

ФОТОКАТАЛІТИЧНЕ РУЙНУВАННЯ АНТИБІОТИКІВ: ОСТАННІ ДОСЯГНЕННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ

Данилюк Н.В.

Прикарпатський національний університет ім.В.Стефаника, Івано-Франківськ,
Україна, nazarii.danyliuk@pmu.edu.ua

Проблема очищення води від різного роду антибіотиків, стала однією з найпопулярніших тем за останні декілька років. З 2019 рік було опубліковано понад 19 000 публікацій, присвячених дослідженню очищенню стічних вод від антибіотиків. Стійкість і важкість розкладу антибіотиків, викликає серйозні занепокоєння, оскільки їх велика концентрація сприяє розмноженню бактерій, створюючи загрозу здоров'ю людей [1].

Для ефективного руйнування антибіотиків застосовують багато методів, таких як адсорбція, фотокаталіз, біодеградація, електрохімічна обробка тощо [2]. Серед цих методів, фотокаталіз привернув найбільшу увагу завдяки своїй ефективності та екологічно чистим властивостям. Зокрема, перетворення та використання сонячної енергії значно підвищує економічність фотокаталізу [3]. Застосування TiO_2 у фотокаталізі було популярним з моменту виявлення його унікальних властивостей [4]. Розподіл зони провідності та валентної зони є ідеальним для розкладу забруднюючих речовин. Тому в перші десятиліття дослідження фотокаталізу, публікації в основному були зосереджені на використанні наночастинок TiO_2 [5]. Проте, TiO_2 має деякі недоліки, такі як швидка рекомбінація електрон-діркового процесу, а також поглинання лише ультрафіолетового діапазону світла, яке становить всього 4% від загального спектру сонця. В даний час, вчені присвятили багато досліджень вивченню та розробці нових фотокаталізаторів активних у видимому спектрі світла, яке становить понад 40% від всієї енергії сонця.

До фотокаталізаторів видимого спектру світла відносяться сульфідиди, такі як CdS , і його похідні [6]. Завдяки тому, що сульфур (S) бере участь у формуванні структури валентної зони, а заборонена зона стає вузькою, це сприяє ефективному поглинанню видимого світла. Однак, низька стабільність таких фотокаталізаторів обмежує їх широке застосування.

У 2012 році автори [7] повідомили про новий матеріал, полімерний нітрид карбону ($g\text{-C}_3\text{N}_4$), для фотокаталітичного руйнування антибіотиків. Завдяки низькій вартості, високій ефективності у видимому спектрі світла, $g\text{-C}_3\text{N}_4$ став матеріалом, розкладу води, виділення водню та розкладу антибіотиків. На відміну від сульфідів, $g\text{-C}_3\text{N}_4$ показав більш стабільну структуру, ніж сульфідиди [8].

Останні роки стали часом розробки матеріалів на основі вісмуту для фотокаталітичного отримання водню та деградації забруднюючих речовин [9]. На відміну від вище згаданих трьох основних видів фотокаталізаторів, матеріали на основі вісмуту, такі як BiVO_4 , Bi_2O_3 , мають ідеальне розміщення валентної зони для деградації антибіотиків під дією видимого світла. Структура $[\text{Bi}_2\text{O}_2]^{2+}$ придатна для формування внутрішнього електричного поля і підвищення ефективності розділення фотогенерованих електронів і дірок. Ця чудова властивість зумовила матеріали на основі вісмуту привернути найбільшу увагу науковців для фотокаталітичного очищення стічних вод від антибіотиків [10].

Проте, нещодавно була запропонована ідея використання відходів промисловості для отримання водневої енергії. В якості джерела водню в цих дослідженнях використовуються стічні води, відпрацьовані гази і навіть целюлоза [11]. Результати показали, що фотокаталітичний водень можна отримати з одночасним видаленням відходів. Відходи в цих дослідженнях забезпечують заміну традиційних реагентів, таких як метанол та етанол. Подібним чином стічні води з антибіотиками також можна використовувати для виділення водню. Було кілька досліджень, які повідомляли про розвиток фотокаталітичного отримання водню з одночасним розкладом антибіотиків [12].

1. Kraemer S.A., Ramachandran A., Perron G.G. Antibiotic pollution in the environment: from microbial ecology to public policy // *Microorganisms* – 2019. – 7, – P. 1-24. <https://doi.org/10.3390/microorganisms7060180>.
2. Kohanski M.A., Dwyer D.J., Collins J.J. How antibiotics kill bacteria: from targets to networks // *Nat. Publ. Gr.* – 2010. – 8, – P. 423-435. <https://doi.org/10.1038/nrmicro2333>.
3. Wang X., He Y., Hu Y., Jin G., Jiang B., Huang Y. Photothermal-conversion-enhanced photocatalytic activity of flower-like CuS superparticles under solar light irradiation // *Sol. Energy* – 2018. – 170, – P. 586-593. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.06.022>.
4. Nakata K., Fujishima A. TiO₂ photocatalysis: Design and applications // *J. Photochem. Photobiol. C Photochem. Rev.* – 2012. – 13, – P. 169-189. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochemrev.2012.06.001>.
5. Nam Y., Lim H., Ko C., Lee J.Y. Photocatalytic activity of TiO₂ nanoparticles: a theoretical aspect // *J. Mater. Chem. A.* – 2019. – 7, – P. 13833-13859. <https://doi.org/10.1039/c9ta03385h>.
6. Mcneill A., Mills A. CdS-coated thin plastic films for visible-light photocatalysis // *J. Phys. Energy*. – 2020. – 2, – P. 044003. <https://doi.org/10.1088/2515-7655/abb927>.
7. Wang X., Blechert S., Antonietti M. Polymeric Graphitic Carbon Nitride for Heterogeneous Photocatalysis // *ACS Catal.* – 2012. – 2, – P. 1596-1606. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.06.022>.
8. Wang B., Pan J., Jiang Z., Dong Z., Zhao C., Wang J., Song C., Zheng Y., Li C. The bimetallic iron–nickel sulfide modified g-C₃N₄ nano-heterojunction and its photocatalytic hydrogen production enhancement // *J. Alloys Compd.* – 2018. – 766, – P. 421-428. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.06.377>.
9. Carabineiro A.C., Lv K., Zhang L., Li Y., Li Q., Fan J. Recent advances on Bismuth-based Photocatalysts: Strategies and mechanisms // *Chem. Eng. J.* – 2021. – 419, – P. 129484. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.129484>.
10. Arumugam M., Sivakumar T., Saelee T., Praserthdam S., Ashokkuma M., Praserthdam P. Recent developments on bismuth oxyhalides (BiOX; X = Cl, Br, I) based ternary nanocomposite photocatalysts for environmental applications // *Chemosphere* – 2021. – 282, – P. 131054. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131054>.
11. Lui J., Chen W., Tsang D.C.W., You S. A critical review on the principles, applications, and challenges of waste-to-hydrogen technologies // *Renew. Sustain. Energy Rev.* – 2020. – 134, – P. 110365. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110365>.
12. Wei Z., Liu J., Fang W., Xu M., Qin Z., Jiang Z., Shanguan W. Photocatalytic Hydrogen Evolution with Simultaneous Antibiotic Wastewater Degradation Bismuth via the Visible-Light-Responsive Nanohybrid: Waste to Energy Insight // *Chem. Eng. J.* – 2018. – 358, – P. 944-954. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.10.096>.