

Б.Н. Орлов

Зоотоксикология

Ядовитые животные и их яды

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 54
ББК 24
Б11

Б11 **Б.Н. Орлов**
Зоотоксикология: Ядовитые животные и их яды / Б.Н. Орлов – М.: Книга по Требованию, 2013. – 280 с.

ISBN 978-5-458-31970-6

В книге приведены данные о строении ядовитых аппаратов, химической природе и молекулярной структуре токсинов, о механизмах их поражающего действия. Рассмотрены вопросы эволюции, экологии, зоогеографии, классификации ядовитых животных, их охраны и рационального использования. Приведены сведения о применении зоотоксинов в биологии в медицине.

ISBN 978-5-458-31970-6

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2013

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2013

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



Серия Книжный Ренессанс

www.samizday.ru/reprint

ПРЕДИСЛОВИЕ

Среди огромного числа биологически активных веществ природного происхождения одно из центральных мест занимают животные яды, или зоотоксины, — уникальная по химической природе и физиологическому действию группа соединений. С помощью зоотоксинов достигнуты большие успехи в области молекулярной биологии и нейрофизиологии, созданы новые лекарственные и диагностические средства. Нельзя забывать и о высокой токсичности этих соединений и необходимости разработки мер профилактики и лечения отравлений зоотоксинами. Ядовитые животные и их яды находятся сегодня в сфере внимания ученых разных специальностей: зоологов, физиологов, биохимиков, фармакологов, медиков и др. В то же время учебная литература по зоотоксинам практически отсутствует. Имеющиеся монографии либо устарели, либо носят узко специальный характер и не отвечают требованиям, предъявляемым к учебной литературе. Между тем студентов биологических, ветеринарных и медицинских специальностей, подготавливаемых в системе высшей школы, необходимо вооружить знаниями по современным вопросам зоотоксиналогии, которые окажутся полезными как в практической деятельности, так и при работе в научных учреждениях. Авторы надеются, что настоящее пособие, являющееся первым в отечественной учебной литературе, в какой-то мере заполнит образовавшийся пробел.

В материалах XXVI съезда КПСС и постановлении партии и правительства «О дальнейшем развитии физико-химической биологии и биотехнологии и использовании их достижений в медицине, сельском хозяйстве и промышленности» от 24 июня 1981 г. подчеркивается важность изучения биологически активных веществ природного происхождения и их использования в народном хозяйстве. Поэтому при подготовке пособия предпочтение отдавалось наиболее фундаментальным фактам, позволяющим уже сегодня использовать зоотоксины для познания важнейших процессов жизнедеятельности человека, совершенствовать методы профилактики, диагностики и лечения наиболее распространенных заболеваний и разработать на основе зоотоксинов новые и высокоэффективные лекарственные средства.

Особое внимание в книге уделяется молекулярным механизмам воздействия зоотоксинов на клеточные мембраны, что позволяет проникнуть в сущность их взаимодействия с биологическими

объектами. Принимая во внимание большое практическое значение ядовитых животных и их важную роль в биоценозах, в пособии поднимается ряд вопросов, связанных с охраной этих организмов. Учитывая, что многие представители животного мира вырабатывают яды, обладающие высокой токсичностью, в книге приведены сведения об основной симптоматике отравлений и мерах оказания первой помощи при поражениях зоотоксинами.

Для облегчения восприятия и изучения материал излагается в последовательности, принятой при чтении общих курсов зоологии. Этой же цели служат рисунки и схемы, иллюстрирующие внешний вид ядовитых животных, строение ядовитых желез и химическую структуру вырабатываемых ими токсинов. Пособие снабжено предметным указателем и указателем латинских названий животных. В библиографии приведены обобщающие работы советских и иностранных ученых, знакомство с которыми может помочь при изучении конкретных глав пособия. Следует помнить, что пособие рассчитано на студентов, уже имеющих подготовку по общим биологическим дисциплинам (зоологии, биохимии, физиологии) в пределах вузовской программы. Учебное пособие не повторяет, а дополняет материал общих курсов, поэтому при работе с пособием полезно обращаться к главам соответствующих учебников. При написании книги мы опирались на опыт, накопленный в Горьковском государственном университете им. Н. И. Лобачевского при чтении общих и специальных курсов, в которых нашел отражение материал настоящего учебного пособия.

Авторы считают своим приятным долгом выразить искреннюю благодарность доцентам кафедры зоологии Горьковского университета М. А. Кузнецовой и В. А. Ушакову за большую помощь в работе над отдельными главами рукописи, Н. Ф. Васильеву за его труд по подготовке иллюстраций и всем сотрудникам кафедры физиологии и биохимии человека и животных Горьковского университета, а также лаборатории биологически активных веществ НИИ химии при Горьковском университете за помощь в подготовке рукописи к печати. Написанию книги содействовали сотрудники фундаментальной библиотеки и кинофотолаборатории Горьковского университета, которым авторы также благодарны.

Авторы искренне признательны докторам биологических наук И. А. Вальцевой и И. К. Кадырову за их труд по рецензированию данного учебного пособия и сделанные критические замечания.

Авторы

Яд может быть использован для убийства и для лечения больных, но кроме этих двух известных применений есть еще третье, представляющее особый интерес для физиолога. Для него яд становится инструментом, позволяющим разделить и проанализировать наиболее интимные явления в живых структурах. Именно с этой точки зрения я уже давно рассматриваю действие ядовитых веществ.

Клод Бернар

ВВЕДЕНИЕ

Технический и культурный прогресс, достигнутый за последние десятилетия, создал предпосылки для возникновения новых наук и обогащения из биологии и медицины ряда специальных дисциплин, в том числе и зоотоксикологии.

Предметом изучения *зоотоксикологии* * являются яды, вырабатываемые различными животными, их химическая природа и механизмы токсического действия на организм человека и животных. В круг задач зоотоксикологии входит также изучение особенностей биологии, экологии и физиологии ядообразующих животных, исследование ядов как химических факторов эволюции живых организмов, использования зоотоксинов в фундаментальных исследованиях в биологии и медицине, а также вопросы их практического применения. Зоотоксикология — составная часть *токсикологии* — науки, изучающей природные яды (животного, растительного и микробного происхождения). Исторически природные яды были вначале предметом *токсикологии* — науки об органических и неорганических ядах и механизмах их поражающего действия. Возраст токсикологии насчитывает немногим более 100 лет, она включает в себя токсикологию медицинскую, промышленную, пищевую, военную и др. По мере накопления фактических данных о природных ядах возникла необходимость в качественном переосмысливании этого материала. Стало очевидным, что раскрытие механизмов действия природных ядов должно базироваться на понимании биологических особенностей ядообразующих организмов. С другой стороны, прогресс в этой области невозможен без достижений биоорганической химии, успехи которой позволили установить молекулярную структуру многих зоотоксинов. Как и все новые науки, зоотоксикология является по своей сущности междисциплинарной. Возникшая на стыке таких экспериментальных и теоретических дисциплин как молекулярная биология, зоология, физиология, биохимия, патофизиология,

* От «зоо» (греч.) — животное; «токсин» — из интернациональной научной лексики, восходящий к «токсикон» (греч.) — яд и «логия» (греч.) — учение.

токсикология и фармакология, зоотоксикология развивается при-
сущим ей путем, обобщая опыт смежных с ней дисциплин и в то
же время обогащая их.

Выявление закономерностей и специфических черт в организа-
ции и развитии живой природы — задача, последовательно решаемая
биологией на протяжении всей истории ее существования. Каждый
конкретно-исторический период развития науки биологии
ставил перед учеными свои проблемы, возникающие из суммы
накопленных знаний как в самой биологии, так и в смежных
науках. С этой точки зрения ядовитость, как свойство живой ма-
терии, с древнейших времен находится в сфере внимания ученых.
Яды как оружие, яды как целебные вещества, поиск новых ядов и
эффективных противоядий — вот далеко не полный перечень во-
просов, над которыми веками работали ученые в разных странах.

Становление зоотоксикологии как самостоятельной научной
дисциплины относится к настоящему времени, но своими корнями
она уходит в глубокую древность. В мифологии и исторических
хрониках нашел свое отражение многовековой опыт общения лю-
дей с ядовитыми животными. Не случайно эмблема медицины —
чаша, обвитая змеей Эскулапа. Змеепоклонство в Древней Греции
нашло воплощение в античных скульптурах, изображавших богов
вместе со змеями, например бога врачевания Эскулапа, богини
здоровья Гигиены, богини мудрости Афины.

Большой вклад в учение о ядовитых животных и их ядах сде-
лали ученые Востока и, в первую очередь, гениальный ученый и
врач-энциклопедист Авиценна (980—1037). На протяжении шести-
сот лет, вплоть до XVIII в., его замечательный труд «Канон вра-
чебной науки» считался основным пособием для врачей Европы.
Канон Авиценны — энциклопедия медицинской науки, поставив-
ший имя автора в один ряд с Гиппократом и Галеном. Впервые
Канон был издан на латинском языке в 1483 г. В шестой части
Канона, озаглавленной «Общее рассуждение о ядах», приводятся
сведения о ядовитых животных, их ядах и методах лечения от-
равлений*. Другой фундаментальный труд принадлежит последо-
вателю Авиценны — Зануддину Абу Ибрахим Джурджани, кото-
рый в 1100 г. написал сочинение «Сокровище Хорезмшаха». Одна
из книг этого многоотомного труда также посвящена укусам ядо-
витых животных**.

Средневековая Европа, находившаяся под гнетом мракобесия
и инквизиции, мало что сделала для развития научной мысли.
Оживление всех сторон общественной жизни, наступившее в эпоху
Возрождения, не могло не коснуться и исследований по зооток-
сикологии. В XVI в. в Антверпене выходит книга Гревина «Deux
livres des venins» (1568). В 1767 г. итальянский ученый Фонтана

* Старков О. А. Паразиты и ядовитые животные в «Каноне врачебной нау-
ки» Абуали ибн-Сино. Душанбе, «Дониш», 1980.

** Перфильев П. П., Баркаган З. С. К истории изучения ядовитых живот-
ных. Труды Института истории естествознания и техники АН СССР (история
биол. наук), т. 16, вып. 3. М. — Л., 1957.

публикует в Лукке свой труд о яде гадюк «*Ricerche filosofiche sopra il veleno della Vipera*». В это же время венский врач Лауренти представляет в качестве докторской диссертации свой труд по герпетологии*. В XIX в. увеличивается число работ по изучению ядовитых животных и их ядов. Русский морской врач П. Н. Савченко, совершивший в 1877 г. кругосветное путешествие на корабле «Гайдамак», собрал большой материал по отравлениям морскими животными, и в 1886 г. был издан его «Атлас ядовитых рыб с описанием их вида, действия яда на организм человека и указанием противоядий». Савченко один из первых дал научное описание отравления рыбой фугу (*Tetraodon*). В 1888 г. австрийский врач Терч публикует свои наблюдения о лечении ревматических заболеваний пчелужалениями. Во Франции плодотворно работают Кальметт, создавший первую противозменную сыворотку, и супруги Мари и Цезарь Физали. В 1922 г. М. Физали издает в Париже фундаментальное двухтомное руководство по ядовитым животным и их ядам «*Animaux venimeux et venins*». Не представляется возможным даже простое перечисление наиболее крупных работ по зоотоксинам, появившимся в начале XX в.

Большой вклад в развитие зоотоксикологии внесли русские и советские ученые. У истоков этих работ стоял ученый с мировым именем, блестящий зоолог и паразитолог академик Евгений Никанорович Павловский (1884—1965). Сразу же после Великой Октябрьской социалистической революции Павловский вместе со своим учителем профессором Н. А. Холодковским разработал план пятилетнего руководства по медицинской зоологии, второй том которого был посвящен ядовитым животным. Трудности того времени помешали осуществить задуманное полностью, но в 1918 г. Павловский за 8 месяцев написал второй том, который вышел в 1927 г. под названием «*Die Gifttiere and ihre Giftigkeit*» и сразу же завоевал всеобщее признание. В этой книге он заложил основы учения о ядовитых животных и обосновал принципы их классификации.

В дальнейшем Павловским был написан целый ряд книг о ядовитых животных Советского Союза и сопредельных стран (1931, 1932, 1950). Работы Павловского в этом направлении продолжили его ученики и последователи. Значительный вклад в развитие идей своего учителя в 50—60-х годах внес чл.-кор. АМН СССР проф. Ф. Ф. Талызин, который в основном посвятил свои исследования выяснению механизмов действия на организм ядов змей и разработке противозменных сывороток. Талызин был также прекрасным популяризатором науки о ядовитых животных суши и моря.

Особо следует сказать о трудах ленинградского проф. С. В. Пигулевского, который выпустил 2-томную монографию о ядовитых

* П. В. Терентьев (1961) указывает, что действительным автором этой работы был студент Винтрель, продавший Лауренти свою рукопись. Тем не менее традиционно считается, что работа Лауренти — первый научный труд по герпетологии — науке о пресмыкающихся и земноводных.

позвоночных и беспозвоночных животных (в 1966 г. — 1-й том и в 1975 г. — 2-й том). Эта книга привлекла внимание ученых разных специальностей к проблемам зоотоксикологии. Написанная на основе обширного фактического материала, эта работа и теперь представляет интерес, особенно в фаунистическом плане — описания самих ядовитых животных. Что касается сведений о химическом составе ядов, структуре токсинов и механизмов их действия, то они подверглись коренному пересмотру.

В настоящее время по подсчетам Злоткина (1979) во всем мире по различным аспектам зоотоксикологии публикуется в год около 10 000 экспериментальных и клинических работ. Это прежде всего свидетельствует об огромном интересе ученых разных стран к ядовитым животным и их ядам. Однако обобщающих сводок и монографий по затронутым вопросам выпускается крайне мало, не говоря уже об учебной литературе. Из зарубежных крупных работ в этом направлении следует отметить фундаментальную 3-томную монографию Холстеда «Poisonous and venomous marine animals of the world», которая может служить своеобразной энциклопедией по морской токсикологии, а также 3-томное коллективное руководство «Venomous animals and their venoms» (под редакцией Бюхерла и Бакли).

Зоотоксикология — обширное поле деятельности для молодых специалистов, которые могут внести свой достойный вклад в изучение природных биологически активных веществ и расширить сферу их применения на благо человека.

1.1. ТОКСИНОЛОГИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ЯДОВИТЫХ ЖИВОТНЫХ. ВОПРОСЫ ТЕРМИНОЛОГИИ

Определения и классификация. *Ядовитость* — универсальное явление в живой природе. Среди животных организмов ядовитые формы встречаются практически во всех таксонах. Ядовиты очень многие растения. Хорошо известна высокая токсичность бактериальных ядов. Биологическая ядовитость имеет относительный характер. Павловский (1950) писал: «Ядовитость животного является свойством относительного значения: оно проявляется лишь при действии ядовитого животного на какой-либо другой организм, становящийся объектом действия яда». Таким образом, яды, вырабатываемые теми или иными организмами, служат химическими факторами, участвующими в межвидовых (или аллелохимических) взаимодействиях (Барбье, 1978). Примеры использования химических веществ для нападения или защиты встречаются на всех ступенях эволюционного развития. Уиттейкер и Фини (1971) предложили вещества, участвующие в аллелохимических взаимодействиях и приносящие пользу организму-продуценту, называть *алломонами*. К их числу относятся:

1. Отпугивающие вещества. 2. Вещества, прикрывающие бегство (чернильная жидкость у головоногих). 3. Супрессоры (антибиотики). 4. Яды. 5. Индукторы (вызывают образование галлусов, узелков и т. д.). 6. Противоядия. 7. Приманки (привлекают добычу к организму-хищнику).

Экологический подход к проблеме ядовитости — это прежде всего подход общебиологический, позволяющий связать воедино особенности биологии данного вида со спецификой химической структуры и механизма действия вырабатываемого им яда. Природа дает нам огромное разнообразие примеров химии ядов, их токсичности, способов и мест образования в теле организма-продуцента, а также приемам использования. Наряду с различиями существуют и черты общности, позволяющие сгруппировать ядовитых животных по определенным признакам. Павловский (1950) предложил всех ядовитых животных разделить на две большие группы: первично-ядовитые и вторично-ядовитые. К *первично-*

ядовитыми относят животных, вырабатывающих ядовитый секрет в специальных железах или имеющих ядовитые продукты метаболизма. Как правило, ядовитость первично-ядовитых животных является видовым признаком и встречается у всех особей данного вида. Ко **вторично-ядовитым** относят животных, аккумулирующих экзогенные яды и проявляющих токсичность только при приеме их в пищу. Примером тому могут служить пластинчатожаберные моллюски, накапливающие в своем теле яд некоторых динофлагеллят; насекомые, питающиеся на ядовитых растениях; рыбы, вызывающие отравления типа синуатера и др.

Первично-ядовитые животные различаются по способам выработки яда и его применения и делятся на активно- и пассивно-ядовитых. **Активно-ядовитые** животные, имеющие специализированный ядовитый аппарат, снабженный ранящим устройством, называются **вооруженными**. В типичном случае ядовитый аппарат таких животных имеет ядовитую железу с выводным протоком и ранящее приспособление: зубы у рептилий, жало у насекомых, колючки и шипы у рыб. В деталях строение ядовитого аппарата может варьировать, однако для всех вооруженных животных характерно наличие ранящего приспособления, позволяющего вводить ядовитый секрет в тело жертвы парентерально, т. е. минуя пищеварительный тракт. Такой способ введения яда следует признать наиболее эффективным для ядообразующего организма. Другую группу активно-ядовитых животных составляют организмы, ядовитые аппараты которых лишены ранящего приспособления — **невооруженные** ядовитые животные. Примерами могут служить кожные железы амфибий, анальные железы насекомых, Кювьеровы органы голотурий. Ядовитые секреты таких желез вызывают токсический эффект при контакте с покровами тела жертвы. Чем энергичнее идет всасывание ядов с таких покровов (особенно слизистых), тем эффективнее его действие. У **пассивно-ядовитых** животных ядовитые метаболиты вырабатываются в организме и накапливаются в различных органах и тканях (пищеварительных, половых), как, например, у рыб, хвостатых амфибий, моллюсков, насекомых. Таким образом, токсикологическая классификация ядовитых животных может быть представлена в следующем виде:



Пассивно-ядовитые и вторично-ядовитые животные представляют опасность только при попадании в пищеварительный тракт, однако существенным различием между ними является постоян-

ство ядовитости (видовой признак) для первых и ее спорадический характер для вторых. Приведенная классификация ядовитых животных не единственная, существуют и другие варианты (см.: Пигулевский, 1975; Барбье, 1978), однако в книге мы будем придерживаться этой классификации.

Терминология. Важной проблемой для зоотоксикологии, как и для любой другой дисциплины, является вопрос терминологии. *Термины* — это язык науки, и наука не может развиваться без своего языка и четкого словаря. При описании ядовитых животных и продуцируемых ими биологически активных веществ наиболее часто приходится оперировать терминами «яд» и «токсин». Являются ли они синонимами или же несут разную смысловую нагрузку? Токсикологи к ядам относят химические соединения, отличающиеся высокой токсичностью, т. е. способные в минимальных количествах вызывать тяжелые нарушения жизнедеятельности (отравление) или гибель животного организма. Токсинами традиционно называют белковые вещества, образующие преимущественно микроорганизмами и некоторыми животными и обладающие ядовитым действием. Одним из характерных качеств токсинов считается наличие антигенных свойств. Значительное расширение числа токсинов, выделенных из природных объектов, среди которых оказалось и много небелковых, заставляет пересмотреть критерия термина «токсин». В настоящее время термин «токсин» чаще всего относят к индивидуальному химическому веществу (независимо от его природы), выделенному из того или иного яда или тканей ядовитого животного. Тем самым разграничивается действующее начало яда и целый яд, являющийся, как правило, многокомпонентной смесью различных биологически активных веществ. Обычно термин «яд» применяют к секретам специализированных ядовитых желез животных (змей, насекомых, амфибий и пр.). В свою очередь слово «токсин» широко используется при образовании новых терминов, подчеркивающих источник происхождения данного токсина (зоотоксины, фитотоксины, тетродотоксин, аплизатоксин, батрахотоксин) либо особенности его физиологического или фармакологического эффекта (нейротоксины, цитотоксины, кардиотоксины).

Учитывая сложившуюся в токсикологии практику употребления термина «токсин», мы будем понимать под этим названием индивидуальное химическое соединение природного происхождения, характеризующееся высокой биологической активностью (токсичностью).

1.2. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ ЗООТОКСИНОВ

Экспериментальное изучение зоотоксинов связано с двумя основными направлениями: изучением химической природы зоотоксинов и выяснением механизмов их токсического действия. Эти два направления — химическое (биохимическое) и патофизиологическое взаимосвязаны, поскольку механизм действия химического соединения в первую очередь обуславливается особенностями его структуры. Принцип «от структуры токсина к функции» должен быть руководящим при изучении зоотоксинов. Однако нередко сложность структуры того или иного токсина превышает разрешающую способность химических методов на данный период. В таких случаях сведения об особенностях фармакологического эффекта могут дать косвенную дополнительную информацию о строении

молекулы токсина либо его активного центра. Установление химической структуры зоотоксинов — одна из наиболее сложных задач химии природных соединений. Прежде чем в пробирке химика окажется индивидуальный токсин, необходимо затратить очень много времени и сил, большая часть которых уходит на очистку исходного продукта (яда или экстракта тканей), выделение из него активных фракций, получение химически гомогенных веществ с их последующей идентификацией. Прогресс в области изучения химического состава зоотоксинов и установления структуры индивидуальных токсинов стал возможен в результате привлечения к этим исследованиям хорошо оснащенных лабораторий. В СССР основной вклад в химию зоотоксинов сделан учеными Института биоорганической химии им. М. М. Шемякина АН СССР (Москва) и Института биохимии и биоорганической химии АН УзССР (Ташкент).

Изучение механизмов действия зоотоксинов основано на классических методах токсикологии, фармакологии, физиологии, биохимии и других наук, позволяющих количественно оценить действие токсинов как на организм в целом, так и на его отдельные функциональные системы и органы. Наиболее важные характеристики зоотоксинов можно получить при изучении их токсикометрии, фармакокинетики и фармакодинамики.

Токсикометрия. В токсикометрии зоотоксинов важнейшей их характеристикой является токсичность — свойство химического вещества в минимальном количестве вызывать патологические изменения, ведущие к нарушению основных процессов жизнедеятельности организма и приводящие к его гибели. Токсичность — один из основных количественных параметров, отражающих биологическую активность зоотоксинов. В современной токсикологии и фармакологии токсичность принято выражать в величинах, кратных *средней смертельной дозе* (DL_{50}), т. е. дозе, вызывающей гибель 50% экспериментальных животных в течение фиксированного интервала времени (обычно 12 или 24 ч). Следует заметить, что DL_{50} — частный случай *средней эффективной дозы* ED_{50} , вызывающей изучаемый эффект в 50% случаев. Последняя в различных вариантах довольно часто используется в токсикологических исследованиях, когда для выявления специфического эффекта удобнее регистрировать не смертность, а нарушение или выключение какой-либо физиологической функции. При характеристике токсичности экстрактов тканей или органов ядовитых животных часто пользуются *мышинными единицами* (м. е.) — количеством вещества, которое необходимо, чтобы убить мышь массой 20 г в течение 20 мин. Обычно активность экстракта выражают в количестве м. е., содержащихся в 1 мг продукта. Например, количество тарихотоксина из яиц калифорнийского тритона *Taricha torosa* составляет 3000 м. е./мг. Это означает, что 1 мг вещества достаточно, чтобы убить 3000 мышей массой 20 г.

Из-за высокой токсичности зоотоксины иногда включают в группу ультраядов — химических веществ, токсичность которых