



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet
Élelmiszertudományi Doktori Iskola

**A fényviszonyok hatása a kenyérbúza
(*Triticum aestivum* L.) glutation és szabad aminosav
anyagcseréjére a kapcsolódó gének kifejeződésének szintjén**

Toldi Dávid Zoltán

Budapest

2024

**A doktori iskola
megnevezése:** Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Élelmiszertudományi Doktori Iskola

Tudományága: Élelmiszertudományok

Vezetője: Simonné Dr. Sarkadi Livia
Egyetemi tanár, az MTA doktora
MATE Élelmiszertudományi Kar

Témavezetők: Simonné Dr. Sarkadi Livia
Egyetemi tanár, az MTA doktora
MATE Élelmiszertudományi és Technológiai
Intézet, Táplálkozástudományi Tanszék

Dr. Kocsy Gábor
Tudományos tanácsadó, az MTA doktora
HUN-REN Agrártudományi Kutatóközpont,
Mezőgazdasági Intézet
Biológiai Erőforrások Osztálya

Simonné Dr. Sarkadi Livia
Az iskolavezető jóváhagyása

Simonné Dr. Sarkadi Livia
A témavezető jóváhagyása

Dr. Kocsy Gábor
A témavezető jóváhagyása

1. A MUNKA ELŐZMÉNYEI, CÉLKITŰZÉSEK

A növények produkcióját alapvetően genetikai állományuk határozza meg, de a környezeti feltételek is nagyban befolyásolják azt. Az abiotikus faktorok egyik csoportja közvetlenül a Naptól és annak égbolton elfoglalt helyzetétől függ. Ilyen a hőmérséklet, ezen belül is az alacsony és magas hőmérsékleti periódusok; a fény, úgyis mint a nappalhosszúság éves periodikus váltakozásai, valamint a fény spektrális összetétele és intenzitása. Továbbá az abiotikus faktorok közé tartozik a légkör összetétele; a vízellátottság, kiemelve a csapadék mennyiségének megfelelő eloszlását; a talaj szerkezete, annak kémhatása és tápanyagellátottsága. Ezen tényezők a biotikus faktorokkal együtt a termőhely sajátos viszonyait határozzák meg (TOLNER, 1999).

A búza fejlődésének egyik legfontosabb szakasza, amely a liszt minőségét is nagyban befolyásolja, a kalászhányás. Ez egy igen komplex folyamat, melyet a már korábban említett környezeti faktorok összesége határozza meg. Ezek a környezeti faktorok közvetlenül befolyásolják az egyedfejlődést és a szemtermés minőségét (VARGA *et al.*, 2003).

A búza és az árpa (*Hordeum vulgare* L.) esetében a különböző környezeti tényezőkre adott sokrétű szabályozási folyamatoknak az alapvető összefüggéseit már feltárták (KOSOVÁ *et al.*, 2014), viszont még nem kellőképpen tisztázottak az alkalmazkodási folyamatok alatt lezajló molekuláris-genetikai lépések (LIPIEC *et al.*, 2013).

A növények, azaz a jelen kutatás alanyául szolgáló kenyérbúza (*Triticum aestivum* L.), fényfüggő fiziológiai folyamatainak mélyebb megismerése segíthet a termőhelyi sajátosságokhoz leginkább alkalmazkodni képes és megbízható magas sütőipari értékkel bíró fajták nemesítésében.

1.1.Célkitűzéseim:

- a növekedés, fejlődés és az ezeken a folyamatokat alapvetően meghatározó fotoszintézis fényviszonyoktól (azaz eltérő erősségű és spektrális összetételű fény) függő változásainak nyomon követése búzában fiatakorban és teljesen kifejlődött növényekben
- a fényerősség és a spektrum glutation-szintézisre gyakorolt hatásának tanulmányozása az anyagcseretermékek szintjén
- a különböző erősségű és spektrális összetételű fény szabad aminosav-koncentrációra kifejtett hatásának vizsgálata az anyagcseretermék szintjén
- a tervezett kísérletekben alkalmazott eltérő fénykörnyezet glutation-szintézisre és szabad aminosav-koncentrációra kifejtett hatásának a génkifejeződés szintjén való vizsgálata

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

2.1. A kutatás során használt búzafajták

Kutatásomat a *Triticum aestivum* L. ssp. *aestivum* cv. Chinese Spring (CS) genotípussal végeztem (GALIBA *et al.*, 1989; GALIBA *et al.*, 1993; KEREPESI *et al.*, 1998). A termésérésig nevelt növényekkel végzett kísérletekben egy másik hexaploid búza genotípust (*Triticum aestivum* L. ssp. *aestivum* cv. 'Mv Kikelet') használtam.

2.2. A nevelési körülmények

A növénynevelő kamrában a megvilágítást több különböző típusú LED fényforrás biztosította. Ezek a fényforrások nem monokromatikusak. A kék, vörös vagy távoli vörös spektrális komponensek arányait változtattam meg. A fehér a természetes fényhez hasonló összetételű volt, míg a kék, a rózsaszín és a távoli vörös esetében az adott szín irányába eltoltam a spektrumot. Ezek a fénybeállítások a természetben is lejátszódó fénykörnyezetben bekövetkező változásokat hivatottak imitálni (QUILES és LÓPEZ, 2004).

2.3. A növények növekedésének a vizsgálata

A kutatás során a fejlődő csírák és hajtások növekedését is figyelemmel kísértem. A teljesen kifejlett növények fejlődési stádiumát a Zadoks skála szerint Z13-tól Z89-ig határoztam meg (ZADOKS *et al.*, 1974).

2.4. A fotoszintetikus paraméterek vizsgálata

A növényi kivonatok pigmenttartalmát (klorofilok és karotinoidok) egyszerű fotometriás úton határoztam meg egy Cary-100 UV-VIS spektrofotométer (Varian, Middelburg, Netherlands) segítségével, négy különböző hullámhosszúságon (750 nm, 664 nm, 646 nm és 470 nm) (LICHTENTHALER, 1987).

2.5. A szabad aminosavak meghatározása

A szabad aminosav-tartalom meghatározása az aprított és homogenizált levélminták felhasználásával egy Ionex Ostion LCP5020 kationcserélő oszloppal (22 cm x 0,37 cm) ellátott AAA 400 típusú Automatikus Aminosav Analizátorral (Ingos Kft., Csehország) történt. A kromatográfiás elválasztás többlépcsős gradiens elúció alapján Li-citrát pufferrendszerrel valósult meg. A detektálás oszlop utáni ninhidrines származékképzést követően egy átfolyóküvetés detektorral 570 nm-en és 440 nm-en (Pro) történt. Az eredmények kiértékeléséhez CHROMULAN v0.82 (PIKRON, Csehország) programot használtam (KOVÁCS *et al.*, 2012).

2.6. A tiolok meghatározása HPLC-vel

A tiolok, azaz a GSH, a cisztein, a γ -glutamil-cisztein (γ -EC), a hmGSH és a ciszteinil-glicin (Cys-Gly) mennyiségének a meghatározásához növényi levélminta felhasználásával egy fluoreszcens detektorral ellátott (W474 pásztázó fluoreszcens detektor, Waters) fordított-fázisú oszlopot alkalmazó HPLC készüléket (Waters, Milford, MA, USA) használtam (KRANNER és

GRILL 1996, KOCSY *et al.*, 2000) használtam. A redukciós potenciál pontos meghatározásához SCHAFER és BUETTNER (2001) képletét alkalmaztam.

2.7. RNS izolálás

A génexpressziós vizsgálatokhoz szükséges RNS izolálásához a Direct-zol™ RNS Miniprep Kit-et (Zymo Research) használtam (KHANDHAR *et al.*, 2022). Az RNS-t tartalmazó oldatokat a későbbi felhasználásig -80 °C-on tároltam.

2.8. cDNS írás, azaz a reverz-transzkripció

A kivont RNS-t tartalmazó oldatokban lévő RNS koncentrációját NanoDrop ND-1000 UV/VIS spektrofotométerrel mértem le, majd a kivonatokból egységes koncentrációjú hígításokat készítettem. A reakció után a cDNS oldatot hígítottam, hogy végül 10 ng/μl-es cDNS oldatot kapjak (VOGEL és WHEAT, 2011).

2.9. RT-qPCR alapú vizsgálatok

A génexpressziós vizsgálat sorozathoz egy CFX96 real-time PCR készüléket használtam (CFX96 Touch™ Real-Time PCR Detection System, Bio-Rad), majd a készülékhez tartozó Bio-Rad CFX Manager nevű szoftverrel (Bio-Rad CFX Manager 3.1.1517.0823) elemeztem ki. Az adatelemzés során a relatív expressziós szintek meghatározásához a ΔC_T módszert alkalmaztam, melyhez minden esetben a Ta30797-es gént (PAOLACCI *et al.*, 2009) használtam referencia („housekeeping” gene - HKG) génként (LIVAK és SCHMITTGEN, 2001).

2.10. Statisztikai elemzés

A statisztikai elemzés az IBM SPSS Statistics 22.0 (2013) program használatával történt egytényezős varianciaanalízissel (ANOVA), majd Tukey-féle post hoc tesztet alkalmaztam ($P < 0,05$ %) (GUILFORD, 1950). A korrelációs elemzés és az adatok ábrázolása a Microsoft Office 365 (2019) Excel program, míg a hierarchikus klaszterezés a Multiexperiment Viewer V4.5 program segítségével történt.

3. EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK

3.1. A fényviszonyok hatása a fiatal búza növekedésére és anyagcseréjére

3.1.1. A fény hatása a növekedésre

A búza frisstömegének változása szignifikáns eltéréseket mutatott a különböző fénykezelések hatására. A normál intenzitású fehér fényt vettem minden esetben az alap/standard állapotnak, amelyet a növények neveléséhez rutinszerűen használnak Martonvásáron a fitotron kamrákban. A normál intenzitású fehér fényhez képest szignifikáns eltéréseket tapasztaltam a fényerő és a színkép megváltoztatásnak hatására. A fény intenzitásának növekedésével közel lineárisan nőtt a búza átlagos frisstömege. A magas fényintenzitáson nevelt búza frisstömege volt a legnagyobb.

3.1.2. Fotoszintetikus pigmentek

A fényerősség növelésével, illetve a kék fény arányának növelésével kis mértékben emelkedett a levelek klorofill tartalma, azonban statisztikailag alátámasztható szignifikanciát nem tudtam kimutatni. Általánosságban azt tapasztaltam, hogy a fény energia tartalmának függvényében változott a klorofill mennyisége a levelekben. A klorofill tartalomhoz hasonlóan a karotinoid tartalom eredményeit megvizsgálva szignifikáns eltérést nem tapasztaltam, de a tendencia szinte megegyezik a klorofilltartalom változásaival.

3.1.3. A fiatal búza fotoszintetikus aktivitása

A fotoszintetikus aktivitás további vizsgálatához megvizsgáltam a búza fotoszintetikus elektrontranszportját (ETR). Az alacsony intenzitású fehér fényen ez a paraméter drasztikusan elmarad a többi fénykezelés esetén mért értékektől. Az intenzitás növelésével a fotoszintetikus elektrontranszportja exponenciális mértékben nőtt, és a legmagasabb értéket a magas intenzitású fehér fény alatt nevelt növények esetében mértem. A normál fehér fényhez képest majdnem 50 %-kal nőtt az ETR.

3.1.4. A fény hatása a glutation szintézisére és redox állapotára

Az eltérő spektrális összetételű fény hatására is megváltozott a mennyiségük, azonban a legkiemelkedőbb hatást a kék fény alatt nevelt növények esetében tapasztaltam. Ebben az esetben volt mennyiségük a legmagasabb. A GSH és GSSG mennyisége az alacsony intenzitású fehér fény alatt nevelt búza esetében volt a legalacsonyabb, a felét sem érte el a normál intenzitású fehér fény alatt nevelt növényekhez képest, ami a fotoszintézis csökkent működésével függ össze, ugyanis ebben az esetben kevesebb ROF keletkezik. A normál és magas intenzitású fehér fény alatt nevelt növények esetében volt a legmagasabb a GSH és GSSG tartalom.

3.1.5. A fény hatása a szabad aminosavakra

A búza összes szabad aminosav tartalmát vizsgálva a normál intenzitású fehér fényhez képest minden kezelésnél szignifikáns különbségeket figyeltem meg. A fény intenzitásának

növelésével a szabad aminosav tartalom közel lineárisan nőtt. A magas intenzitású fehér fény alatt nevelt búza esetében a szabad aminosav tartalom közel kétszer annyi volt, mint a normál intenzitású fehér fény alatt nevelt esetében. Az eltérő spektrális összetételű fény is befolyásolta a búza szabad aminosav tartalmát. A rózsaszín fény hatására az összes szabad aminosav tartalom jelentősen csökkent a normál, illetve a kék és vörös fény alatt nevelt növényekhez képest. A hierarchikus klaszterezés azt mutatta, hogy az egyes aminosavak koncentrációi milyen mértékben különböznek az egyes kezeléseknél. Az alacsony intenzitású fényen nevelt növények esetében tapasztaltam a legtöbb eltérést a többi fénykezelésekhez viszonyítva. A kezeléseket összehasonlítva két nagyobb csoportot lehetett képezni. Ezek a kék és rózsaszín fény, valamint a normál, a magas és a távoli-vörös fénykezelés volt. A legnagyobb szabad aminosav (FAA) koncentrációkat a magas intenzitású fehér fény alatt nevelt búza esetében detektáltam. Az aminosavak mennyisége a fényintenzitás növelésével párhuzamosan nőtt, kivéve a Pro-t, Met-t és Orn-t. Rózsaszín fényben számos aminosav koncentrációja sokkal alacsonyabb, de az Asp és Thr mennyisége nagyobb volt, mint a normál intenzitású fehér fény esetében.

3.1.6. A fény hatása a glutation és az aminosavak anyagcseréjével kapcsolatos gének kifejeződésére

A vizsgált gének termékei, az adott anyagcsereútban meghatározó szerepet töltenek be, és szakirodalmi adatok alapján lettek kiválasztva. A glutation anyagcsere esetében NOCTOR *et al.*, (2011) közleményének, az aminosav anyagcserére vonatkozóan pedig PRATELLI és PILOT (2014) összefoglaló cikkének figyelembevételével történt a kiválasztás. A glutation- és aminosav-metabolizmushoz kapcsolódó gének transzkripció szintjét a fény erőssége és spektrális összetétele is befolyásolta. Minden esetben a normál intenzitású fehér fényhez viszonyítottam az eredményeket. A CysASTL, az OrnATF és a GluDH fényfüggő génexpressziós vizsgálat esetében azt tapasztaltam, hogy a fényintenzitás növekedésével az expresszió nőtt, azaz a fényerősségtől függő asszimiláció növekedésével párhuzamosan nőtt a gének expressziója. A P5CR és APX1 génexpressziós vizsgálat esetében azt tapasztaltam, hogy a fényintenzitás növekedésével az expresszió közel lineárisan nőtt, azaz a fényerősségtől függő asszimiláció növekedésével párhuzamosan nőtt a gének expressziója. Az eltérő spektrális összetételű fény hatására ezen gének expressziója nagymértékben csökkent a normál intenzitású fehér fényhez képest, valamint a távoli vörös fény arányának növelése kismértékben megemelte ezen gének expresszióját, azonban ez is alulmarad a normál intenzitású fehér fényen nevelt növények esetében mért értékektől. A TaGR, az AspTA és az APSR génexpressziós vizsgálat esetében azt tapasztaltam, hogy hasonlóan az eddig leírtakhoz a fényintenzitás növekedésével az expresszió nőtt (az APSR esetében közel lineárisan). Az eltérő spektrális összetételű fény alatt nevelt búza esetében ezen gének expressziójának vizsgálatakor azt tapasztaltam, hogy az a rózsaszín spektrumösszetételű fény alatt

nevelt növényeknél alacsonyabb volt, mint a kék, illetve távoli vörös spektrum felé eltolt fény esetében. Továbbá az APSR esetében azt tapasztaltam, hogy a spektrális összetétel megváltoztatása növelte az expressziót és meghaladta még a magas intenzitású fehér fény alatt nevelt növényekben mért szintet is. Az ADC és TaGSHS génexpressziós vizsgálat esetében azt tapasztaltam, hogy a fényerősség változásának hatására bekövetkező expressziós változások összefüggésben állnak ugyan, de a kapcsolat nem pontosan lineáris. Az eltérő spektrális összetételű fény alatt nevelt búza esetében pedig a távoli vörös fény hatására volt a legalacsonyabb a gén expressziója. Végül a TaNR, a TaGST és a SerHMT azt tapasztaltam, hogy a NR a fényerősség változás hatására bekövetkező expressziós változások fordított összefüggésben állnak, azaz a fényintenzitás növelésével ezen gének expressziója csökkent. A GST és SerHMT gének expressziójának vizsgálati eredményei pedig eltérnek a korábbiaktól. A fehér fény erősségének változása és a génexpresszió közötti kapcsolat kevésbé mutatkozik meg. A normál intenzitású fehér fény alatt nevelt búza esetében volt a legnagyobb a génexpresszió, azaz mind a fényhiány, mind pedig az magas fényintenzitás csökkentette ezen két gén expresszióját. A különböző spektrális összetételű fénykezelések esetében a génexpresszió szintje elmaradt a normál intenzitású fehér fény alatt nevelt növények esetében tapasztaltaktól.

3.2. A fényviszonyok hatása a termésérésig nevelt növények növekedésére, fejlődésére és anyagcseréjére

3.2.1. A fényviszonyok hatása a növények morfológiájára és virágzási idejükre

A búza átlagmagassága a távoli vörös fénykezelés hatására a legmagasabb, míg a kék fénykezelés hatására a legalacsonyabb volt. A magasságból adódó különbségeket nem kísérte a levélszám megváltozása. Az érés során (Z71-89) kialakuló fejlődési különbségek a különböző fényforrások hatására nem voltak szignifikánsak, kivéve a kék kezelés esetében, ahol az érés négy nappal később fejeződött be, mint a többi kezelés esetében.

3.2.2. A fényviszonyok hatása a búza zászlósleveleinek tiolszintjére

A különböző fénykezelések befolyásolták a búza zászlóleveleinek tiolszintjét. A cisztein teljes mennyisége nagyobb volt a távoli vörös fényen nevelt növények esetében, mint a fluoreszcens fehér, rózsaszín, kék és vörös és normál intenzitású vörös fényen nevelt búzában. A három vizsgált tiol molekula közül a leginkább fényfüggő változás a γ -glutamilcisztein (γ EC) esetében volt kimutatható. A zászlóslevelek vizsgálata azt mutatta, hogy γ EC legnagyobb mennyiségben a magas intenzitású vörös, míg a legalacsonyabb a rózsaszín fénykezelés alatt nevelt növényeknél volt, valamint a γ EC redukált és oxidált formáinak arányát a fényviszonyok befolyásolták. A fluoreszcens fehér, kék, magas és normál intenzitású vörös fénykezelés hatására ez az arány alacsony, míg a rózsaszín és a távoli vörös esetében magas volt a búza

zászlósleveleiben. A teljes glutation mennyiség legalacsonyabb értéke a normál intenzitású vörös fénykezelés alatt nevelt növények zászlós leveleiben volt kimutatható.

3.2.3. A fényviszonyok hatása a zászlólevelek aminosav tartalmára

A fény erőssége és spektrális összetétele befolyásolta a szabad aminosavak mennyiségét és arányát a búza zászlósleveleiben. Alacsonyabb mennyiségű szabad aminosav volt kimutatható a kék és a normál intenzitású vörös fénykezelések esetében, míg a szabad aminosavak legnagyobb mennyisége a magas intenzitású vörös fénykezelés alatt nevelt búza zászlósleveleiben volt megfigyelhető. A zászlóslevélben végzett analízis alapján megállapítható, hogy abban az aminosavak egymáshoz viszonyított mennyisége kisebb mértékben változott a különböző fénykezelések hatására, mint a fiatal búza esetében, ahol a GABA, Asn, Glu, Ser, Asp, Ala, Thr, Gln és Gly csoport jól elkülöníthető. A GABA mennyisége mindkét nevelési rendszer magas intenzitású fénykezelése esetében meghatározó volt, ezzel is jelezve központi szerepét az anyagcserében.

4. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A fény intenzitásának és spektrumának változásai befolyásolják a fotoszintézist és a vele szoros kapcsolatban álló redox rendszert a búzában. A glutation mennyiségének és redox állapotának változásai kapcsolatban állhatnak a fényfüggő glutation és aminosav metabolizmus transzkripciós szintű szabályozásával. Ezt a kapcsolatot támasztja alá a GSH koncentráció pozitív és a GSSG arány negatív korrelációja az ETR-vel. Ez azt jelenti, hogy a GSH koncentráció növekedésével ezek a paraméterek is nagyobbak lesznek, míg a GSSG arány növekedésével, ami a sejtekben oxidálóbb környezetet eredményez, kisebbek lesznek.

A búza teljes felnevelése során a fényviszonyok változásai hatással voltak a fejlődésre és az anyagcserére. A kutatás során elsősorban a fényintenzitás volt leginkább hatással a fotoszintetikus aktivitásra és így a növények biomassza termelésére. Mindezek mellett még kiemelkedő jelentősége volt a növények bokrosodási szakaszában is. A fényminőség befolyásolta a búza szármegnyúlását, amelyet antagonistaként a kék és a távoli vörös fény befolyásolt leginkább. A kalászolási idő elhúzódása volt megfigyelhető a kék fénykezelés hatására, míg a legkorábbi kalászolási időt akkor volt megfigyelhető, amikor a kék és a vörös spektrum aránya körülbelül azonos volt. A fényminőség és a mennyiség megváltoztatta a zászlóslevelek anyagcseréjét is, melyek fontos forrásként szolgálnak a búzaszemek tartaléktápanyagainak felhalmozódásához. Annak ellenére, hogy a kék kezelés stimulálta a sztómák nyílását, a zászlós levelek CO₂ asszimilációs kapacitása alacsony maradt. A tiolok redox állapotát elsősorban a távoli vörös fénykezelés befolyásolta. Ezen metabolitok, például a γ -EC, a cistein és a glutation redukált és oxidált formáinak aránya módosult. A kék fénykezelés stimulálta a prolin anyagcserét.

Összességében ezek az eredmények arra engednek következtetni, hogy a különböző fényviszonyok és azok módosítása a fejlődés során lehetővé teszi a búza növekedési feltételeinek optimalizálását hozzájárulva bizonyos tulajdonságai megváltoztatásához.

Az eredmények alapján a búzatermesztés alkalmazott általános tőtávolság helyett egy, a fajtára specifikus megválasztása segíthet a növények jobb fényadaptációjának kialakításához, valamint az oxidatív stressz elleni jobb védekezés kialakításához. Az antioxidáns rendszer finomhangolásával lehetőség nyílik a különböző fényviszonyokhoz könnyebben adaptálódni képes új fajták nemesítésében. Mivel a különböző fénykörnyezet a redox rendszer mellett a szabad aminosavak mennyiségét és arányát is befolyásolta, az eredmények alapján érdemes lenne bizonyos metabolikus útvonalak erősítésével befolyásolni az anyagcserét, úgy hogy a növény minél hatékonyabban legyen képes a rendelkezésre álló erőforrások jobb kihasználására, ezzel csökkentve például a nitrogén műtrágya igényt. Mivel fény befolyásolja a szabad aminosavak mennyiségét és arányát, érdemes lehet átgondolni például a búzanövények fejtrágyázásának napszak függő alkalmazását a növények minél megfelelőbb fiziológiai állapotának kialakítása és a szemtermés minél magasabb minősége érdekében.

5. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. A búza hajtásnövekedésében a kulcsfontosságú szerepet a fény intenzitása játssza, melynek növekedése esetén kisebb lesz a hajtáshossz. A vizsgált spektrális komponensek közül a kék és a távoli vörös fény volt a legnagyobb hatással a növények magasságára.
2. A növények fejlődését vizsgálva bebizonyosodott, hogy a bokrosodás mértéke a fényintenzitástól kismértékben függ, de a spektrális összetételtől nem. A kék fény kismértékben késlelteti a búza kalászerési folyamatait, de morfológiai különbséget nem okoz.
3. A fotoszintézis alapjául szolgáló klorofill a+b, valamint a karotinoidok mennyiségét a vizsgált fényviszonyok szignifikánsan nem befolyásolták. A pigmentek bioszintézisben résztvevő enzimeket kódoló gének kifejeződése sem változott.
4. Az antioxidánsok (GSH/GSSG és a prekursor CysS/Cys) össz mennyisége és redox állapota is fényfüggő változásokat mutatott mind az anyagcseretermék, mind a génexpresszió szintjén. A fényintenzitás csökkenésével kisebb lett a GSH/GSSG aránya, a távoli vörös fény pedig a glutation mennyiségét csökkentette.
5. A fényintenzitás növekedésével nagyobb lett számos szabad aminosav mennyisége az anyagcseréjükben kulcsfontosságú enzimek génexpressziós szintű szabályozása révén. Ezen kívül a kék, vörös és távoli vörös spektrális komponensek mennyisége is befolyásolta az aminosavak mennyiségét.

6. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓK

MTMT azonosító: 10056968

DÁVID TOLDI, MÓNKA GYUGOS, ÉVA DARKÓ, GABRIELLA SZALAI, ZSOLT GULYÁS, KRISZTIÁN GIERCZIK, ANDRÁS SZÉKELY, ÁKOS BOLDIZSÁR, GÁBOR GALIBA, MARIA MÜLLER, LIVIA SIMON-SARKADI, GÁBOR KOCSY (2019): Light intensity and spectrum affect metabolism of glutathione and amino acids at transcriptional level, PLOS Published: December 31, 2019 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227271>, IF.: 3.24 D1, független hivatkozások száma: 24

MONOSTORI I, HEILMANN M, KOCSY G, RAKSZEGI M, AHRES M, ALTENBACH SB, SZALAI G, PÁL M, **TOLDI D**, SIMON-SARKADI L, HARNOS N, GALIBA G AND DARKO É. (2018): LED Lighting – Modification of Growth, Metabolism, Yield and Flour Composition in Wheat by Spectral Quality and Intensity, Front. Plant Sci. (2018) 9:605. doi: 10.3389/fpls.2018.00605, IF.: 5.75 D1, független hivatkozások száma: 66

KOCSY, GÁBOR ; GALIBA, GÁBOR ; MEDNYÁNSZKY, ZSUZSANNA ; KOVÁCS, ZITA ; **TOLDI, DÁVID** ; SALGÓ, ANDRÁS ; SIMONNÉ, SARKADI LIVIA (2019): A szabad aminosavak és a poliaminok szerepe a gabonafélék sztrессválaszában, In: Simonné, Sarkadi L. (szerk.) 374. Tudományos kollokvium előadásainak rövid kivonata (2019) p. 6

TOLDI, DÁVID ; KOCSY, GÁBOR ; SIMONNÉ, SARKADI LIVIA (2019): A búza szabad aminosav anyagcseréjének fényfüggő változásai, In: MKE Vegyészkonferencia 2019 (2019) p.

KOCSY, G ; **TOLDI, D** ; GYUGOS, M ; DARKÓ, É ; PÁL, M ; GIERCZIK, K ; GALIBA, G ; MÜLLER, M ; SIMON - SARKADI, L (2018): Control of photosynthesis, glutathione and amino acid metabolism by light quantity and quality in wheat In: 22nd Meeting Austrian Society of Plant Biology (ATSPB). Conference book. (2018) p. 31

TOLDI, D ; KOCSY, G ; SIMON, SARKADI L (2018): Influence of different spectra on metabolism of nitrogen-containing components of wheat, In: István, Dalmadi; László, Baranyai; Quang, Duc Nguyen Third International Conference on Food Science and Technology Budapest, Magyarország : Szent István Egyetem, Élelmiszertudományi Kar (2018) 182 p. pp. 167-168. , 2 p.

TOLDI, D ; KOCSY, G ; SIMON, SARKADI L (2018): Influence of Light Conditions on the Composition of free Amino Acids in Wheat Seedling In: Hungarian, Chemical Society (szerk.) II. Young Researchers' International Conference on Chemistry and Chemical Engineering : Program and Book of Abstracts Budapest, Magyarország : Hungarian Chemical Society (2018) p. 42

TOLDI, DÁVID ; KOCSY, GÁBOR ; SIMONNÉ, SARKADI LIVIA (2018): Fényfüggő változások a búza szabad aminosav anyagcseréjében, In: Majdik, Kornélia (szerk.) XXIV.

Nemzetközi Vegyészkonferencia : 24th International Conference on Chemistry Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT) (2018) p. 49

KOCSY, G ; **TOLDI, D** ; GULYÁS, ZS ; BOLDIZSÁR, Á ; DARKÓ, É ; SZALAI, G ; SZÉKELY, A ; JÄGER, K ; MEDNYÁNSZKY, ZS ; SIMON-SARKADI, L (2017): Light-quality and quantity-dependent redox control of metabolism in wheat, In: Buerstmayr, H; Lang-Mladek, C; Steiner, B; Michel, S; Buerstmayr, M; Lemmens, M; Vollmann, J; Grausgruber, H (szerk.) Proceedings of the 13th International Wheat Genetics Symposium Vienna, Ausztria : Universität für Bodenkultur Wien (2017) p. 301

TOLDI, D ; PÁL, M ; DARKÓ, É ; KOCSY, G ; SIMON-SARKADI, L (2017): Influence of different light conditions on the metabolism of nitrogen-containing components in wheat, In: Györgyey, János (szerk.) A Magyar Növénybiológiai Társaság XII. Kongresszusa Szeged, Magyarország : Magyar Növénybiológiai Társaság (2017) 72 p. pp. 39-39. , 1 p.

TOLDI, D. ; SIMONNÉ, SARKADI L. ; KOCSY, G. (2017): A különböző fényviszonyok hatása a búza szabad aminosav tartalmának változására Influence of Different Light Conditions on the Content of Free Amino Acids in Wheat In: MAJDIK, Kornélia (szerk.) XXIII. Nemzetközi Vegyészkonferencia : 23rd International Conference on Chemistry Kolozsvár, Románia : Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT) (2017) 148 p. p. –

TOLDI, DÁVID ; KOCSY, GÁBOR ; SIMONNÉ, SARKADI LIVIA (2016): Influence of light on the metabolism of nitrogen-containing components of wheat, In: MAJDIK, Kornélia (szerk.) XXII. Nemzetközi Vegyészkonferencia Hungarian Technical Scientific Society of Transylvania (HTSST) (2016) 140 p. p.

Irodalomjegyzék

- GALIBA, G., KOCSY, G., KAUR-SAWHNEY, R., SUTKA, J., GALSTON, A.W. (1993): Chromosomal localization of osmotic and salt stress-induced differential alterations in polyamine content in wheat. *Plant Sci.*, 92, 203-211.
- GALIBA, G., SIMON-SARKADI, L., SALGO, A., KOCSY, G. (1989): Genotype dependent adaptation of wheat varieties to water stress in vitro. *J. Plant Physiol.*, 134, 730-735.
- GUILFORD, J. P. (1950): Creativity. *american psychologist*, 5(9), 444–454. <https://doi.org/10.1037/h0063487>
- KEREPESI, I., GALIBA, G., BÁNYAI, É. (1998): Osmotic and salt stresses induced differential alteration in water-soluble carbohydrate content in wheat seedlings. *J. Agric. Food Chem.*, 46(12), 5347-5354.
- KHANDHAR, D., BHATT, P., & THAKER, V. (2022): Improved protocol of Rna isolation for transcriptome analysis of poaceae plants. *International journal of agriculture, environment and biotechnology citation: IJAEB*: 15(01): 25-31, March 2022 doi: 10.30954/0974-1712.01.2022.4

- KOCSY, G., SZALAI, G., VÁGÚJFALVI, A., STÉHLI, L., OROSZ, G., & GALIBA, G. (2000): Genetic study of glutathione accumulation during cold hardening in wheat. *Planta*, 210(2), 295–301. doi:10.1007/pl00008137
- KOSOVÁ, K., VÍTÁMÁS, P., & PRÁŠIL, I. T. (2014): Proteomics of stress responses in wheat and barley-search for potential protein markers of stress tolerance. *Frontiers in Plant Science*, 5. doi:10.3389/fpls.2014.00711
- KOVÁCS, Z., SIMON-SARKADI, L., VASHEGYI, I., & KOCSY, G. (2012): Different accumulation of free amino acids during short- and long-term osmotic stress in wheat. *The Scientific World Journal*, 2012, 1–10. doi:10.1100/2012/216521
- KRANNER, I., & GRILL, D. (1996): Determination of glutathione and glutathione disulphide in lichens: a comparison of frequently used methods. *Phytochemical Analysis*, 7(1), 24–28. doi:10.1002/(sici)1099-1565(199601)7:1<24::aid-pca277>3.0.co;2-2
- LICHTENTHALER, H. K. (1987): Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Plant Cell Membranes*, 350–382. doi:10.1016/0076-6879(87)48036-1
- LIPIEC, J., DOUSSAN, C., NOSALEWICZ, A., & KONDRACKA, K. (2013): Effect of drought and heat stresses on plant growth and yield: a review, *Int. Agrophys.* 27, 463-477 doi: 10.2478/intag-2013-0017
- LIVAK, K. J., & SCHMITTGEN, T. D. (2001): Analysis of relative gene expression data using real-time quantitative PCR and the $2^{-\Delta\Delta CT}$ method. *Methods*, 25(4), 402–408. doi:10.1006/meth.2001.1262
- NOCTOR, G., MHAMDI, A., CHAOUCH, S., HAN, Y., NEUKERMANS, J., MARQUEZ-GARCIA, B., QUEVAL G., FOYER, C. H. (2011): Glutathione in plants: an integrated overview. *Plant, Cell & Environment*, 35(2), 454–484. doi:10.1111/j.1365-3040.2011.02400.x
- PRATELLI, R., & PILOT, G. (2014): Regulation of amino acid metabolic enzymes and transporters in plants. *Journal of Experimental Botany*, 65(19), 5535–5556. doi:10.1093/jxb/eru320
- QUILES, M. J., & LÓPEZ, N. I. (2004): Photoinhibition of photosystems I and II induced by exposure to high light intensity during oat plant growth. *Plant Science*, 166(3), 815–823. doi:10.1016/j.plantsci.2003.11.025
- SCHAFER, F. Q., & BUETTNER, G. R. (2001): Redox environment of the cell as viewed through the redox state of the glutathione disulfide/glutathione couple. *Free Radical Biology and Medicine*, 30(11), 1191–1212. doi:10.1016/s0891-5849(01)00480-4
- TOLNER, L. (1999): Termel&i tényezők (1.2. fejezet). In.: Fülek, Gy. (szerk.): Tápanyag-gazdálkodás. Mezőgazda Kiadó, Budapest. 18-21.
- VARGA, B., SVECNIJAK, Z., JURKOVIC, Z., KOVACEVIC, J. & JUKIC, Z. (2003): Wheat grain and flour quality as affected by cropping intensity UDC 633.11:632.534 original scientific paper ISSN 1330-9862 *Food Technol. Biotechnol.* 41 (4) 321–329 (2003) <https://hrcak.srce.hr/file/180933>
- VOGEL, H., & WHEAT, C. W. (2011): Accessing the transcriptome: how to normalize mRNA pools. *Molecular methods for evolutionary genetics*, 105–128. doi:10.1007/978-1-61779-228-1_6
- ZADOKS, J., CHANG, T., & KONZAK, C. (1974): A decimal growth code for the growth stages of cereals. *Weed Res.* 14, 415–421. doi: 10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x