УДК 636.6

ОБГРУНТУВАННЯ ПРИНЦИПІВ КЕРУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЮ ДІЄЮ СВІТЛОДІОДНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА БІОЛОГІЧНІ ОБЄКТИ

Червінський Л. С., Луцак Я. М., Шевченко Ю. В.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

На основі положень квантової біофізики викладено методичний підхід до керування енергетичною дією монохроматичного випромінювання світлодіодів на біологічні об'єкти в процесі отримання їх продуктивності.

Постановка проблеми. Відомо, що світлодіоди випромінюють монохроматичне (однієї довжини хвилі) когерентне (однієї фази коливання) випромінювання. Фотони такого випромінювання взаємодіють лише з електронами сприймаючих структур, що мають відповідні енергетичні рівні збудження та можуть спричиняти резонансний ефект.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Фотобіологічні дослідження останніх років надають можливість реалізувати пояснення механізму дії з позицій квантово-механічної теорії.

Мета дослідження. Теоретичне обґрунтування принципів керування енергетичною дією світлодіодного випромінювання на біологічні об'єкти через визначення шляхів проникання та механізму дії оптичного випромінювання .

Основні матеріали дослідження. Встановлено, що у залежності від енергії кванту (фотону) оптичного випромінювання (hv), що діє на біологічний об'єкт, відбувається його поглинання (взаємодія) з електроном, який знаходиться на відповідному за енергією ("дозволеному") енергетичному рівні атома чи молекули сприймаючої структури об'єкту: кванти великої енергії поглинаються атомарними електронами, менш енергетичні фотони - поглинаються електронно-енергетичними оболонками молекул і т.п.

Енергетичні рівні поділяють на синглетні і триплетні, стабільні і метастабільні і. т.п. [1 - 4]. Згідно із *законом квантової еквівалентності Ейнштейна* число реагуючих молекул М пропорційно квантовому виходу фотореакції η

$$M = \eta\, n_{\phi}, \qquad (1)$$

де n_{ϕ} - кількість поглинутих фотонів (квантів) випромінювання,

η- квантовий вихід фотореакції.

Процес поглинання та перетворення енергії фотонів може проходити в один або декілька етапів (ступенів).

Наведемо приклад проходження одноступінчастої фотохімічної реакції. Відомо, що квантовий вихід фотохімічної реакції визначається через відношення швидкості проходження хімічної реакції з конкретного енергетичного рівня до суми всіх швидкостей можливих дезактивацій енергії даного рівня [3,8]. Наприклад, квантовий вихід фотохімічної реакції із першого збудженого синглетного енергетичного рівня можна визначити із виразу:

$$\chi^{S}{}_{chem} = \frac{1/\tau^{S}{}_{chem}}{1/\tau^{S}{}_{chem} + 1/\tau^{*}_{S} + 1/\tau^{S}_{isc} + 1/\tau^{S}_{fl} + \sigma^{S}_{2}\phi} \qquad (2)$$

а квантовий вихід фотохімічної реакції із першого триплетного енергетичного рівня можна визначити за формулою:

$$\chi^{T}{}_{chem} = \frac{1/\tau^{T}{}_{chem}}{1/\tau^{T}{}_{chem} + 1/\tau^{*}_{T} + 1/\tau^{T}_{isc} + 1/\tau^{T}_{fl} + \sigma^{T}_{2}\phi} \cdot \psi_{isc} \qquad (3)$$

де $\chi^{S}{}_{chem}$, $\chi^{T}{}_{chem}$ відповідно квантові виходи фотореакцій із синглетного і триплетного енергетичних рівнів збудження молекул;

$1/\tau_{chem}$, $1/\tau^{*}$, $1/\tau_{isc}$, $1/\tau_{fl}$ - константи швидкостей дезактивації енергії збудження із синглетного і триплетного рівнів, відповідно, через хімічну реакцію, темнову релаксацію, інтеркомбінаційну конверсію, флюоресценцію;

$\sigma_2\phi$ – енергетична характеристика кількості молекул і тривалості їх резонансного збудження на вищий (другий) енергетичний рівень.

Аналіз даних виразів показує, що чим більша тривалість і інтенсивність світлодіодного випромінювання тим менша ймовірність у опромінюємих молекул вступити у фотохімічну реакцію після первинного (збуджуючого) імпульсу випромінювання і більша ймовірність перейти на вищий енергетичний рівень і отриманням іншої фотохімічної реакції. Тобто, регулюючи інтенсивність і тривалість опромінювання можна регулювати фотохімічні процеси в опромінюваних біологічних об'єктах.

Правомірність даних викладок можуть підтвердити експериментальні дослідження люмінесценції опромінюваних об'єктів.

Оскільки в процесі опромінювання молекул високоорганізованих біологічних структур, які характеризуються складною будовою, значна ймовірність відновлення початкового стану збуджених молекул через випромінювання поглинутої енергії у вигляді фотонів люмінесценції, енергія яких дорівнює повній енергії, затраченій на фотореактивацію, то кількість фотореактивованих молекул біооб'єкта можна визначити по інтенсивності потоку цих фотонів (по інтенсивності флуоресценції, або фосфоресценції) або в загальному випадку – по інтенсивності, спектру і тривалості люмінесценції [1].

Так для випадку, коли випромінювальна дезактивація високоенергетичного збудженого стану (A**) здійснюється за час значно менший, ніж періоди життя проміжних станів (протилежний випадок - поки що не інформативний) вирази для кількісного визначення випромінювання люмінесценції при ступінчатому або кооперативному механізмі збудження мають слідуючий вигляд:

- при ступінчатому збудженні молекул, процес зміни інтенсивності люмінесценції, після припинення дії реактивуючого збудження, буде відповідати експоненціальному закону:

$$n^{**}(t) = n_0^{**} \cdot e^{-t/\tau^{**}} \qquad (4)$$

- залежність для визначення інтенсивності люмінесценції у випадку кооперативного механізму фотореактивації має вигляд:

$$n^{**}(t) = n^{**} \frac{e^{-2t/\tau^*}}{[1-2\alpha\tau^* n^*(1-e^{-t/\tau^*})]^2} \qquad (5)$$

З виразу 5 видно, що при кооперативному механізмі процес реактивації молекул другого збудженого стану є складною функцією від тривалості знаходження молекул у першому збудженому стані τ* та кількості (концентрації) молекул у цьому стані, n^*.

Одержати практичне підтвердження наведеного пояснення механізму фотореактивації біологічної дії конкретної ділянки спектру оптичного випромінювання можна експериментальним шляхом за наступною методикою [3]:

– після первинного акту опромінення досліджуваного біологічного об'єкту короткохвильовим оптичним випромінюванням (випромінювання, що спричиняє очікувану біологічну дію) заміряти спектр його вимушеної люмінесценції,

– послідовно за першим опроміненням, вчинити керований акт опромінення об’єкту більш довгохвильовим випромінюванням, змінюючи час, спектр і інтенсивність цього реактивуючого випромінювання, і знову виміряти характеристики спектру люмінесценції,

- у випадку реалізації двохфотонного процесу поглинання, в спектрі люмінесценції буде спостерігатися зсув максимуму інтенсивності випромінювання у більш короткохвильову область (порівняно із спектром люмінесценції від первинного опромінювання).

Варто зазначити, що основна складність проведення даних експериментів полягає в необхідності застосування джерел опромінення, що працюють як в безперервному так і в імпульсному режимі, причому, тривалість імпульсів повинна бути сумісною із тривалістю міжмолекулярних процесів (див. Рис.1).

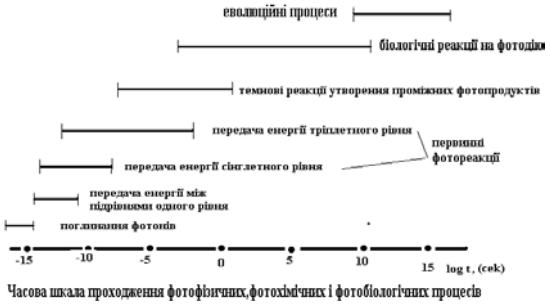

Рисунок 1 - Характеристика тривалості проходження процесів

Із рис. 1 видно, що іншою важливою особливістю проведення даного дослідження є необхідність у застосуванні сучасних швидко реєструючих спектрофотометрів із високою чутливістю.

Висновки. Узагальнюючи викладене, можна констатувати, що при відомій будові органічних структур у біологічних об'єктах і визначених їх оптичних характеристиках: спектрах поглинання, відбивання, люмінесценції і т.п. із достатнім ступенем точності можна кількісно спрогнозувати вплив на даний біологічний об’єкт конкретної ділянки спектра оптичного випромінювання.

Список використаних джерел

1. Овсянкин В. В. Кооперативная сенсибилизация фотофизических и фотохимических процессов. / В. В. Овсянкин, П. П Феофилов - В кн.: Молекулярная фотоника. - Ленинград: Наука, 1970. – С.86-105

2. Посудин Ю. И. Применение оптических стимулов в биологических исследованиях. // Ю. И. Посудин, Л. С. Червинский. Сб.тр. УСХА. // Методы и средства повышения надежности силового электрооборудования в условиях с. х. производства / - К.: 1984. - С. 62-70.

Аннотация

ОБОСНОВАНИЕ ПРИНЦИПОВ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ ДЕЙСТВИЕМ СВЕТОДИОДНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ

Червинский Л. С., Луцак Я. М., Шевченко Ю. В.

На основе положений квантовой биофизики изложены методический подход к управлению энергетической действием монохроматического излучения светодиодов на биологические объекты в процессе получения их производительности.

Abstract

RATIONALE FOR SIGNIFICANT ENERGY MANAGEMENT ACTION LED RADIATION ON BIOLOGICAL OBJECTS

L. Chervinsky, Y. Lutsyuk, Y. Shevchenko

On the basis of quantum biophysics described methodical approach to energy management action monochromatic LED radiation on biological objects in the process of obtaining their productivity.