

ЛИТЕРАТУРА

1. Голушко, В. М. Физиология пищеварения и кормления крупного рогатого скота. / В. М. Голушко, А. М. Лапотко, В. К. Пестис // Учеб. пособие. – Гродно: ГГАУ, 2005. – 443 с.
2. Кормление сельскохозяйственных животных: учебное пособие для ВУЗов / В. К. Пестис [и др.]; под ред. В. К. Пестиса – Минск: ИВЦ Минфина, 2009. – 540 с.
3. Пестис, В. К. Сапропель в рационах крупного рогатого скота: монография / В. К. Пестис, В. А. Ревяко. – Гродно: ГГАУ, 2006. – 107 с.
4. Ярмоц, Л. П. Протеиновая питательность кормов и влияние качества протеина на молочную продуктивность коров / Л. П. Ярмоц, А. Ш. Хамидуллина // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. – 2014. – № 7. – 73 с.

УДК 639.303.45:535.21: 577.3

ЭФФЕКТ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НИЗКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ НА ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ВРЕМЯ ЖИЗНИ ЭМБРИОНОВ И ЛИЧИНОК РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ В УСЛОВИЯХ *IN VITRO* В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

М. С. Лиман, Н. В. Барулин

УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»

г. Горки, Могилевская область, Республика Беларусь

(Республика Беларусь, 213407, г. Горки, ул. Мичурина, 5

e-mail: barulin@list.ru)

Ключевые слова: аквакультура, форель, эмбрион, лазерное излучение, температурный режим.

Аннотация. В работе приведены результаты исследований по влиянию оптического излучения низкой интенсивности на выживаемость эмбрионов и личинок радужной форели в условиях *in vitro* при различных температурных режимах. Как показали проведенные исследования, температурный режим выращивания объектов аквакультуры даже в пределах оптимальных значений способен оказывать влияние на величину стимулирующего эффекта оптического излучения. Полученные результаты создают перспективы для более рационального использования оптического излучения низкой интенсивности в технологии аквакультуры ценных видов рыб.

THE EFFECT OF OPTICAL RADIATION OF LOW INTENSITY ON THE INDIVIDUAL LIFE TIME OF EMBRYOS AND LARVAE OF RAINBOW TROUT *IN VITRO*, DEPENDING ON THE TEMPERATURE

M. S. Liman, N. V. Barulin

Belarusian State Agricultural Academy

(Belarus, Gorki, 213407, Michurina str. 5; e-mail: barulin@list.ru)

Key words: *aquaculture, trout, embryo, optical radiation, temperature regime.*

Summary. *The paper have results of studies of the effect of low-intensity optical radiation on the survival of embryos and larvae of rainbow trout in vitro with different temperatures. Growing temperature re-gime of rainbow trout, even in the redistribution of optimal values, can influence on stimulating effect of optical radiation. The results create opportunities for more efficient use of low-intensity optical radiation in the technology of trout aquaculture.*

(Поступила в редакцию 01.06.2017 г.)

Введение. Воспроизводство ценных видов рыб – это сложный технологический процесс, включающий в себя работу с производителями, получение посадочного материала, формирование ремонтного и маточного стада. В этой технологической цепочке наиболее слабым и уязвимым звеном является получение посадочного материала из-за высокой чувствительности эмбрионов к индустриальным условиям выращивания. В настоящее время в Беларуси активно развивается аквакультура в рыбоводных индустриальных комплексах, работающих по технологии установок замкнутого водоснабжения (УЗВ). Так, только за последние годы в стране реализовано 13 проектов, направленных на создание УЗВ по выращиванию осетровых, лососевых, клариевых, угревых рыб [1, 2]. УЗВ позволяют повысить уровень интенсификации технологии воспроизводства большинства объектов аквакультуры.

Развитие технологии форелеводства и осетроводства является актуальным для Беларуси. В технологической цепочке выращивания товарной рыбы наиболее ответственным является этап получения рыбопосадочного материала. Индустриальные методы выращивания, интенсификация производства и искусственные условия являются сильнейшими стрессовыми факторами для эмбрионального развития, приводящими к снижению основных физиологических показателей, выживаемости и жизнестойкости на протяжении всей жизни рыбы, в т. ч. к появлению морфологических аномалий [3, 4].

Как отмечает Новиков Г. Г. [5], в пределах оптимального диапазона существует строгая зависимость количества нормально развитых вылупившихся зародышей от температуры.

В период эмбрионального развития рыб действие температурного фактора выражается прежде всего в изменениях скорости развития. Повышение температуры инкубации в пределах «нормы» вызывает сокращение продолжительности эмбрионального периода как в целом, так и отдельных его этапов. Например, у семги при инкубации икры в диапазоне температур от 1 до 12 °С в зависимости от выбранной температуры скорость эмбрионального развития повышается в 2-4 раза [5, 6].

В период эмбрионального развития в условиях индустриальной аквакультуры необходимо осуществлять коррекцию развития с использованием различных факторов воздействия на организм. Одним из таких факторов является низкоинтенсивное оптическое излучение, которое с успехом используется в медицине для лечения, коррекции и терапии в различных направлениях. Как показали наши многолетние исследования, лазерное излучение, а также излучение сверхъярких светодиодов оказывает стимулирующее воздействие на рыб и их половые продукты (икру и сперму), а также на развитие жаброногих рачков [1, 7, 8]. Однако наши предыдущие исследования основывались на воздействии оптического излучения на биообъекты в пределах одной температуры. Открытым остается вопрос о наиболее благоприятных температурных режимах, при которых проявляется максимальный эффект оптического излучения на объекты аквакультуры.

Цель работы: исследование влияния оптического излучения на эмбриональное и постэмбриональное развитие радужной форели в условиях *in vitro* при различных температурных режимах.

Материал и методика исследований. Исследования выполнялись на базе кафедры ихтиологии и рыбоводства и рыбоводного индустриального комплекса УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия». Объектом исследований являлись однополюе эмбрионы (оплодотворенная икра на стадии глазка) самок радужной форели, которые в процессе исследования переходили на стадию свободного эмбриона, а затем на стадию экзогенного питания.

В качестве источника оптического излучения использовали полупроводниковый лазер (LD) фототерапевтического аппарата «Lotos» (красная область спектра $\lambda = 650$ нм), разработанного в КБ «Люзар» и Институте физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, а также матрицу светодиодных источников (LED) оптического прибора «Стронга» (красная область спектра $\lambda = 630 \pm 10$ нм), разработанного в Белорусской государственной сельскохозяйственной академии и в Институте физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси. Воздействие на эмбрионы осуществляли в течение 5 дней по 20 мин в день, при плотности мощности $3,0$ мВт/см². После воздействия на эмбрионы оптическим излучением они незамедлительно возвращались в холодильник на соответствующую полку. Для исследования влияния оптического излучения на выживаемость эмбрионов и личинок радужной форели при разной температуре в условиях отсутствия корма было сформировано 5 «температурных» исследуемых групп, включающих контрольную и опытные (LD и LED) группы в трех повторностях для каждой температуры: 8, 9, 10, 11, 12 °С. Регулирование температуры в исследуемых группах

осуществлялось путем их помещения в холодильник на соответствующую полку по высоте. В исследуемых группах ежедневно осуществлялась замена воды. Источником воды являлась артезианская скважина. Вода предварительно подвергалась обезжелезиванию, обеззараживанию (УФ-облучением) и температурному выравниванию. Контроль за выживаемостью осуществляли путем ежедневной регистрации количества живых и мертвых личинок в исследуемых группах. Мертвые личинки после регистрации утилизировались. На основании полученных данных осуществляли индивидуальное время жизни эмбрионов радужной форели в течение эксперимента.

Для статистической обработки результатов использовали программную среду R [9], включая пакеты R Commander [10], RMCMDR [11] и др. Статистическую достоверность различий оценивали по тесту Тьюки при условии соблюдения нормальности распределения данных (оценивалось тестом Шапиро-Уилка) и однородности групповых дисперсий (оценивалось тестом Ливина). При несоблюдении указанных условий использовали непараметрический тест Ньюмена-Кейлса. Для построения обобщенной линейной модели использовали функцию `glm()` в статистической среде R. Для проверки различий в повторностях эксперимента использовали логранговый критерий и тест Гехана-Вилкоксона в модификации Пето (Peto).

Результаты исследований и их обсуждение. Результаты исследования влияния оптического излучения низкой интенсивности на индивидуальное время жизни эмбрионов и личинок радужной форели при температуре 12, 11, 10, 9, 8 °С представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Влияние лазерного (LD) и светодиодного (LED) оптического излучения красной области спектра на продолжительность индивидуального времени жизни эмбрионов и личинок радужной форели *in vitro* в условиях отсутствия кормления при температуре 12, 11, 10, 9, 8 °С

| Группа | Индивидуальное время жизни, дни | Тест Шапиро-Уилка | Тест Ливина / Тест Ньюмена | AIC-критерий |
|-------------------|---------------------------------|-------------------|----------------------------|--------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Температура 12 °С | | | | |
| LD | 46,0±7,1 | p>0,05 | p>0,05 | 56,16 |
| LED | 46,3±4,0 | | p>0,05 | 47,09 |
| Контроль | 43,0±3,3 | | - | - |
| Температура 11 °С | | | | |
| LD | 54,8±1,7 | p<0,05 | p>0,05 | 51,91 |
| LED | 51,1±3,7 | | p>0,05 | 66,85 |
| Контроль | 46,5±4,7 | | - | - |

Продолжение таблицы 1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-------------------|----------|--------|------------------|-------|
| Температура 10 °С | | | | |
| LD | 62,7±4,7 | p<0,05 | p<0,05 | 43,84 |
| LED | 62,6±3,3 | | p<0,05 | 56,40 |
| Контроль | 51,7±4,6 | | - | - |
| Температура 9 °С | | | | |
| LD | 72,1±2,4 | p<0,05 | p<0,05 | 59,03 |
| LED | 70,3±1,8 | | p<0,05 | 70,45 |
| Контроль | 56,7±5,6 | | - | - |
| Температура 8 °С | | | | |
| LD | 81,0±1,3 | p<0,05 | p<0,05 | 39,29 |
| LED | 78,9±0,4 | | p<0,05 | 50,59 |
| Контроль | 63,9±6,3 | | - | - |

Для определения влияния оптического излучения на индивидуальное время жизни личинок и эмбрионов радужной форели мы применяли модель пропорциональных рисков Кокса, а также модели ускоренного времени AFT с использованием четырех видов распределений: exponential, weibull, lognorm и loglogistic. Наилучшая модель соответствовала максимуму оценки правдоподобия или минимуму AIC-критерия (таблица 1). В результате статистического анализа было установлено, что модель Кокса имела минимальный AIC-критерий, из моделей AFT минимальный AIC-критерий имела модель Вейбулла (weibull).

Результаты применения модели Кокса для оценки влияния светодиодного (LED) и лазерного (LD) оптического излучения красной области спектра на индивидуальное время жизни при температуре 12, 11, 10, 9, 8 °С представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристика модели Кокса при оценке влияния светодиодного (LED) и лазерного (LD) оптического излучения красной области спектра на индивидуальное время жизни при температуре 12, 11, 10, 9, 8 °С

| Сравнение групп | Показатели модели Кокса | | | |
|-------------------|----------------------------------|------------------------------|-------------|------------------|
| | Коэффициент модели (p – уровень) | Тест отношения правдоподобия | Тест Вальда | Логранговый тест |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Температура 12 °С | | | | |
| Контроль / LED | 0,04 (p = 0,943) | p = 0,94 | p = 0,94 | p = 0,94 |
| Контроль / LD | 0,77 (p = 0,20) | p = 0,20 | p = 0,20 | p = 0,19 |
| Температура 11 °С | | | | |
| Контроль / LED | 0,81 (p = 0,14) | p = 0,14 | p = 0,14 | p = 0,13 |
| Контроль / LD | 0,38 (p = 0,49) | p = 0,49 | p = 0,49 | p = 0,49 |

Продолжение таблицы 2

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-------------------|-------------------------|--------------|-------------|--------------|
| Температура 10 °С | | | | |
| Контроль / LED | 2,95 ($p = 0,006$) | $p = 0,0003$ | $p = 0,006$ | $p = 0,0003$ |
| Контроль / LD | 2,49 ($p = 0,02$) | $p = 0,003$ | $p = 0,02$ | $p = 0,005$ |
| Температура 9 °С | | | | |
| Контроль / LED | 1,10 ($p = 0,03$) | $p = 0,03$ | $p = 0,03$ | $p = 0,03$ |
| Контроль / LD | 1,20 ($p = 0,04$) | $p = 0,03$ | $p = 0,04$ | $p = 0,03$ |
| Температура 8 °С | | | | |
| Контроль / LED | 1,61 ($p = 0,007$) | $p = 0,007$ | $p = 0,007$ | $p = 0,004$ |
| Контроль / LD | 1,93 ($p = 0,008$) | $p = 0,005$ | $p = 0,008$ | $p = 0,004$ |

На основании полученных результатов были построены модельные кривые функций индивидуального времени жизни, полученные из распределения Вейбулла для каждого типа оптического излучения, совмещенные с кривыми Каплан-Майера при различных температурных режимах (рисунок 1).

Как показали приведенные результаты в таблицах 1 и 2 и на рисунке 1, оптическое излучение красной области спектра не оказывает выраженного и достоверного влияния на индивидуальное время жизни эмбрионов и личинок радужной форели *in vitro* в условиях отсутствия кормления при температуре 12 и 11 °С, однако достоверные различия проявлялись при температуре 10 °С, достигая максимальных отличий при температуре 8 °С.

Как показали наши исследования, температура воды способна оказывать влияние на величину стимулирующего эффекта оптического излучения. Значения индивидуального времени жизни в контрольной группе с уменьшением температуры увеличивались, однако достоверные отличия были выявлены только в одном сравнении. Уменьшение температуры воды в опытных группах, на которых воздействовали оптическим излучением, приводило к более высоким различиям между исследуемыми температурными режимами. Так, при сравнении результатов индивидуальной выживаемости в опытных группах, на которых воздействовали LED и LD оптическим излучением, наблюдалось по пять достоверных различий в сравниваемых группах, а величина стимулирующего эффекта изменялась от 7,7 и 7,0% для LED и LD излучения соответственно, при температуре воды 12 °С, до 23,4 и 26,8% для LED и LD излучения соответственно, при температуре воды 8 °С.

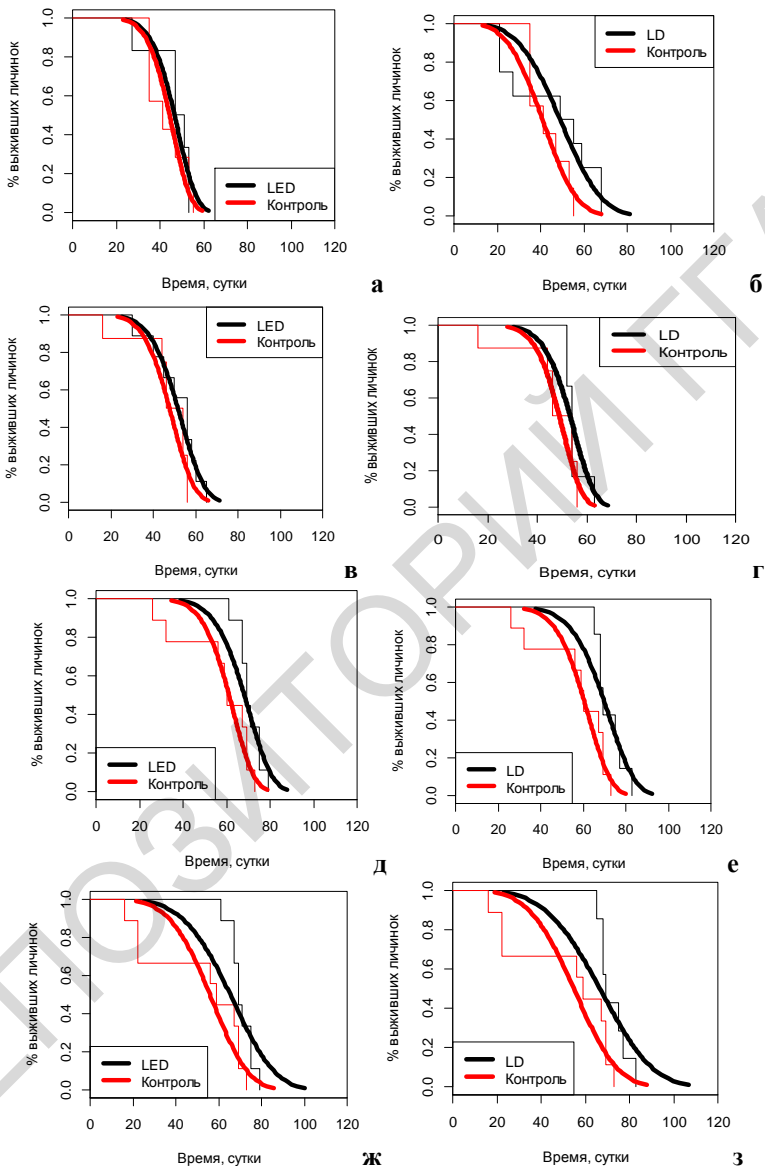


Рисунок 1 – Кривые Каплан-Майер и с использованием регрессии Вейбулла индивидуального времени жизни эмбрионов и личинок радужной форели *in vitro* при температуре 12 (а, б), 11 (в, г), 9 (д, е), 8 (ж, з) °С под влиянием светодиодного (LED) и лазерного (LD) оптического излучения красной области спектра

По данным Голованова В. К. и Валтонена Т. [12], динамика границ термоустойчивости эмбрионов и личинок радужной форели составляет 8-18°C с оптимумом 6-12 °С, т. е. температурный диапазон, используемый в наших исследованиях (8-12 °С), находился в пределах оптимального, а наблюдаемый стимулирующий эффект не был результатом отклонения условий выращивания от нормы. В защиту того, что на величину стимулирующего эффекта лазерного излучения оказывала влияние температура воды, а не улучшение / ухудшение оптимальных условий выращивания, свидетельствует факт пересчета результатов индивидуального времени жизни в градусо-дни.

Как показали наши расчеты (рисунок 2), индивидуальное время жизни в контрольной группе во всех исследуемых температурных режимах находится на одном уровне и варьирует от 511,0 до 516,0 градусо-дней. В опытных исследуемых группах наблюдалось увеличение индивидуального времени жизни выраженное в градусо-днях в зависимости от температуры воды. Так, в опытной группе, на которую воздействовали LED излучением, продолжительность индивидуального времени жизни увеличивалась от 556,0 градусо-дней при температуре 12 °С до 633,0 и 630,8 градусо-дней при температуре 9 и 8 °С соответственно. В опытной группе, на которую воздействовали LD излучением, продолжительность индивидуального времени жизни увеличивалась от 552,0 градусо-дней при температуре 12 °С до 649,3 и 648,0 градусо-дней при температуре 9 и 8 °С соответственно.

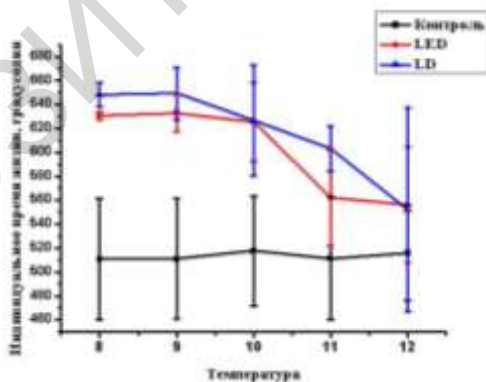


Рисунок 2 – Динамика индивидуального времени жизни (градусо-дни) эмбрионов и личинок радужной форели *in vitro* в условиях отсутствия кормления в зависимости типа оптического излучения и температуры воды

Как показали исследования Новикова Г. Г. [5], уменьшение температуры инкубации икры в пределах оптимальных значений приводило к вылуплению личинок с большей белковой, а также липидной и углеводной массой тела. Это может объяснять полученные результаты наших исследований, т. к. один из механизмов действия оптического излучения на биологические системы заключается в ориентационном действии излучения, индуцирующем изменение пространственной структуры компонентов клетки, ответственных за регуляцию метаболических процессов.

Закключение. Таким образом, как показали проведенные исследования, температурный режим выращивания радужной форели даже в пределах оптимальных значений способен оказывать влияние на величину стимулирующего эффекта оптического излучения. Полученные результаты создают перспективы для более эффективного использования оптического излучения низкой интенсивности в технологии аквакультуры ценных видов рыб.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барулин, Н. В. Системный подход к технологии регулирования воспроизводства объектов аквакультуры в рыбодонных индустриальных комплексах / Н. В. Барулин // Весці нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук – Мінск. – 2015. - № 3. – С. 107-111.
2. Инновационные методы и технологии устойчивого развития аквакультуры в регионе Балтийского моря : монография / Н. Барулин [и др.]. - Минск : Экоперспектива, 2016. - 414 с.
3. Портная, Т. В. Характер эмбрионального и постэмбрионального развития радужной форели при доинкубации икры в условиях неблагоприятного повышения температуры воды / Т. В. Портная, А. И. Портной, А. А. Сопот // Животноводство и ветеринарная медицина. - 2015. - № 2(17). - С. 26-33.
4. Рекомендации по выращиванию рыбопосадочного материала радужной форели в рыбодонных индустриальных комплексах (с временными нормативами) : / Н. В. Барулин [и др.]. - Горки : БГСХА, 2016. - 179 с.
5. Новиков, Г.Г. Рост и энергетика развития костистых рыб в раннем онтогенезе / Г.Г. Новиков. – М.: Эдиториал УРСС, 2000 – 296 с.
6. Павлов Д. А. Изменчивость морфологических показателей в раннем онтогенезе лососей рода *Salmo* под действием температуры и солености / Д. А. Павлов // Проблемы раннего онтогенеза рыб Калининград, 1983. С. 59-60.
7. Плавский, В. Ю. Влияние низкоинтенсивного лазерного облучения икры на жизнестойкость молоди осетровых рыб / В. Ю. Плавский, Н. В. Барулин // Журнал прикладной спектроскопии. – 2008 – Т. 75, 2 – С. 233-241.
8. Барулин, Н. В. Жаброногий рачок *Artemia salina* L. как объект для исследования биологической активности оптического излучения низкой интенсивности / Н. В. Барулин, В. Ю. Плавский, В. А. Орлович // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси. – Минск. - 2012. - № 28. - С. 42-49.
9. R Core Team, 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>
10. Fox J. 2005. The R Commander: A Basic Statistics Graphical User Interface to R. // J. of Statistical Software. V. 14(9). P. 1-42.

11. Pohlert T. 2014. The Pairwise Multiple Comparison of Mean Ranks Package (PMCMR). R package, URL: <http://CRAN.R-project.org/package=PMCMR>.

12. Голованов, В. К. Изменчивость термоадаптационных свойств радужной форели *Oncorhynchus mykiss* Walbaum в отгогенезе / В. К. Голованов, Т. Валтонен // Биология внутренних вод. – 2000. - №2. – С. 106-115.

УДК 636.2.084.413

БАЛАНСИРОВАНИЕ РАЦИОНОВ БЫЧКОВ ПРИ БАРДЯНОМ ОТКОРМЕ

В. А. Люндышев¹, В. Ф. Радчиков², В. П. Цай², А. Н. Кот²

¹ – УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

² – РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству»

г. Жодино, Республика Беларусь

Ключевые слова: бычки, рационы, энергия, минерально-витаминная добавка.

Аннотация. В результате исследований установлено, что при откорме молодняка крупного рогатого скота на рационах с использованием барды дефицит кальция составляет 20-28%, магния – 18-35, натрия – 36-50, серы – 17-25, меди – 46-58, цинка – 32-43 и витамина Д – 80-95% от детализированных норм.

Разработанная минерально-витаминная добавка покрывает дефицит минеральных элементов и витаминов в рационах для откорма скота на барде. Скармливание бычкам на откорме минерально-витаминной добавки в составе рациона, содержащего 30% барды, 24 кукурузного силоса, 10 соломы, 9 патоки и 27% по питательности зернофуража, оказывает положительное влияние на величину перевариваемой и обменной энергии, теплопродукции и энергии отложения. При этом степень превращения питательных веществ и энергии корма в мясную продукцию повышается на 9,6%, среднесуточный прирост – на 9,1%, затраты кормов на синтез прироста снижаются на 8,0%.

STEERS DIETS BALANCING AT FATTENING WITH DISTILLER'S GRAIN

V. A. Liundysheu¹, V. F. Radchikov², V. P. Tzai², A. N. Kot²

¹ – EI «Belarusian State Agrarian Technical University»

Minsk, Belarus

² – RUE «Scientific Practical Centre of Belarus National Academy of Sciences on Animal Breeding»

Zhodino, Belarus