

УДК 636.7.088:577.112.387.3

06.02.10 – Частная зоотехния, технология производства продуктов животноводства (сельскохозяйственные науки)

ТИРОЗИН И ЕГО РОЛЬ В ПОВЕДЕНИИ И ОБУЧЕНИИ СОБАК

Баюров Леонид Иванович
к. с.-х. н., доцент
SPIN-код: 3777-5470, AuthorID: 270952
Тел.: 8(918) 413-51-86
E-mail: leo56@mail.ru

Михеева Ксения Денисовна
магистрант факультета зоотехнии
SPIN-код: 9750-3933, AuthorID: 1117891
Тел.: 8(938)475-49-26
E-mail: misenia@mail.ru

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», 350044, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. Калинина, 13

Тирозин – важная аминокислота, которую организм вырабатывает из фенилаланина. Организм нуждается в тирозине для многих функций. В частности, он тесно связан с функционированием нервной системы, обменом веществ и регуляцией настроения, необходим для выработки химических веществ в мозге, которые помогают регулировать чувствительность к боли и аппетит. Кроме того, тирозин помогает организму адекватно реагировать на стресс и необходим для нормального функционирования щитовидной железы, надпочечников и гипофиза. Нейротрансмиттеры контролируют у животных восприятие окружающей среды и взаимодействия с ней. Тремя ключевыми из них являются дофамин, норадреналин и адреналин. Для выработки этих важных химических веществ организму необходимы фенилаланин и тирозин. Дефицит любой из этих аминокислот может привести к психическим расстройствам, таким как депрессия и беспокойство. Во многих исследованиях изучалось, как L-тирозин может уменьшить стресс. Исследования на животных показали, что стресс приводит к снижению концентрации важных нейротрансмиттеров. Однако после приема добавок с тирозином восстанавливается нормальная активность нейротрансмиттеров и повышается работоспособность. Исследования на людях также выявили положительную корреляцию между добавками в диету тирозина и умственной работоспособностью. Данное исследование предполагает, что L-тирозин может помочь уменьшить влияние стрессоров на поведение и когнитивные способности собак

UDC 636.7.088:577.112.387.3

06.02.10 – Private zootechnics, technology of production of animal products (agricultural sciences)

TYROSINE AND ITS ROLE IN DOG BEHAVIOUR AND TRAINING

Bayurov Leonid Ivanovich
Cand.Agr.Sci., associate Professor
RSCI SPIN-code: 3777-5470, AuthorID: 270952
Tel.: 8(918) 413-51-86
E-mail: leo56@mail.ru

Mikheeva Ksenia Denisovna
undergraduate of the Faculty of Zoo-Technology
RSCI SPIN-code: 9750-3933, AuthorID: 1117891
Tel.: 8(938)475-49-26
E-mail: misenia@mail.ru
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin”, Krasnodar, Russia

Tyrosine is an important amino acid that the body produces from phenylalanine. The body needs tyrosine for many functions. In particular, it is closely related to the functioning of the nervous system, metabolism and mood regulation, and is necessary for the production of chemicals in the brain that help regulate sensitivity to pain and appetite. In addition, tyrosine helps the body to respond adequately to stress and is necessary for the normal functioning of the thyroid gland, adrenal glands and pituitary gland. Neurotransmitters control the perception of the environment and interaction with it in animals. The three key ones are dopamine, norepinephrine and adrenaline. To produce these important chemicals, the body needs phenylalanine and tyrosine. Deficiency of any of these amino acids can lead to mental disorders such as depression and anxiety. Many studies have investigated how L-tyrosine can reduce stress. Animal studies have shown that stress leads to a decrease in the concentration of important neurotransmitters. However, after taking tyrosine supplements, the normal activity of neurotransmitters is restored and efficiency increases. Human studies have also revealed a positive correlation between tyrosine supplements in the diet and mental performance. This study suggests that L-tyrosine may help reduce the effects of stressors on dogs' behavior and cognitive abilities

Ключевые слова: СОБАКИ, ТИРОЗИН, НЕЙРО-
ТРАНСМИТТЕРЫ, ПОВЕДЕНИЕ, ВНИМАНИЕ,
ОБУЧЕНИЕ

Keywords: DOGS, TYROSINE, NEUROTRANS-
MITTERS, BEHAVIOR, ATTENTION, TRAIN-
ING

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-185-002>

Введение. При обучении мотивация является одним из важнейших факторов, влияющих на концентрацию внимания и усвоение информации. Известно, что ряд ароматических аминокислот в мозге является предшественниками моноаминовых нейротрансмиттеров, серотонина и катехоламинов – дофамина (DA), норадреналина (NA) и адреналина (AD). Эта биохимическая связь представляет интерес, поскольку скорость синтеза и высвобождения этих передатчиков напрямую зависит от концентрации в мозге их предшественников – аминокислот триптофана, фенилаланина и тирозина. Последний обычно содержится в высоких концентрациях в пище с высоким содержанием белков. Физиологические и патофизиологические факторы, которые влияют на концентрацию в крови этих аминокислот, конкурирующих с ними за общий транспорт через гематоэнцефалический барьер, предсказуемо изменяют концентрации ароматических аминокислот в головном мозге, с учетом образования и высвобождение этих моноаминовых передатчиков (трансммиттеров) и, следовательно, функций мозга [5].

Обсуждение. Известно, что тирозин – это ароматическая условно незаменимая α -аминокислота, способствующая повышению уровня катехоламинов в головном мозге. Его название происходит от греческого τυρός – «сыр», так как впервые тирозин был обнаружен в казеине сыра немецким химиком Юстусом фон Либихом (1846). Исследования показывают, что тирозин способствует повышению умственной работоспособности, улучшает рабочую память, повышает внимание, способность переключаться между задачами, снижает развитие усталости, когда деятельность мозга ухудшается из-за действия различных стрессоров. Тирозин и фенилаланин являются аминокислотами, поступающими с кормовыми белками и после

<http://ej.kubagro.ru/2023/01/pdf/02.pdf>

их гидролиза активно всасываются в тощей кишке, а также в проксимальных извитых канальцах нефронов почек. Фенилаланин является незаменимой аминокислотой и способен превращаться в тирозин. Его содержание обеспечивает половину общей потребности в фенилаланине в рационе, поэтому при расчете суточной потребности обе эти аминокислоты учитываются вместе. В печени фенилаланин превращается в тирозин под действием фермента тирозингидроксилазы. Внесение с пищей тирозина может «сэкономить» часть фенилаланина с учетом суточной потребности в нем [13]. Начальная стадия получения катехоламинов в мозге включает гидроксилирование фенилаланина с помощью фермента тирозингидроксилазы до ди-гидроксифенилаланина (L-диоксифенилаланина). Затем он декарбоксилируется в дофамин (DA) (рис. 1).

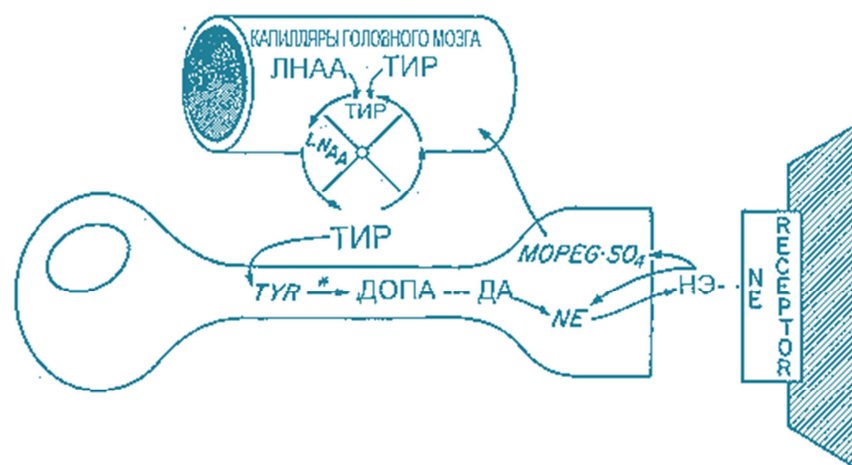


Рисунок 1 – Схема утилизации тирозина нейронами головного мозга и синтеза дофамина (DA) и норадреналина (NE) [6]

Ранее читалось, что он является только предшественником норадреналина (NA), но в 1957 г. будущий лауреат Нобелевской премии по физиологии и медицине (2000) шведский фармаколог Арвид Карлссон доказал, что и сам дофамин является важным нейротрансмиттером.

В нейронах, которые используют дофамин в качестве трансммиттера, его дальнейшей трансформации не происходит. В составе нейронов, использующих NA в качестве трансммиттера, содержится фермент дофамин-

β -гидроксилаза, который переводит DA в NA. Нейроны, использующие AD в качестве передатчика, содержат фенилэтаноламин-N-метилтрансферазу – фермент, способствующий превращению NA в AD [8]. Он обнаруживается, главным образом, в мозговом веществе надпочечников, а также преобразуется в ряде нейронов головного мозга [12] и в отдельных субпопуляциях кардиомиоцитов [9].

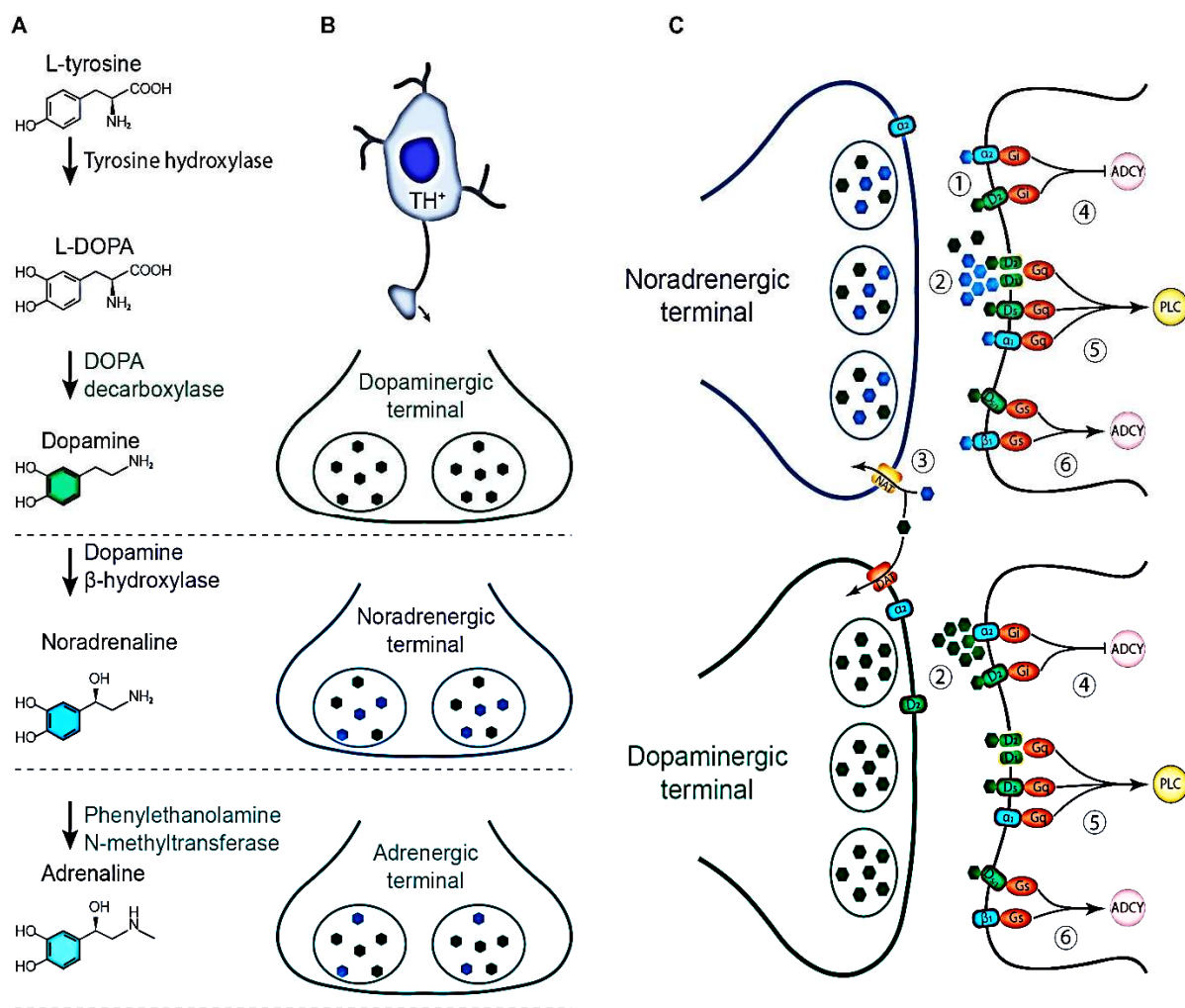


Рисунок 2 – Общие внутриклеточные сигнальные пути:

A – синтез катехоламинов из L-тирозина; B – схема положительного по тирозингидроксилазе (TH⁺) нейрона и его аксональных окончаний, содержащих различную комбинацию катехоламинов, в зависимости от типа нейрона; C – норадренергические и дофаминэргические терминалы: 1 – совместное высвобождение дофамина (зеленый цвет) и норадреналина (синий) и их связывание специфическими рецепторами нейрон-«мишеней»; 2 – неспецифическое связывание при высоких концентрациях; 3 – неспецифическая функция транспортера. NAT – переносчик норадреналина; DAT – переносчик дофамина; 4–6 – внутриклеточные пути, разделяющиеся норадренергическими и дофаминэргическими рецепторами. ADCY – аденилициклаза; PLC – фосфолипаза C.

Ароматические аминокислоты в мозге являются предшественниками моноаминовых нейротрансмиттеров – серотонина и катехоламинов: дофамина, норадреналина и адреналина (рис. 2). Более высокий уровень НА и/или АД может указывать на повышенное волнение или отвлечение внимания, тогда как умеренное увеличение катехоламинов может стать важным условием для лучшей подготовки собак.

Введение с кормом тирозина повышает уровень тренированности у собак. Следовательно, достаточный уровень катехоламинов в нейронах головного мозга является важным фактором при дрессировке с поддержанием высокого уровня внимания.

В современной нейробиологии необходимо понимать различия в поведении, познании и эмоциях, заложенных в организмах нейронными механизмами. В недавнем исследовании, проведенном группой американских ученых, был произведен МРТ-анализ строения нейронных сетей головного мозга у 33 пород собак.

Так, сеть 1 состоит из прилежащего, дорсального и вентрального хвостатых ядер, поясной и прямой извилин и обонятельного стебля. Эти образования тесно связаны с мезолимбической системой вознаграждения, которая формирует и осуществляет передачу импульсов, формирующихся в процессе обучения, подкрепления и мотивацией в целом. Хвостатые ядра при этом важны как для пищевого, так и социального стимулирование со стороны человека [2, 3].

Сеть 2 включает области мозга, участвующие в обонянии и вкусе, в том числе грушевидную долю, которая содержит обонятельную кору, а также островок и псевдосильвиеву бороздку, где локализованы корковые центры вкусового анализатора [4].

Этот компонент также включает области медиальной лобной коры, которые участвуют в обработке хемоощущения ниже по течению или более высокого порядка и проявляют активацию в ответ на обонятельную

стимуляцию у бодрствующих, но не находящихся под седативным действием [11].

Предполагается, что эта сеть поддерживает произвольные ответы на вкусовые и запаховые раздражители (в отличие от чисто инстинктивных).

Сеть 3 включает распределенную сеть подкорковых областей, которые участвуют в локомоторных актах, движении глаз, зрении, пространственной навигации, включая латеральное коленчатое ядро, гиппокамп, мозжечок, глазодвигательное ядро, межножковое ядро, вентральную область покрышки и черную субстанцию. Она также включает медиальную часть лобной извилины (дополнительная моторная область) и латеральную извилину (зрительная зона коры).

Сеть 4 объединяет области коры более высокого порядка, которые могут участвовать в социальных действиях и взаимодействиях. В перекрестовидной и прореевой извилинах находятся премоторная и префронтальная кора, тогда как прямая извилина является частью медиальной префронтальной коры. Расширение лобной коры связано с эволюцией и повышенной социальностью у современных видов псовых [10].

Сеть 5 включает лимбические области, играющие определенную роль при проявлении страха, испуга, стресса и тревоги, включая гипоталамус, миндалевидное тело, гиппокамп и прилегающие зубчатые извилины. Эти зоны обеспечивают гуморальные и поведенческие реакции на стрессы окружающей среды. Некоторые из них участвуют также в других аффективных и инстинктивных процессах, включая память и агрессию.

Сеть 6 включает в себя области ранней сенсорной обработки обонятельного и зрительного анализаторов, обонятельную ножку и часть латеральной извилины, в которой локализована первичная зрительная кора [4].

Из всех перечисленных сетей в функциональном отношении наиболее важной при обучении является сеть 1, которая тесно связана с мезо-

лимбической системой, участвующей в формировании и передаче сигналов вознаграждения при пищевом подкреплении.

У различных пород собак могут происходить генетические мутации в рецепторах дофамина, что может стать причиной возникновения различных изменений в поведенческой деятельности обучаемых собак: снижению повышенной возбудимости и недостатку внимания [1].

Целью нашего исследования стало изучение влияния тирозина на поведение и обучение собак разного происхождения на базе приюта «Краснодог» (г. Краснодар).

В ходе исследования решались следующие задачи:

- 1) изучить особенности поведения и нервной деятельности собак;
- 2) изучить путь образования катехоламинов из тирозина;
- 3) проанализировать и выявить роль катехоламинов в поведении собак.

Материалы и метод исследования. Материалами для исследования явились: аминокислотная добавка L-тирозин (4 упаковки по 90 капсул), две опытные группы стерилизованных собак по 5 голов (возрастом от 2 до 6 лет, без боязни человека), секундомер, поводок.

Нами использовался метод пар-аналогов, который универсален по своей сущности и широко применяется в различных зоотехнических экспериментах. При этом в опытные группы подбираются сходные по ряду учитываемых признаков пары биологических организмов. Количество формируемых опытных групп зависит от числа детерминирующих факторов. Пары аналогов должны быть идентичными по породе и породности, полу, возраст, живой массе, кондиции, исходному уровню продуктивности и т. д.

Его недостатком является то, что оценка изучаемых факторов проводится хотя и на сходных, но все же разных животных, так как полной идентичности аналогичных групп достичь никогда не удастся. Чтобы по-

высить точность опыта, необходимо увеличить численность групп, а это удорожает исследование.

Для проведения опыта был выбран тирозин производства российской фармацевтической компании GLS Pharmaceuticals (г. Москва) (рис. 3).



Рисунок 3 – Тирозин, использованный в опыте

Согласно проведенному литературному обзору, до сих пор не исследовано влияние питания на отложение меланина и связанную с ним пигментацию шерсти взрослых собак. Текущая рекомендация FEDIAF/NRC для фенилаланина (Phe) + тирозина (Tyr) для взрослых собак определяет 2,23 г/Мкал рациона [24]. Национальный исследовательский совет США (NRC) рекомендует 1,48–1,85 г суммы фенилаланина и тирозина на 1 Мкал обменной энергии рационов для взрослых собак от одного года и старше.

По нормам, разработанным FEDIAF (Federation europeenne de l'industrie des aliments pour animaux familiares) – Европейской федерации промышленного производства кормов для домашних животных (Брюссель, Бельгия) на 1 кг метаболической массы (живая масса в степени 0,75) и AAFCO (The Association of American Feed Control Officials) – Американской государственной ассоциации по контролю над кормами (Шампейн,

штат Иллинойс, США) – взрослым собакам требуется в рационе не менее 0,73 %, а для роста и воспроизводства – 0,89 % суммы тирозина и фенилаланина.

Эти нормы рассчитаны на уровень энергии 3,5 ккал/г сухого вещества рационов [14, 16]. Но результаты проведенных исследований показали, что уровень, рекомендуемый нормой FEDIAF, не обеспечивает выполнения собакой определенного объема физической и когнитивной работы и недостаточен для нормальной пигментации шерсти. Рацион с общим содержанием Phe + Tyr 6 г/Мкал (выше нормы, рекомендуемой для роста) был необходим для обеспечения оптимального черного окраса у щенков, а уровни до 7 г/Мкал приводят к более интенсивной пигментации, что также служит своеобразным маркером уровня когнитивной деятельности [17].

Таким образом, было сформировано две группы животных (табл. 1; рис. 4 и 5).

Таблица 1 – Состав опытных групп

I – контрольная					II – опытная				
№ п/п	Кличка	Пол	Окрас шерсти	Масса тела, кг	№ п/п	Кличка	Пол	Окрас шерсти	Масса тела, кг
1	Пёся	♀	пегий	15	1	Конопушка	♀	пегий	15
2	Ахил	♂	пегий	19	2	Арчи-бал	♂	тигровый	20
3	Слон	♂	зонарный	12	3	Рауф	♂	черный	12
4	Дружок	♂	соболиный	16	4	Бара-буля	♀	черный	15
5	Бегония	♀	черный	12	5	Спарки	♀	чепрачный	12



Рисунок 4 – Собаки контрольной группы



Рисунок 5 – Собаки опытной группы

В рацион опытной группы с учетом нормы вносили по 3,5 г тирозина и 3,5 г фенилаланина. При этом 3,5 г тирозина приходилось на 1 Мкал или 4187 кДж. В рацион контрольной группы тирозин не вносился.

Чтобы узнать сколько кДж потребуется собакам по нормам FEDIAF, мы рассчитали их метаболическую массу с учетом уровня активности. Затем пропорционально рассчитали дозировку с учетом массы. Полученные представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Расчет потребности в тирозине

Масса тела, кг	Метаболическая масса, кг	Необходимо обменной энергии, кДж	Норма тирозина, г	Содержание в капсуле, мг	Количество капсул
12	6,45	2566,07	2,15	0,50	4
15	7,62	3033,55	2,54	0,50	5
20	9,46	3764,05	3,15	0,50	6

Таким образом, в среднем взрослой собаке с низкой активностью, массой около 15 кг, необходимо было около 2,5 г тирозина в сутки. Контроль показателей был проведен по времени удержания выдержки при подаче команды «Сидеть!».

Также учитывалось влияние ряда стресс-факторов: проведение строительных работ; громкая музыка; другие собаки; дождь и ветер (с навесом и без него); высокая температура (более +30 °С). Проведенное исследование выявило при каких условиях применение тирозина являлось наиболее эффективным при обучении собак с учетом улучшения их когнитивных способностей.

Результаты исследований. Длительность опыта составила 15 дней – с 24 мая по 7 июня 2022 г. В первую неделю, на 3-й день было замечено,

что 2 из 5 собак, получавших добавку в рацион тирозина, изменили привычный режим. Как и все собаки в вольере, они сначала бежали навстречу, прыгая и виляя хвостами, но в отличие от других, при близком расположении к экспериментатору, усаживались и ожидали похвалы.

Затем собаки, выполнив программу, отправлялись отдыхать (Спарки, Конопушка). Трое других из опытной группы после выполнения своих задач, бежали играть со сверстниками (Рауф, Барабуля) или требовали повышенного внимания к себе (Арчибал).

Собаки, не получавшие добавку тирозина, вели себя иначе: несмотря на все проводимые занятия, они продолжали активно прыгать на человека, либо быстро отвлекались и бежали играть со сверстниками, кроме Пёси.

На второй неделе эксперимента поведение вновь изменилось. Собаки опытной подгруппы оставались рядом с экспериментатором. Они не разбегались играть и не уходили отдыхать. Их внимание в большей степени было приковано к человеку, хотя у двух собак контрольной группы (Слон, Пёся) это выражалось в меньшей степени.

Необходимо также отметить, что собак опытной группы после занятий отличались по расположению к экспериментатору. Все 5 собак не уходили и практически не отвлекались от человека.

Число их подходов по сравнению с началом эксперимента было увеличено. У них, в отличие от животных контрольной группы, наблюдалась высокая заинтересованность к процессу обучения.

Среднее время выдержки в день отбора и формирования опытных групп составило 7,6 секунды. В последний день эксперимента время контрольной составляло в среднем 31,86 секунды, а опытной – 66,92 секунды, превысив тем самым результат контрольной в 2,1 раза.

Для наглядности рассмотрим время выдержки собак обеих групп с 1-го по 15-й день эксперимента на рисунке 6.

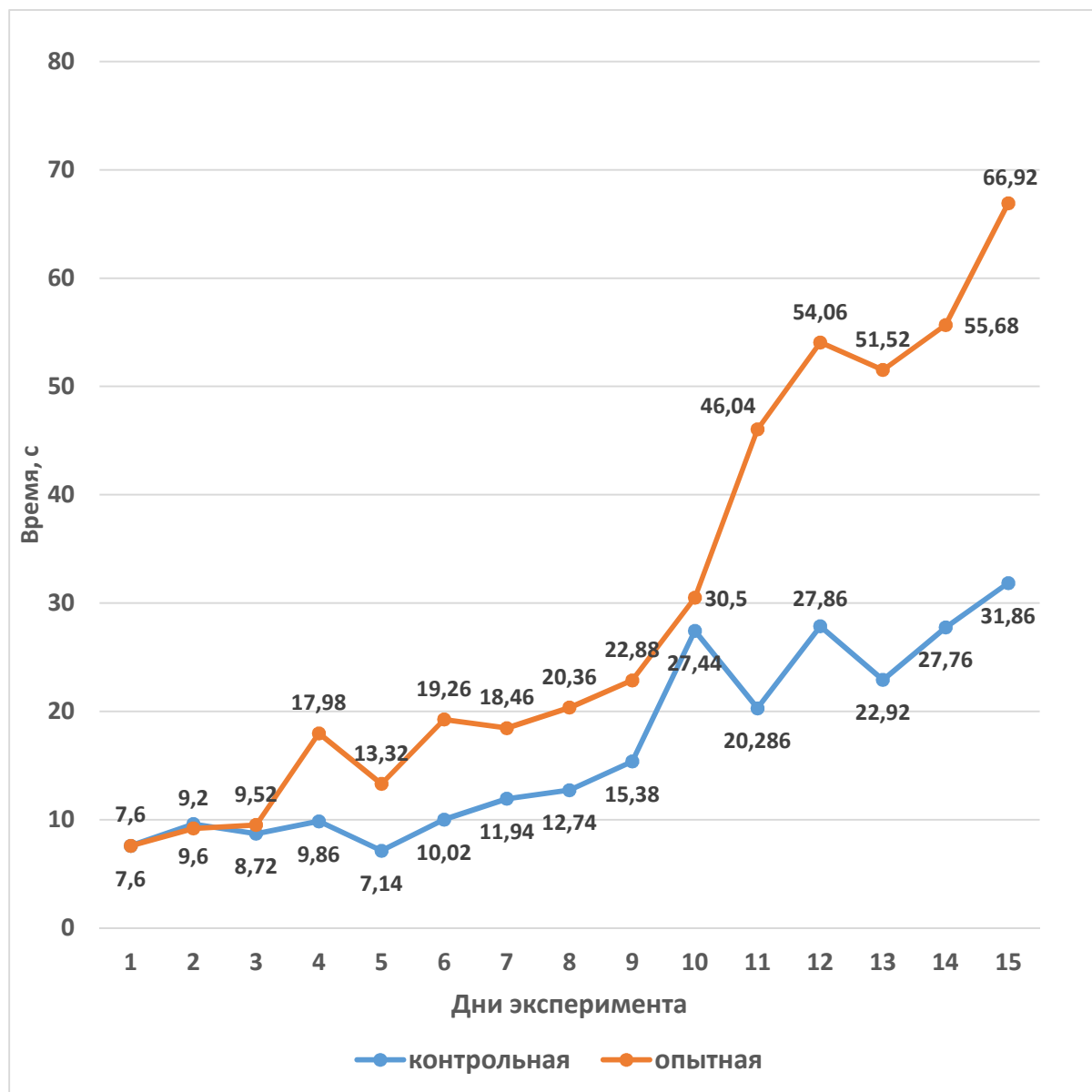
















Рисунок 6 – Время выдержки контрольной и опытной групп с 1-го по 15-й дни

На графике можно отметить, что у обеих групп наблюдался значительный спад показателя в 5-й и 13-й дни, а также незначительный – на 3-й день. Было замечено, что это соответствовало погодным условиям: 5-й и 13-й дни были дождливыми, а 3-й – очень жарким, хотя в дальнейшем, жаркие дни, наоборот, улучшали концентрацию внимания собак контрольной группы и не оказывали особого влияния на показатели опытной, что подтвердилось на 10-й и 12-й дни.

Предположительно, такое влияние на 3-й день было обусловлено тем, что собаки еще не совсем точно понимали, что от них требуется по команде «Сидеть!».

В таблице 3 приведены значения критериев достоверности разности данных опытных групп со 2-го по 15-й дни с учетом погодных условий.

Таблица 3 – Значение критериев достоверности разности в течение опыта

Дни	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Погодные условия														
$td_{ГП}$	0,20	0,32	1,98	5,59	3,09	2,19	2,72	2,11	0,68	3,00	2,92	4,21	3,38	3,28

Условные обозначения:



– дождливая погода с температурой 18–20 °С;



– солнечная погода с температурой более 30 °С;



– солнечная погода с температурой 25–30 °С;



– пасмурная погода с температурой 18–20 °С;



– солнечная погода с температурой 20–25 °С.

Сравнивая полученные результаты, можно заключить, что эффективность применения тирозина была наибольшей в дождливые и пасмурные дни. В комфортных условиях, эффективность менее выражена. А в жарких условиях, добавка тирозина почти не оказывала положительного эффекта.

Для наглядности полученного результата рассмотрим график (рис. 7). На нем можно отметить сильные изменения в показателях критерия достоверности разности: его достоверное снижение по концентрации внимания собак наблюдалось в жаркие и солнечные дни. А самые высокие значения отмечались в дождливую погоду на 5-й и 13-й дни.

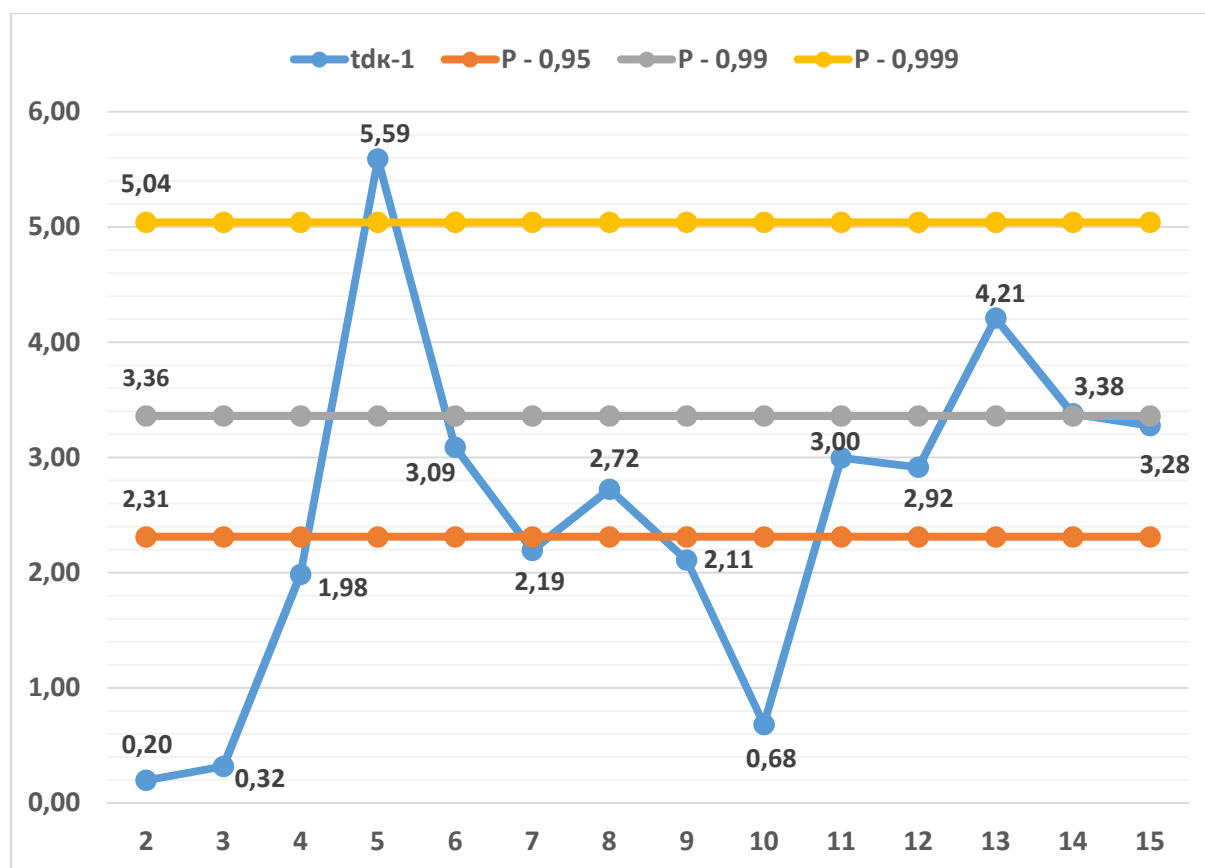


Рисунок 7 – Динамика критериев достоверности разности по дням опыта

Таблица 4 – Динамика результатов исследования на 2, 8 и 14-й дни опыта

Дни опыта	2	8	14
Показатели	I – контрольная		
Сумма	43,60	76,90	159,30
n, голов	5	5	5
M, с	8,72	15,38	31,86
m, ±с	2,16	2,66	3,93
δ, ±с	4,83	5,95	8,79
Показатели	II – опытная		
Сумма	47,60	114,40	334,60
n, голов	5	5	5
M, с	9,52	22,88	66,92
m, ±с	1,29	2,36	9,95
δ, ±с	2,88	5,27	22,26
td _{I-II}	0,32	2,11	3,28

Выводы. Используя стандартные значения критерия достоверности разности t_d (по Стьюденту) для трех уровней вероятности можно заключить, что:

1) на 2-й день критерий достоверности был равен 0,32, что ниже минимального показателя (2,31) на 1,99. Следовательно, второй день использования не доказал достоверную эффективность применения тирозина;

2) на 8-й день критерий достоверности был равен 2,11, что ниже минимального показателя только на 0,2. Это также не может свидетельствовать об эффективности использования тирозина, хотя и заметен рост в показателе его действенности;

3) на 14-й день критерий достоверности составил 3,28. Это выше минимума на 0,97. Таким образом, применение тирозина можно считать эффективным.

На основе полученных результатов, можно заключить, что при обучении (дрессировке) незначительное отвлечение собак и дефицит их внимания на команды инструктора связаны с уровнем катехоламинов (норадреналина и адреналина) в центральных и периферических нейронах. При этом процесс обучения собак в значительной степени обусловлен физиологической активностью гипоталамуса, вентральной покрышкой и черной субстанцией головного мозга [1].

Различные виды стресс-факторов могут вызывать у собак снижение уровня катехоламинов (особенно норадреналина). Следовательно, рационы с дефицитом и дисбалансом по аминокислоте тирозин, приводит к снижению эффективности обучения собак на основе частичной потери их внимания, стрессоустойчивости, скорости образования различных межнейронных связей. Дополнительное введение в рацион тирозина оказала положительный эффект на формирование рабочей памяти (особенно при действии упомянутых выше различных стрессоров) за счет увеличения уровня катехоламинов в мозге и стимуляции конвергентного мышления.

Список литературы

1. Михеева, К. Д. Роль тирозина в обучении собак / К. Д. Михеева, Л. И. Баюров // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: сб. статей по материалам 77-й науч.-практ. конф. студентов по итогам НИР за 2021 г. В 3-х частях. Отв. за выпуск А.Г. Кошчаев. – Краснодар : КубГАУ, 2022. – С. 735-737.
2. Alcaro A., Huber R., Panksepp J. Behavioral functions of the mesolimbic dopaminergic system: an affective neuroethological perspective. *Brain research reviews*. 2007 Dec;56(2):283-321.
3. Cook PF, Prichard A, Spivak M, Berns GS Awake canine fMRI predicts dogs' preference for praise vs food. *Social cognitive and affective neuroscience*. 2016 Dec;11(12):1853-1862.
4. Evans HE, de Lahunta A Miller's anatomy of the dog;4th ed.; Saunders, 2012; 871 p.
5. Fernstrom JD. Role of precursor availability in the control of monoamine biosynthesis in brain. *Physiol Rev*. 1983;63:484-546.
6. Fernstrom JD. Branched-chain amino acids and brain function. *J Nutr*. 2005;135:1539-1546.
7. Fernstrom FD, Fernstrom MH, Tyrosine, phenylalanine, and catecholamine synthesis and function in the brain. *J. Nutr*. 2007;137:1539-1547.
8. Goldstein M, Fuxe K, Hökfelt T (June 1972). Characterization and tissue localization of catecholamine synthesizing enzymes. *Pharmacological Reviews*. 24 (2): 293–309.
9. Grassam-Rowe A., Ou X., Lei M. Novel cardiac cell subpopulations: Pnmt-derived cardiomyocytes. *Open Biol*. 2020 Aug;10(8): <https://doi.org/10.1098/rsob.200095>
10. Holekamp KE, Sakai ST, Lundrigan BL Social intelligence in the spotted hyena (*Crocuta crocuta*). *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*. 2007 Apr 29;362(1480):523-538.
11. Jia H, Pustovyy OM, Waggoner P, et al. Functional MRI of the olfactory system in conscious dogs *PLoS One*. 2014 Jan 23;9(1):e86362. doi: 10.1371/journal.pone.0086362.
12. Kitahama K, Pearson J, Denoroy L, et al. (February 1985). Adrenergic neurons in human brain demonstrated by immunohistochemistry with antibodies to phenylethanolamine-N-methyltransferase (PNMT): discovery of a new group in the nucleus tractus solitarius. *Neuroscience Letters*. 53 (3): 303–308.
13. Milner JA. Phenylalanine and tyrosine requirement in immature beagle dogs. *J Nutr* 1984;114:2212-2216.
14. Nutritional Guidelines October 2021 For Complete and Complementary Pet Food for Cats and Dogs – <https://europeanpetfood.org/wp-content/uploads/2022/03/Updated-Nutritional-Guidelines.pdf>
15. O'Connell LA, Hofmann HA The vertebrate mesolimbic reward system and social behavior network: a comparative synthesis. *Journal of Comparative Neurology*. 2011 Dec 15;519(18):3599-3639.
16. Proposed Revisions Edited per Comments for 2014 Official Publication AAFCO methods for substantiating nutritional adequacy of dog and cat foods – https://www.aafco.org/Portals/0/SiteContent/Meetings/Annual/2014/Committee-Reports/Model_Bills_and_Regulations_Report_Midyear_2014-Appendix_Item_C_Proposed_Revisions_to_AAFCO_Nutrient_Profiles_Final_081313.pdf
17. Watson A, Wayman J, Kelley R, Feugier A. Increased dietary intake of tyrosine upregulates melanin deposition in the hair of adult black-coated dogs; February 2018; *Animal Nutrition* 4 (4) DOI:10.1016/j.aninu.2018.02.001
18. Yokogoshi H, Wurtman RJ Acute effects of oral or parenteral aspartame on catecholamine metabolism in various regions of rat brain. *J. Nutr*. 1986.116, 356-364.

References:

1. Miheeva, K. D. Rol' tirozina v obuchenii sobak / K. D. Miheeva, L. I. Bayurov // Nauchnoe obespechenie agroproмышlennogo kompleksa: sb. statej po materialam 77-i nauch.-prakt. konf. studentov po itogam NIR za 2021 g. V 3-h chastyah. Otv. za vypusk A.G. Koshchaev. – Krasnodar : KubGAU, 2022. – S. 735-737.

2. Alcaro A., Huber R., Panksepp J. Behavioral functions of the mesolimbic dopaminergic system: an affective neuroethological perspective. *Brain research reviews*. 2007 Dec;56(2):283-321.
3. Cook PF, Prichard A, Spivak M, Berns GS Awake canine fMRI predicts dogs' preference for praise vs food. *Social cognitive and affective neuroscience*. 2016 Dec;11(12):1853-1862.
4. Evans HE, de Lahunta A Miller's anatomy of the dog;4th ed.; Saunders, 2012; 871 p.
5. Fernstrom JD. Role of precursor availability in the control of monoamine biosynthesis in brain. *Physiol Rev*. 1983;63:484-546.
6. Fernstrom JD. Branched-chain amino acids and brain function. *J Nutr*. 2005;135:1539-1546.
7. Fernstrom FD, Fernstrom MH. Tyrosine, phenylalanine, and catecholamine synthesis and function in the brain. *J. Nutr*. 2007;137:1539-1547.
8. Goldstein M, Fuxe K, Hökfelt T (June 1972). Characterization and tissue localization of catecholamine synthesizing enzymes. *Pharmacological Reviews*. 24 (2): 293–309.
9. Grassam-Rowe A., Ou X., Lei M. Novel cardiac cell subpopulations: Pnmt-derived cardiomyocytes. *Open Biol*. 2020 Aug;10(8): <https://doi.org/10.1098/rsob.200095>
10. Holekamp KE, Sakai ST, Lundrigan BL Social intelligence in the spotted hyena (*Crocuta crocuta*). *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*. 2007 Apr 29;362(1480):523-538.
11. Jia H, Pustovyy OM, Waggoner P, et al. Functional MRI of the olfactory system in conscious dogs *PLoS One*. 2014 Jan 23;9(1):e86362. doi: 10.1371/journal.pone.0086362.
12. Kitahama K, Pearson J, Denoroy L, et al. (February 1985). Adrenergic neurons in human brain demonstrated by immunohistochemistry with antibodies to phenylethanolamine-N-methyltransferase (PNMT): discovery of a new group in the nucleus tractus solitarius. *Neuroscience Letters*. 53 (3): 303–308.
13. Milner JA. Phenylalanine and tyrosine requirement in immature beagle dogs. *J Nutr* 1984;114:2212-2216.
14. Nutritional Guidelines October 2021 For Complete and Complementary Pet Food for Cats and Dogs – <https://europeanpetfood.org/wp-content/uploads/2022/03/Updated-Nutritional-Guidelines.pdf>
15. O'Connell LA, Hofmann HA The vertebrate mesolimbic reward system and social behavior network: a comparative synthesis. *Journal of Comparative Neurology*. 2011 Dec 15;519(18):3599-3639.
16. Proposed Revisions Edited per Comments for 2014 Official Publication AAFCO methods for substantiating nutritional adequacy of dog and cat foods – https://www.aafco.org/Portals/0/SiteContent/Meetings/Annual/2014/Committee-Reports/Model_Bills_and_Regulations_Report_Midyear_2014-Appendix_Item_C_Proposed_Revisions_to_AAFCO_Nutrient_Profiles_Final_081313.pdf
17. Watson A, Wayman J, Kelley R, Feugier A. Increased dietary intake of tyrosine upregulates melanin deposition in the hair of adult black-coated dogs; February 2018; *Animal Nutrition* 4 (4) DOI:10.1016/j.aninu.2018.02.001
18. Yokogoshi H, Wurtman RJ Acute effects of oral or parenteral aspartame on catecholamine metabolism in various regions of rat brain. *J. Nutr*. 1986.116, 356-364.