обусловлены индукцией биохимического ответа растительных клеток на стресс, вызванный ионизирующим облучением, что ведёт к деградации нуклеиновых кислот, модификации клеточной стенки, накоплению крахмала, протеолизу и конформационным превращениям белков.

Ключевые слова: рентгеновское излучение, инфракрасная спектроскопия Фурье (FTIR), индуцированные облучением биохимические изменения, гиперчувствительный ответ, клеточная стенка

S. V. Litvinov, M. V. Krivohizhaya, V. M. Kukharskyy, N. M. Rashydov
Institute of Cell Biology and Genetic Engineering NAS of Ukraine
D. F. Chebotarev State Institute of Gerontology NAMS of Ukraine

CHANGES IN THE NON-PIGMENTED COMPOUNDS IN LEAVES OF IRRADIATED *ARABIDOPSIS THALIANA (L.) HEYNH.* PLANTS

The action of radiation on plants often causes structural and metabolic changes that occur over a long period of time after irradiation. In order to analyze changes in composition of non-pigment compounds of the plant assimilative organ, leaf, the Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) was used. On the basis of the analysis of the FTIR spectrograms of the lyophilized rosette leaves of *Arabidopsis thaliana* 30 days after X-irradiation at dose 21 Gy it can be concluded that there are significant changes in the content of polysaccharides, nucleic acids and proteins. In particular, in the leaves of irradiated plants the content of proteins and nucleic acids was greatly reduced, pectin and lignin were replaced by cellulose and hemicellulose, starch was accumulated. The composition of fatty acids in the cutin in the leaves of irradiated plants has been undergo structural changes. Also, a slight increase in the ratio of the number of beta-sheets to the number of alpha-helix domains of proteins has been observed. The changes can be related to the induction of the biochemical response of plant cells to ionizing radiation, leading to the degradation of nucleic acids, modification of the cell wall, accumulation of starch, proteolysis and conformational changes in proteins.

Key words: X-radiation, Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR), radiation induced biochemical changes, hypersensitive response, cell wall

Рекомендує до друку
В. В. Грубінко

Надійшла 07.03.2018

УДК 633.8:661.718.1(477.84)

Ю. В. ЛЮТА, В. В. ГРУБІНКО

Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка
вул. М. Кривоноса, 2, Тернопіль, 46027

НАКОПИЧЕННЯ ФОСФОРУ В ОРГАНІЗМІ *NASTURTIUM OFFICINALE* R. BR.

Поблизу р. Серет в межах м. Тернопіль (49°29′15″ пн. ш., 25°34′51″ сх. д.) виявлено вегетування настурції звичайної (*Nasturtium officinale R. Br.*), яка має високу накопичувальну здатність щодо сполук фосфору. Найефективнішими з точки зору накопичення фосфору є коренево-стеблова частина рослини, що сприяє вилученню з екосистеми фосфорних сполук переважно з грунтового шару та з товщі води. Для практичного використання у покращенні екологічного стану водойм та зменшення їх евтрофікації шляхом вилучення сполук фосфору, зважаючи на швидкість наростання біомаси рослини у гідроценозі, швидкість та тривалість вегетації, *N. officinale* є перспективним фосфоремедіаційним видом.

Ключові слова: Nasturtium officinale R. Br., фосфор, накопичення, гідроекосистема

Водні рослини володіють високою акумулюючою здатністю щодо полютантів різної хімічної природи. У них розвинуті надзвичайно ефективні механізми поглинання фосфору, хоча не всі його форми є легкодоступними. Зокрема, у багатьох наукових працях висвітлюється питання про накопичувальну здатність біогенних речовин водними рослинами [3].

Тому, метою експерименту було з'ясувати накопичувальну здатність фосфору вищими водними рослинами з річкової екосистеми при фіксованих умовах зростання за підвищеного вмісту фосфору у воді.

Матеріал і методи досліджень

Досліджували фосфоракумулюючу здатність настурції лікарської, поширеної від Європи до Центральної Азії.

Настурція звичайна, або настурція лікарська, або Водяний крес (*Nasturtium officinale* R. Br.): Царство: Рослини, Відділ: Квіткові, Порядок: Капустоцвітні, Родина: Капустяні, Рід: Настурція, Вид: Настурція звичайна (*Nasturtium officinale* R. Br.).

Стебла стеляться, товсті, порожнисті, до 50-60 см у довжину. Листя зелені, перисторозсічені , з широкими черешками і 2-7 парами довгастих або овальних листочків з більш великим та округлим яйцеподібним верхівковим листочком. Рослина цвіте білими дрібними квітами у травні – серпні, зібраними у напівпарасольки. Відцвітаючи, утворює плід – короткий, роздутий, з опуклими стулками, без жилок стручок з продовгуватими, плоским насінням. Вона – типовий гідрофіт, має слаборозвинені підземні пагони, які кріпляться до прибережного мулу та каміння.

Росте у дикому вигляді в місцях, де присутня волога (водойми, джерела, канави, тощо).

Проби рослин відбирали з р.Серет, що протікає в межах Тернополя (рис. 1).

Рис.1. Картосхема поширення популяції *Nasturtium officinale* R. Br.-49°29′15″ пн. ш., 25°34′51″ сх. д.

(р. Серет). Масштаб 1:10 000

Рис.2. Фото з місця зростання *N. officinale* R. Br.

Для дослідження поглинальної здатності фосфатів із води був проведений модельний експеримент. Для цього із р. Серет в околицях м. Тернополя було відібрано Настурцію лікарську (*Nasturtium officinale* R. Br.). Частину відібраних зразків рослин було поміщено у простерилізовані скляні ємності місткістю 10 дм^3 із водою з р. Серет, що прийняли за контроль (К). Для модельного досліду (Д) у річкову воду додавали розчин дигідрофосфату натрію (NaH_2PO_4), в якому фосфор (Р) взятий у кількості 3,5 мг/дм^3 – концентрація, при якій елемент активно поглинається рослинами із води та рівномірно розподіляється у листі, стеблі та корені [3]. Експозиція рослин на розчинах та у природній воді тривала впродовж чотирьох місяців (з

жовтня по січень). Температура повітря в приміщенні становила 18-20ºС, температура води 14-16ºС, освітленість – 10000 Лк за допомогою люмінесцентних ламп (світлова/темнова фази – 16/8 год). Визначали вміст фосфатів у воді та вміст фосфору у рослині фотометричним методом з молібдатом амонію $(NH_4)_2MoO_4$. Внаслідок взаємодії ортофосфату з молібдатом амонію у кислому середовищі (pH≈1) у присутності аскорбінової кислоти утворюється інтенсивно забарвлена у синій колір сполука – «молібденова синь». Чутливість визначення становить 0,02 мг PO_4^{3-}/дм^3. Оптичну густину розчинів вимірювали при λ = 690 нм. Для перерахунку отриманих величин у концентрацію фосфору фосфатів, мг Р/дм^3, показники множили на 0,3263. (МВВ 081/12-0005-01), описаним [1]. Отримані дані опрацьовані методами варіаційної статистики.

Результати досліджень та їх обговорення

Поява *N. officinale* у межах м. Тернополя пов'язана з підвищенням середньорічної температури, м'якими малосніжними зимами, зменшенням кількості опадів, пересиханням та прогріванням водойм, їх евтрофікацією та скороченням ареалу і екологічної ролі у місцевих водних біоценозах традиційних домінантних видів: Незабудка болотна (*Myosotis scorpioides* L.), Лепешняк великий (*Glyceria maxima),* Стрілолист звичайний (*Sagittaria sagittifolia L.*) тощо. На фоні цих процесів *N. officinale* виявилася конкурентним видом і поступово розширює свій ареал за рахунок аборигенних видів.

У результаті досліджень встановлена динаміка вмісту фосфору у *N. officinale,* представлена на рис. 3.

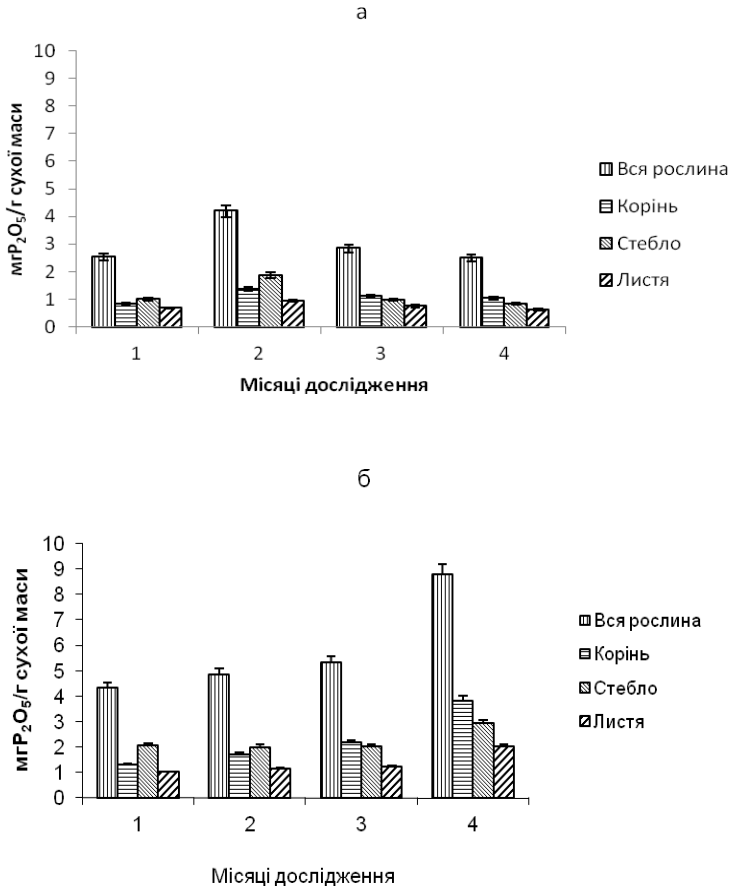

Рис. 3. Динаміка вмісту фосфору (мг P_2O_5) у *N. officinale* у розрізі місяців: а – контроль, б – дослід; місяці дослідження: 1 – жовтень, 2 – листопад, 3 – грудень, 4 – січень; M ± m, n = 3.

Встановлено, що впродовж першого та другого місяців дослідження *N. officinale* найефективніше акумулює фосфор стебло, від якого елемент надходить до листя. Однак, впродовж третього та четвертого місяців, найбільша акумулююча здатність виявлена у кореневій системі із максимальними показниками у четвертий місяць дослідження.

У досліджуваних рослинах зменшення накопичувальної здатності фосфору у частинах рослини відбувалося по-різному. Так, 42,3% у контрольних пробах і 44,2% у дослідних пробах фосфору акумульовано у стеблі, 32,9% і 32,4% у корені і 25,2% і 23,2% у листі відповідно. У *M. scorpioides* 47,0% у контрольних пробах і 50,1% у дослідних пробах фосфору акумульовано у стеблі, 31,0% і 30,5% у листі і 23,6% і 19,4% у корені відповідно. Отже, у *N. officinale* найкраще розвинута коренево-стеблове поглинання фосфору. Відмічені вище відмінності можуть бути пов'язані з особливостями будови кореневої системи, стебла та листків рослини, а також фізіологічними особливостями життєдіяльності та обміну речовин і еколого-фізіологічними вимогами рослини до середовища існування .

Отримані дані щодо вмісту фосфору у рослині співвідносяться з акумулюючою здатністю фосфорних сполук із води. Коефіцієнт накопичення фосфору у *N. officinale* представлено на рисунку 4.

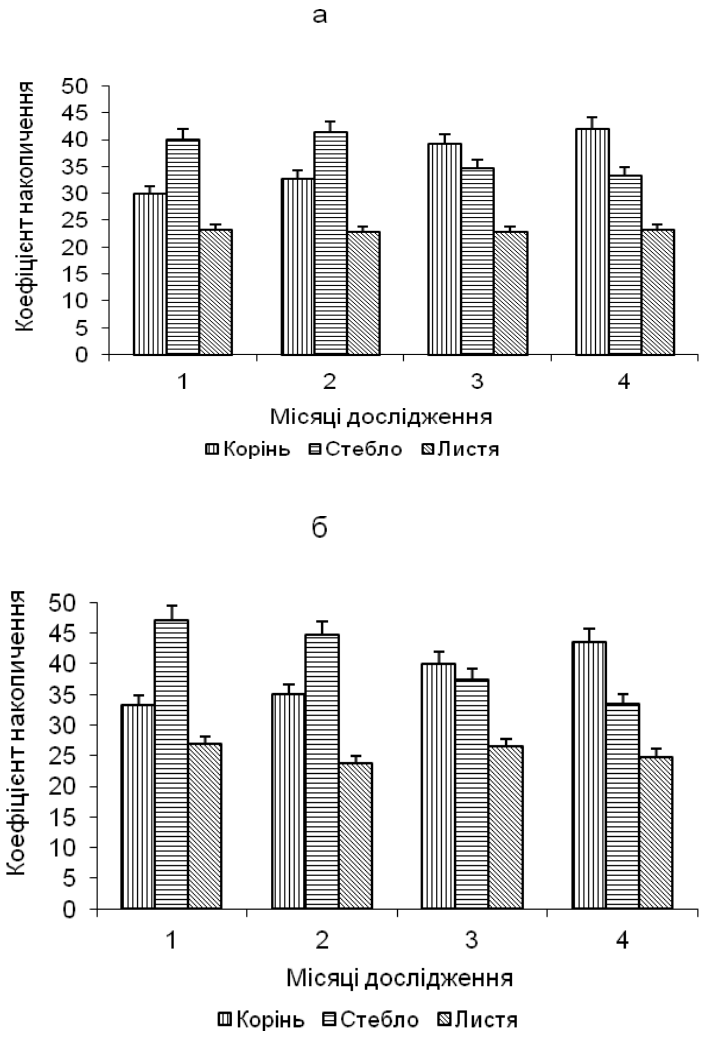

Рис. 4. Коефіцієнт накопичення Р у *N. officinale* з води: а – контрольні проби, б – дослідні проби; місяці дослідження: 1 – жовтень, 2 – листопад, 3 – грудень, 4 – січень

Встановлено, що коефіцієнт акумуляції фосфору із води у контрольних і дослідних пробах – 6,3 і 8,3 відповідно. При цьому, *N. officinale* має високу здатність акумулювати фосфати кореневою і стебловою частинами. У зв'язку з переважанням кореневого шляху живлення у *N. officinale* можливе вилучення фосфорних сполук з ґрунтового шару та намулу, а також стебловою частиною з води, що важливо для вилучення надлишку фосфатів з різних складових водних екосистем.

Згідно наших досліджень коефіцієнт накопичення Р та коефіцієнт акумуляції фосфору рослиною із води можна подати рядами: 1 місяць – стебло>корінь>листя; 2 місяць – стебло>корінь>листя; 3 місяць – корінь>стебло>листя; 4 місяць – корінь>стебло>листя.

Поглинання фосфору із води водними рослинами у природних умовах відбувається стебловою частиною рослинного організму, після чого фосфор як і інші поживні для рослини речовини спрямовуються до зон його інтеркалярного та апікального росту (листя, кореня), а потім і в плоди [2]. Відомо, що накопичення фосфору у стеблах рослин – одна із ознак достатньої забезпеченості рослин фосфором. Тому, виходячи із отриманих даних, констатуємо той факт, що *N. officinale* добре забезпечується фосфором.

Враховуючи отримані дані можна вирахувати фосфоракумулюючу здатність рослини у природніх умовах з метою використання настурції для оздоровлення гідроекосистем.

Під час польового дослідження маршрутним методом виявлено, що середня кількість рослин настурції лікарської на одному м² становить 192±7 екз. Проби рослин відбиралися упродовж осіннього вегетаційного періоду.

Таблиця 1

Біомаса рослини (г/м^2) та вміст фосфору (г/м^2) у *N. officinale*, M±m, n=5.

Показник		**Вся рослина**	**квіти**	**листки**	**корінь**	**стебло**
сира		51,04±5,79	1,55±0,39	18,48±1,92	11,86±1,72	19,15±1,76
суха		10,11±0,70	0,16±0,05	2,48±0,51	0,59±0,07	1,09±0,07
% вологи		80,2	89,7	86,6	95,1	94,3
Вміст Р	г/м^2	1,11	-	0,37	0,05	0,30
	% від сухої маси	19,98	-	14,92	8,47	27,52

Як показали результати досліджень, найбільше вологи міститься у корені та стеблі рослин. Тому відносний вміст фосфору у кореневій частині є невисоким. Найбільше фосфору накопичує біомаса стебла та листків, за рахунок чого рослини *N. officinale* утримують близько 20% фосфору (у розрахунку на чистий фосфор), або біля 1 г/м^2. Зважаючи на площу, що займає популяція настурції, – близько 4,5 га, загалом, в рослинах може знаходитися близько 45 кг біологічно доступного фосфору.

Висновки

На дослідженій ділянці р. Серет виявлено вегетування настурції звичайної (*Nasturtium officinale* R. Br.), яка має високу загальнонакопичувальну здатність щодо фосфору. Найефективнішими з точки зору накопичення фосфору є стебло-листкова частина рослини, що сприяє вилученню з екосистеми фосфорних сполук як з грунтового шару та з товщі води, що важливо для оздоровлення гідроекосистеми від надлишку розчинних фосфатів. Рослини настурції у сухому вигляді можуть містити до 20% фосфору (за масою), тому цю рослину можна вважати цінним джерелом біологічно доступного фосфору.

Отже, для практичного використання у покращенні екологічного стану водойм та зменшення їх евтрофікації шляхом вилучення сполук фосфору, зважаючи на швидкість наростання біомаси рослини у гідроценозі, швидкість та тривалість вегетації, *N. officinale* є перспективним фосфоремедіаційним видом.

1. *Линник П. М.* Десорбція сполук азоту, фосфору і заліза з донних відкладів за дії різних чинників / П.М. Линник, А.О. Морозова // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. — Київ : Обрій, 2006. — С. 73—81.
2. *Макрушин М. М.* Фізіологія рослин : підручник / М. М. Макрушин, Є. М. Макрушина, Н. В. Петерсон, М. М. Мельников ; за ред. проф. М. М. Макрушина. — Вінниця : Нова Книга, 2006. — 416 с.
3. *Пасичная Е. А.* Влияние соединений фосфора на водные растения (обзор) / Е. А. Пасичная, Л. О. Горбатюк, О. М. Арсан [и др.] // Гидробиологический журнал. — 2015. — Т. 51, № 1. — С. 93—108.
4. *Прокопчук О. І.* Фосфати у водних екосистемах / О. І. Прокопчук, В. В. Грубінко // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Сер. Біологія. — 2013. — Вип. 3 (56). — С. 78—85.

Ю. В. Люта, В. В. Грубинко
Тернопольский национальный педагогический университет имени Владимира Гнатюка

НАКОПЛЕНИЕ ФОСФОРА В ОРГАНИЗМЕ NASTURTIUM OFFICINALE R. BR.

Вблизи р. Серет в пределах г. Тернополь (49°29′15″ св. ш., 25°34′51″ вост. д.) обнаружена вегетация Настурции обыкновенной (Nasturtium officinale), которая имеет высокую накопительную способность относительно соединений фосфора. Наиболее эффективными с точки зрения накопления фосфора является корнево-стеблевая часть растения, способствующая исключению из экосистемы фосфорных соединений, преимущественно из почвенного слоя и из толщи воды. Для практического использования в улучшении экологического состояния водоемов и уменьшения их эвтрофикации путем изъятия соединений фосфора, учитывая скорость нарастания биомассы растения в гидроценозах, скорость и продолжительность вегетации, N. officinale является перспективным фосфоремедиацийним видом.

Ключевые слова: Nasturtium officinale R. Br., фосфор, накопление, гидроэкосистема

Yu. V. Liuta, V. V. Grubinko
Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University, Ukraine

ACCUMULATION OF PHOSPHORUS OF NASTURTIUM OFFICINALE R. BR.

Nasturtium officinale R. Br. which vegetate in river Seret (49°29′15″ northern latitude, 25°34′51″ eastern longitude) has high accumulation capacity in relation to connections of phosphorus compaunds. The aim of the experiment was to find out the accumulation capacity of *N. officinale* of phosphorus in a river ecosystem under fixed growth conditions and high levels of phosphorus in water.

The phosphoro-activity and biochemistry of *Nasturtium officinale* R. Br. of the medicine, which vegetate inside Europe out Central Asia, was studied. Plant is a typical hydrophyte, with underdeveloped underground shoots, which are attached to coastal silt. *N. officinale* in May-September is blossoms. *Nasturtium officinale* R. Br. was selected during the vegetation period from the Seret River, which flows within the city of Ternopil. The content of phosphates in water and phosphorus contents in the plant were determined by photometric method with ammonium molybdate $(NH_4)_2MoO_4$. The resulting data by the methods of variation statistics are processed.

As a result of the study, it was found that the most effective in terms of accumulation of phosphorus is the root-stem portion of the plant, which helps to remove phosphorus compounds from the ecosystem, mainly from the soil layer and from the water column. It should be noted that the resulting data on the content of phosphorus in the plant correlate with the accumulation ability of phosphorus compounds from water.

Consequently, *N. officinale* has a high accumulation capacity for phosphorus compounds. Dry plants can contain up to 20% phosphorus, so this plant can be considered a source of biologically available phosphorus. So, *N. officinale* is a perspective phosphorus remediation kind of plants.

Key words: Nasturtium officinale R. Br., phosphorus, accumulation, hydroecosystem

Рекомендує до друку
В. З. Курант

Надійшла 02.03.2018