



IKER
GAZTE
NAZIOARTEKO
IKERKETA EUSKARAZ

IV. IKERGAZTE NAZIOARTEKO IKERKETA EUSKARAZ

2021eko ekainaren 9, 10 eta 11a
Gasteiz, Euskal Herria

ANTOLATZAILEA:
Udako Euskal Unibertsitatea (UEU)

ZIENTZIAK ETA NATURA ZIENTZIAK

**Glifosato herbizidak eragindako
oxidazio-estresa *Amaranthus
palmeri* belar txarrean**

*Mikel Vicente Eceiza,
Miriam Gil-Monreal, Ana Zabalza
eta Mercedes Royuela*

37-44 or.
<https://dx.doi.org/10.26876/ikergazte.iv.05.04>

ANTOLATZAILEA:



LAGUNTZAILEAK:



Glifosato herbizidak eragindako oxidazio-estresa *Amaranthus palmeri* belar txarrean

Vicente Eceiza, M., Gil-Monreal, M., Zabalza, A., eta Royuela, M.

Nafarroako Unibertsitate Publikoa, Zientziak Saila, IMAB (Institute for
Multidisciplinary Research in Applied Biology)
mikel.vicente@unavarra.es

Laburpena

Ingurumen-baldintzak desagokiak direnean, landareek gehienetan oxidazio-estresa sufritzen dute. Ikerketa honek glifosato herbizidak *Amaranthus palmeri* belar txarreko glifosatoarekiko populazio sentikor batean eta erresistente batean oxidazio-estresa eragiten al duen zehaztea du helburu. Horretarako, hiru parametro aztertu dira: oxigeno espezie errektiboak, lipidoen peroxidazioa eta glutatona. Emaitzek oxidazio-estres moderatua adierazi dute populazio sentikorrean, glifosato-dosiaren arabera. Hala ere, oxidazio-estresa ez da landareen hilkortasunaren arrazoi nagusia. Populazio erresistentean glifosatoak ez du oxidazio-estresik eragin.

Hitz gakoak: glifosato, oxidazio-estres, *Amaranthus palmeri*

Abstract

When environmental conditions are not optimal, plants generally suffer oxidative stress. This research is to determine whether the herbicide glyphosate causes oxidative stress in two populations of the weed Amaranthus palmeri, one sensitive and one resistant. In order to do that, three parameters have been analysed: reactive oxygen species, lipid peroxidation and glutathione. Results indicate a moderated oxidative stress in the sensitive population, dependent on the glyphosate dose. Nevertheless, oxidative stress is not the main cause of plant death. In the resistant population, glyphosate does not cause oxidative stress.

Keywords: glyphosate, oxidative stress, Amaranthus palmeri

1. Sarrera eta motibazioa

Beste izaki bizidun gehienak bezala, landareak aerobioak dira, alegia, oxigenoa arnasten dute energia lortzeko. Ezaguna denez, oxigenoa ezinbestekoa da landareak bizi ahal izateko. Hain ezaguna ez dena da oxigenoa nolabait toxikoa dela, bigarren mailako efektuak eragiten baititu arnasten duten organismoengan. Zehazki, molekula toxikoena ez da berez oxigeno molekular arrunta, oxigeno espezie errektiboak (OEE) baizik. OEE garrantzitsuenak superoxidoa (O_2^-), oxigeno peroxidoa (H_2O_2) eta hidroxil erradikala ($OH^\cdot$) deritzenak dira. OEEak oxigenoak esku hartzen duen prozesu metaboliko guztietan sortzen dira oxidazio-erreakzioen ondorioz, eta kalteak eragin ditzakete organismoarengan, adibidez, lipidoak edota beste biomolekulak oxidatuz (Craig, d.g.).

Oxidazio-erreakzioak bizitzarako ezinbestekoak direnez, OEEen sorkuntza saihestezina da. Hortaz, landareek (eta beste organismo aerobioek), OEEi aurre egiteko, sistema antioxidatzaileak garatu dituzte. Antioxidatzaileak beste molekulen oxidazioa atzeratu edo ekiditeko gai diren molekula askotarikoak dira. Horien artean azidoak, entzimak eta beste mota batzuetako molekulak daude; era berdinean, antioxidatzaile bakoitzak modu batean jokatzen du, orokorrean, OEE jakin bat bahitzen edo suntsitzen. Landareetan, antioxidatzaile garrantzitsuenetariko bat glutatona da. Glutatonak oxigeno peroxidoa harrapatu eta ur bilakatzen du, bere burua oxidatzearen truke (1. formula).

1. formula. Hidrogeno peroxidoaren agortzea glutatonaren eraginez.

GSH	+	H_2O_2	$\rightarrow$	GSSG	+	H_2O
(glutathion erreduzitua)				(glutathion oxidatua)		

Baldintza normaletan, OEEen sorkuntzaren eta antioxidatzaileen aktibitateak orekatuta egoten dira. Haatik, zenbait kasutan OEEen sorkuntza azkartu egiten da. Kasu honi oxidazio-estres edo stres oxidatibo deritzo. Oxidazio-estresa ingurumen-baldintza desegokietan gertatzen da, hala nola, lehorteetan, muturreko tenperaturetan eta belarjale gehiegi daudenean. Baldintza hauek eragindako OEEen sorkuntzari landareek aktibitate antioxidatzailearen igoerarekin erantzun diezaiokete. Aitzitik, arduera antioxidatzailea ez bada igotzen edo hau ez bada nahikoa, lipidoen peroxidazioa eta beste oxidazio-kalteak gertatuko dira (Demidchik, 2015).

Kanpoko produktu kimiko batzuek ere oxidazio-estresa eragin dezakete landareetan, herbizida batzuk barne. Herbizidak edo belarhilkariak belar txarrak ezabatzeko edota haien ugalketa eta hazkuntza eragozteko erabiltzen diren konposatu kimikoak dira. Bere aldetik, belar txarrak giza asentamenduetan (batez ere laborantzetan, baina baita parkeetan, lorategietan, etab.) naturalki eta giza eraginik gabe hazten diren landareak dira. Mundu-mailan gehien erabiltzen den herbizida glifosatoa da. Urte askotan zehar, glifosatoak eraginkortasun handia erakutsi du belar txar problematiko guztien aurka, eta gaur egun ere nekazaritzako oinarritzako tresna izaten jarraitzen du (Duke et al., 2018; Westwood et al., 2018). Azken urteetan, aldiz, belar txarren populazio erresistente anitz aurkitu dira, hau da, glifosatoaren aplikazioari bizirauteko gaitasuna duten landare-populazioak, aplikazio horrek baldintza normaletan landarea hilko lukeenean. Glifosatoarekiko populazio erresistenteak dituzten belar txarren espezieetatik, seguruenik gehien kezkatzen duena *Amaranthus palmeri* S Wats. da, amerikar jatorrikoa eta oso problematikoa arto, soja eta kotoi soroetan (Recasens, 2020).

Glifosatoaren ekintza-mekanismoa entzima bat (5-enolpirubilsikimato-3-fosfato sintasa edo EPSPS) blokeatzean eta aminoazido aromatikoaren sintesia inhibitzean datza. *A. palmeri*-ko glifosatoarekiko ale erresistenteek EPSPS entzima kodifikatzen duen genearen kopia asko dituzte, eta honi esker dira erresistenteak. Herbizidaren ekintza mekanismoak eta landareen erresistentziak, printzipioz, ez lukete oxidazio-estresarekin erlaziorik izan behar. Hala ere, zenbait ikerketek oxidazio-estresa glifosatoaren bigarren mailako efektua izan daitekeela landareetan iradoki dute. Oxidazio-estres hau, besteak beste, OEEen, lipidoen peroxidazioaren edota glutacionaren aktibitatearen igoeran agertuko litzateke (Iummato et al., 2019; Liu et al., 2019; Sergiev et al., 2006).

2. Helburuak

Glifosatoak kaltetutako landareetan nolabaiteko oxidazio-estresa eragiten duela jakina den arren, haren garrantzi erlatiboa edo landarearen hilkortasunaren faktore erabakigarria ote den oraindik ez dago argi. Are gutxiago ezagutzen da belar txarren glifosatoarekiko erresistentziarekin duen erlazioaz. Horrela, ikerketa honen azken xedea glifosatoak eragiten duen oxidazio-estresa *A. palmeri*-ren bi populazioetan (bata glifosatoarekiko sentikorra eta bestea erresistentea) zehaztea da. Zehazki, ikerketa honen helburuak horrela laburbil daitezke:

- Glifosatoak oxidazio-estresa eragiten duela baieztatzea.
- Oxidazio-estresa glifosatoarekin tratatutako landareen hilkortasunaren arrazoi nagusia al den argitzea.
- Bi populazioen glifosatoarekiko erantzuna erkatzea.

3. Materialak eta metodologia

3.1. Landareen hazkuntza eta tratamendua

Landareak Fernández-Escalada et al. (2016) erabilitako metodoarekin landatu eta zaindu ziren. *A. palmeri*-ren bi populazio aztertu ziren: glifosatoarekiko sentikorra eta erresistentea. Biak Ipar Carolinan dute jatorria eta jatorrizko haziak Gaines Doktoreak (Colorado State Unibertsitatea, Fort Collins, CO, Estatu Batuak) eskaini zizkion Nafarroako Unibertsitate Publikoari. Ikerketa-taldearen aurreko ikerketetan, populazio hauen hurrenez hurrengo sentikortasuna eta erresistentzia berretsi zen (Fernández-Escalada et al., 2016).

Landareei glifosato-dosi ezberdinak aplikatu zitzaizkien, 3 L/Ha-ko gomendatutako dosia (GD) erreferentzia gisa hartuz: landare sentikorrei 0,5 aldiz GD, GD, 2 aldiz GD eta 3 aldiz GD aplikatu zitzaizkien; landare erresistenteei, berriz, GD, 2 aldiz GD, 3 aldiz GD eta 6 aldiz GD aplikatu zitzaizkien. Bi populazioetan landare kontrol batzuk bereiztu ziren, alegia, glifosatorik aplikatu ez zitzaizkien landareak. Herbizida komertziala Fortin Green® izan da. 0,5 GD nahikoa izan zen landare sentikorrak hiltzeko; erresistenteak 6 GD-rekin ere ez ziren hil, ordea. Glifosatoa ihintzatuz aplikatu zen.

3.2. Determinazio analitikoak

Determinazio analitiko guztiak egiteko landareen hostoak erabili ziren. Bi OEEn edukia neurtu zen: superoxidoa (O_2^-) eta oxigeno peroxidoa (H_2O_2). Superoxido edukia Romero-Puertas et al., (2004) erabilitako metodoaz neurtu zen. H_2O_2 edukia Daudi eta O'Brienek (2012) erabilitako metodoaz neurtu zen. Bi metodo hauek hosto-diskoak adierazle batekin tindatzean dautza. Bi OEEn edukia hosto-disko freskoetan neurtu zen glifosatoaren aplikaziotik bost egun pasa ostean.

Malondialdehido (MDA) eta glutathion edukia neurtzeko izoztutako eta birrindutako hosto-ehuna erabili zen. Hostoen izozketa glifosatoaren aplikaziotik hiru egun pasa ostean egin zen. MDA edukia lipidoen peroxidazioaren adierazletzat hartu zen eta espektrofotometrikoki neurtu zen (Hodges et al., 1999). Glutathion edukia laserrak eragindako fluoreszentzia-detekttagailu batez hornitutako elektroforesi kapilarraz neurtu zen (Zulet et al., 2013).

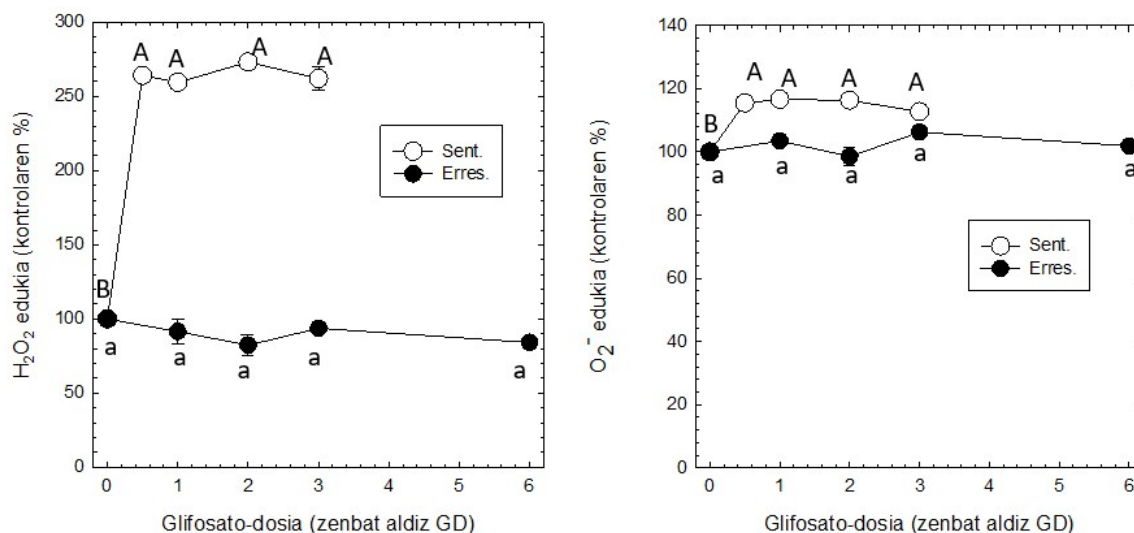
3.3. Analisi estatistikoa

Batez besteko balio bakoitza populazio eta tratamendu bereko landare desberdinen laginak erabiliz kalkulatu zen. Bi populazioetako kontrol-landareen arteko desberdintasun posibleak Student-en t testarekin ebaluatu ziren. Irudietan, desberdintasun esanguratsuak ($p < 0,05$) izartxoekin adierazita daude. Populazio bereko eta tratamendu desberdineko landareen arteko desberdintasun posibleak ANOVA analisiarekin ebaluatu ziren. Irudietan, desberdintasun esanguratsuak ($p < 0,05$) hizki desberdinekin adierazita daude. Analisi estadistiko guztiak egiteko SPSS 18.0 softwarea erabili zen.

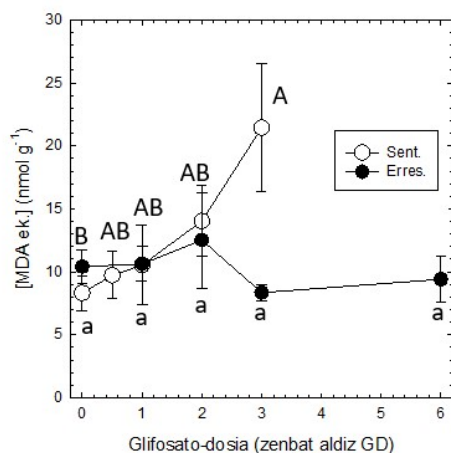
4. Emaitzak

1. irudian adierazten denez, neurtutako bi OEEn edukia nabarmenki igo zen glifosatoaren ondorioz populazio sentikorrean, batez ere hidrogeno peroxidoa. Hala ere, glifosato-dosi ezberdinek antzerako efektua eragin zuten, kontrola izan ezik, ez baitago desberdintasun esanguratsurik tratamenduen artean. Populazio erresistenteko landare guztietan OEEn edukierako balioak oso antzerakoak dira, tratamendua edozein dela ere.

1. irudia. Hidrogeno peroxido edukia (ezk.) eta superoxido edukia (esk.), populazio sentikorrean (txuria) eta erresistentean (beltza), glifosatoko dosi desberdinekin tratatuak, gomendatutako dosia (GD) aplikatu den aldietan adierazita. Batez besteko balioak errore estandarrekin adierazi dira. Desberdintasun esanguratsuak ($p < 0,05$) hizki desberdinekin adierazita daude: populazio sentikorra hizki larriekin eta populazio erresistentea hizki txikiekin.



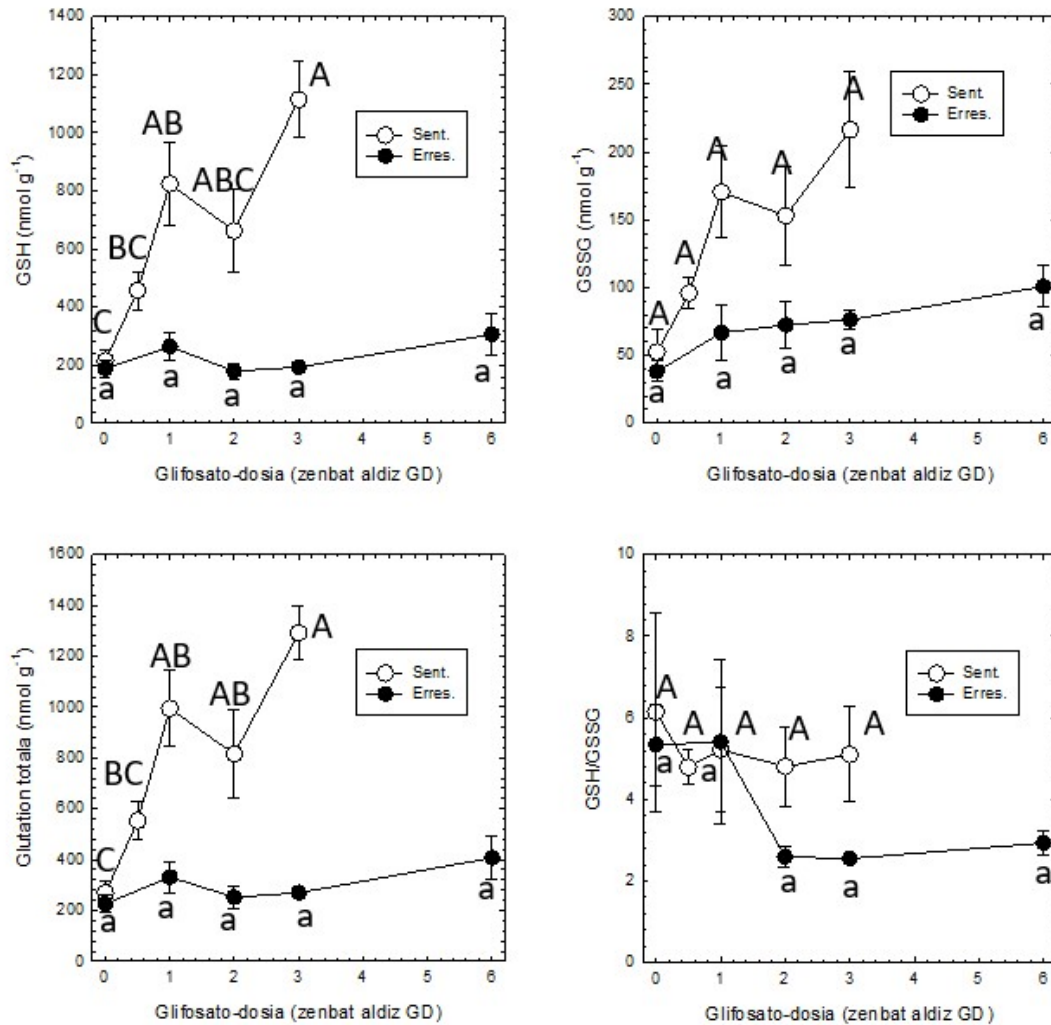
Lipidoen peroxidazioari dagokionez, 2. irudian adierazten den bezala, populazio sentikorrean MDA edukia igotzen da glifosato-dosiaren arabera. Igoera nabarmena da, batez ere 3 GD tratamendukoa. Populazio erresistentean, aldiz, ez dago desberdintasunik tratamenduen artean.



2. irudia. MDA kontzentrazioa, populazio sentikorrean (txuria) eta erresistentean (beltza), glifosatoko dosi desberdinekin tratatuak, gomendatutako dosia (GD) aplikatu den aldietan adierazita. Batez besteko balioak errore estandarrekin adierazi dira. Desberdintasun esanguratsuak ($p < 0,05$) hizki desberdinekin adierazita daude: populazio sentikorra hizki larriekin eta populazio erresistentea hizki txikiekin.

Populazio sentikorrean ikusitako OEn eta lipidoen peroxidazioaren igoera glutathion edukieraren igoerarekin batera doa. 3. irudian ikusi ahal denez, landare sentikorretan glutathion edukia glifosato-dosiaren arabera proportzionalki igotzen da. Igoera hau GSH-ri esker gertatzen da. GSSG pixka bat igotzen da, nahiz eta esanguratsua ez izan. Honen ondorioz, glutathion oxidatu eta erreduzituen arteko koefizientea ere ez da aldatzen. Populazio erresistentean, berriro ere, balio guztiak antzekoak dira, 3. irudian azaltzen den bezala.

3. irudia. GSH, GSSG eta glutation totalaren kontzentrazioa; eta GSH/GSSG koizientea, populazio sentikorrean (txuria) eta erresistentean (beltza), glifosatoa dosi desberdinekin tratatua, gomendatutako dosia (GD) aplikatu den aldietan adierazita. Batez besteko balioak errore estandarrekin adierazi dira. Desberdintasun esanguratsuak ($p < 0,05$) hizki desberdinekin adierazita daude: populazio sentikorra hizki larriekin eta populazio erresistentea hizki txikiarekin.



5. Eztabaida

Aurkeztutako emaitzek OEEn, oxidazio-kaltearen (lipidoen peroxidazioa) eta jarduera antioxidatzailearen (glutaciona) igoera baieztatu dute glifosatoaren ondorioz landare sentikorrean. Honek glifosatoak nolabaiteko oxidazio-estresa eragin duela berresten du. Emaitzek bat egiten dute aurreko hainbat ikerketekin. Zehazki, ikerketa askok aurkitu dute glifosatoak OEEn produkzioa azkartu egiten duela espezie anitzeko landare sentikorrean (Ahsan et al., 2008; Gomes eta Juneau, 2016; Iummato et al., 2019; Liu et al., 2019; Piasecki et al., 2019). Hala ere, hau ez da glifosatoaren ekintza mekanismoaren ondorio zuzen bat. Izan ere, glifosatoak zergatik laguntzen duen OEEn sortzen ez dago argi. Gomesek eta Juneauk (2016) mitokondrietan jartzen dute jatorria. Haiek diotenez, glifosatoak mitokondrietako arnasketa zelularra kaltetzen du eta bertako OEEn produkzioa ugaritzen da.

Glifosatoaren eraginez sortutako OEE kopuru apartaren ondorioz (1. irudia), funtsezko biomolekula batzuk oxidatzen dira, lipidoen peroxidazioaren emaitzek adierazten duten bezala (2. irudia). Berririo ere, emaitza hauek beste espezieekin egindako ikerketekin bat datoz (Liu et al., 2019; Meloni et al., 2019; Radwan eta Fayez, 2016; Soares et al., 2019). Dena den, beste ikerketa batzuek ez dute glifosatoak eragindako peroxidazio lipidikorik erakusten (Moldes et al., 2008). Batez ere, hau glifosato-dosi baxuak aplikatzean gerta daiteke. Izan ere, hemen azaltzen diren emaitzetan, soilik 3 GD aplikatuz gero ikusten dira desberdintasun esanguratsuak lipidoen peroxidazioan (2. irudia), OEEen kasuan 0,5 GD nahikoa denean desberdintasun oso nabarmengarriak ikusteko (1. irudia).

Ziurrenik, OEEen eta lipidoen peroxidazioaren arteko desfaseak jarduera antioxidatzailearekin zerikusia du. Emaitzek adierazten duten bezala, glutathion kopuruak gora egiten du glifosato-dosiarekin (3. irudia). Beregainki, glutathion erreduzitu kopurua da gehien igotzen dena. 1. formulatan ikusi ahal den bezala, glutathion erreduzitua da H_2O_2 harrapatzeaz eta hortaz bere ondorioak murrizteaz edota atzeratzeaz arduratzen dena. Orokorrean, glifosatoak eragindako H_2O_2 edukia igoerari glutathionaren eta beste antioxidatzaileen sintesiaren gorakadak jarraitzen dio. Hala, argi dago glutathionaren sintesia H_2O_2 eduki handituaren ondorio zuzena dela (Iummato et al., 2019).

Hau guztia soilik landare sentikorretan ikusi ahal izan da. Landare erresistenteetan, berriz, emaitza hauek kontrakoa adierazten dute: tratatutako landareek eta tratatu gabekoek balio berdinak dituzte eta, beraz, glifosatoak ez du oxidazio-estresik eragin. Oxidazio-estresaren arloan, oso ikerketa gutxi egin dira glifosatoarekiko landare erresistenteekin, baina eskuragarri dauden ikerketa apurrek norabide berean seinalatzen dute (Maroli et al., 2015; Moldes et al., 2008; Piasecki et al., 2019).

Datu hauekin, zaila da zehaztea oxidazio-estresak zenbateko garrantzia duen glifosatoarekin tratatutako landareen hilkortasunean. Dena den, tratatutako landare sentikor guztiak hil zirela kontuan hartzekoa da, alegia, glifosato-dosi oso baxua nahikoa da hauek akabatzen. Aitzitik, oxidazio-estresari lotutako kalteak (lipidoen peroxidazioa) soilik glifosato-dosi altuekin dira nabarmenak. Honek esan nahi du oxidazio-estresa ez dela hilkortasunaren arrazoi nagusia glifosatoarekin tratatutako landareetan.

6. Ondorioak eta etorkizunerako norabidea

Laburbilduz, *A. palmeri*-ren banakako sentikorretan, glifosatoaren aplikazioak OEEen sorkuntza azkartzen du. OEEen ohiz kanpoko kontzentrazioak lipidoen peroxidazioa eragiten du eta jarduera antioxidatzailea pizten du. Jarduera antioxidatzailearen emendioak, bere aldetik, lipidoen peroxidazio hori nolabait murrizten du. Glifosatoak eragindako oxidazio-estresak kalte egiten die landare sentikorre, nahiz eta hilkortasunaren arrazoi nagusia ez izan. Litekeena da heriotza herbizida honek eragindako hainbat efektu fisiologikoen ondorioa izatea, oxidazio-estresa barne. Glifosatoarekiko erresistentzia duten aleetan, berriz, glifosatoaren aplikazioaren ondoren ez da OEE edukia handitzen eta, beraz, ez dago ondoriorik oxidazio-estresean edo jarduera antioxidatzailean.

Ikerketa arlo konkretu honetan, glifosatoaren bigarren mailako efektu ugari oraindik ez dira ondo ezagutzen, ezta belar txar askoren erantzun fisiologikoa ere. Glifosatoak eta beste herbizidek belar txarren bizi-funtzioak zehazki nola oztopatzen dituzten ezagutzea funtsezkoa da belar txarren kudeaketa efiziente bat lortzeko. Hala ere, belar txarren populazio erresistenteen agerketak ohartzat hartu beharko genuke. Herbizidak oso erabilgarriak badira ere, haien aplikazio masiboa ez da jasangarria eta, epe luzera, belar txarren kontrol integral batera jo beharko da.

7. Erreferentziak

Ahsan, N., Lee, D. G., Lee, K.W., Alam, I., Lee, S.H., Bahk, J. D., & Lee, B.H. (2008). Glyphosate-induced oxidative stress in rice leaves revealed by proteomic approach. *Plant Physiology and Biochemistry*, 46(12), 1062–1070.

- Craig, M. D. (d.g.). Nola erreaktiboa oxigeno molekula funtzioa [kontsultatua: 2021 mar 9]. Webgunea: <https://eu.approbys.com/nola-erreaktiboa-oxigeno-molekula-funtzioa/>
- Daudi, A., & O'Brien, J. A. (2012). Detection of Hydrogen Peroxide by DAB Staining in Arabidopsis Leaves. *Bio-Protocol*, 2(18), e263.
- Demidchik, V. (2015). Mechanisms of oxidative stress in plants: From classical chemistry to cell biology. *Environmental and Experimental Botany*, 109, 212–228.
- Duke, S. O., Powles, S. B., & Sammons, R. D. (2018). Glyphosate – How it became a once in a hundred year Herbicide and its future. *Outlooks on Pest Management*, 29(6), 247–251.
- Fernández-Escalada, M., Gil-Monreal, M., Zabalza, A., & Royuela, M. (2016). Characterization of the *Amaranthus palmeri* physiological response to glyphosate in susceptible and resistant populations. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(1), 95–106.
- Gomes, M. P., & Juneau, P. (2016). Oxidative stress in duckweed (*Lemna minor* L.) induced by glyphosate: Is the mitochondrial electron transport chain a target of this herbicide? *Environmental Pollution*, 218, 402–409.
- 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(4), 604–611.
- Iummato, M. M., Fassiano, A., Graziano, M., dos Santos Afonso, M., Ríos de Molina, M. del C., & Juárez, Á. B. (2019). Effect of glyphosate on the growth, morphology, ultrastructure and metabolism of *Scenedesmus vacuolatus*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 172(January), 471–479.
- Liu, X., Ma, D., Zhang, Z., Wang, S., Du, S., Deng, X., & Yin, L. (2019). Plant lipid remodeling in response to abiotic stresses. *Environmental and Experimental Botany*, 165(March), 174–184.
- Maroli, A. S., Nandula, V. K., Dayan, F. E., Duke, S. O., Gerard, P., & Tharayil, N. (2015). Metabolic profiling and enzyme analyses indicate a potential role of antioxidant systems in complementing glyphosate resistance in an *Amaranthus palmeri* biotype. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(41), 9199–9209.
- Meloni, D. A., Targa, G., Fraño, A., Ledesma, R., Silva, M. C., & Catán, E. A. (2019). La deriva de glifosato inhibe la fotosíntesis y produce estrés oxidativo en *Eucalyptus camaldulensis*. *Quebracho*, 27, 5–12.
- Moldes, C. A., Medici, L. O., Abrahao, O. S., Tsai, S. M., & Azevedo, R. A. (2008). Biochemical responses of glyphosate resistant and susceptible soybean plants exposed to glyphosate. *Acta Physiologiae Plantarum*, 30(4), 469–479.
- Piasecki, C., Carvalho, I. R., Cechin, J., Goulart, F. A. P., da Maia, L. C., Agostinetto, D., ... Vargas, L. (2019). Oxidative stress and differential antioxidant enzyme activity in glyphosate-resistant and-sensitive hairy fleabane in response to glyphosate treatment. *Bragantia*, 78(3), 379–396.
- Radwan, D. E. M., & Fayez, K. A. (2016). Photosynthesis, antioxidant status and gas-exchange are altered by glyphosate application in peanut leaves. *Photosynthetica*, 54(2), 307–316.
- Recasens, J. (2020). *Amaranthus palmeri*. Una seria amenaza de nuestros campos de maíz. *Phytoma*, 321.
- Romero-Puertas, M. C., Rodríguez-Serrano, M., Corpas, F. J., Gómez, M., Del Río, L. A., & Sandalio, L. M. (2004). Cadmium-induced subcellular accumulation of O₂·- and H₂O₂ in pea leaves. *Plant, Cell and Environment*, 27(9), 1122–1134.
- Sergiev, I. G., Alexieva, V. S., Ivanov, S. V., Moskova, I. I., & Karanov, E. N. (2006). The phenylurea cytokinin 4PU-30 protects maize plants against glyphosate action. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 85(3), 139–146.
- Soares, C., Pereira, R., Spormann, S., & Fidalgo, F. (2019). Is soil contamination by a glyphosate commercial formulation truly harmless to non-target plants? – Evaluation of oxidative damage and antioxidant responses in tomato. *Environmental Pollution*, 247, 256–265.
- Westwood, J. H., Charudattan, R., Duke, S. O., Fennimore, S. A., Marrone, P., Slaughter, D. C., ... Zollinger, R. (2018). Weed management in 2050: Perspectives on the future of weed science. *Weed Science*, 66(3), 275–285.
- Zulet, A., Zabalza, A., & Royuela, M. (2013). Phytotoxic and metabolic effects of exogenous quinate on *Pisum sativum* L. *Journal of Plant Growth Regulation*, 32(4), 779–788.

8. Eskerrak eta oharrak

- Eskerrik asko Gustavo Garijori laguntza teknikoagatik.
- Lan hau Eusko Jaurlaritzaren diru-laguntza bati esker eta Espainiako Ekonomia Ministerioari esker (AGL2016-77531-R) finantziatu da.