

логии. – Под. ред. Стригановой Б.Р. – М.: Наука, 1987. – С. 63-67.

7. Мухитова М.Э. Характеристики микробиоценоза вермикомпостов люмбрицид / М.Э. Мухитова // Объединенный научный журнал. - Москва: Изд-во АНП - №12. – 2008. – С. 45-47.

8. Паников Н.С. Количественная оценка влияния мезофауны на скорость разложения растительного опада / Н.С. Паников, А.Ю. Горбенко, Д.Г. Звягинцев // Вестн. МГУ, сер почвоведение. - №3. – 1985. – С. 37-45.

9. Стриганова Б.Р. Питание почвенных сапрофагов / Б.Р. Стриганова. - М.: Наука, 1980. – 242 с.

10. Стриганова Б.Р. Роль почвенных животных в процессах разложения растительных остатков / Б.Р. Стриганова // Проблемы почвенной зоологии Матер. V Всесоюзн. Сов. – Вильнюс, 1975. – С. 32-35.

11. Терещенко Н.Н. Взаимоотношения между микрофлорой пищеварительного тракта дождевого червя и сапрофитными микроорганизмами перерабатываемого им торфонавозного субстрата / Н.Н. Терещенко, Н.Н. Наплекова // Торф и сельское хозяйство. Сборник научных трудов СибНИИТ. – Томск, 1994. – С. 134.

12. Терещенко Н.Н. Влияние различных экологических групп дождевых червей на интенсивность азотофиксации / Н.Н. Те-

рещенко, Н.Н. Наплекова // Известия РАН сер. Биологическая. – 2002. - №6. – С.763.

13. Терещенко Н.Н. Эколого-микробиологические аспекты вермикультивирования / Н.Н. Терещенко. – Новосибирск: Изд-во Россельхозакадемии. Сиб. Отд-ние, 2003. – 166 с.

14. Третьякова Е.Б. Сообщества бактерий, ассоциированные с почвенными беспозвоночными / Е.Б. Третьякова, Т.Г. Добровольская, Б.А. Бызов, Д.Г. Звягинцев. – Микробиология. - №1, том 65. – 1996. – С.102-110.

15. Goodacre R. Metabolomics of a superorganism / R. Goodacre // J Nutr. – 2007. - № 137(1 Suppl). – P. 259–266.

16. Ley R. Worlds within worlds: evolution of the vertebrate gut microbiota. / R. Ley, C. Lozupone, M. Hamady, R. Knight, J. Gordon // Nature Rev Microbiol. – 2008. – V. 6. – P. 776–788.

17. Mclean M. Field evidence of the effects of the epigeic earthworm *Dendrobaena octaedra* on the microfungal community in pine forest floor / M. McLean, D. Parkinson // Soil Biol. Biochem, 2000. – № 32. - P. 351-360.

18. Turnbaugh P.J. The human microbiome project / P.J. Turnbaugh, R.E. Ley, M. Hamady, C.M. Fraser-Liggett, R. Knight, J.I. Gordon // Nature. – 2007. – № 449 (7164) - P. 804–810.

УДК 636

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД ПРИ ОЦЕНКЕ МЕХАНИЗМОВ АДАПТАЦИИ РЕПРОДУКТИВНОЙ СИСТЕМЫ В БИОТЕХНОЛОГИЯХ ПОЛУЧЕНИЯ СПЕРМОПРОДУКЦИИ

Романова Елена Михайловна, доктор биологических наук, Заслуженный работник Высшей школы РФ, профессор, заведующая кафедрой «Биология, ветеринарная генетика, паразитология и экология» E-mail: vvr-emr@yandex.ru

Романов Василий Васильевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой информатики

ФГБОУ ВПО «Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия».

432063, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, 1. тел. 8(8422) 55-95-92. E-mail: vvr-emr@yandex.ru

Ключевые слова: биотехнология в животноводстве, быки-спермодоноры, репродук-

тивная система, системный подход, адаптометрия, корреляционные графы.

В статье изложены новые подходы к оценке состояния устойчивости репродуктивной системы быков, используемых в биотехнологиях получения спермопродукции для ускорения селекционного процесса.

Широкомасштабная селекция в животноводстве способна изменить в короткие сроки породный состав КРС в крупных регионах, благодаря широкому использованию биотехнологий ускорения селекционного процесса, основанных на получении и криоконсервации спермы. Репродуктивная система быков должна иметь функционально-морфологические механизмы приспособленности к эксплуатации в режиме спермодоноров, но крупный рогатый скот не имеет эволюционно отработанных механизмов адаптации к условиям современной селекции, характеризующейся высокой скоростью микроэволюционных процессов, что исключают возможность стабилизации взаимоотношений вида с внешней средой.

Взаимодействие искусственно созданных человеком популяций крупного рогатого скота с окружающей средой в современных условиях характеризуется устойчивым неравновесием, поддерживаемым за счет постоянного напряжения систем, ответственных за адаптацию. Адаптация в целом ведет от монофакториальности, то есть от лимитирования одним фактором или небольшим их числом, к полифакториальности – к равнозначности большого числа факторов. Поддержание полиморфизма – общая адаптивная популяционная стратегия, которая обеспечивает регуляцию постоянных взаимодействий в системе популяция – среда. Репродуктивная система быков-спермодоноров испытывает большую адаптационную нагрузку. В этих условиях, согласно эколого-эволюционному принципу полифакториальности, уровень скоррелированности физиологических параметров должен увеличиваться.

В своих исследованиях мы используем системный подход для получения информации об интегральных параметрах исследуемой системы. К их числу относится интенсивная мера системности, экстенсивная мера системности, связность и устойчивость. Такую возможность дает метод корреляцион-

ной адаптометрии, базирующийся на теории графов. Применение метода позволяет выявить ситуации, когда напряжение резко возрастает, что характерно для репродуктивной системы спермодоноров. Исходным материалом для корреляционного анализа является матрица, куда включаются только те элементы, которые удовлетворяют критерию достоверности. Знак связи указывает на характер отношений между соответствующими элементами сообщества. Отрицательная связь трактуется как несовместимость элементов. Согласно закону Гаузе, несовместимость – это результат конкурентного вытеснения. Наличие положительной связи – это совместимость элементов и конгруэнтные (гармоничные) отношения между ними.

Интенсивной мерой системности сообщества (Φ_c), описываемого определенным корреляционным графом, является средняя сила статистической связи, которая численно равна среднему модулю достоверно выявленных парных коэффициентов корреляции [1]:

$$\Phi_c = (1/k) * \sum_{i=1}^k |r_i|,$$

где k - количество достоверно выявленных парных коэффициентов корреляции; r_i - достоверно выявленный коэффициент корреляции i -й пары вершин корреляционного графа. Интенсивную меру системности иначе называют жесткостью системы. В качестве простейшей экстенсивной меры системности используют суммарную силу связей системы, выражающуюся произведением ее жесткости на число связей, которое при этом играет роль коэффициента перехода от интенсивной характеристики к экстенсивной. Поскольку интенсивная мера системности является величиной, нормированной к единице, экстенсивная мера системности должна быть также нормирована. Для этого нормированным должен быть коэффициент перехода, сохраняя при этом прямую зависимость от числа связей в

системе. По Мэю [2], коэффициент перехода в экологических исследованиях отражает связность. Поскольку переходный коэффициент δ прямо пропорционален количеству связей в системе, он отражает ее сложность, которая возрастает при увеличении числа связей в системе. Таким образом, коэффициент δ рассматривается как нормированный показатель сложности описывающего ее корреляционного графа. Расчет переходного коэффициента производили по формуле:

$$\delta = [2N/n(n-1)](1-1/n),$$

где n - количество вершин графа; N - количество достоверно выявленных связей между ними.

Организованность системы рассчитывали по формуле:

$$R = \delta * \Phi_c,$$

где R - является нормируемой величиной и представляет экстенсивную меру системности. Организованность тем больше, чем «дальше» система от совокупности взаимодействующих элементов. При постоянной жесткости организованность тем выше, чем больше элементов в системе и связей между ними. Таким образом, характеристика состояния складывается из трех интегральных системных характеристик: жесткости, сложности, организованности.

Следующая интегральная характеристика «устойчивость», [2, 3, 4]. Для оценки устойчивости структуры используется критерий Мэя, согласно которому корреляционная матрица устойчива, если

$$i < (SC)^{\frac{1}{2}}$$

где i - средняя сила взаимодействия между элементами; S - число элементов вершин корреляционного графа); C - связность – число его ребер, отнесенное к максимально возможному их числу между S вершинами, равному $S(S-1)/2$.

Порог устойчивости (ϕ) системы рассчитывался по формуле

$$\phi = (2N/(n-1))^{-1/2}.$$

При этом устойчивость системы оценивалась по соотношению $\Phi_c < \phi$.

В данной работе мы использовали

корреляционные графы для исследования устойчивости репродуктивной системы быков спермодоноров пяти голштинских линий: Вис Бек Айдиал (ВБА), Рефлексн Соверинг (РФС), Монтвик Чифтейн (МЧ), Розейф Ситейшн (РзС), Силинг Трайджун Рокит (СТР) и оценивали по объему эякулята, концентрации спермиев, их подвижности и оплодотворяющей способности на массиве всей популяции, а затем в разновозрастных группах и по каждой из линий.

Нами были выявлены достоверные связи между возрастом и объемом эякулята; между объемом эякулята, концентрацией и подвижностью спермиев; между концентрацией спермиев и их подвижностью. Все перечисленные связи достоверны, положительны по направлению, но являются слабо-выраженными, т.к. величина коэффициента корреляции - r колебалась от 0,35 до 0,18. Интегральные характеристики системности приведены в таблице 1.

Наименьший уровень жесткости характерен для параметров репродуктивной системы по отношению ко всей популяции быков-производителей. Наиболее жестко связаны параметры воспроизводства у быков линии РФС - 0,74 и СТР - 0,60, - значительно ниже уровень жесткости у производителей линии МЧ - 0,38, при предельном уровне жесткости 1.

Вес корреляционного графа, отражающий суммарную силу связей, наиболее высокий у производителей линии СТР и МЧ, по сравнению с производителями линий РзС, РФС, наименьший вес корреляционного графа в субпопуляционной группе ВБА - 0,45.

Вес корреляционного графа во всех случаях низкий или очень низкий, следовательно, адаптационное напряжение в системе воспроизводства незначительно. Настораживает низкая величина веса корреляционного графа у быков линии ВБА, поскольку она в 2,5 раза ниже по сравнению с общепопуляционным уровнем. Наибольшая сложность и организованность элементов системы воспроизводства выявлена у производителей линии СТР, чуть ниже эти показатели для линии МЧ. Самые низкие расчетные значения сложности и организованности у

Таблица 1

Интегральные характеристики системности воспроизводительной способности быков в зависимости от линейной принадлежности

Линейная принадлежность	Популяция	Линии				
		РзС	ВБА	СТР	МЧ	РФС
Жесткость	0,267	0,544	0,449	0,603	0,382	0,736
Вес графа	1,066	1,088	0,449	1,145	1,145	0,736
Сложность	0,320	0,160	0,080	0,240	0,240	,080
Организованность	0,085	0,087	0,036	0,092	0,092	0,059
Порог устойчивости	0,707	1,000	1,414	0,816	0,816	1,414

быков линии ВБА, чуть выше у РФС.

Система устойчива, если жесткость меньше расчетной величины i , для всех исследованных нами групп это требование выполняется, значит, их репродуктивная функция устойчива. Однако у производителей СТР жесткость репродуктивной системы наиболее близка к потере устойчивости.

Следующим этапом наших исследований явилась оценка системных параметров репродуктивной системы в разновозрастных популяционных группах. Нами были выделены следующие возрастные группы: быки 2 - 7-летнего возраста. Корреляционная матрица быков первого года эксплуатации, т.е. второго года жизни и третьего года жизни, не обнаружила достоверных корреляций между элементами системы. В целом прослеживалась тенденция слабой взаимосвязи параметров. В четырехлетнем возрасте проявлялись первые достоверные коррелятивные связи между параметрами. Установлена средняя по силе высокодостоверная связь между подвижностью и концентрацией спермиев; слабые, отрицательные по направлению, достоверные связи между оплодотворяющей способностью, концентрацией и подвижностью спермиев $-0,35 < r < 0,4$. У быков 5-го года жизни сохранялась выявленная в предыдущей возрастной группе средняя по силе положительная, достоверная связь между подвижностью и концентрацией спермиев. У быков 6-го года жизни проявляется достоверная средняя по силе, положительная связь между объемом эякулята и концентрацией спермиев. Корреляционная матрица производителей седьмого года жизни не содержала достоверных связей между параметрами.

Однако популяция неоднородна и состоит из различных популяционных групп разной линейной принадлежности и внутрилинейных генетических особенностей. Поскольку на массиве всей популяции нами были выявлены слабые коррелятивные связи, а ряд возрастных групп их вообще не проявил, важно было выяснить, не является ли полученная картина результатом наложения индивидуальных особенностей каждой из существующих линий.

У быков трехлеток на популяционном уровне не были выявлены достоверные коррелятивные связи между параметрами, в результате проведенной разбивки этой возрастной группы на линии установлено, что для быков линии СТР в этом возрасте характерно наличие сильной положительной высокодостоверной связи между концентрацией спермы и объемом эякулята $r=+0,86$, для быков линии РзС эта связь также положительна, но является очень слабой ($r=0,28$) и недостоверной. Только (за счет эффекта наложения) на массиве всей популяции мы не обладали такой информацией. У производителей РзС обнаружена сильная, положительная, высокодостоверная связь между подвижностью спермиев и объемом эякулята $r=+0,84$, у быков СТР проявлялась коррелятивная связь противоположного знака.

У быков производителей 4-го года жизни линии МЧ не выявлено достоверных корреляций между элементами системы, у быков линии РзС сильная положительная высокодостоверная связь между объемом эякулята и концентрацией сперматозоидов $-r=0,84$ и средняя отрицательная достоверная связь между оплодотворяющей

способностью и такими показателями, как концентрация и подвижность спермиев - $r > 0,6$; именно эти коррелятивные связи проявились и на общепопуляционном уровне.

У быков-производителей 5-го года жизни на популяционном уровне была выявлена средняя по силе высокодостоверная положительная связь между концентрацией спермиев и их подвижностью, те же тенденции обнаружены в этой возрастной группе у быков линий СТР и ВБА, однако связь в данном случае сильная - $r > 0,85$. У быков РзС эта связь также имеет место, но она статистически недостоверна, у быков данной линии сильная отрицательная достоверная связь между подвижностью спермиев и объемом эякулята. Корреляционная матрица у быков 6-го года жизни линий выявила только одну достоверную среднюю по силе положительную связь между подвижностью и концентрацией спермиев у спермодоноров МЧ.

Корреляционная матрица элементов, характеризующих воспроизводительную способность быков в период 7-го года жизни, оказалась значительно информативнее матрицы общепопуляционной, поскольку вскрыла все завуалированные индивидуальные внутрилинейные корреляции у быков линий РзС и ВБА. На 7-м году жизни система воспроизводства у спермодоноров линии РзС имеет высокодостоверную, сильную положительную связь между концентрацией спермы и объемом эякулята, а также сильно выраженные положительные достоверные связи подвижности спермиев с их концентрацией и самим объемом эякулята. У быков ВБА отмечается сильная по-

ложительная достоверная связь между подвижностью спермиев и объемом эякулята. У быков ВБА в этом возрасте проявляется сильная положительная высокодостоверная связь между оплодотворяющей способностью и объемом эякулята; на общепопуляционном уровне эта связь отсутствует, следовательно, является возрастной особенностью данной линии.

Все обследованные нами группы – популяция в целом и группы быков разной линейной принадлежности – обнаружили разной силы и направленности связи между параметрами, характеризующими систему воспроизводства быков. Ни один из выбранных для характеристики оценочных параметров не оказался вне связи с остальными, следовательно, параметры выбраны правильно, действительно являются характеристическими для системы воспроизводства и позволяют правомерно использовать их для получения интегральных характеристик системности воспроизводительной способности быков.

Интегральные характеристики системы воспроизводства быков-производителей разных возрастных групп на массиве всей популяции приведены в таблице 2. Такой показатель, как интенсивная мера системности, характеризующий среднюю силу связей в системе, с возрастом прогрессивно и планомерно нарастает от 0,37 до 0,55. Вес корреляционного графа, являющийся наиболее информативным для наших исследований показателем, претерпевает в возрастном аспекте значительные колебания. Предельно возможная величина веса

корреляционного графа при использовании системы из 4-х элементов составляет 6 единиц. Наибольшая расчетная величина веса корреляционного графа в наших исследованиях установлена для быков на 4-м году жизни и составляет 1,31 ед., т.е. достигает 1/5 максимально возможной величины. Вес корреляционного графа в корреляционной адаптометрии отражает степень адап-

Интегральные характеристики системности воспроизводительной способности быков различных возрастных групп

Возрастные группы	Возраст					
	2	3	4	5	6	7
Жесткость	0.373	---	0.437	0.480	0.554	---
Вес графа	0.373	---	1.310	0.480	0.554	---
Сложность	0.125	---	0.375	0.125	0.125	---
Организованность	0.047	---	0.164	0.060	0.069	---
Порог устойчивости	1.225	---	0.707	1.225	1.225	---

Таблица 2

тационного напряжения в системе, и чем он выше, тем лучше адаптационные способности системы. Поскольку, вслед за достаточно высоким подъемом величины веса корреляционного графа у быков 4-летнего возраста, у быков-пятiletок фиксируется спад этого показателя, можно предполагать, что репродуктивная система вступила в фазу истощения. Переходный коэффициент, характеризующий сложность системы, с возрастом практически не изменяется; исключения составляют быки 4-го года жизни, в этой возрастной группе коэффициент сложности наибольший - 0,375, в остальных возрастных группах - 0,125. Если учитывать, что максимально возможная величина сложности 1,0, то мы имеем дело с системой невысокого уровня сложности. Организованность системы, имеющая максимально возможную величину 1, в наших исследованиях не выше 0,164, следовательно, невысокая.

Системные характеристики быков разной линейной принадлежности могут вскрыть завуалированные на массиве популяции характерные особенности системы воспроизводства отдельных линий.

Используя интегральные системные характеристики, мы, естественно, отдавали себе отчет, что, по сравнению с традиционными показателями, они обладают одним недостатком – требуют «калибровку» при первом использовании. Их значимость существенно возрастает при динамических съемах. Именно с этих позиций мы использовали несколько вариантов «естественной» разбивки популяции быков на возрастные группы, на линии и внутрилинейные разновозрастные группы.

Обобщая полученные результаты, следует отметить, что жесткость, или средняя сила связи между функционально-структурными элементами воспроизводительной системы находилась в пределах от 0,190 до 0,997, т.е. от слабой до очень сильной. Была выявлена межлинейная дифференциация по уровню средней жесткости параметров воспроизводительной системы ее временная нестабильность. С возрастом жесткость связей в репродуктивной системе быков-спермодоноров нарастала и характеризовалась линейной специфичностью. Минимальное значение показателя организованности (зрелости системы) было установлено у быков-двухлеток, которые проходили начальные этапы эксплуатации в режиме спермодоноров. В возрастном аспекте наибольшее адаптационное напряжение испытывала воспроизводительная система быков-четырёхлеток. Для спермодоноров разных линий характерна гетерогенность системных характеристик.

Библиографический список

1. Михайловский Г.Е. Описание и оценка состояний сообществ. М.: Наука, 1988.- 214с.
2. May R.M. Will a large complex system be stable?//Nature.-1972. Vol. 238.- N5362.- P.413-414.
3. Свирежев Ю.М., Логофет. Д.О. Устойчивость биологических систем. - М: Наука, 978.- 352 с.
4. Федоров В.Д. Концепция устойчивости экологических систем//Всесторонний анализ окружающей природной среды.- Л.:Гидрометеоздат, 1975.- С. 207-217.