



doi: 10.15407/ukrbotj74.01.080

## Добова динаміка експресії гену PIP2-аквапорину в листках *Sium latifolium* (*Ariaceae*) за умов різного водного режиму

Дмитро А. БЛЮМА

Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України  
вул. Терещенківська, 2, Київ 01004, Україна  
dbluma@ukr.net

Blyuma D.A. Diurnal dynamics of PIP2-aquaporin gene expression in leaves of aerial-aquatic and terrestrial plants of *Sium latifolium* (*Ariaceae*) under different water supply. Ukr. Bot. J., 2017, 74(1): 80–85.

M.G. Kholodny Institute of Botany, National Academy of Sciences of Ukraine  
2, Tereshchenkivska Str., Kyiv 01004, Ukraine

**Abstract.** The dynamics of PIP-transcripts accumulation in *S. latifolium* leaves during twenty-four hours was demonstrated using RT-PCR method. *Sium latifolium* plants were sampled in nature in the Psyol River (aquatic plants) and on the riverside (terrestrial plants) near Velyka Bagachka settlement (Poltava Region, Ukraine). The highest level of PIP-expression observed during 6 am to 12 pm in both aerial-aquatic and terrestrial plants, and it gradually decreased to the end of the daylight hours. We assume that PIP-aquaporin gene expression increase in the beginning of daylight hours is the result of increased demand of plant for water since the transpiration rate increased at this time.

**Keywords:** aquaporins, gene expression, water deficit

### Вступ

Згідно до сучасних уявлень, вода надходить у рослину трьома шляхами: 1) по апопласту (вода рухається по міжклітинному простору); 2) по симпласту (вода рухається через цитоплазму клітин по плазмодесмах); 3) вода рухається від клітини до клітини через цитоплазматичну мембрану (Johansson et al., 2000).

Відомо, що процес транспорту води через цитоплазматичну мембрану забезпечують здебільшого аквапорини, які є мембранними білками, що формують спеціалізовані водні канали (Luu, Maurel, 2005). На даний час число відомих аквапоринів перевищує двісті, причому значну частину становлять аквапорини рослин. У геномі *Arabidopsis thaliana* (L.) Neuhf. знайдено 35 генів, які кодують аквапорини, в *Zea mays* L. – 33 гени (Jang et al., 2004; Maurel et al., 2008). Найчисельніша родина аквапоринів у рослин – це PIP-аквапорини (аквапорини цитоплазматичної мембрани), яка ділиться на 2 підродини: PIP1 та PIP2. Аквапорини підродини PIP2 характеризуються значно більшою вод-

ною пропускною здатністю ніж PIP1-аквапорини (Chaumont et al., 2000)

Оскільки PIP-аквапорини відіграють важливу роль у транспорті води крізь цитоплазматичну мембрану, рівень експресії їхніх генів може бути одним з механізмів регуляції внутрішньоклітинного водного балансу під час адаптації рослини до змін водного режиму. Зручним об'єктом для дослідження впливу помірного водного дефіциту на експресію генів аквапоринів є повітряно-водні рослини (геліофіти), які можуть також зростати на суходолі, поблизу водойм, де суходольні рослини знаходяться в умовах помірного водного дефіциту, порівняно з повітряно-водними, протягом онтогенезу. В попередньому дослідженні ми виявили підвищений рівень експресії гену PIP2-аквапоринів у листках суходольних рослин на фазах вегетації: бутонізації–цвітіння та цвітіння–плодоношення за умов помірного водного дефіциту протягом трьох років та зробили висновок, що аквапорини родини PIP беруть участь в адаптації рослин до змін водного режиму в природних умовах (Blyuma, 2010).

У даній роботі ми поставили за мету дослідити добову динаміку експресії гену PIP2-аквапори-

© Д.А. БЛЮМА, 2017

ну в суходольних і повітряно-водних рослин *Sium latifolium* L. та з'ясувати, чи є різниця між ними в динаміці експресії цих генів.

## Матеріали та методи

Об'єктами досліджень були рослини *Sium latifolium*, які росли в природних умовах на р. Псьол в околицях м. Велика Багачка Полтавської обл. Рослини цього виду є багаторічними, утворюють повзучі підземні пагони і добре розмножуються вегетативно. Завдяки своїй високій адаптивній пластичності рослини *S. latifolium* нормально вегетують як в прибережній водній зоні, так і на суходолі (Sytnyk et al., 2003). Дослідження проводили в 3-х біологічних та 3-х аналітичних повторностях. Матеріал збирали в липні з трьох повітряно-водних і трьох суходольних рослин. З кожної рослини брали по три листка 2–3-го ярусу вагою 80–100 мг. Листки збирали протягом 24 год з інтервалом у 3 год, починаючи з шостої години ранку та занурювали в рідкий азот.

*Для визначення загального вмісту води й сухої речовини в органах рослин.* Сиру масу 1 г висічок листових пластинок без середніх жилок зважували на торсійних терезах WT-4000 безпосередньо в польових умовах, поміщали в бюкси з попередньо визначеною масою, висушували в сушильній шафі при 85 °С до сталого, з точністю 0,00003 г, значення, визначеного на аналітичних терезах ВЛР-200, і виражали у відсотках (Vekirchuk, 1984).

*Відносний вміст води.* Виравували як відношення різниці сирої та сухої маси висічок листків до різниці сирої маси висічок, насичених дистильованою водою, та їхньої сухої маси, виражене у відсотках згідно до рівняння:  $ВВВ = [(сир\text{а маса} - \text{суха маса}) / (\text{насичена водою сира маса} - \text{суха маса})] \cdot 100$  (Vekirchuk, 1984).

*Визначення загального вмісту води й сухої речовини в ґрунті, на якому зростали досліджувані рослини.* Наважки сирої речовини (1 г) поміщали в бюкси з попередньо визначеною масою, висушували в сушильній шафі при 103 °С до сталого, з точністю 0,00003 г, значення, визначеного на аналітичних терезах ВЛР-200, і виражали у відсотках (Vekirchuk, 1984).

*Водний потенціал клітин листків.* Визначали методом струминок, що ґрунтується на визначенні концентрації розчину сахарози, яка не змінюється після перебування в ньому висічок листків досліджуваного об'єкту (Vekirchuk, 1984).

*Вивчення інтенсивності транспірації.* Здійснювали за методом, розробленим Л.А. Івановим (Ivanov, 1950).

*ПЛР в реальному часі. Виділення РНК.* Проводили за допомогою TRI-REAGENT (Sigma) за відповідним протоколом із деякими змінами. Всі розчини, що використовувались для роботи з РНК, були попередньо оброблені діетилпірокарбонатом (DEPC). Рослинний матеріал гомогенізували в рідкому азоті у відповідній кількості TRI-REAGENT з розрахунку 1 мл на 100 мг сирої маси листка. Центрифугували впродовж 10 хв при 12000 g і температурі 4 °С та відбирали супернатант. Після додавання хлороформу витримували 10 хв за кімнатної температури та центрифугували (10 хв, 12000 g, 4 °С). Преципітацію РНК здійснювали за допомогою ізопропанолу протягом 24 год при температурі 4 °С. Після центрифугування (10 хв, 12000 g, 4 °С) зливали супернатант та відмивали РНК 75%-ним розчином спирту. Фінальне центрифугування здійснювали протягом 5 хв при 7500 g та температурі 4 °С. Осад висушували та розчиняли у стерильній воді. Кількість РНК вимірювали за оптичною щільністю при довжині хвилі 260 нм. Матричну РНК аналізували за допомогою ЗТ-ПЛР-методу (полімеразна ланцюгова реакція зворотніх транскриптів), який проводили за методикою протоколу FERMENTAS на ампліфікаторі «Терцик» (ДНК-технологія), та методу ПЛР у реальному часі. Для отримання кДНК, 1 мкг тотальної РНК та 100 пмоль оліго (dТ) праймера інкубували 5 хв при 65 °С, далі додавали 4 мкл 5X буферу, 1 мкл 10 мМ dNTP мік (суміш дезоксинуклеозидтрифосфатів), 1 мкл інгібітору РНКаз та інкубували ще впродовж 5 хв при 37 °С. Після цього додавали 1 мкл M-MuLV зворотньої транскриптази, доводили об'єм реакції до 20 мкл і інкубували суміш протягом 1 год при 42 °С. Зупиняли реакцію нагріванням до 70 °С впродовж 10 хв. Отриману кДНК використовували для секвенування та подальшого проведення ПЛР у реальному часі. Останнє проводили на ПЛР-ампліфікаторі в реальному часі Real-Time PCR IQ-Cycler (Biorad) з використанням набору реактивів Maxima SYBR Green/Fluorescein qPCR Master Mix (2X), (Fermentas) та праймерів, сконструйованих з використанням бази даних NCBI, IDTDNA та програми ClustalW. Праймери були сконструйовані на основі відомих послідовностей мРНК РІР2-аквапоринів дводольних рослин (NCBI:

EU287448.1, AV058680.1, AY189974.1, DQ358107.1, NM\_001111555, AV206102.1, AF118382.1|AF118, AV012045.1, NM\_129273.4, DQ914525.1)

5' CAC ATT AAC CCG GCG GTG AC-3'

5' CGC AGA GAA GAC GGT GTA GAC -3'

Ампліфікацію проводили в режимі, рекомендованому виробником: 95 °С – 10 хв, 1 цикл; 95 °С – 30 с, 57 °С – 30 с, 72 °С – 1 хв, 25 циклів; 72 °С – 10 хв, 10 °С – зберігання.

Продукти ЗТ-ПЛР розділяли у 2%-му агарозному гелі, візуалізували в УФ-світлі та фотографували за допомогою системи візуалізації гелів (Bio-Vision).

Отримана кДНК у подальшому була вбудована в плазмиду pJET 1.2/blunt cloning vector (виробник FERMENTAS) та клонувана за допомогою штаму *E. coli* DH10b. Після клонування кДНК була очищена за допомогою набору FlexiPrep (GE Healthcare) і препарат було секвеновано на секвенаторі Applied Biosystems 3130 Genetic Analyzer

## Результати та обговорення

**Водний баланс.** Дослідження водного балансу рослин *S. latifolium* показали, що листки повітряно-водних рослин у фазі бутонізації мали загальний вміст води на 2,3% більше, а відносний вміст води – на 5% більше порівняно з суходольними. Також видно, що повітряно-водні рослини порівняно з суходольними характеризувалися вищим значенням водного потенціалу (табл. 1)

Загальний вміст води в ґрунті, на якому зростали повітряно-водні рослини на фазі бутонізації, становив  $39,8 \pm 0,9\%$  в порівнянні  $26,3 \pm 0,3\%$  для суходольних рослин. Отже, зразки ґрунту повітряно-водних рослин містили на 13,5% більше води порівняно з суходольними.

Таким чином, дослідження загального вмісту води та сухої речовини, які дозволяють виявити загальні закономірності водного обміну в рослинах, свідчать про те, що повітряно-водні рослини *S. latifolium* порівняно із суходольними впродовж досліджуваного часу характеризувалися вищим вмістом води і відповідно нижчим вмістом сухої речовини.

**Вимірювання інтенсивності транспірації.** З рис. 1 видно, що інтенсивність транспірації в листках повітряно-водних рослин плавно зростала з 9:00 до 15:00, а о 18:00 та 21:00 спостерігалось її різке зниження до рівня, що був о 9:00. Динаміка транспірації в листках суходольних рослин протягом дня

Таблиця 1. Загальний і відносний вміст води та водний потенціал клітин у листках повітряно-водних та суходольних рослин *Sium latifolium* (фаза бутонізації)

Table 1. Water content, relative water content and cell water potential in leaves of aquatic and terrestrial plants of *Sium latifolium* (budding stage)

Рослини	Загальний вміст води й сухої речовини, % біомаси	Відносний вміст води, %	Водний потенціал, МПа
повітряно-водні	$87,0 \pm 0,2$	$96,0 \pm 0,6$	$-0,84 \pm 0,02$
суходольні	$84,7 \pm 0,4$	$91,0 \pm 1,4$	$-0,92 \pm 0,2$

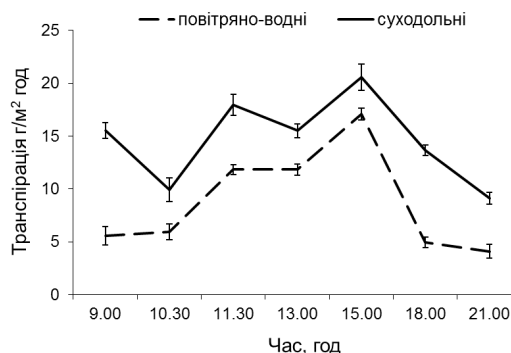


Рис. 1. Добова динаміка інтенсивності транспірації в листках повітряно-водних та суходольних рослин *Sium latifolium*

Fig. 1 Diurnal transpiration rate in leaves of aerial-aquatic and terrestrial *Sium latifolium* plants

в цілому повторювала динаміку повітряно водних рослин, але була на трохи вищому рівні, та зростала не плавно, а з різкими коливаннями. Так, о 9:00 вона перевищувала інтенсивність транспірації повітряно-водних рослин у 3 рази, о 10:30 вона різко знижувалась майже до рівня повітряно-водних рослин в цей час. Через годину, о 11:30, її рівень знову різко зростає, а о 13:00 – різко знижувався. В 15:00 знову рівень транспірації підвищувався, а о 18:00 та 21:00 значно знижувався.

**Експресія гену PIP-аквапорину.** Отримана розшифрована послідовність кДНК після порівняння з відомими послідовностями аквапоринів у базі NCBI виявила схожість з аквапоринами PIP-підродини інших рослин:

*Glycyrrhiza uralensis* PIP – схожість 80%.

*Schizolobium parahyba* PIP2 – схожість 77%

*Juglans regia* PIP1;2 – схожість 77%

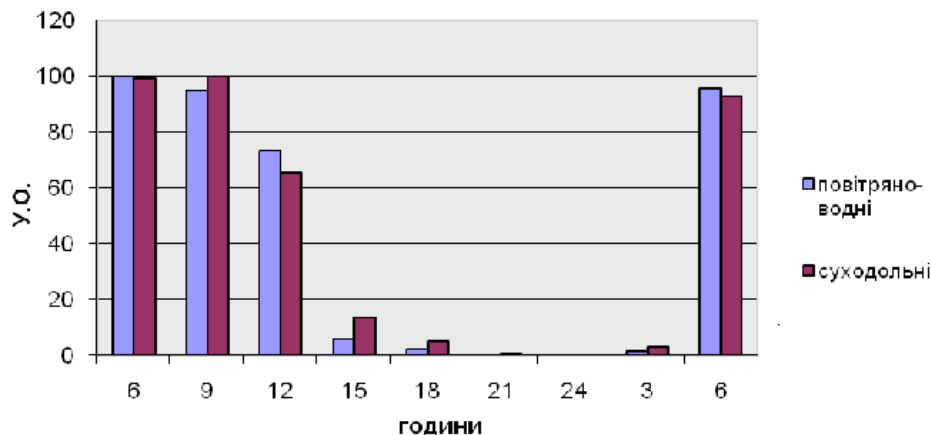
*Tulipa gesneriana* PIP1;2 – схожість 78%

Рис. 2. Добова динаміка накопичення транскриптів PIP2-аквапорину в листках повітряно-водних та суходольних рослин *Sium latifolium*:

у.о. – умовні одиниці (кількість мРНК-аквапоринів відносно кількості мРНК бета-актину)

Fig. 2. Diurnal dynamics of PIP-gene transcript accumulation in leaves of aerial-aquatic and terrestrial *Sium latifolium* plants.

у.о. – relative expression levels normalized to beta-actin



З отриманих даних видно, що найвищий рівень експресії PIP-гену у суходольних рослин спостерігався в 6:00 та 9:00 год ранку. О 12:00 рівень експресії дещо знизився (рис. 2). Через 3 год, о 15:00 експресія значно знизилась, її рівень складав 13,5% порівняно з таким о 6:00. Через 3 год, о 18:00, рівень експресії складав всього 4,9%. О 21:00 він становив 0,38%, о 24:00 – 0,18% рівня експресії, яка була о 6:00, у 3:00 наступного дня він складав 2,85%. Знову значне підвищення рівня експресії PIP-гену до 92,71% спостерігалось о 6:00. У повітряно-водних рослин найвищий рівень експресії відбувався також у ранковий час – о 6:00 та о 9:00 (рис. 2). У 12:00 рівень експресії знижувався і становив 73,34%. О 15:00 експресія різко знизилась і становила 6,02% рівня експресії, що спостерігався о 6:00. Рівень експресії на 18:00 складав 2,44%, на 21:00 – 0,38%, на 24:00 – 0,11% та на 3:00 наступного дня – 1,84%. У 6:00 він значно підвищувався і повертався на рівень, який спостерігався 24 години раніше. Як видно з отриманих результатів, динаміка експресії PIP-гену протягом доби подібна у рослин, що зростали за різних умов водозабезпечення. Таким чином, ми припускаємо, що існує певний механізм регуляції експресії генів аквапоринів рослин протягом доби.

У літературі на сьогодні існує багато експериментальних даних стосовно того, що рівень експресії генів аквапоринів значно підвищувався за дії світла, що корелювало із зростанням водної проникності цитоплазматичної мембрани (Tugee et al., 2005; Kim, Steudle, 2007; Voicu et al., 2008;

Nardini et al., 2005; Cochard et al., 2007; Moshelion et al., 2002). Подібні до наших результати було отримано при дослідженні експресії генів аквапорину NtAQP1 у черешках листків *Nicotiana tabacum* L. Найвищий рівень експресії NtAQP1 спостерігався вранці, поступово знижуючись до кінця світлового дня (Siefritz et al., 2004). У дослідженні добової динаміки експресії генів McPIP1;1 McPIP2;1 McPIP2;3 у листках *Mesembryanthemum crystallinum* L. було виявлено, що кількість мРНК цих генів, навпаки, значно збільшувалась до 15:00 порівняно з 12:00 і продовжувала зростати до 21:00 (Abdeeva, 2008). Можливо, така різниця в динаміці експресії генів PIP-аквапоринів *M. crystallinum* та *S. latifolium* пов'язана із тим, що ці рослини належать до різних екологічних груп.

Не виключено також, що експресія генів аквапоринів чутлива до зміни освітлення та знаходиться під контролем фітохромної системи, яка, як відомо, регулює експресію багатьох світлочутливих генів у рослин (Tobin, Silverthorne, 1985). Фітохром за дії світла здійснює трансдукцію сигналу до ядра клітини і через каскад транскрипційних факторів (bHLH-родина, RTF-фактор, RR-фактор) та за допомогою нуклеосо-мозв'язуючого комплексу DET1/DBP1 регулює експресію генів (Schäfer, Bowler, 2002).

Припускається, що інтенсивність експресії генів аквапоринів відображає потребу рослини в забезпеченні її клітин водою протягом доби. Так, у дослідженні PIP-генів аквапоринів коренів *Oryza sativa* L. також було виявлено добову динаміку в

їхній експресії. Показано, що експресія OsPIP2;2, OsPIP2;3, OsPIP2;4 та OsPIP2;5 генів різко зростала на початку світлового періоду, далі поступово знижувалась і в темновому періоді трималась на низькому рівні та знову зростала на початку наступного світлового періоду. Було встановлено, що динаміка експресії цих генів залежала від рівня транспірації, який зростав на початку світлового періоду і різко знижувався після настання темного. Також було виявлено, що добова динаміка експресії різних ізоформ аквапоринів *O. sativa* відрізнялась в коренях і листках (ізоформи, локалізовані в клітинах коренів – OsPIP2;4 та OsPIP2;5 характеризувались короткочасовим, але значним підвищенням експресії на початку світлового періоду; ізоформи, локалізовані як в клітинах листків, так і в клітинах коренів – OsPIP2;1 та OsPIP2;2, характеризувались незначним підвищенням експресії генів із посиленням освітленості). Крім того, автори зробили висновок, що добова динаміка експресії PIP-генів *O. sativa* також меншою мірою залежала від циркадного ритму, оскільки інтенсивність експресії PIP-генів, а також білків-аквапоринів починала зростати за деякий час до початку світлової фази й значно знижувалась до початку темної (Sakurai-Ishikawa et al., 2011).

Наші результати також показали, що найвищий рівень експресії гену аквапорину в клітинах листків відбувався в першій половині дня з 6.00 до 12:00 і поступово знижувався до кінця дня, тобто мав динаміку, подібну до експресії PIP-генів *O. sativa*. Рівень транспірації в листках повітряно-водних та суходольних рослин *S. latifolium* також зростав у першій половині світлового дня і до кінця дня знижувався. Ми вважаємо, що динаміка експресії гену аквапорину в листках пов'язана із динамікою інтенсивності транспірації та освітлення протягом дня, і підвищення рівня експресії гену аквапорину в першій половині дня в клітинах листків повітряно-водних та суходольних рослин *S. latifolium* викликано збільшенням потреби рослин у воді в зв'язку із зростанням інтенсивності транспірації в цей час.

## Висновки

За допомогою зконструйованих нами праймерів вперше розшифровано фрагмент консервативної ділянки PIP2-гену аквапорину у *S. latifolium*. Встановлено, що повітряно-водні рослини *S. latifolium* порівняно із суходольними характеризуються ви-

щим вмістом води і відповідно нижчим вмістом сухої речовини. Виявлено зміни в накопиченні транскриптів гену PIP-аквапоринів у листках повітряно-водних і суходольних рослин *S. latifolium* впродовж доби. Рівень інтенсивності транспірації також коливався протягом світлового дня в листках повітряно-водних і суходольних рослин *S. latifolium*. Динаміка експресії гену PIP2-аквапорину подібна в повітряно-водних та суходольних рослин протягом доби, не зважаючи на різні умови водозабезпечення рослин і корелює зі зміною інтенсивності транспірації в листках обох рослин.

## СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- Abdeeva A.R. *Differential gene expression of Mesembryanthemum crystallinum aquaporins under water salt and copper and zinc impact*: Cand. Sci. Diss. Abstract, Moscow, 2008, 24 pp. [Абдеева А.Р. *Дифференциальная экспрессия генов аквапоринов в растениях Mesembryanthemum crystallinum L. в условиях солевого стресса и при действии меди и цинка*: автореф. дис. ... канд. биол. наук, Москва, 2008, 24 с.].
- Blüma D. A. *Nauk. zap. Ternop. nats. ped. un-tu, Ser. Biol.*, 2010, 45(4): 3–8. [Блюма Д.А. *Експресія генів аквапоринів підгрупи PIP2 в рослинах Sium latifolium L. в умовах різного водного режиму*. *Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту, Сер. Біол.*, 2010., 45(4): 3–8].
- Cochard H., Venisse J.-S., Barigah T.S., Brunel N., Herbertte S., Guilliot A., Tyree M.T., Sakr S. Putative role of aquaporins in variable hydraulic conductance of leaves in response to light. *Plant Physiol.*, 2007, 143: 122–133.
- Chaumont F., Barrieu F., Jung R., Chrispeels M. Plasma membrane intrinsic proteins from maize cluster in two sequence subgroups with differential aquaporin activity. *Plant Physiol.*, 2000, 122: 1025–1034.
- Ivanov L.A., Silina A.A., Tselniker Yu.L. *Bot. Zhurn.*, 1950, 35(2): 75–83. [Иванов Л.А., Силина А.А., Цельникер Ю.Л. *О методе быстрого взвешивания для определения транспирации в естественных условиях*. *Бот. журн.*, 1950, 35(2): 75–83].
- Jang J.Y., Kim D.G., Kim Y.O. An expression analysis of a gene family encoding plasma membrane aquaporins in response to abiotic stresses in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Mol. Biol.*, 2004, 54: 713–725.
- Johansson I., Karlsson M., Johanson U., Larsson C., Kjellbom P. The role of aquaporins in cellular and whole plant water balance. *BBA–Biomemb.*, 2000, 1465(1–2): 324–342.
- Kim Y.X., Steudle E. Light and turgor affect the water permeability (aquaporins) of parenchyma cells in the midrib of leaves of *Zea mays*. *J. Experim. Bot.*, 2007, 58: 4119–4129.
- Luu D.T., Maurel C. Aquaporins in a challenging environment: molecular gears for adjusting plant water status. *Plant Cell Environ.*, 2005, 28(1): 85–96.

- Maurel C., Verdoucq L., Luu D.T., Santoni V. Plant aquaporins: membrane channels with multiple integrated functions. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 2008, 59: 595–624.
- Moshelion M., Becker D., Biela A., Uehlein N., Hedrich R., Otto B., Levi H., Moran N., Kaldenhoff R. Plasma membrane aquaporins in the motor cells of *Samanea saman*: diurnal and circadian regulation. *Plant Cell*, 2002, 14: 727–739.
- Nardini A., Salleo S., Andri S. Circadian regulation of leaf hydraulic conductance in sunflower (*Helianthus annuus* cv. *Margot*). *Plant Cell Environ.*, 2005, 28: 750–759.
- Reizer J., Reizer A., Saier M. The MIP family of integral membrane channel proteins: sequence comparisons, evolutionary relationships, reconstructed pathway of evolution, and proposed functional differentiation of the two repeated halves of the proteins. *Crit. Rev. Biochem. Mol. Biol.*, 1993, 28: 235–257.
- Schäfer E., Bowler C., Phytochrome-mediated photoperception and signal transduction in higher plants. *EMBO Rep.*, 2002, 3(11): 1042–1048.
- Sakurai-Ishikawa J., Murai-Hatano M., Hayashi H., Ahamed A., Fukushi K., Matsumoto T., Kitagawa Y. Transpiration from shoots triggers diurnal changes in root aquaporin expression. *Plant Cell Environ.*, 2011, 34: 1150–1163.
- Siefritz F., Otto B., Bienert G.P., van der Krol A., Kaldenhoff R. The plasma membrane aquaporin NtAQP1 is a key component of the leaf unfolding mechanism in tobacco. *Plant J.*, 2004, 37: 147–155.
- Sytnyk K.M., Baranenko V.V., Belyavskaya N.A., Klymchuk D.A., Nedukha E.M. *Klotochnye mekhanizmy adaptatsiy rasteniy k neblagopryyatnym vozdeystviyamy ekologicheskikh faktorov v estestvennykh usloviyakh*. Ed. E.L. Kordyum, Kyiv: Naukova Dumka, 2003, 277 pp. [Сытник К.М., Бараненко В.В., Белявская Н.А., Климчук Д.А., Недуха Е.М. *Клеточные механизмы адаптации растений к неблагоприятным воздействиям экологических факторов в естественных условиях*. Ред. Е.Л. Кордюм, Киев: Наук. думка, 2003, 277 с.]
- Tobin E., Silverthorne J. Light regulation of gene expression in higher plants. *Annu. Rev. Plant Physiol.*, 1985, 36: 569–593.
- Tyree M.T., Nardini A., Salleo S., Sack L., El Omari B. The dependence of leaf hydraulic conductance on irradiance during HPFM measurements: any role for stomatal response?. *J. Experim. Bot.*, 2005, 56: 737–744.
- Vekirchik K.M. *Fiziologija roslyn: Praktikum*, Kyiv: Vischa shkola, 1984, 240 pp. [Векірчик К.М. *Фізіологія рослин: Практикум*, Київ: Вища шк., 1984, 240 с.]
- Voicu M., Zwiazek J., Tyree M. Light response of hydraulic conductance in bur oak (*Quercus macrocarpa*) leaves. *Tree Physiol.*, 2008, 28: 1007–1015.

Рекомендує до друку  
І.В. Косаківська

Надійшла 10.08.2016

Блюма Д.А. **Добова динаміка експресії гену PIP2-аквапорину в листках *Sium latifolium* (Apiaceae) за умов різного водного режиму.** Укр. бот. журн., 2017, 74(1): 80–85.

Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України  
вул. Терещенківська, 2, Київ 01004, Україна

Досліджено динаміку накопичення транскриптів PIP2-гену аквапорину в листках *S. latifolium* протягом доби за допомогою методу ПЛР в реальному часі. Об'єктами досліджень були повітряно-водні та суходольні рослини *S. latifolium*, які росли в природних умовах на р. Псьол в околицях м. Велика Багачка Полтавської області. Найвищий рівень експресії PIP2-гену спостерігався з 6:00 до 12:00 год у повітряно-водних та суходольних рослин і поступово знижувався до кінця дня. Динаміка експресії гену PIP2-аквапорину подібна такої в повітряно-водних та суходольних рослин протягом доби, не зважаючи на різні умови водозабезпечення рослин і корелює зі зміною інтенсивності транспірації в листках обох рослин.

**Ключові слова:** аквапорини, експресія генів, водний дефіцит

Блюма Д.А. **Суточная динамика экспрессии гена PIP2-аквапорина в листьях *Sium latifolium* (Apiaceae) в условиях различного водного режима.** Укр. бот. журн., 2017, 74(1): 80–85.

Институт ботаники им. Н.Г. Холодного НАН Украины  
ул. Терещенковская, 2, Киев 01004, Украина

Исследована динамика накопления транскриптов PIP2-гена аквапорина в листьях *S. latifolium* в течение суток с помощью метода ПЦР в реальном времени. Объектами исследований были воздушно-водные и суходольные растения *S. latifolium*, которые произрастали в естественных условиях на р. Псел в окрестностях г. Большая Багачка Полтавской области. Самый высокий уровень экспрессии PIP2-гена наблюдался с 6:00 до 12:00 ч у воздушно-водных и суходольных растений и постепенно снижался до конца дня. Динамика экспрессии гена PIP-аквапорина одинакова у воздушно-водных и суходольных растений в течение суток, несмотря на разные условия их водоснабжения и коррелирует с изменением интенсивности транспирации в листьях обоих растений.

**Ключевые слова:** аквапорини, експресія генів, водний дефіцит