
МЕТОДЫ

УДК 004.652:636.2.034.082.2

doi:10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2018.2.101-111

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ВЫЖИВАЕМОСТИ КОРОВ
ДОЙНОГО СТАДА: АНАЛИЗ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ДАННЫХ
И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**¹Черепанов Г.Г.*¹ВНИИ физиологии, биохимии и питания животных,
Боровск Калужской обл., Российская Федерация*

Цель работы – анализ производственных данных по динамике выживаемости коров чёрно-пёстрой породы и выявление закономерностей в соотношении полученных значений параметров. Материал исследования – данные учёта возрастного состава стада коров по производственным подразделениям Ленинградской области в период 1985-1990 гг. Интенсивность выбытия коров по сумме причин описывалась экспоненциальной функцией Гомпертца, определение значений предэкспоненциального параметра и показателя экспоненты (B и c) проводилось по данным возрастной структуры стада (количество коров с последовательными номерами лактации), усреднённым за 5 лет для компенсации отклонений от стационарного режима обновления стада. По 16 исследованным производственным подразделениям выявлена отрицательная корреляция между параметрами B и c ($c = 0,19 - 0,15*B$, $R^2=0.69$, $P<0.001$). В модельном вычислительном эксперименте аналогичная корреляция получена в предположении, что стада гетерогенны по динамике выживаемости, а составляющие группы (субпопуляции) имеют одно и то же значение « c », но неодинаковые значения B и разную начальную численность группы. Для 16 модельных субпопуляций выявлена отрицательная взаимосвязь между средней длительностью продуктивной жизни T (среднее число лактаций) и параметром B ($T = 5,12 - 6,73*B$; $R^2=0.74$, $P<0.001$), что согласуется с ранее полученными данными о том, что начальное значение интенсивности выбытия можно использовать в качестве предиктора (потенциала) долголетия коров. Заключили, что для продления срока продуктивной жизни высокопродуктивных коров необходимо увеличивать «начальную» величину общей резистентности, т.е. функциональные резервы в молодом возрасте, в том числе за счёт устранения неблагоприятных отклонений в ходе эмбрионального, фетального и постнатального развития, а также путём проведения мониторинга физиологического состояния животных и применения технологических воздействий в молодом возрасте, способствующих повышению общих защитных сил.

Ключевые слова: молочные коровы, выживаемость, жизнеспособность, динамика обновления стада, компьютерное моделирование

Проблемы биологии продуктивных животных, 2018, 2: 101-111

Введение

Выбор приоритетных направлений научно-технологического развития в настоящее время имеет критическое значение для ряда отраслей животноводства, в частности, для молочного скотоводства. Использование в широких масштабах импортного племенного материала и применение интенсивных промышленных технологий в производстве молочного сырья сопровождается негативными тенденциями – снижением уровня биоразнообразия, ростом «болезней продуктивности», спадом воспроизводства, ухудшением качества и безопасности получаемой продукции. Поэтому в центре внимания исследователей и практиков в последние годы оказывается проблема жизнеспособности организмов и

популяций, в том числе в аспекте получения молочных коров оптимального типа со сбалансированным соотношением параметров продуктивности, долголетия, фертильности и устойчивости к действию факторов риска. Проблема осознаётся всеми, но трудность в том, что вряд ли кому сейчас ясно, как и какими силами её решать.

При формировании стратегий развития в качестве безальтернативного варианта считается применение «наукоёмких инновационных технологий». В качестве общей формулировки этот ориентир понятен, но при практическом его применении в последние годы возникают риски некритического перенесения зарубежного опыта в отечественную науку и практику. Получают грантовую поддержку и высокие оценки в базах цитирования, в основном, исследователи, создающие новые лечебные препараты, БАДы, генно-инженерные конструкции, клонированные эмбрионы и многие другие новации. Но, подобно тому, как в военном деле местные тактические успехи не гарантируют провалов в стратегических направлениях, даже большое число проектов, нацеленных на решение частных текущих вопросов, при отсутствии системного подхода в принципе не могут обеспечить ощутимого движения в решении наиболее важных целей, видимых лишь «с высоты птичьего полёта».

В РФ за последние 25 лет общее поголовье коров сократилось в 2,5 раза, рост средней продуктивности не обеспечивает ощутимой компенсации этих потерь, общее производство молока в 2013 г было меньше, чем в 1990, в 2 раза (Кузнецов, 2015). В ряде регионов страны обеспеченность потребности населения в молоке находится на уровне не выше 70% от рекомендаций ВОЗ ООН (Кулакова, Ефимова, 2016). Демографический термин «депопуляция», возникший в последние десятилетия по отношению к населению ряда обширных регионов страны, можно отнести и к продуктивным животным, поскольку работа по их разведению в этих регионах практически не ведётся на современной научной основе (Кузнецов, 2015). Не зная, что собой представляют структура и динамика популяций отечественных пород и типов молочного скота в разных географических зонах страны, трудно рассчитывать на то, что масштабный эффект можно получить только за счёт отдельных инновационных разработок, включая технологии молекулярно-генетического маркирования. К тому же известно, что вклад генетики в формирование фенотипа животного составляет не более 50%, остальная часть обусловлена так называемыми «эффектами взаимодействия генотипа и среды». Поэтому ещё одна фундаментальная проблема состоит в необходимости расшифровки биологических механизмов этого «взаимодействия». На этом пути ещё только предстоит разрабатывать понятийный аппарат, аналитику и методические подходы для обеспечения сбалансированности параметров продуктивности, жизнеспособности, фертильности и неспецифической резистентности.

Эффекты жизнеспособности и гетерогенности популяций по параметрам выживаемости очень трудно поддаются изучению, поскольку особенностью биологии продолжительности жизни является чрезвычайно высокая вариабельность эмпирических данных, не говоря уже о том, что сам по себе предмет изучения возникает только по окончании жизни. Поэтому значительная часть исследований по необходимости состоит в разработке и совершенствовании средств численного анализа больших массивов эмпирических данных и постановке вычислительного эксперимента *in silico* (Ducrocq, Casella, 1996; Roxström et al., 2003; Hare et al., 2006)

Аналогичные ситуации не раз возникали в истории биологии. Достаточно упомянуть исследования Н.В.Тимофеева-Ресовского в 30-х гг. прошлого столетия по разработке «теории мишеней» на основе данных по выживаемости дрожофил, облучаемых ионизирующими частицами различной энергии. Ещё более значительное время отделяет нас от пионерской работы Бенджамин Гомпертца по динамике смертности людей, хотя успехи в области биологии продолжительности жизни пока куда менее скромные, по сравнению с молекулярной генетикой, что объясняется чрезвычайной сложностью проблемы.

Ранее было показано, что для высокопродуктивных животных наиболее адекватной мерой жизнеспособности может быть конститутивная резистентность, как интегральный

показатель, отражающий эффекты возрастного снижения защитных сил (факторов иммунитета, внутриклеточных репаративных, антиоксидантных и других систем «антистарения») (Галочкин и др., 2016; Черепанов, Михальский, 2016).

Данные био-медицинских исследований показывают, что паттерны смертности в популяции, рассматриваемой как одно целое, могут значительно отличаться от характера частот смертности в составляющих субпопуляциях. Анализ эмпирических данных выявляет наличие неоднородности по параметрам выживаемости в популяциях различных видов лабораторных животных и человека (Vaupel et al., 1998). При исследовании состояния здоровья населения при радиационных поражениях учёт гетерогенности популяций позволяет получать более точные оценки факторов риска (Ivanov et al., 2017). О том, что выявленные закономерности имеют общебиологический характер, свидетельствуют результаты анализа эмпирических данных по возрастной динамике продуктивности и выживаемости в популяциях молочного скота (Черепанов и др., 2017).

Цель данной работы – анализ производственных данных по динамике выживаемости коров чёрно-пёстрой породы, выявление закономерностей в соотношении параметров функции Гомпертца и формулирование гипотез в их содержательной трактовке.

Материал и методы

Анализ производственных данных

В качестве материала исследования использовали данные производственного учёта возрастного состава стада коров по производственным подразделениям Ленинградской области в период 1985-1990 гг., усреднённые за 5 лет с целью компенсации отклонений от стационарных условий обновления стада. Такие отклонения возникают неизбежно в производственных условиях в силу разных факторов, включая состояние кормовой базы, ветеринарное благополучие стада, форс-мажорные выбраковки и приобретение животных и др. Поэтому в мировой практике при оценке долголетия коров используют технологии больших данных, накапливаемых в национальных электронных системах племенного учёта.

Интенсивность выбытия из стада (выбраковки по сумме причин) описывалась функцией Гомпертца:

$$y_c(t) = \Delta S / (S * \Delta t) = B \exp(ct),$$

где S – численность когорты (совокупность генетически однородных особей одного и того же года рождения) в момент времени t , ΔS – величина уменьшения численности за отрезок времени Δt . Для лактирующих коров время обычно выражают номером текущей лактации и $\Delta t = 1$. Определение параметров B и c можно проводить не в когортах, а по данным ежегодной регистрации возрастной структуры стада. Коровы в стаде с последовательными номерами лактации – это остатки когорт, каждая из которых может иметь особенности по условиям разведения, кормления и содержания на протяжении индивидуальной истории «жизни».

Производственные данные, взятые из записей системы СЕЛЭКС, включали общую численность стада и бонитировочные данные распределения по последовательным лактациям – по 1-й, 2-й и 3-й по отдельности, затем по двум лактациям – 4-5, 6-7, 8-9, 10 и старше. Наличие данных по сдвоенным лактациям создаёт определённые трудности для количественного анализа динамики выживаемости, поэтому применялась итеративная методика восстановления ряда численности коров для всех последовательных номеров лактации по неполным исходным данным, которая иллюстрируется на примере анализа данных по Всеволожскому району (табл. 1, рис. 1).

Таблица 1. Восстановление ряда численности коров для всех последовательных номеров лактации по неполным исходным данным (по записям в системе СЕЛЭКС)

Номер лактации, t	Исходный неполный ряд	Корректирующий коэффициент	Восстановленный ряд	$y_c(t)$
1	3165		3165	0,199
2	2534		2534	0,236
3	1936		1936	0,315
4+5	2253	1,7	1325	0,300
5			928	0,358
6+7	983	1,65	596	0,350
7			387	0,499
8+9	302	1,56	194	0,444
9			108	0,629
10 и более	54	1,35	40	0,650
11			14	

Для восстановления первого и второго значения численности для «сдвоенных лактаций» применялась следующая итерационная процедура: 1) на первой итерации используются ориентировочные корректирующие коэффициенты для получения полного ряда значений y ; 2) в формате электронной таблицы Excel строится точечная диаграмма $y(x)$ с обозначением линий маркеров первого варианта ряда, для которого обычно характерен большой разброс точек в интервале 4-й и последующих лактаций; 3) в корректирующие коэффициенты последовательно вносятся поправки, при этом автоматически генерируется новый ряд y , который отображается на точечной диаграмме; 4) при достижении минимального разброса точек убираются линии маркеров, вводится линия экспоненциального тренда с обозначением в легенде формулы регрессии и коэффициента детерминации R^2 .

Результаты и обсуждение

Результаты анализа производственных данных

Динамика выбытия коров из дойного стада хорошо аппроксимировалась функцией Гомпертца для 16 из 21 проанализированных производственных подразделений при среднем значении R^2 , равном 0,79. Для лальнейших расчётов использовали данные по подразделениям со R^2 в интервале 0,94 - 0,516, для Кирижского р-на, племферм совхозов оно было менее 0,5, для Выборского р-на линия тренда была линейной, для Подпорожского р-на необычно большой разброс точек исключал возможность получения статистически определённых оценок. В целом, полученные данные свидетельствуют о наличии динамики выживаемости молочных коров, аналогична таковой, установленной в многочисленных исследованиях на популяциях лабораторных животных и человека в период после достижения репродуктивного возраста. Вместе с тем, как указано выше, для коров дойного стада для проведения корректного анализа динамики выживаемости необходимо выполнение определённых условий и достаточно больших массивов данных.

В табл. 2 обращает на себя внимание более высокий уровень вариабельности параметра B (интенсивность выбытия на первой лактации), по сравнению с величиной c . Ранее были получены определённые основания для трактовки величины, обратной y_{cl} , в качестве показателя, характеризующего потенциал жизнеспособности данной группы животных (Черепанов, 2018). Иными словами, различия в уровне жизнеспособности, сформированном к началу репродуктивной деятельности, могут определять (в среднем по группе или популяции) различия в продолжительности продуктивной жизни животных (Черепанов, 2018).

Эта закономерность наиболее чётко выражена, если сравниваемые группы или популяции имеют аналогичные значения показателя экспоненты «с» в функции Гомпертца. Такое теоретически возможно в ситуации, если «темп старения», характеризующий

показателем экспоненты, определяется, в основном, устойчивыми генетическими факторами, в том числе породой. Поскольку ленинградский тип чёрно-пёстрой породы является устойчивой консолидированной популяцией, можно предположить, что эта популяция характеризуется приблизительно одним и тем же значением «с», а небольшие вариации в исследованных подразделениях данной популяции объясняются либо статистической погрешностью полученных оценок, либо влиянием других факторов, например, наличием гетерогенности исследованных стад по параметру B .

Таблица 2. Результаты оценки параметров выживаемости коров дойного стада для производственных подразделений Ленинградской области

№	Источник данных	N	B	c	R ²
1	По Ленинградской обл.	63572	0,184	0,103	0,935
2	племзаводы	1333	0,245	0,082	0,837
3	племсовхозы	4511	0,198	0,104	0,795
4	р-н Бокситогорский	3046	0,106	0,15	0,516
5	р-н Волосовский	6777	0,166	0,134	0,874
6	р-н Волховский	3454	0,152	0,107	0,54
7	р-н Всевожский	3165	0,186	0,125	0,942
8	р-н Гатчинский	6055	0,22	0,096	0,859
9	р-н Гингисепский	5049	0,219	0,089	0,777
10	р-н Кировский	2085	0,12	0,135	0,798
11	р-н Ломоносовский	4284	0,166	0,128	0,857
12	р-н Лужский	6790	0,209	0,084	0,928
13	р-н Приозерский	3624	0,203	0,108	0,875
14	р-н Сланцевский	2078	0,169	0,1	0,639
15	р-н Тихвинский	2367	0,183	0,1	0,642
16	р-н Тосненский	5770	0,187	0,12	0,877
	Среднее		0,182	0,110	0,79

Примечание: N – общая численность стада; B и c – коэффициенты формулы Гомпертца.

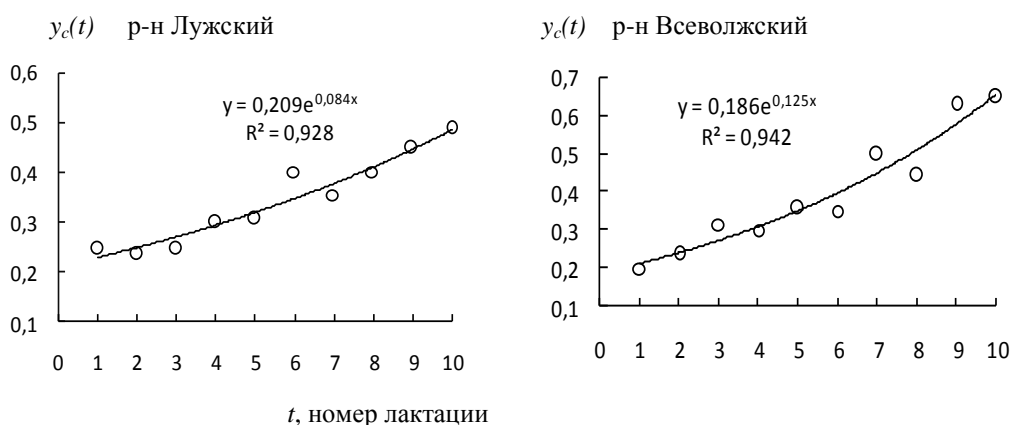


Рис. 1. Возрастная динамика интенсивности выбытия дойных коров из стада по сумме причин, оцененная для двух районов Ленинградской обл.

Определённым доводом в пользу этой второй трактовки вариативности показателя «с» можно считать обнаруженную коррелятивную взаимосвязь между параметрами B и c по 16 исследованным производственным группам (рис. 2). Это даёт основание для предположения о том, что: 1) исследованные стада гетерогенны по выживаемости; и 2) вариации в значениях параметра B оказывают влияние на оценки параметра c для общей популяции.

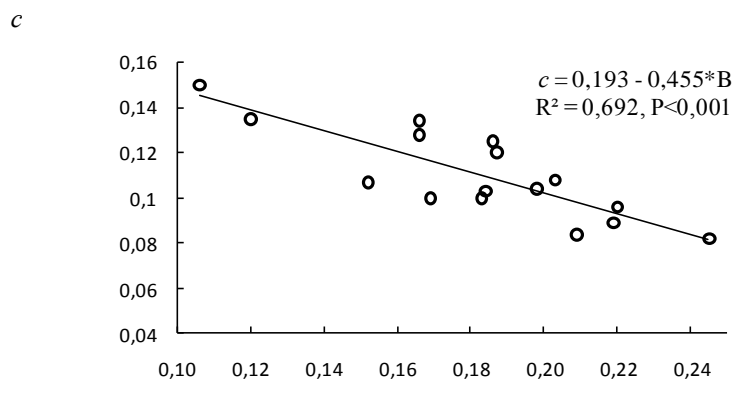


Рис. 2. Корреляционная взаимосвязь между параметрами функции Гомпертца B и c по 16 исследованным производственным подразделениям Ленинградской области.

Исследование на вычислительной модели

1. *Методика.* Для проверки сделанных предположений были проведены 4 серии расчётов по анализу выживаемости для общей модельной гетерогенной популяции при одной и той же начальной численности N (1000 коров на первой лактации) и при одном и том же значении параметра « c » для четырёх составляющих субпопуляций (табл. 3).

В каждой из четырёх серий варьировали значения B и начальную численность n для субпопуляций по схеме:

I	n	100	400	300	200	III	n	400	300	200	100
	B	0,35	0,3	0,25	0,15		B	0,4	0,25	0,2	0,15
	t_{max}	4	5	7	8		t_{max}	5	6	8	
II	n	300	300	300	100	IV	n	400	300	200	100
	B	0,4	0,3	0,2	0,1		B	0,35	0,25	0,2	0,15
	t_{max}	6	7	8	8		t_{max}	5	7	8	8

Таблица 3. Анализ динамики выживаемости в модельной гетерогенной популяции по варианту IV

t	y_1	$I - y_1$	n	y_2	$I - y_2$	n	y_3	$I - y_3$	n	y_4	$I - y_4$	n	N	y
1	0,387	0,613	400	0,276	0,724	300	0,221	0,779	200	0,166	0,834	100	1000	0,330
2	0,427	0,573	229	0,305	0,695	208	0,244	0,756	151	0,183	0,817	82	670	0,352
3	0,472	0,528	121	0,337	0,663	138	0,270	0,730	110	0,202	0,798	65	434	0,373
4	0,522	0,478	58	0,373	0,627	87	0,298	0,702	77	0,224	0,776	51	272	0,393
5	0,577	0,423	24	0,412	0,588	51	0,330	0,670	52	0,247	0,753	38	165	0,412
6	0,638	0,362	9	0,456	0,544	28	0,364	0,636	33	0,273	0,727	28	97	0,457
7	0,705	0,295		0,503	0,497	14	0,403	0,597	20	0,302	0,698	19	53	0,549
8	0,779	0,221		0,556	0,444		0,445	0,555	11	0,334	0,666	13	24	0,659
9				0,615	0,385		0,492	0,508		0,369	0,631	8	8	

Примечания: t – номер лактации, y – интенсивность выбытия (выбраковки по сумме причин); n – численность когорты в субпопуляции, N – численность когорты в целой популяции; в качестве продолжительности продуктивной жизни (t_{max}) принято значение t , при котором количество оставшихся коров становится менее 5% от начальной численности (на первой лактации). Средняя продолжительность жизни T приблизительно в 2 раза меньше величины t_{max} (Черепанов и др., 2017).

Результаты исследования

Динамика интенсивности выбытия для общей модельной гетерогенной популяции аппроксимировалась функцией Гомпертца с достаточно высоким коэффициентом детерминации (0,81-0,92, рис. 3).

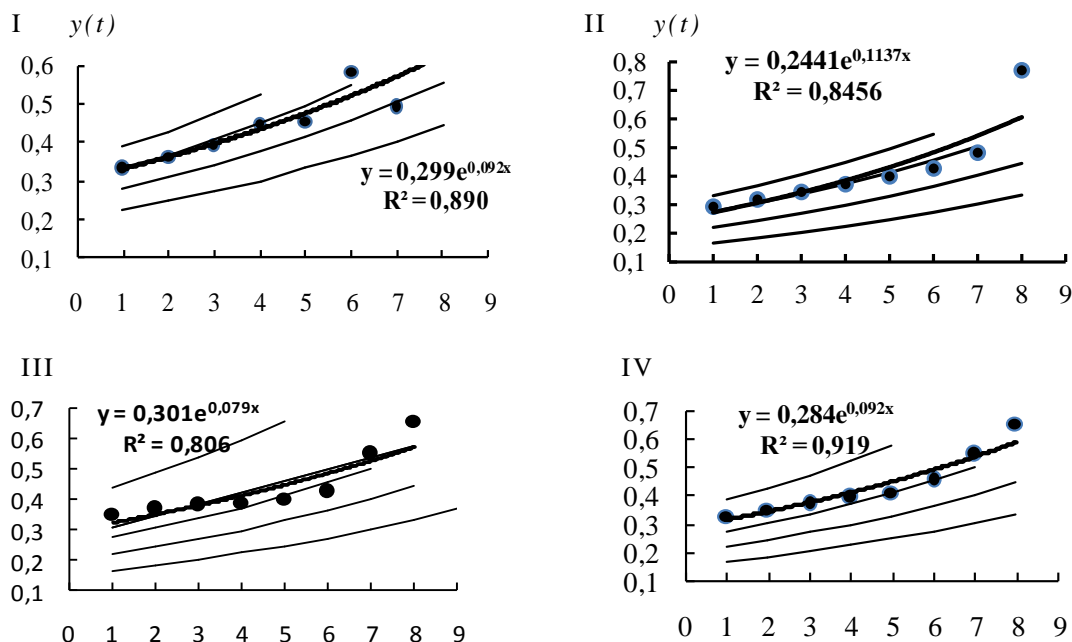


Рис. 3. Динамика интенсивности выбытия для общей модельной гетерогенной популяции, аппроксимированная функцией Гомпертца (жирная линия тренда), и соответствующие линии тренда для четырёх субпопуляций по четырём вариантам анализа. По оси абсцисс – t (номер лактации).

Для четырёх вариантов расчёта величины показателя экспоненты c для общей популяции варьировали в пределах 0,079-0,113 (для всех составляющих субпопуляций изначально было принято $c = 0,1$), при этом наблюдалась тесная отрицательная корреляция между значениями параметров B и c по четырём исследованным вариантам (рис. 4).

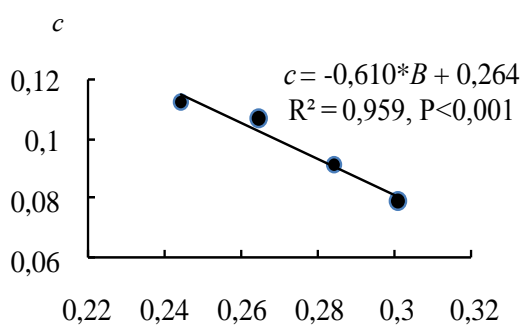


Рис. 4. Корреляционная взаимосвязь между параметрами B и c для общей популяции, состоящей из 4-х субпопуляций с одним значением $c=0,1$, разными значениями параметра B и начальной численности (см. схему для вар. I-IV).

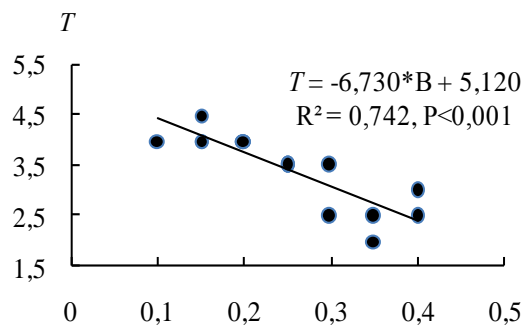


Рис. 5. Взаимосвязь между средней длительностью продуктивной жизни T (среднее число лактаций) и параметром B в функции Гомпертца для 16 модельных субпопуляций.

В демографических исследованиях описан иногда наблюдаемый «компенсационный эффект смертности», который иллюстрируется схождением логарифмических графиков интенсивности смертности, описываемой функцией Гомпертца, к одной точке в верхней правой части диаграммы (Гаврилов, Гаврилова, 1991), т.е. отмечается снижение наклона прямых (уменьшение параметра c) по мере повышения начального уровня. На исследованном массиве эмпирических данных этот эффект на логарифмических графиках не выявлен.

Тот факт, что корреляция между B и c , выявляемая на модельных объектах при численном моделировании, установлена и на массиве эмпирических данных (по 16 исследованным производственным подразделениям Ленинградской области, рис. 2), свидетельствует в пользу сделанного выше предположения, что «темп старения», характеризуемый показателем экспоненты в эмпирической функции Гомпертца, определяется, в основном, устойчивыми генетическими факторами, в том числе породными особенностями, тогда как фактически наблюдаемая популяционная вариабельность длительности продуктивной жизни животных в значительной степени зависит от «потенциала» жизнеспособности, сформированного к началу репродуктивного периода (Черепанов, 2018). Поскольку этот потенциал можно выразить величиной, обратной интенсивности выбытия на первой лактации: $1/y_{cl} = 1/(B * e^c)$, то из этого теоретически следует существование отрицательной корреляции между величиной B и длительностью продуктивной жизни для объединённой группы генетически однородных субпопуляций, что было подтверждено результатами расчётов для 16 модельных групп (рис. 5).

Общее обсуждение и рекомендации

Выявленные в данной работе количественные закономерности согласуются с результатами многочисленных исследований, в которых показано, что частота возникновения возрастных заболеваний зависит от воздействия внешних и внутренних факторов, имевших место в периоды раннего онтогенеза. В основе феноменов этого типа лежат изменения в механизмах эпигенетического контроля – средовые факторы могут влиять на экспрессию генов, не затрагивая кодирующие последовательности ДНК, однако вызванные изменения в паттернах экспрессии при этом могут сохраняться на протяжении всей жизни, а в некоторых случаях и передаваться потомству. То есть это может осуществляться за счёт регуляторных эпигенетических событий, влияющих на экспрессию генов и стрессоустойчивость в ответ на внешние и внутренние стимулы (Helfand, Inouye, 2002).

Совокупность накопленных научных данных и клинических наблюдений свидетельствует о том, что начальный уровень жизнеспособности (и потенциал долголетия) является результатом взаимодействия между генетическими факторами и эпигенетическими модификациями, фиксирующимися в ответ на воздействие эндогенных и экзогенных факторов на ранних этапах онтогенеза. Поскольку результат этих взаимодействий зависит не только от наследуемых генетических структур, но и от «истории» событий, происходящих в критические периоды развития, то у коров рождаются потомки, а в стадах и в популяциях к началу репродуктивного возраста возникают группы (субпопуляции) с разным потенциалом жизнеспособности.

Согласно ранее сформулированной концепции, длительность продуктивной жизни коров в определённой степени детерминирована начальным уровнем «конститутивной резистентности» (возрастзависимого функционального резерва системы молокообразования) и потенциала жизнеспособности (предиктора долголетия – величины, обратной вероятности выбытия в период первой лактации) (Черепанов, 2014, 2018). В принципе, биологический смысл выявленных соотношений понятен, в том числе в свете представлений о «первичном здоровье» (Odent, 1986), концепции креода (Уоддингтон, 1971), в своё время во многом предвосхитившей нашу концепцию конститутивной резистентности, а также известных данных о роли эпигенетических факторов в развитии возрастзависимых заболеваний (Вайсерман и др., 2011).

В целом, полученные данные позволяют предположить, что для достижения сформулированной во введении общей цели получения молочных коров оптимального типа со сбалансированным соотношением параметров продуктивной жизнеспособности и фертильности целесообразно создавать систему пожизненного мониторинга внешних воздействий и физиологического статуса животных на всех этапах онтогенеза, а также соответствующие технологии анализа «больших данных» (big data) для поиска эффективных прогностических тестов.

Возможных кандидатов на роль тестов для прогноза продуктивного долголетия не следует искать в показателях физиологического гомеостаза, с большей вероятностью их можно найти в области действия конститутивных эпигенетических факторов. Для продления сроков продуктивной жизни, помимо борьбы с болезнями, необходимо увеличивать «начальную» величину общей резистентности, т.е. функциональные резервы в молодом возрасте, в том числе за счёт селекции, устранения неблагоприятных отклонений в ходе эмбрионального, плодного и постнатального развития, а также применения технологических воздействий в молодом возрасте, способствующих повышению общих защитных сил.

У высокопродуктивных животных необходимо идентифицировать «узкие звенья» в эволюционно и фенотипически сложившемся балансе обменных процессов, которые наиболее подвержены перегрузкам с последующим риском развития дисфункций, органических нарушений и патологий. В отсутствие такой «валеологической» информации получается двойной риск. Во-первых возникает вероятность получить «некондиционный» молодняк, а во-вторых – внедрение в практику всё более многочисленных стимуляторов продуктивности, без необходимого длительного комплексного контроля, может провоцировать «болезни обмена веществ» и раннюю выбраковку.

Трудность изучения этих сложных процессов и структур заключается в необходимости организации длительных поисковых исследований «на стыке наук». Прежде всего, необходимо осознать проблему, сформулировать цели, разработать научно-методические подходы, а для этого нужно идти одновременно по двум направлениям: 1) разрабатывать аналитику и вычислительные инструменты, и 2) расширять эмпирическую базу, исследовать особенности реальных объектов и разрабатывать рекомендации, включая внесение изменений в форматы записей электронной системы племенного и ветеринарно-зоотехнического учёта в масштабах отрасли.

Автор выражает глубокую признательность проф. В.М. Кузнецову за предоставление производственных данных по Ленинградской области.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вайсерман А.М., Войтенко В.П., Мехова Л.В. Эпигенетическая эпидемиология возрастзависимых заболеваний // Онтогенез. – 2011. – Т. 42. – № 1. – С. 30-50.
2. Гаврилов Л.А., Гаврилова Н.С. Биология продолжительности жизни. – М.: Наука, 1991. – 280 с.
3. Галочкин В.А., Галочкина В.П., Агафонова А.В., Черепанов Г.Г. Межсистемные связи иммунитета, нейроэндокринной регуляции и факторов питания в свете концепции общего иммунофизиологического контроля резистентности // Проблемы биологии продуктивных животных. – 2016. – № 3. – С. 24-46
4. Кузнецов В.М. Исторические тренды в молочном скотоводстве России и США. – Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2015. – 64 с.
5. Кулакова Т.В., Ефимова Л.В. Анализ молочного скотоводства и основных фактов его развития в федеральном и региональном аспектах // Мат. 21-й межд. конф.: "Научно-технологическое развитие АПК: проблемы и перспективы". – М.: ВИАПИ, 2016. – С. 236-240.
6. Черепанов Г.Г. Обоснование концепции о ключевой роли конститутивной резистентности для жизнеспособности и длительности использования высокопродуктивных животных // Проблемы биологии продуктивных животных. – 2014. – № 4. – С. 5-34.

7. Черепанов Г.Г. Михальский А.И. Проблема поиска возможных подходов для оценки потенциала жизнеспособности и продления сроков использования высокопродуктивных животных // Проблемы биологии продуктивных животных. – 2016. – № 1. – С. 5-25.
8. Черепанов Г.Г., Михальский А.И., Новосельцева Ж.А. Оценка параметров выживаемости для составляющих неоднородной популяции продуктивных животных: анализ проблемы, варианты приближённого решения // Проблемы биологии продуктивных животных. – 2017. – № 4. – С. 83-97.
9. Уоддингтон К.Х. Основные биологические концепции // В кн.: На пути к теоретической биологии. – М.: Мир, 1971. – 180 с.
10. Cherepanov G.G. Prediction of viability of cows: a new look at the old problem // *Agricultural Research and Technology. Open Journal (ARTOAJ)*. – 2018. – Vol. 141. – Issue 5: ARTOAJ.MS.ID.555931, DOI: 10.19080/ARTOAJ.2018.14.555931
11. Hare E., Norman H.D., Wright J.R. Survival rates and productive herd life of dairy cattle in the United States // *J. Dairy Sci.* – 2006. – Vol. 89. – P. 3713-3720.
12. Helfand S.L., Inouye S.K. Rejuvenating views of the aging process // *Nat. Rev. Genet.* – 2002. – Vol. 3. – P. 149-153.
13. Ducrocq V., Casella G. A Bayesian analysis of mixed survival models // *Genet. Sel. Evol.* – 1996. – Vol. 28. – P. 505-529.
14. Ivanov R.V., Mikhalskii A.I., Ivanov V.K., Chekin S.Yu., Maksyutov M.A., Kashcheev V.V. On identification of morbidity parameters in a heterogeneous model: the cases of complete and incomplete information // *Automation and Remote Control.* – 2017. – Vol. 78. – P. 1329-1340.
15. Roxström A., Ducrocq V., Strandberg E. Survival analysis of longevity in dairy cattle on a lactation basis // *Genet. Sel. Evol.* – 2003. – Vol. 35. – P. 305-318.
16. Vaupel J.W., Carey J.R., Christensen K., Johnson T.E., Yashin A.I. et al. Biodemographic trajectories of longevity. – *Science.* – 1998. – Vol. 280. – P. 855-860.

REFERENCES

1. Cherepanov G.G. [Substantiation of the concept of the key role of constitutive resistance for the viability and duration of use of highly productive animals]. *Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh - Problems of Productive Animal Biology*. 2014, 4: 5-34.
2. Cherepanov G.G. Mikhalskii A.I. [The problem of finding possible approaches for assessing the viability potential and prolonging the use of highly productive animals]. *Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh - Problems of Productive Animal Biology*. 2016, 1: 5-25.
3. Cherepanov G.G., Mikhalskii A.I., Novosel'tseva Zh.A. [Evaluation of survival parameters for components of a heterogeneous population of productive animals: analysis of the problem, variants of the approximate solution]. *Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh - Problems of Productive Animal Biology* Проблемы биологии продуктивных животных. 2017, 4: 83-97.
4. Cherepanov G.G. Prediction of viability of cows: a new look at the old problem. *Agricultural Research and Technology. Open Journal (ARTOAJ)*. 2018, 141(5): ARTOAJ.MS.ID.555931, DOI: 10.19080/ARTOAJ.2018.14.555931.
5. Ducrocq V., Casella G. A Bayesian analysis of mixed survival models. *Genet. Sel. Evol.* 1996, 28: 505-529.
6. Galochkin V.A., Galochkina V.P., Agafonova A.V., Cherepanov G.G. [Intersystemic links of immunity, neuroendocrine regulation and nutritional factors in the light of the concept of general control of immunophysiological resistance]. *Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh - Problems of Productive Animal Biology*. 2016, 3: 24-46.
7. Gavrilov L.A., Gavrilova N.S. *Biologiya prodolzhitel'nosti zhizni* (Biology of life length). Moscow: Nauka Publ., 1991, 280 p.
8. Hare E., Norman H.D., Wright J.R. Survival rates and productive herd life of dairy cattle in the United States. *J. Dairy Sci.* 2006, 89: 3713-3720.
9. Helfand S.L., Inouye S.K. Rejuvenating views of the aging process. *Nat. Rev. Genet.* 2002, 3: 149-153.
10. Ivanov R.V., Mikhalskii A.I., Ivanov V.K., Chekin S.Yu., Maksyutov M.A., Kashcheev V.V. On identification of morbidity parameters in a heterogeneous model: the cases of complete and incomplete information. *Automation and Remote Control*. 2017, 78: 1329-1340.
11. Kulakova T.V., Efimova L.V. [Analysis of dairy cattle breeding and the main facts of its development in the federal and regional aspects]. In: *Mat. 21 mezhd. konf.: "Nauchno-tehnologicheskoe razvitie APK:*

- problemy i perspektivy*". (Mat. 21st Int. Conf.: Scientific and technological development of agribusiness: problems and prospects). Moscow: WIAPI Publ., 2016, P. 236-240.
12. Kuznetsov V.M. *Istoricheskie trendy v molochnom skotovodstve Rossii i SShA* [Historical trends in dairy cattle breeding in Russia and the USA]. Kirov: NIISKh Severo-Vostoka Publ., 2015, 64 p.
 13. Roxström A., Ducrocq V., Strandberg E. Survival analysis of longevity in dairy cattle on a lactation basis. *Genet. Sel. Evol.* 2003, 35: 305-318.
 14. Uoddington K.Kh. [Basic biological concepts]. In: *Na puti k teoreticheskoi biologii* (Towards a theoretical biology). Moscow: Mir, 1971, 180 p.
 15. Vaiserman A.M., Voitenko V.P., Mekhova L.V. [Epigenetic epidemiology of age-dependent diseases]. *Ontogenez -Developmental Biology.* 2011, 42(1): 30-50.
 16. Vaupel J.W., Carey J.R., Christensen K., Johnson T.E., Yashin A.I. et al. Biodemographic trajectories of longevity. *Science.* 1998, 280: 855-860.

Study of survival dynamics in herds of dairy cows: analysis of empirical data and computer simulation

Cherepanov G.G.

¹*Institute of Animal Physiology, Biochemistry and Nutrition, Borovsk, Kaluga oblast, Russian Federation*

ABSTRACT. The aim is to analyze empirical data on the dynamics of survivability of Black-and-White cows to identify patterns in the relationships between obtained parameter estimates. The material of the study was the data of production records of the age composition of a herd of cows in 21 production herds of Leningrad oblast in the period 1985-1990. The culling rate of cows for the sum of reasons was described by the exponential Gompertz function, the values of the pre-exponential parameter B and exponent index c were determined from the age structure of the herd (number of cows with consecutive lactation numbers) averaged over 5 years to compensate for deviations from stationary regime of herd turnover. A negative correlation between the parameters B and c was found for the 16 production groups studied ($c = 0.19 - 0.15*B$, $R^2 = 0.69$). In the computer simulation experiment, an analogous correlation was obtained on the assumption that the herds are heterogeneous in the survival dynamics, and the constituent groups (subpopulations) have the same value of " c ", but the unequal values of B and the different initial group sizes. For 16 model subpopulations, a negative correlation was found between the mean life span of T (the average number of lactations) and the parameter B ($T = 5.12 - 6.73*B$), consistent with earlier obtained data that the initial value of the culling rate can be use as a longevity predictor (potential) for cows. Concluded that to prolong the productive life of highly productive cows, it is necessary to increase the "initial" value of the general resistance, i.e. functional reserves at a young age, including by eliminating adverse abnormalities during embryonic, fetal and postnatal development, by monitoring the physiological condition of animals and using technological influences at a young age that contribute to an increase in the level of overall resistance.

Keywords: dairy cows, survival, viability, dynamics of herd turnover, computer modeling

Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh - Problems of Productive Animal Biology, 2018, 2: 101-111

Поступило в редакцию: 26.04.2018

Получено после доработки: 17.05.2018

Черепанов Геннадий Георгиевич, д.б.н., с.н.с., тел. +7(905)642-03-99; e-mail: 89611243110@mail.ru