

<https://doi.org/10.61308/RSUC1846>

Нахут (*Cicer arietinum* L.) под стрес: Обзор на влиянието на засушаването и високите температури

Севдалина Нинова¹, Иванина Василева^{1*}

Институт по фуражни култури – Плевен, Селскостопанска академия – София, България

*E-mail: ivanina_vasileva1@abv.bg

Абстракт: Засушаването и топлинният стрес са основни абиотични фактори, които ограничават растежа и продуктивността на нахута (*Cicer arietinum* L.) като неблагоприятно повлияват физиологичните и биохимичните процеси. На базата на трудовете на различни учени се опитахме да обобщим ефектите на водния дефицит и повишените температури, и развиващите се в следствие на тях засушаване и топлинен стрес, върху растежа, добива и механизмите на стресов отговор на нахута. Наблюдаваха се разлики в количеството биомаса и добива на семена в зависимост от това дали изследваните образци са чувствителни или толерантни към стрес. В някои случаи биохимичните анализи разкриха увеличено натрупване на осмопротектанти, като пролин и разтворими захари, което предполага тяхната роля в осмотичната регулация. Беше взета под внимание и ролята на различни съединения с доказана антиоксидантна активност, както и активността на антиоксидантни ензими, включително супероксид дисмутаза, каталаза и пероксидаза. Този преглед има за цел да разкрие многопластовия отговор на нахута на засушаване и топлинен стрес, включващ физиологични, биохимични и молекулярни адаптации. Разбирането на тези механизми е от съществено значение за разработването на толерантни към суша и високи температури сортове нахут, което допринася за устойчивостта на земеделието и продоволствената сигурност в условия на променящ се климат.

Ключови думи: добив; физиологични и биохимични параметри; антиоксиданти; устойчиво земеделие; променящ се климат

Chickpea (*Cicer arietinum* L.) under stress: A review of drought and heat impact

Sevdalina Ninova¹, Ivanina Vasileva^{1*}

¹Institute of Forage Crops – Pleven, 5800 Pleven, 89 “Gen. Vladimir Vazov” str., Agricultural Academy – Sofia, Bulgaria

*E-mail: ivanina_vasileva1@abv.bg

Citation: Ninova, S., & Vasileva, I. (2025). Chickpea (*Cicer arietinum* L.) under stress: A review of drought and heat impact. *Bulgarian Journal of Crop Science*, 62(2) 68-77 (Bg).

Abstract: Drought and heat stress are major abiotic factors limiting chickpea (*Cicer arietinum* L.) growth and productivity, adversely affecting both physiological and biochemical processes. Based on the work of various scientists, we tried to summarize the effects of water deficit and elevated temperatures, and the subsequent drought and heat stress on chickpea growth, yield, and stress response mechanisms. Differences in biomass quantity and seed yield were observed depending on whether the investigated accessions were susceptible or tolerant to stress. In some cases, biochemical analyses revealed increased accumulation of osmoprotectants, such as proline and soluble sugars, suggesting their role in osmotic adjustment. The role of various compounds with proven antioxidant activity, as well as the activity of antioxidant enzymes including superoxide dismutase, catalase, and peroxidase, was also taken into consideration. This review aims to reveal the multifaceted response of chickpea to drought and heat stress, involving physiological, biochemical, and molecular adaptations. Understanding these

mechanisms is vital for developing drought- and heat-tolerant chickpea cultivars, contributing to agricultural sustainability and food security under changing climate conditions.

Key words: biomass yield; physiological and biochemical parameters; antioxidants; agricultural sustainability; changing climate

ВЪВЕДЕНИЕ

Стресови фактори

Климатичните промени представляват значителна заплаха за основните земеделски култури по целия свят, особено чрез проявата на ефекта на абиотични стресови фактори като засушаване и високи температури, които оказват своето най-негативно въздействие по време на критичните етапи на растеж (Karaliija et al., 2022).

Сушата се дефинира като специфичен период, когато нивата на хидрологичните променливи, включително отток, влажност на почвата и валежи, са по-ниски от средните нива на тези променливи в даден регион. Тя се появява, когато изпарението и транспирацията надвишават наличната вода за значителен период от време, което влияе на продуктивността (Um et al., 2020). Водата е ключов фактор за растежа и развитието на растенията, а понижаването на нейните нива заплашва здравето на хората и животните (Ahmed et al., 2022). Многобройни изследвания показват, че засушаването предизвиква сложни функционални и структурни отговори: метаболитни, биохимични и физиологични промени в растенията, целостта на мембраните, съдържанието на пигменти, намалена фотосинтетична скорост, осмотична адаптация, затваряне на устицата и стареене на листата (Sohrabi et al., 2012; Guizani et al., 2023). Фотосинтезата, ключов метаболитен процес, е особено засегната от сушата поради затварянето на устицата, което ограничава абсорбцията на CO_2 и може да доведе до фотоинхибиторни повреди на фотосистема II (PSII) (Riccardi et al., 2004).

Добивът, морфологията, физиологията и биохимията на растенията също се влияят значително от високите температури (Abro et

al., 2023). Това води до увреждане на белтъците, мембраните, клетъчното делене и ензимно инактивиране, което може да причини оксидативно увреждане. Ефективността на PSII може да бъде засегната от деструктивни процеси като фотоинхибиция на D1 белтъка от реакционен център P680 (Tuystjärvi and Aro, 1996), като PSII е също много чувствителна към високи температури (Berry and Bjorkman, 1980; Inamullah and Isoda, 2005). Комбинираният ефект на воден стрес и високи температури може да доведе до загиване на растението.

Засушаването и високите температури са сред най-лимитиращите фактори с най-голямо влияние върху добива на нахут (Rani et al., 2020). Тези абиотични фактори могат да повлияят негативно всички етапи на развитие на нахута – от покълването до зрелостта на културата (Rani et al., 2020). В повечето области, където се отглежда нахут, температурите са високи по време на репродуктивната фаза на развитие. Наблюдава се намалена скорост на цъфтеж, а понякога дори загуба на цветовете, което значително повлиява крайния добив (Fang et al., 2010).

Температури над 35°C могат да доведат до 39% загуби на добива (Devasirvatham and Tan, 2018), както и до намаляване на фертилността на семената (Devasirvatham et al., 2015). Засушаването има много голямо влияние върху размера и броя на семената, което може да доведе дори до 80% загуби (Karaliija et al., 2022), както и да промени хранителната им стойност (Nauyar et al., 2006).

Активни кислородни форми и оксидативен стрес

Оксидативният стрес възниква вследствие на увеличеното производство на активни

кислородни форми (АКФ; Hasanuzzaman et al., 2020). Тези форми представляват изключително реактивоспособни радикали и молекули с ниско молекулно тегло. АКФ се генерират при редукцията на кислород по време на физиологичните процеси в растенията, като фотосинтезата е основният източник (Choudhury et al., 2016). Увеличеното производство на АКФ е типичен отговор на растенията към различни видове стрес и предизвиква цитотоксичност (De Gara and Foyer, 2017; Wang et al., 2018). В резултат на това се наблюдават редица клетъчни изменения, включително увреждане на нуклеинови киселини (He et al., 2018), белтъци (Akter et al., 2015) и липидна пероксидация (Ozgur et al., 2018). Важно е да се отбележи, че АКФ се продуцират в клетките при ниски концентрации дори в отсъствието на стрес и функционират като сигнални молекули (Waszczak et al., 2018; Garcia-Caparrros et al., 2021).

Наличието на антиоксидантни съединения е от съществено значение за детоксификацията и поддържането на жизнеността на растенията (Sies et al., 2017; Sies, 2018). Един от основните биохимични механизми на растенията в отговор на стрес се осъществява чрез антиоксидантната защитна система, която се подразделя на ензимна и неензимна част. Ензимната част включва дейността на ензими като супероксид дисмутаза (SOD), каталаза (CAT), пероксидаза (POD), глутатион пероксидаза (GPX) и аскорбат пероксидаза (APX). Неензимната част обхваща основно терпеноиди и феноли (Szarka et al. 2012). Двете части на антиоксидантната защитна система трябва да функционират синергично, за да осигурят ефективното отстраняване на АКФ (Das and Roychoudhury, 2014).

Нахут (*Cicer arietinum* L.)

Нахутът е третата по значимост зърнено-бобова култура в света след фасула и граха, и е най-важната за региони като Южна и Западна Азия. Смята се, че това растение е било сред първите, култивирани от човека – още около 7500 г. пр. Хр. в района на Йерихон,

разположен на Западния бряг в Палестина. Оттам нахутът се разпространява из Плодородния полумесец, а по Средиземноморието достига преди около 6000 г. пр. Хр. и в Индия преди около 3000 г. пр. Хр. Тази култура заема ключово място в световното селско стопанство, като основен източник на протеини в райони с топъл, умерен, полусух и сух климат. Според данни на FAOSTAT от 2008 г., 92% от обработваемите площи и 75,4% от добива на семена са концентрирани в региони с ограничен достъп до вода.

Като ценна бобова култура нахутът се използва както за храна на животни, така и на хора. Нахутът, както и други бобови, позволява решаването на много проблеми в животновъдството и земеделието: подобрява качеството на концентрираните фуражи, запазва почвеното плодородие, намалява екологично напрежение в агробиоценозите (Parahin and Petrova, 2006; Pimonov and Kozlov, 2012).

Нахутът, като важна за икономиката култура, е силно засегнат от глобалното климатично изменение, като повишените температури и сушата значително влияят на добива му. Когато е отглеждан в условия на умерен климат, обикновено се сблъсква с високи температури и засушаване в края на жизнения си цикъл. В Средиземноморските и полусухите области обаче, засушаване настъпва и по време на формирането на шушулките и наливането на семената. Поради измененията в климата засушаването и топлинния стрес настъпват все по-рано и засягат растенията в етапите на растеж и цъфтеж, в резултат на което крайните добиви са понижени (Karalija et al., 2022).

Високите температури могат да причинят оксидативен стрес, който уврежда хлорофила, нарушава структурата на листа и фотосинтезата. Този стресов фактор нарушава основните физиологични процеси и значително намалява добива на нахут. Топлинният стрес, особено при температури над 35°C, може да повлияе отрицателно на развитието от покълването до производството на семена, с особено тежки последствия по време на репродуктивната фаза, включително понижен

цъфтеж и отпадане на цветовете, което води до повишаване на добивните загуби с до 39% (Karalija et al., 2022).

Противодействие на засушаването и високите температури

Тъй като ефектите на абиотичния стрес често се засилват от дефицита на минерали в почвата, е важно да се подчертае ролята на цинка по отношение на растежа и добива на нахут. Допълнителното подхранване с този микроелемент може да повиши толерантността на нахута към високи температури и засушаване, като подобрява растежа и работата на фотосистемата II (PSII) (Ullah et al., 2020). При наличие на засушаване, цинкът подпомага поддържането на пропускливостта на мембраните, увеличава фотосинтетичната активност, и подобрява елиминирането на АКФ (Karim et al., 2012; Hera et al., 2018). Цинкът също така играе роля в натрупването на осмолити и защитата на листните тъкани от воден дефицит, като по този начин увеличава антиоксидантната активност и намалява изтичането на електролити, стабилизирайки мембраните. Прякото прилагане на микроелементи върху листата може да намали негативните ефекти от високите температури при нахут (Karalija et al., 2022). Комбинираното използване на цинк и желязо като наноторове води до повишена антиоксидантна активност и подобрена фотосинтеза (Tului et al., 2021).

Друг механизъм за предпазване от окислителен стрес е продукцията на големи количества аминокиселини, като пролин, който повишава устойчивостта към засушаване (Girousse et al., 1996). Пролинът изпълнява множество защитни функции, включително действа като уловител на свободни радикали, стабилизира субклетъчните структури, буферира редокс потенциала и е компонент на белтъците на клетъчните стени. Други важни молекули с подобни функции са аскорбиновата киселина и глутатионът (Karalija et al., 2022). Натрупването на осмолити осигурява поддържането на структурната цялост на мембраните (Conroy et al., 1988).

Използването на растеж-промотиращи ризобактерии е съвременна практика за подобряване на растителната устойчивост при абиотични стресови условия, като най-ефективни са бактериите от родовете *Bacillus* spp. и *Pseudomonas* spp. (Kumar and Verma, 2018; Sati et al., 2022).

МАТЕРИАЛИ И МЕТОДИ

Използвани материали и методи:

1. Растителен материал

Различни изследователски колективи използват различни образци на нахут (*Cicer arietinum* L) за изучаване на толерантността към засушаване. Сортовете Gökçe и Canitez са използвани от Kalefetoğlu and Ekmekçi (2009) за изпитване на толерантност към засушаване в ранен етап. Gökmen and Ceyhan (2015) изследват общо 10 генотипа, от които 6 местни популации (Kadinhani LP, Altinekin LP, Hadim LP, Cumra LP, Karapinar LP и Beysehir LP) от град Коня, както и 2 стандартни сорта (Canitez и Kusmen-99) и 2 генотипа (22117 и 22223) от ICARDA. Najaphy et al. (2010) изследват семена от сортове Pirooz тип Desi и Hashem, и Arman от Kabuli тип при условия на воден дефицит. Patel et al. (2011) включват генотиповете Tyson, ICC 4958, JG 315 и DCP 92-3 в експеримент с три режима на поливане, ранно и късно индуцирано засушаване, както и третиране със салицилова киселина в две концентрации. Sohrabi et al. (2012) използват два сорта (Pirouz от тип Desi и ILC-482 от Kabuli тип) при три режима на поливане (без стрес, умерен стрес и силен стрес), и инокулиране с микоризни микроорганизми (*Glomus versiforme*, *Glomus intraradices*, *Glomus etunicatum*). Raheleh et al. (2012) отглеждат два толерантни (MCC392 и MCC877) и два чувствителни на засушаване генотипа (MCC68 и MCC448) в растежна камера при условия на засушаване и контролни условия. Mafakheri et al. (2010) подлагат три сорта (толерантните Bivaniej и ILC482 и чувствителния Pirouz) на четири различни поливни

режима – контрола, засушаване през вегетативната фаза, засушаване през цъфтежа, и засушаване през двете фази. Kahraman et al. (2015) подбират няколко генотипа (22103, 22124, 22142, 22213, 22227, 22243, 22261), два пазарни сорта (Akcin, Gokce), и местна популация (Cumra) на базата на отговорите им към засушаване, и ги подлагат на няколко режима на напояване: без напояване, стрес в ранен период, стрес в късен период, контрола. Изследваните параметри, свързани с хранителната стойност, бяха концентрации-те на протеин, мазнини, пепел, фибри, влага, вещества без азот и минерали в семената. Dalvi et al. (2017) подлагат 10 устойчиви към увяхване генотипа (GJG 0919, JG 552476, GJG 0922, IPC 1048, GJG 0904, JG 2-14-110, BCP 2010-1, JG 2001-4, JG 24, JG 2000-7) и 3 чувствителни към увяхване (GL 29285, PBG 5, GL 27014) на засушаване преди и след цъфтежа чрез прекъсване на напояването. Seyhan et al. (2012) изследват 10 генотипа: 22112, 22108, 22151, 22202, 22222, 22255, 22135, местна популация (Derebusak) и две сертифицирани линии (Er-99 и Canitez) при стрес в ранния и късния етап на развитие. Arunkumar et al. (2012) покриват четири генотипа (Pusa 1103 и BGD 72, толерантни към висока температура, и Pusa 256 и Pusa 261, чувствителни към висока температура) с полиетилен за повишаване на дневната температура и влажност с 4.5°C и 15.2%.

Аналитични методи, свързани с определяне на наличието на засушаване и високи температури и толерантността на растенията спрямо тези абиотични фактори:

Растежни параметри – измерени са дължина на стъблото, брой листа, свежо тегло;

Воден статус на растенията – чрез определяна на относителното водно съдържание по Farrant (2000);

Пигментно съдържание – изчислено по коефициентите на Lichtenthaler (1987);

Липидна пероксидация – по методиките на Heath and Packer (1968); Ohkawa et al. (1979); Sakmar and Horst (1991); Hodges et al. (1999);

Степен на увреждане на мембраната – индекс, определен по Deshmukh et al. (1991) и изчислен по формулата на Onwueme (1979);

Свободен пролин – по метода на Bates et al. (1973);

Глицин бетаин – по метода на Stumpf (1984);

Общи захари – по арсеномолибдатния метод на Nelson (1944);

Аскорбинова киселина – по методиката на Mukherjee and Choudhary (1983);

Определяне на активността на антиоксидантни ензими:

Супероксид дисмутаза - SOD (EC 1.15.1.1) - неговата активност е определена по методиките, описани от Beauchamp and Fridovich (1971); Beyer and Fridovich (1987); Dhindsa et al. (1981);

Каталаза - CAT (EC 1.11.1.6) - по методиките на Beer and Sizer (1952); Aebi (1984); Chandlee and Scandalios (1984);

Глутатион редуктаза - GR (EC 1.6.4.2) – активността е определена по методиката на Rao et al. (1995);

Пероксидаза - POD – активността е определена по методиките на Holy (1972); Kar and Mirsha (1976); Hemeda and Klein (1990).

Гваякол пероксидаза (EC 1.11.1.7) – определена по методиката на Bergmeyer (1974);

Аскорбат пероксидаза - APX (EC 1.11.1.1) – активността е определена по методиките на Nakano and Asada (1980); Asada and Takahashi (1987); Wang et al. (1991);

РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

Резултатите, получени от екипа на Kalefetoğlu and Ekmekçi (2009), разкриват способността на изследваните сортове нахут да се преборят със силното засушаване чрез задействане на защитни механизми. Растежът на сорта Canitez беше значително по-засегнат в сравнение с този на сорта Gökçe. Високата антиоксидантна активност на ензимите SOD, POD и GR, както и натрупването на пролин,

вероятно играят роля в преодоляването на увреждащия ефект на засушаването върху растенията.

Изследване, проведено от Gökmen and Seyhan (2015), показва, че засушаването влияе на активността на антиоксидантните ензими и пролина при всички изследвани генотипове, но устойчиви на засушаване се оказват Cumra LP, Canitez, Kusmen-99, 22117 и 22223. Нахутът от типовете Kabuli и Desi не показва значителни разлики в техните биохимични отговори към воден стрес, като и при двата типа се наблюдава повишаване на количеството пролин и разтворими белтъци в листата. Натрупването на осмолити спомага нахутът да поддържа клетъчния тургор и структурния интегритет на мембраните (Najaphy et al., 2010).

Въз основа на анализи на четири генотипа нахут и две третирания със салицилова киселина, се наблюдава значителна вариация в устойчивостта към суша при различните генотипове нахут. Генотиповете, толерантни към засушаване, проявиха по-висока ензимна активност на SOD, CAT, POD, APX, както и по-високо съдържание на пролин и аскорбинова киселина, и по-ниски нива на липидна пероксидация в сравнение с чувствителните генотипове. Растежът и развитието на различните генотипове нахут при индуцирано засушаване в пред- и следцъфтежен стадии показва, че предцъфтежният стадий е най-чувствителен. Нивото на салицилова киселина при концентрация 1.5 mM в Tyson разкрива висока способност за осмотична регулация при засушаване (Patel et al., 2011).

В проучването на Raheleh et al. (2012), наличието на стрес задейства защитни механизми при толерантните към стрес генотипове чрез повишаване на количеството пролин, и антиоксидантната ензимна активност на SOD и CAT. Тези три показателя могат да се използват като биохимични маркери за откриване на толерантни генотипове. По време на началния етап от развитието на нахута, защитните отговори към стрес не се проявяват отчетливо, което води до най-висока степен

на липидна пероксидация и най-ниски нива на пролин след фазата на покълване.

Всички изследвани физиологични параметри от Mafakheri et al. (2010) са повлияни от засушаването. Съдържанието на пролин е по-високо при ILC482, в сравнение с Pirouz както при контролните, така и при стресираните растения. Добивът и фотосинтетичната активност са по-ниски при стресови условия. При наличие на засушаване, толерантният сорт Bivaniej показва по-висок добив от чувствителния сорт Pirouz. Засушаването през фазата на цъфтеж води до по-нисък добив на семена, отколкото засушаването през вегетационния етап.

Изследванията на Sohrabi et al. (2012) показват, че засушаването понижава растежа и съдържанието на хлорофил, докато съдържанието на пролин в листата на изследваните сортове нахут се повишава. Типовете нахут Desi и Kabuli показват различия в отговорите към воден стрес. Сортът ILC-482 има по-голяма височина и по-високо тегло на корена, както и по-ниски нива на липидна пероксидация, докато ензимите CAT и POD играят по-значима роля в предпазването от силно засушаване в сравнение със сорта Pirouz.

При трите устойчиви на повяхване генотипа viz GJG 0922, JG 24 и JG 2001-4 се установява значително повишаване на стойностите на антиоксидантните ензими SOD, CAT, GPX и APX, както и на пролина и глицин бетаина при индуциран воден дефицит преди цъфтежа. За тези три генотипа, както и JG 552476 и GJG 0919 беше направено заключението, че са толерантни към засушаването (Dalvi et al., 2017).

Изследването на Seyhan et al. (2012) показва, че стресът в ранния период води до по-висок добив на семена от нахут в сравнение със стреса в късния период. Най-високият добив е регистриран при генотип 22255.

Под високотемпературен стрес при толерантните генотипове Pusa 1103 и BGD 72 се регистрира по-високо количество редуциращи захари и пролин, по-висока мембранна стабилност и по-добри добиви в сравнение

с чувствителните генотипове. Осмолитното натрупване и по-ниската степен на увреждане на мембраната са част от факторите за високотемпературна толерантност при генотиповете Pusa 1103 и BGD 72 (Arunkumar et al., 2012).

Изследването на 10 генотипа нахут при различни режими на напояване показва, че като цяло съдържанието на протеин, магнезий и сяра показват най-ниски стойности при условия без напояване, докато съдържанието на пепел, вещества без азот, бор, калий, фосфор и цинк показват най-високи стойности при същите условия (Kahraman et al., 2015).

ИЗВОДИ

Резултатите от различни изследвания показват, че толерантността на нахута към абиотичен стрес, като засушаване и високи температури, зависи от способността му да задейства различни защитни механизми. Цинкът играе ключова роля за подобряване на растежа и фотосинтетичната активност, както и за поддържане на мембранната стабилност при стресови условия. Натрупването на осмолити и повишената антиоксидантна активност също са критични за устойчивостта на растенията. Пролинът и други аминокиселини действат като защитни агенти, които спомагат за запазване на клетъчната структура и функция. Използването на растеж-промотиращи ризобактерии е обещаваща стратегия за повишаване на устойчивостта на нахута при абиотичен стрес, което е от съществено значение за подобряване на добивите в условия на климатични промени.

Конфликт на интереси: Авторите декларират липсата на конфликт на интереси.

Благодарности

Изследването е представено на юбилейната научна конференция с международно участие „Устойчиво и конкурентноспособно земеделие в условията на глобални климатич-

ни промени“, проведена на 03-04 септември 2024 г. в Института по царевицата – Кнежа, България

ЛИТЕРАТУРА

- Abro, A. A., Anwar, M., Javwad, M. U., Zhang, M., Liu, F., Jiménez-Ballesta, R., ... & Ahmed, M. A. (2023). Morphological and physio-biochemical responses under heat stress in cotton: Overview. *Biotechnology Reports*, 40, e00813.
- Aebi, H. (1984). Catalase in vitro. In: *Methods in enzymology*. Academic press, New York, USA, 105, pp. 121-126.
- Ahmed, W., Safdar, U., Ali, A., Haider, K., Tahir, N., Sajid, S., Ahmad, M., Khalid, M. N. & Sattar, M.T. (2022). Sustainable water use in agriculture: a review of worldwide research. *International Journal of Agriculture and Biosciences*, 11(4), 246-250.
- Akter, S., Huang, J., Waszczak, C., Jacques, S., Gevaert, K., Breusegem, F. V., & Messens, J. (2015). Cysteines under ROS attack in plants: a proteomics view. *Journal of Experimental Botany*, 66, pp. 2935-2944.
- Arunkumar, R., Sairam, R. K., Deshmukh, P. S., Pal, M. A. D. A. N., Khetarpal, S., Pandey, S. K., ... & Singh, T. P. (2012). High temperature stress and accumulation of compatible solutes in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Indian Journal of Plant Physiology*, 17, pp. 145-150.
- Asada, K., & Takahashi, M. (1987). Production and scavenging of active oxygen in chloroplasts. In: *Photoinhibition* (Kyle D.J., Osmond B., Arntzen C.J., eds). Elsevier Amsterdam, NL, pp. 227-287.
- Bates, L. S., Waldren, R. P. A., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and soil*, 39, pp. 205-207.
- Beauchamp, C., & Fridovich, I. (1971). Superoxide Dismutase: improved assays and applicable to acryl amide gels. *Analytical Biochemistry*, 44, pp. 276-287.
- Beer, R. F. J., & Sizer, I. W. (1952). A spectrophotometric method for measuring the breakdown of hydrogen peroxide by catalase. *Journal of Biological Chemistry*, 195, pp. 133-140.
- Bergmeyer, H. U. (1974). Section C: Methods for Determination of Enzyme Activity. In: *Methods of Enzymatic Analysis*, 2nd edn, Vol. II. Academic Press, New York, USA, 685-690.
- Berry, J. & Bjorkman, O. (1980). Photosynthetic Response and Adaptation to Temperature in Higher Plants. *Annual Review of Plant Physiology*, 31(1), 491-543.
- Beyer Jr, W. F., & Fridovich, I. (1987). Assaying for superoxide dismutase activity: some large consequences

- of minor changes in conditions. *Analytical Biochemistry*, 161(2), 559-566.
- Cakmak, I., & Horst J.** (1991) Effect of aluminium on lipid peroxidation, superoxide dismutase, catalase, and peroxidase activities in root tips of soybean (*Glycine max*). *Physiologica Plantarum*, 83, pp. 463-468.
- Ceyhan, E., Önder, M., Kahraman, A., Topak, R., Ateş, M. K., Karadas, S., & Avcı, M. A.** (2012). Effects of drought on yield and some yield components of chickpea. *International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering*, 6(6), 347-351.
- Chandlee, J. M., & Scandalios, J. G.** (1984). Analysis of variants affecting the catalase development program in Maize scutellum. *Theoretical and Applied Genetics*, 69, pp. 71-77.
- Choudhury, F. K., Rivero, R. M., Blumwald, E., & Mittler, R.** (2016). Reactive oxygen species, abiotic stress and stress combination. *The Plant Journal*, 90(5), 856-867.
- Conroy, J. P., Küppers, M., Küppers, B., Virgona, J., & Barlow, E. W. R.** (1988). The influence of CO₂ enrichment, phosphorus deficiency and water stress on the growth, conductance and water use of *Pinus radiata* D. Don. *Plant, Cell & Environment*, 11(2), 91-98.
- Dalvi, U., Naik, R., & Kale, A.** (2017). Antioxidative Enzyme Responses against Fusarium wilt (*Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceris*) in Chickpea Genotypes. *Annual Research & Review in Biology*, 12(5), 1-9.
- Das, K., & Roychoudhury, A.** (2014). Reactive oxygen species (ROS) and response of antioxidants as ROS-scavengers during environmental stress in plants. *Front Environmental Sciences*, 2, p. 53.
- De Gara, L., & Foyer, C. H.** (2017). Ying and Yang interplay between reactive oxygen and reactive nitrogen species controls cell functions. *Plant Cell and Environment*, 40, pp. 459-461.
- Deshmukh, P. S., Sairam, R. K., & Shukla, D. S.** (1991). Measurement of ion leakage as a screening technique for drought resistance in wheat genotypes. *Indian Journal of Plant Physiology*, 34, 89-91.
- Devasirvatham, V., & Tan, D. K. Y.** (2018). Impact of high temperature and drought stresses on chickpea production. *Agronomy*, 8, 145.
- Devasirvatham, V., Gaur, P., Raju, T., Trethowan, R., & Tan, D.** (2015). Field response of chickpea (*Cicer arietinum* L.) to high temperature. *Field Crops Research*, 172, 59-71.
- Dhindsa, R. S., Plumb-Dhindsa, P. A. M. E. L. A. & Thorpe, T. A.** (1981). Leaf senescence: correlated with increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation, and decreased levels of superoxide dismutase and catalase. *Journal of Experimental botany*, 32(1), 93-101.
- Fang, X., Turner, N.C., Yan, G., Li, F., & Siddique, K.H.** (2010) Flower numbers, pod production, pollen viability, and pistil function are reduced and flower and pod abortion increased in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under terminal drought. *Journal of Experimental Botany*, 61, pp. 335-345.
- FAOSTAT Database** (2008). Food and Agriculture Organization, Rome. Available at: www.Fao.org
- Farrant, J. M.** (2000). A comparison of mechanisms of desiccation tolerance among three angiosperm resurrection plant species. *Plant Ecology*, 151, pp. 29-39.
- Garcia-Caparrós, P., De Filippis, L., Gul, A., Hasanuzzaman, M., Ozturk, M., Altay, V., & Lao, M. T.** (2021). Oxidative stress and antioxidant metabolism under adverse environmental conditions: a review. *The Botanical Review*, 87, pp. 421-466.
- Girousse, C., Bournoville, R., & Bonnemain, J. L.** (1996) Water deficit-induced changes in concentrations in proline and some other amino acids in the phloem sap of alfalfa. *Plant Physiology*, 111, 109-113.
- Gökmen, E., & Ceyhan, E.** (2015). Effects of drought stress on growth parameters, enzyme activities and proline content in chickpea genotypes. *Bangladesh Journal of Botany*, 44(2), 177-183.
- Guizani, A., Askri, H., Amenta, M. L., Defez, R., Babay, E., Bianco, C., Rapana, N., Finetti-Sialer, M., & Garbo, F.** (2023) Drought responsiveness in six wheat genotypes: identification of stress resistance indicators. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1232583.
- Hasanuzzaman, M., Fujita, M., Teixeira Filho, M. C. M., Nogueira, T. A. R., & Galindo, F. S.** (2020). *Sustainable Crop Production*. BoD-Books on Demand.
- He, H., Breusegem, F. V., & Mhamdi, A.** (2018). Redox-dependent control of nuclear transcription in plants. *Journal of Experimental Botany*, 69, pp. 3359-3372.
- Heath, R. L., & Packer, L.** (1968). Photoperoxidation in isolated chloroplasts: Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 125, pp. 189-198.
- Hemeda, H. M. & Klein, B. P.** (1990). Effects of naturally occurring antioxidants on peroxidase activity of vegetable extracts. *Journal of Food Sciences*, 55, pp. 184-185.
- Hera, M. H. R., Hossain, M., & Paul, A. K.** (2018). Effect of foliar zinc spray on growth and yield of heat tolerant wheat under water stress. *International Journal of Biological and Environmental Engineering*, 1, pp. 10-16.
- Hodges, D. M., DeLong, J. M., Forney, C. F., & Prange, R. K.** (1999). Improving the thiobarbituric acid-reactive-substances assay for estimating lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds. *Planta*, 207, pp. 604-611.
- Holy, M. C.** (1972). Indole acetic acid oxidase: a dual catalytic enzyme. *Plant Physiology*, 50, pp. 15-18.
- Inamullah & Isoda, A.** (2005). Adaptive Responses of Soybean and Cotton to Water Stress II. Changes in CO₂ Assimilation Rate, Chlorophyll Fluorescence

- and Photochemical Reflectance Index in Relation to Leaf Temperature. *Plant Production Science*, 8(2), 131–138.
- Kahraman, A., Ceyhan, E., & Harmankaya, M.** (2015). Nutritional variation and drought tolerance in chickpeas (*Cicer arietinum* L.). *Journal of Elementology*, 20(2).
- Kalefetoğlu Macar, T., & Ekmekci, Y.** (2009). Alterations in photochemical and physiological activities of chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars under drought stress. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 195(5), 335–346.
- Kar, M., & Mishra, D.** (1976). Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. *Plant Physiology*, 57(2), 315–319.
- Karalija, E., Vergata, C., Basso, M. F., Negussu, M., Zaccari, M., Grossi-de-Sa, M. F., & Martinelli, F.** (2022). Chickpeas' tolerance of drought and heat: Current knowledge and next steps. *Agronomy*, 12(10), 2248.
- Karim, M., Zhang, Y. Q., Zhao, R.R., Chen, X.P., Zhang, F. S., & Zou, C.Q.** (2012). Alleviation of drought stress in winter wheat by late foliar application of zinc, boron, and manganese. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 175, pp. 142–151.
- Kumar, A., & Verma, J. P.** (2018). Does plant-microbe interaction confer stress tolerance to plants: A review. *Microbiology Research*, 207, pp. 41–52.
- Mafakheri, A., Siosemardeh, A. F., Bahramnejad, B., Struik, P. C., & Sohrabi, Y.** (2010). Effect of drought stress on yield, proline and chlorophyll contents in three chickpea cultivars. *Australian journal of crop science*, 4(8), 580–585.
- Mukherjee, S. P., & Choudhuri, M. A.** (1983) Implications of Water Stress-Induced Changes in the leaves of Indigenous Ascorbic Acid and Hydrogen Peroxide in Vigna Seedlings. *Physiologia Plantarum*, 58, pp. 166–170.
- Najaphy, A., Khamssi, N. N., Mostafaie, A., & Mirzaee, H.** (2010). Effect of progressive water deficit stress on proline accumulation and protein profiles of leaves in chickpea. *African Journal of Biotechnology*, 9(42), 7033–7036.
- Nakano, Y., & Asada, K.** (1980). Spinach chloroplasts scavenge hydrogen peroxide on illumination. *Plant and Cell Physiology*, 21(8), 1295–1307.
- Nayyar, H., Kaur, S., Singh, S., & Upadhyaya, H.D.** (2006). Differential sensitivity of Desi (small-seeded) and Kabuli (large-seeded) chickpea genotypes to water stress during seed filling: Effects on accumulation of seed reserves and yield. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86, pp. 2076–2082.
- Nelson, N.** (1944). A photometric adaptation of the Somogyi method for the determination of glucose. *Journal of Biological Chemistry*, 153, pp. 375–380.
- Ohkawa, H., Ohishi, N., & Yagi, K.** (1979). Assay for lipid peroxides in animal tissues by thiobarbituric acid reaction. *Analytical biochemistry*, 95(2), 351–358.
- Onwueme, I. C.** (1979). Rapid plant conserving estimation of heat tolerance in plants. *Journal of Agricultural Sciences*, 92, pp. 527–536.
- Ozgun, R., Uzilday, B., Iwata, Y., Koizumi, N., & Turkan, I.** (2018). Interplay between the unfolded protein response and reactive oxygen species: a dynamic duo. *Journal of Experimental Botany*, 69, pp. 3333–3345.
- Parahin, N. V., & Petrova, S. N.** (2006). Agricultural aspects of symbiotic nitrogen fixation. *Kolos S*, 152 (Ru).
- Patel, P. K., Hemantaranjan, A., Sarma, B. K., & Radha, S.** (2011). Growth and antioxidant system under drought stress in chickpea (*Cicer arietinum* L.) as sustained by salicylic acid. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 7(4), 130–144.
- Pimonov, K. I., & Kozlov, A.V.** (2012). Dyer's and chickpeas precursors of winter wheat on ordinary chernozem. *Agriculture*, 1, 31–33 (Ru).
- Raheleh, R., Ramazanali, K., & Ali, G.** (2012). Use of biochemical indices and antioxidant enzymes as a screening technique for drought tolerance in Chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.). *African Journal of Agricultural Research*, 7(39), 5372–5380.
- Rani, A., Devi, P., Jha, U.C., Sharma, K. D., Siddique, K. H., & Nayyar, H.** (2020). Developing climate-resilient chickpea involving physiological and molecular approaches with a focus on temperature and drought stresses. *Frontiers in Plant Sciences*, 10, p. 1759.
- Rao, V. M., Hale, B. A., & Omrod, D. P.** (1995). Amelioration of ozone induced oxidative damage in wheat plants grown under high carbon dioxide. *Plant Physiology*, 109, pp. 421–432.
- Riccardi, F., Gazeau, P., Jacquemont M., Vincent, D., & Zivy, M.** (2004). Deciphering genetic variations of proteome responses to water deficit in maize leaves. *Plant Physiology and Biochemistry*, 42, 1003–1011.
- Sati, D., Pande, V., Pandey, S. C., & Samant, M.** (2022). Recent advances in PGPR and molecular mechanisms involved in drought stress resistance. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 1–19.
- Sies, H.** (2018). On the history of oxidative stress: Concept and some aspects of current development. *Current Opinion in Toxicology*, 7, pp. 122–126.
- Sies, H., Berndt, C., & Jones, D. P.** (2017). Oxidative stress. *Annual Reviews of Biochemistry*, 86, pp. 715–748.
- Sohrabi, Y., Heidari, G., Weisany, W., Golezani, K. G., & Mohammadi, K.** (2012). Changes of antioxidative enzymes, lipid peroxidation and chlorophyll content in chickpea types colonized by different *Glomus* species under drought stress. *Symbiosis*, 56, pp. 5–18.
- Stumpf, D. K.** (1984). Quantification and purification of quarternary ammonium compounds from halophyte tissue. *Plant Physiology*, 75, pp. 273–274.

- Szarka, A., Tomasskovics, B., & Bánhegyi, G.** (2012). The ascorbate-glutathione- α -tocopherol triad in abiotic stress response. *International Journal of Molecular Sciences*, 13(4), 4458-4483.
- Tului, V., Janmohammadi, M., Abbasi, A., Vahdati-Khaje, S., & Nouraein, M.** (2021) Influence of iron, zinc and bimetallic Zn-Fe nanoparticles on growth and biochemical characteristics in chickpea (*Cicer arietinum*) cultivars. *Agriculture and Forestry*, 67, 179–193.
- Tyystjarvi, E., & Aro, E. M.** (1996). The rate constant of photoinhibition, measured in lincomycin-treated leaves, is directly proportional to light intensity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 93(5), 2213–2218.
- Ullah, A., Farooq, M., Rehman, A., Hussain, M., & Siddique, K. H.** (2020). Zinc nutrition in chickpea (*Cicer arietinum*): A review. *Crops Pasture Science*, 71, pp. 199–218.
- Um, M-J., Yeonjoo, K., Daeryong, P., Kichul, J., Zhan, W, Mun Mo, Kim. & Hongjoon, S.** (2020). Impacts of potential evapotranspiration on drought phenomena in different regions and climate zones. *Science of the total environment*, 703, 135590.
- Wang, S. Y., Jiao, H., & Faust, M.** (1991). Changes in ascorbate, glutathione and related enzyme activity, during thidiazuron-induced bud break of apple. *Plant Physiology*, 82, pp. 231–236.
- Wang, Y., Branicky R., Noë, A., & Hekimi, S.** (2018). Superoxide dismutases: Dual roles in controlling ROS damage and regulating ROS signaling. *Journal of Cell Biology*, 218, pp. 1915-1928.
- Waszczak, C., Carmody, M., & Kangasjarvi, J.** (2018). Reactive Oxygen Species in Plant Signaling. *Annual Review of Plant Biology*, 69, pp. 209-236.

Received: December, 11, 2024; Approved: February, 28, 2025; Published: April, 2025