



УДК 581.1:633.875:631.461.52

ВПЛИВ ЗАСОЛЕННЯ НА БОБОВІ РОСЛИНИ ТА ЇХНЄ ВИКОРИСТАННЯ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ РОДЮЧОСТІ ҐРУНТІВ

Людмила Михалків , Сергій Коць , Іван Обезюк 

Інститут фізіології рослин і генетики НАН України
вул. Васильківська, 31/17, Київ 03022, Україна

Mykhalkiv, L., Kots, S., & Obeziuk, I. (2023). Influence of salinity of legume plants and their use for restoration of soil fertility. *Studia Biologica*, 17(3), 211–224. doi:[10.30970/sbi.1703.733](https://doi.org/10.30970/sbi.1703.733)

Засолення є одним із найшкочинніших стресових факторів, що обмежує ріст рослин і їхню урожайність, а також знижує родючість ґрунтів. Зважаючи на це, актуальними на сьогодні є дослідження механізмів захисту рослин від високої концентрації солі у середовищі та пошук способів підвищення їхньої стійкості до цього стресового чинника. Представлено огляд літературних даних щодо особливостей реакції бобових рослин на сольовий стрес, зокрема, у контексті їхньої взаємодії з бульбочковими бактеріями. Встановлено, що підвищені концентрації солей у ґрунті призводять до порушення низки життєво важливих процесів у бобових, а відтак спричиняють значне зниження якісних і кількісних показників урожаю. Наведено результати досліджень, що свідчать про негативний вплив сольового стресу на ріст і розвиток, гормональний статус, фотосинтез і засвоєння вуглецю, осмотичні процеси, підтримання іонного гомеостазу, формування генеративних органів. Особливу увагу приділено впливу засолення на взаємодію рослин із ризобіями у процесі формування бульбочок і подальшому їхньому функціонуванню. Відзначено, що наявність певних адаптаційних механізмів, а також особливості росту та розвитку бобових, зокрема, їхня здатність формувати азотфіксуючі симбіотичні системи з бульбочковими бактеріями, обумовлюють перспективність використання окремих представників цієї родини для ремедіації засолених ґрунтів. З'ясовано важливість підбору солестійких штамів ризобій і підкреслено ефективність поєднання ризобій з іншими агрономічно корисними мікроорганізмами.

Ключові слова: бобові рослини, ризобії, ризосферні мікроорганізми, симбіоз, засолення, солестійкість



ВСТУП

Одним із найшкодочинніших абіотичних стресових факторів, що обмежують ріст рослин і їхню урожайність, а також знижують родючість ґрунтів, є засолення. Близько 20 % сільськогосподарських угідь піддаються впливу сольового стресу, і цей показник постійно зростає в усьому світі (Anwar & Kim, 2020), причому через глобальні кліматичні зміни негативні наслідки його дії посилюються, що стає загрозою продовольчій безпеці багатьох країн. Передбачають, що до 2050 р. буде спостерігатися погіршення стану половини орних земель у світі через збільшення вмісту в них солей (Nachshon, 2018).

Засолення суттєво впливає на ріст і розвиток рослин, спричиняючи безліч негативних змін, зокрема, призводить до зменшення об'єму води, яка абсорбується кореневою системою, що зумовлює дефіцит поживних речовин (Nayak *et al.*, 2020; van Zelm *et al.*, 2020), дезорганізацію мембран, порушення клітинного поділу, синтезу білків і фотосинтетичних процесів, збільшення кількості токсичних іонів у тканинах, ферментативні розлади (Al Hassan *et al.*, 2016; Anwar *et al.*, 2022; Choudhury *et al.*, 2017; Hussain *et al.*, 2017; Yang & Guo, 2018; Zhao *et al.*, 2021). Сольовий стрес спричиняє серйозний дисбаланс іонів і зміни в активності великої кількості генів, зокрема, тих, які беруть участь у регуляції синтезу хлорофілу, фотосинтетичних процесів, антиоксидантних ензимів і гормонів (Xu *et al.*, 2022). Припускають (Isayenkov, 2012), що молекулярні механізми контролю іонного гомеостазу та сигнальні процеси сольового стресу є дуже подібними для всіх представників рослинного царства, однак адаптаційні можливості та системи регуляції солестійкості у глікофітів набагато слабші. Загалом глікофіти забезпечують стійкість до сольового стресу за допомогою трьох головних механізмів, що діють як окремо один від одного, так і узгоджено. Це запобігання поглинанню токсичних іонів, компартменталізація токсичних іонів у менш важливі та фотосинтетично неактивні тканини рослин і підтримування високого рівня іонів калію стосовно натрію. Водночас спостерігають генетичну мінливість за солестійкістю, що залежить від виду, а також від сорту рослини. Зважаючи на це, актуальними на сьогодні є дослідження реакції різних рослин на дію підвищених концентрацій солей, вивчення механізмів адаптації та пошук способів підвищення їхньої стійкості до цього стресового чинника. Мета нашої роботи – представити результати вивчення впливу засолення на бобові рослини, зокрема, на формування симбіотичних систем із бульбочковими бактеріями, і показати важливість використання симбіотичних взаємозв'язків із мікроорганізмами для підвищення стійкості до засолення та продуктивності рослин цієї родини.

Особливості росту й розвитку бобових рослин за сольового стресу та їхнє значення для відновлення родючості ґрунту. Більшість бобових рослин, особливо зернобобові, досить чутливі до засолення, що призводить до суттєвих втрат урожаю (12–100 %) (Faroq *et al.*, 2017). Наприклад, під впливом сольового стресу спостерігали посилення зморшкуватості насіння нуту звичайного (*Cicer arietinum* L.), зменшення кількості зерен у бобі в машу звичайного (*Vigna radiate* L. Wilczek) та кількості бобів у сої культурної (*Glycine max* (L.) Merr), зниження маси зерна цих культур, а також зміни його якісних показників: олійності у сої культурної, вмісту амінокислот, карбогідратів і полісахаридів у машу звичайного (Ahmed, 2009; Ghassemi-Golezani *et al.*, 2010; Khan *et al.*, 2016; Nadeem *et al.*, 2019; Qados, 2010).

Негативні ефекти засолення у бобових рослин проявляються вже на стадії проростання насіння, а на наступних етапах онтогенезу їхня чутливість до дії сольового стресу зростає (Haileselassie *et al.*, 2012; Ma *et al.*, 2017; Shu *et al.*, 2017). Засолення лімітує ростові процеси у машу звичайного (Sehrawat *et al.*, 2015), сої культурної (Ning *et al.*, 2018), сочевиці звичайної (*Lens culinaris* M.) (Bandeoglu *et al.*, 2004), бобу звичайного (*Vicia faba minor*) (Pitann *et al.*, 2011), що може бути, зокрема, наслідком зниження водного потенціалу в тканинах, а відтак – обмеженого надходження води у клітини, внаслідок чого відбувається закриття продихів, зменшення інтенсивності фотосинтезу та гальмування росту (Nadeem *et al.*, 2019). Зниження активності фотосинтезу в бобових рослин за дії сольового стресу також пов'язують зі структурними пошкодженнями, зниженням вмісту фотосинтетичних пігментів, флуоресценції хлорофілу (Do *et al.*, 2018, Khan *et al.*, 2015).

Відомо, що засолення впливає на вибіркове поглинання поживних речовин, їхнє акумулювання і транспортування у рослинах. Високі концентрації іонів Na^+ і Cl^- у ризосфері спричиняють зменшення кількості поживних речовин у рослині, оскільки ці іони діють на засвоєння інших нутрієнтів: азоту, фосфору, калію, бору, кальцію, цинку, міді, магнію та заліза (El Sayed, 2011; Yadav *et al.*, 1989). Шкідлива дія сольового стресу на рослину може відбуватися через дисбаланс іонів, головним чином K^+ та Ca^{2+} . Аби успішно вижити в середовищі засолення, рослина мусить підтримувати порівняно високі концентрації цих іонів. Високий вміст солі зменшує концентрації Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} та інших катіонів, які відіграють життєво важливу роль у фотосинтетичній активності рослин (Torabian *et al.*, 2018). Для прикладу, суттєве зниження співвідношення Na^+/K^+ , що спостерігали у машу звичайного (Nandwal *et al.*, 2000) і нуту звичайного (Garg & Bhandari, 2016), внаслідок конкурентного надходження Na^+ та потоку іонів K^+ призводило до дефіциту K^+ і значних втрат урожаю. У сої культурної стрес засолення знижував акумуляцію Ca^{2+} , K^+ і Mg^{2+} у листках (Essa, 2002). Варто зазначити, що фізіологічний вплив засолення ґрунту на рослини залежить від складу та концентрації розчинених солей, а також від виду рослин і стадії їхнього розвитку (Abiala *et al.*, 2018).

Питання реакції бобових на сольовий стрес, а також дослідження способів підвищення їхньої солестійкості на сьогодні є надзвичайно актуальним, з огляду на перспективність використання цих рослин для біоремедіації засоленних ґрунтів. Бобові здавна вирощували не тільки як джерело кормів для тварин і продуктів харчування для людини, але й із метою підвищення родючості ґрунту. Вони сприяють колообігу поживних речовин, залученню у ґрунт вуглецевих сполук, азоту й інших нутрієнтів, посилюють діяльність мікроорганізмів, підвищують родючість і мінімізують ерозію, знижують кислотність. Отже, бобові можуть сприяти поширенню інших видів рослин (Abdelrahman *et al.*, 2018; Abiala *et al.*, 2018; de Moura *et al.*, 2016; Lange *et al.*, 2015). І хоча ці культури вирощують багато років, використовувати їхні можливості у відновленні деградованих засоленних ґрунтів було запропоновано порівняно недавно. Для прикладу, люцерна посівна (*Medicago sativa* (L.)) проявляє високу толерантність до сольового стресу (до 400 мМ NaCl) і водночас є хорошим азотфіксатором із добре розвинутою кореневою системою (Munns & Tester, 2008); солодушка (*Hedysarum comosum* Vahl.), рослина пасовищ, здатна збільшувати накопичення іонів натрію у коренях і підтримувати високий рівень симбіотичної азотфіксації та вмісту азоту у ґрунті в умовах засолення (100 мМ NaCl); деревні бобові акація нільська (*Acacia nilotica* L.) і левкена (*Leucaena leucophela*),

які використовують для годівлі тварин, ростуть і фіксують азот в умовах засолення (90 mM NaCl) (Abiala *et al.*, 2018). Сою культурну також розглядають як перспективну культуру для рекультивативації ґрунтів, деградованих сіллю (Cao *et al.*, 2018). Окремі бобові рослини мають високу здатність поглинати іони солей, водночас зберігаючи порівняно високу активність азотфіксації, що є важливим механізмом відновлення засолених ґрунтів (Abiala *et al.*, 2018). Окрім значного внеску бобових у поглинання іонів солі, їхнє вирощування позитивно впливає на хімічні, фізичні та біологічні властивості засоленого ґрунту, у цьому разі ефективність використання їх залежить, головню, від виду бобової культури. Кормові бобові є ефективнішими для поліпшення ґрунту, ніж однорічні зернові бобові, завдяки тривалішому періоду росту, потужнішій кореневій системі, а також інтенсивнішій азотфіксації, що дає їм змогу залишати у ґрунтах більшу кількість органічної речовини й азоту. Добре розвинений корінь бобових забезпечує кращу пористість ґрунту, а відтак – кращу аерацію, рух і відтік води навіть у глибших шарах. Окрім того, кореневі екsudати бобових рослин, серед них карбогідрати і протеїни, можуть збільшувати ґрунтові агрегації та зменшувати ерозію ґрунту й утворення ґрунтової кірки, знижувати його кислотність і таким чином суттєво впливати на процеси ґрунтоутворення, зокрема, в природних екосистемах лук (Bardgett *et al.*, 2014; Kozlovskyy & Romanyuk, 2021; van Eerd *et al.*, 2013). Солестійкість бобових пов'язують зі змінами низки молекулярних, біохімічних і фізіологічних процесів, зокрема, секвеструванням Na^+ , індукуванням антиоксидантних стресових реакцій та акумулюванням осмопротекторів (Bargaz *et al.*, 2015; Zhang *et al.*, 2017). Адаптивні відповіді на сольовий стрес при цьому включають синтез і накопичення осмопротекторів (бетаїни, третинні сульфонієві сполуки, поліколи, цукри й амінокислоти та ін.), які підвищують осмотичний тиск у цитоплазмі, стабілізують білки та мембрани, а також забезпечують збільшення поглинання іонів натрію (Karmakar *et al.*, 2015).

Формування та функціонування бобово-ризобіальних симбіотичних систем в умовах засолення. Характерною особливістю бобових, що відрізняє їх від інших рослин, є здатність формувати симбіотичні системи з бульбочковими бактеріями, завдяки чому відбувається фіксація молекулярного азоту з повітря і таким чином покращується азотне живлення рослин. Симбіоз є складним процесом, який передбачає колонізацію кореня рослини-хазяїна бульбочковими бактеріями (інфекція), розвиток симбіотичних органів, що фіксують азот (органогенез бульбочок) і подальше їхнє функціонування. Отже, між ризобіями, що перетворюються на бактероїди, та рослиною-хазяїном формується своєрідний простір взаємодії (інтерфейс), завдяки якому відбувається активний обмін (Banasiak *et al.*, 2021): ризобії використовують вуглець і енергетичні ресурси рослини, натомість забезпечуючи її фіксованим азотом (Wang *et al.*, 2016). Крім того, ризобії виділяють хімічні молекули, що можуть впливати на ріст і продуктивність макросимбіонта, зокрема, фітогормони, рибофлавін, люміхром, ліпохітоолігосахаридні *nod*-фактори, водень, що продукується нітрогеназою (Ali *et al.*, 2017).

Процес нодуляції надзвичайно чутливий до сольового стресу (Chakraborty & Harris, 2022). Симбіоз бобових і ризобій пригнічується концентрацією солі, недостатньою для інгібування росту окремих партнерів (Domínguez-Ferrerías *et al.*, 2006; Zahran, 1999). Навіть помірне засолення, яке може мати незначний ефект на ріст рослин, суттєво впливає на ранні стадії утворення бульбочок (Chakraborty

et al., 2021). Взаємодія між рослиною та бактеріями у симбіозі є більш вразливою, ніж інші аспекти фізіології рослин і мікроорганізмів, тому навіть помірне засолення є шкідливим для симбіозу. Воно впливає на розпізнавання партнерів, початковий молекулярний діалог між ними та колонізацію рослини-хазяїна (Chakraborty & Harris, 2022). Порушення інфекційного процесу може відбуватися вже на первинному етапі, зокрема, через несприятливий вплив засолення на стан і властивості ризобій у ризосфері бобових рослин (Ventorino *et al.*, 2012). Підвищений вміст солі у ґрунті спричиняє у більшості бобових пригнічення росту і зменшення кількості корневих волосків, які є потенційними сайтами інфікування рослини ризобіями (Miransari & Smith, 2009), у цьому разі визначальну роль можуть відігравати зміни вмісту Ca^{2+} у коренях рослин (Bruning & Rozema, 2013). Сольовий стрес порушує взаємодію між рослиною і мікроорганізмами, перешкоджає індукованій ризобіями деформації корневих волосків, проникненню бактерій у рослину та блокує їхнє вивільнення з інфекційних ниток, що призводить до утворення незначної кількості неефективних бульбочок зі зниженою активністю леггемоглобіну та нітрогенази (Borucki & Sujkowska, 2008; Singleton & Bohlool, 1984; Zahran, 1999). Бульбочки, що утворюються за таких умов, можуть відзначатися підвищеним вмістом активних форм кисню й ознаками некротичних процесів (Bruning & Rozema, 2013). З часом під впливом засолення змінюється структура бульбочок, відбувається їхнє передчасне старіння, що перешкоджає поглинанню азоту й азотфіксації та лімітує надходження цього елемента в рослини (Nadeem *et al.*, 2019). Це може бути обумовлено, зокрема, збільшенням продукування етилену під впливом засолення, яке пригнічує нодуляцію і призводить до старіння бульбочок (Glick, 2004; Glick *et al.*, 2007). Водночас варто зауважити також і можливість збільшення загальної сухої маси бульбочок у бобових, виявленої, зокрема, у гороху посівного (*Pisum sativum* L.) (Borucki & Sujkowska, 2008) та нуту звичайного (Soussi *et al.*, 1998) за умов засолення від низького до помірного рівня.

Припускають (Swaraj & Bishnai, 1999), що зниження азотфіксувальної активності бобово-ризобіальних симбіотичних систем, яке відбувається за дії сольового стресу, обумовлене зниженням вмісту леггемоглобіну, порушенням дихальних процесів, зменшенням вмісту малатів у бульбочках і фотосинтатів. Крім того, в умовах засолення знижується активність каталази й аскорбатпероксидази та вміст антиоксидантів. Водночас уявлення про те, що порушення функціонування бульбочок пов'язане зі зниженням фотосинтетичної активності рослини-хазяїна було піддане сумніву результатами експериментів із розщепленням коренем, проведених із використанням сої звичайної (Singleton & Bohlool, 1984).

Відзначено (Ashraf & Bashir, 2003), що здатність протидіяти осмотичному стресу, викликаному засоленням, шляхом виробництва та накопичення осмолітів, таких як пролін і гліцинбетаїн, підвищує активність функціонування бульбочок в умовах засолення. Вважають (Bruning & Rozema, 2013), що реакція процесу фіксації азоту на дію підвищеного вмісту солей у ґрунті є показником загальної стійкості бобових до даного стресу.

Використання солестійких мікроорганізмів як важливий елемент технології вирощування бобових рослин. Із метою максимальної реалізації потенціалу продуктивності бобових за дії сольового стресу та для ефективного використання їх для ремедіації засолених ґрунтів важливим елементом технології вирощування

цих культур є їхня інокуляція бульбочковими бактеріями, здатними виживати за несприятливих умов і ефективно взаємодіяти з рослиною-хазяїном. Під впливом сольового стресу ризобії змінюються й адаптуються, водночас можуть зазнавати морфологічних перебудов, зокрема, щодо розміру клітин або модифікацій патернів позаклітинних полісахаридів і ліпополісахаридів (Ventorino *et al.*, 2012). Уважають (Pereira *et al.*, 2008), що стійкість до солі у ризобій може визначатися плазмідними генами, тому ця властивість може швидко переноситися від толерантних до чутливих бактерій. Отже, позахромосомні генетичні елементи і зміни в експресії генів (López-Gómez *et al.*, 2013) можуть сприяти механізму адаптації та виживанню ризобій у засолених ґрунтах. Цю гіпотезу підтвердили дослідження, в яких показано, що горизонтальна передача специфічних генів симбіозу в межах родів ризобій є важливим механізмом, який дає бобовим змогу формувати симбіоз із бактеріями, адаптованими до особливих ґрунтів (Andrew & Andrew, 2017).

Важливість відбору мікосимбіонта у процесі вирощування бобових за умови сольового стресу доведена в низці праць. Наприклад, дослідження ефективності інокуляції сої в умовах засолення ризобіями, що належать до різних родів (*Bradyrhizobium* та *Sinorhizobium (Ensifer)*), виявили позитивний зв'язок між показниками росту сої культурної й азотфіксувальною здатністю інокулянта (Nitawakia *et al.*, 2021), а за сумісного використання різних бактерій встановлено певну перевагу синоризобій в умовах засолення. Рослини люцерни усіченої (*Medicago truncatula* Gaertn), що формували активний симбіоз із ризобіями, краще виживали за дії сольового стресу, мали вищі показники вмісту хлорофілу й фотосинтетичної активності, порівняно з тими, що були інокульовані неактивними штамми або вирощувалися без застосування бульбочкових бактерій. У цьому разі солестійкість рослин була пов'язана з підвищенням активності антиоксидантних ферментів, накопиченням K^+ та зниженням акумулювання Na^+ , а також із наявністю високого вмісту осмолітів (проліну, вільних амінокислот, гліцин бетаїну, розчинних цукрів, білків) та відносного вмісту води (Irshad *et al.*, 2021). Це підтверджує позитивний вплив інокуляції на рослини в умовах засолення через регулювання антиоксидантної системи та підвищення концентрацій речовин-осмолітів. На користь позитивного впливу симбіозу на загальний стан бобової рослини та її стресостійкість свідчить також той факт, що кореневі бульбочки містять набір ферментів і антиоксидантних метаболітів, які запобігають накопиченню активних форм кисню, а відтак і пошкодженню білків, ДНК й ліпідів (Palma *et al.*, 2014).

Ризобії відрізняються між собою за осмотолерантністю, яку можна оцінити за їхньою здатністю рости за різних концентрацій NaCl. Наприклад, *Bradyrhizobium japonicum*, *Rhizobium etli* та *Rhizobium leguminosarum* чутливі до солі, їхній ріст повністю пригнічується за 100 мМ NaCl; *Mesorhizobium huakuii*, *Rhizobium tropici* і *Sinorhizobium fredii* є помірно чутливими, їхній ріст пригнічується за 200 мМ NaCl, тоді як *Sinorhizobium meliloti* і *Agrobacterium tumefaciens* здатні рости за 300 мМ NaCl. *Rhizobium* spp. з бульбочок акації сенегальської (*Acacia senegal*), левкени сизої (*Leucaena leucosephala*) та прозопису чилійського (*Prosopis chilensis*) можуть витримувати до 500 мМ NaCl (Karmakar *et al.*, 2015). Ризобії виживають під час стресу завдяки експресії локусів, які реагують на NaCl, що призводить до накопичення осмопротекторів, посиленого виробництва екзополісахаридів, ферментів, що поглинають АФК, білків теплового шоку та шаперонів (Vriezen *et al.*, 2007). Солестійкість ризобій визначають умови середовища їхнього існування, зокрема,

рівень кислотності, температура, джерела вуглецю і наявність осмопротекторів у ґрунтовому субстраті (Elsheikh, 1998; Velagaleu & Mursh, 1989).

Ще одним дієвим способом обмеження шкідливого впливу сольового стресу на бобові рослини є застосування рістстимулювальних ризобактерій (Ilangumaran & Smith, 2017), які можуть поліпшити стан рослин завдяки стабілізації осморегуляції, продукуванню фітогормонів, покращенню перебігу процесів фотосинтезу, нодуляції, а також росту коренів, що оптимізує надходження у рослини води й поживних речовин.

Дедалі більше даних з'являється про ефективність сумісного використання різних мікроорганізмів для підвищення стійкості бобових рослин до засолення (Hasanuzzaman *et al.*, 2022). Відзначено, що подвійна інокуляція насіння сої рістстимулювальними ризобактеріями *Pseudomonas* та бульбочковими бактеріями сприяє збільшенню кількості бульбочок, порівняно зі звичною інокуляцією лише ризобіями, водночас продукування індолілоцтової кислоти штамми *Pseudomonas* сприяє розростанню кореневої системи, а відтак – і живленню рослин та формуванню ефективних бульбочок (Egamberdieva *et al.*, 2013). З'ясовано, що в умовах засолення використання арбускулярних мікоризних грибів зумовлює покращення структури кореневої системи сої, процесів формування бульбочок і живлення, збільшення вмісту хлорофілу й ауксину, водночас зменшується утворення пероксиду водню та гальмується пошкодження мембран під впливом стресу (Hashem *et al.*, 2019).

ВИСНОВКИ

Встановлено, що засолення негативно впливає на ріст і розвиток бобових рослин і їхню взаємодію з ризобіями, що призводить до суттєвого зниження якісних і кількісних показників урожаю рослин. Водночас морфологічні та фізіологічні особливості бобових культур, зокрема, здатність формувати симбіотичні азотфіксуювальні системи з бульбочковими бактеріями, забезпечують їм можливості адаптації до сольового стресу, а також дають змогу використовувати їх для відновлення засолених ґрунтів. У цьому разі поєднання солестійких штамів бульбочкових бактерій з іншими корисними мікроорганізмами може бути ефективнішим, а відтак – і перспективнішим заходом, ніж традиційна моноінокуляція рослин ризобіями.

COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS

Conflict of Interest: The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Conceptualization, [M.L.; K.S.]; methodology, [-]; validation, [-]; formal analysis, [M.L.; K.S.; O.I.]; investigation, [M.L.; K.S.; O.I.]; resources, [-]; data curation, [-]; writing – original draft preparation, [M.L.; K.S.; O.I.]; writing – review and editing, [M.L.; K.S.]; visualization, [-] supervision, [M.L.; K.S.]; project administration, [K.S.]; funding acquisition, [-].

All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

REFERENCES

- Abdelrahman, M., Jogaiah, S., Burritt, D. J., & Tran, L. P. (2018). Legume genetic resources and transcriptome dynamics under abiotic stress conditions. *Plant, Cell & Environment*, 41(9), 1972–1983. doi:10.1111/pce.13123
[Crossref](#) • [PubMed](#) • [Google Scholar](#)
- Abiala, M. A., Abdelrahman, M., Burritt, D. J., & Tran, L. P. (2018). Salt stress tolerance mechanisms and potential applications of legumes for sustainable reclamation of salt-degraded soils. *Land Degradation & Development*, 29(10), 3812–3822. doi:10.1002/ldr.3095
[Crossref](#) • [Google Scholar](#)
- Ahmed, S. (2009). Effect of soil salinity on the yield and yield components of mungbean. *Pakistan Journal of Botany*, 41(1), 263–268.
[Google Scholar](#)
- Al Hassan, M., Morosan, M., López-Gresa, M., Prohens, J., Vicente, O., & Boscaiu, M. (2016). Salinity-Induced variation in biochemical markers provides insight into the mechanisms of salt tolerance in common (*Phaseolus vulgaris*) and runner (*P. coccineus*) beans. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(9), 1582. doi:10.3390/ijms17091582
[Crossref](#) • [PubMed](#) • [PMC](#) • [Google Scholar](#)
- Ali, M. A., Naveed, M., Mustafa, A., & Abbas, A. (2017). The good, the bad, and the ugly of rhizosphere microbiome. In V. Kumar, M. Kumar, S. Sharma, & R. Prasad (Eds.), *Probiotics and plant health* (pp. 253–290). Springer: Singapore. doi:10.1007/978-981-10-3473-2_11
[Crossref](#) • [Google Scholar](#)
- Andrew, M., & Andrew, M. E. (2017). Specificity in legume-rhizobia symbiosis. *International Journal of Molecular Sciences*, 18, 705. doi:10.3390/ijms18040705
[Crossref](#) • [PubMed](#) • [PMC](#) • [Google Scholar](#)
- Anwar, A., & Kim, J. K. (2020). Transgenic breeding approaches for improving abiotic stress tolerance: recent progress and future perspectives. *International Journal of Molecular Sciences*, 21 (8). doi:10.3390/ijms21082695
[Crossref](#) • [PubMed](#) • [PMC](#) • [Google Scholar](#)
- Anwar, A., Zhang, Sh., He, I., & Gao, J. (2022). Understanding the physiological and molecular mechanism of salinity stress tolerance in plants. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 50(4), 12959. doi:10.15835/nbha50412959
[Crossref](#) • [Google Scholar](#)
- Ashraf, M., & Bashir, A. (2003). Salt stress induced changes in some organic metabolites and ionic relations in nodules and other plant parts of two crop legumes differing in salt tolerance. *Flora – Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 198(6), 2003, 486–498. doi:10.1078/0367-2530-0012
[Crossref](#) • [Google Scholar](#)
- Banasiak, J., Jamruszka, T., Murray, J. D., & Jasinski, M. (2021). A roadmap of plant membrane transporters in arbuscular mycorrhizal and legume-rhizobium symbioses. *Plant Physiology*, 187(4), 2071–2091. doi:10.1093/plphys/kiab280
[Crossref](#) • [PubMed](#) • [PMC](#) • [Google Scholar](#)
- Bandoğlu, E., Eyidoğan, F., Yücel, M., & Öktem, H. A. (2004). Antioxidant responses of shoots and roots of lentil to NaCl-salinity stress. *Plant Growth Regulation*, 42(1), 69–77. doi:10.1023/b:grow.0000014891.35427.7b
[Crossref](#) • [Google Scholar](#)
- Bardgett, R. D., Mommer, L., & De Vries, F. T. (2014). Going underground: root traits as drivers of ecosystem processes. *Trends in Ecology & Evolution*, 29(12), 692–699. doi:10.1016/j.tree.2014.10.006
[Crossref](#) • [PubMed](#) • [Google Scholar](#)
- Bargaz, A., Zaman-Allah, M., Farissi, M., Lazali, M., Drevon, J.-J., Maougal, R. T., & Georg, C. (2015). Physiological and molecular aspects of tolerance to environmental constraints in

- grain and forage legumes. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(8), 18976–19008. doi:10.3390/ijms160818976
[Crossref](#) • [PubMed](#) • [PMC](#) • [Google Scholar](#)
- Borucki, W., & Sujkowska, M. (2007). The effects of sodium chloride-salinity upon growth, nodulation, and root nodule structure of pea (*Pisum sativum* L.) plants. *Acta Physiologiae Plantarum*, 30(3), 293–301. doi:10.1007/s11738-007-0120-8
[Crossref](#) • [Google Scholar](#)
- Bruning, B., & Rozema, J. (2013). Symbiotic nitrogen fixation in legumes: perspectives for saline agriculture. *Environmental and Experimental Botany*, 92, 134–143. doi:10.1016/j.envexpbot.2012.09.001
[Crossref](#) • [Google Scholar](#)
- Cao, D., Li, Y., Liu, B., Kong, F., & Tran, L. S. P. (2018). Adaptive mechanisms of soybean grown on salt-affected soils. *Land Degradation & Development*, 29(4), 1054–1064. doi:10.1002/ldr.2754
[Crossref](#) • [Google Scholar](#)
- Chakraborty, S., & Harris, J. M. (2022). At the crossroads of salinity and rhizobium-legume symbiosis. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 35(7), 540–553. doi:10.1094/mpmi-09-21-0231-fi
[Crossref](#) • [PubMed](#) • [Google Scholar](#)
- Chakraborty, S., Driscoll, H. E., Abrahamte, J. E., Zhang, F., Fisher, R. F., & Harris, J. M. (2021). Salt stress enhances early symbiotic gene expression in *Medicago truncatula* and induces a stress-specific set of rhizobium-responsive genes. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 34(8), 904–921. doi:10.1094/mpmi-01-21-0019-r
[Crossref](#) • [PubMed](#) • [PMC](#) • [Google Scholar](#)
- Choudhury, F. K., Rivero, R. M., Blumwald, E., & Mittler, R. (2017). Reactive oxygen species, abiotic stress and stress combination. *Plant Journal*, 90(5), 856–867. doi:10.1111/tj.13299
[Crossref](#) • [PubMed](#) • [Google Scholar](#)
- Do, T. D., Vuong, T. D., Dunn, D., Smothers, S., Patil, G., Yungbluth, D. C., Chen, P., Scaboo, A., Xu, D., Carter, T. E., Nguyen, H. T., & Grover Shannon, J. (2018). Mapping and confirmation of loci for salt tolerance in a novel soybean germplasm, Fiskeby III. *Theoretical and Applied Genetics*, 131(3), 513–524. doi:10.1007/s00122-017-3015-0
[Crossref](#) • [PubMed](#) • [Google Scholar](#)
- Domínguez-Ferreras, A., Pérez-Arnedo, R., Becker, A., Olivares, J., Soto, M. J., & Sanjuán, J. (2006). Transcriptome profiling reveals the importance of plasmid pSymB for osmoadaptation of *Sinorhizobium meliloti*. *Journal of Bacteriology*, 188 (21), 7617–7625. doi:10.1128/jb.00719-06
[Crossref](#) • [PubMed](#) • [PMC](#) • [Google Scholar](#)
- Egamberdieva, D., Jabborova, D., & Wirth, S. (2013). Alleviation of salt stress in legumes by co-inoculation with *Pseudomonas* and *Rhizobium*. In N. K. Arora (Ed.), *Plant microbe symbiosis: fundamentals and advances* (pp. 291–303). Springer India. doi:10.1007/978-81-322-1287-4_11
[Crossref](#) • [Google Scholar](#)
- El Sayed, H. E. S. (2011). Influence of NaCl and Na₂SO₄ treatments on growth development of broad bean (*Vicia faba* L.) plant. *Journal of Life Sciences*, 5(7), 513–523.
[Google Scholar](#)
- Elsheikh, E. A. E., & Wood, M. (1990). Effect of salinity on growth, nodulation and nitrogen yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Journal of Experimental Botany*, 41(10), 1263–1269. doi:10.1093/jxb/41.10.1263
[Crossref](#) • [Google Scholar](#)
- Essa, T. A. (2002). Effect of salinity stress on growth and nutrient composition of three soybean (*Glycine max* L. Merrill) cultivars. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 188(2), 86–93. doi:10.1046/j.1439-037X.2002.00537.x
[Crossref](#) • [Google Scholar](#)

- Farooq, M., Gogoi, N., Hussain, M., Barthakur, S., Paul, S., Bharadwaj, N., Migdadi, H. M., Alghamdi, S. S., & Siddique, K. H. M. (2017). Effects, tolerance mechanisms and management of salt stress in grain legumes. *Plant Physiology and Biochemistry*, 118, 199–217. doi:10.1016/j.plaphy.2017.06.020
[Crossref](#) • [PubMed](#) • [Google Scholar](#)
- Garg, N. & Bhandari, P. (2016). Silicon nutrition and mycorrhizal inoculations improve growth, nutrient status, K⁺/Na⁺ ratio and yield of *Cicer arietinum* L. genotypes under salinity stress. *Plant Growth Regulation*, 78(3), 371–387. doi:10.1007/s10725-015-0099-x
[Crossref](#) • [Google Scholar](#)
- Ghassemi-Golezani, K., Taifeh-Noori, M., & Oustan, S. (2010). Oil and protein accumulation in soybean grains under salinity stress. *Notulae Scientia Biologicae*, 2(2), 64–67. doi:10.15835/nsb224590
[Crossref](#) • [Google Scholar](#)
- Glick, B. R. (2004). Changes in plant growth and development by rhizosphere bacteria that modify plant ethylene levels. *Acta Horticulturae*, 631, 265–273. doi:10.17660/actahortic.2004.631.33
[Crossref](#) • [Google Scholar](#)
- Glick, B. R., Cheng, Z., Czarny, J., & Duan, J. (2007). Promotion of plant growth by ACC deaminase-producing soil bacteria. *European Journal of Plant Pathology*, 119(3), 329–339. doi:10.1007/s10658-007-9162-4
[Crossref](#) • [Google Scholar](#)
- Haileselasie, T. H., & Teferii, G. (2012). The effect of salinity stress on germination of chickpea (*Cicer arietinum* L.) land race of Tigray. *Current Research Journal of Biological Sciences*, 4(5), 578–583.
[Google Scholar](#)
- Hasanuzzaman, M., Parvin, K., Anee, T. I., Awal, A., & Masud, Ch. (2022). Salt stress responses and tolerance in soybean. In M. Hasanuzzaman, K. Nahar (Ed.), *Plant stress physiology – perspectives in agriculture*. IntechOpen. doi:10.5772/intechopen.102835
[Crossref](#) • [Google Scholar](#)
- Hashem, A., Abd Allah, E. F., Alqarawi, A. A., Wirth, S., & Egamberdieva, D. (2019). Comparing symbiotic performance and physiological responses of two soybean cultivars to arbuscular mycorrhizal fungi under salt stress. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(1), 38–48. doi:10.1016/j.sjbs.2016.11.015
[Crossref](#) • [PubMed](#) • [PMC](#) • [Google Scholar](#)
- Hussain, S., Zhang, J., Zhong, C., Zhu, L., Cao, X., Yu, S., Allen Bohr, J., Hu, J., & Jin, Q. (2017). Effects of salt stress on rice growth, development characteristics, and the regulating ways: a review. *Journal of Integrative Agriculture*, 16(11), 2357–2374. doi:10.1016/S2095-3119(16)61608-8
[Crossref](#) • [Google Scholar](#)
- Ilangumaran, G., & Smith, D. L. (2017). Plant growth promoting rhizobacteria in amelioration of salinity stress: a systems biology perspective. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1768. doi:10.3389/fpls.2017.01768
[Crossref](#) • [PubMed](#) • [PMC](#) • [Google Scholar](#)
- Irshad, A., Rehman, R. N. U., Abrar, M. M., Saeed, Q., Sharif, R., & Hu, T. (2021). Contribution of rhizobium–legume symbiosis in salt stress tolerance in *Medicago truncatula* evaluated through photosynthesis, antioxidant enzymes, and compatible solutes accumulation. *Sustainability*, 13(6), 3369. doi:10.3390/su13063369
[Crossref](#) • [Google Scholar](#)
- Ilsayenkov, S. V. (2012). Physiological and molecular aspects of salt stress in plants. *Cytology and Genetics*, 46(5), 302–318. doi:10.3103/s0095452712050040
[Crossref](#) • [Google Scholar](#)

- Karmakar, K., Rana, A., Rajwar, A., Sahgal, M., & Johri, B. N. (2015). Legume-rhizobia symbiosis under stress. In N. K. Arora (Ed.), *Plant microbes symbiosis: applied facets* (pp. 241–258). Springer India. doi:10.1007/978-81-322-2068-8_12
[Crossref](#) • [Google Scholar](#)
- Khan, H. A., Siddique, K. H. M., Munir, R., & Colmer, T. D. (2015). Salt sensitivity in chickpea: growth, photosynthesis, seed yield components and tissue ion regulation in contrasting genotypes. *Journal of Plant Physiology*, 182, 1–12. doi:10.1016/j.jplph.2015.05.002
[Crossref](#) • [PubMed](#) • [Google Scholar](#)
- Khan, M. S. A., Karim, M. A., Haque, M. M., Islam, M. M., Karim, A. J. M. S., & Mian, M. A. K. (2016). Influence of salt and water stress on growth and yield of soybean genotypes. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, 39(2), 167–180.
[Google Scholar](#)
- Kozlovskyy, V., & Romanyuk, N. (2021). The impact of pine self-afforestation on podzolization process in semi-natural grassland areas of Volyn Polissya (Ukraine). *Studia Biologica*, 15(2), 47–62. doi:10.30970/sbi.1502.651
[Crossref](#) • [Google Scholar](#)
- Lange, M., Eisenhauer, N., Sierra, A. C., Bessler, H., Engels, C., Griffiths, I. R., & Gleixner, G. (2015). Plant diversity increases soil microbial activity and soil carbon storage. *Nature Communications*, 6(1), 6707. doi:10.1038/ncomms7707
[Crossref](#) • [PubMed](#) • [Google Scholar](#)
- López-Gómez, M., Palma, F., & Lluch, C. (2013). Strategies of salt tolerance in the *rhizobia*-legume symbiosis. In M. B. R. González & J. Gonzalez-López (Eds.), *Beneficial plant-microbial interactions: ecology and applications* (pp. 99–121). NW, USA: CRC Press. doi:10.1201/b15251
[Crossref](#) • [Google Scholar](#)
- Ma, Q., Kang, J., Long, R., Zhang, T., Xiong, J., Zhang, K., Wang, T., Yang, Q., & Sun, Y. (2017). Comparative proteomic analysis of alfalfa revealed new salt and drought stress-related factors involved in seed germination. *Molecular Biology Reports*, 44(3), 261–272. doi:10.1007/s11033-017-4104-5
[Crossref](#) • [PubMed](#) • [Google Scholar](#)
- Miransari, M., & Smith, D.L. (2009). Alleviating salt stress on soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) – *Bradyrhizobium japonicum* symbiosis, using signal molecule genistein. *European Journal of Soil Biology*, 45(2), 146–152. doi:10.1016/j.ejsobi.2008.11.002
[Crossref](#) • [Google Scholar](#)
- Moura, G. G. D. de, Armas, R. D. de, Meyer, E., Giachini, A. J., Rossi, M. J., & Soares, C. R. F. S. (2016). Rhizobia isolated from coal mining areas in the nodulation and growth of leguminous trees. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 40, e0150091. doi:10.1590/18069657r bcs20150091
[Crossref](#) • [Google Scholar](#)
- Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biotechnology*, 59(1), 651–681. doi:10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911
[Crossref](#) • [PubMed](#) • [Google Scholar](#)
- Nachshon, U. (2018). Cropland soil salinization and associated hydrology: trends, processes and examples. *Water*, 10(8), 1030. doi:10.3390/w10081030
[Crossref](#) • [Google Scholar](#)
- Nadeem, M., Li, J., Yahya, M., Wang, M., Ali, A., Cheng, A., Wang, X., & Ma, Ch. (2019). Grain legumes and fear of salt stress: focus on mechanisms and management strategies. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(4), 799. doi:10.3390/ijms20040799
[Crossref](#) • [PubMed](#) • [PMC](#) • [Google Scholar](#)
- Nandwal, A. S., Godara, M., Kamboj, D. V., Kundu, B. S., Mann, A., Kumar, B., & Sharma, S. K. (2000). Nodule functioning in trifoliolate and pentafoliolate mungbean genotypes as influenced by salinity. *Biologia Plantarum*, 43, 459–462. doi:10.1023/A:1026704107525
[Crossref](#) • [Google Scholar](#)

- Nayak, S. S., Pradhan, S., Sahoo, D., & Parida, A. (2020). *De novo* transcriptome assembly and analysis of *Phragmites karka*, an invasive halophyte, to study the mechanism of salinity stress tolerance. *Scientific Reports*, 10, 5192. doi:10.1038/s41598-020-61857-8
[Crossref](#) • [PubMed](#) • [PMC](#) • [Google Scholar](#)
- Ning, L., Kan, G., Shao, H., & Yu, D. (2018). Physiological and transcriptional responses to salt stress in salt-tolerant and salt-sensitive soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) seedlings. *Land Degradation and Development*, 29(8), 2707–2719. doi:10.1002/ldr.3005
[Crossref](#) • [Google Scholar](#)
- Nitawakia, Y., Kitabayashib, H., Masonc, M. L. T., Yamamoto, A., & Saekid, Y. (2021). Effect of salt stress on soybean growth and nodulation under inoculation with soybean rhizobia. *Soil Science and Plant Nutrition*, 67(2), 103–113. doi:10.1080/00380768.2020.1860644
[Crossref](#) • [Google Scholar](#)
- Palma, F., López-Gómez, M., Tejera, N. A., & Lluch, C. (2014). Involvement of abscisic acid in the response of *Medicago sativa* plants in symbiosis with *Sinorhizobium meliloti* to salinity. *Plant Sciences*, 223, 16–24. doi:10.1016/j.plantsci.2014.02.005
[Crossref](#) • [PubMed](#) • [Google Scholar](#)
- Pereira, S. I. A., Lima, A. I. G., & Figueira, E. M. A. P. (2008). *Rhizobium leguminosarum* isolated from agricultural ecosystems subjected to different climatic influences: the relation between genetic diversity, salt tolerance and nodulation efficiency. In T.-X. Liu (Ed.), *Soil ecology research developments* (pp. 247–263). NY, USA: Nova Science
[Google Scholar](#)
- Pitann, B., Kranz, T., Zörb, C., Walter, A., Schurr, U., & Mühling, K. H. (2011). Apoplastic pH and growth in expanding leaves of *Vicia faba* under salinity. *Environmental and Experimental Botany*, 74, 31–36. doi:10.1016/j.envexpbot.2011.04.015
[Crossref](#) • [Google Scholar](#)
- Qados, A. M. S. A. (2010). Effect of arginine on growth, nutrient composition, yield and nutritional value of mungbean plants grown under salinity stress. *Nature and Science*, 8(7), 30–42.
[Google Scholar](#)
- Sehrawat, N., Yadav, M., Bhat, K., Sairam, R., & Jaiwal, P. (2015). Effect of salinity stress on mungbean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek) during consecutive summer and spring seasons. *Journal of Agricultural Sciences Belgrade*, 60(1), 23–32. doi:10.2298/JAS1501023S
[Crossref](#) • [Google Scholar](#)
- Shu, K., Qi, Y., Chen, F., Meng, Y., Luo, X., Shuai, H., Zhou, W., Ding, J., Du, J., Liu, J., Yang, F., Wang, Q., Liu, W., Yong, T., Wang, X., Feng, Y., & Yang, W. (2017). Salt stress represses soybean seed germination by negatively regulating GA biosynthesis while positively mediating ABA biosynthesis. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1372. doi:10.3389/fpls.2017.01372
[Crossref](#) • [PubMed](#) • [PMC](#) • [Google Scholar](#)
- Singleton, P. W., & Bohlool, B. B. (1984). Effect of salinity on nodule formation by soybean. *Plant Physiology*, 74 (1), 72–76. doi:10.1104/pp.74.1.72
[Crossref](#) • [PubMed](#) • [PMC](#) • [Google Scholar](#)
- Soussi, M., Ocana, A., & Lluch, C. (1998). Effects of salt stress on growth, photosynthesis and nitrogen fixation in chick-pea (*Cicer arietinum* L.). *Journal of Experimental Botany*, 49(325), 1329–1337. doi:10.1093/jxb/49.325.1329
[Crossref](#) • [Google Scholar](#)
- Swaraj, K., & Bishnai, N. R. (1999). Effect of salt stress on nodulation and nitrogen fixation in legumes. *Indian Journal of Experimental Biology*, 37(9), 843–848.
[Google Scholar](#)
- Torabian, S., Farhangi-Abriz, S., & Rathjen, J. (2018). Biochar and lignite affect H⁺-ATPase and H⁺-PPase activities in root tonoplast and nutrient contents of mungbean under salt stress. *Plant Physiology and Biochemistry*. 129, 141–149. doi: 10.1016/j.plaphy.2018.05.030
[Crossref](#) • [PubMed](#) • [Google Scholar](#)

- Van Eerd, L. L., Congreves, K. A., Hayes, A., Verhallen, A., & Hooker, D. C. (2013). Long-term tillage and crop rotation effects on soil quality, organic carbon, and total nitrogen. *Canadian Journal of Soil Science*, 94(3), 303–315. doi:10.4141/cjss2013
[Crossref](#) • [Google Scholar](#)
- van Zelm, E., Zhang, Y., & Testerink, C. (2020). Salt tolerance mechanisms of plants. *Annual Review in Plant Biology*, 71(1), 403–433. doi:10.1146/annurev-arplant-050718-100005
[Crossref](#) • [PubMed](#) • [Google Scholar](#)
- Velagaleu, R. R., & Mursh, S. (1989). Influence of host cultivars and Bradyrhizobium strains on the growth and symbiotic performance of soybean under salt stress. *Plant and Soil*, 119(1), 133–138. doi:10.1007/bf02370277
[Crossref](#) • [Google Scholar](#)
- Ventorino, V., Caputo, R., de Pascale, S., Fagnano, M., Pepe, O., & Moschetti G. (2012). Response to salinity stress of *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* strains in the presence of different legume host plants. *Annals of Microbiology*, 62, 811–823. doi:10.1007/s13213-011-0322-6
[Crossref](#) • [Google Scholar](#)
- Vriezen, J. A. C., de Bruijn, F.J., & Nusslein, K. (2007). Responses of rhizobia to desiccation in relation to osmotic stress, oxygen, and temperature. *Applied and Environmental Microbiology*, 73(11), 3451–3459. doi:10.1128/aem.02991-06
[Crossref](#) • [PubMed](#) • [PMC](#) • [Google Scholar](#)
- Wang, Y., Zhang, Z., Zhang, P., Cao, Y., Hu, T., & Yang, P. (2016). Rhizobium symbiosis contribution to short-term salt stress tolerance in alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Plant and Soil*, 402(1-2), 247–261. doi:10.1007/s11104-016-2792-6
[Crossref](#) • [Google Scholar](#)
- Xu, Z., Zhang, N., Fu, H., Wang, F., Wen, M., Chang, H., Wu, J., Abdelaala, W. B., Luo, Q., Li, Y., Li, C., Wang, Q., & Wang, Z. Y. (2022). Salt stress modulates the landscape of transcriptome and alternative splicing in date palm (*Phoenix dactylifera* L.). *Frontiers in Plant Science*, 12, 807739. doi:10.3389/fpls.2021.807739
[Crossref](#) • [PubMed](#) • [PMC](#) • [Google Scholar](#)
- Yadav, H. D., Yadav, O. P., Dhankar, O. P., & Oswal, M. C. (1989). Effect of chloride salinity and germination, growth and mineral composition of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Annals of Arid Zone*, 28, 63–67.
[Google Scholar](#)
- Yang, Y., & Guo, Y. (2018). Unraveling salt stress signaling in plants. *Journal of Integrative Plant Biology*, 60(9), 796–804. doi:10.1111/jipb.12689
[Crossref](#) • [PubMed](#) • [Google Scholar](#)
- Zahrán, H. H. (1999). *Rhizobium*-legume symbiosis and nitrogen fixation under severe conditions and in an arid climate. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 63(4), 968–989. doi:10.1128/mmbr.63.4.968-989.1999
[Crossref](#) • [PubMed](#) • [PMC](#) • [Google Scholar](#)
- Zhang, D. Y., Kumar, M., Xu, L., Wan, Q., Huang, Y. H., Xu, Z. L., He, X. L., Ma, J. B., Pandey, G. K., & Shao, H. B. (2017). Genome-wide identification of Major Intrinsic Proteins in *Glycine soja* and characterization of GmTIP2; 1 function under salt and water stress. *Scientific Reports*, 7(1), 4106. doi:10.1038/s41598-017-04253-z
[Crossref](#) • [PubMed](#) • [PMC](#) • [Google Scholar](#)
- Zhao, S., Zhang, Q., Liu, M., Zhou, H., Ma, C., & Wang, P. (2021). Regulation of plant responses to salt stress. *International Journal of Molecular Sciences*, 22, 4609. doi:10.3390/ijms22094609
[Crossref](#) • [PubMed](#) • [PMC](#) • [Google Scholar](#)

INFLUENCE OF SALINITY ON LEGUME PLANTS AND THEIR USE FOR RESTORATION OF SOIL FERTILITY

Lyudmyla Mykhalkiv, Sergii Kots, Ivan Obeziuk

Institute of Plant Physiology and Genetics NAS of Ukraine, Vasylykivska St., Kyiv 03022, Ukraine

Salinity is one of the biggest harmful stress factors that limit the stability of plants and their productivity, as well as reduce the fertility of soils. Therefore, the research on plant protection mechanisms against high salt concentration in the environment and the search for ways to increase their resistance to this stress factor are relevant today. The presented literature review describes the peculiarities of legume response to salt stress, in particular during the establishment of relationship with nodule bacteria. High concentrations of salt in soil lead to the interruption of some vital processes in legumes and thus cause a significant decrease in both crop quality and harvest size. So, the results of studies which indicate a negative effect of salt stress on growth and development, hormonal status, photosynthesis and carbon assimilation, osmotic processes, maintaining the ion homeostasis and the formation of reproductive organs are given. Special attention is paid to the question of the influence of salinity on the interaction between plants and rhizobia during nodule formation and their further functioning. It is noteworthy that the presence of certain adaptive mechanisms as well as the peculiarities of growth and development of legumes, in particular their capability to form symbiotic nitrogen fixation systems with nodule bacteria, suggest a possibility of using certain species of this family for the remediation of saline soils. The importance of the selection of salt-resistant rhizobia strains and the effectiveness of rhizobia in combination with other beneficial microorganisms for agriculture are noted.

Keywords: legume plants, rhizobia, rhizosphere microorganisms, symbiosis, salinity, salt resistance

Received / Одержано
04 April, 2023

Revision / Доопрацьовано
06 July, 2023

Accepted / Прийнято
31 August, 2023

Published / Опубліковано
27 September, 2023