

ВЛИЯНИЕ НАНОЧАСТИЦ ПЛАСТИКА НА ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ И МЕТАБОЛИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЛЕГОЧНЫХ ПРЕСНОВОДНЫХ МОЛЛЮСКОВ

Пинчук П.Ю.¹, Вишневская М.В.²,

¹аспирант 2 года обучения, ²аспирант 1 года обучения ВГУ имени П.М. Машерова,

г. Витебск, Республика Беларусь

Научные руководители – Чиркин А.А., доктор биол. наук, профессор,

Критченков А.С., доктор хим. наук

Ключевые слова. Наночастицы пластика, легочные пресноводные моллюски, метаболизм, поведенческие реакции.

Keywords. Plastic nanoparticles, reshwater pulmonate mollusks, metabolism, behavioral responses.

Загрязнение окружающей среды микропластиком и нанопластиком в последние десятилетия стало одной из наиболее актуальных экологических и биомедицинских проблем. Мелкодисперсные пластиковые частицы способны накапливаться в водных экосистемах, подвергаться биотрансформации и оказывать комплексное воздействие на живые организмы, включая беспозвоночных гидробионтов. Особую опасность представляют наночастицы пластика, обладающие высокой проникающей способностью, что приводит к образованию комплексов с биомолекулами и изменяет клеточный метаболизм [1]. Легочные пресноводные моллюски (*Lymnaea stagnalis* и *Planorbarius corneus*) являются удобными модельными объектами для оценки токсичности и метаболических эффектов ксенобиотиков благодаря широкой распространенности, чувствительности к изменениям среды и наличию развитых биохимических систем регуляции углеводного обмена [2]. В частности, уровень глюкозы в гемолимфе и активность ключевых ферментов, таких как лактатдегидрогеназа (ЛДГ) в гепатопанкреасе, служат индикаторами метаболического состояния организма и позволяют определить как торможение, так и адаптивное повышение активности энергетических процессов.

Цель исследования заключается в оценке поведенческих и метаболических эффектов воздействия наночастиц пластика на легочных пресноводных моллюсков *Lymnaea stagnalis* и *Planorbarius corneus* при трехдневной экспозиции в водной среде с различными концентрациями наночастиц.

Материал и методы. Эксперимент проводили на легочных пресноводных моллюсках (*Lymnaea stagnalis* и *Planorbarius corneus*). Всего в исследование включено 120 особей обоих видов. Для акклиматизации животных содержали в течение двух суток в аквариумах с водопроводной водой (температура 23-25 °С, pH 7,2-7,5). Моллюсков кормили сухим комбикормом для аквариумных рыб один раз в сутки. Для минимизации вариабельности брали особей одного размера и массы.

Воздействие наночастиц пластика моделировали путем введения их в водную среду в концентрациях 1 мг/мл, 10 мг/мл и 100 мг/мл. Суспензию готовили в дистиллированной воде с использованием ультразвуковой обработки для предотвращения агрегации частиц. Животные были разделены на четыре группы: контроль и три опытные группы с указанными дозами пластика. Экспозицию проводили в течение трех суток с ежедневным обновлением среды. В ходе опыта фиксировали поведенческие изменения животных, включая общую подвижность.

По завершении эксперимента у моллюсков отбирали гемолимфу, в которой определяли уровень глюкозы стандартным глюкозооксидазным методом. Для исследования ферментативных параметров брали гепатопанкреас, который

гомогенизировали и центрифугировали; полученный супернатант использовали для анализа кинетики лактатдегидрогеназы (ЛДГ). Активность фермента регистрировали фотометрически по изменению оптической плотности при 340 нм. Значения максимальной скорости реакции (V_{\max}) и постоянной Михаэлиса (K_m) рассчитывали с использованием аппроксимации уравнением Михаэлиса-Ментен в программе GraphPad Prism 10.

Результаты и их обсуждение. Воздействие наночастиц пластика оказывало дозозависимый эффект на физиологическое состояние легочных пресноводных моллюсков. При концентрации 1 мг/мл отмечалось лишь небольшое снижение подвижности и кратковременные периоды покоя, тогда как при 10 мг/мл подвижность животных существенно уменьшалась, часть особей длительно находилась у поверхности воды. При 100 мг/мл установлены выраженные изменения поведения: моллюски прекращали активное движение, снижали реакцию на механическое раздражение, у части животных наблюдалось избыточное выделение слизи. Подобные эффекты можно объяснить не только прямым стрессовым воздействием частиц на эпителий, но и возможным образованием агрегатов пластика в воде, которые ухудшают доступ кислорода и усиливают токсический эффект.

Биохимические показатели также отражают напряженность метаболических процессов. Концентрация глюкозы в гемолимфе (таблица 1) у обоих видов моллюсков снижалась при воздействии наночастиц, особенно в группах с высокими дозами.

Таблица 1 – Содержание глюкозы в гемолимфе моллюсков при воздействии наночастиц пластика

Группа	<i>L. stagnalis</i> , (ммоль/л)	<i>P. corneus</i> , (ммоль/л)
Контроль	0,3279	0,6746
Концентрация пластика 1 мг/мл	0,4246	0,5048
Концентрация пластика 10 мг/мл	0,4623	0,5567
Концентрация пластика 100 мг/мл	0,5520	0,5874

У прудовиков при 1 мг/мл уровень глюкозы изменялся незначительно, но при 10 мг/мл и 100 мг/мл он был достоверно выше по сравнению с контролем. У катушек тенденция оказалась сходной, хотя снижение уровня глюкозы проявлялось менее резко. Снижение уровня глюкозы может отражать усиление ее использования тканями в условиях метаболического стресса, что является проявлением компенсаторной перестройки энергетического обмена.

Исследование кинетических параметров ЛДГ в гепатопанкреасе показало существенные изменения фермента (таблица 2).

Таблица 2 – Кинетические параметры ЛДГ в гепатопанкреасе моллюсков при воздействии наночастиц пластика

Группа	<i>L. stagnalis</i> , V_{\max} (мкмоль/мин·мг белка)	<i>L. stagnalis</i> , K_m (мМ)	<i>P. corneus</i> , V_{\max} (мкмоль/мин·мг белка)	<i>P. corneus</i> , K_m (мМ)
Контроль	2,76	0,27	2,75	0,19
Пластик 1 мг/мл	2,46	0,31	2,44	0,27
Пластик 10 мг/мл	2,44	0,35	2,22	0,33
Пластик 100 мг/мл	3,22	0,43	3,26	0,38

У прудовиков в контроле V_{\max} составляет 2,76 мкмоль/мин·мг белка, K_m – 0,27 мМ, что отражает нормальное функционирование фермента при достаточном сродстве фермента к субстрату. При воздействии 1 мг/мл и 10 мг/мл наблюдается снижение V_{\max} до 2,46 мкмоль/мин·мг белка и 2,44 мкмоль/мин·мг белка, а также увеличение K_m до 0,31 мМ и 0,35 мМ соответственно, что указывает на уменьшение эффективности работы фермента. При максимальной дозе (100 мг/мл) V_{\max} возрастает до 3,22 мкмоль/мин·мг белка, а K_m увеличивается до 0,43 мМ.

У катушек исходные параметры ЛДГ близки к таковым у прудовиков (V_{\max} = 2,75 мкмоль/мин·мг белка, K_m = 0,18 мМ). При 1 мг/мл и 10 мг/мл регистрируется снижение V_{\max} до 2,22-2,44 мкмоль/мин·мг белка и повышение K_m до 0,28-0,33 мМ. При концентрации 100 мг/мл V_{\max} увеличивается до 3,26 мкмоль/мин·мг белка, а K_m возрастает до 0,38 мМ. Эти данные подтверждают общую тенденцию: умеренные дозы пластика приводят к угнетению активности ЛДГ, тогда как высокая доза вызывает парадоксальное усиление скорости реакции при ухудшении каталитических свойств.

Заключение. Таким образом, воздействие наночастиц пластика проявляется в углеводном обмене моллюсков в двух основных аспектах: изменении концентрации глюкозы в гемолимфе и перестройке активности ЛДГ. Снижение уровня глюкозы может отражать повышенное ее потребление тканями, что рассматривается как адаптивный механизм поддержания энергетического гомеостаза. Одновременно наблюдаемые сдвиги в кинетике ЛДГ свидетельствуют о существенной нагрузке на метаболическую систему организма. При низких и средних концентрациях преобладает угнетение ферментативной активности, связанное с повреждающим действием частиц пластика, тогда как при высоких дозах наблюдается активация фермента, вероятно, отражающая компенсаторный ответ на энергетический дефицит.

В совокупности эти данные доказывают, что наночастицы пластика способны нарушать ключевые механизмы энергетического обмена у легочных пресноводных моллюсков. Снижение концентрации глюкозы в гемолимфе и изменения кинетики ЛДГ в гепатопанкреасе указывают на взаимосвязанные адаптивные процессы, направленные на поддержание жизнеспособности организма в условиях токсического воздействия.

1. Koelmans A. A. et al. Microplastics in freshwaters and drinking water: Critical review and assessment of data quality //Water research. – 2019. – Т. 155. – С. 410-422.

2. Amorim J. et al. *Lymnaea stagnalis* as a freshwater model invertebrate for ecotoxicological studies //Science of the Total Environment. – 2019. – Т. 669. – С. 11-28.

РАЗВИТИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ КАК ФАКТОР СНИЖЕНИЯ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ПРИРОДУ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Попова Б.И.,

*студентка 2 курса Белорусского государственного университета информатики
и радиоэлектроник, г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель – Основина Л.Г., канд. техн. наук, доцент

Ключевые слова. Возобновляемая энергетика, биомасса, солнечная энергия, ветровая энергия, биогаз, антропогенная нагрузка, экологическая безопасность, снижение выбросов, энергетическая независимость.

Keywords. Renewable energy, biomass, solar energy, wind energy, biogas, anthropogenic load, environmental safety, emission reduction, energy independence.