

Комягин Григорий Алексеевич

магистрант, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления имени К. Г. Разумовского (ПКУ)», факультет аквакультуры и биотехнологий рыбного хозяйства, Центр «Аквакультура»

г. Москва

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВКУСОВОЙ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ РАСТИТЕЛЬНЫХ АТТРАКТАНТОВ И ГАММАРУСА ДЛЯ *Danio rerio* ПО ДАННЫМ ГРАНУЛЬНОГО ТЕСТА

Аннотация. По данным классического гранульного теста с агар-агаровыми гранулами оценена вкусовая привлекательность трёх растительных добавок — чеснока (*Allium sativum*), аниса (*Pimpinella anisum*) и мелассы — в сравнении с гаммарусом (положительный контроль) для *Danio rerio*. Рассчитан индекс вкусовой привлекательности (ИВП) для каждого вещества; установлена иерархия: гаммарус (48.7%) > чеснок (45.9%) > меласса (42.9%) > анис (37.5%) > контроль. Все опытные группы достоверно превосходили контроль по продолжительности удержания гранулы (критерий Манна–Уитни, $p < 0.05$); значимых различий между чесноком и мелассой не выявлено ($p = 0.312$). Коэффициент ранговой корреляции Спирмена между временем обнаружения и удержанием гранулы значим только для чеснока и гаммаруса, что указывает на формирование координированного пищевого рефлекса при воздействии сильных стимулов.

Ключевые слова: *Danio rerio*, вкусовые предпочтения, индекс вкусовой привлекательности, чеснок, анис, меласса, гаммарус, агар-агаровый тест.

Annotation. Based on the classical granular test with agar-agar granules, the taste attractiveness of three plant-based additives — garlic (*Allium sativum*), anise (*Pimpinella anisum*), and molasses — was evaluated in comparison with gammarus (positive control) for *Danio rerio*. The palatability index was calculated for each

substance, and the following hierarchy was established: gammarus (48.7%) > garlic (45.9%) > molasses (42.9%) > anise (37.5%) > control. All experimental groups significantly exceeded the control in granule retention time (Mann–Whitney U test, $p < 0.05$); no significant differences were found between garlic and molasses ($p = 0.312$). Spearman's rank correlation coefficient between the latency to grasp and the retention time was significant only for garlic and gammarus, indicating the formation of a coordinated feeding reflex in response to strong stimuli.

Keywords: *Danio rerio*, taste preferences, palatability index, garlic, anise, molasses, gammarus, agar-agar test

Введение

Вкусовая система рыб характеризуется выраженной видоспецифичностью и избирательностью к определённым классам химических лигандов — аминокислотам, нуклеотидам, бетаину и ряду органических кислот [3]. Знание вкусовых предпочтений конкретного вида — необходимое условие для разработки кормов, обладающих высокой поедаемостью и минимальными потерями при кормлении в аквакультуре [2]. Растительные добавки — чеснок, анис, меласса — традиционно используются в рыбоводстве и любительском рыболовстве как природные аттрактанты, однако их сравнительная эффективность для *Danio rerio*, широко применяемого модельного объекта, ранее количественно не сопоставлялась в едином эксперименте с эталонным натуральным стимулом.

Цель работы — сравнительная количественная оценка вкусовой привлекательности чеснока, аниса и мелассы относительно гаммаруса для *Danio rerio* с использованием стандартизированного гранульного теста и индекса вкусовой привлекательности.

Материалы и методы

Объектом исследования служили половозрелые особи *D. rerio* средней длиной тела 1.3 ± 0.5 см. Рыб рассаживали по индивидуальным аквариумам

объёмом 5 л с непрозрачными стенками (кроме одной, наблюдательной), акклиматизацию проводили в течение 2–3 сут до восстановления нормального пищевого поведения. Рыбам предъявляли цилиндрические агар-агаровые гранулы (диаметр 1.5–2 мм, краситель Ponceau 4R, 0.33%), содержащие 5%-ный водный раствор или экстракт исследуемого вещества: чеснока, аниса, мелассы либо гаммаруса (положительный контроль); контрольные гранулы содержали только краситель. Гранулы вносили в случайном порядке с интервалом 30–45 мин, поведенческий ответ фиксировали на высококадровую видеозапись.

С момента первого схватывания гранулы регистрировали число схватываний, продолжительность удержания гранулы во рту при первом схватывании и за весь опыт (хронометр RGK SWE-02), а также факт её поедания или отвержения. Долю поедаемых гранул использовали для расчёта индекса вкусовой привлекательности:

$$\text{ИВП} = ((R - C) / (R + C)) \times 100,$$

где R — потребление гранул с веществом (%), C — потребление контрольных гранул (%) [1]. Всего выполнено 120 опытов (n = 30 на каждое из четырёх веществ).

Нормальность распределения проверяли критерием Шапиро–Уилка. Ввиду выраженного отклонения от нормального закона (значительная доля нулевых значений, связанных с отказом от схватывания) применяли непараметрические методы: критерий Манна–Уитни для попарных сравнений групп и коэффициент ранговой корреляции Спирмена (ρ) для оценки связи между временем обнаружения и удержанием гранулы (только для опытов с успешным схватыванием). Различия считали значимыми при $p \leq 0.05$, тенденцией — при $0.05 < p \leq 0.10$.

Результаты

Контрольные гранулы потреблялись лишь в 33.3% опытов, тогда как гаммарус — в 96.7% (Таблица 1). Среди растительных добавок наивысшую долю потребления показал чеснок (90.0%), за ним следовали меласса (83.3%) и анис (73.3%). Гаммарус демонстрировал минимальное время до схватывания (5.4 ± 1.4 с) и максимальное удержание гранулы (7.2 ± 1.5 с после первого схватывания; 7.0 ± 1.4 с за весь опыт), чеснок — наиболее быструю реакцию среди растительных веществ (8.9 ± 2.1 с) при удержании 3.9 ± 1.2 с. Меласса обнаруживалась медленнее всех растительных добавок (15.1 ± 3.0 с), но обеспечивала наибольшее среди них удержание (4.6 ± 1.5 с). Анис характеризовался промежуточным временем обнаружения (12.5 ± 2.9 с) и наименьшим удержанием (1.9 ± 0.9 с).

Аттрактант	Потребление, %	ИВП, %	Время захвата, с	Удержание за опыт, с
Гаммарус	96.7	48.7	5.4 ± 1.4	7.0 ± 1.4
Чеснок	90.0	45.9	8.9 ± 2.1	3.9 ± 1.2
Меласса	83.3	42.9	15.1 ± 3.0	4.6 ± 1.5
Анис	73.3	37.5	12.5 ± 2.9	1.9 ± 0.9
Контроль	33.3	—	20.3 ± 5.6	0.4 ± 0.7

Таблица 1. Поведенческие реакции *D. rerio* на аттрактивные вещества в гранульном тесте (n = 30 на группу).

Попарное сравнение по критерию Манна–Уитни показало (Таблица 2), что все опытные группы достоверно превосходят контроль по продолжительности удержания гранулы ($p < 0.05$ во всех сравнениях, наиболее выраженные различия — для гаммаруса, $U = 15$, $p < 0.001$, и чеснока, $U = 59$, $p < 0.001$). Анис статистически значимо отличался от контроля ($p = 0.023$), а также от мелассы ($p = 0.032$) и чеснока ($p = 0.017$). Единственной парой без значимых различий оказались чеснок и меласса ($U = 371$, $p = 0.312$), что указывает на сопоставимую интегральную эффективность этих двух

растительных добавок. Гаммарус значительно превосходил как чеснок, так и мелассу ($p < 0.001$ в обоих случаях).

Сравниваемые группы	U	p
Контроль / Анис	208	0.023
Контроль / Меласса	82	< 0.001
Контроль / Чеснок	59	< 0.001
Контроль / Гаммарус	15	< 0.001
Анис / Меласса	280	0.032
Анис / Чеснок	207	0.017
Меласса / Чеснок	371	0.312
Меласса / Гаммарус	165	< 0.001
Чеснок / Гаммарус	148	< 0.001

Таблица 2. Попарное сравнение групп по критерию Манна–Уитни (продолжительность удержания гранулы за весь опыт).

Анализ корреляции Спирмена между временем до схватывания и продолжительностью удержания гранулы выявил качественно различные паттерны: для контроля и аниса значимая связь отсутствовала ($\rho = 0.23$ и 0.19 соответственно, $p > 0.05$), для мелассы корреляция также незначима, несмотря на более высокое значение коэффициента ($\rho = 0.31$, $p = 0.128$). Для чеснока обнаружена слабая, но статистически значимая положительная корреляция ($\rho = 0.44$, $p = 0.021$), для гаммаруса — умеренная ($\rho = 0.52$, $p = 0.004$), наиболее выраженная среди всех веществ.

Обсуждение

Высокая аттрактивная эффективность чеснока (ИВП = 45.9%, второе место после гаммаруса) согласуется с данными о стимулирующем действии чесночных экстрактов на потребление корма у гурами *Osphronemus gouramy* и японского морского окуня *Lateolabrax japonicus* [10],[11]. Аттрактивность

чеснока связывают с серосодержащими соединениями, прежде всего аллицином и родственными цистеинсульфоксидами, которые структурно близки серосодержащим аминокислотам (цистеин, метионин) — высокоэффективным лигандам обонятельных и вкусовых рецепторов рыб [8]. Значимая корреляция между обнаружением и удержанием гранулы у чеснока ($r = 0.44$, $p = 0.021$) свидетельствует о формировании координированного пищевого рефлекса, характерного для веществ, одновременно активирующих обонятельную и вкусовую системы.

Анис продемонстрировал наименьшую эффективность среди всех тестируемых веществ, несмотря на широкую популярность в любительском рыболовстве. Отсутствие значимой корреляции между обнаружением и удержанием ($r = 0.19$, $p = 0.398$) указывает на случайный характер реакции и отсутствие устойчивой пищевой мотивации. Это может объясняться гидрофобной природой трансанетола — основного компонента анисового масла, — которая ограничивает его растворимость и, соответственно, интенсивность контакта с интраоральными вкусовыми рецепторами [9].

Меласса, обнаруживаясь медленнее прочих растительных добавок, обеспечивала при этом наибольшее среди них удержание гранулы, что и обусловило отсутствие значимых различий с чесноком по интегральному показателю ($p = 0.312$). Высокая эффективность мелассы при непосредственном контакте связана с содержанием бетаина (триметилглицина) — потенциатора вкусовой чувствительности, повышающего восприимчивость рецепторов к другим компонентам корма. Метаанализ [6],[7] подтверждает, что диетический бетаин улучшает вкусовые качества корма и конверсию у широкого круга гидробионтов.

Гаммарус, использованный как натуральный кормовой объект, закономерно продемонстрировал наилучшие показатели по всем параметрам и наиболее выраженную корреляцию между обнаружением и удержанием ($r = 0.52$, $p = 0.004$), что подтверждает представление о комплементарности

обонятельной и вкусовой систем при формировании пищевого поведения в ответ на биологически полноценный стимул [6],[5].

Отсутствие значимых различий между чесноком и мелассой может быть интерпретировано в рамках представления о «зоне перцептивной эквивалентности» — диапазоне аттрактивности, в пределах которого различия между стимулами не достигают статистической значимости при использованном объеме выборки ($n = 30$). Полученные данные подтверждают целесообразность применения непараметрических методов при анализе поведенческих данных гранульного теста ввиду значительной доли нулевых значений и асимметрии распределений [4].

Заключение

Установленная иерархия вкусовой привлекательности для *Danio rerio* (гаммарус > чеснок $\approx$ меласса > анис > контроль) и различия в характере корреляции между обнаружением и удержанием гранулы указывают на разные механизмы действия исследованных веществ: чеснок и гаммарус формируют координированный пищевой рефлекс, тогда как меласса и в особенности анис вызывают менее устойчивую вкусовую реакцию. С практической точки зрения чеснок и меласса могут рассматриваться как равноценные растительные компоненты для повышения поедаемости искусственных кормов, тогда как анис целесообразно применять преимущественно как средство привлечения рыбы к кормовому пятну, а не как компонент, стимулирующий заглатывание корма.

Список литературы

1. Касумян А. О., Морси А. М. Х. Вкусовая чувствительность карпа *Cyprinus carpio* к аминокислотам и классическим вкусовым веществам // Вопросы ихтиологии. 1996. Т. 36, № 3. С. 386–399.
2. Касумян А. О., Морси А. М. Х. Вкусовые предпочтения классических вкусовых веществ молоди белого амура *Ctenopharyngodon idella*,

- выращенной на животном и растительном корме // Доклады Академии наук. 1997. Т. 357, № 2. С. 284–286.
3. Касумян А. О. Вкусовая система рыб: структурно-функциональная организация и роль в поведении // Вопросы ихтиологии. 2016. Т. 56, № 3. С. 296–331.
 4. Касумян А. О., Николаева Е. В. Вкусовые предпочтения гуппи, *Poecilia reticulata* (Cyprinodontiformes, Pisces) // Вопросы ихтиологии. 1997. Т. 37, № 5. С. 696–703.
 5. Виноградская М. И., Касумян А. О. Вкусовая привлекательность желчных веществ для рыб // Вопросы ихтиологии. 2019. Т. 59, № 4. С. 473–482.
 6. Kasumyan A. O., Doving K. B. Taste preferences in fishes // Fish and Fisheries. 2003. Vol. 4, № 4. P. 289–347.
 7. Li X. et al. Betaine: a promising feed additive for aquaculture? A comprehensive review // Aquaculture. 2024. Vol. 578. P. 740032.
 8. Blin M., Rétaux S., Yamamoto Y. Evolution and function of olfactory receptors in teleost fishes // Cell and Tissue Research. 2024. Vol. 395, № 1. P. 1–19.
 9. Salleh M. H., Fotedar R., Tulsankar S. S. Behavioral and olfactory responses of freshwater crayfish (*Cherax cainii*) to star anise (*Illicium verum*) oil as a potential chemoattractant // Aquaculture. 2023. Vol. 568. P. 739310.
 10. Pamungkas G. Y., Arief M., Arif M. A. A. The influence of garlic and turmeric extract as attractant in commercial feed on feeding rate and fat retention in gouramy (*Osphronemus gouramy*) // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 679, № 1. P. 012076.
 11. Seo B. K., Shin Y. K., Lee S. M. Effects of garlic powder on feeding attraction activity, growth and digestive enzyme activities of Japanese seabass, *Lateolabrax japonicus* // Aquaculture Nutrition. 2020. Vol. 26, № 2. P. 390–399.

References

1. Kasumyan A. O., Morsi A. M. H. Taste sensitivity of carp *Cyprinus carpio* to amino acids and classical taste substances. *Journal of Ichthyology*. 1996. Vol. 36, No. 3. P. 386–399.
2. Kasumyan A. O., Morsi A. M. H. Taste preferences of classical taste substances in juvenile grass carp *Ctenopharyngodon idella* reared on animal and plant food. *Doklady Academy of Sciences*. 1997. Vol. 357, No. 2. P. 284–286.
3. Kasumyan A. O. The taste system of fishes: structural–functional organization and role in behavior. *Journal of Ichthyology*. 2016. Vol. 56, No. 3. P. 296–331.
4. Kasumyan A. O., Nikolaeva E. V. Taste preferences of guppy, *Poecilia reticulata* (Cyprinodontiformes, Pisces). *Journal of Ichthyology*. 1997. Vol. 37, No. 5. P. 696–703.
5. Vinogradskaya M. I., Kasumyan A. O. Taste attractiveness of bile substances for fish. *Journal of Ichthyology*. 2019. Vol. 59, No. 4. P. 473–482.
6. Kasumyan A. O., Døving K. B. Taste preferences in fishes. *Fish and Fisheries*. 2003. Vol. 4, No. 4. P. 289–347.
7. Li X. et al. Betaine: a promising feed additive for aquaculture? A comprehensive review. *Aquaculture*. 2024. Vol. 578. P. 740032.
8. Blin M., Rétaux S., Yamamoto Y. Evolution and function of olfactory receptors in teleost fishes. *Cell and Tissue Research*. 2024. Vol. 395, No. 1. P. 1–19.
9. Salleh M. H., Fotedar R., Tulsankar S. S. Behavioral and olfactory responses of freshwater crayfish (*Cherax cainii*) to star anise (*Illicium verum*) oil as a potential chemoattractant. *Aquaculture*. 2023. Vol. 568. P. 739310.
10. Pamungkas G. Y., Arief M., Arif M. A. A. The influence of garlic and turmeric extract as attractant in commercial feed on feeding rate and fat

retention in gouramy (*Osphronemus gouramy*). IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 679, No. 1. P. 012076.

11. Seo B. K., Shin Y. K., Lee S. M. Effects of garlic powder on feeding attraction activity, growth and digestive enzyme activities of Japanese seabass, *Lateolabrax japonicus*. Aquaculture Nutrition. 2020. Vol. 26, No. 2. P. 390–399.