



### Библиографический список

1. Пономарев С.В., Иванов Д.И. Осетроводство на интенсивной основе. М.: Колос, 2009, -312 с.
2. Неваленный А.Н., Бедняков Д.А., Держинская И.С. Энзимология. -Астрахань: ФГОУ ВПО «Астрахан. гос. техн. ун-т», 2005 -102 с.
3. Уголев А.М., Кузьмина В.В. Пищеварительные процессы и адаптации у рыб. - СПб.: Гидрометеоздат, -1993, -283 с.
4. Неваленный А.Н., Туктаров А.В., Бедняков Д.А. Функциональная организация и адаптивная регуляция процессов пищеварения у рыб. - Астрахань: ФГОУ ВПО «Астрахан. гос. техн. ун-т», -2003. -152 с.
5. Кузьмина В.В. Физиолого-биохимические основы экзотрофии рыб. - М.: Наука, 2005. -300 с.
6. Коростелёв С.Г., Неваленный А.Н. Влияние температуры на пищеварительно-транспортную функцию кишечника карповых рыб // Вопр. ихтиологии. Т. 45. № 2. 2005. - С. 225–235.
7. Кузьмина В.В., Неваленный А.Н. Влияние концентрации водородных ионов на активность карбогидраз пищеварительного тракта рыб // Вопр. ихтиологии. Т. 23. № 3. 1983. - С. 481–490.
8. Кузьмина В.В., Ушакова Н.В. Влияние температуры, pH и тяжелых металлов (медь, цинк) на активность протеиназ слизистой оболочки пищеварительного тракта типичных и факультативных ихтиофагов // Вопр. ихтиологии. Т. 47. № 4. 2007 - С. 566–573.

УДК 519.237:[597-1.044:597.423-113.32]

## АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОСМОЛЯРНОСТИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА АКТИВНОСТЬ КОМПЛЕКСА ПИЩЕВАРИТЕЛЬНЫХ ФЕРМЕНТОВ РУССКОГО ОСЕТРА МЕТОДОМ МНОГОМЕРНОГО ШКАЛИРОВАНИЯ

© 2010 А.В. Туктаров.

Астраханский государственный технический университет

Статья посвящена выявлению особенностей воздействия осмотического давления на комплекс пищеварительных ферментов слизистой оболочки кишечника русского осетра. В качестве основного средства анализа данных и визуализации результатов используется метод многомерного шкалирования. Также проводится нечеткая кластеризация экспериментальных данных. Сделаны выводы о высокой устойчивости исследуемых ферментов к воздействию высоких осмотических нагрузок и чувствительности к малым изменениям осмолярности.

The article is devoted to the exposure of the peculiarities of the influence of osmotic pressure to the complex of digestive enzymes of the intestinal mucous tunic. In the capacity of main mean of data analysis and visualization the method of multidimensional scaling is used. Also fuzzy clustering of experimental data is realized. Concludes about high resistance of researched enzymes to the high osmotic pressure and its sensitivity to the small changes of this factor are done.

**Ключевые слова:** мембранное пищеварение, многомерное шкалирование, осмолярность среды, пищеварительные ферменты, нечеткая кластеризация

**Key words:** membrane digestion

К настоящему времени достаточно подробно изучено значительное число проблем, связанных с механизмами мембранного пищеварения рыб, а также с различными адаптациями пищеварительной системы. Однако остается ряд невыясненных аспектов относительно особенностей адаптаций на уровне ферментных систем. В частности, это касается исследований воздействия на активность пищеварительных ферментов такого важного параметра водной среды как осмолярность. Изучение воздействия данного фактора среды на функциональные характеристики мембранно-связанных ферментных систем требует применения статистических методов обработки массивов данных, сочетающих возможность комплексного анализа многомерных данных, с удобным и лаконичным представлением результатов исследования.



Одним из подобных методов является многомерное шкалирование [1]. Данный инструмент представляет собой один из разделов прикладной статистики и широко используется в современных социологических исследованиях [2,3]. В биологических науках данный метод применяется относительно редко, а его основным назначением, как правило, является визуализация многомерных массивов данных [4,5].

Целью данной работы является комплексный анализ воздействия осмотического давления на функциональные характеристики пищеварительных ферментов русского осетра, а именно  $\alpha$ -амилазы, мальтазы и щелочной фосфатазы слизистых оболочек кишечника и пилорической железы.

Объектами исследования служили половозрелые самки русского осетра (*Acipenser gueldenstaedtii* Brandt), выловленные в Северном Каспии. Определение уровня активности ферментов осуществлялось стандартными физиолого-биохимическими методами [6]. При изучении влияния осмотического давления на указанные ферменты гомогенат и субстрат готовились при помощи растворов хлорида натрия с кратно уменьшающейся концентрацией (20%, 10%, 5%, 2,5%, 1,25%, 1%, 0,5%, 0,25%, 0,1%, 0,05%, дистиллированная вода). Из усредненных значений активности исследуемых ферментов (раздельно для слизистой кишечника и пилорической железы) формировалась матрица сопряженных измерений для каждой из изучаемых концентраций соли. Затем на основе этой матрицы вычислялась матрица различий между переменными. Для вычисления различий использовалась формула евклидова расстояния [1]. Для дальнейшей обработки данных, использовался комбинированный алгоритм неметрического многомерного шкалирования по методикам Гуттмана и Краскала. Для вычисления функции стресса использовалась формула Краскала. Результаты вычислений по алгоритму Краскала также использовались при построении диаграммы Шепарда. По итогам многомерного шкалирования исследуемые данные были обработаны с помощью процедур нечеткой кластеризации методом с-средних.

При обработке методом неметрического многомерного шкалирования экспериментальных данных совокупность изучаемых многомерных переменных содержащих информацию об уровне активности всех исследуемых ферментов слизистой оболочки кишечника и пилорической железы была представлена в виде двумерной карты.

В качестве мер соответствия полученной структуры данных исходной – многомерной, использовались функция стресса Краскала и коэффициент отчуждения. Значения этих показателей составили 0.064 и 0.042 соответственно. Это свидетельствует о высокой степени соответствия полученной и исходной структур данных и, следовательно, об адекватности полученных результатов [1]. С целью дополнительного изучения качества выполненных преобразований по результатам обработки была построена диаграмма Шепарда (рис. 1), также свидетельствующая о хорошем соответствии исходных данных конечной конфигурации точек.

Кластеризация объектов (т.е. результатов экспериментов) по итогам шкалирования проводилась методом нечетких с-средних с заданием 4 кластеров.

Высокая степень обособленности (значение функции принадлежности к отдельному кластеру 0,96) наблюдается лишь для двух крайних значений концентрации – 20% и чистого дистиллята, что свидетельствует о серьезных изменениях функциональных характеристик ферментного комплекса при экстремальных значениях осмолярности. Промежуточное положение между крайними значениями концентраций и их более умеренной частью занимают переменные, содержащие информацию о воздействии на ферменты 10%-й и 0,05%-й концентраций. Первая демонстрирует высокое сродство ко второму кластеру, вторая – к третьему, но вместе с тем оба объекта значительно «размазаны» по всем четырем кластерам.

Анализируя полученные результаты, можно выделить следующие группы данных: 1% и 2,5%; 0,5%, 5% и 0,1%; 0,25% и R (группа физиологической нормы). Переменные 20%, 10%, D и 0,05% групп не образуют (хотя последние 2 переменные можно объединить в отдельный кластер условно, вследствие их большей удаленности от общей совокупности данных). При анализе групп можно отметить, что данные, как правило, расположены друг относительно друга соответственно степени воздействия исследуемого фактора.



Однако данные, содержащие информацию о воздействии различных концентраций, отнюдь не всегда оказываются тем ближе друг к другу, чем меньше разница между этими концентрациями. Соответственно можно говорить об отсутствии между осмолярностью и активностью ферментного комплекса прямо пропорциональной и даже монотонной зависимости. Учитывая данные предыдущих исследований [7], можно сказать, что в данном случае зависимость

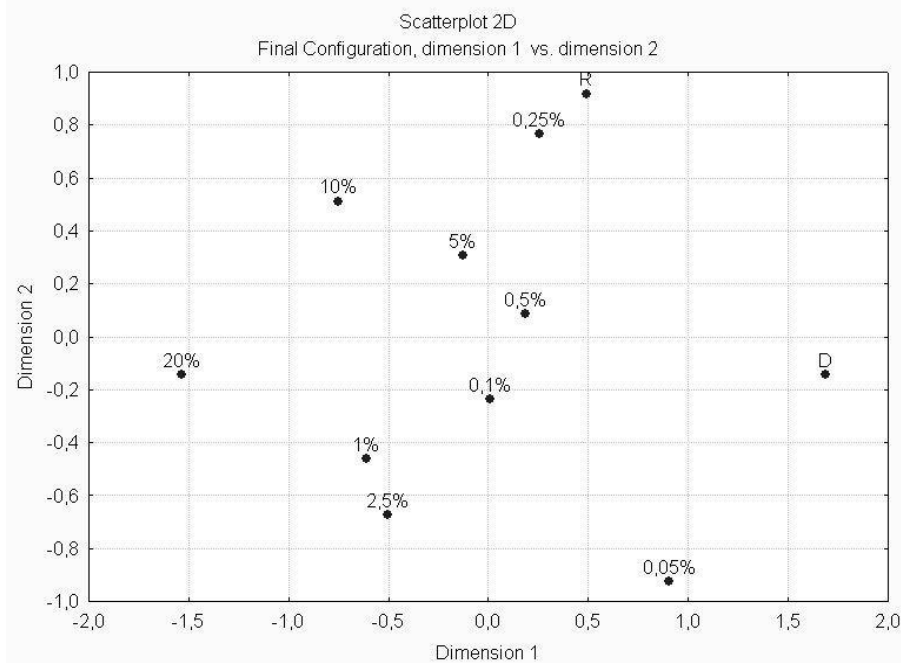


Рисунок 1. Двумерная карта, отображающая расположение экспериментальных данных в пространстве двух координатных осей

между осмотическим давлением среды и функциональными характеристиками ферментного комплекса слизистой оболочки органов пищеварительной системы рыб существует, однако является существенно нелинейной и немонотонной.

Соответственно внутри изначально выделенных при анализе карты групп функциональные характеристики ферментного комплекса менее различны между собой. Это, в принципе, не вызывает удивления, так как выделенные группы образованы данными, относящимися к области умеренных концентраций.

Однако тот факт, что данные относительно 5%-й концентрации ближе к данным 0,1%-й и 0,5%-й, чем к 1%-й и 2,5%-й и значительная удаленность 0,25%-й, 0,5%-й и 1%-й концентраций друг от друга свидетельствует о скачкообразном изменении исследуемых характеристик при монотонном возрастании осмотической нагрузки. Следует заметить, что эффект скачкообразного изменения активности отчасти может быть объяснен экспериментальными условиями, а именно выбранным рядом возрастающих концентраций, однако сама возможность выделения нескольких групп данных свидетельствует о том, что такой эффект проявляется отнюдь не постоянно. Данные, не образующие групп, отражают характеристики ферментов при экстремально высоких, либо низких значениях осмолярности.

Такая картина в совокупности с относительно большими расстояниями между данными R и 0,1, 1 и 2,5%-х концентраций свидетельствует, с одной стороны, о высокой устойчивости пищеварительных ферментов к высоким осмотическим нагрузкам, с другой же – о сильных изменениях активности при небольшом изменении осмолярности среды относительно физиологической нормы.

Таким образом, сохраняя функциональность как таковую в широком диапазоне осмотических воздействий, ферментный комплекс обнаруживает высокую лабильность по отношению к отклонениям осмолярности от физиологической нормы.



### Библиографический список

1. Дэйвисон М. Многомерное шкалирование: методы наглядного представления данных – М.: Финансы и статистика, 1988 – 254 с.
2. Терехина А.Ю. Анализ данных методами многомерного шкалирования. – М.: Наука, 1986. – 168 с.
3. Толстова Ю.Н. Основы многомерного шкалирования – М.: КДУ, 2006 – 160 с.
4. Ципилева Т.А. Методы автоматической классификации в сжатии экологической информации // Алгоритмическое и информационное обеспечение систем экоинформации. – Томск: СО АН СССР, 1989. С. 23-61.
5. Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003 – 463 с.
6. Неваленный А.Н., Бедняков Д.А., Дзержинская И.С. 2005 Энзимология: Учеб. пособие / Астрахан. гос. техн. ун-т. – Астрахань: Изд-во АГТУ – 84 с.
7. Неваленный А.Н., Туктаров А.В., Мартьянов А.С. Использование методов иерархической кластеризации в исследовании активности пищеварительных ферментов русского осетра при различных значениях осмотического давления среды // Вестник Астраханского государственного технического университета – Приложение к № 6(35), 2006 – с. 93 — 99.

УДК 004.9:[597-1.05:574.24]

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ УРОВНЯ АКТИВНОСТИ НЕКОТОРЫХ КАРБОГИДРАЗ РУССКОГО ОСЕТРА ПОД ВЛИЯНИЕМ ОСМОТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ СРЕДЫ С ПОМОЩЬЮ ГИБРИДНЫХ СЕТЕЙ

© 2010 А.В. Туктаров, А.Н. Неваленный, А.С. Мартьянов,  
«Астраханский государственный технический университет»

Статья посвящена задаче имитационного моделирования воздействия осмотического давления окружающей среды на изменение уровня активности мальтазы и  $\alpha$ -амилазы слизистой оболочки кишечника русского осетра. Для ее решения использован аппарат нейронных сетей и нечеткой логики. Построенные в результате модели относятся к классу адаптивных нечетко-нейронных сетей. В результате исследованы закономерности данного воздействия, созданы модели, обладающие высокой аппроксимирующей и обобщающей способностью

The article is devoted to the problem of simulation of the influence environmental osmotic pressure to the activity level of maltase and  $\alpha$ -amylase of intestinal mucous tunic of Russian sturgeon. For the solving of this problem methods of neural networks and fuzzy logic are used. Create models are rated as the category of adaptive neural-fuzzy inference systems. Regularities of this influence were researched; created models have high approximate property and generalize well.

**Ключевые слова:** мембранное пищеварение, гибридные сети, осмотическое давление среды, ферменты, мальтаза,  $\alpha$ -амилаза

**Key words:** membrane digestion, hybrid networks, osmotic pressure, enzymes, maltase,  $\alpha$ -amylase.

В настоящее время различными отраслями экологической физиологии, в том числе имеющими непосредственное отношение к трофологии, накоплен огромный массив данных относительно разнообразных особенностей воздействия абиотических факторов среды на организм. Особенно много информации относительно реакций типа «воздействие - ответ» накоплено относительно физиолого-биохимических «адаптаций элементарных функций, механизмы реализации которых описываются в терминах биохимии» [1]. Выяснение характера подобных воздействий в трофологическом аспекте дисциплины особенно важно для гидробионтов [1,2,3]. Вместе с тем, несмотря на огромное количество описательного материала, на настоящий момент не существует каких-либо моделей, позволяющих прогнозировать изменение количественных показателей, по которым можно судить о характере адаптации хотя бы на биохими-