

спостерігається при пухлинному рості, приводить до збільшення потоків через ферменти синтезу поліамінів, але це зростання несуттєве і не перевищує 10 %.

При цьому суттєво знижуються процеси катаболізму поліамінів, що співпадає з експериментальними даними, які свідчать про суттєве пригнічення процесів катаболізму поліамінів при пухлинному рості. Таким чином, можна стверджувати, що підвищення вмісту поліамінів при умовах пухлинного росту відбувається не за рахунок синтезу, а в результаті зниження їх катаболізму.

За результатами моделювання, інактивація SAMdc приведе до зниження потоків через ферменти синтезу і ацетилювання сперміну і спермідину. При цьому суттєве зниження потоків прогнозується тільки при інактивації SAMdc більше ніж на 50 %. Потоки через реакції катаболізму путресцину, сперміну і спермідину не будуть змінюватися у межах інактивації SAMdc до 50%, і знижуються якщо ступінь інактивації ферменту перевищить 50%. Але слід зазначити, що максимальне зниження процесів катаболізму при цьому не перевищує 10%. Таким чином, зниження активності SAMdc до рівня 50% від норми може привести до зниження загального пула поліамінів за рахунок гальмування їх синтезу і незмінній швидкості катаболізму.

За отриманими даними SAMdc значно більше контролює потоки метіонінового циклу, ніж циклу поліамінів. Отримані результати свідчать, що підвищена активність SAMdc приводить до зниження потоків через ферменти метіонінового циклу, але не більше ніж на 30 %, тоді як інактивація SAMdc приведе до суттєвого зростання потоків через цикл метіоніну. Тому при використанні терапевтичних засобів, спрямованих на інактивацію SAMdc потрібно враховувати можливість репрограмування клітинного метаболізму пухлин і використання S-аденозилметіоніну (SAM) у процесах метилування і катаболізму серину. Показано, що ракові клітини залежать від високого рівня SAM, так як їх підвищена швидкість проліферації вимагає постійного дублювання маркерів метилування хроматину, метилування РНК і SAM-залежного синтезу мембранних ліпідів. Крім того буде створена можливість підвищеного синтезу глутатіону - метаболіту, захищаючого пухлинні клітини від окислювального стресу.

Виявлено, що ферменти які послідовно працюють з SAMdc, а саме ферменти циклу регенерації метіоніну та спермін/спермідин синтази будуть впливати на перерозподіл потоків у метаболічній мережі, так само як і SAMdc

У роботі показано, що результати моделювання добре збігаються з даними експериментальних робіт, що свідчить про можливість використання моделі для прогнозування або формулювання певних гіпотез.

УДК 581.1.03+631.531.173

## **ФУР'Є АНАЛІЗ БІОЕЛЕКТРИЧНИХ ВІДГУКІВ РОСЛИН НА ПЕРІОДИЧНО МІНЛИВЕ СВІТЛО**

*А. М. Міщенко, С. А. Кузінский*

Здатність рослин реагувати на зміни інтенсивності світла змінами поверхневого електричного потенціалу добре відома. Інтерпретація природи електричного відгуку ускладнюється завдяки наступним чинникам: 1) характеристики відгуку залежать від багатьох факторів (інтенсивність світла та його спектральний склад, рівень різноманітних газів в атмосфері, температура то що); 2) відгук має інтегральний характер, представляє собою суму електричних відгуків тканин різних типів чи тканин що знаходяться на різній глибині відносно поверхні листа.

Особливістю електричних відгуків, що спостерігається в значній кількості досліджених рослин, на східчості зміни інтенсивності світла є його коливальний характер. Коливання носять затухаючі характер та можливо відображають процеси перерегулювання при переході системи від одного усталеного значення до другого. Частотні характеристики мають резонансний характер, причому на амплітудно-частотній характеристиці можуть бути присутніми декілька піків.

В попередніх роботах (Shabala 1997) для отримання частотних характеристик використовувався аналіз реакцій рослин на періодичні включення/виключення світла. Причому припускалося, що відгук рослини  $y(t)$  має приблизно гармонійний характер. Для оцінки його амплітуди використовувався наступний інтеграл:

$$A = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T y(t)^2 dt} \quad (1)$$

Цей метод визначення частотних характеристик має ряд недоліків. 1) Відгук рослини на періодичні стрибкоподібні зміни інтенсивності світла значним чином відрізняється від гармонійного на малих частотах. 2) Частотні характеристики що отримані на цих частотах за допомогою інтегралу можуть значним чином відрізнятися від істинних. 3) Величина амплітуди що отримується за допомогою інтегралу (1) залежить від оцінки лінії тренду сигналу вихідного сигналу, в свою чергу ця оцінка може залежати від частоти.

Для більш точної оцінки частотних характеристик нами був використаний Фур'є аналіз біоелектричних відгуків рослин. В експерименті ми вивчали відгуки квасолі та бобів. Відведення здійснювалося за допомогою сталевих електродів. Періодичність включення/виключення світла лежала в діапазоні від 1 до 100 хв. Цикли включення виключення повторювались від 5 до 10 разів, в залежності від періоду.

Розкладання Фур'є для прямокутного сигналу  $x(t)$  (який в нашому випадку представлений вхідним сигналом стимулу), що має амплітуду  $A_x$  та період  $T$ , має наступний вигляд:

$$x(t) = \frac{4A_x}{\pi} \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{1}{n} \sin\left(\frac{n\pi t}{T/2}\right) \quad (2)$$

Якщо динамічна система лінійна тоді гармонікам вхідного сигналу  $x(t)$  у вихідному сигналі будуть відповідати гармоніки з тією ж частотою але іншою амплітудою. Таким чином, оцінка амплітудно-частотних характеристик, при періоді стимуляції  $T$ , може бути отримана як:  $\pi A_y^1 / 4A_x$ , де  $A_y^1$  - амплітуда першої гармоніки вихідного сигналу. Перетворення Фур'є вихідного сигналу здійснювалось за допомогою вбудованої функції fft пакету GNU Octave.

На малюнку наведені типові біоелектричні відгуки квасолі звичайної на періодичні включення/виключення світла. Кожен з відгуків наведений на малюнку є результатом усереднення декількох відібраних відгуків в серії повторів. Над кожною з кривих наведена величина тривалості напівперіоду (тобто тривалість включення чи виключення світла). Всі представлені графіки мають однаковий масштаб вздовж осі ординат та різні масштаби вздовж осі абсцис (максимальне значення вздовж осі абсцис  $T/2$ ).