
ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ И ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

Вал. А. Коварский*, Б.С. Филипп**

ФОТООБРАБОТКА КОРМОВ ИЗ КУКУРУЗНОЙ МУКИ ПРИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЯХ ВОЗБУЖДЕНИЯ

**Институт физиологии и санокреатологии АН РМ,
ул. Академическая, 1, г. Кишинев, МД-2028, Республика Молдова*

***Институт прикладной физики АН РМ,
ул. Академическая, 5, г. Кишинев, МД-2028, Республика Молдова*

У растений существует защитный механизм против избыточного поглощения световой энергии.

При фотообработке энергия светового излучения во много раз больше, чем при освещении растения солнцем. В этих условиях образуется активный кислород, способный разрушать ткани. Тушителем активного кислорода является каротин.

Фотообработка кормов производится с использованием специальных устройств. Поглощенная световая энергия является важным параметром, определяющим их производительность. Техническим критерием оптимальной обработки муки является максимальная концентрация фотоиндуцированных (ФИ) сигналов электронного парамагнитного резонанса (ЭПР), регистрируемых радиоспектрометрами достаточной чувствительности. Результатом фотообработки муки является увеличение ее питательности для растущих животных. Фотодинамическая модель повышения обменной энергии в кормах растительного происхождения объясняет основные элементы этого процесса. Важнейшие изменения происходят в пигмент-белковых комплексах [1, 2].

В данной статье приводятся экспериментальные доказательства взаимосвязи степени фотообработки муки (по интенсивности ФИ сигналов ЭПР) с увеличением ее питательности (по привесам растущих животных). Выясняется значение величины поглощенной световой энергии в процессе фотообработки для повышения питательности корма в технологических условиях работы установки для фотообработки кормов (ФОК), а также критическое значение поглощенной энергии для этого процесса. Предложена модель положительного эффекта ФИ сигналов ЭПР для контроля возможного повышения питательности кормов.

Целью данного исследования является совершенствование технологии фотообработки и фотодинамической модели с учетом различных уровней поглощенной энергии.

Методика

1 опыт. Выявление взаимосвязи интенсивности фотообработки (по ФИ сигналам ЭПР) с питательностью муки (по привесам растущих белых крыс).

В качестве источника электромагнитного излучения использовались лампы ДРИШ-4000 с фильтрами в диапазоне 315–600 нм. Мощность ламп 4 кВт. Кукурузная мука готовилась из зерна богатых каротином гибридов роговидной кукурузы. Время облучения муки выбрано в следующих вариантах: 8, 15, 25 и 30 минут. Масса муки по 10 кг для каждой группы готовилась при тщательном перемешивании и хранилась в течение месяца в темном сухом помещении. Наличие ФИ сигналов ЭПР регистрировалось радиоспектрометром РЭ-1307. Учитывалось соотношение амплитуды первой производной сигнала ЭПР исследуемого объекта к амплитуде первой производной сигнала ЭПР марганца ($MgO \cdot Mn^{+2}$). Съемка спектров ЭПР для всех образцов производилась при одинаковом уровне СВЧ-мощности в резонаторе.

Для выявления питательности фотообработанного корма проводилось его скармливание в составе полноценного рациона растущим белым крысам линии Вистар (самцам) средним весом 130–150 г каждый. Формировалось пять групп, в каждой по 10 животных. Опыт продолжался 30 дней. Ежедневно индивидуально учитывалось количество съеденного корма. Ежедневно индивидуально животных взвешивали.

II опыт. Выявление значения величины поглощенной световой энергии в корм для повышения его питательности.

В качестве источника электромагнитного излучения использовались лампы ДРЛ-400 с фильтрами в диапазоне длин волн 315–600 нм. Лампы входили в комплекс светоизлучателя установки ФОК-3 в двух вариантах: 20 ламп (8 кВт) и 12 ламп (4,8 кВт). Скорость фотообработки регулировалась дозатором. Исследованы различные варианты обработки: 25, 30, и 50 кг муки в час.

Большая скорость обработки соответствует минимальной экспозиции. Соблюдали стандартные условия обработки (качество муки, температуру и давление газов, одинаковый режим работы перемешивающего устройства). В качестве корма использовалась мука кукурузы, аналогичная вышеописанному образцу.

Измерение ФИ сигналов ЭПР, режим кормления, формирования групп животных, учет полученных результатов, – как и в I опыте.

Расчет поглощенной световой энергии E производился по соотношению:

$$E = \frac{kWh}{M}, \quad (1)$$

где E – поглощенная энергия (кВт·час/кг корма); kW – мощность ламп (кВт); h – время обработки муки (час); M – масса переработанной муки за время h (кг).

Вероятность ошибки наблюдаемой разницы живой массы животных оценивали по критерию Стьюдента стандартными методами [5]. Достоверным положительным результатом считалось увеличение скорости роста животных в сравнении с контролем при ошибке разницы не более 1% ($P < 0,01$).

Результаты

В I эксперименте (табл. 1) выявлена пропорциональная зависимость между степенью фотообработки муки (по интенсивности ФИ сигналов ЭПР в единицах “марганца”) и привесами животных вследствие увеличения питательности кормов. Лучшим режимом фотообработки кормовой муки, обеспечивающим достоверное увеличение ее питательности по привесам, оказался режим обработки для V группы, где интенсивность ФИ сигналов ЭПР имеет насыщение по величине (поглощенная световая энергия – 0,2 кВт·час/кг).

Таблица 1. Влияние фотообработки корма из кукурузной муки на привесы растущих белых крыс (количество животных – 10) линии Вистар

№ групп	Время обработки, мин	Относительная интенсивность ФИ сигналов ЭПР (в единицах “марганца”)	Средний привес за период вскармливания 30 дней одного животного		Уровень вероятности, P
			г	%	
I (к)	0	Γ^*	95	100	
II	8	2,3	103	108	$P < 0,40$
III	15	3,2	108	114	$P < 0,15$
IV	25	3,5	113	119	$P < 0,05$
V	30	3,6	121	127	$P < 0,01$

* Собственный (темновой) сигнал ЭПР муки.

Дополнительный привес составил 127% ($P < 0,01$).

II эксперимент. Установлено, что в условиях опыта лучшие результаты по привесам животных соответствовали группам, где поглощенная энергия составляла 0,16 кВт·час на кг муки (III и IV группы).

Разница в привесах по сравнению с контролем была достоверной ($P < 0,01$) (табл. 2).

Если поглощенная энергия превышала установленный оптимум в 1,5 раза (V группа), то эффект фотообработки по привесам отсутствовал.

Установленный положительный эффект в III и IV группах коррелирован с увеличением ФИ сигналов ЭПР муки. Мука кукурузы, скормленная II группе животных, имела слабый (недостовверный) ФИ сигнал ЭПР. Мука кукурузы V группы имела также слабый ФИ сигнал ЭПР, который в последующие дни хранения исчез.

Таблица 2. Эффективность фотообработки муки при различных уровнях поглощенной световой энергии

№ групп	Поглощенная энергия, кВт·час/кг	Производительность установки (кг муки в час)	Мощность ламп, кВт	Среднесуточный привес одного животного, г	Уровень вероятности, P
I (к)	–			3,8±0,16	
II	0,096	50	4,8	3,6±0,20	–
III	0,160	50	8,0	4,8±0,05	P<0,01
IV	0,160	30	4,8	4,6±0,19	P<0,01
V	0,267	30	8,0	3,4±0,30	–

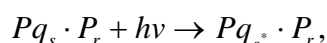
Время обработки 1 час.

Обсуждение

Для совершенствования технологии фотообработки растительного сырья и создания автоматизированных методов электронного контроля процессов обработки кормов принципиальным является выявление корреляции между степенью фотообработки муки (по интенсивности ФИ сигналов ЭПР) и ее питательностью. В наших опытах получило подтверждение положение о том, что лучшим режимом фотообработки является режим, при котором достигается насыщение ФИ сигналов ЭПР в объеме муки. Фотодинамическое действие оптического излучения состоит в необратимом разрушении (деструкции) биологических объектов, содержащих хромофорные группы в присутствии кислорода. Это действие, как правило, сопровождается проявлением триплетных возбуждений, радикалов и т.п., фиксируемых методом ЭПР. Мука кукурузы содержит множество пигментов, в том числе каротин, входящий в состав пигмент-белковых комплексов.

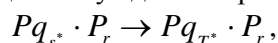
Под действием света, попадающего в полосу поглощения пигментов, фотодинамическое действие имеет различный результат в соответствии с энергией светового излучения, при нормальной величине поглощенной световой энергии (0,160 кВт·час/кг).

На первом этапе происходит оптический переход из основного синглетного состояния S пигмента в возбужденное синглетное состояние S*:



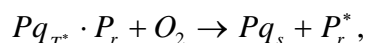
где $Pq_s \cdot P_r$ – пигмент-белковый комплекс с пигментом в основном синглетном состоянии; P_r – нативный белок этого комплекса.

Затем безызлучательный переход в возбужденное триплетное состояние T* пигмента:



где $Pq_{T^*} \cdot P_r$ – пигмент-белковый комплекс, пигмент находится в возбужденном триплетном состоянии.

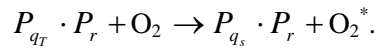
В этом состоянии пигмента он активно взаимодействует с молекулами кислорода O₂ (основное состояние – триплет):



то есть в результате такой реакции фотоокисления $Pq_{T^*} \cdot P_r$ происходит распад на пигмент в основном состоянии и перестроенный белок P_r^* . Перестроенный белок лучше переваривается животными, обменная энергия корма и привесы увеличиваются.

Фотодинамический процесс изменения числа неспаренных электронов в облучаемых во времени кормах описывается кривой с насыщением, близким к мультиэкспоненциальной. Предусматривается двойственный характер этого процесса, наряду с вышеописанным каналом имеется второй канал процесса.

При избытке поглощенной световой энергии она удаляется с образованием высокоэнергетической формы пигмента в триплетном состоянии, и далее с передачей избытка энергии на молекулярный кислород, переводя его в активное состояние (синглет) O₂*:



Пигмент переходит в основное состояние, комплекс $P_{q_s} \cdot P_r$ сохраняется, и, следовательно, его распад на пигмент и белок отсутствует. Тушителем синглетного кислорода служат свободные молекулы каротина [3, 4].

Таким образом, второй канал объясняет нелинейный характер процесса. Это, однако, не исключает, что на определенном участке мультиэкспоненциальной кривой, при нормальной величине поглощенной световой энергии, процесс может быть аппроксимирован линейной функцией с минимальной ошибкой. Так, по результатам первого эксперимента (табл. 1) относительная величина количества животных, увеличивающих скорость роста под влиянием вскармливания фотообработанными кормами, связана с величиной ФИ сигналов ЭПР уравнением регрессии, где уровень вероятности не превышает 1% ($P < 0,01$). В то же время лучший результат по увеличению скорости роста (V группа) соответствует наибольшему насыщению ФИ сигналов ЭПР (3, 6 единиц).

Во втором эксперименте (табл. 2) проявляется влияние второго канала фотодинамического процесса, связанного с более высокой поглощенной световой энергией. Установлено, что при величине поглощенной энергии в 1,5 раза выше нормальной эффект увеличения питательности в результате фотообработки отсутствует, что объясняется сохранением пигмент-белковых комплексов муки в первоначальном виде.

Исследования показали, что изменение числа неспаренных электронов в облучаемых во времени кормах можно представить в виде кривой с насыщением, близким к мультиэкспоненциальной. Однако согласно эксперименту, в широком диапазоне времени облучения кормов между концентрацией парамагнитных центров, выраженных в виде ФИ сигналов ЭПР, и средним привесом, существующая зависимость может быть аппроксимирована линейной функцией

$$y' = ax + b,$$

где y' – относительное увеличение скорости роста; x – величина ФИ сигналов ЭПР (в относительных единицах); a и b – коэффициенты, зависящие от вида кормов и характеристики светового излучения, конструктивных особенностей установки.

При дальнейшем увеличении времени фотообработки кормов, начиная с некоторого момента ФИ сигналы ЭПР имеют тенденцию к насыщению по величине.

Установлено, что при достижении этого значения использование фотообработки кормов становится наиболее эффективным. Поэтому указанное значение ФИ сигнала ЭПР берется в качестве заданного для системы регулирования установок ФОК. Выбор оптимального варианта X_{\max} проверяется по результатам опытов кормления животных с целью выявления достоверного увеличения питательности. Эффективное время, необходимое для увеличения питательности муки, зависит от его соотношения с мощностью ламп. При выборе оптимальной энергии светового излучения ($E_{\text{крит.}}$) момент насыщения корма долгоживущими парамагнитными центрами ($X_{\text{макс.}}$) соответствует оптимальной питательности корма.

Установлено, что значительное превышение $E_{\text{крит.}}$ (в 1,5–2 раза) препятствует эффекту увеличения питательности кормов при фотообработке. Долгоживущие ФИ сигналы ЭПР в фотообработанной муке сохраняются до месяца (при нормальных условиях хранения).

В заключение авторы выражают благодарность Е.Ю. Канаровскому за критические замечания и ценное обсуждение результатов исследований.

Выводы

1. Насыщение ФИ сигналов ЭПР муки является условием, контролирующим эффективную фотообработку и является техническим критерием оптимизации процесса фотообработки.

2. Эффективное время фотообработки, необходимое для увеличения питательности муки, зависит от его соотношения с мощностью ламп. При выборе энергии светового излучения следует учитывать критический уровень поглощенной энергии. Например, для кукурузной муки (установка ФОК-3) $E_{\text{крит.}} = 0,16$ кВт·час на 1 кг корма. Превышение $E_{\text{крит.}}$ в 1,5 раза препятствовало эффекту фотообработки.

3. Предложена модель накопительного эффекта при фотообработке кормов. Момент насыщения долгоживущих парамагнитных центров (по ФИ сигналам ЭПР) соответствует критической величине поглощенной световой энергии. Модель адекватна результатам экспериментов по увеличению питательности в опытах кормления растущих животных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коварский Вал. А., Коварский Виктор А., Филипп Б.С. Фотохимические электронные процессы при обработке растительных материалов // Электронная обработка материалов. 1995. № 5–6. С. 89–92.
2. Коварский Вал. А., Коварский Виктор А., Филипп Б.С. Фотодинамическая модель повышения обменной энергии в кормах растительного происхождения // Электронная обработка материалов. 1999. № 4 (англ.). С. 65–72.
3. Гудвин Т., Мерсер Э. Введение в биохимию растений. Т. I. М., 1986. С. 122–135.
4. Бриттон Г. Биохимия природных пигментов / Пер. с англ. М., 1986. С. 337–339.
5. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике (для научных работников и инженеров). М., 1973.

Поступила 30.11.2000

Summary

It is demonstrated, that under the fodder photo-treatment the saturation of photo-induced signals of the electronic paramagnet resonance is a condition of meal nutritiousness arising for growing animals. The moment of saturation corresponds the critical volume of pumped light energy. The results of the experiments on feeding of growing white rats with photo-treated fodder are described.

С.А. Бурцева, В.А. Рева, *Г.С. Артыкова, *С.Д. Тофилат, *И.О. Растимешина

ЖАСМОНАТ-ИНДУЦИРУЕМЫЙ СИНТЕЗ БЕЛКА DE NOVO У STREPTOMYCES CANOSUS 71 VAR.6, ПОЛУЧЕННОГО ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ γ -ОБЛУЧЕНИЯ

*Институт микробиологии АН Молдовы,
ул. Академическая, 1, Кишинев, MD–2028, Республика Молдова
*Молдавский Государственный Университет,
ул. А. Матеевича, 60, Кишинев, MD–2009, Республика Молдова*

Известно, что ультрафиолетовые (УФ) и ионизирующие излучения вызывают различные нарушения в ДНК, РНК, приводят к подавлению их синтеза, образованию сшивок ДНК – белок, деградации ДНК и других [1]. Так, установлено, что при действии высоких доз γ -лучей на *E. coli*, прежде всего, наблюдается изменение хода синтеза ДНК, а затем угнетение других клеточных синтетических систем. Изменения развиваются в следующей последовательности: ДНК – РНК – рибосома – белок – липиды [2]. Во многих работах показано изменение липидного компонента мембран под действием ионизирующей радиации. Можно отметить, что в корпоративной системе белок-липидного матрикса мембран изменение липидного компонента приводит к изменению структурно-функциональных свойств интегральных белков мембран [3, 4]. Учитывая вышесказанное, представляет интерес поиск среди химических агентов или природных соединений веществ, воздействующих на ДНК и способствующих выявлению генетической роли отдельных компонентов бактериальной клетки и выяснению механизма бактериального мутагенеза.

Исследование соединений, обладающих гормональной активностью, и их влияния на живые организмы является новой и бурно развивающейся отраслью современной биологии. Число открытых биологически активных соединений постоянно увеличивается. Особый интерес представляют окисленные производные ненасыщенных жирных кислот – оксилипины, которые играют определяющую роль в стратегии стрессовых состояний организмов [5]. Непосредственными предшествен-

© Бурцева С.А., Рева В.А., Артыкова Г.С., Тофилат С.Д., Растимешина И.О., Электронная обработка материалов, 2001, № 3, 47–54.