



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 α -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 α -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, α -амилаза

Key words: membrane digestion, hybrid networks, osmotic pressure, enzymes, maltase, α -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-



ческом уровне. Необходимость же построения таких моделей становится очевидной при имеющейся в современной экологической физиологии рыб тенденции к изучению комплексного воздействия факторов среды на организм, в частности на такие биохимические показатели, как функциональные характеристики ферментных систем [4,5].

Весьма перспективным способом решения этой проблемы является нейросетевой подход [6,7]. Однако накопленные нейронной сетью знания оказываются распределенными между всеми ее элементами, что делает их практически недоступными для наблюдателя.

Нечеткие нейронные сети или гибридные сети объединяют в себе достоинства нейронных сетей и систем нечеткого вывода. С одной стороны, они позволяют разрабатывать и представлять модели систем в форме правил нечетких продукций, которые обладают наглядностью и относительной простотой содержательной интерпретации. С другой стороны, для построения правил нечетких продукций используются методы нейронных сетей, что является более удобным и менее трудоемким процессом [8].

Цель данной работы – построение нечетко-нейронной модели класса ANFIS (adaptive neural-fuzzy inference system) для прогнозирования относительного изменения уровня активности α -амилазы и мальтазы слизистой оболочки кишечника русского осетра (*Acipenser gueldenstaedtii* Brandt) при изменении осмолярности среды.

Объектами исследования служили половозрелые самки русского осетра (*Acipenser gueldenstaedtii*), выловленные в Северном Каспии. При изучении влияния осмотического давления на указанные ферменты гомогенат и субстрат готовились при помощи растворов хлорида натрия с целью получения ряда концентраций этого осмотически активного вещества от нулевой и очень малой (0,05%) до предельной (20%); возрастание концентраций в экспериментах в целом соответствовало ряду геометрической прогрессии со знаменателем 2. Активность ферментов определяли с использованием стандартных физиолого-биохимических методик [9].

Реализация модели осуществлялась в среде MATLAB с использованием пакета расширения Fuzzy Logic Toolbox [10]. Из общего объема экспериментальных данных 15% было зарезервировано для тестовой и контрольной выборок. На оставшихся данных производилось обучение гибридным методом, сочетающим при минимизации среднеквадратической ошибки метод наименьших квадратов и алгоритм обратного распространения ошибки.

Цикл обучения занял 500 эпох. Значение усредненной нормированной среднеквадратической ошибки в конце обучения составило 0,21 при максимально допустимом значении 0,67. При этом на обучающей выборке значение среднеквадратической ошибки составило 0,21, на контрольной и тестовой – 0,25. Результаты обучения показаны на рисунке 1.

Аналогичная сеть была использована также при моделировании воздействия осмолярности на мальтазу кишечника русского осетра, однако структура модели в этом случае была еще менее сложной, задача успешно решалась при наличии в промежуточных слоях сети лишь 5 нейронов.

Весы всех синтезирующихся по результатам обучения правил были приняты равными единице. Цикл обучения занял 152 эпохи. Значение усредненной нормированной среднеквадратической ошибки в конце обучения составило 0,07. Установлено, что менее сложная модель с более коротким циклом обучения также обладает высокой прогностической способностью.

По-нашему мнению, результаты эксперимента свидетельствуют о значительных перспективах гибридного подхода, сочетающего нейросетевое моделирование и математику нечетких систем в исследованиях физиолого-биохимических аспектов адаптации пищеварительной системы гидробионтов (в частности, рыб), при создании прогностических моделей, а также при обобщении и систематизации больших массивов экспериментальных данных. Однако следует заметить, что в данном случае среднеквадратическая ошибка на диапазоне низких значений осмолярности существенно выше, чем для остальной области прогноза (это отчетливо видно на рис. 1). Это свидетельствует о том, что прогноз изменений активности фермента при низких значениях осмолярности среды может оказаться неадекватным. Вероятно, для данного диапазона требуется разработка отдельной нечеткой модели. В целом же в ходе обучения достигается довольно высокая точность аппроксимации исходных данных. Нужно также отметить, что



Рисунок 1. Результаты обучения нечетко-нейронной сети

при данной структуре сети достигается оптимум соотношений погрешности аппроксимации модели, сложности системы логических предикатов первого порядка, составляющих ее базу знаний и времени, затраченного на обучение.

Библиографический список

1. Кузьмина В.В. Физиолого-биохимические основы экзотрофии рыб Ин-т биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина – Москва: Наука, 2005 – 300 с.
2. Голованова И.Л., Таликина М.Г. Влияние низких концентраций хлорофоса в период раннего индивидуального развития на пищеварительные карбогидразы сеголеток плотвы *Rutilus rutilus* // Вопросы ихтиологии. 2006. Т. 46, № 3. С. 412 – 416
3. Голованова И.Л., Таликина М.Г., Филиппов А.А. Отдаленные последствия влияния сверхнизких концентраций хлорофоса и нитрозогуанидина в период эмбриогенеза на физиолого-биохимические показатели сеголеток плотвы «Современные проблемы физиологии и биохимии водных организмов» Материалы 2-ой научной конференции с участием стран СНГ (Петрозаводск, 11 – 14 сентября 2007 г.) Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. С. 42
4. Голованова И.Л. Влияние скорости нагрева воды на активность пищеварительных карбогидраз карпа в различные сезоны года // Тепловодная аквакультура и биологическая продуктивность водоемов аридного климата (2007, Астрахань). Международный симпозиум, 16 – 18 апреля 2007 г.: материалы и доклады – Астрахань: Изд-во АГТУ, 2007. С. 445 – 448
5. Кузьмина В.В., Ушакова Н.В. Процесс экзотрофии у рыб. Влияние тяжелых металлов (Zn, Cu) // Журнал эволюционной биохимии и физиологии, 2008. Т. 44, № 4, - с. 365 - 372
6. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. С. 219 - 341
7. Руанет В.В. Нейросетевые технологии в медико-биологических исследованиях – Тула: Изд-во ТулГУ, 2007 – 194 с.
8. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы – М.: Горячая линия – Телеком, 2006 – 452 с.
9. Неваленный А.Н., Бедняков Д.А., Дзержинская И.С. Энзимология: Учеб. пособие / Астрахан. гос. техн. ун-т. – Астрахань: Изд-во АГТУ, 2005 – 84 с.
10. Дьяконов В.П., Круглов В.В. MATLAB 6.5 SP1/7 SP1/7 SP2 + Simulink 5/6. Инструменты искусственного интеллекта и биоинформатики – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2006 – 456 с.