

вариативность физиологических реакций со стороны отдельных клеток, органов и систем. Выявленные в нашем исследовании изменения концентрации газотрансмиттеров у лиц с различным содержанием аспросина может быть связано с дисбалансом синтеза различных гормонов жировой ткани (адипокинов).

Выводы. Таким образом, на основании проведенных исследований установлено, что у лиц с высоким содержанием аспросина отмечается увеличение концентрации монооксида азота и снижение сероводорода, что может иметь значение для обеспечения процессов переноса кислорода к тканям, развития метаболических нарушений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Голубева М.Г. Стрессогенные нарушения эритроцитов и их коррекция с помощью регуляторных пептидов // Успехи физиологических наук. – 2018. – Т. 49, № 1. – С. 3–10.
2. Зинчук В.В. Кислородтранспортная функция крови и газотрансмиттер сероводород // Успехи физиологических наук. – 2021. – Т. 52, № 3. – С. 41–55.
3. Кузнецова Л.А. Метаболический синдром: влияние адипокинов на L-аргинин-NO-синтаза-NO сигнальный путь // Acta Biomedica Scientifica. – 2021. – Vol. 6, № 2. – С. 22–40.
4. Муравьев А.В. Роль газовых медиаторов (CO, NO и H₂S) в регуляции кровообращения: анализ участия микрореологии клеток крови // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2021. – Т. 20, № 1. – С. 91–99.
5. Пырочкин В.М., Глуткина Н.В. Механизмы транспорта кислорода и свободнорадикального окисления липидов при инфаркте миокарда в сочетании с метаболическим синдромом, сахарным диабетом 2-го типа. – М.: Новое знание, 2014. – 136 с.
6. Рагино Ю.И., Щербакова Л.В., Облаухова В.И. др. Адипокины крови у молодых людей с ранней ишемической болезнью сердца на фоне абдоминального ожирения // Кардиология. – 2021. – Т. 6, № 4. – С. 32–38.
7. Тихомирова И.А., Петроченко Е.П., Петроченко А.С. Сероводород как сигнальная молекула в сердечно-сосудистой системе // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2021. – Т. 20, № 1. – С. 5–16.

МНОГОФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПЕРЕМЕННЫХ СРЕДЫ НА ОБМЕН ВЕЩЕСТВ ЛЕГОЧНЫХ ПРЕСНОВОДНЫХ МОЛЛЮСКОВ

Балаева-Тихомирова О. М.

Витебский государственный университет имени П. М. Машерова, Витебск, Беларусь

Введение. Аллостаза является адаптивным механизмом, при котором стабильность организма достигается посредством физиологических, поведенческих изменений в меняющихся условиях окружающей среды. Данный процесс у животных контролирует внутреннюю жизнеспособность,

приспосабливаясь к предсказуемым и непредсказуемым изменениям, создает хронические реакции. Хроническая активация реакции на стресс при воздействиях внешних факторов среды обитания нарушает гомеостаз системы и создает перенапряжение физиологической системы. Перегрузка аллостазом может быть измерена химическим дисбалансом в вегетативной нервной системе, центральной нервной системе, нейроэндокринной и иммунной системах [1]. Любые воздействия окружающей среды вызывают стандартную стресс-реакцию. При кратковременном воздействии стрессов умеренной интенсивности происходит усиление функционирования органов и мобилизация организма. При интенсивной или длительной стресс-реакции в клетках происходит активация процесса свободно-радикального окисления, внутриклеточная кальциевая перегрузка, угнетение энергопродукции, снижение синтеза белка и денатурация белковых структур. Одними из перспективных объектов для биологического мониторинга являются водные моллюски (*Pl. corneus* и *L. stagnalis*), которые быстро реагируют на изменения окружающей среды, вызываемые как естественными, так и антропогенными факторами. В настоящее время возросла необходимость оценки влияния различных факторов окружающей среды на жизнеспособность организма.

Цель. Оценка влияния физико-химических показателей воды и почвы на биохимические показатели моллюсков используя многофакторный анализ.

Методы исследования. Материалом исследования были почва прибрежной зоны, вода и легочные пресноводные моллюски из 5 водоемов Витебской области, которые отбирались 27 раз из каждого водоема, в течение 3-х сезонов (весна-лето-осень) 2019-2021 годов, по 9 проб в сезон. Общее количество исследований для каждого показателя составляет 135 проб. Исследовались основные диагностические показатели состояния почвы и воды. Спектрофотометрическими и титриметрическими методами были определены 21 показатель среды обитания: в воде 11 показателей (ионы Fe^{3+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , K^+ , Na^+ , Mg^{2+} , NH_4^+ , Ca^{2+}), карбонатная жесткость, общая жесткость, сульфат-ионы (SO_4^{2-}), pH; в почве концентрации ионов (Cu^{2+} , Fe^{3+} , Zn^{2+}) и активность ферментов (каталазы, уреазы, протеазы). У моллюсков *L. stagnalis* и *P. corneus* определялись спектрофотометрическими методами 27 показателей: содержание общего белка, мочевой кислоты, мочевины, глюкозы), общего холестерина, холестерина липопротеинов высокой плотности, триглицеридов, а также активности супероксиддисмутазы, глутатионредуктазы, глутатионпероксидазы, аланин-аминотрансферазы, аспартат-аминотрансферазы, гамма-глутамилтрансферазы. В гепатопанкреасе определяли 14 показателей обмена веществ: содержание общего белка, ДНК, РНК, гликогена, восстановленного глутатиона, ТБК-позитивных веществ, а также активность супероксиддисмутазы, каталазы, глутатионредуктазы, аланин-аминотрансферазы, аспартат-аминотрансферазы и лактатдегидрогеназы. В 5 обследованных водоемов Витебской области в течение 3-х сезонов были определены 315 показателей переменных среды обитания и 810 показателей метаболизма у двух видов моллюсков. Общая база составила 2 835 для показателей окружающей среды и

7 290 – для обмена веществ *L. stagnalis* и *P. corneus*. Анализы выполнены в статистической среде R (пакеты *vegan*, *labdsv* и *car*) [2].

Результаты и их обсуждение. Для выбора соответствующей модели, наиболее адекватно характеризующей отношение между биохимическими показателями моллюсков и физико-химическими показателями почвы и воды, был проведен разведочный анализ. Он включал проверку на выбросы, однородность дисперсии, на соответствие закону нормального распределения, мультиколлинеарность и отношение между зависимой и независимыми переменными. Следующим этапом разведочного анализа была проверка на нормальность распределения, так как это является необходимым условием для линейных регрессионных моделей. Для проверки соответствия зависимой переменной закону нормального распределения использовался тест Шапиро-Уилка. Для выявления переменных с высоким уровнем взаимной корреляции (мультиколлинеарность) был рассчитан фактор инфляции дисперсии (Variation Inflation Factors – VIF). Для устранения этой проблемы одна или более переменных, между которыми выявлена зависимость, исключаются из анализа. В частности, в случае $VIF > 5$ (высокая корреляция), переменные должны быть исключены из анализа. При построении модели с несколькими независимыми переменными следует выяснить тип взаимосвязи каждой из них с зависимой переменной отклика, так как многие статистические анализы требуют линейных связей. Для визуализации данных взаимосвязей использованы диаграммы рассеяния [3]. В ходе разведочного анализа данных выявлено несоответствие зависимых переменных закону нормального распределения, нелинейные отношения между зависимыми и независимыми переменными, а также мультиколлинеарность отдельных независимых переменных. Это обусловило выбор обобщенной модели множественной регрессии (Generalized Linear Models – GLM) с распределением Пуассона (Poisson distribution).

Для оценки влияния физико-химических показателей воды и почвы на биохимические показатели моллюсков, применен регрессионный анализ (обобщенная модель множественной регрессии Generalized Linear Models – GLM) с распределением Пуассона (Poisson distribution). В целях избегания мультиколлинеарности объясняющих переменных был рассчитан фактор инфляции дисперсии (variation inflation factors – VIF), который позволил выявить те из них, которые обладают высокой взаимной корреляцией. В случае $VIF > 5$, переменные исключены из анализа [2]. Переменными, использованными в моделях, были содержание ионов тяжелых металлов и активность ферментов в почве прибрежной зоны водоемов, а также физико-химические характеристики воды. Модель наилучшим образом, описывающую выявленные зависимости, выбирали методом пошагового исключения переменных, основываясь на значении информационного критерия Акаике (Akaike information criterion – AIC). Кроме того, была выполнена проверка на избыточную дисперсию (overdispersion), которая может исказить ход анализа. Если таковая была обнаружена, стандартная ошибка корректировалась выбором распределения квази-Пуассона (quasi-Poisson). Многофакторный анализ

переменных среды на обмен веществ легочных пресноводных моллюсков позволяет сделать выводы: 1. Липидный обмен – обнаружена положительная корреляционная зависимость содержания холестерина в гепатопанкреасе и отрицательная корреляционная зависимость уровня холестерина в гемолимфе от величины рН у обоих видов моллюсков. 2. Углеводный обмен – изучаемые факторы не оказали влияния на содержание глюкозы в гемолимфе, но содержание гликогена в гепатопанкреасе положительно коррелировало с цинком почвы у обоих видов моллюсков. 3. Белковый обмен – между содержанием цинка в почве и количеством общего белка в гемолимфе выявлена прямая зависимость, между активностью каталазы почвы и содержанием белка в гемолимфе – отрицательная зависимость у обоих видов моллюсков. 4. Активность ферментов – содержание цинка в почве прямо пропорционально активности АЛАТ гепатопанкреаса у обоих видов моллюсков. 5. Антиоксидантная система – содержание цинка в почве прямо пропорционально концентрации восстановленного глутатиона в гепатопанкреасе, а активность каталазы почвы и уровень рН обратно пропорциональны содержанию восстановленного глутатиона в гепатопанкреасе; снижение величины рН водной среды обитания и концентрации цинка в почве повышают активность каталазы и содержание малонового диальдегида гепатопанкреаса.

Выводы. Экологическое состояние поверхностных вод, оцененное с использованием обитающих в них легочных пресноводных моллюсков, определяется как минимум: величиной рН, содержанием железа, меди и цинка, активностью каталазы, а в гепатопанкреасе моллюсков – содержанием холестерина, гликогена, общего белка, восстановленного глутатиона, малонового диальдегида, активности АЛАТ. Многофакторный дисперсионный анализ ANOVA позволяет сделать выводы об экологическом состоянии водоемов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Куприянов Р.В., Жданов Р.И. Стресс и аллостаз: проблемы, перспективы и взаимосвязь // Журнал высшей нервной деятельности. – Т. 4, № 1. – 2014. – С. 21–31.
2. Zuur A.F., Ieno E.N., Elphick C.S. A protocol for data exploration to avoid common statistical problems // Methods. Ecol. Evol. – 2010. – Vol. 1. – P. 3–14.
3. Сушко Г. Г. Дисперсионный анализ с использованием программного обеспечения PAST 4.04 // Веснік Віцебскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя П.М. Машэрава. – 2021. – № 1. – С. 64–73.