

УДК 677.473

Н. Р. Прокопчук Н.Р., проф.; Д. В. Прищепенко Д.В., ассист.
(БГТУ, г. Минск)

ЭЛЕКТРОФОРМОВАНИЕ НАНОВОЛОКОН ХИТОЗАНА И МОДИФИКАЦИЯ ИХ СОЛЯМИ МЕТАЛЛОВ

Одним из перспективных направлений в области бионанотехнологий является электроформование нановолокон из растворов полимеров позволяющее получать материалы со сверхразвитой структурой и пористостью. Благодаря этим свойствам они показывают высокую эффективность в фильтрационных, сорбционных процессах; используются для обеспечения антимикробных и антивирусных барьерных свойств; регулирования водопроницаемости и паропроницаемости; их применяют для создания перевязочных средств при лечении обширных ожоговых поверхностей, незаживающих ран и трофических язв различного происхождения.

Технология электроформования заключается в вытягивании раствора (расплава) полимера в тонкие струи под действием электрического напряжения от единиц до ста киловольт. Высокое напряжение индуцирует в растворе полимера одноименные электрические заряды, которые приводят к образованию конусов Тейлора и дальнейшему электростатическому вытягиванию полимерного раствора и возможных расщеплений на более тонкие струи. Полученные струи отверждаются в волокна, и под действием электростатических сил дрейфуют к противоположно заряженной подложке или электроду [1].

Хитозан – широко используемый полимер, который бывает животного либо грибного происхождения. Представляет собой деацетилированное производное хитина. В отличие от практически не растворимого хитина, хитозан растворим в растворах кислот, что делает возможным использование для получения нановолокон методом электроформования. Хитозан проявляет гемостатические, бактериостатические, фунгистатические свойства, имеет иммуномодулирующий эффект. Доказаны отсутствие иммунореактивности, полный вывод из организма и биостимуляция регенерационных процессов [2]. Плёнки из хитозана угнетают рост микрофлоры (стафилококка, протея, синегнойной полочки) и ускоряют заживление ожоговых ран [3]. Универсальный механизм селективного связывания хитозана с рецепторами сахаров на клеточной мемbrane обеспечивает бактериостатический эффект для развития инфекционного процесса в отношении основных значимых микроорганизмов [4]. Однако, данные

эффекты недостаточны для применения раневых покрытий из хитозана без дополнительных антибактериальных средств – хитозан по себе не вызывает гибель бактерий, лишь замедляя рост некоторых их разновидностей. Для гарантированного предотвращения и подавления развития патогенных микроорганизмов необходимо введение в состав нановолокон хитозана веществ, обладающих антибактериальными свойствами.

В качестве антибактериально средства возможно использование нитрата церия (III). Нитрат церия (III) используется для лечения ожогов с середины 70-х годов. Известно, что церий обладает бактериостатическим против широкого спектра бактерий (*Escherichia*, *Salmonella*, *S. aureus* и др.), но эффект был зависим от pH, с наибольшим эффектом при незначительно кислых значениях pH [5]. Также широко известно, что сильным антибактериальным эффектом обладает нитрат серебра.

Для приготовления формовочного раствора использовался хитозан производства «KitoZyme» с молекулярной массой 30-50 кДа. Концентрация хитозана в формовочном растворе составляла 7% масс., в качестве растворителя использовали 70% уксусную кислоту. В качестве технологической добавки был применен полиэтиленоксид с молекулярной массой 400 кДа в количестве 0,3% масс. Нитрат церия (III) и нитрат серебра. вводили непосредственно в формовочный раствор на стадии его приготовления Концентрация солей в формовочном растворе составляла 2% масс. Концентрация была подобрана так, чтобы церий не выпадал в осадок в виде ацетата. Формование проводили в день приготовления раствора. В качестве подкладочного материала использовали нетканый материал Спанлейс. Формование осуществляли на установке NS LAB 500S при следующих параметрах [1]: напряжение – 70 кВ, скорость вращения волокнообразующего электрода – 10 об/мин, межэлектродное расстояние – 150 мм. Полученный материал исследовали на сканирующем электронном микроскопе JEOL JSM-5610 LV. Установлено, что нановолоконные покрытия имеют многочисленные включения размером до 10 мкм, которые по данным энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии имеют высокое содержание серебра или церия в зависимости от образца. Полученные образцы нановолоконного покрытия исследовали методом диффузии вещества в плотной питательной среде и количественным супензионным методом [6].

В ходе исследований разработаны составы формующих растворов, подобраны параметры процесса электроформования, произведён выпуск опытно-промышленной партии раневых покрытий, ко-

торая прошла клинические испытания. С целью придания антимикробных свойств получены методом электроформования, раневые покрытия на основе нановолокон хитозана, модифицированные нитратами церия (III) и серебра путём ввода данных солей в формовочный раствор. В ходе оценки антимикробной активности образцов выяснили, что обственные антибактериальные свойства хитозана проявлялись в отношении *P. aeruginosa* и *S.aureus*, однако в отношении последнего микроорганизма эффект оказался нестойким. Комплекс хитозана с церием высокоэффективен в отношении *S.aureus* и умеренно эффективен в отношении *P. aeruginosa*, однако его фуницидные свойства не выражены. На основании полученных данных была подана заявка и получен патент «Раневое покрытие».

ЛИТЕРАТУРА

1. Электроформование нановолокон из растворов хитозана (обзор) / Н.Р. Прокопчук [и др.] // Полимерные материалы и технологии. 2015. Т. 1, № 2. С. 36–56.
2. Боброва Л. В., Больщаков И. Н., Михальков Р. В. Энтеросорбция хитозаном у детей при воспалительных заболеваниях нервной системы (энцефаломиелитах, полирадикулоневритах) // Сибирское медицинское обозрение. 2001. №1. С. 21–25.
3. Хунафин С. Н., Байков Д. А., Муниров Р. Р. Опыт применения пленчатых раневых покрытий на основе ПВС и хитозина в лечении пострадавших с ожоговой травмой: материалы Респ. науч.-практ. конф. «Новые медицинские технологии в хирургической и терапевтической практике в Республике Башкортостан». Уфа, 16–17 ноября 2000 г. Уфа: Здравоохранение Башкортостана, 2000. С. 51.
4. Получение низкомолекулярного хитозана и изучение его антимикробных свойств / Е. В. Крыжановская [и др.] // Достиж. науки и техн. АПК. 2008. № 11. С. 45–46.
5. Garner J.P., Heppell P.S.J. Cerium nitrate in the management of burns // Burns 31 (2005) P. 539–547.
6. Прокопчук Н. Р., Кондратенко Г. Г., Прищепенко Д. В., Машель В. В. Модификация нановолокон хитозана солями металлов и изучение их антибактериальных свойств // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнология, геоэкология. № 2 (217) – 2019. – С. 86–89.