

О.М. ФЕДЮК, О.В. ПОЛІЩУК, Н.О. БІЛЯВСЬКА

Інститут ботаніки імені М.Г. Холодного НАН України
вул. Терещенківська, 2, м. Київ, 01004, Україна
membrana@ukr.net

ДИНАМІКА ЗМІН ІНТЕНСИВНОСТІ ДИХАННЯ ЛИСТКІВ *GALANTHUS NIVALIS* (*AMARYLLIDACEAE*) ЗА РІЗНИХ ЗНАЧЕНЬ НИЗЬКОЇ ТЕМПЕРАТУРИ І ВОЛОГОСТІ ПОВІТРЯ

Fediuk O.M., Polishchuk O.V., Bilyavska N.O. **Dynamics of changes in the intensity of respiration of *Galanthus nivalis* (*Amaryllidaceae*) leaves under different values of low temperature and humidity.** Ukr. Bot. J., 2016, 73(3): 283–289.

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

Abstract. The results of the evaluation of the quantitative characteristics of respiration in the leaves of *Galanthus nivalis* exposed to low temperatures and changing humidity are presented. Leaves at the stages of the growing season and during flowering were used. The intensity of oxygen uptake was determined by the polarographic method using the Clark electrode. It was established that the intensity of the total respiration (V_t) directly correlates with changes in humidity (correlation coefficient of 0.80) that might indicate a need of *G. nivalis* plants in the high level of relative humidity. The lower air temperatures caused the increase in the fraction of cyanide-resistant respiration in the total respiration. The revealed patterns are likely associated with the plant need in involving additional energy costs for activating their metabolic processes during adaptation to low temperatures.

Key words: air humidity, *Galanthus nivalis*, hypothermia, respiration, potassium cyanide

Вступ

Рослини в природних умовах зростання зазнають впливу різноманітних мінливих факторів зовнішнього середовища, які можуть сприйматися як стресори за неадекватної сили їхньої дії. Для виживання рослини використовують різноманітні захисні механізми, модифікуючи реакції метаболізму, що дає їм змогу пристосовуватися до мінливих впливів середовища існування. Відомо, що несприятливі чинники довкілля тією чи іншою мірою пригнічують дихальний метаболізм мітохондрій, знижуючи його ефективність через часткове пригнічення окиснювального фосфорилування (Stupnikova et al., 2006; Shugaev et al., 2008; Genegozova et al., 2009) та негативно позначаючись на рості проростків (Schmitt, Dizengremel, 1989; Lerginca et al., 2000).

Вивчення адаптивних можливостей рослин і їхньої стійкості до несприятливих впливів навколишнього середовища є однією з центральних проблем біохімії та фізіології рослин. Особливо актуальними в цьому напрямку залишаються дослідження, спрямовані на з'ясування механізмів адаптації рослинних об'єктів до низьких температур.

© О.М. ФЕДЮК, О.В. ПОЛІЩУК, Н.О. БІЛЯВСЬКА, 2016

Дихання – це поетапний компартментований процес. Перші етапи дихання відбуваються в цитоплазмі, а основний продукт гліколізу (піруват) дифундує у спеціалізовані дихальні органели, мітохондрії, де зазнає окиснювального декарбоксілювання в циклі трикарбонових кислот. У реакціях циклу утворюються сполуки з високим відновним потенціалом – піридиннуклеотиди НАДН і ФАДН₂. На вирішальному етапі відновлювальні еквіваленти окиснюються з утворенням енергії в електрон-транспортному ланцюзі (ЕТЛ), локалізованому у внутрішній мембрані мітохондрій. Основний ЕТЛ складається з чотирьох трансмембранних білкових мультиферментних комплексів, двох невеликих за молекулярною масою лабільних компонентів (убіхінону та цитохрому c), що виконують функцію переносників електронів між комплексами, і АТФ-синтази. Перенесення пари електронів за основним цитохромним шляхом від НАДН до кисню з подальшим синтезом трьох молекул АТФ є універсальним для рослин (Golovko, 1999) та інгібується ціанідами.

Необхідно зазначити, що здебільшого дослідники вивчають механізми адаптації рослин до дії якогось одного несприятливого чинника, тоді як рідше трапляються роботи, присвячені з'ясуванню

комбінованого впливу факторів різної природи на рослини (Kolupaev, Karpets, 2010; Atkinson, Urwin, 2012; Visser et al., 2016). У природних умовах несприятливі чинники діють на рослини зазвичай одночасно, а відповідні реакції на їхній спільний вплив, зокрема низьких температур і вологості, можуть помітно відрізнятися від ефектів, спричинених кожним із факторів дооклілля. Дослідженню ролі дихання в адаптації морозостійких сільськогосподарських рослин до впливу низьких температур і вологості середовища присвячено декілька наукових праць (Schmitt, Dizengremel, 1989; Leprince et al., 2000; Taylor et al., 2000). Однак розробок, спрямованих на вивчення механізмів їхньої сумісної дії на дихання дикорослих рослин, ми не знайшли, проте вони мають важливе значення, особливо з огляду на вивчення впливу змін клімату та охорони видів, що зникають. Одним із таких видів, занесених до «Червоної книги України», є *Galanthus nivalis* L. Нашими попередніми дослідженнями на листках *G. nivalis* виявлено вплив факторів навколишнього середовища на структуру мітохондрій (Fediuk, Bilyavska, 2015), основною функцією яких є дихання. Тому метою цієї роботи є кількісна оцінка дихання рослин ефемероїдного типу *G. nivalis*, які розвиваються за умов низьких температур і мінливої вологості.

Об'єкти та методи досліджень

Умови росту і схема експерименту. В експерименті використовували рослини *G. nivalis*, які розвивалися в природних умовах у відкритому ґрунті на ділянках лісництва Рівненської області. З ґрунту вилучали рослини п'ятого року вегетації, в яких передбачалася поява квітки навесні того ж року. Відібрані рослини висаджували на ділянки Інституту ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України у відкритий ґрунт, де вони перебували до часу проведення експерименту.

У дослідженні використовували листки, зрізані з рослин у період від 5 лютого до 16 березня, тобто на етапах вегетації, до та під час цвітіння. Кількісні показники дихання листків оцінювали за інтенсивністю поглинання кисню в листках у періоди до та під час цвітіння рослини.

Дані цілодобових вимірювань температури та вологості атмосферного повітря отримували з сайту gr5.ua зі станції Kyiv (Ukraine) з індексом Всесвітньої метеорологічної організації (WMO ID) 33345, яка розташована на території аеропорту

«Київ» (Жуляни, 50°24' пн. ш., 30°34' сх. д., висота 166 м). Ці відомості вибірково порівнювали з даними нашої експериментальної ділянки і не виявили значних відмінностей, що уможливило використання цих показників.

Вимірювання тканинного дихання листків. У день проведення експерименту з рослин *G. nivalis* зрізали листки і протягом 5 хв доправляли їх у приміщення лабораторії.

Інтенсивність поглинання листками кисню визначали амперометричним методом із застосуванням полярографа з електродом конструкції Кларка. За 30 хв до початку вимірювань з метою стабілізації роботи електрода його витримували за робочої напруги 0,60–0,65 В у дистильованій воді. Після цього попередньо нарізані фрагменти листкових пластинок завдовжки 2–3 мм і завширшки 1 мм загальною масою 70 мг вносили в комірку об'ємом 4 мл з ізотонічним розчином, рН 5,2. Інтенсивність поглинання кисню вимірювали протягом 10–15 хв за температури зовнішнього середовища +26 °С.

Загальну інтенсивність поглинання кисню (V_t) визначали без додавання інгібіторів. Інтенсивність ціанідрезистентного дихання ($V_{\text{кcn}}$) вимірювали після додавання в реакційне середовище KCN. Діючи концентрацію KCN (10 мМ) добирали експериментально.

Статистична обробка даних. У кожній групі показників, наведених у статті, враховано не менше восьми біологічних повторів вимірювань загальної інтенсивності дихання та не менше трьох повторів визначення частки ціанідрезистентного дихання, що дало змогу досягти високого рівня відтворюваності фактичних параметрів за рахунок зменшення похибки вибірки.

Інтенсивність дихання визначали за коефіцієнтом лінійної регресії на лінійних ділянках кривої змін концентрації кисню у полярографічній комірці. У регресії враховано ≥ 1000 точок, часовий проміжок ≥ 2 хв, $R^2 \geq 0,95$.

Для оцінки можливого впливу температури та вологості на інтенсивність дихання та частку ціанідрезистентного дихання з'ясували коефіцієнти кореляції цих величин. Враховували середнє значення температури за останню добу (від 14.00 до 14.00) для кожного експериментального дня та середнє цих значень для кожної групи даних. Кореляцію вважали достовірною, коли $\alpha = 0,05$.

Зміни температури, вологості повітряного середовища та показників тканинного дихання в період весняної вегетації *Galanthus nivalis*

Changes in temperature, air humidity, and tissue respiration parameters under spring vegetation period of *Galanthus nivalis*

Показники	Групи вимірів					
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6
	Період					
	5–11 лютого	12–18 лютого	19–25 лютого	26 лютого – 6 березня	7–12 березня	13–16 березня
Температура, °C	–3,7	–3,6	2,2	3,1	8,5	4,9
Відносна вологість повітря, %	76	59	88	72	49	74
Інтенсивність дихання, мкмоль/(г·год)	9,11 ± 0,46	7,68 ± 0,24	12,30 ± 1,20	11,91 ± 0,99	8,04 ± 0,70	10,91 ± 0,70
Частка ціанідрезистентного дихання, %	20,34 ± 3,84	39,64 ± 3,30	24,30 ± 2,70	27,85 ± 1,58	19,40 ± 1,46	21,87 ± 6,93

Результати досліджень та їх обговорення

Для оцінки впливу температури та вологості середовища на інтенсивність дихання листків рослин *G. nivalis* проводили вимірювання протягом 40 днів вегетації. Температура повітря при цьому змінювалася від –3,7 до +8,5 °C, а відносна вологість – від 49 до 88 % (таблиця).

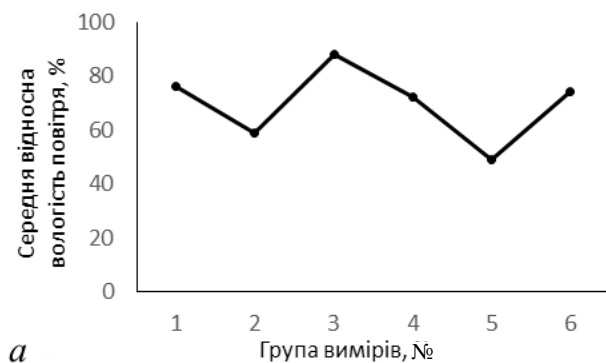
Інтенсивність дихання за цей період становила в середньому 9,78±0,35 мкмоль O₂/(г·год). Частка ціанідрезистентного дихання в середньому дорівнювала 21,55±2,57 %, що є невисоким значенням для альтернативного шляху дихання. Для кореляційного аналізу з метою виявлення можливих зв'язків між значеннями сумарної інтенсивності дихання, частки ціанідрезистентного дихання та змінами температури і вологості повітря всю сукупність вимірів поділили на 6 часових проміжків – 6 груп вимірів (див. таблицю).

Максимальна інтенсивність дихання 12,297±0,993 мкмоль O₂/(г·год) спостерігалась у групі № 3 за найвищої відносної вологості за весь період експерименту (88 %). Значення температури при цьому було середнім (2,2 °C). Найнижчу інтенсивність дихання – 7,68±0,24 мкмоль O₂/(г·год) – фіксували безпосередньо перед цим (група № 2) за вологості 59 % і температури –3,6 °C. З цих даних неможливо дійти висновку про те, який фактор більше впливав на інтенсивність дихання – вологість чи температура повітря, адже обидва вони значно змінювались в однаковому напрямку. Можлива залежність інтенсивності дихання від вологості повітря підтверджується коефіцієнтом кореляції (0,80), що є показником високої прямої кореляції і достовірний, коли $\alpha = 0,05$.

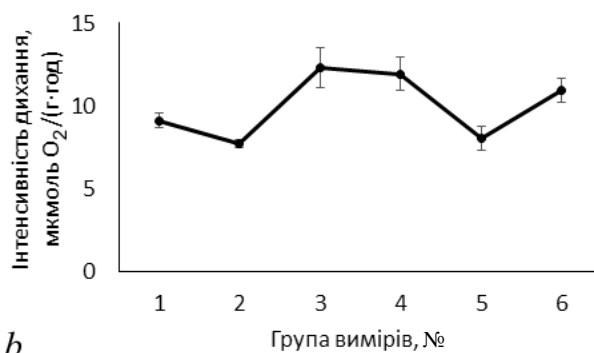
Найбільше та найменше значення частки ціанідрезистентного дихання (групи № 2 і № 5, відповідно) спостерігались за найменших показників інтенсивності дихання та вологості повітря; ці групи суттєво відрізнялися за значенням температури повітря (–3,63 і +8,5 °C, відповідно). Таким чином, імовірно, що низька температура у групі № 2 спричинила зростання частки ціанідрезистентного дихання. Кореляція між значеннями температури повітря та часткою ціанідрезистентного дихання становила –0,54, що є показником середньої зворотної кореляції та може вважатися достовірним лише для $\alpha = 0,1$.

Графіки, які відображають зміни в часі вологості, інтенсивності дихання, температури та частки ціанідрезистентного дихання, наведено на рисунку (*a, b, c, d* відповідно). Спостерігається подібність у динаміці змін вологості (*a*) та змін інтенсивності дихання (*b*), тоді як графік змін температури (*c*) відображає тенденцію до зростання з часом, а графік змін частки ціанідрезистентного дихання (*d*) – тенденцію до зниження з часом.

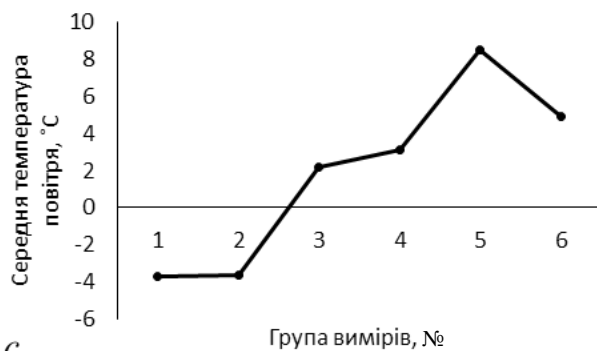
Протягом весняного періоду вегетації рослини в природних умовах зазнають впливу значних коливань температур і вологості навколишнього середовища. Дослідження добової та сезонної динаміки фізіологічних процесів у рослин показали, що дія абіотичних факторів може зумовлювати функціональні зміни в листках, незважаючи на відсутність зовнішньо виражених ознак пошкодження. Відомо, що на дихання рослин можуть впливати різноманітні фактори середовища. Серед них провідними абіотичними чинниками є температура та вологість атмосферного повітря (Mazei et al., 2009). Зниження температури повітря (нижче



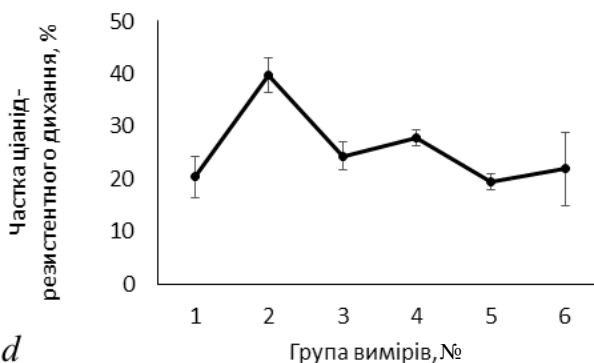
a



b



c



d

Зміни вологості (a), інтенсивності дихання (b), температури (c) та частки ціанідрезистентного дихання (d), залежно від інтервалу вимірювання. Групи вимірів відображають різні часові проміжки (див. таблицю)

Humidity (a), respiration intensity (b), temperature (c), and cyanide-resistant respiration fraction (d) changes as a function of observation time period

0 °C) призводить до окиснювального стресу, що негативно позначається на обміні речовин, кінетиці окремих ферментативних реакцій тропічних і субтропічних рослин, зумовлюючи припинення їхнього дихання та відмирання (Lukatkin, 2005). Проте морозостійкі види трав'яних рослин протягом еволюції набули здатності зберігати нормальну або мінливу інтенсивність дихання та активність життєвих процесів навіть за мінусових температур середовища. Це підтверджено численними результатами досліджень, в яких об'єктами експериментів були пшениця, жито, ячмінь (Radyuk et al., 2010; Grabelnykh et al., 2011; Kolupaev et al., 2015). На зв'язок між температурою, вологістю середовища та інтенсивністю дихання рослин вказують такі факти: після впливу низьких температур відбуваються структурні зміни в кореневій меристемі, які зумовлюють уповільнення поглинання речовин (Lazareva et al., 2008); пошкодження листків спричинює зниження інтенсивності фотосинтезу (Venzhik et al., 2012; Smashevskii, 2014) й активності деяких ферментів

(Lukatkin, 2003), тоді як за низької відносної вологості середовища уповільнюється ріст рослин (Belozergova, Novikova, 2010). Неоднозначними залишаються погляди дослідників на механізми адаптивних реакцій морозостійких рослин щодо впливу температури та вологості довкілля. Це пов'язано з тим, що на дію цих абіотичних факторів морозостійкі рослини в природних умовах можуть реагувати по-різному.

У наших дослідженнях зосереджено увагу на вивченні взаємозв'язку між температурою, вологістю повітря й інтенсивністю загального та ціанідрезистентного дихання листків *G. nivalis* на різних етапах вегетації. Завдяки дослідженням цитохромного шляху дихання, а також оксидаз, які виконують термінальну роль, розкрито не тільки наявність у рослинних клітинах ціанідрезистентного (альтернативного) транспорту електронів, а й можливість активування його регуляторних функцій у разі впливу несприятливих абіотичних факторів (Garmash, 2010; Borovik et al., 2013). Оскільки ціанідрезистентний шлях транспортування елек-

тронів активується після насичення або часткового блокування цитохромоксидазного механізму, оцінка частки ціанідрезистентного дихання від інтенсивності загального дихання після дії ціаніду може бути дещо завищеною, однак уможливує припущення про зміни ємності альтернативного шляху дихання.

Інтенсивність дихання листків *G. nivalis* у середньому становила $9,78 \pm 0,35$ мкмоль O_2 /(г·год), що свідчить про рівень дихання, притаманний листкам широкого кола рослин (Lambers et al., 1983; Azcón-Bieto et al., 1987). Частка ціанідрезистентного дихання ($21,55 \pm 2,57$ %) є невисокою, адже для листків деяких видів рослин характерні показники 50 % і вище (Lambers et al., 1983; Azcón-Bieto et al., 1987). Разом з тим у нашій роботі цей показник варіював у широких межах – від 19 до 40 %, що може свідчити про важливу пристосувальну роль альтернативного шляху дихання у метаболізмі листків *G. nivalis*. Коефіцієнт кореляції альтернативного шляху дихання з температурою повітря на рівні – 0,54 може свідчити про необхідність його активації у процесі пристосування до низьких значень температури.

Слід зазначити, що коефіцієнт кореляції сумарної інтенсивності дихання з температурою повітря становив 0,22, це є низьким значенням і підтверджує слабкий зв'язок загального дихання з температурою навколишнього середовища. Можна припустити, що збільшення інтенсивності альтернативного дихання за низьких температур пов'язане з необхідністю енергетично та пластично забезпечити мінімальний рівень метаболізму на тлі зменшення інтенсивності всіх хімічних реакцій в організмі зі зниженням температури.

Ми плануємо здійснити низку дослідів, метою яких буде подальше вивчення механізмів дихання листків *G. nivalis* у період весняної вегетації та впливу на них інгібітора ціанідрезистентного дихання саліцилгідроксамової кислоти.

Висновки

Таким чином, у результаті наших досліджень виявлено, що в період весняної вегетації інтенсивність дихання листків *G. nivalis* залежить від вологості та температури середовища. Показано, що інтенсивність загального дихання (V_t) прямо корелює зі змінами вологості повітря (коефіцієнт кореляції 0,80) і вказує на потребу рослин *G. nivalis* у високому рівні відносної вологості (72–88 %). Зростання

частки ціанідрезистентного дихання в загальному диханні листків *G. nivalis* корелює зі зниженою температурою повітря (коефіцієнт кореляції – 0,53). Виявлені закономірності, ймовірно, пов'язані з необхідністю залучення рослиною додаткових витрат енергії на активування метаболічних процесів у ході адаптації до низьких температур.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Atkinson N.J., Urwin P.E. The interaction of plant biotic and abiotic stresses: from genes to the field, *J. Exp. Bot.*, 2012, **63**(10): 3523–3543.
- Azcón-Bieto J., Murillo J., Penuelas J. Cyanide-resistant respiration in photosynthetic organs of freshwater aquatic plants, *Plant Physiol.*, 1987, **84**(3): 701–706.
- Belozeroва А.А., Новикова П.Н. *Усп. совр. естествознания*, 2010, **7**: 18–19. [Белозерова А.А., Новикова П.Н. Влияние дефицита влаги на изменчивость количественных признаков яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) // *Успехи совр. естествознания*. – 2010. – Вып. 7. – С. 18–19].
- Borovik O.A., Grabelnykh O.I., Koroleva N.A., Pobezhimova T.P., Voinikov V.K. *J. Stress Physiol. Biochem.*, 2013, **9**(4): 115–121. [Боровик О.А., Грабельных О.И., Королева Н.А., Побежимова Т.П., Войников В.К. Связь между активностью альтернативного пути дыхания, содержанием сахаров и морозостойкостью озимой пшеницы // *J. Stress Physiol. Biochem.* – 2013. – **9**(4). – С. 115–121].
- Fediuk O.M., Bilyavska N.O. *Visn. Kharkiv. natsion. ahrarn. univ-tu*, 2015, **2**(35): 58–63. [Федюк О.М., Білявська Н.О. Ультраструктурні зміни мітохондрій листків *Galanthus nivalis* L. при вегетації за умов гіпотермії // *Вісн. Харків. нац. аграр. ун-ту*. – 2015. – **2**(35). – С. 58–63].
- Garmash E.V. *Izvestiia Komi nauchnogo tcentra UrO RAN*, 2010, **3**: 26–31. [Гармаш Е.В. Альтернативный путь дыхания в растениях: регуляция и функции // *Известия Коми науч. центра УрО РАН*. – 2010. – Вып. 3. – С. 26–31].
- Generozova I.P., Maevskaya S.N., Shugaev A.G. *Fiziol. rasteniy*, 2009, **56**(1): 45–52. [Генерозова И.П., Маевская С.Н., Шугаев А.Г. Ингибирование метаболической активности митохондрий в этиолированных проростках гороха, подвергнутых водному стрессу // *Физиол. растений*. – 2009. – **56**(1). – С. 45–52].
- Golovko T.K. *Dykhanye rasteniy (fyzjologicheskye aspekty)*, St.Petersburg: Nauka, 1999, 204 pp. [Головко Т.К. *Дыхание растений (физиологические аспекты)*. – СПб.: Наука, 1999. – 204 с.].
- Grabelnykh O.I., Pobezhimova T.P., Korzun A.M., Voznenko S.A., Koroleva N.A., Pavlovskaja N.S., Borovik O.A., Voinikov V.K. *J. Stress Physiol. Biochem.*, 2011, **7**(4): 447–456. [Грабельных О.И., Побежимова Т.П., Корзун А.М., Возненко С.А., Королева Н.А., Павловская Н.С., Боровик О.А., Войников В.К. Участие цианидрезистентного дыхания в термогенерации и антиокислительной защите клетки в проростках

- ках озимой пшеницы при холодовом воздействии // *J. Stress Physiol. Biochem.* – 2011. – 7(4). – С. 447–456].
- Kolupaev Yu.E., Karpets Yu.V. *Formirovaniye adaptivnykh reaktsiy rasteniy na deystviye abioticheskikh stressorov*, Kyiv: Osnova, 2010, 351 pp. [Колупаев Ю.Е., Карпец Ю.В. *Формирование адаптивных реакций растений на действие абиотических стрессоров.* – Киев: Основа, 2010. – 351 с.].
- Kolupaev Yu.E., Riabchun N.I., Vainer A.A., Iastreb T.O., Oboznyi A.I. *Fiziol. rasteniy*, 2015, **62**(4): 533–541. [Колупаев Ю.Е., Рябчун Н.И., Вайнер А.А., Ястреб Т.О., Обозный А.И. Активность антиоксидантных ферментов и содержание осмолитов в проростках озимых злаков при закаливании и криострессе // *Физиол. растений.* – 2015. – **62**(4). – С. 533–541].
- Lambers H., Day D.A., Azcón-Bieto J. Cyanide-resistant respiration in roots and leaves. Measurements with intact tissues and isolated mitochondria, *Plant Physiol.*, 1983, **58**(2): 148–154.
- Lazareva E.M., Chentsov Yu.S., Smirnova E.A. *Tsitologiya*, 2008, **50**(7): 597–613. [Лазарева Е.М., Ченцов Ю.С., Смирнова Е.А. Влияние низкой температуры на системы микротрубочек в клетках корневой меристемы ярового и озимого сортов пшеницы *Triticum aestivum* L. // *Цитология.* – 2008. – **50**(7). – С. 597–613].
- Leprince O., Harren F.J.M., Buitink J., Alberda M., Hoekstra F.A. Metabolic disfunction and unabated respiration precede the loss of membrane integrity during dehydration of germinating radicles, *Plant Physiol.*, 2000, **122**(2): 597–608.
- Lukatkin A.S. *Fiziol. rasteniy*, 2003, **50**(2): 271–274. [Лукаткин А.С. Вклад окислительного стресса в развитие холодового повреждения в листьях теплолюбивых растений. Повреждение клеточных мембран при охлаждении теплолюбивых растений // *Физиол. растений.* – 2003. – **50**(2). – С. 271–274].
- Lukatkin A.S. *Fiziol. rasteniy*, 2005, **52**(4): 608–613. [Лукаткин А.С. Инициация и развитие холодового повреждения в листьях теплолюбивых растений // *Физиол. растений.* – 2005. – **52**(4). – С. 608–613].
- Mazei N.G., Shilenkov A.V., Vial Yu.A. *Izv. Penz. gos. pedagog. univ. im. V.G. Belinsky*, 2009, **18**: 36–38. [Мазей Н.Г., Шиленков А.В., Вяль Ю.А. Влияние низких температур на дыхание прорастающих семян гречихи // *Изв. Пензенского гос. пед. ун-та им. В.Г. Беллинского.* – 2009. – Вып. 18. – С. 36–38].
- Radyuk M.S., Domanskaya I.N., Shcherbakov R.A., Shalygo N.V. *Izv. NAN Belarusi*, 2010, **4**: 75–79. [Радюк М.С., Доманская И.Н., Щербаков Р.А., Шалыго Н.В. Влияние низкотемпературного стресса на содержание дегидринов и шаперона БТШ70 в зеленых проростках ячменя (*Hordeum vulgare*) // *Изв. НАН Беларуси.* – 2010. – Вып. 4. – С. 75–79].
- Schmitt N., Dizengremel P. Effect of osmotic stress on mitochondria isolated from etiolated mung bean and sorghum seedlings, *Plant Physiol. Biochem.*, 1989, **27**(1): 17–26.
- Shugaev A.G., Generozova I.P., Shugaeva N.A., Vyskrebentseva E.I. *Fiziol. rasteniy*, 2008, **55**(3): 374–380. [Шугаев А.Г., Генерозова И.П., Шугаева Н.А., Выскребенцева Э.И. Метаболическая активность митохондрий растений в гипертонических растворах сахарозы // *Физиол. растений.* – 2008. – **55**(3). – С. 374–380].
- Smashevskii N.D. *Astrakhanskii vestnik ekologicheskogo obrazovaniia*, 2014, **2**(28): 165–180. [Смашевский Н.Д. Экология фотосинтеза // *Астрахан. вестник экол. образования.* – 2014. – **2**(28). – С. 165–180].
- Stupnikova I., Benamar A., Tolleter D., Grellet J., Borovskii G., Dorne A.-J. Macherel D. Pea seed mitochondria are endowed with a remarkable tolerance to extreme physiological temperatures, *Plant Physiol.*, 2006, **140**(1): 326–335.
- Taylor N.L., Day D.A., Millar A.H. Environmental stress causes oxidative damage to plant mitochondria leading to inhibition of glycine decarboxylase, *J. Biol. Chem.*, 2002, **277**(45): 42 663–42 668.
- Venzhik Yu.V., Titov A.F., Talanova V.V., Miroslovov E.A., Koteeva N.K. *Tsitologiya*, 2012, **54**(12): 916–924. [Венжик Ю.В., Титов А.Ф., Таланова В.В., Мирославов Е.А., Котеева Н.К. Структурно-функциональная реорганизация фотосинтетического аппарата растений пшеницы при холодовой адаптации // *Цитология.* – 2012. – **54**(12). – С. 916–924].
- Visser E.J.W., Zhang Q., Gruyter De F., Martens S., Huber H. Shade affects responses to drought and flooding – acclimation to multiple stresses in bittersweet (*Solanum dulcamara* L.), *Plant Biol.*, 2016, **18**(S1): 112–119.

Рекомендує до друку

Надійшла 26.01.2016

І.В. Косаківська

Федюк О.М., Полішук О.В., Білявська Н.О. Динаміка змін інтенсивності дихання листків *Galanthus nivalis* (Amaryllidaceae) за різних значень низької температури і вологості повітря. — Укр. ботан. журн. — 2016. — 73(3): 283—289.

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

Наведено результати оцінки кількісних характеристик дихання листків *Galanthus nivalis*, що зазнали впливу низьких температур і мінливої вологості повітря. У дослідженні використовували листки рослин на етапах вегетації до та під час цвітіння. Інтенсивність поглинання кисню визначали полярографічним методом за допомогою електрода Кларка. Встановлено, що інтенсивність загального дихання (V_t) прямо корелює зі змінами вологості повітря (коефіцієнт кореляції 0,80) і вказує на потребу рослин *G. nivalis* у високому рівні відносної вологості. Зниження температури повітря зумовлює зростання частки ціанідрезистентного дихання в загальному диханні. Виявлені закономірності, ймовірно, пов'язані з необхідністю залучення рослиною додаткових витрат енергії на активування метаболічних процесів у ході адаптації до низьких температур.

Ключові слова: *Galanthus nivalis*, вологість повітря, гіпотермія, дихання, ціанід калію.

Федюк О.М., Полишук А.В., Белявская Н.А. Динамика изменений интенсивности дыхания листьев *Galanthus nivalis* (Amaryllidaceae) при различных значениях низкой температуры и влажности воздуха. — Укр. ботан. журн. — 2016. — 73(3): 283—289.

Институт ботаники имени Н.Г. Холодного НАН Украины
ул. Терешенковская, 2, г. Киев, 01004, Украина

Приведены результаты оценки количественных характеристик дыхания листьев *Galanthus nivalis*, подвергшихся воздействию низких температур и меняющейся влажности воздуха. В исследовании использовали листья растений на этапах вегетации до и во время цветения. Интенсивность поглощения кислорода определяли полярографическим методом с помощью электрода конструкции Кларка. Установлено, что интенсивность общего дыхания (V_t) прямо коррелирует с изменениями влажности воздуха (коэффициент корреляции 0,80) и это указывает на потребность растений *G. nivalis* в высоком уровне относительной влажности. Снижение температуры воздуха вызывает рост доли цианидрезистентного дыхания в общем дыхании листьев. Выявленные закономерности, вероятно, связаны с необходимостью привлечения растением дополнительных затрат энергии на активирование метаболических процессов в ходе адаптации к низким температурам.

Ключевые слова: *Galanthus nivalis*, влажность воздуха, гипотермия, дыхание, цианид калия.