

МЕТОДЫ

УДК 636.2.034+612.664:004.94

doi: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2018.1.102-111

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОЖИЗНЕННОЙ МОЛОЧНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ
КОРОВ В СТАДЕ, НЕОДНОРОДНОМ ПО ДИНАМИКЕ ВЫЖИВАЕМОСТИ:****ИССЛЕДОВАНИЕ *in silico***

Черепанов Г.Г.

*ВНИИ физиологии, биохимии и питания животных, Боровск,
Российская Федерация*

Жизнеспособность организмов и популяций является ключевой интегральной категорией, составными компонентами которой могут быть геномика, метаболомика, флаксоники, эпигенетика и другие области биологии, возникшие в последние десятилетия. Необходимость расширения исследований в этой области обусловлена негативными тенденциями в современном животноводстве – рост «болезней продуктивности», спад воспроизводства, ухудшение качества и безопасности получаемой продукции. Цель данной работы и основные разделы – краткий обзор состояния проблемы, возможные подходы для оценки парциальных средних значений продолжительности жизни коров в стаде, неоднородном по выживаемости; пилотная модель прогнозирования эффективности производства молока для такого стада. Для маточного поголовья продуктивных животных под жизнеспособностью целесообразно понимать снижающуюся с возрастом функциональную мощность систем, обеспечивающих продуктивное долголетие и фертильность. Согласно излагаемой концепции, основными факторами, определяющими пожизненную продуктивность коров, являются потенциал продуктивности (ПП, потенциальный надой за лактацию без учёта возрастного снижения защитных механизмов, поддерживающих лактационную деятельность) и потенциал жизнеспособности (ПЖ, начальная конститутивная резистентность, предикторы долголетия). Среднегрупповые уровни этих факторов в настоящее время можно определить по косвенной информации – по данным регистрации возрастной динамики надоев молока за 305-дней и по выбытию коров из хозяйственного оборота.

Продолжительность продуктивной жизни коров в значительной степени зависит от «начального» уровня показателей жизнеспособности (на первой лактации). О существовании этой зависимости свидетельствуют эмпирические данные и, как показали проведенные расчёты, аналогичная зависимость вытекает из общих свойств функции Гомпертца, традиционно применяемой при анализе выживаемости популяций. Судя по результатам проведенных расчётов, зависимость отдачи по молоку (прибыли на одно скотоместо в год) от среднегрупповой длительности продуктивной жизни коров при разных сочетаниях градаций ПП и ПЖ в группах может увеличиваться линейно, с эффектом насыщения, или может иметь максимум с последующим снижением – при наличии выраженной обратной взаимосвязи между ПП и ПЖ. Разработанные пилотные вычислительные модели могут найти применение для решения задач технологического прогнозирования и оптимизации ведения стада после доработки с учётом конкретных хозяйственно-экономических условий.

Ключевые слова: молочный скот, жизнеспособность, гетерогенные популяции, продолжительность продуктивной жизни, компьютерная имитация, прогноз эффективности производства молока

Проблемы биологии продуктивных животных, 2018, 1: 102-111

Введение

Жизнеспособность организмов и популяций является ключевой интегральной категорией, составными компонентами которой могут быть геномика, метаболомика, флаксномика, эпигенетика и другие области биологии, возникшие в последние десятилетия. Исторически, при первых работах по количественной оценке риска смертности у человека (Бенджамин Гомпертц, 1825) жизнеспособность популяции трактовалась как «сопротивляемость смертности» (обратная величина интенсивности смертности). Демографическая модель Гомпертца в течение без малого двухсот лет остаётся актуальной и служит основой для совершенствования теории при изучении проблем, связанных со старением и продолжительностью жизни организмов (VanRaden, Klaaskate, 1993; VanRaden, Wiggans, 1995; Новосельцев, Яшин, 2002; Михальский, Яшин, 2003; Новосельцев и др., 2004; Новосельцев, Новосельцева, 2011; Черепанов, Михальский, 2016). Это, в свою очередь, является доказательством фундаментального характера данной области и необходимости её развития. Известно, что очень многие фундаментальные открытия первоначально имели характер несложных количественных соотношений (расщепление наследуемых признаков по Менделю, теория мишеней Тимофеева-Ресовского, правила Чаргаффа и др.). Затем, после длительного «периода инкубации» происходил лавинообразный рост теоретических и прикладных исследований.

В настоящее время наиболее актуальным направлением в биологии продуктивных животных считается разработка методов геномной селекции и редактирования генов, но эти достижения не должны заслонять имеющиеся «точки роста», которые пока остаются «в тени». Одна из таких точек роста – это раскрытие природы стохастического снижения функциональных резервов организма после достижения репродуктивной зрелости (для лактирующих животных – начиная от первой лактации). Аргументом в пользу расширения исследований в этой области служит рост негативных тенденций в современном животноводстве – рост «болезней продуктивности», спад воспроизводства, ухудшение качества и безопасности получаемой продукции (Кузнецов, 2015; Кулакова, Ефимова, 2016). Для решения этой проблемы необходимо развитие комплекса методов, в том числе биоинформационных технологий и вычислительной биологии с использованием экспериментальных данных и массивов производственных записей по обороту стада (Прошина, Лоскутов, 2011; Nester et al., 2011; Михайленко, 2010, 2015; Черепанов, 2016, 2017).

Для маточного поголовья продуктивных животных под жизнеспособностью целесообразно понимать снижающуюся с возрастом функциональную мощность систем, обеспечивающих продуктивное долголетие и фертильность. Ранее нами было предложено несколько методических приёмов для количественной оценки жизнеспособности и динамики выживаемости коров. Содержание данной работы – примеры их возможного применения для решения задач технологического прогнозирования с использованием методики вычислительного эксперимента (исследования *in silico*).

Используемые сокращения; ДПЖ – длительность продуктивной жизни, выраженная номером последней законченной лактации; КР – конститутивная резистентность (показатель жизнеспособности); ПП – потенциал продуктивности; ПЖ – потенциал жизнеспособности, МИ – межотельный интервал.

1. Определение численных значений параметров по эмпирическим данным

По динамике надоев молока. Используются данные производственного учёта надоев молока за 305 учётных дней по последовательным законченным лактациям (y_{mi}) в группах коров с разными номерами последней лактации, начиная от 4-х и далее до выбытия (t_{max}). Возрастная динамика надоев описывается трёхкомпонентной мультипликативной функцией, в которой первая компонента ($A = \text{const}$) – потенциально максимальный надой за лактацию, вторая компонента – $\exp(-\exp(-bt))$ – возраст-зависимое увеличение способности к молокообразованию с постепенным выходом на уровень плато, третья – функция D_i^t ($D < 1$, показатель

конститутивной резистентности, КР) описывает возрастное снижение способности к поддержанию лактационной деятельности в i -ой группе. В качестве «начального» значения КР принимается величина $D^I = D$. При значениях параметров $A=9630$, $D=0,902$, $b=0,5$ надой за первую лактацию $y_{m1} = 4740$, т.е. в 2 раза меньше потенциала продуктивности; для второй лактации $y_{m2} = 5420$ и т.д. Надой за «наивысшую лактацию» всегда меньше A на величину, зависящую от темпа снижения КР. При малых значениях D пик надоев за лактацию наступает раньше и коровы быстрее выбывают из стада.

Ранее в стаде коров холмогорской породы была выявлена положительная взаимосвязь между значением компоненты D в i -ой группе ($D_i^I = D_i$) и длительностью продуктивной жизни (ДПЖ) коров этой группы (ОАО «к/х им Ленина», Черепанов et al., 2013):

$$D = 0,85 + 0,01 \text{ ДПЖ} \quad (r = 0,94, P < 0,001), \text{ т.е. ДПЖ} = 100 D - 85$$

При этом длительность продуктивной жизни отрицательно коррелировала с показателем потенциального максимума надоя в группах. По стаду чёрно-пёстрой породы (ОАО «Воробьёво», Черепанов, Решетов, 2010):

$$D = 0,85 + 0,015 \text{ ДПЖ} \quad (R^2 = 0,95), \text{ т.е. ДПЖ} = 67 D - 57$$

По стаду чёрно-пёстрой породы в п/х «Ворсино» (Черепанов, Решетов, 2010):

$$\text{ДПЖ} = 61 D - 51 \quad (R^2 = 0,95)$$

Полученные данные свидетельствуют о наличии закономерной связи показателя «начальной» жизнеспособности D , оцененного в ряду последовательных законченных лактаций, с продолжительностью продуктивной жизни коров.

По динамике выбытия коров из стада. Обнаружение положительной зависимости ДПЖ от величины D при анализе возрастной динамики надоев молока в группах коров с законченной лактацией даёт основание предположить существование аналогичной взаимосвязи между жизнеспособностью, оцененной по выбытию коров – чем выше начальный уровень жизнеспособности в стаде или в выборке (например, в группе дочерей быка), тем больше (в среднем по выборке или в популяции), величина ДПЖ. Интенсивность выбытия описывалась функцией Гомпертца: $y_c(t) = B \exp(ct)$ (рис. 1). Функция, обратная интенсивности выбытия, характеризует снижение с возрастом жизнеспособности («сопротивляемости смертности» по Гомпертцу) (рис. 2). При $t=1$ определяется «начальная» интенсивность выбытия $y_{c1} = B \cdot e^c$ и соответственно – начальный уровень жизнеспособности:

$$y_{c1}^{-1} = B^{-1} e^{-c},$$

где y_{c1} – интенсивность выбытия (culling) на первой лактации (отношение разности бонитировочной численности коров на первой и второй лактации к числу коров на первой лактации).

Ранее при анализе данных по возрастной структуре стада было выявлено существование положительной зависимости ДПЖ коров в стаде (T) от величины $1/y_{c1}$ (Черепанов, 2014); в частности, по пяти породам США:

$$T = 1,65 + 0,284(1/y_{c1}), \quad r = 0,94, \quad P < 0,015;$$

и по восьми хозяйствам Ленинградской обл.:

$$T = 1,22 + 0,65(1/y_{c1}), \quad r = 0,73, \quad P < 0,05$$

Выявленные взаимосвязи дают определённую основу для формулирования общей концепции о существовании конститутивной резистентности (Галочкин, Черепанов, 2013; Черепанов, 2014; Черепанов, Михальский, 2016) с последующей оценкой количественных параметров и разработкой пилотных вычислительных процедур для решения задач анализа, технологического прогнозирования и оптимизации оборота стада.

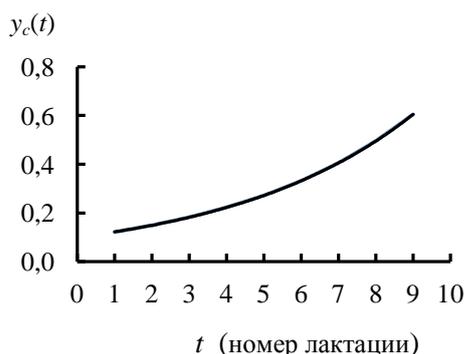


Рис. 1. Возрастная динамика интенсивности выбытия коров из когорты по сумме причин при значениях параметров функции Гомпертца: $V=0,1$; $c=0,2$.

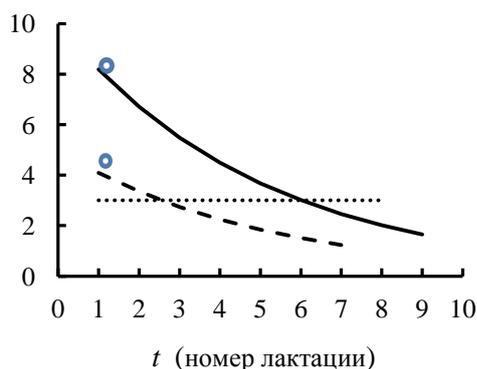


Рис. 2. По оси ординат – показатель жизнеспособности, $1/y_c(t)$. Приведены два варианта динамики, соответствующие двум значениям параметра V (0,1 и 0,2) при одном и том же значении c (0,2). – условная нижняя граница уровня защитных сил, определяющая сроки исчерпания когорты.

Поскольку в данном примере $1/\exp(0,2) = 1/1,22 = 0,82$, начальные значения $1/y_{c1}$ для двух вариантов – 8,2 и 4,1 (отмечены кружками; $1/y_{c1}=10 \times 0,82=8,2$; $1/y_{c1}=5 \times 0,82=4,1$), и по точке пересечения с границей исчерпания когорты определяются соответствующие величины ДПЖ – 6,2 и 2,5 лактаций.

2. Пилотная модель прогнозирования эффективности производства молока с учётом параметров оборота стада, неоднородного по динамике выживаемости

Как показал анализ, проведенный ранее, наличие положительной зависимости ДПЖ (значения T при анализе выбытия) от величины $1/y_{c1}$ вытекает из общих свойств распределения Гомпертца. Хотя эта теоретическая кривая, в принципе, нелинейная, на отдельных интервалах значений $1/y_{c1}$ она может аппроксимироваться линейной зависимостью, что и выявляется при анализе эмпирических данных (Черепанов и др., 2017).

Прогнозирование потенциала молочной продуктивности

Величина D_i в группе коров с ДПЖ в одну-две лактации, как показано выше, составляет 0,86-0,87 ($\approx 0,865$); значения параметра b во второй компоненте могут варьировать в небольших пределах (0,4-0,5) и при $b = 0,45$ величина второй компоненты равна 0,528; при этих условиях ПП в этой группе приблизительно в два раза выше среднего надоя за первые две лактации, y_{m1-2} (за учётный период 305 дней):

$$A_i = y_{m1-2} * 1,89 / 0,865 = 2,18 y_{m1-2}$$

В рамках рассматриваемого подхода можно оценить ПП коров и каждой последующей группы с ДПЖ (номером последней лактации) t_{imax} , если известны надой за последнюю лактацию и значение показателя D_i в этой группе (которое в первом приближении можно оценить по соотношению $D_i = 0,85 + 0,015 t_{imax}$):

$$A_i = \frac{y_{t_{imax}}}{\exp(-\exp(-0,5t_i))D_i^{t_{imax}}}$$

Например, при удое за пятую лактацию 7000 кг, $t_{imax} = 5$, $D_i = 0,85 + 0,01 \times 5 = 0,9$, $\exp(-\exp(-0,5 \times 5)) = 0,92$; $0,9^5 = 0,59$ и ПП коров данной группы $A_i = 7000 / (0,92 \times 0,59) = 12900$ кг. Таким образом, в рамках излагаемого подхода, основными факторами, определяющими пожизненную продуктивность коров, являются потенциал продуктивности (ПП, т.е. величина A при анализе динамики надоев) и потенциал жизнеспособности (резерв конститутивной ре-

зистентности, D или предиктор средней ДПЖ, $1/y_1$). Возрастная динамика 305-дн. надоев в группах с разной ДПЖ определяются конкретным сочетанием градаций этих факторов, поэтому величины надоев по наивысшей лактации малоинформативны для оценки продуктивных качеств племенных коров. В рамках излагаемой концепции правильная постановка вопроса состоит в прогнозировании пожизненной продуктивности с учётом ПП и ПЖ.

Прогнозирование эффективности производства молока с учётом гетерогенности стада

Исходные данные для прогноза. Количество групп с разной ДПЖ; потенциальный максимальный 305-дн. надой на одну корову в группе; средняя ДПЖ в группе (в лактациях); межотельный интервал, стоимостные показатели.

Промежуточные расчёты. Накопленный 305-дн. надой на одну корову в группе за 10 лактаций; затраты на выращивание тёлочек; затраты на корм для лактирующих коров (10 лактаций); затраты на поддержание + технологические затраты на одно скотоместо (п+скм) за весь период; сумма затрат на рост, корм и п+скм, прибыль на одно скотоместо от реализации молока за весь период.

Целевой прогноз.

Чистая прибыль на одно скотоместо в год.

Таблица 1. Прогноз чистой прибыли от реализации молока (тыс. руб./ск.м./год) для 4 модельных групп с разными уровнями продолжительности продуктивной жизни и потенциала продуктивности*

A	кол.	nto	y_{mi}	рост, 50*	корм, 0,6*	п+скм, 30*	затр.	приб.	выр.	выр./ скм/ год	
T	лет			nto	приб.	кол. лет					
МИ =13 мес.											
14	2	10,8	5	75090	250	1352	324	1926	2253	327	30,3
12	3	10,8	3,3	67730	167	1219	324	1710	2032	322	29,8
10	4	10,8	2,5	59900	125	1078	324	1527	1797	270	25,0
8	5	10,8	2	51990	100	936	324	1360	1560	200	18,5
МИ =14 мес.											
14	2	11,7	5	75090	250	1352	351	1953	2253	300	25,6
12	3	11,7	3,3	67730	167	1219	351	1737	2032	295	25,2
10	4	11,7	2,5	59900	125	1078	351	1554	1797	243	20,8
8	5	11,7	2	51990	100	936	351	1387	1560	173	14,8
МИ =15 мес.											
14	2	12,5	5	75090	250	1352	375	1977	2253	276	22,1
12	3	12,5	3,3	67730	167	1219	375	1761	2032	271	21,7
10	4	12,5	2,5	59900	125	1078	375	1578	1797	219	17,5
8	5	12,5	2	51990	100	936	375	1411	1560	149	11,9

Примечания: *оценки ПП (A) сделаны по средним 305-дн. надоям за жизнь в группах;

A – потенциальный максимальный 305-дн. надой на одну корову в группе, тыс. кг;

T – средняя величина длительности продуктивной жизни в группе, число лактаций;

МИ – межотельный интервал, мес.;

nto – число оборотов (отёлов на одно скотоместо);

y_{mi} – накопленный 305 дн. надой на одну корову в группе за 10 лактаций, кг;

рост – затраты на выращивание тёлочек = $50 \cdot n_{to}$, тыс. руб;

корм – затраты на корм = $0,6 \cdot \text{прибыль по молоку}$;

п+скм – затраты на поддержание + технологические затраты на одно скотоместо за период =

$30 \cdot \text{количество лет}$;

затр. – сумма затрат на рост, корм и п+скм,

приб. – прибыль в группе за 10 лактаций на одно скотоместо от реализации молока по цене 30 руб/кг;

выр./скм./год – чистая прибыль на одно скотоместо в год;

затраты, прибыль и выручка – в тыс. руб.

Расчёты по прогнозированию эффективности производства молока были проведены для 8 модельных групп с разным уровнем ПЖ (средняя ДПЖ $T_{cp} = 2, 3, 4$ и 5 лактаций) при двух вариантах распределения значений ПП в группах «долгожительниц»: а) 12; 11; 10; 9 тыс. кг, б) 14, 12, 10, 8 тыс. кг и трёх вариантов с величиной межотельного интервала 13, 14 и 15 мес. Полученные оценки средних 305-дн. надоев за жизнь использовались для прогнозирования экономической эффективности производства молока в модельных группах с разными значениями ДПЖ и МИ. Результаты прогнозных расчётов показали, что величина чистой прибыли по мере увеличения средней ДПЖ в диапазоне от 2 до 5 лактаций и потенциала продуктивности в интервале от 14 до 10 тыс. кг (приблизительно от 7 до 5 тыс. за первую лактацию) при разных вариантах сочетаний градаций ДПЖ и ПП может увеличиваться линейно или с эффектом насыщения (рис. 3а), а также может иметь максимум с последующим снижением (рис. 3б). Увеличение МИ существенно снижает эффективность производства молока.

Судя по полученным результатам, в практике современного молочного животноводства может иметь место промежуточная ситуация между вариантами а и б – максимум экономической эффективности производства молока в диапазоне средних значений $T = 3,5-4$ лактации, т.е. при длительности максимального «эффективного» срока использования высокопродуктивных коров в диапазоне 7-8 лактаций. Этот прогноз согласуется с имеющейся в зарубежной литературе информацией по высокоудойным коровам молочного направления продуктивности (VanRaden, Klaaskate, 1993; VanRaden, Wiggans, 1995).

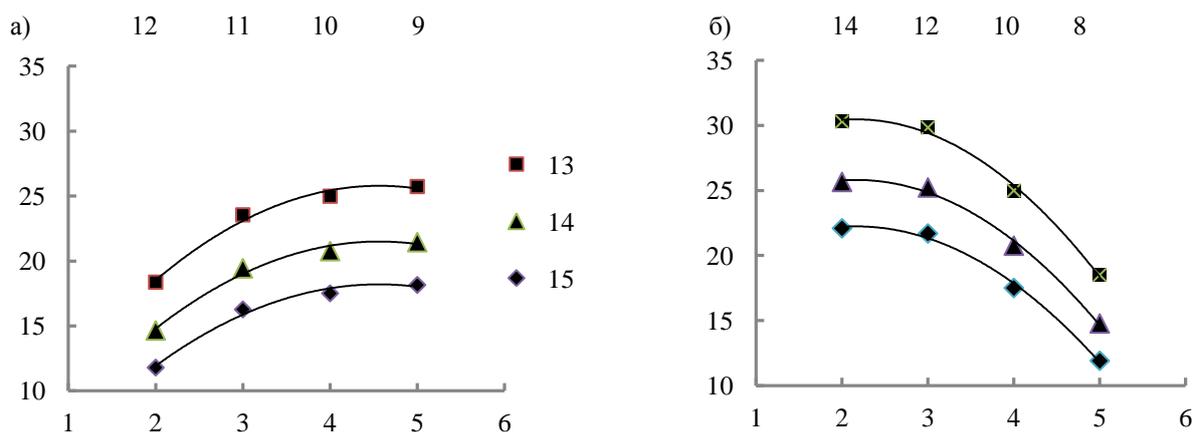


Рис 3а,б. Прогноз эффективности производства молока (прибыль на одно скотоместо в год, тыс. руб.) с учётом потенциала продуктивности, продолжительности хозяйственного использования и величины межотельного интервала, мес. По оси ординат – прибыль, тыс. руб. на одно скотоместо в год; по оси абсцисс – средняя длительность продуктивной жизни (срДПЖ, T) в лактациях. Вверху над соответствующими точками – потенциал продуктивности, А, тыс. кг за лактацию; в правой части диаграммы – межотельный интервал, мес.

В приведенных расчётах приняты сугубо ориентировочные значения хозяйственно-экономических показателей, при этом изложенные процедуры вычислительной имитации (исследования *in silico*) пока целесообразно рассматривать лишь как пример работающего метода или как пилотную (предварительную, пробную, экспериментальную) модель. Как указывалось во Введении, трудности проведения исследований в области биологии продолжительности жизни обусловлены высоким уровнем вариабельности изучаемых переменных, большим количеством внутренних и внешних факторов и необходимостью иметь дело, преимущественно, с архивными данными, если речь идёт не о лабораторных объектах (мухи, черви и пр.), а о крупных животных. Поэтому длительные и трудоёмкие работы сравнительно узкого круга исследователей в настоящее время по необходимости ориентированы на поиск обобщающих концепций, новых методических подходов и разработку пилотных вычислительных моделей.

Такие работы обычно имеют статус фундаментальных ориентированных и поисковых исследований. Для проведения последующих этапов, включая НИОКР и научно-технические услуги, необходимо привлечение широкого круга специалистов-«предметников», обладающих необходимыми знаниями и компетенциями. Сама по себе концепция гетерогенности популяций по динамике выживаемости может показаться не особенно актуальной для физиологов и зоотехников, имеющих дело с «конкретными» животными. В аналогичном «подвешенном состоянии» находится пока и концепция конститутивной резистентности, хотя она во многом согласуется с концепцией креода по Уоддингтону (Waddington C.H., 1968; см. в кн.: На пути к теоретической биологии, М.: Мир, 1970). С другой стороны, если это только первые шаги, то крайне трудно предсказать, к каким последствиям может привести развитие исследований в этом направлении, в том числе при использовании передовых биоинформационных и телекоммуникационных технологий (Черепанов, 2017). Определённый прогресс, уже в настоящее время достигнутый в области персонализированной предиктивной медицины, даёт основание для оптимистического прогноза и в области биологии животных, особенно если к этому привлечь новейшие достижения, включая генно-инженерные техники, беспроводную передачу измерительной информации с вживлённых микро- и нанодатчиков и другие экспериментальные методики.

Заключение

Основными факторами, определяющими пожизненную продуктивность коров, являются потенциал продуктивности (потенциальный надой за лактацию без учёта возрастного снижения защитных механизмов, поддерживающих лактационную деятельность) и потенциал жизнеспособности (начальная конститутивная резистентность, предикторы долголетия). Среднегрупповые уровни этих факторов в настоящее время можно определить по косвенной информации – по данным регистрации надоев молока и по выбытию коров из хозяйственного оборота.

Продолжительность продуктивной жизни коров в значительной степени зависит от «начального» уровня показателей жизнеспособности (в начале репродуктивного периода, напр., на первой лактации). О существовании этой зависимости свидетельствуют эмпирические данные и, как показали проведенные расчёты, аналогичная зависимость вытекает из общих свойств функции Гомпертца, традиционно применяемой при анализе выживаемости популяций.

Судя по результатам проведенных расчётов, зависимость отдачи по молоку (прибыли на одно скотоместо в год) от среднегрупповой длительности продуктивной жизни при разных сочетаниях градаций потенциала жизнеспособности и продуктивности в группах может увеличиваться линейно, с эффектом насыщения или может иметь максимум с последующим снижением – при наличии выраженной обратной взаимосвязи между потенциалом жизнеспособности и потенциалом продуктивности. Разработанные пилотные вычислительные модели с использованием дискретных шкал и аппроксимаций после доработки и апробации (с учётом особенностей реальных объектов) можно использовать для решения задач анализа, технологического прогнозирования и оптимизации ведения стада молочных коров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Галочкин В.А., Черепанов Г.Г. Неспецифическая резистентность продуктивных животных: трудности идентификации, проблемы и пути решения // Проблемы биологии продуктивных животных. – 2013. – № 1. – С. 5-29.
2. Кузнецов В.М. Исторические тренды в молочном скотоводстве России и США. – Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2015. – 64 с.
3. Кулакова Т.В., Ефимова Л.В. Анализ молочного скотоводства и основных факторов его развития в федеральном и региональном аспектах // Мат. XXI межд. конф.: "Научно-технологическое развитие АПК: проблемы и перспективы". – М.: ВИАПИ, 2016. – С. 236-240.

4. Михайленко И.М. Системные основы точного животноводства // В кн.: Точное сельское хозяйство (Precision Agriculture) (Ред. Д. Шпаар, В.В. Захаренко, В.П. Якушев). – Санкт-Петербург-Пушкин, 2009. – С. 321-336.
5. Михайленко И.М. Управление жизненным циклом лактирующих коров на основе вероятностно-статистических и динамических моделей // Сельскохозяйственная биология. – 2015. – Т. 50. – № 4. – С. 467-475. doi: 10.15389/agrobiology.2015.4.467rus
6. Михальский А.И., Яшин А.И. Биологическая регуляция и продолжительность жизни // Проблемы управления. – 2003. – № 3. – С. 61-65.
7. Новосельцев В.Н., Яшин А.И. Почему мы стареем: математические модели истории жизни // Информационные модели в здравоохранении. – 2002. – № 5-7. – С. 2-11.
8. Новосельцев В.Н., Новосельцева Ж.А. Здоровье, гомеостаз и долголетие // Успехи геронтологии. – 2011. – Т. 24. – № 4. – С. 553-562.
9. Новосельцев В.Н., Аркинг Р., Новосельцева Ж.А., Яшин А.И. Междисциплинарное моделирование системных механизмов репродукции и старения // Проблемы управления. – 2004. – № 4. – С. 27-40.
10. Прошина О., Лоскутов Н. Воспроизводство стада: потерянная страница // Животноводство России. – 2011. – № 9. – С. 40-41.
11. Сельцов В.И., Молчанова Н.В., Калиевская Г.Ф., Тохов М.Х. Продуктивное долголетие – комплексный показатель в селекции крупного рогатого скота // В сб.: Продуктивное долголетие крупного рогатого скота молочных пород (информационный обзор). – Дубровицы: ВИЖ, 2012. – С. 9-27.
12. Черепанов Г.Г., Решетов В.Б. Исследование возрастной динамики молочной продуктивности и интенсивности выбраковки коров в связи с длительностью их хозяйственного использования // Проблемы биологии продуктивных животных. – 2010. – № 1. – С. 5-17.
13. 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.
14. 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.
15. Черепанов Г.Г. Системно-биологический подход к повышению экономической эффективности животноводства: текущее состояние, проблемы и перспективы // В сб.: Мат. межд. научно-практ. конференции «Научно-технологическое развитие АПК: проблемы и перспективы». – М.: ВИАПИ им. А.А. Никонова, 2016. – С. 21-24.
16. 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. 81-95.
17. Черепанов Г.Г. Биоинформационные технологии как новый ресурс для инновационного развития животноводства // Мат. межд. научно-практ. конф.: «Приоритетные и инновационные технологии в животноводстве – основа модернизации агропромышленного комплекса России»: Ставрополь: Ставропольский ГАУ, 2017, С. 84-88.
18. Cherepanov G.G., Bogdanova N.A., Makar Z.N. Special traits of the age dynamics of milk production in dairy cows in relation to their viability // Russian Agricultural Sciences. – 2013. – Vol. 39. – No. 5-6. – P. 442-445.
19. Hester R.I., Ilescu R., Summers R., Coleman T.G. Systems biology and integrative physiological modeling // J. Physiol. – 2011. – Vol. 589. – No. 5. – P. 1053-1060.
20. VanRaden P.M., Klaaskate E.J.H. Genetic evaluation of length of productive life including predicted longevity of live cows // J. Dairy Sci. – 1993. – Vol. 74. – P. 2758-2764.
21. VanRaden P.M., Wiggans G.R. Productive life evaluation: calculation, accuracy, and economic value // J. Dairy Sci. – 1995. – Vol. 78. – P. 631-338.

REFERENCES

1. Cherepanov G.G., Reshetov V.B. [The study of the age dynamics of milk productivity and the intensity of culling of cows in relation with length of productive life]. *Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh - Problems of Productive Animal Biology*. 2010, 1: 5-17.
2. Cherepanov G.G., Bogdanova N.A., Makar Z.N. Special traits of the age dynamics of milk production in dairy cows in relation to their viability. *Russian Agricultural Sciences*. 2013, 39(5-6): 442-445.

3. Cherepanov G.G. [Substantiation of the concept of the key role of constitutive resistance for the viability and length of the use of highly productive animals]. *Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh - Problems of Productive Animal Biology*. 2014, 4: 5-34.
4. Cherepanov G.G. [System-biological approach to increasing the economic efficiency of livestock: the current state, problems and prospects]. In: *Mat. mezhd. nauchno-prakt. konferentsii «Nauchno-tekhnologicheskoe razvitie APK: problemy i perspektivy»* (Mat. Conf.: Scientific and technological development of the agro-industrial complex: problems and prospects). Moscow: VIAPI Publ., 2016, P. 21-24.
5. Cherepanov G.G. Mikhal'skii 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.
6. Cherepanov G.G., Mikhal'skii 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*. 2017, 4: 81-95.
7. Cherepanov G.G. [Bioinformation technologies as a new resource for the innovative development of animal husbandry]. In: *Mat. mezhd. nauchno-prakt. konf.: «Prioritetnye innovatsionnye tekhnologii v zhivotnovodstve – osnova modernizatsii agropromyshlennogo kompleksa Rossii»* (Mat. Intern. Conf.: Priority innovative technologies in animal husbandry – the basis for modernizing the agro-industrial complex of Russia). Stavropol: Stavropol State University). 2017, C. 84-88.
8. Galochkin V.A., Cherepanov G.G. [Nonspecific resistance of productive animals: identification difficulties, problems and solutions]. *Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh - Problems of Productive Animal Biology*. 2013, 1: 5-29.
9. Hester R.I., Iliescu R., Summers R., Coleman T.G. Systems biology and integrative physiological modeling. *J. Physiol.* 2011, 589(5): 1053-1060.
10. 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. XXI mezhd. konf.: "Nauchno-tekhnologicheskoe razvitie APK: problemy i perspektivy"* (Mat. XXI Intl. Conf.: "Scientific and technological development of agribusiness: problems and prospects). Moscow: VIAPI, 2016, P. 236-240.
11. 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.
12. Mikhailenko I.M. [System basis of precision animal husbandry]. In: *Tochnoe sel'skoe khozyaistvo* (Precision Agriculture) (Eds. D. Shpaar, V.V. Zakharenko, V.P. Yakushev). St. Petersburg - Pushkin, P. 321-336.
13. Mikhailenko I.M. [Life cycle management of lactating cows on the basis of probabilistic-statistical and dynamic models]. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya - Agricultural Biology*. 2015, 50(4): 467-475. doi: 10.15389/agrobiology.2015.4.467rus
14. Mikhal'skii A.I., Yashin A.I. [Biological regulation and life expectancy]. *Problemy upravleniya - Control Sciences*. 2003, 3: 61-65.
15. Novosel'tsev V.N., Yashin A.I. [Why we grow old: mathematical models of the history of life]. *Informatsionnye modeli v zdravookhranении - Information Models in Health Care*. 2002, 5-7: 2-11.
16. Novosel'tsev V.N., Novosel'tseva Zh.A. [Health, homeostasis and longevity]. *Uspekhi gerontologii - Advances in gerontology*. 2011, 24(4): 553-562.
17. Novosel'tsev V.N., Arking R., Novosel'tseva Zh.A., Yashin A.I. [Interdisciplinary modeling of system mechanisms of reproduction and aging]. *Problemy upravleniya - Control Sciences*. 2004, 4: 27-40.
18. Proshina O., Loskutov N. [Reproduction of the herd: lost page]. *Zhivotnovodstvo Rossii - Animal Husbandry in Russia*. 2011, 9: 40-41.
19. Sel'tsov V.I., Molchanova N.V., Kalievskaya G.F., Tokhov M.Kh. [Productive longevity - a complex indicator in the selection of cattle]. In: *Produktivnoe dolgoletie krupnogo rogatogo skota molochnykh porod (informatsionnyi obzor)* (Productive longevity of cattle of dairy breeds: information review). Dubrovitsy: VIZh Publ., 2012, 9-27.
20. VanRaden P.M., Klaaskate E.J.H. Genetic evaluation of length of productive life including predicted longevity of live cows. *J. Dairy Sci.*, 1993, 74: 2758-2764.
21. VanRaden P.M., Wiggans G.R. Productive life evaluation: calculation, accuracy, and economic value. *J. Dairy Sci.*, 1995, 78: 631-338.

**Prediction of lifetime productivity of cows in a herd heterogeneous
for survival dynamics: the study *in silico***

Cherepanov G.G.

Institute of Animal Physiology, Biochemistry and Nutrition, Borovsk, Russian Federation

ABSTRACT. The viability of organisms and populations is a key integral category, the components of which can be genomics, metabolomics, flaxomics, epigenetics and other areas of biology that have emerged in recent decades. The need to expand research in this area is due to the negative trends in modern livestock production – the growth of "productivity diseases", the decline in reproduction, deterioration in the quality and safety of the products. The purpose of this work and the main sections are as follows: a brief review of the state of the problem, the possible approaches for estimating the partial mean values of length of productive life (LPL) of cows in a herd that is inhomogeneous in survival rate; a pilot model for assessing the efficiency of milk production for such a herd. For the breeding stock of productive animals, the viability may be understood as the functional capacity of systems ensuring productive longevity and fertility that are decreasing with age. According to concept of the author, the main factors determining the lifetime productivity of cows are the productivity potential (PP, potential milk yield for lactation without taking into account the age-related decline of protective mechanisms supporting lactation activity) and the viability potential (VP, initial constitutive resistance, predictors of longevity). The mean-group levels of these factors can now be determined from indirect information, i.e. from the data of the age dynamics of 305-d milk yields and culling rate at first lactations.

The value of LPL of cows largely depends on the "initial" level of viability indicators (at first lactation). The existence of this dependence is evidenced by empirical data and, as shown by the calculations, the analogous dependence follows from the general properties of the Gompertz function, traditionally used in the analysis of the survival of populations. Judging by the results of the calculations performed, the dependence of the milk production profitability on the average group LPL of cows, in different combinations of gradations PP and VP in the groups, may increase linearly, with the saturation effect, or may have a maximum with a subsequent decrease under a pronounced inverse relationship between PP and VP. The developed pilot computing model can find application for solving the problems of technological forecasting and optimizing the management of the herd after completion, taking into account specific technological and economic factors.

Keywords: dairy cow, viability, heterogeneous populations, length of productive life, computer simulation, prediction of milk productive efficiency

Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh - Problems of Productive Animal Biology, 2018, 1: 102-111

Поступило в редакцию: 23.11.2017 Получено после доработки: 10.02.2018

Черепанов Геннадий Георгиевич, д.б.н., с.н.с., тел. 8(905)642-03-99; 89611243110@mail.ru