УДК 581.4:75.033:553.776:582.52.1

ВПЛИВ ПРИРОДНИХ РОЗСОЛІВ ПЕРЕДКАРПАТСЬКОГО ГІРСЬКОГО ПРОГИНУ НА МОРФО-ФУНКЦІОНАЛЬНІ ПОКАЗНИКИ ЖИТА ОЗИМОГО (*SECALE CEREALE* L.) ТА ЯЧМЕНЮ ЯРОГО (*HORDEUM SATIVUM* J.)

В.К. Сельський, Х.І. Канюк, О.М. Верста, О.Є. Волчовська-Козак, М.М. Миленька

Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, кафедра біології та екології, e-mail: xkanyuk@list.ru, mulenka.m@gmail.com

Здійснено аналіз хімічного складу й загальної мінералізації природних розсолів Передкарпатського гірського прогину. Показано здатність природних розсолів зумовлювати порушення морфо-функціональних показників рослин-біотесторів (Secale cereale L. і *Hordeum sativum* J.*), пропорційно концентрації солей у середовищі. Доведено кращу адаптивну здатність Secale cereale* L. *до умов сольового стресу за усіма аналізованими показниками (схожість насіння, морфо метричні параметри проростків) та його більшу біоіндикаційну перспективність.*

Ключові слова: *природні розсоли, токсичність, Secale cereale* L., *Hordeum sativum* J., біотестування.

Sels`kyj V.K., Kanyuk Ch.I., Versta O.M., Volchovs`ka-Kozak O.Ye., Mylenka M.M. **The influence of natural brines of Precarpathian mountain foredeep on morpho-functional parameters of *Secale cereale* L. and *Hordeum sativum* J**. *The analysis of the chemical composition and total mineralization of natural brines of Precarpathian mountain foredeep was performed. The ability of natural brines to cause morphological and functional disturbances of analyzed plants species (Secale sereale L. and Hordeum sativum J.) was verified. Explored changes are proportional to the concentration of salts in the medium. A better adaptive possibility of Secale sereale L. to salt stress for all analyzed parameters (seed germination, morphometric parameters of seedling) was proved. Good bioindicative ability of this species was demonstrated.*

Keywords*: natural brines, toxicity, Secale sereale L., Hordeum sativum J., bioassay.*

Вступ

Природне й антропогенне засолення є одним із домінуючих чинників деградації ґрунтів [2; 7] і вагомим стресовим фактором для рослинної компоненти екосистем [4; 6]. Тому дослідження особливостей функціонування рослин за дії високих концентрацій солей у ґрунтовому субстраті є важливим як для вивчення їх адаптивних можливостей, так і для з'ясування перспектив вирощування основних сільськогосподарських культур на засолених землях. Особливо актуальною ця проблема є для територій, геологічно приурочених до місць залягання соленосних порід [1; 2; 9].

На Івано-Франківщині до таких належить територія у межах Передкарпатського гірського прогину, який в неогені був виповнений потужними моласовими відкладами (від 2,5 до 4,0 км), серед яких домінують глинисто-піщані товщі, що містять окремі пласти та лінзи чистих натрієвих і калійних солей (адміністративно – с. Росільна Богородчанського району Івано-Франківської області) [1; 9].

З давніх часів ця територія славилась соляними джерелами високої мінералізації, які називали розсолами, ропою, сировицею, і з них випарювали кухонну сіль. Підземні води, циркулюючи по соленосних товщах, розчиняють солі і перетворюються у розсоли, а близькість їх до поверхні землі призводить до утворення сольових джерел. По капілярах у суху погоду розсоли можуть підніматися на поверхню ґрунту. Доказом цьому є локальне виникнення на поверхні ґрунту білих соляних вицвітів (нальотів) [9].

Враховуючи наведене, *метою* даного дослідження було оцінити фітотоксичність природних розсолів Передкарпатського гірського прогину у лабораторному експерименті за життєвими показниками сільськогосподарських культур: жита озимого (*Secale cereale* L.) та ячменю ярого (*Hordeum sativum* J.).

Матеріали і методи

Дослідження проводили протягом 2010 – 2012 рр. у лабораторних факторостатних умовах у два послідовні етапи.

На першому етапі проводили низку хіміко-аналітичних досліджень із визначення хімічного складу й загальної мінералізації природних розсолів, відібраних із сольових джерел у с. Росільна на березі р. Луква. Загальну мінералізацію розсолів визначали методом випарювання [1]. Вміст карбонітів та іонів Na^+ і Ca^{2+} установлювали після прожарювання сухого залишку при температурі 700 - 800° С. Кількісний аналіз сульфатів і іонів K^+ здійснювали гравіметрично [8]; хлоридів – методом Мора [1].

Фітотоксичність розсолів установлювали шляхом пророщування рослин-біотесторів (*S. cereale* і *H. sativum*) у чашках Петрі на фільтрувальному папері, зволоженому водним розчином ропи із різним ступенем розведення: I – 100% ропи; II – 25%; III – 50%; IV – 75%. У якості контрольного зразка (V) використовували чисту криничну воду. У кожну чашку Петрі висівали по 30 насінин при 5-кратній повторності для кожного варіанту експерименту [3; 8]. Оцінювали енергію проростання насіння та морфометричні параметри первинного кореня і пагона у кожному варіанті експерименту за стандартними методиками на 3-ій, 5-ий, 7-ий і 10+-тий день досліду [8]. Далі розраховували індекс схожості насіння (ІС) за формулою 1 та індекси кореня (ІК) і пагона (ІП) за формулами 2 і 3, відповідно [3].

$$IC = \frac{\mathrm{KPN_D}}{\mathrm{KPN_K}} \times 100\% \quad (1); \qquad IK = \frac{DK_D}{DK_K} \times 100\% \quad (2); \qquad IП = \frac{DP_D}{DP_K} \times 100\% \quad (3),$$

де, $\mathrm{KPN_D}$ і $\mathrm{KPN_K}$ – кількість пророслого насіння у дослідному і контрольному варіантах експерименту, відповідно; $\mathrm{DK_D}$ і $\mathrm{DK_K}$ – довжина первинного корінця у дослідному і контрольному варіантах; $\mathrm{DP_D}$ і $\mathrm{DP_K}$ - довжина первинного пагона у дослідному і контрольному варіантах.

Інтегральним кількісним показником морфо-функціональних змін біотестора слугував індекс проростання насіння (ІПН), який розраховували за формулою 4 [3].

$$IПН = \frac{IC \times IK \times IП}{100\% \times 100\%} \quad (4)$$

Математичну обробку результатів проводили варіаційно-статистичним методом [5]. Всі розрахунки проводили за допомогою редактора MS Excel 2007.

Результати та обговорення

Результати хіміко-аналітичних досліджень вказують на значну мінералізацію розсолів Передкарпатського гірського прогину – 388 г/л, що дозволяє віднести їх до категорії «природні ропи» (табл. 1).

Таблиця 1. Загальна мінералізація і хімічний склад природних розсолів Передкарпатського гірського прогину.

Загальна мінералізація (М, г/л)	Густина (ρ)	pH	Маса головних катіонів і аніонів, г/л					
			Na^+	K^+	Ca^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-
388	1,268	6,9	191	1,189	0,108	109,34	0,85	84,81

Відповідно до отриманих результатів для досліджуваної води складено формулу Курлова, яка відображає склад мінеральних вод [7]:

$$M_{388} \quad \frac{Cl^-56\ HCO^-43{,}5}{Na^+99{,}3} \quad \text{pH } 6{,}9$$

Наведений запис являє собою псевдодріб, у чисельнику якого вказані відсотки щодо кількості речовини еквівалента в порядку зменшення їх вмісту, а в знаменнику – в такому ж порядку, катіони. Зліва дробу зазначена загальна мінералізація (М), а справа – водневий показник (pH). У формулі вказані тільки ті іони, вміст яких перевищує 1%.

Таким чином, відповідно до наведеної формули, розсоли з джерела належать до хлоридно-гідрокарбонатно-натрієво-содових вод.

Як свідчать результати біотестування, ропа природних джерел с. Росільна відзначається значною фітотоксичністю, що проявляється зменшенням енергії проростання насіння *S. cereale* і *H. sativum*. Інгібуючий ефект значно варіює залежно від виду-біотестера та концентрації ропи у розчині (табл. 2).

S. cereale проявляє більшу чутливість до впливу розсолів, порівняно з *H. sativum*. Результати хронічного експерименту вказують на наявність апроксимаційної залежності між енергією проростання насіння жита озимого, на відміну від ячменю ярого.

У контрольному варіанті на 3-ій день експерименту проростає 90% насінин *S. cereale*, на 5-ий – 99%, на 7-ий – 100%. За дії розсолів спостерігається зниження інтенсивності проростання, прямо пропорційне концентрації ропи у розчині. При трьохкратному розведенні на 3-ій день спостережень рівень схожості насіння є нижчим контрольного значення у 2 рази і складає 46%, при двохкратному – у 5,6 разів (16%), а при 75% і 100 % концентрації ропи проростання відсутнє. Аналогічна тенденція зберігається і на 5-ий день хронічного експерименту.

Таблиця 2. Динаміка проростання жита озимого *(Secale cereale L.)* за різної концентрації ропи у розчині

Варіанти експерименту	Енергія проростання насінин , %							
	Secale cereale L.				*Hordeum sativum* J.			
	3-й день	5-день	7-й день	10-й день	3-й день	5-день	7-й день	10-й день
I	0	0	4	7	0	0	0	0
II	1	3	9	11	0	0	0	0
III	16	48	69	88	1	1	3	4
IV	46	90	95	98	11	30	52	74
V (контроль)	90	99	100	100	5	16	33	56

Достовірні зміни контрольних і дослідних показників на 7-10 добу відмічені у III – I варіантах досліду. Енергія проростання насіння при експозиції на 100% ропі складає тільки 7% від контрольного значення, на 75%-ому розчині – 11%, 50%-ому – 88%.

Біотестування, проведене на *H. sativum* дає неоднозначні та доволі суперечливі результати. Максимальна схожість насіння констатована на 10-тий день експерименту в IV дослідному варіанті (25% розчин ропи) і рівна 74%, що в 1,3 рази перевищує контрольний показник (56%). При двохкратному розведенні енергія проростання не перевищує 4%, а при більших концентраціях ропи рівна 0. Отже, природні розсоли при невеликій концентрації солей здатні стимулювати проростання насіння *H. sativum*, та інгібувати ростовий процес при зростання концентрації солей. Гальмування проростання, імовірно, зумовлено високим вмістом хлор-аніонів, які у великих концентраціях згубно діють на дану зернову культуру.

За результатами спостережень розраховано індекси схожості насіння рослин-біотесторів (рис. 1).

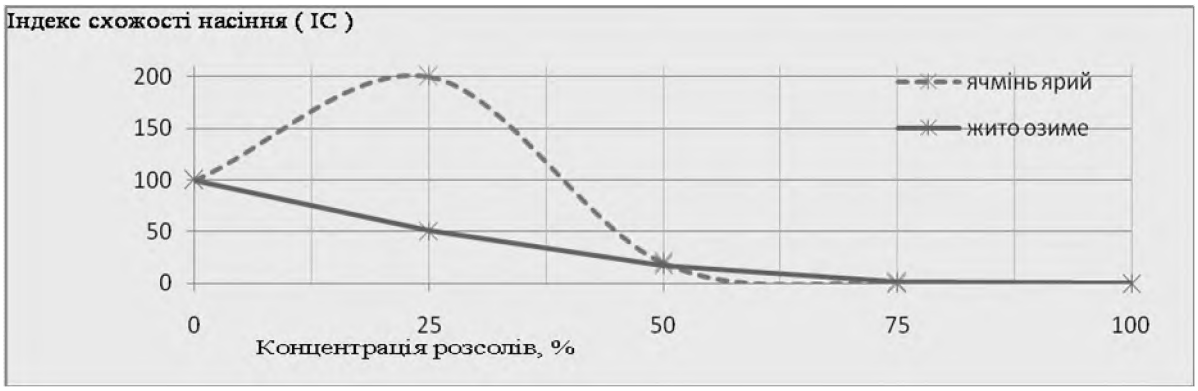


Рис.1. Індекс схожості насіння ячменю ярого та жита озимого при експозиції на розчинах природної ропи у різній концентрації.

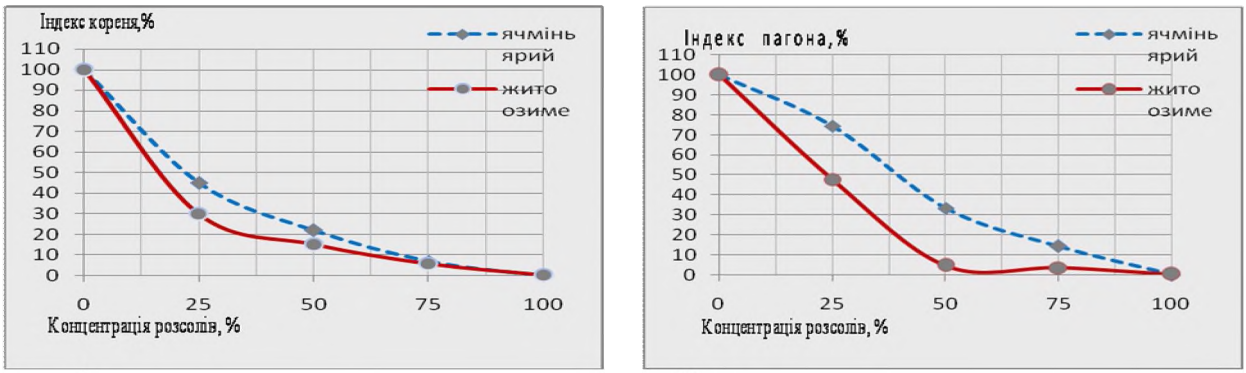
Індекс схожості насіння *S. cereale* знижується прямо пропорційно концентрації ропи у розчині від 100 у контролі до 0 при концентрації ропи 75% і вище.

У *H. sativum* індекс схожості насіння при 25%-ій концентрації ропи удвічі перевищує контрольний показник і різко знижується при подальшому збільшенні концентрації, сягаючи нульового значення уже при 55%.

Ріст є інтегральним показником функціонального стану рослини. Тому здатність інгібувати або стимулювати ростові процеси як на рівні організму, так і окремих органів можна розглядати як один з найінформативніших показників токсичності середовища чи окремих факторів впливу [4].

Для з'ясування біологічних наслідків впливу природних розсолів проводили морфометричний аналіз коренів і пагонів проростків рослин-біотесторів з подальшим визначенням відповідних індексів (рис. 2 А, Б).

Проростки жита озимого і ячменю ярого чутливо реагують на зміну концентрації ропи у середовищі достовірною зміною аналізованих морфометричнихї параметрів. Для обох видів характерне зниження індексу кореня на 55% (для *H. sativum*) і 70% (для *S. cereale*) при 25% вмісті ропи у розчині; на 80-85%, відповідно, при 50% вмісті й на 75 – 95% - при 75% вмісті.



А Б

Рис. 2. Динаміка індексів морфометричних параметрів проростків жита озимого і ячменю ярого за дії природних розсолів різної концентрації: А – індекс кореня; Б – індекс пагона.

Індекс пагона є більш стабільною характеристикою, а його зміна має виражену видову специфіку й вказує на більшу резистентність ячменю ярого до засолення середовища. У проростків жита озимого індекс пагона знижується на 52% при концентрації ропи 25% і на 95 -98% при вмісті 50 і 75%, відповідно.

У проростків ячменю ярого за аналізованою ознакою прослідковується пряма, близька до лінійної, залежність «доза-ефект», на що вказує характер зміни індексу пагона. Так, при 25% концентрації ропи у розчині індекс пагона складає 75% від контролю; при 50% - 33%, а при 75% - 15%. При концентрації 100% пагони і корені не розвиваються.

Таким чином, можна припустити, що схожість насіння ілюструє прямий вплив концентрації розсолів, тоді як довжина коренів і пагонів проростків є реакцією на опосередкований вплив аніонів та катіонів, наявних у ропі. Апроксимаційний характер залежності «доза-ефект» свідчить про високу чутливість тест-системи [11]. Це вказує на доцільність використання даної тест-реакції при проведенні біоіндикаційних досліджень засолених ґрунтів.

Імовірно, що більша стабільність реакції пагонів на вплив розсолів зумовлена відсутністю їх прямого контакту з ропою, а пригнічення їх росту зумовлені висхідною міграцією катіонів і аніонів від кореня [4].

Відповідно до проведених розрахунків, найбільш інформативним показником токсичності розсолів є індекс проростання насіння (ІПН), який інтегрує аналізовані тест-реакції та свідчить про ступінь резистентності рослин-біотеторів (рис. 3).

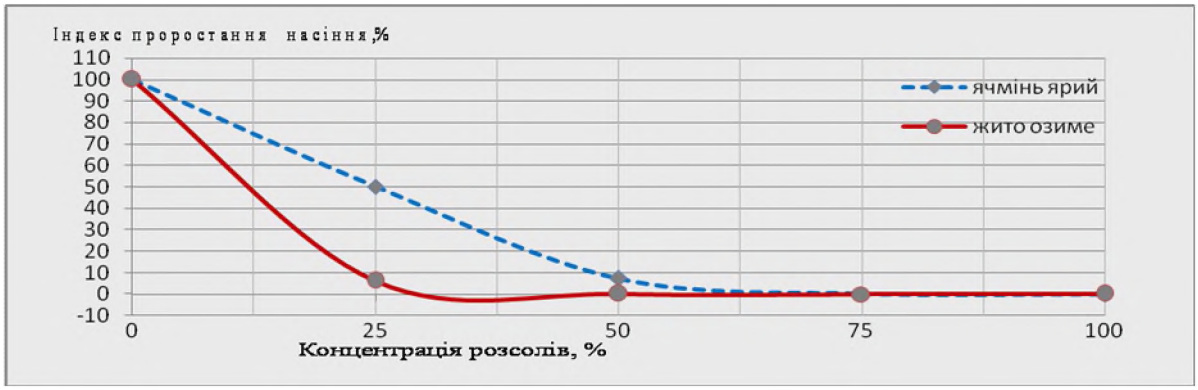


Рис.10. Динаміка індексу проростання насіння *Hordeum Sativam Jessen* та *Secale Cereale L.* за різної концентрації ропи у середовищі.

Для ячменю ярого встановлене поступове зменшення індексу проростання насіння, обернено пропорційне концентрації ропи у розчині: від 50,2% при трьохкратному розведенні до 6,3% - при двохкратному. Залежність «доза-ефект» має, при цьому, апроксимаційний характер.

У жита озимого індекс проростання насіння різко знижується до 7,5% при 25% вмісті ропи у розчині, а при подальшому збільшення концентрації прямує до нуля. Така реакція є свідченням низької адаптивної спроможності виду в умовах засолення середовища [11].

Висновки

Отже, природні розсоли Перекарпатського гірського прогину належать до категорії хлоридно-гідрокарбонатно-натрієво-содових вод із загальною мінералізацією 388 г/л.

Природні розсоли характеризуються вираженим біологічним ефектом, інтенсивність якого визначається їх концентрацією у середовищі. Проявами токсичних властивостей розсолів є пригнічення інтенсивності проростання насіння й інгібування росту коренів і пагонів проростків рослин біотесторів: *Hordeum Sativam Jessen* та *Secale Cereale L.*

Енергія проростання насіння та морфометричні параметри проростків жита озимого та ячменю ярого чутливо реагують на зміну концентрації розсолів у середовищі і можуть слугувати тест-ознаками при біологічній оцінці засолених середовищ.

Зміна морфометричних параметрів коренів проростків є більш лабільною ознакою, порівняно з пагонами. Індекс проростання насіння відзначається максимальною інформативністю серед застосованих показників.

Досліджені види (*Hordeum Sativam Jessen* та *Secale Cereale L)* належать до різних категорій солестійкісті. За реакцією аналізованих морфо-функціональних параметрів *Hordeum Sativam Jessen* можна віднести до категорії солестійких видів, а *Secale Cereale L.* – галофобних.

Апроксимаційний характер залежності «доза-ефект» між аналізованими морфо-функціональними показниками ячменю ярого і концентрацією ропи у середовищі свідчить про високу чутливість тест-системи і більшу адаптивну здатність виду до умов солевого стресу.

Зважаючи на вищу адаптивну здатність ячменю ярого до впливу високих концентрацій природних розсолів, цей вид може бути рекомендований як сільськогосподарська культура у місцях виходу природних розсолів на поверхню та неглибокого їх залягання.

Література

1. *Бондаренко М. Д.* Динаміка і прогноз стану геологічного середовища соляних і сірчаних родовищ Передкарпаття : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. геол. наук : спец. 04.00.01. «Геологія» / *М. Д. Бондарченко.* – Львів, 2001. – 20 с.
2. Геоекологічні проблеми Івано-Франківщини та Карпатського регіону : зб.пр./ *ред. Адаменко О.М.* – Івано-Франківськ : ЕКОР, 1998. - 328 с.
3. Застосування рослинних тест-систем для оцінки комбінованої дії факторів різної природи / [*Д. М. Гродзинський, Ю. В . Шиліна, Н. К. Куцоконь та ін.*]. – К.: Фітосоціоцентр, 2006. - 60 с.
4. *Косаківська І.В.* Стрес рослин: специфічні та неспецифічні реакції адаптаційного синдрому / *І. В. Косаківська* // Укр. бот. журн. – 1998. – Т. 55, № 6. – С. 584 – 587.
5. *Лакин Г.Ф.* Биометрия : учебное пособие для биол. спец. ВУЗов. – 4-е изд. / *Г.Ф. Лакин.* – М. : Высш. школа, 1990. – 350 с.
6. *Мусієнко М.М.* Фізіологія рослин / *М.М. Мусієнко.* – К.: Фітосоціоцентир, 2001. – 395 с.
7. *Назаренко І.І.* Засолені ґрунти, солончаки / *І.І. Назаренко, С.М. Польчина, В.А. Нікорич* // Ґрунтознавство. – К : Знання, 1999. – С. 134 - 139.
8. *Руденко С. С.* Основи загальної екології : практичний курс. Ч. 1 / *С. С. Руденко, С. С. Костишин, Т.В. Морозова.* – Чернівці : Рута, 2005. – 320 с.
9. *Сельський В.К.* Солі Івано-Франківщини та історія їх видобутку / *В.К. Сельський* // Вісник Прикарпатського національного університету. Сер. Біол. – 2011. – Вип. 15. – С. 142 – 178.
10. *Терек О.І.* Ріст рослин : навч. посібник / *О.І. Терек.* – Львів : Видавничий центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2007. – 247 с.
11. *Teaca C.A.* Toxicity assay assessment / *C.A. Teaca, R. Bodirlau* // Bioresourses. − 2008 − Vol.3 (4) − P. 1130-1145.

Стаття поступила до редакції 01.11.2012 р.; прийнята до друку 10.11.2012 р.