprint assessment. *Journal of Cleaner Production*, 267, 122087. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122087>
- Dauwe, T., Bervoets, L., Blust, R., Pinxten, R., & Eens, M. (2000). Can excrements and feathers of nestling songbirds be used as a biomonitor for heavy metal pollution? *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 39, 541–546. <https://doi.org/10.1007/s002440010138>
- Fitzgerald, W. F., Lamborg, C. H., & Hammerschmidt, C. R. (2007). Marine biogeochemical cycling of mercury. *Chemical Reviews*, 107(2), 641–662. <https://doi.org/10.1021/cr050353m>
- Gobas, F. A. P. C., & Morrison, H. A. (2000). Bioconcentration and bioaccumulation in the aquatic environment. In R. Boethling & D. Mackay (Eds.), *Handbook of property estimation methods for chemicals: Environmental and health sciences* (pp. 189–231). CRC Press.
- Goede, A. A., & De Bruin, M. (n.d.). The use of bird feather parts as a monitor for metal pollution. *Environmental Pollution*, 8, 281–298. [https://doi.org/10.1016/0143-148X\(84\)90028-4](https://doi.org/10.1016/0143-148X(84)90028-4)
- Gworek, B., Dmuchowski, W., & Baczeńska-Dąbrowska, A. H. (2020). Mercury in the terrestrial environment: A review. *Environmental Sciences Europe*, 32, 128. <https://doi.org/10.1186/s12302-020-00363-1>
- Houserová, P., Kubán, V., Komar, S., & Sitko, J. (2007). Total mercury and mercury species in birds and fish in an aquatic ecosystem in the Czech Republic. *Environmental Pollution*, 145, 185–194. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.03.053>
- Jardine, T. D., Kidd, K. A., Culp, J. M., & Arp, P. A. (2009). Factors affecting water strider (Hemiptera: Gerridae) mercury concentrations in lotic systems. *Environmental Toxicology and Chemistry*,

- 28, 1480–1492.
<https://doi.org/10.1897/08-411.1>
- Jardine, T. D., McGeer, J. C., O'Halloran, K., Arp, P. A., & Ridal, J. J. (2004). Water striders (family Gerridae): Mercury sentinels in small freshwater ecosystems. *Environmental Pollution*, 134, 165–171.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2004.07.004>
- King, R. H., Dunshea, F. R., Morrish, L., Eason, P. J., van Barneveld, R. J., Mullan, B. P., & Campbell, R. G. (2000). The energy value of *Lupinus angustifolius* and *Lupinus albus* for growing pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 83(1), 17–30.
[https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(99\)00111-7](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(99)00111-7)
- Lonescu, P., Vasile, G. G., Enache, A. C., & Baroiu, A. (2019). Bioaccumulation of potentially toxic elements in fish species from aquatic environments located in crowded areas of Southern Romania. *Technium*, 1, 53–58.
<https://doi.org/10.47577/technium.v1i.19>
- Newman, M. C. (2008). *Ecotoxicology (2nd ed.)*. CRC Press.
- Poissant, L., Dommergue, A., & Ferrari, C. (2002). Mercury as a global pollutant. *Journal de Physique IV*, 12, 279–287.
<https://doi.org/10.1051/jp4:20020457>
- Saeki, K., Okabe, Y., Kim, E.-Y., Tanabe, S., Fukuda, M., & Tatsukawa, R. (2000). Mercury and cadmium in common cormorants (*Phalacrocorax carbo*). *Environmental Pollution*, 108, 249–255.
[https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(99\)00188-7](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(99)00188-7)
- Saber, T. (2023). Understanding biomagnification: The accumulative impact on food chains and ecosystems. *Journal of Aquatic Pollution and Toxicology*, 7(2), 14.
<https://doi.org/10.21767/2581-804X-7.2.14>
- Saidon, N. B., Szabó, R., Budai, P., & Lehel, J. (2024). Trophic transfer and biomagnification potential of environmental contaminants (heavy metals) in aquatic ecosystems. *Environmental Pollution*, 340(Part 1), 122815.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.122815>
- Stewart, F. M., Phillips, R. A., Catry, P., & Furness, R. W. (1997). Influence of species, age and diet on mercury concentrations in Shetland seabirds. *Marine Ecology Progress Series*, 151, 237–244.
- Suhendrayatna, S., Arahman, N., Sipahutar, L. W., Rinidar, R., & Elvitriana, E. (2019). Toxicity and organ distribution of mercury in freshwater fish (*Oreochromis niloticus*) after exposure to water contaminated with mercury (HgII). *Toxics*, 7(4), 58.
<https://doi.org/10.3390/toxics7040058>
- Suseno, H. (2011). Bioakumulasi merkuri dan metil merkuri oleh *Oreochromis mossambicus* menggunakan aplikasi peruntut radioaktif: Pengaruh konsentrasi, salinitas, partikulat, ukuran ikan dan kontribusi jalur pakan [Disertasi, Universitas Indonesia].
- Szkudlińska, M. M., Szefer, P., Kalisinska, E., & Namieśnik, J. (2011). Biomagnification of mercury in trophic relation of great cormorant (*Phalacrocorax carbo*) and fish in the Vistula Lagoon, Poland. *Environmental Monitoring and Assessment*, 176, 439–449.
<https://doi.org/10.1007/s10661-010-1598-2>
- Zamani-Ahmadm Mahmoodi, R., Esmaili-Sari, A., Savabieasfahani, M., & Bahramifar, N. (2009). Cattle egret (*Bubulcus ibis*) and little egret (*Egretta garzetta*) as monitors of mercury contamination in Shadegan Wetlands of south-western Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, 166, 371–377.
<https://doi.org/10.1007/s10661-009-1004-z>
- Zhang, Z., Wang, Q., Zhao, D., Zheng, N., & Li, X. (2010). Mercury distribution and bioaccumulation up the soil–plant grasshopper–spider food chain in Huludao City, China. *Journal of Environmental Sciences*, 22, 1179–1183.
[https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(09\)60230-3](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(09)60230-3)