

Палачова Н.Є.,  
 здобувач третього рівня вищої освіти спеціальності 101 «Екологія»  
 Науковий керівник: Долгова Т.А.,  
 к.б.н., доц., доцент кафедри екології та біотехнології,  
 Харківський національний аграрний університет ім. В.В. Докучаєва  
 palachovanata@gmail.com

## ЕКОЛОГІЧНА ПЛАСТИЧНІСТЬ ПОПУЛЯЦІЙ ПОЛБИ ЗВИЧАЙНОЇ ДО ДІЇ АЛЮМІНІЮ

Алюміній є найпоширенішим металом у ґрунтах і за ступенем фітотоксичності завдає найбільшої шкоди сільськогосподарським культурам, суттєво знижуючи їх урожайність. Вчені активно вивчають алюмоустійкість різних культур та їх диких співродичів, зокрема роду *Triticum*. Відомо, що за рівнем стійкості до алюмінію пшениця займає проміжне положення між стійкими жито та вівсом і чутливим ячменем. Показано, що пшениця м'яка (озима та яра) є чутливою до підвищеного вмісту алюмінію. Серед гексаплоїдних видів роду *Triticum* (*T. spelta*, *T. macha*, *T. compactum*, *T. aestivum*) змогли виділити та описати найбільш стійкі до алюмінію зразки. Був досліджений на стійкість до алюмінію рід Егілопс (*Aegilops* L.) – найближчий дикий співродич пшениці, що зіграв важливу роль у її еволюції. Популяції тільки одного виду цього роду (*Ae. ventricosa*) проявляли високу алюмоустійкість. Інші дослідні види егілопсу, як диплоїдні, так і тетраплоїдні, характеризувалися лише середньою алюмоустійкістю. Полбу звичайну (*Triticum dicoccum* (Schrank) Schuebl.) широко культивували протягом тисячоліть у багатьох країнах світу. Її, як основну сільськогосподарську культуру, в Україні вирощували з давніх часів до початку двадцятого сторіччя. Саме у цей період полба звичайна була витіснена іншими видами пшениць – *T. durum* і *T. aestivum*, які стали домінувати у сівозмінах. Нині інтерес у світі до вирощування полби повертається через те, що вона невимоглива, росте на малородючих ґрунтах, стійка до холоду, надмірного зволоження і посухи, характеризується високим імунітетом проти хвороб, має високий вміст білка в зерні (до 25%), а також добрі харчові якості каші з крупи. Але сьогодні нічого не відомо про стійкість *Triticum dicoccum* до дії алюмінію, тому особливий інтерес становлять дослідження алюмоустійкості існуючих популяцій полби звичайної, що адаптовані до різних еколого-географічних умов зростання. Першим симптомом токсичності алюмінію у рослин є швидке пригнічення росту коренів, тому метою роботи було дослідити реакцію популяцій полби звичайної різного еколого-географічного походження на дію іонів алюмінію різних концентрацій за морфометричними показниками. Об'єктом дослідження були вісім популяцій *Triticum dicoccum* (Schrank) Schuebl. різного еколого-географічного походження (табл. 1), надані Національним центром генетичних ресурсів рослин України.

Таблиця 1

Дослідні популяції полби звичайної та їх походження

№ з/п	Номер зразка у НЦГРРУ	Різновид <i>Triticum dicoccum</i>	Країна походження	Регіон походження
1	UA0300002	var. <i>dicoccum</i>	Україна	Львівська область
2	UA0300012	var. <i>volgense</i>	Росія	Ульяновська область
3	UA0300184	var. <i>serbicum</i>		Ленінградська область
4	UA0300049			Удмуртія
5	UA0300183			
6	UA0300036	var. <i>haussknechticum</i>	Вірменія	Армавірська область
7	UA0300026	var. <i>volgense</i>	США	Південна Дакота
8	UA0300405	var. <i>aeruginosum</i>	Єгипет	Гіза

Для проведення морфометричного аналізу зерно полби пророщували чотири доби за температури 22°C у дистильованій воді, а потім переносили на три доби у такі концентрації розчинів  $AlCl_3 + 6H_2O$ :  $10^{-6}$ ,  $5 \cdot 10^{-6}$ ,  $10^{-5}$ ,  $5 \cdot 10^{-5}$ ,  $10^{-4}$ ,  $5 \cdot 10^{-4}$ ,  $10^{-3}$  і  $5 \cdot 10^{-3}$  моль/л. За контроль використовували пророщування зерна у дистильованій воді без алюмінію. На сьому добу початкового росту вимірювали довжину головного кореня зернівки. У кожен варіант дослідів було залучено по 60 зернівок (трикратна повторність). Застосовували описову статистику, регресійний аналіз, значущість між варіантами дослідів визначали за t-критерієм Ст'юдента. За даними різних досліджень вплив алюмінію на рослини у найбільшому ступені проявляється за таким параметром росту як довжина головного кореня пророслого насіння. Фітотоксичну дію алюмінію на рослини можна виявити вже на ранніх етапах росту кореневої системи, що пов'язано з порушенням поглинання води і мінеральних сполук,

функціонування мембран, ферментів, синтезу ДНК. Дослідні популяції полби звичайної виявилися високо поліморфними за реакцією на дію іонів алюмінію. Так, невисокі концентрації алюмінію ( $10^{-6}$  і  $5 \cdot 10^{-6}$  моль/л) у UA0300012 і UA0300183 популяцій викликали стимуляцію ростових реакцій кореневої системи, а у UA0300026 і UA0300405 популяцій навпаки – пригнічення, у чотирьох інших популяцій ці концентрації не призвели до значимих змін довжини кореня у порівнянні з контролем. Концентрація  $5 \cdot 10^{-4}$  моль/л алюмінію у більшості популяцій призвела до пригнічення росту кореня, а у UA0300184 популяції та сама концентрація викликала стимуляцію ростових процесів. Високі концентрації алюмінію ( $10^{-3}$  і  $5 \cdot 10^{-3}$  моль/л) у всіх дослідних популяцій полби призвели до значимого пригнічення ростових реакцій кореня.

Наступним етапом було побудування математичної моделі. На основі отриманих емпіричних даних за допомогою нелінійного регресійного аналізу отримали криві, за допомогою яких розраховували ініціальну ( $TK_{10}$ ), ефективну ( $TK_{50}$ ) і сублетальну ( $TK_{90}$ ) токсичні концентрації алюмінію, що здатні інгібувати приріст кореня відповідно на 10, 50 і 90 % у порівнянні з контролем. Автори багатьох робіт пропонують оцінювати ступінь чутливості різних токсичних сполук за інгібуючим ефектом ефективної дози ( $TK_{50}$ ). У відповідності до цього серед дослідних популяцій виділилися три групи алюмоустійкості (табл. 2): 1) висока алюмоустійкість (UA0300002 популяція), 2) середня алюмоустійкість (UA0300012, UA0300183, UA0300184 і UA0300049 популяції), 3) низька алюмоустійкість (UA0300405, UA0300036 і UA0300026 популяції).

Таблиця 2

Токсичні концентрації (ТК) пригнічення алюмінієм росту коренів полби звичайної, моль/л

Популяції полби	$TK_{10}$	$TK_{50}$	$TK_{90}$	$\Delta TK_{90-10}$
UA0300002	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-2}$	$2,9 \cdot 10^1$	$2,9 \cdot 10^1$
UA0300012	$6,9 \cdot 10^{-4}$	$5,6 \cdot 10^{-3}$	$2,7 \cdot 10^2$	$2,6 \cdot 10^2$
UA0300183	$3,3 \cdot 10^{-4}$	$3,6 \cdot 10^{-3}$	$2,1 \cdot 10^2$	$2,1 \cdot 10^2$
UA0300184	$9,2 \cdot 10^{-5}$	$2,2 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^2$	$1,8 \cdot 10^2$
UA0300405	$1,4 \cdot 10^{-6}$	$4,3 \cdot 10^{-4}$	$9,6 \cdot 10^{-3}$	$9,6 \cdot 10^{-3}$
UA0300049	$5,0 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$9,5 \cdot 10^{-3}$	$9,5 \cdot 10^{-3}$
UA0300036	$2,3 \cdot 10^{-5}$	$8,1 \cdot 10^{-4}$	$8,2 \cdot 10^{-3}$	$8,2 \cdot 10^{-3}$
UA0300026	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$5,8 \cdot 10^{-4}$	$6,8 \cdot 10^{-3}$	$6,8 \cdot 10^{-3}$

Інші автори пропанують оцінювати ступінь чутливості різних токсичних сполук за діапазоном діючих токсичних концентрацій, що розраховується як різниця між токсичною концентрацією, що пригнічує ріст на 90 % і токсичною концентрацією, що пригнічує ріст на 10 % ( $\Delta TK_{90-10}$ ). У відповідності до цього параметра дослідні популяції поділилися на такі три групи алюмоустійкості: 1) висока алюмоустійкість з широким діапазоном токсичних концентрацій (UA0300002 популяція), 2) середня алюмоустійкість (UA0300012, UA0300183, UA0300184 популяції), 3) низька алюмоустійкість з вузьким діапазоном токсичних концентрацій (UA0300049, UA0300405, UA0300036 і UA0300026 популяції).

Таким чином, розрахунок квадратично-логіфімічної регресійної моделі надав можливість визначити ініціальну, ефективну та сублетальну токсичні концентрації та діапазон токсичних концентрацій алюмінію ( $\Delta TK_{90-10}$ ) для кожної з дослідних популяцій полби звичайної і виділити три групи алюмоустійкості. При використанні двох різних параметрів визначення алюмоустійкості були отримані подібні результати.

*Література:*

1. Vitorello V., Capaldi F., Stefanuto V. Recent advances in aluminum toxicity and resistance in higher plants // Braz. J. Plant Physiol. – 2000. – V.17. – P. 129–143.
2. Sade H., Meriga B., Surapu V., Gadi J., Sunita M.S., Suravajhala P., Kavi Kishor P.B. Toxicity and tolerance of aluminum in plants: tailoring plants to suit to acid soils // *Biometals*. – 2016. – V. 29(2). – P. 187–210.
3. Kochian L.V., Pineros M.A., Liu J., Magalhaes J.V. Plant adaptation to acid soils: the molecular basis for crop aluminum resistance // *Annu. Rev. Plant Biol.* – 2015. – V.66. – P. 23.1–23.28.
4. Nagarajan S., Nagarajan Sh. Abiotic tolerance and crop improvement // *Abiotic stress adaptation in plants*. – Dordrecht: Springer Science and Business Media B.V. – 2010. – P. 1–14.
5. Смірнов О.Є., Таран Н.Ю. Фітотоксичні ефекти алюмінію та механізми алюморезистентності вищих рослин // *Физиология растений и генетика*. – 2013. – Т. 45, № 4. – С. 281–289.