

УДК 636.082

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТЕРИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ
БИОЛОГИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА
ЖИВОТНЫЙ ОРГАНИЗМ**

Л.С. Червинский, доктор технических наук

И.П. Радько, кандидат технических наук

e-mail: lchervinsky@gmail.com

Теоретически обосновано математическое выражения для определения эффективной дозы ультрафиолетового облучения сельскохозяйственных животных, учитывающее породные особенности животных, их весовые отличия, состояние здоровья, оптические свойства внешнего покрова и особенности условий содержания.

***Ключевые слова:* антирадитное ультрафиолетовое облучение, сельскохозяйственные животные, дозирование облучения, расчет дозы.**

При облучении биологических объектов и исследовании фотобиологических реакций протекающих в них для определения критерия эффективности действия оптического излучения пользуются понятием дозы или экспозиции оптического облучения.

Цель исследований – определение критерия эффективности биологического действия оптического излучения на животный организм.

Материалы и методика исследований. Доза облучения определяет количество энергии оптического излучения, которое поглощается в объеме облучаемого биологического объекта и осуществляет образование тех или других продуктов. В большинстве современных фотобиологических исследований определяющим критерием есть *потенциальная доза* (экспозиция) лучистой энергии, т.е. энергия, падающая на поверхность облучаемого тела:

$$H = \int \int_{\lambda t} E(\lambda, t) d\lambda dt \quad (1)$$

где $E(\lambda, t)$ – спектральная облученность поверхности животного в момент времени t ; t – период облучения животного.

По реакции объекта на облучение различают *пороговую, критическую и оптимальную* дозы облучения.

Пороговая доза облучения – это минимальное количество энергии излучения, которое поступает на поверхность, поглощается телом и есть достаточной для регистрации начала фотобиологической реакции.

Оптимальная доза облучения – это количество энергии излучения, которое поступает на поверхность и есть достаточным для получения максимально возможного количества продукта фотобиологической реакции.

Критическая доза – это максимальное количество энергии излучения, которое поступает на поверхность и приводит к началу насыщения фотобиологической реакции (не увеличивается выход продукта фотореакции при увеличении дозы или начинается реструктуризация реагирующих биомолекул).

Пороговая доза облучения важна при определении чувствительности биологического объекта к данному излучению или регистрации начала фотопроцесса с целью его стимулирования и управления.

В практике применения оптического излучения приведены дозы облучения, определенные экспериментальным путем, методом накопления и анализа результатов экспериментальных исследований. Таким образом установлены, например, *отраслевые нормы оптимального освещения сельскохозяйственных и общественно - бытовых помещений, нормы ультрафиолетового облучения животных и птицы [1,2], режимы инфракрасного обогрева молодняка сельскохозяйственных животных и птицы, нормы бактерицидного обеззараживания сельскохозяйственной продукции* и другие.

Результаты исследований. Общепринятый подход к определению критерия эффективности оптического облучения некорректный, потому что эти нормативные дозы облучения есть опосредствованными, обобщающими и не

учитывают ни породных особенностей животных, ни их весовых отличий, ни состояния здоровья, ни оптических свойств их внешнего покрова, ни особенностей условий их содержания при выращивании.

При установлении нормативов использования энергии оптического излучения в сельском хозяйстве недостаточное внимание уделено определению и использованию спектров биологического действия оптического излучения и согласованию с ними спектров излучения источников, используемых в данных технологиях получения продукции.

К настоящему времени такой подход реализован лишь в технологиях выращивания растительной продукции. В животноводстве метод не использовался из-за отсутствия как конкретных количественных результатов по взаимодействию оптического излучения с животным организмом, так и математической модели количественной оценки энергетического действия спектра оптического излучения на животный организм.

Поэтому нами проведена разработка математической модели количественной оценки энергетического действия спектра оптического излучения на животный организм.

Определение количественной оценки и разработку математической модели энергетического действия спектра оптического излучения на животный организм выполним на основе использованием законов фотобиофизики.

Согласно закону квантовой эквивалентности Ейнштейна [3,4] для фотобиологической реакции можно записать

$$\eta = \frac{M}{N_{\phi}}, \quad (2)$$

где η – квантовый выход фотореакции; M – число молекул, которые вступили в реакцию; N_{ϕ} – число фотонов оптического излучения, которые проникли в толщу тела облучаемого объекта и взаимодействуют с его молекулами.

Из (2) определим число поглощенных фотонов

$$N_{\phi} = \frac{M}{\eta} \quad (3)$$

Число молекул (M), которые вступили в реакцию, в соответствии с законами физической химии, можно определить через выражение:

$$M = \frac{g \cdot N_A}{G} \quad (4)$$

где N_A – число Авогадро, $N_A = 6,03 \cdot 10^{23}$, характеризующее количество молекул в грамм-моле данного вещества массой G , g – масса вещества, которое принимает участие в фотореакции.

Поскольку любая фотореакция имеет свою продолжительность, число поглощенных фотонов N_{ϕ} за время t определяется как:

$$N_{\phi} = n \times t, \quad (5)$$

где n – количество поглощенных фотонов излучения за период времени t .

Подставляя значения (4) и (5) в (3) получаем

$$n \cdot t = \frac{g \cdot N_A}{G \cdot \eta} \quad (6)$$

Умножая левую и правую части выражения (6) на энергию кванта оптического излучения (ε), получаем уравнение Вант-Гоффа -Лазарева для фотохимической реакции. Выражение слева определяет количество энергии оптического излучения, поглощенного телом, а справа – определяет энергию, потребленную в процессе фотореакции на образование продукта:

$$n \cdot t \cdot \varepsilon = \frac{g \cdot N_A}{G \cdot \eta} \varepsilon \quad (7)$$

Поскольку энергия кванта зависит от длины волны оптического излучения λ (спектра оптического излучения), выражение (7) целесообразно представить в таком виде:

$$n \cdot t \cdot \varepsilon_{\lambda} = \frac{g \cdot N_A}{G \cdot \eta} \varepsilon_{\lambda} \quad (8)$$

где индекс λ означает, что используется фотон монохроматического излучения с длиной волны, равной λ , нм.

Следовательно, в формуле (8) левая часть определяет количество поглощенной телом монохроматической оптической энергии W за время облучения t :

$$W = n \cdot t \cdot \varepsilon_{\lambda} = N_{\delta} \cdot \varepsilon_{\lambda} \quad (9)$$

Используя закон Бугера-Ламберта-Бэра, определим поглощенную объектом энергию через падающую на его поверхность от источника оптического излучения:

$$W = W_n \cdot (1 - e^{-kl}) \quad (10)$$

где l – толщина облучаемой прослойки вещества; k – показатель поглощения излучения молекулами в объекте облучения по толщине прослойки.

Выразим падающую на вещество энергию через поток излучения Φ_n , поступающего на его поверхность

$$W_n = \Phi_n \cdot t. \quad (11)$$

Тогда поглощенная молекулами энергия излучения (W) определится как

$$W = \Phi_n \cdot t(1 - e^{-kl}). \quad (12)$$

Разделим левую и правую части выражения (12) на площадь облучаемой поверхности S . Тем самым, определим энергию, падающую от источника излучения на единичную площадь поверхности объекта

$$\frac{W}{S} = \frac{\Phi_n}{S} t(1 - e^{-kl}). \quad (13)$$

Заменив соотношение $\frac{\Phi_n}{S}$ на E – облученность поверхности объекта, получим:

$$\frac{W}{S} = E \cdot t(1 - e^{-kl}). \quad (14)$$

Произведение $E \cdot t$ в соответствии с выражением (1) определяет количество энергии, которая падает на поверхность облучаемого тела за время t (доза облучения H).

Тогда из выражения (14) доза облучения определится как

$$H = \frac{W}{S (1 - e^{-kl})}. \quad (15)$$

Заменяя $(1 - e^{-kl})$ через α (коэффициент поглощения излучения) и представив поглощенную энергию W через правую часть выражения (8), получим выражение для определения дозы облучения (H) биологического объекта излучением с длиной волны λ , необходимой для осуществления в его толщине фотореакции молекул общей массой g :

$$H_{\lambda} = \frac{g \cdot N_A \cdot \varepsilon_{\lambda}}{G \cdot \eta_{\lambda} \cdot S \cdot \alpha_{\lambda}}. \quad (16)$$

Обозначим соотношение $\frac{\varepsilon_{\lambda}}{\eta_{\lambda}}$ через μ_{λ} – энергетический коэффициент фотореакционности фотона излучения с длиной волны λ . Тогда дозу облучения через количество прореагировавших молекул (в диапазоне спектра излучения от λ_1 до λ_2) можно определить так:

$$H_{(\lambda_1 - \lambda_2)} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{g \cdot N_A}{G \cdot S \cdot \alpha(\lambda)} \mu(\lambda) d\lambda \quad (17)$$

или

$$H_{(\lambda_1 - \lambda_2)} = \frac{g \cdot N_A}{G \cdot S} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{\mu(\lambda)}{\alpha(\lambda)} d\lambda. \quad (18)$$

В окончательном виде

$$H_{(\lambda_1 - \lambda_2)} = \frac{M}{S} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{\mu(\lambda)}{\alpha(\lambda)} d\lambda, \quad (19)$$

где $g \cdot N_A / G = M$ – количество продукта фотореакции, которая осуществляется под действием излучения в диапазоне спектра излучения от λ_1 до λ_2 ; $\mu(\lambda)$ – спектральный энергетический коэффициент фотореакционности излучения с длиной волны λ (к.п.д. фотореакции); $\alpha(\lambda)$ спектральный

коэффициент поглощения излучения с длиной волны λ в толщине облучаемого объекта; S - площадь облучаемой поверхности объекта .

Анализируя выражения (19) из позиций поставленной задачи, а именно: определить необходимое количество энергии оптического излучения W для получения заданного количества M продукта фотореакции, можно констатировать, что по данной зависимости определяется фактическая доза энергии излучения, которая используется на образование в данном биологическом объекте конкретного количества продукта фотореакции. Данный подход отличается от общепринятой методики дозирования, в которой нормируется только доза падающей энергии на объект облучения.

Выводы

На основе выше приведенного можно записать обобщенную математическую модель взаимодействия энергии оптического излучения со структурами животного организма при его облучении :

$$\frac{M}{S} \int_{\lambda_1}^{\lambda_i} \frac{\mu(\lambda)}{\alpha(\lambda)} d\lambda = \frac{t}{S} \int_{\lambda_1}^{\lambda_i} F_n(\lambda) d\lambda, \quad (20)$$

где левая часть выражения определяет количество энергии оптического излучения с длиной волны от λ_1 к λ_i , которая расходуется на образование количества продукта фотореакции (например, витамина D при ультрафиолетовом облучении животных) в глубине тела облучаемого животного (M), а правая часть выражения показывает энергию потока излучения (F_n) от источника оптического излучения этого же диапазона, падающего на поверхность биологического объекта (S) и за время (t) и обеспечивающего образование в глубине объекта заданного количества продукта фотореакции (M).

Причем, в левую часть выражения входит коэффициент поглощения энергии излучения $\alpha(\lambda)$ объектом, который характеризует оптические свойства объекта (характеристики облучаемой поверхности, глубину проникновения

излучения в объект и место взаимодействия поглощенных фотонов с молекулами).

Выражение (20) показывает энергетическую связь источника оптического излучения с объектом облучения и позволяет решать важные практические задачи:

- для конкретного вида животных при известных оптических характеристиках их покрова и спектрах фотобиологического действия получена практическая возможность подобрать наиболее эффективный источник оптического излучения для обеспечения оптимального прохождения данной фотореакции в организме животного ;

- получена возможность прогнозировать количественные и качественные результаты процесса облучения по заданному спектру биологического действия;

- получена возможность обеспечить автоматическое управление технологическим процессом облучения и регулирование режимом облучения для получения заданного (прогнозируемого) количества продукции.

Список литературы

1. Chervinsky L.S. The action lights on the derma animal's / L. Chervinsky // 1st Congress of the World Association for Laser Therapy «WALT», May 5-9, 1996, Jerusalem, Israel.

2. Chervinsky L.S. Investigation of the Light-Conductivity of the Separate Hair and Skins Translucence / L. Chervinsky // PITTCON'98, March 1-5, 1998, New Orleans, Louisiana, USA.

3. Roggan A., Friebe M., Doerschel K. Optical properties of circulating human blood in the wavelength range 400-2500 nm/ A. Roggan, M. Friebe, K. Doerschel // Journal of Biomedical Optics, January 1999, Vol. 04(01) P.36-46

4. Червінський Л.С. Методика дозування оптичного випромінювання при опроміненні тварин / Л.С. Червінський // Фотобіологія та фотомедицина. – 2001. – Т.IV, №1,2. – С. 120–121.

5. Червінський Л.С. Новий підхід до кількісної оцінки дії енергії ультрафіолетового випромінювання при опроміненні тварин/ Л.С. Червінський, І.П. Радько // Motorization and power industry in agriculture, MOTROL. – 2011. – Т.13D. – Р.296–301.

6. Червінський Л.С. Підвищення ефективності оптичних технологій / Л.С. Червінський // Збірник наукових праць НАУ. – 2008. – С.39–42.

7. Червінський Л.С. Обґрунтування принципів керування енергетичною дією оптичного випромінювання на тваринний організм / Л.С. Червінський //Актуальні питання електрифікованих технологій АПК та прикладної біофізики. Матер. Міжвуз конфер . Мелітополь, 9-12 червня 2010 р. – С.85–90.

8. Червінський Л.С. До питання дозування ультрафіолетового випромінювання за спектром дії / Л.С. Червінський, В.Я. Терновик // Науковий вісник НУБіП. – 2010. –Вип.148. – С.106–110.

9. Червінський Л.С. Первинні механізми впливу оптичного випромінювання на живі організм // Науковий вісник НУБіП. –2013. – Вип 184, ч.1. – С.34–40.

ВИЗНАЧЕННЯ КРИТЕРІЇВ ЕФЕКТИВНОСТІ БІОЛОГІЧНОГО ДІЇ ОПТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ТВАРИННИЙ ОРГАНІЗМ

Л.С. Червінський, І.П. Радько

Теоретично обґрунтовано математичний вираз для визначення ефективної дози ультрафіолетового опромінення сільськогосподарських тварин, що враховує породні особливості тварин, їх вагові відмінності, стан здоров'я, оптичні властивості зовнішнього покриву і особливості умов утримання.

Ключові слова: антирадічне ультрафіолетове опромінення, сільськогосподарські тварини, дозування опромінення, розрахунок дози.

**DEFINITION OF PERFORMANCE CRITERIA FOR BIOLOGICAL
ACTION OF OPTICAL RADIATION ON THE LIVING ORGANISM**

L Chervinsky, I. Radko

Theoretically grounded thebmathematical expressions to determine the effective dose of ultraviolet radiation of farm animals, particularly taking into account the breed of animals, their weight differences, the health, the optical properties of the outer cover, and especially conditions.

Keywords: vital ultraviolet irradiation, livestock, irradiation dosage, dose calculation.