

ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЙ СИНТЕЗ НАНОЧАСТИЦ МЕТАЛЛОВ

Аннотация: В статье рассматриваются химические и физические методы синтеза металлических наночастиц, их преимущества и недостатки. Показано негативное воздействие традиционных методов синтеза на окружающую среду и организм человека. Обсуждается возможность получения металлических наночастиц экологически чистым способом.

Ключевые слова: наночастицы, методы синтеза, токсичность, зеленая химия, растения, растительный экстракт.

Нанотехнологии являются одной из быстроразвивающихся областей науки и техники. В последние годы значительно выросло производство и использование металлических наночастиц. Наночастицы металлов применяются в микроэлектронике, катализе, оптических приборах, в медицине и косметологии. В частности, серебряные и золотые наночастицы нашли широкое применение в медицине для диагностики, доставки лекарств, лечения раковых заболеваний. Наночастицы серебра используются в качестве антибактериальных агентов при лечении ран, опухолей. Антибактериальная активность наночастиц серебра основана на взаимодействии серебра с клеточной стенкой бактерии и/или ее внутриклеточными компонентами, вследствие чего, увеличивается ее проницаемость и прекращается деление. Это приводит к нарушению деятельности бактерии и их гибели.

Существуют различные классификации методов синтеза наночастиц. В рамках одной из них предлагается разделять методы на две большие группы по типу формирования наноструктур. Первая группа методов основана на «дроблении» макроразмерных объектов до наноразмеров. Эти методы получили общее название «сверху–вниз». Другая группа методов использует обратный подход «снизу–вверх», т. е. рост или сборку наночастиц из отдельных атомов. В настоящее время используют обе группы методов синтеза наночастиц. Синтез по типу «снизу – вверх» широко применим в создании электронных схем и элементов памяти компьютеров, так как позволяет контролировать размеры и расположение всех элементов и создавать большие массивы. Другая классификация предлагает делить методы синтеза на химические, физические и биологические. Физические методы получения наночастиц, такие как измельчение, лазерная абляция, механическое диспергирование и другие являются достаточно быстрыми и не содержат токсичных реагентов, тем не менее, требуют большого расхода энергии в процессе синтеза и сложного аппаратного обеспечения. В основе химических методов лежит химическая реакция между солями металлов и восстанавливающими и стабилизирующими агентами, многие из которых являются токсичными. К таким агентам можно отнести боргидрид натрия, гидразин и диметилформамид. Традиционные химические методы синтеза потенциально вредны и для окружающей среды, и для человека. В связи с этим важным и актуальным является поиск новых способов синтеза наночастиц, нетоксичных по отношению к клеткам живых организмов и окружающей среде [3, с. 140].

Растения, грибы, микроорганизмы могут служить экологически чистыми «реагентами» для получения наночастиц. Органические вещества, присутствующие в этих природных объектах, могут выступать одновременно в роли восстановителей ионов металлов и стабилизаторов. К биологически активным веществам восстанавливающей природы, содержащимся в растительных материалах, относятся флавоноиды, фенолы, полифенолы,

терпены и алкалоиды [7, с. 51]. Они могут действовать еще и как стабилизирующие агенты, делая наночастицы устойчивыми. Для синтеза наночастиц могут быть использованы все части растений: корни, кора, семена, плоды, стебель и листья [6, с. 7]. Исследования биоаккумуляции металлов показали, что металлы накапливаются в растениях в виде наночастиц, размер и форма которых зависит от вида растения и места биоаккумуляции. Использование растения в целом для получения наночастиц металлов имеет ряд ограничений и недостатков: длительность процесса, неравномерность распределения наночастиц в органах растения, поэтому в последние годы набирает популярность синтез наночастиц с использованием растительных экстрактов. Такой синтез может происходить как при комнатной температуре, так и при нагревании и занимать от нескольких часов до нескольких минут. В зависимости от состава растительного экстракта можно получить различные морфологические структуры наночастиц. Например, при синтезе наночастиц серебра с экстрактом *Eclipta prostrate* были получены частицы трех-, пяти-, шестигранной формы. В результате синтеза с экстрактом *Dioscorea bulbifera* наночастицы золота имели формы призм, трапеций, сфер [4, с. 200].

Синтезированные с помощью растительных экстрактов металлические наночастицы обладают бактерицидной и противораковой активностью в отношении клеточных культур [1, с. 205; 2, с. 300; 5, с. 125]. Так, золотые наночастицы, полученные с водным экстрактом *Coleus aromaticus*, проявляли цитотоксичность в отношении клеточной культуры рака печени человека (HepG2) *in vitro*: ингибирование роста клеток происходило даже при малой (31 мкг/мл) концентрации наночастиц золота [1, с. 205]. В результате воздействия *in vitro* наночастиц золота и серебра, синтезированных с водным экстрактом *Commelina nudiflora L.*, на раковые клетки (HCT-116) толстой кишки человека выявлены индуцирующие механизмы апоптоза в этих клетках. Механизм апоптоза начинается с различных стадий деградации клеток, включая сокращение клеточной структуры и ядра, затем фрагментацию ядерных и хроматиновых материалов [2, с. 300]. Этанольным экстрактом *Rosa*

indica проводили восстановление нитрата серебра до наночастиц и определяли их антибактериальную и противовоспалительную активность, используя патогенные бактерии человека и перитонеальные макрофаги крысы соответственно. Синтезированные серебряные наночастицы проявляли хорошую антибактериальную активность в отношении как грамотрицательных, так и грамположительных бактерий [5, с. 125].

Наночастицы, полученные с использованием растительных экстрактов, нашли применение при разработке эффективных способов лечения некоторых заболеваний благодаря своей безопасной, экологически чистой и нетоксичной природе.

В данной работе исследована возможность получения наночастиц золота путем восстановления раствора золотохлористоводородной кислоты различными растительными экстрактами. Был выбран ряд плодово-ягодных культур, произрастающих на территории Уральского региона, проведена оценка их восстановительной способности. Синтез наночастиц проводили при нагревании. Исследование свойств наночастиц было проведено с помощью спектрофотометрического, электрохимического методов и методов просвечивающей электронной микроскопии и динамического светорассеяния. Синтезированные методами зеленой химии наночастицы золота использовали для получения сенсора на мочевую кислоту.

Список литературы:

1. Biological synergy of greener gold nanoparticles by using *Coleus aromaticus* leaf extract / Boomi P., Ganesan R. M., Poorani G., Prabu H. G., Ravikumar S., Jeyakanthan J. // *Materials Science and Engineering: C*. – 2019. – Vol. 99. – P. 202–210.

2. In Vitro Anticancer Activity of Au, Ag Nanoparticles Synthesized Using *Commelina nudiflora* L. Aqueous Extract Against HCT-116 Colon Cancer Cells / Kuppusamy P., Ichwan S. J. A., Al-Zikri P. N. H., Suriyah W. H., Soundharrajan I., Govindan N., Maniam G. P., Yusoff M. M. // *Biological Trace Element Research*. – 2016. – Vol. 173, № 2. – P. 297–305.

3. Applications of plant terpenoids in the synthesis of colloidal silver nanoparticles / Mashwani Z. R., Khan M. A., Khan T., Nadhman A. // *Advances in Colloid and Interface Science*. – 2016. – Vol. 234. – P. 132–141.

4. Rajakumar, G. Larvicidal activity of synthesized silver nanoparticles using *Eclipta prostrata* leaf extract against filariasis and malaria vectors / Rajakumar G., Rahuman A.A. // *Acta Tropica*. – 2011. – Vol. 118. – P. 196–203.

5. Biosynthesis of silver nanoparticles using ethanolic petals extract of *Rosa indica* and characterization of its antibacterial, anticancer and anti-inflammatory activities / Ramar M., Manikandan B., Raman T., Arunagirinathan K., Prabh N. M., Basu M. J., Perumal M., Palanisamy S., Munusamy A. // *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. – 2015. – Vol. 138. – P. 120–129.

6. A review on the green synthesis of silver nanoparticles and their morphologies studied via TEM / Rauwel P., Küünal S., Ferdov S., Rauwel E. // *Advances in Materials Science and Engineering*. – 2014. – Vol. 2015. – P. 1–9.

7. Santhoshkumar, J. Phyto-assisted synthesis, characterization and applications of gold nanoparticles – a review / Santhoshkumar J., Rajeshkumar S., Kumar S.V. // *Biochem. Biophys. Rep.* – 2017. – Vol. 11. – P. 46–57.