

••• ФІЗІОЛОГІЯ РОСЛИН ••• PLANT PHYSIOLOGY •••

УДК: 581.19:633.12:633.37

Вплив NaCl засолення на ріст та пігментну систему *Fagopyrum esculentum* Moench. та *Vicia faba* L.**І.В.Деркач, Н.Д.Романюк***Львівський національний університет імені Івана Франка (Львів, Україна)*
ira_derkach@ukr.net

Досліджено динаміку росту, вміст хлорофілів та феофітинів у рослинах бобів кінських та гречки посівної на 7–14 доби впливу NaCl в умовах піщаної культури. Збільшення концентрації солі в субстраті супроводжувалось пригніченням росту, зменшенням площі асиміляційної поверхні, маси сирої та сухої речовини. Практично у всіх варіантах спостерігалась обернена залежність між збільшенням концентрації солі та вмістом пігментів. Виявлено відмінності у реакціях пігментної системи рослин на дію токсиканта. У листках гречки на 7 добу дії 100 мМ NaCl та 10 добу за дії 120 мМ NaCl різко підвищувався вміст хлорофілів та феофітину *a*. На 10 та 14 доби впливу NaCl спостерігали зменшення загальної суми хлорофілів і феофітинів та зниження величини співвідношення хлорофіл *a/b*. У листках бобів загальна сума хлорофілів знижувалася на 19–32 % за дії 300 мМ NaCl, тоді як 250 мМ NaCl на 10 та 14 доби істотно не впливала на величину цього показника. Вміст феофітинів у листках бобів знижувався на 7 та 10 доби впливу солі і підвищувався на 18–27 % щодо контролю на 14 добу. Співвідношення хлорофіл *a/b* у бобів, на відміну від гречки, на всіх часових точках перевищувало контроль. Виявлені зміни у вмісті пігментів у гречки та бобів, ймовірно, пояснюються видовими відмінностями у шляхах накопичення та транспортування токсичних іонів та механізмах адаптації до їхньої дії.

Ключові слова: *Fagopyrum esculentum* Moench., *Vicia faba* L., NaCl, хлорофіл *a*, *b*, феофітини, ріст, піщана культура.

Влияние NaCl засоления на рост и пигментную систему *Fagopyrum esculentum* Moench. и *Vicia faba* L.**И.В.Деркач, Н.Д.Романюк**

Исследована динамика роста, содержание хлорофиллов и феофитинов в растениях конских бобов и гречихи посевной на 7–14 день влияния NaCl в условиях песчаной культуры. Увеличение концентрации соли в субстрате сопровождалось угнетением роста, уменьшением площади ассимиляционной поверхности, массы сырого и сухого вещества. Практически во всех вариантах наблюдалась обратная зависимость между увеличением концентрации соли и содержанием пигментов. Выявлены различия в реакциях пигментной системы растений на воздействие токсиканта. В листьях гречихи на 7 день влияния 100 мМ NaCl и 10 день влияния 120 мМ NaCl резко возрастало содержание хлорофиллов и феофитина *a*. На 10 и 14 дни влияния NaCl наблюдали уменьшение общей суммы хлорофиллов и феофитинов и снижение величины соотношения хлорофилл *a/b*. В листьях бобов общая сумма хлорофиллов снижалась на 19–32 % при 300 мМ NaCl, тогда как 250 мМ NaCl на 10 и 14 сутки существенно не влияла на величину этого показателя. Уровень феофитинов в листьях бобов падал на 7 и 10 день влияния соли и повышался на 18–27 % относительно контроля на 14 день. Соотношение хлорофилл *a/b* у бобов, в отличие от гречихи, на всех временных точках превышало контроль. Выявленные изменения в содержании пигментов в гречихи и бобовых, вероятно, объясняются видовыми различиями в путях накопления и транспорта токсичных ионов и механизмах адаптации к их влиянию.

Ключевые слова: *Fagopyrum esculentum* Moench., *Vicia faba* L., NaCl, хлорофилл *a*, *b*, феофитины, рост, песчаная культура.

Effect of NaCl salinity on growth and pigment system of *Fagopyrum esculentum* Moench. and *Vicia faba* L.**I.V.Derkach, N.D.Romanyuk**

Growth dynamics, chlorophylls and pheophytins level in broad beans and buckwheat plants under the NaCl impact for 7–14 days in sand culture have been studied. Increasing the salt concentration in the substrate caused

growth inhibition, decrease of the plant leaf area, fresh and dry mass. For almost all variants there was observed negative correlation between increasing salt concentration and pigments content. The differences in reactions of plants pigment system under toxicant impact were revealed. In the buckwheat leaves after 7 days of exposure to 100 mM NaCl and after 10 days of 120 mM NaCl treatment chlorophylls and pheophytins content sharply increased. After 10 and 14 days of NaCl exposure there was observed decrease in the total sum of chlorophyll and pheophytins and decrease of the chlorophyll *a/b* ratio. In bean leaves total chlorophyll decreased just by 19–32 % at 300 mM NaCl, whereas 250 mM NaCl for 10 and 14 days did not significantly affect this value. Pheophytins level in bean leaves decreased by 7 and 10 days of exposure to the salt and increased for 18–27 % at 14 day of experiment. Chlorophyll *a/b* ratio in beans, unlike buckwheat, at all time points was higher than in the control. Revealed changes in the pigments levels in buckwheat and beans plants, probably, caused by species differences in the ways of accumulation and transporting toxic ions and the mechanisms of adaptation to their action.

Key words: *Fagopyrum esculentum* Moench., *Vicia faba* L., NaCl, chlorophyll *a*, *b*, pheophytin, growth, sand culture.

Вступ

Важливою проблемою XXI століття є глобальне потепління і, як наслідок, зростання площ посушливих і засолених земель. За різними прогнозами, найближчими роками непридатними для використання стануть 20–50 % с.-г. угідь, внаслідок чого виникне серйозна загроза для вирощування продовольчих культур (Кошкин, 2010; Biggs et al., 2010; Ghassemi-Golezani et al., 2012; Husnjak et al., 2011; Munns, 2002; Reisen et al., 2013).

У зв'язку з цим зростає актуальність дослідження механізмів стійкості рослин до засолення, зокрема NaCl, про що свідчать численні наукові публікації, у т.ч. низка оглядових статей (Ісаєнков, 2012; Dinneny, 2015; El-Sayed, 2011; Ondrasek et al., 2011; Shavrukov, 2013; Torbaghan, 2012 та ін.). Негативний вплив засолення на рослини позначається на накопиченні біомаси, рості рослин, поглинанні води та мінеральних елементів (Еремченко и др., 2014; Ісаєнков, 2012; Bayat et al., 2012; Ramakrishna, Ravishankar, 2011). На клітинному рівні воно спричиняє нагромадження активних форм кисню, які порушують проникність мембран, знижують їхню електричну провідність, інактивують ферменти тощо (Гарифзянов, Жуков, 2013; Колупаєв, Карпец, 2014). Реакції на дію надмірних концентрацій солей у ґрунті залежать від адаптаційних можливостей рослин та проявляються у анатомо-морфологічних та фізіолого-біохімічних змінах (Пюрко та ін., 2001; Fraire-Velázquez, Balderas-Hernández, 2013; Shahbaz, Ashraf, 2013). Чимало дослідників намагаються зменшити токсичний вплив NaCl за допомогою різних адаптогенних препаратів (Контурська, Палладіна, 2012), в т.ч. пара-амінобензойної кислоти (Мостовщикова, Белозерова, 2013), АБК (Шевякова и др., 2013; Bayat et al., 2012), епібрасіноліду (Федина, 2013) тощо.

Боби кінські є цінною кормовою культурою та поширеною тест-системою у наукових дослідженнях (Джура, 2011; Azooz et al., 2013; Singh, Jauhar, 2005). За своїми характеристиками боби належать до групи культур, які здатні витримувати засолення ґрунту (Qados, 2011). Натомість гречка – це культура, яка не витримує високих концентрацій солей, чутлива до вологозабезпечення (Важов, 2013; Ковриго и др., 2000). Порівняння реакцій-відповідей на дію NaCl різних за чутливістю культур є важливим підходом до вивчення механізмів адаптації. Попри велику кількість публікацій, мало дослідженими або суперечливими залишаються питання впливу NaCl засолення на пігментну систему рослин, яка визначає потенційну врожайність культур (Гарифзянов и др., 2014; Захожий и др., 2012; Сиваш, Золотарєва, 2013). У зв'язку з цим метою досліджень було вивчення впливу NaCl на ріст рослин і вміст хлорофілів і феофітинів у листках кінських бобів і гречки посівної.

Об'єкти та методи дослідження

Об'єктом досліджень були рослини гречки посівної (*Fagopyrum esculentum* Moench., Polygonaceae) сорту Українка, та бобів кінських (*Vicia faba* L., Fabaceae) сорту Пікуловецький. Насіння попередньо пророщували впродовж 3-х діб в чашках Петрі на вологому фільтрувальному папері при температурі 22±1°C у темряві. Проростки переносили на піщаний субстрат, у який вносили 1/2 поживного середовища Хогланда-Арнона та одноразово сіль: гречка – 100 mM NaCl та 120 mM NaCl, боби кінські – 250 mM та 300 mM NaCl. Вказані концентрації солі підібрані експериментально. У контрольному варіанті NaCl не вносили. Ростові показники аналізували на 7-му, 10-ту та 14-ту доби експозиції з NaCl за стандартними методиками (Грицаєнко та ін., 2003). Кількісний вміст пігментів визначали фотометрично (Плотникова и др., 2001). Усі експерименти здійснено у трикратній

повторності, результати опрацьовано статистично з використанням пакету Microsoft Excel (Лакин, 1990). Визначали середнє арифметичне значення М, похибку середнього арифметичного ($\pm m$) та рівень достовірності за критерієм Стюдента.

Результати та обговорення

Вплив сольового стресу на ріст рослин

Адаптація рослин до умов навколишнього середовища, в т.ч. і до засолення, насамперед позначається на процесі росту, який є функцією багатьох складних фізіолого-біохімічних реакцій (Еремченко и др., 2014; Терек, Пацула, 2011; Mian et al., 2011; Uddin et al., 2011; Vahdati, Lotfi, 2013). Засолення у першу чергу діє на кореневу систему рослин (Sánchez-Calderón et al., 2013; Draye, 2014). Для встановлення впливу засолення на ріст рослин визначали такі показники, як довжина коренів, висота пагонів, маса сирі та сухої речовини і площа листової пластинки.

Результати аналізу росту коренів та пагонів гречки посівної за дії 100 мМ і 120 мМ NaCl наведено у табл. 1. Довжина коренів на 7 добу впливу солі була нижчою від контролю на 54–71 %. На 10-ту добу дії 100 мМ NaCl показник був меншим щодо контролю на 30%, а на 14-ту наблизився до контролю. За дії вищої концентрації NaCl (120 мМ) ріст коренів пригнічувався на 39–18 %. Зі зростанням тривалості експозиції рослин із NaCl спостерігали поступове пригнічення росту надземної частини рослин, тоді як ріст коренів поступово відновлювався. На 7–14-ту доби висота пагонів за дії 100 мМ NaCl була на 40–27 % нижчою від контролю, а за впливу 120 мМ NaCl – на 59–52 %.

Таблиця 1.

Вплив NaCl засолення на ріст гречки посівної сорту Українка (% щодо контролю), піщана культура з додаванням ½ поживного середовища Хогланда-Арнона

Варіант	7 доба		10 доба		14 доба	
	Довжина кореня	Висота пагона	Довжина кореня	Висота пагона	Довжина кореня	Висота пагона
100 мМ NaCl	46±4,6 *	60±1,6 *	70±3,5 *	41±1,1 *	98±4,8	73±0,9
120 мМ NaCl	29±2,9 *	41±1,1 *	61±3,0 *	29±0,8 *	82±4,0	48±6,1 *

Примітка: різниця з контролем істотна при $*P \leq 0,95$.

Маса сирі речовини коренів та сухої речовини пагонів та коренів за дії 100 мМ та 120 мМ NaCl достовірно не відрізнялась від контролю. Водночас, маса сирі речовини пагонів при концентрації солі 100 мМ знижувалась на 23%, а 120 мМ – на 34%. Таким чином, у рослинах гречки обидві досліджувані концентрації солі призводили до зниження маси сирі речовини пагонів та коренів і концентраційно залежного зменшення ступеня оводненості пагонів.

Таблиця 2.

Вплив NaCl засолення на ріст кінських бобів сорту Пікуловецький (% до контролю); піщана культура з додаванням ½ поживного середовища Хогланда-Арнона

Варіант	7 доба		10 доба		14 доба	
	Довжина кореня	Висота пагона	Довжина кореня	Висота пагона	Довжина кореня	Висота пагона
250 мМ NaCl	45,0±3,2	45,0±2,3	41,0±2,9	44,0±2,0 *	41,0±1,1	38,0±1,2 *
300 мМ NaCl	21,0±1,5	33,0±1,7	28,0±2,0	30,0±1,3 *	31,0±0,8	24,0±0,7 *

Примітка: різниця з контролем істотна при $*P \leq 0,95$.

Боби кінські зберігали свою життєздатність при концентраціях NaCl удвічі вищих, ніж гречка (табл. 2). На 7–14-ту доби за впливу 250 мМ NaCl довжина коренів була нижчою на 55–59 % від контролю, а 300 мМ — на 79–69 %. Як і у варіантах із гречкою, висота пагонів бобів за впливу досліджуваних концентрацій солі була нижчою від контролю на усіх часових точках експерименту: за дії 250 мМ NaCl вона була нижчою на 55–62 %, за дії 300 мМ NaCl – на 67–76 %.

Дія засолення негативно позначалася на нагромадженні маси кінських бобів (табл. 3). За дії 250–300 мМ NaCl маса сирої речовини коренів знижувалась на 66–68 %, а маса сухої речовини – на 84–86 % щодо контролю. Маса сирої речовини пагонів за дії 250 мМ NaCl знижувалась на 53%, за дії 300 мМ – на 80%, а маса сухої речовини – на 26% і 70% відповідно.

Таблиця 3.
Маса сирої та сухої речовини (мг/рослину) та вміст води у рослинах кінських бобів сорту Пікуловецький, 14-та доба експозиції з NaCl, піщана культура, ½ поживного середовища Хогланда-Арнона

Варіант		Маса сирої речовини	Маса сухої речовини	Частка води, %
Контроль	Корінь	985,0±110,6	160,0±11,9	84,0
	Пагін	1311,9±122,1	66,0±9,2	95,0
250 мМ NaCl	Корінь	334,2±106,4 *	26,0±8,0 *	92,0
	Пагін	612,2±69,2 *	49,0±6,3	92,0
300 мМ NaCl	Корінь	319,0±26,5 *	22,0±2,2 *	93,0
	Пагін	269,0±47,4 *	20,0±3,6 *	93,0

Примітка: різниця з контролем істотна при * $P \leq 0,95$.

Таке зменшення маси сухої та сирої речовини при засоленні узгоджується з даними літератури, отриманими на *Kyllinigia peruviana* L. із використанням 70 мМ, 280 і 560 мМ NaCl в умовах піщаної культури (Ha et al., 2008), на цукрових буряках (Eisa et al., 2011), *Bruguiera gymnorrhiza* L. (Rui et al., 2009), *Brassica campestris* L. (Memon et al., 2010). У роботі El-Samad, Barakat (2013), проведений на бобах кінських, ступінь засолення NaCl відповідав різним рівням осмотичних потенціалів (-0,23, -0,46, -0,69, -0,92 і -1,15 МПа). Авторами також було відмічено зниження маси сухої речовини пагонів та коренів. Окрім того, маса сухої речовини коренів була нижчою, ніж пагонів, що пояснювалося накопиченням іонів Na⁺. Отримані результати можна пояснити виникненням осмотичного стресу та токсичністю іонів NaCl. Останній проявляється у пригніченні синтезу білків та нуклеїнових кислот і, як наслідок, у пригніченні росту та накопиченні біомаси рослин. Н.Е.Sayed, А.Е.Sayed (2011), використовуючи концентрації солі 50 мМ, 100, 150, 200 мМ, виявили пригнічення росту рослин, вмісту білка, проте збільшення вмісту вільних амінокислот та неорганічних елементів. Дослідження впливу 10, 50, 100 та 200 мМ NaCl на початкових етапах росту гречки проводили Lim et al. (2012), при рівнях засолення 0,2%, 0,4%, 0,6%, 0,8%, 1,0% і 2,0% NaCl – N.Arya, V.P.Singh (1998). Проте відомі також результати досліджень, які свідчать про позитивний вплив засолення – 60, 120, 240 мМ NaCl на накопичення маси сухої та сирої речовини рослин *Vicia faba* L. (Qados, 2011). У згаданому дослідженні автори, аби уникнути осмотичного шоку, кількість солі збільшували щоденно впродовж 6 тижнів аж до досягнення потрібних концентрацій. Засолення викликало накопичення біомаси рослин та зниження осмотичного потенціалу зі збільшенням концентрації солі. Максимальне збільшення сирої та сухої речовини спостерігалось на 10 добу впливу засолення мінімальною концентрацією – 60 мМ. Авторі припускають, що таке накопичення біомаси може пов'язуватись із збільшенням розмірів вакуолей, що дозволяє збільшити об'єм води та розчинити більшу кількість іонів солей. Збільшення сирої та сухої речовини за дії солі також описали Orak, Ates (2005) на *Vicia sativa* L. (1,35 dS/м і 2,70 dS/м). Такі суперечливі дані різних авторів можна пояснити різними об'єктами та концентраціями солі, які використовувались для досліджень. Порівняння отриманих результатів для обох досліджуваних культур підтвердило дані літератури щодо набагато вищого рівня чутливості гречки до засолення, порівняно з кінськими бобами.

Дослідження впливу засолення на формування асиміляційного апарату оцінювали за величиною загальної площі листової поверхні рослин. На всіх етапах експерименту за дії NaCl спостерігали зниження величини цього показника. Загальна площа листової поверхні гречки зменшувалась у 1,9–1,2 рази щодо контролю при дії 100 мМ NaCl, та у 1,1–1,4 разів за дії 120 мМ NaCl (рис. 1а). Загальна площа листової поверхні кінських бобів при засоленні 250 мМ NaCl була нижчою від контролю у 5,3–3,9 рази, а при 300 мМ NaCl – у 3,1 рази на 7 добу, та 8,4–7,5 разів на 10 та 14 доби відповідно. Отримані дані узгоджуються з даними наукової літератури (Qados, 2011; Ha et al., 2008; Mathur et al.,

2006; Федина, 2013). У роботі Bayat et al. (2012) виявлено зменшення листової поверхні *Calendula officinalis* L. за впливу довготривалого засолення (30 діб) в умовах ґрунтової культури (100 мМ та 200 мМ NaCl).

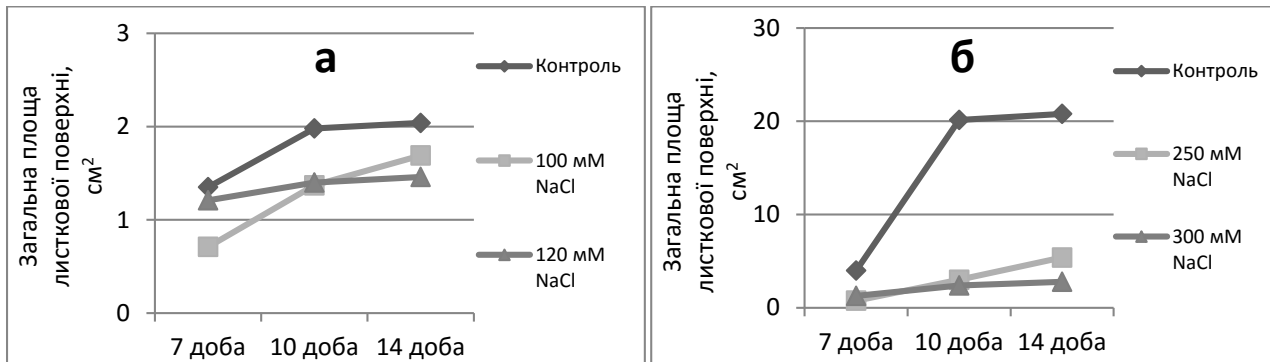


Рис. 1. Загальна площа листової поверхні гречки сорту Українка (а) та бобів сорту Пікуловецький (б), 7–14 доби впливу NaCl, піщана культура з додаванням ½ поживного середовища Хогланда-Арнона

Отже, у рослин обох досліджуваних культур спостерігали обернено пропорційну залежність між концентрацією солі у середовищі та загальною площею листової поверхні. Таке зниження даного показника може пояснюватись різними чинниками, зокрема безпосереднім ушкодженням клітин токсичними іонами або ж пригніченням процесів поділу і розтягування клітин листка, зумовлених змінами фітогормонального балансу (Dinneny, 2015). Відомо, що за дії стресу збільшується концентрація АБК, змінюється співвідношення морфогенетично активних форм цитокінінів, які активують синтез РНК та білків і разом з ауксинами контролюють поділ клітин тощо (Шевякова и др., 2013). На думку Еремченко и др. (2014), зменшення загальної площі листової поверхні може бути також одним із адаптивних механізмів, за допомогою якого рослина намагається знизити інтенсивність транспірації і, як результат, зменшити витрати води. Окрім того, зменшення цього показника може пояснюватись накопиченням в клітинних оболонках метаболітів, які знижують її еластичність в результаті накопичення солі, що, вірогідно, може гальмувати ріст розтягненням (Ali et al., 2004).

У наукових публікаціях наводять дані щодо зниження інтенсивності фотосинтезу за дії NaCl засолення, яке пояснюють не лише закриттям продихів і зменшенням концентрації міжклітинного CO₂, але й зниженням активності ферментів фотосинтезу та змінами у пігментній системі (El-Sayed, 2011). Вміст хлорофілів *a* та *b* вважають однією із характеристик потужності процесу фотосинтезу вищих рослин (Jamil et al., 2007). Іони солі, які переносяться з транспіраційним потоком, накопичуються в листках рослин, де можуть впливати на метаболізм фотосинтетичних пігментів (Dinneny, 2015). Дані щодо характеру впливу NaCl на пігментну систему різних за чутливістю до засолення рослин неоднозначні (Гарифзянов и др., 2014; Сиваш, Золотарєва, 2013; Захожий и др., 2012). Тому одним із етапів досліджень було вивчення впливу NaCl на вміст хлорофілів і продуктів їхнього перетворення – феофітинів. Феофітини є первинними акцепторами електронів фотосистеми II; це модифіковані молекули хлорофілу, у яких центральний атом Mg заміщений двома атомами водню (Roh et al., 2001). Він може утворюватись із хлорофілу, при обробці останнього слабкою кислотою.

Вплив засолення на вміст хлорофілів і феофітинів

Результати визначення вмісту хлорофілів та феофітинів у листках гречки на 7–14 добу впливу NaCl наведено на рис. 2. За дії 100 мМ NaCl на 7-му добу спостерігали зростання вмісту хлорофілів та феофітинів. Вміст хлорофілу *a* на 10 добу знизився майже на 60%, порівняно до вмісту у 7-добових листках і залишався нижчим контролю на 14-ту добу впливу солі. Водночас, вміст феофітину *a* перевищував контроль лише на 7 добу росту. Вміст хлорофілу *b* знижувався на 10 добу, а вміст феофітину *b* у дослідних варіантах знижувався на кожній точці експозиції з NaCl, тоді як у контролі, навпаки, зростав. За впливу 120 мМ NaCl вміст хлорофілу *a* перевищував контроль лише на 10 добу росту, вміст хлорофілу *b* зростав на 10 добу, а феофітинів – на 7 та 10 доби досліді. Водночас, вміст феофітину *a* перевищував вміст хлорофілу *a* на 7-му добу експозиції за впливу обох концентрацій

солі. На нашу думку, це пов'язано із частковим перетворенням хлорофіл *a* → феофітин *a*. Деградація хлорофілу призводить до збільшення кількості феофітину, оскільки феофітин є продуктом реакції дехелатування молекули хлорофілу (Сиваш, Золотарєва, 2013).

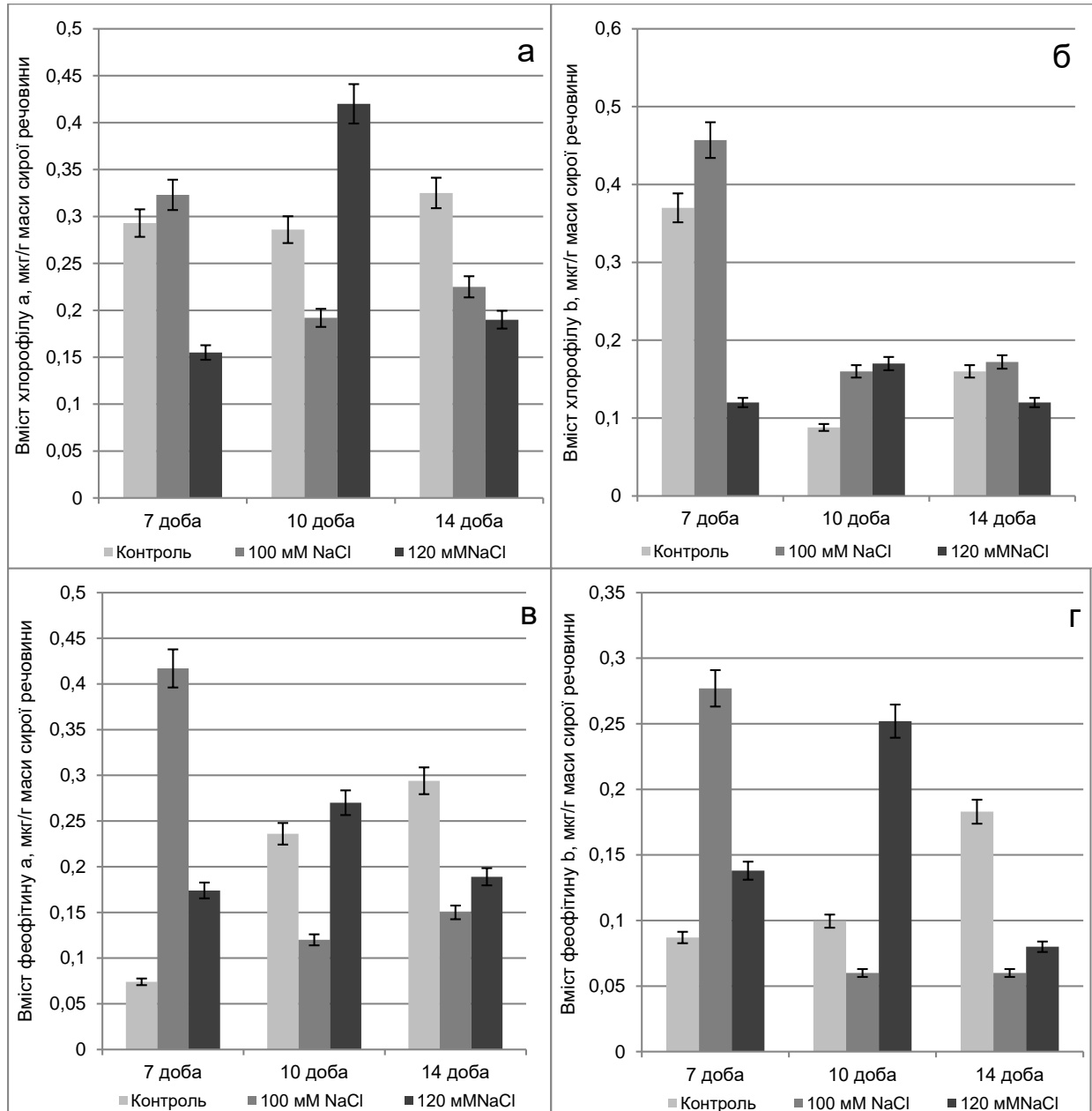


Рис. 2. Вміст хлорофілу *a* (а), *b* (б), феофітину *a* (в) та *b* (г) у листках гречки сорту Українка за дії різних концентрацій NaCl, мкг/г маси сирої речовини; піщана культура з додаванням ½ поживного середовища Хогладна-Арнона

Співвідношення хлорофілу *a* до *b* перевищувало контроль лише за дії 120 мМ солі на 7 добу експозиції (табл. 4). За дії 100 мМ та 120 мМ NaCl спостерігали максимальне значення співвідношення хлорофілу *a* до *b* на 10 добу з подальшим зниженням. Вміст хлорофілів та феофітинів за 100 мМ солі перевищував контроль на 7 добу експозиції, проте на інших часових точках дані показники зменшувалися. За дії 120 мМ NaCl значно зростала загальна величина суми хлорофілів та феофітинів

на 10-ту добу. Таке збільшення кількості пігментів може бути пов'язане із зменшенням розмірів листової поверхні, що призводить до зростання їхньої концентрації на меншій площі (Saglam et al., 2014). Можливо, значне зростання вмісту пігментів на 7 добу експозиції за дії 100 мМ солі пов'язане із накопиченням NaCl у вакуолях, де вона підтримує водний баланс клітини, тобто виконує роль осмотично активної речовини. Відомо, що такий механізм підтримки фотосинтетичної активності діє на ранніх етапах сольового стресу за дії низьких концентрацій солей (Иванов, 2013).

Таблиця 4.

Співвідношення хлорофілу *a/b*, сума хлорофілів та феофітинів *a+b* у листках гречки сорту Українка за дії NaCl (мкг/г маси сир. реч.); піщана культура з додаванням ½ поживного середовища Хогланда-Арнона

Варіант	Хлорофіл <i>a/b</i>	Сума хлорофілів <i>a+b</i>	Сума феофітинів <i>a+b</i>
7 доба			
Контроль	0,78	0,66±0,39	0,16±0,06
100 мМ NaCl	0,70	0,78±0,34	0,69±0,23
120 мМ NaCl	1,33	0,28±0,09	0,31±0,17
10 доба			
Контроль	3,22	0,37±0,11	0,34±0,13
100 мМ NaCl	1,19	0,24±0,15	0,18±0,04
120 мМ NaCl	2,47	0,46±0,03	0,52±0,15
14 доба			
Контроль	2,06	0,49±0,05	0,48±0,11
100 мМ NaCl	1,35	0,38±0,08	0,21±0,08
120 мМ NaCl	1,58	0,31±0,03	0,27±0,08

У листках бобів, які вирощували в умовах вищої концентрації NaCl, вміст хлорофілів *a*, *b* і феофітинів поступово з віком рослин зростав, проте контроль перевищував лише вміст хлорофілу *a* на 7 добу росту, хлорофілу *b* на 10 та 14 доби та феофітину *a* на 10-ту добу росту (рис. 3). При концентрації 250 мМ NaCl вміст хлорофілів та феофітинів також зростав на кожній точці експозиції з NaCl, проте залишався нижчим від контролю. Зниження вмісту пігментів може відбуватись, насамперед, внаслідок закриття продихів, зниження швидкості транспірації та поглинання CO₂, що є однією з первинних реакцій-відповідей рослин на дію осмотичного стресу (Saglam et al., 2014).

Співвідношення хлорофілу *a* до *b* перевищувало контрольні значення практично на усіх часових точках експозиції (табл. 5). Проте на 10 та 14 доби цей показник знижувався і наближався до контрольних значень, що може свідчити про поступове відновлення стану фотосинтетичного апарату. Також відновлення підтверджує збільшення суми хлорофілів на 14 добу експозиції з 250 мМ солі та феофітинів на 14 добу експозиції з 250 мМ та 300 мМ NaCl. На інших часових точках сума хлорофілів та феофітинів була нижча від контролю, проте вона зростала в ході досліджу.

Таким чином, зміни вмісту хлорофілів та феофітинів *a+b* при дії високих концентрацій солі у субстраті носили нерівномірний характер для обох досліджуваних видів рослин. Наявність низької концентрації солі у середовищі може активувати захисні механізми рослини, зокрема, підвищувати активність H⁺-АТФаз плазмалеми клітин листків, Na⁺/H⁺-обмін у тонопласті, тощо (Иванов, 2013). Внаслідок цього зростає активність фотосинтетичного апарату, зокрема і вміст пігментів, що ми і спостерігали у рослин бобів за дії обраних концентрацій NaCl. Проте високі концентрації солі можуть здійснювати негативний вплив на вміст пігментів, ймовірно внаслідок порушення роботи цих транспортних механізмів виведення солі з цитоплазми. Таке зниження вмісту пігментів спостерігали у бобів при 300 мМ NaCl.

Таким чином, зміни вмісту хлорофілів та феофітинів *a+b* при дії високих концентрацій солі у субстраті носили нерівномірний характер для обох досліджуваних видів рослин. Наявність низької концентрації солі у середовищі може активувати захисні механізми рослини, зокрема, підвищувати активність H⁺-АТФаз плазмалеми клітин листків, Na⁺/H⁺-обмін у тонопласті тощо (Иванов, 2013). Внаслідок цього зростає активність фотосинтетичного апарату, зокрема і вміст пігментів, що ми і спостерігали у рослин бобів за дії обраних концентрацій NaCl. Проте високі концентрації солі можуть

здійснювати негативний вплив на вміст пігментів, ймовірно внаслідок порушення роботи цих транспортних механізмів виведення солі з цитоплазми. Таке зниження вмісту пігментів спостерігали у бобів при 300 мМ NaCl.

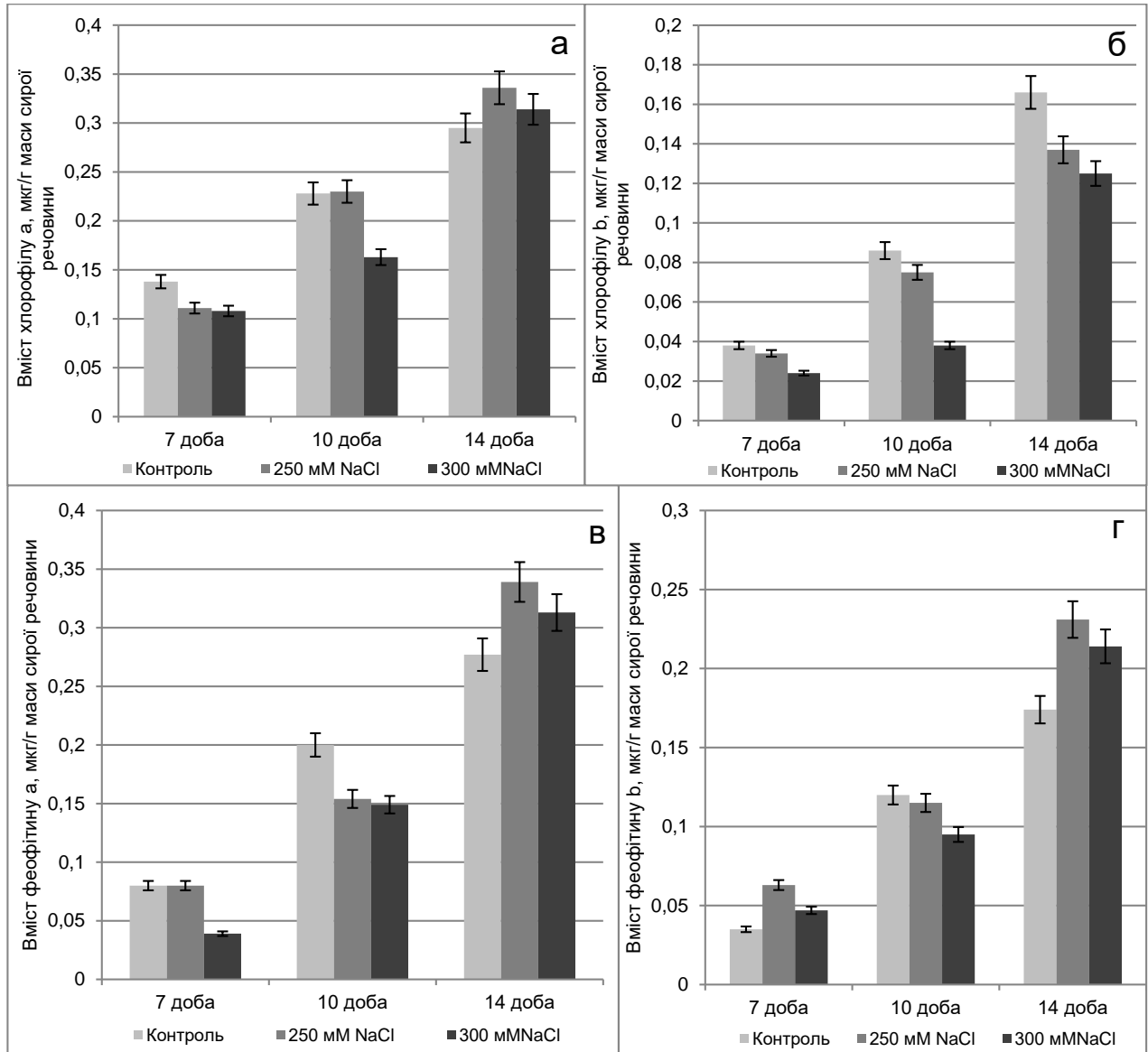


Рис. 3. Вміст хлорофілу а (а), б (б), феофітину а (в) та б (г) у бобах сорту Пікуловецький за дії різних концентрацій NaCl, мкг/г маси сирої речовини; піщана культура з додаванням ½ поживного середовища Хогланда-Арнона

У обох дослідних культурах за дії засолення субстрату спостерігали значне переважання вмісту хлорофілу а над хлорофілом б, а також над феофітином. Зниження вмісту пігментів може відбуватися під дією сильного окисного стресу, який супроводжується перекисним окисненням ліпідів, інактивацією білків та ферментів, порушенням цілісності мембран та деградацією хлорофілу (Еремченко и др., 2014). Кількакратно зростання суми феофітинів у листках гречки за дії засолення може пояснюватися саме такими механізмами. Схоже зниження вмісту пігментів описано також в роботах Захожого зі співавт. (2012) на водорості *Dunaliella maritime* в умовах дії 1,0, 1,5, 2,0 М NaCl. Сольовий шок приводив до зниження функціональної активності фотосистеми II, що проявлялось в зменшенні

максимального квантового виходу фотохімічного перетворення енергії, зниженні швидкості лінійного транспорту електронів та фотосинтетичного виділення O₂. Кузнецова зі співавт. пояснюють морфологічні зміни хлоропластів, які виникають при дії різних концентрацій солі, порушенням зв'язків між гранами, зменшенням їхньої кількості і розмірів з наступним зникненням з'єднуючих ламел (Кузнецова и др., 2014). У деяких експериментах спостерігали зростання вмісту хлорофілів та феофітинів. Збільшення вмісту пігментів в умовах сольового стресу виявили також Еремченко зі співавт. (2014), досліджуючи кресс-салат, El-Sayed (2011) на *Zea mays* L. Стійкість до осмотичного стресу, зокрема викликаного засоленням, може тісно пов'язуватись із фотозахисними системами (Vujčić, Vrkanas, 2014). Враховуючи особливу роль пігментів в забезпеченні скоординованої роботи електрон-транспортної системи, збільшення вмісту хлорофілів та феофітинів можна розглядати як один із факторів, що забезпечує резистентність рослин до дії іонів NaCl, адже здатність зберігати активність фотосинтетичного апарату – важливий механізм адаптації до умов стресу (Кузнецова и др., 2014).

Таблиця 5.

Співвідношення хлорофілу *a/b*, сума хлорофілів та феофітинів *a+b* у рослин кінських бобів сорту Пікуловецький за дії NaCl (мкг/г маси сир. реч.); піщана культура з додаванням ½ поживного середовища Хогланда-Арнона

Варіант	Хлорофіл <i>a/b</i>	Сума хлорофілів <i>a+b</i>	Сума феофітинів <i>a+b</i>
7 доба			
Контроль	3,50	0,16±0,02	0,16±0,02
250 mM NaCl	3,26	0,13±0,05	0,14±0,06
300 mM NaCl	4,50	0,13±0,02	0,09±0,03
10 доба			
Контроль	2,56	0,31±0,03	0,32±0,05
250 mM NaCl	3,00	0,29±0,03	0,27±0,05
300 mM NaCl	4,29	0,21±0,05	0,16±0,02
14 доба			
Контроль	1,78	0,48±0,06	0,45±0,11
250 mM NaCl	2,46	0,49±0,06	0,57±0,07
300 mM NaCl	2,51	0,45±0,07	0,53±0,08

За впливу обраних концентрацій NaCl у дослідних культурах знижувалась величина практично усіх ростових параметрів. Різке зниження величини ростових показників, яке спостерігали у перший тиждень дії засолення, з часом нівелювалось, і вони наближались до контрольних значень. Зміни вмісту хлорофілів та феофітинів мали складний, нерівномірний характер. Боби виявились стійкішими до дії солі удвічі вищих концентрацій, ніж гречка, що підтверджують дані визначення ростових показників і вмісту пігментів. У гречки за дії NaCl спостерігали зниження співвідношення хлорофіл *a/b*, тоді як у бобів – його зростання. Загалом вміст хлорофілів і феофітинів у листках бобів за дії засолення змінювався у меншій мірі, порівняно з гречкою. Це відбувалося за рахунок підтримання високої концентрації хлорофілу *a*, в тому числі і за рахунок сповільнення процесів перетворення хлорофілів до феофітинів.

Список літератури

- Важов В.М. Гречиха на полях Алтая. – М.: Издательский дом Академии Естествознания, 2013. – 188с. /Vazhov V.M. Grechikha na polyakh Altaya. – М.: Izdatel'skiy dom Akademii Yestestvoznaniya, 2013. – 188s./
- Гарифзянов А.Р., Жуков Н.Н. АФК-индуцированные процессы в клетках *Triticosecale* в условиях натрий-хлоридного засоления // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. – 2013. – №1. – С. 241–250. /Garifzyanov A.R., Zhukov N.N. AFK-indutsirovannyye protsessy v kletkakh Triticosecale v usloviyakh natriy-khloridnogo zasoleniya // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Yestestvennyye nauki. – 2013. – №1. – С. 241–250./
- Гарифзянов А.Р., Жуков Н.Н., Кособрюхов А.А. и др. Функциональное состояние фотосинтетического аппарата проростков тритикале при хлоридном засолении // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. – 2014. – №1. – С. 280–290. /Garifzyanov A.R., Zhukov N.N.,

- Kosobryukhov A.A. i dr. Funktsional'noye sostoyaniye fotosinteticheskogo apparata prorstkov tritikale pri khlordnom zasolenii // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Yestestvennyye nauki. – 2014. – №1. – S. 280–290./
- Грицаєнко З.М., Грицаєнко А.О., Карпенко В.П. Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин і ґрунтів – К.: ЗАТ «НІЧЛАВА», 2003. – 230с. /Gritsayenko Z.M., Gritsayenko A.O., Karpenko V.P. Metody biologichnykh ta agrokhimichnykh doslidzhen' roslin i gruntiv – K.: ZAT «NICHLAVA», 2003. – 230s./
- Джура Н.М. Перспективи фітореємедіації нафтозабруднених ґрунтів рослинами *Faba bona Medic.* (*Vicia faba L.*) // Вісник Львівського університету. Серія біологічна. – 2011. – Вип.57. – С. 117–124. /Dzhura N.M. Perspektivy fitoremediatsiyi naftozabrudnennykh gruntiv roslinamy Faba bona Medic. (Vicia faba L.) // Visnyk L'vivs'kogo universytetu. Seriya biologichna. – 2011. – Vyp.57. – S. 117–124./
- Еремченко О.З., Кусакина М.Г., Лузина Е.В. Содержание пигментов в растениях *Lepidium sativum* в условиях хлоридно-натриевого засоления и ошелачивания // Вестник Пермского университета. – 2014. – №1. – С. 30–35. /Yeremchenko O.Z., Kusakina M.G., Luzina Ye.V. Soderzhaniye pigmentov v rasteniyakh Lepidium sativum v usloviyakh khlordno-natriyevogo zasoleniya i oshchelachivaniya // Vestnik Permskogo universiteta. – 2014. – №1. – S. 30–35./
- Захожий И.Г., Маталин Д.А., Попова Л.Г. и др. Ответные реакции фотосинтетического аппарата галотолерантной микроводоросли *Dunaliella maritima* на гиперосмотический солевой шок // Физиология растений. – 2012 – Т.59, №1. – С. 48–56. /Zakhozhiy I.G., Matalin D.A., Popova L.G. i dr. Otvetynye reaktzii fotosinteticheskogo apparata galotolerantnoy mikrovodorosli Dunaliella maritima na giperosmoticheskiy soleyoy shok // Fiziologiya rasteniy. – 2012 – T.59, №1. – S. 48–56./
- Иванов А.А. Совместное действие водного и солевого стрессов на фотосинтетическую активность листьев пшеницы разного возраста // Физиология и биохимия культурных растений. – 2013. – №2. – С. 155–163. /Ivanov A.A. Sovmestnoye deystviye vodnogo i solevogo stressov na fotosinteticheskuyu aktivnost' list'yev pshenitsy raznogo vozrasta // Fiziologiya i biokhimiya kul'turnykh rasteniy. – 2013. – №2. – S. 155–163./
- Ісаєнков С.В. Фізіологічні та молекулярні аспекти сольового стресу рослин // Цитологія і генетика. – 2012. – №5. – С. 50–71. /Isayenkov S.V. Fiziologichni ta molekulyarni aspekty sol'yovogo stresu roslin // Tsitologiya i genetika. – 2012. – №5. – S. 50–71./
- Ковриго В.П., Кауричев И.С., Бурлакова Л.М. Почвоведение с основами геологии – М.: Колос, 2000. – 416с. /Kovrigo V.P., Kaurichev I.S., Burlakova L.M. Pochvovedeniye s osnovami geologii – M.: Kolos, 2000. – 416s./
- Колупаев Ю.Е., Карпец Ю.В. Активные формы кислорода и стрессовый сигналинг у растений // Ukrainian Biochemical Journal. – 2014. – Vol.86, №4. – С. 18–35. /Kolupayev Yu.Ye., Karpets Yu.V. Aktivnyye formy kisloroda i stressovyy signalling u rasteniy // Ukrainian Biochemical Journal. – 2014. – Vol.86, №4. – S. 18–35./
- Контурська О.О., Палладіна Т.О. Активність ензимів аскорбат-глутатіонового циклу в листках проростків кукурудзи в умовах засолення та обробки адаптогенними апаратами // Український біохімічний журнал. – 2012. – Т.2, №6. – С. 139–144. /Konturs'ka O.O., Palladina T.O. Aktyvnist' enzymiv askorbat-glutationovogo tsiklu v lystkakh prorstkiv kukurudz v umovakh zasoleniya ta obrobky adaptogennymi aparatamy // Ukrayins'kyi biokhimichnyy zhurnal. – 2012. – T.2, №6. – S. 139–144./
- Кошкин Е.И. Физиология устойчивости сельскохозяйственных культур – М.: Дрофа, 2010. – 638с. /Koshkin Ye.I. Fiziologiya ustoychivosti sel'skokhozyaystvennykh kul'tur – M.: Drofa, 2010. – 638s./
- Кузнецова С.А., Климачев Д.А., Карташов С.Н. Влияние засоления на показатели фотосинтетической активности растений // Вестник МГОУ. Естественные науки. – 2014. – №1. – С. 63–68. /Kuznetsova S.A., Klimachev D.A., Kartashov S.N. Vliyaniye zasoleniya na pokazateli fotosinteticheskoy aktivnosti rasteniy // Vestnik MGOU. Yestestvennyye nauki. – 2014. – №1. – S. 63–68./
- Лакин Г.Ф. Биометрия. – М.: Высшая школа, 1990. – 351с. /Lakin G.F. Biometriya. – M.: Vysshaya shkola, 1990. – 351 s.
- Мостовщикова С.М., Белозерова А.А. Оценка влияния пара-аминобензойной кислоты на морфометрические параметры растений пшеницы (*Triticum aestivum L.*) в условиях хлоридного засоления // Успехи современного естествознания. – 2013. – №8. – С. 20–21. /Mostovshchikova S.M., Belozerova A.A. Otsenka vliyaniya para-aminobenzoynoy kisloty na morfometricheskiye parametry rasteniy pshenitsy (Triticum aestivum L.) v usloviyakh khlordnogo zasoleniya // Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya. – 2013. – №8. – S. 20–21./
- Плотникова И.В., Живухина Е.А., Михалевская О.Б. и др. Практикум по физиологии растений. – М.: Академия, 2001. – 144с. /Plotnikova I.V., Zhivukhina Ye.A., Mikhalevskaya O.B. i dr. Praktikum po fiziologii rasteniy. – M.: Akademiya, 2001. – 144s./
- Пюрко О.Е., Мусієнко М.М., Казаков Є.О та ін. Основи солестійкості рослин та методи її вивчення // Вісник Запорізького державного університету. Біологічні науки. – 2001. – №1. – С. 204–208. /Pyrko O.E., Musiyenko M.M., Kazakov Ye.O ta in. Osnovy solestiykosti roslin ta metody yiyi vyvchennya // Visnyk Zaporiz'kogo derzhavnogo universytetu. Biologichni nauky. – 2001. – №1. – S. 204–208./
- Сиваш А.А., Золотарёва Е.К. Катаболизм хлорофилла в растениях // Вісник Харківського національного аграрного університету. – 2013. – №3. – С. 6–17. /Sivash A.A., Zolotaryova Ye.K. Katabolizm khlorofilla v rasteniyakh // Visnyk kharkivs'kogo natsional'nogo agrarnogo universytetu. – 2013. – №3. – S. 6–17./

- Терек О.І., Пацула О.І. Ріст і розвиток рослин. – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2011. – 328с. /Terek O.I., Patsula O.I. Rist i rozvytok roslin. – L'viv: LNU imeni Ivana Franka, 2011. – 328s./
- Федина Е.О. Влияние 24-эпибрассинолида на фосфорилирование белков по тирозину у гороха после действия засоления // Физиология растений. – 2013. – Т.60, №3. – С. 360–368. /Fedina Ye.O. Vliyaniye 24-epibrassinolida na fosforilirovaniye belkov po tirozinu u gorokha posle deystviya zasoleniya // Fiziologiya rasteniy. – 2013. – Т.60, №3. – С. 360–368./
- Шевякова Н.И., Мусатенко Л.И., Стеценко Л.А. и др. Влияние АБК на содержание пролина, полиаминов и цитокининов в растениях хрустальной травки при солевом стрессе // Физиология растений. – 2013. – Т.60, №6. – С. 784–792. /Shevyakova N.I., Musatenko L.I., Stetsenko L.A. i dr. Vliyanie ABK na sodержaniye prolina, poliaminov i tsitokininov v rasteniyakh khrustal'noy travki pri solevom strasse // Fiziologiya rasteniy. – 2013. – Т.60, №6. – С. 784–792./
- Ali Y., Aslam Z., Ashraf M.Y. et al. Effect of salinity on chlorophyll concentration, leaf area, yield and yield components of rice genotypes grown under saline environment // International Journal of Environmental Science & Technology. – 2004. – P. 221–225.
- Arya N., Singh V.P. Protection of buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) from different salinity stress by triazoles // Proceedings of the VII International Symposium on Buckwheat. – 1998. – P. 68–76.
- Azooz M.M. The potential role of seed priming with ascorbic acid and nicotinamide and their interactions to enhance salt tolerance in broad bean (*Vicia faba* L.) // AJCS. – 2013. – №7. – P. 2091–2100.
- Bayat H., Alirezaie M., Neamati H. Impact of exogenous salicylic acid on growth and ornamental characteristics of calendula (*Calendula officinalis* L.) under salinity stress // Journal of Stress Physiology & Biochemistry. – 2012. – P. 258–267.
- Biggs A., Watling K.M., Cupples N. et al. Salinity risk assessment for the Queensland Murray-Darling Region. – Queensland Department of Environment and Resource Management, Toowoomba. – 2010. – P.125.
- Dinneny J.R. Traversing organizational scales in plant salt-stress responses // Current Opinion in Plant Biology. – 2015. – №23. – P. 70–75.
- Draye X. Running head: update on root water uptake // Plant Physiology. – 2014. – P.29.
- Eisa S.S., Hussin S., Abd El-Samad E. Enhancement of sugar beet productivity under saline conditions // Journal of Applied Sciences Research. – 2011. – №7. – P. 2063–2072.
- El-Samad H.M., Barakat N.A.M. The physiological mechanisms of calcium chloride application on broad bean plants grown under salinity stress // J. Ecol. Nat. Environ. – 2013. – №5. – P. 371–377.
- El-Sayed H.A. Influence of salinity stress on growth parameters, photosynthetic activity and cytological studies of *Zea mays*, L. plant using hydrogel polymer // Agric. Biol. J. N. Am. – 2011. – №2. – P. 907–920.
- Fraire-Velázquez S., Balderas-Hernández V.E. Abiotic stress in plants and metabolic responses // Abiotic Stress in Plants and Metabolic Responses. – 2013. – №2. – P. 25–48.
- Ghassemi-Golezani K., Nikpour-Rashidabad N., Zehtab-Salmasi S. Leaf characteristics and grain yield of pinto bean cultivars under salt stress // IJPAES. – 2012. – №2. – P. 35–40.
- Ha E., Ikhajagba B., Bamidele J.F. et al. Salinity effects on young healthy seedling of *Kyllingia peruviana* collected from Escravos // Delta state. Global J. Environ. – 2008. – №2. – P. 74–88.
- Husnjak S., Romić M., Poljak M. et al. Recommendations for soil management in Croatia // Agriculturae Conspectus Scientifi. – 2011. – №76. – P. 1–8.
- Jamil M., Rehman S., Rha E.S. Salinity effect on plant growth, PSII photochemistry and chlorophyll content in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) and cabbage (*Brassica oleracea capitata* L.) // Pak. J. Bot. – 2007. – №3. – P. 753–760.
- Lim J.H., Park K.J., Kim B.K. et al. Effect of salinity stress on phenolic compounds and carotenoids in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* M.) sprout // Food Chemistry. – 2012. – №3. – P. 1065–1070.
- Mathur N., Singh J., Bohra S. et al. Biomass production, productivity and physiological changes in moth bean genotypes at different salinity levels // American Journal of Plant Physiology. – 2006. – №1. – P. 210–213.
- Memon S.A., Hou X., Wang L.J. Morphological analysis of salt stress response of pak Choi // EJEAFChe. – 2010. – №9. – P. 248–254.
- Mian A.A., Senadheera P., Maathuis F.J.M. Improving crop tolerance: anion and cation transporters as genetic engineering targets // Plant Stress. – 2011. – №5. – P. 64–72.
- Munns R. Comparative physiology of salt and water stress // Plant Cell Environ. – 2002. – №25. – P. 239–250.
- Ondrasek G., Rengel Z., Veres S. Soil salinisation and salt stress in crop production // Abiotic Stress in Plants – Mechanisms and Adaptations. – 2011. – №8. – P. 171–190.

- Orak A., Ates E. Resistance of salinity stress and available water levels at the seedling stage of the common vetch (*Vicia sativa* L.) // *Plant Soil Environ.* – 2005. – №51. – P. 51–56.
- Qados A.M.S. Effect of salt stress on plant growth and metabolism of bean plant *Vicia faba* (L.) // *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences.* – 2011. – №10. – P. 7–15.
- Ramakrishna A., Ravishankar G.A. Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants // *Plant Signaling & Behavior.* – 2011. – №6. – P. 1720–1731.
- Reisen P., Dodd J., Kang Y. et al. Greenhouse and field screening for salinity tolerance // *43rd Western Alfalfa & Forage Symposium.* – 2013. – P. 35–40.
- Roh K.S., Oh M.J., Song S.D. et al. Influence of benomyl on photosynthetic capacity in soybean leaves // *Biotechnol. Bioprocess Eng.* – 2001. – №6. – P. 100–106.
- Rui L., Wei S., Mu-Xiang C. et al. Leaf anatomical changes of *Burquiera gymnorhiza* seedlings under salt stress // *J. Trop. Subtrop. Bot.* – 2009. – №17. – P. 169–175.
- Saglam A., Kdioglu A., Demiralay M. et al. Leaf rolling reduces photosynthetic loss in maize under severe drought // *Acta Bot. Croat.* – 2014. – №2. – P. 315–332.
- Sánchez-Calderón L., Ibarra-Cortés M.E., Zepeda-Jazo I. Root development and abiotic stress adaptation // *Abiotic Stress – Plant Responses and Applications in Agriculture.* – 2013. – №5. – P. 135–168.
- Sayed H.E., Sayed A.E. Influence of NaCl and Na₂SO₄ treatments on growth development of broad bean (*Vicia Faba*, L.) plant // *Journal of Life Sciences.* – 2011. – №5. – P. 513–523.
- Shahbaz M., Ashraf M. Improving salinity tolerance in cereals // *Critical Reviews in Plant Sciences.* – 2013. – №32. – P. 237–249.
- Shavrukov Y. Salt stress or salt shock: which genes are we studying? // *Journal of Experimental Botany.* – 2013. – №1. – P. 119–127.
- Singh R.J., Jauhar P.P. Genetic resources, chromosome engineering, and crop improvement // *Genetic Resources, Chromosome Engineering, and Crop Improvement Series.* – 2005. – №1. – P.475.
- Torbaghan M.E. Effect of salt stress on germination and some growth parameters of marigold (*Calendula officinalis* L.) // *Plant Science Journal.* – 2012. – №1. – P. 7–19.
- Uddin M.K., Juraimi A.S., Ismail M.R. et al. Relative salinity tolerance of warm season turfgrass species // *Journal of Environmental Biology.* – 2011. – №32. – P. 309–312.
- Vahdati K., Lotfi N. Abiotic stress tolerance in plants with emphasizing on drought and salinity stresses in walnut // *Abiotic Stress – Plant Responses and Applications in Agriculture.* – 2013. – №10. – P. 307–365.
- Vujčić V., Brkanac S. Physiological and biochemical responses of *Fibigia triquetra* (DC.) Boiss. to osmotic stress // *Acta Bot. Croat.* – 2014. – №2. – P. 347–358.

Представлено: Н.Я.Кияк / Presented by: N.Ya.Kiyak
Рецензент: В.В.Жмурко / Reviewer: V.V.Zhmurko
Подано до редакції / Received: 11.09.2015