

Doktori (Ph.D) értekezés tézisei

**A poliamin metabolizmus szerepe az oldalgökér primordiumok  
citokinin-indukált hajtásmerisztémává történő átalakulásában  
*Arabidopsis thaliana* növényben**

**Jillingné Kaszler Nikolett**

Témavezetők:

**Prof. Dr. Fehér Attila** tanszékvezető egyetemi tanár

**Pichererné Dr. Gémes Katalin** egyetemi adjunktus

Szegedi Biológiai Kutatóközpont  
Növénybiológiai Intézet Növényi Fejlődés és Alkalmazkodás Molekuláris  
Szabályozása Kutatóegység  
Növényi Morfogenezis Szabályozása Csoport

Szegedi Tudományegyetem  
Természettudományi és Informatikai Kar  
Biológia Doktori Iskola  
Növénybiológiai Tanszék



Szeged  
2024



## **Bevezetés**

A mezőgazdaság számára nagy jelentőséggel bírnak azok a módszerek, amelyek a növények vegetatív szaporításán alapulnak. Ezek egyike az indukált organogenezis, ami teljes szervrendszerek *de novo* regenerációját jelenti testi sejtekből. Számos regenerációs rendszer létezik, mellyel *de novo* hajtásmerisztéma (HM) képzésén keresztül lehet növényi egyed létrehozni. Az *in vitro* regeneráció sikere több tényezőtől is függ, mint például a megfelelő genotípus, az explantum, a megfelelő környezeti feltételek és optimális hormonkombináció. A legtöbb regenerációs rendszerben két lépésben, indirekt úton, kalluszátmeneten keresztül váltják ki a HM megjelenését, azonban ez akár közvetlenül is megvalósítható. Ebben az esetben az oldalgöker primordiumoknak (OGYP) azt a képességét használják ki, hogy megfelelő citokinin (CK) koncentráció alkalmazása mellett sejtjei képesek a sejtorsváltásra és HM létrehozására. Ugyanis a *de novo* hajtásregeneráció egyik fő szabályozója, az auxin mellett, a citokinin, így annak endogén szintje, valamint megfelelő érzékelése és jelátvittele kiemelt fontosságú a folyamat szempontjából. A citokinin jelátvitel szabályozásában fontos szerepet játszanak a hisztidin kináz receptorok, valamint az A- és B-típusú citokinin válaszregulátorok, melyek közül előbbiek a citokinin jelátvitel negatív, míg utóbbiak annak pozitív szabályozói.

A poliaminokról kimutatták, hogy bizonyos fejlődési folyamatok során kölcsönhatásba lépnek az auxinnal és a citokininrel. Mind szintézisük, mind lebontásuk döntő szerepet játszik a növények növekedésében és fejlődésében. A hajtásregeneráció során a citokinin válaszokat a poliaminok mellett számos egyéb útvonal is befolyásolhatja, mint például a hemoglobinok expressziója vagy a nitrogén-monoxid (NO) szint. A hemoglobinok befolyásolhatják az indirekt hajtásmerisztémák kialakulását a citokinin észlelésben és jelátvitelben szereplő gének és ezáltal a citokinin érzékenység befolyásolásán keresztül.

Mivel a hemoglobinok képesek a NO megkötésére, a NO is közvetítheti a citokinin jelátvitelre gyakorolt hatásukat. Ugyanakkor a citokinin válaszok kialakításában a NO-nak is lehet szerepe. Ismert, hogy a NO termelését elősegíthetik a poliaminok (PA-k), továbbá bioszintézisük prekursora, az L-arginin is NO-forrásként szolgálhat. Valamint a NO képződését összefüggésbe hozták a PA katabolizmussal is.

Számos kísérleti adat utal arra, hogy a PA-k, a hemoglobinok és a NO befolyásolhatják egymás hatását a citokinin függő válaszok során. Munkám során ennek a lehetőségét vizsgáltam meg egy erősen citokininfüggő folyamat, az oldalgöker primordiumok hajtásmerisztémává történő közvetlen átalakulása során, lúdfű növényekben.

## Célkitűzések

Miután a poliaminok, a poliamin-oxidáz, a nitrogén-monoxid és a hemoglobinok is hatással lehetnek a citokinin érzékenységre, munkám során ezek hatását vizsgáltam egy erősen citokinin-függő folyamat, az oldalgyökér primordiumok hajtásmerisztémává történő direkt átalakulása során *Arabidopsis thaliana* növényben.

Kutatásaim során az alábbi kérdésekre kerestem a választ:

- 1) Van-e szerepe a PA-oknak a CK-indukált hajtásmerisztéma kialakulásban?
- 2) Változik-e a PA-k szintézisében és lebontásában szerepet játszó gének expressziója a OGYP- HM konverzió során?
- 3) Amennyiben a PA-k lebontása hatással van a hajtásmerisztémák kialakulására, akkor az miként valósul meg?
- 4) Van-e szerepe a hemoglobinoknak vagy a nitrogén monoxidnak a CK-indukált hajtásmerisztéma képződés folyamatában? Kapcsolódik-e ez a hatás a poliaminokhoz?

## **Anyagok és módszerek**

### **Növénynevelési paraméterek**

Kísérleteinkhez *Arabidopsis thaliana* (L.) vad típusú (Columbia ökotípus, Col-0), továbbá *AtPAO2* (35S::PAO2) és *AtPAO5* (35S::PAO5) transzgenikus vonalakat és *pao5-2* T-DNS inszerciós mutánst (SALK\_053110) használtunk.

Az *in vitro* gyökér alapú regenerációs rendszer felállítása Rosspopoff és munkatársai (2017) munkája alapján, annak kis módosításával történt. A csíráztatás steril körülmények között, 1,25  $\mu\text{M}$  2,3,5-trijód-benzoésavat tartalmazó MS táptalajon valósult meg, 21 °C hőmérsékletű növénynevelő kamrában (Fitoclima S 600 PLH, Aralab, Portugal), 8 h fény/16 h sötétperiódus mellett. 6 nap elteltével a csíranövényeket 43 órán keresztül (3,3  $\mu\text{M}$ ) naftilecetsavval kezeltük, majd citokinin (8,16  $\mu\text{M}$ ) tartalmú táptalajra helyeztük. A növények nevelése a kísérletek teljes időtartama alatt a csíráztatással megegyező hőmérsékleti és fényviszonyok mellett történt.

### **Külső kezelések és mintavétel**

A külső poliamin (spermidin, spermin, termospermin) valamint  $\text{H}_2\text{O}_2$  kezelések esetén törzsoldatot készítettünk, majd azt 100  $\mu\text{M}$ -os végkoncentrációban a táptalajhoz adtuk. A külső NO kezeléshez, NO donorként S-nitrozoglutationt (GSNO) használtunk. Az előzőekben leírtak szerint a GSNO-ból törzsoldatot készítettünk. A kezelés során a törzsoldatból 10  $\mu\text{M}$  végkoncentrációjú oldatot készítettünk, majd ezt sterilen szűrtük és a növények gyökerére csepegtettük.

A külső kezelések minden esetben a citokinin indukcióval egy időben történtek.

Mintát a citokinin indukciót követő 4 időpontban vettünk: 24 óra (mitotikus osztódási szünet), 48 óra (szervkezdemények megjelenése), 72 óra (korai promeriszteuma kialakulása) és 96 óra (késői promeriszteuma kialakulása) elteltével. Kontrollként a csíráztató táptalajon levő, hatnapos csíranövények gyökerét vagy külsőleg alkalmazott kezelések esetén, a CK táptalajon levő, vad típusú Col-0 növényeket használtuk. Génexpressziós vizsgálatok esetén kontrollként a vad típusú Col-0 hatnapos csíranövények gyökerét használtuk.

Génexpressziós vizsgálatokhoz és a poliamin tartalom meghatározásához mintákat a csíranövények gyökeréből vettünk, míg a ROS és a NO szintjének meghatározásához teljes csíranövényeket használtunk.

## **Génkifejeződés vizsgálata (primer tervezés, RNS izolálás és valós idejű kvantitatív PCR)**

RNS kivonáshoz Quick-RNA™ Miniprep Plus Kitet (Zymo Research, Irvine, Kalifornia, Egyesült Államok) használtuk a gyártó által javasolt protokoll alapján. cDNS könyvtár előállításához Revert Aid First Strand cDNA Synthesis Kit (Termo Fisher Scientific) reagensinek alkalmazásával végezzük a gyártó utasításai szerint. A génspecifikus primereket a Primer3 szoftver segítségével terveztük meg. A vizsgálni kívánt gének relatív expresszióját RT-QPCR segítségével, a qTOWER 2.0 (Analytic Jena AG, Life Science, Jéna, Németország), valamint a CFX384 Touch Real-Time PCR Detection System (Bio-Rad Laboratories Inc., Hercules, Kalifornia, Egyesült Államok) készülékekkel végeztük el.

## **Sztereomikroszkóppal végzett vizsgálatok**

A csíranövények gyökerén kialakult hajtások számát Olympus SZX12 sztereomikroszkóppal (Olympus Corporation, Sindzsuku, Tokió, Japán), fehér LED fényforrással (Photonic Optics, Bécs, Ausztria), tízszeres nagyítás mellett határoztuk meg. Fotók készítéséhez Olympus Camedia C7070 digitális kamerát (DScaler szoftver (4.1.15 verzió) használtunk.

## **Fluoreszcens mikroszkópia**

A reaktív oxigén formák kimutatásához 2'-7'-diklorodihidrofluorescein diacetát (H2DCFDA), a nitrogén-monoxid szintek meghatározásához DAF-FM DA (4-amino-5-metilamino-2',7'-difluorofluorescein diacetát) festéket használtunk.

A mintákat Zeiss Axiovert 200M típusú fluoreszcens mikroszkóppal (Carl Zeiss, Németország) vizsgáltuk, majd tízszeres nagyítás mellett AxioCam HR, HQ CCD (Carl Zeiss, Jéna, Németország) kamerával képeket készítettünk a hajtásmerisztéma kialakulás egyes stádiumaiban. Carl Zeiss™ Axiovision Rel. 4.8 szoftverrel a konvertálódó szerv területéhez igazított, változó, a citokinin indukciót követő 24. órában (mitotikus osztódási szünet) 25 µm, 48. órában (szervkezdemények megjelenése) 30 µm, 72. órában (korai promerisztéma kialakulása) 40 µm, 96. órában (késői promerisztéma kialakulása) 50 µm átmérőjű körök területén meghatároztuk a pixelintenzitást, amiből következtettünk a NO és ROF szintekre.

## **A szabad poliaminok mennyiségének meghatározása HPLC-vel**

A szabad poliaminok szintéjek meghatározása Flores és Galston (1982) módszerével a (Tari és Csiszár (2003) által leírt protokoll szerint történt, JASCO HPLC System (Japán) segítségével.

A minták előkészítése után a benzoil-poliaminokat fordított fázisú oszlopon (Apex C18 5  $\mu$ ; 250x4,6 mm), izokratikus körülmények között, 45:55 (v:v) arányú acetonitril: víz elegyével választottuk el, és UV detektor segítségével 254 nm hullámhosszon azonosítottuk. A minták poliamin koncentrációjának meghatározása ismert mennyiségű, putreszcin, spermidin és spermin standardokkal (Sigma-Aldrich, Germany) való kalibráció segítségével történt.

### **Statisztikai analízis**

Az adatok statisztikai feldolgozása és kiértékelése SigmaPlot v.12.0 szoftverrel történt. A kontrolltól való szignifikáns eltéréseket a varianciaanalízist követően a Duncan-féle teszttel állapítottuk meg,  $P \leq 0.05$  szinten. Egyéb esetben a szignifikáns különbségek meghatározására Student-féle t-tesztet használtuk  $P \leq 0.05$  (\*), 0.01 (\*\*), vagy 0.001 (\*\*\*) valószínűségi szinteken.

## **Eredmények**

**Kísérleti eredményeink alapján a következő megállapításokat tettük:**

### **1. Direkt hajtás regenerációja (oldalgyökér primordiumok hajtásmerisztémává történő konverziója) teljes növények gyökerén is megtörténik.**

Kísérleteink során Rosspopoff és munkatársai (2017) által felállított rendszert vettük alapul, melyben a szerzők gyökér explantumokat használtak. Ismert, hogy a sebzés indukálja a regeneráció folyamatát. Kimutattuk, hogy a direkt hajtásmerisztémák kialakulása és az ehhez szükséges citokinin válasz sebzés nélkül is megvalósul.

### **2. A magas Spd/Put arány kapcsolatba hozható a citokinin indukált direkt hajtásmerisztéma kialakulással.**

Korábbi indirekt rendszerekben történt megfigyelésekkel megegyezően az OGYP HM direkt átalakulása során azt találtuk, hogy a magas endogén Spd/Put arány kapcsolatban áll a regeneráció hatékonyságával. Ezeknek a poliaminoknak a külső alkalmazása (Spd>Put) szintén növeli a direkt HM kialakulás hatékonyságát, megerősítve ezzel is szerepüket a folyamatban.

Az említett két PA fontosságát tovább erősíti, hogy az OGYP-HM átalakulása során fokozódott a Spd bioszintézissel kapcsolt gének, azaz az *AtADC1*, az *AtSAMDC2* és *AtSAMDC4*, az *AtSPDS1* és *AtSPDS2* relatív expressziója. A Put szintjének kismértékű és átmeneti megemelkedését magyarázhatja az, hogy a keletkezett Put gyorsan lebomlott vagy spermidinné alakult. Utóbbi feltételezésünket alátámasztotta az *AtASPDS1* és *AtSPDS2* transzkript szintjének, valamint az endogén Spd szintjének növekedése a folyamat során.

### **3. Az AtPAO5 specifikus szerepet tölt be a CK-indukált direkt hajtás organogenezisben.**

A hajtás regeneráció során a poliamin-oxidázok (AtPAO1-5) közül az egyedül az *AtPAO5* expressziója emelkedett meg. Mindemellett, *AtPAO5* túltermelő növényekben (35S::*PAO5*) nőtt, amíg a *Atpao5*-mutáns (*pao5-2*) növényekben csökkent a regenerációs hatékonyság a vad típushoz képest.

### **4. Az AtPAO5 a termospermin szint szabályozásán keresztül hat a hajtásmerisztéma kialakulására.**

Az OGYP HM direkt átalakulás során 35S::*PAO5* vonalakban nőtt, azonban *pao5-2* mutáns növényekben nem változott a ROF szintje a vad típushoz képest. Mindemellett a külső

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> kezelés nem, viszont a T-Spm kezelés növelte a regeneráció hatékonyságát a vad típusú növényekben. Ezek az eredmények, valamint a 35S::PAO5 túltermelő növényekben mért magas Spd/Put arány mind alátámasztották azt a feltételezésünket, mely szerint az AtPAO5 nem a ROF szintek, hanem a T-Spm/Spd homeosztázis szabályozásán keresztül fejt ki hatását az OGYP-HM átalakulás során.

**5. Az AtPAO5 által fenntartott T-Spm homeosztázis szükséges a citokinin által indukált hatékony hajtásmerisztéma képződéshez az oldalgöyökér primordiumokból, hatása pedig a hemoglobinokon (GLB), mint egyik lehetséges szabályozási útvonalon keresztül érvényesül. A magas T-Spm szint negatívan szabályozza a hemoglobin géneket (*AtGLB1*, *AtGLB2*), ugyanakkor növeli az A-ARR gének relatív expresszióját, melyen keresztül csökkenti a citokinin érzékenységet, így gátolva az oldalgöyökér primordiumok direkt átalakulását hajtásmerisztémává.**

A hemoglobin gének (*AtGLB2*, de különösen *AtGLB1*) expressziója fokozódott a direkt HM kialakulás során a citokinin kezelt vad típusú növények gyökerében, ugyanakkor kifejeződésük csökkent a *pao5-2*, illetve a T-Spm-kezelt vad típusú növényekben. Mindemellett, a citokinin jelátvitel negatív feed-back szabályozóinak, az A-ARR géneknek a relatív expressziója is magasabb volt a *pao5-2* gyökerekben a vad típusúhoz képest. Mindez azt mutatja, hogy az AtPAO5 az AtGLB-k előtt hat, és a citokinin érzékenységet valószínűleg a T-Spm szint fenntartásán keresztül szabályozza. Az, hogy a T-Spm és a hemoglobinok milyen jelátviteli útvonalakon keresztül szabályozhatják a génexpressziót, további kutatásokat igényel.

**6. A NO nagy koncentrációban befolyásolhatja a direkt hajtásmerisztéma kialakulását**

Bár a GLB-k hatása a direkt hajtásmerisztémák kialakulása során nem a NO kioltásán keresztül valósult meg, a külsőleg alkalmazott NO (GSNO) csökkentette a direkt hajtásmerisztémák kialakulásának hatékonyságát és az *AtPAO5* relatív expresszióját, ami azt jelzi, hogy a NO negatívan szabályozhatja a citokinin érzékenységet az *AtPAO5*-öt megelőzően. Azonban úgy tűnik, a NO csak nagy koncentrációban befolyásolhatja közvetve a folyamatot és megfigyelésünk fiziológias körülmények között kevésbé lehet releváns. Ezt támasztják alá azok az eredményeink, miszerint az endogén NO-szint nem mutat korrelációt a regenerációs folyamattal, és nem mutat különbséget a vad típusú és a *pao5-2* mutáns gyökerek között.



## **Summary**

The importance of polyamine metabolism in the regulation of plant growth and developmental processes was demonstrated in several studies. In this work, its involvement in the cytokinin-induced direct (without callus formation) shoot meristem formation from lateral root primordias (LRPs), was proved. Regeneration rate was correlated with a high endogenous Spd/Put ratio. In agreement, the expression of the genes related to Spd synthesis (*AtADC1,2*, *AtSAMDC2,4*, *AtSPDS1,2*) and the back-conversion of T-Spm/Spm to Spd (*AtPAO5*, but not *AtPAO1-4*) was enhanced following the cytokinin treatment. Although, ectopic expression of *AtPAO5* resulted in elevated ROS level, in *pao5-2* mutants it was not changed during the formation of direct shoot meristems compared to the wild type plants. Furthermore, not exogenously applied H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, but T-Spm decreased the regeneration potential in wild-type plants in comparison to the untreated controls. These results, as well as the high Spd/Put ratio in 35S::PAO5 overexpressing plants, are in line with our hypothesis that AtPAO5 influences the shoot regeneration potential not through the regulation of ROS levels but controlling the T-Spm/Spd homeostasis. We concluded that T-Spm homeostasis which is maintained by AtPAO5 is required for efficient cytokinin-induced shoot meristem formation from LRPs. Furthermore, expression of GLB genes (*AtGLB1* and *AtGLB2*) was negatively regulated by high T-Spm levels, while that of coding of A-type ARR<sub>s</sub> augmented and the cytokinin sensitivity was lowered.

Although the effect of GLBs on the formation of direct shoot meristems was not related with NO scavenging activity, high NO level inhibited the relative expression of *AtPAO5* and shoot meristem formation. An important task that remains for the future is naming the elements of the signalling steps that link T-Spm and AtGLB1/2 to gene expression regulation.

## **Folyóirat cikkek, könyvfejezetek**

**MTMT azonosító: 10076535**

Benkő, P., **Kaszler, N.**, Gémes, K., & Fehér, A. (2023). Subfunctionalization of Parental Polyamine Oxidase (PAO) Genes in the Allopolyploid Tobacco *Nicotiana tabacum* (L.). *Genes*, 14(11), 2025. <https://doi.org/10.3390/genes14112025>

IF.: 3.5 (2022)

Kenesi, E., Kolbert, Z., **Kaszler, N.**, Klement, É., Ménesi, D., Molnár, Á., Valkai, I., Feigl, G., Rigó, G., Cséplő, Á., Lindermayr, C., & Fehér, A. (2023). The ROP2 GTPase Participates in Nitric Oxide (NO)-Induced Root Shortening in *Arabidopsis*. *Plants (Basel, Switzerland)*, 12(4), 750. <https://doi.org/10.3390/plants12040750>

IF.: 4.5 (2022)

\* **Kaszler, N.**; Benkő, P.; Molnár, Á.; Zámboi, A.; Fehér, A.; Gémes, K. (2023) Absence of *Arabidopsis* Polyamine Oxidase 5 Influences the Cytokinin-Induced Shoot Meristem Formation from Lateral Root Primordia. *Plants (Basel, Switzerland)*, 12(3), 454. <https://doi.org/10.3390/plants12030454>

IF.: 4.5 (2022)

\* **Kaszler, N.**; Benkő, P.; Bernula, D.; Szepesi, Á.; Fehér, A.; Gémes, K. (2021) Polyamine Metabolism Is Involved in the Direct Regeneration of Shoots from *Arabidopsis* Lateral Root Primordia. *Plants (Basel, Switzerland)*, 10(2), 305. <https://doi.org/10.3390/plants10020305>

IF.: 4.658

Bernula, D.; Benkő, P.; **Kaszler, N.**; Domonkos, I.; Valkai, I.; Szöllősi, R.; Ferenc, Gy.; Ayaydin, F.; Fehér, A.; Gémes, K. (2020) Timely removal of exogenous cytokinin and the prevention of auxin transport from the shoot to the root affect the regeneration potential of *Arabidopsis* roots. *Plant Cell Tiss Organ Culture*. 140(2), 327–339. <https://doi.org/10.1007/s11240-019-01730-3>

IF.: 2.71

Benkő, P.; Jee, S.; **Kaszler, N.**; Fehér, A.; Gémes, K. (2020) Polyamines treatment during pollen germination and pollen tube elongation in tobacco modulate reactive oxygen

species and nitric oxide homeostasis. *Journal of Plant Physiology*. 244, 153085.  
<https://doi.org/10.1016/j.jplph.2019.153085>

IF.: 3.48

**Összesített IF: 23,348**

\*a dolgozat alapjául szolgáló közlemények

### **Könyvfejezetek**

**Kaszler, N.**; Benkő, P.; Gémes, K. Cross-talk of NO and phytohormones in the regulation of plant development, *Nitric Oxide in Plant Biology: An Ancient Molecule with Emerging Roles 2022*, pp: 539-572

Benkő, P.; **Kaszler, N.**; Gémes, K. NO regulates temperature stress in plants, *Nitric Oxide in Plant Biology: An Ancient Molecule with Emerging Roles 2022*, pp: 211-240

### **Konferencia kiadványok, poszterek**

Benkő,P.; **Kaszler, N.**; Fehér, A.; Gémes, K. (2022) The possible role of tobacco PAO during protoplast isolation and maintenance VISCEA, Vienna, Austria, 4-5 July 2022. Book of Abstract, pp: 24

**Kaszler, N.**; Benkő, P.; Zámboi, A.; Fehér, A.; Gémes, K. (2022) Polyamine oxidase 5, ethylene, NO: do they cross-talk to inhibit direct shoot formation? VISCEA, Vienna, Austria, 4-5 July 2022. Book of Abstract, pp: 25

Gémes, K.; **Kaszler, N.**; Szabó, M.; Benkő, P.; Magyar, Z.; Fehér, F. (2022) Role of Arabidopsis E2F transcription factors in the direct conversion of LRP to SM VISCEA, Vienna, Austria, 4-5 July 2022. Book of Abstract, pp: 25

Gémes, K., **Kaszler, N.**; Szabó, M.; Benkő, P.; Magyar, Z.; Fehér, F. (2022) Role of Arabidopsis E2F transcription factors in root and shoot developmental processes. Straub days conference, Szeged, 25-27 May 2022

**Kaszler, N.**; Gémes, K. (2020) Silver nitrate decreased the efficiency of direct organogenesis through the downregulation of polyamine biosynthesis genes in Arabidopsis Thaliana FIBOK, online conference, 5 november 2020. Book of Abstracts, pp. 42

**Kaszler, N.;** Bernula, D.; Szepesi, Á.; Fehér, A.; Gémes, K. (2019) Polyamines affected regeneration processes in Arabidopsis. VISCEA Conference, Plant Cells and Tissues in vitro” Vienna, 1-2 July, 2019. Book of Abstracts, pp. 26

**Kaszler, N.;** Bernula, D.; Szepesi, Á.; Fehér, A.; Gémes, K. (2018) In vitro plant regeneration from arabidopsis root explants II. The effect of polyamines FIBOK conference, Budapest, 28-29 March, 2018. Book of Abstracts, pp. 121

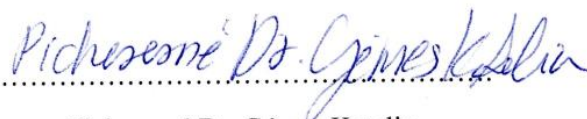
## Nyilatkozat

Mint az alábbi közlemények felelős szerzője igazolom, hogy Jillingné Kaszler Nikolett Ph.D. jelölt jelentős mértékben hozzájárult az alábbi tudományos publikációk létrehozásához és tézisében közölt eredményeit más Ph.D. értekezésben nem használjuk fel:

**Kaszler, N.;** Benkő, P.; Molnár, Á.; Zámboi, A.; Fehér, A.; Gémes, K. (2023) Absence of Arabidopsis Polyamine Oxidase 5 Influences the Cytokinin-Induced Shoot Meristem Formation from Lateral Root Primordia. *Plants (Basel, Switzerland)*, 12(3), 454.  
<https://doi.org/10.3390/plants12030454>

**Kaszler, N.;** Benkő, P.; Bernula, D.; Szepesi, Á.; Fehér, A.; Gémes, K. (2021) Polyamine Metabolism Is Involved in the Direct Regeneration of Shoots from Arabidopsis Lateral Root Primordia. *Plants (Basel, Switzerland)*, 10(2), 305.  
<https://doi.org/10.3390/plants10020305>

Szeged, 2024. 01. 26.



Pichererné Dr. Gémes Katalin

egyetemi adjunktus

SZTE TTIK Növénybiológiai Tanszék