

Háztartási szintetikus mosószerek és a környezetkímélő mosószappan hatása a búza csírázására, növekedésére és fiziológiai tulajdonságaira

HORVÁTHNÉ DANI Brigitta Roxána^{1*}, SKRIBANEK Anna²

¹ELTE Eötvös Loránd Tudományegyetem, Környezettudományi Doktori Iskola,
1053 Budapest, Egyetem tér 1–3.; danibrigiroxi@gmail.com

²ELTE Eötvös Loránd Tudományegyetem, Savaria Egyetemi Központ, Berzsényi Dániel
Pedagógusképző Központ, Biológia Tanszék, 9700 Szombathely, Károlyi Gáspár tér 4.;
skribanek.anna@sek.elte.hu

Közlésre elfogadva: 2025. február 12.

Kulcsszavak: fotoszintetikus pigmentek, maximális fotokémiai hatékonyság, ökotoxicitás, peroxidáz enzimaktivitás, *Triticum aestivum*, vízszenyezés.

Összefoglalás: A tisztítószerek növekvő, széles körű használata jelentős környezetszennyező forrás. A környezettudatos magatartásra törekvés a háztartásokban is egyre gyakrabban jelenik meg, melynek egyik lehetősége a környezetkímélő mosószerek alkalmazása. Ebben a munkában összehasonlítottuk a kereskedelmi forgalomban kapható szintetikus mosószerek és a mosószappanból készített mosóoldat búzára (*Triticum aestivum* L.) gyakorolt ökotoxikus hatását. A vizsgálatokba három nem környezetbarát (A, B és C) és egy környezetbarát szintetikus folyékony mosószert vontunk be, és hasonlítottunk össze mosószappanból készített mosóoldat hatásával. A mosószerek oldatok adagolási útmutató szerinti, illetve annál töményebb koncentrációiban vizsgáltuk a búza csírázására, a csíranövények tömegére, a hajtás és gyökér növekedésére, a levél karotinoid- és klorofilltartalmára, fotoszintézisére és peroxidáz enzimaktivitására gyakorolt hatását. A mosószappanoldat a csírázást nagy töménységben (400 ml l⁻¹) sem csökkentette, míg a szintetikus mosószerek már 100 ml l⁻¹-es oldatban is gátolták, 400 ml l⁻¹ koncentrációban pedig teljesen megakadályozták azt. A csíranövények tömegének változása a kezelések hatására hasonló mintázat szerint mutatta ki a mosószერfélések toxicitását. Már a gyártók javasolta alacsony (2,5–5 ml l⁻¹) koncentrációban is csökkent a példányok tömege, kivéve a környezetbarát mosószerekben és a mosószappanoldatban nevelt csíranövényekét. A nem környezetbarát szintetikus mosószerek 2,5 ml l⁻¹ koncentrációja 33–53%-kal csökkentette a hajtások és 84–92%-kal a gyökerek hosszát, a környezetbarát mosószerek 100 ml l⁻¹ koncentrációtól fejtett ki intenzív gátló hatást. A mosószappanoldatnak nem volt ilyen erős hatása, még 100–400 ml l⁻¹ töménységű oldatában is csak 34–38%-kal csökkent a hajtások és 81–87%-kal a gyökerek hossza. A növekedésgátlás minden mosószerek esetében erőteljesebben érintette a gyökereket, mint a hajtásokat. A fotoszintetikus pigmentek (kl-a, kl-b, karotinoidok) koncentrációja az A, B és C szintetikus mosószerek hatására már kis (2,5 ml l⁻¹) koncentrációnál is csökkent, a B mosószerek esetében 5 ml l⁻¹ koncentrációban már nem is volt mérésre alkalmas életben maradt növény. A környezetbarát szintetikus mosószernél a pigmenttartalom csökkenés csak 100 ml l⁻¹ koncentrációnál jelentkezett. A fotoszintetikus elektrontranszport hatékonyságát tükröző II. fotorendszer maximális kvantumhozama (F_v/F_m) csak kis mértékben változott a kezelések hatására, így alacsony értékű indikátornak bizonyult. Az oxidatív stressz következtében fellépő

* Levelező szerző

peroxidáz enzimaktivitás növekedés a nem környezetbarát szintetikus mosószereknél a növekvő alacsony mosószer-koncentrációknál jól kimutatható volt. A környezetbarát mosószer esetében a peroxidáz-aktivitás alacsony szintű és változatlan maradt, a mosószappan oldataiban magas ($100\text{--}400\text{ ml l}^{-1}$) oldatkoncentrációig a kétszeresére emelkedett. A mosószerek okozta stressz jellemzésére a csírázás, a gyökernövekedés, a pigmenttartalom és a peroxidáz-aktivitás bizonyult alkalmas mutatóknak.

A javasolt adagolási koncentrációban alkalmazva, a mosószappanoldat és a környezetbarát szintetikus mosószer nem korlátozta jelentősen a búza csírázását, növekedését és fiziológiai tulajdonságait, míg a nem környezetbarát szintetikus mosószerek gátló hatást fejtettek ki. Vizsgálataink szerint a mosószappanoldat és a vizsgált környezetbarát mosószer – annak ellenére, hogy az utóbbi szintetikus felületaktív anyagokat is tartalmaz – a szűrkevízbe kerülve csekély környezeti kockázattal járhat.

Idézés: Horváthné Dani B. R., Skribanek A. 2025: Háztartási szintetikus mosószerek és a környezatkímélő mosószappan hatása a búza csírázására, növekedésére és fiziológiai tulajdonságaira. Bot. Közlem. 112(1): 19–40. <https://doi.org/10.17716/BotKozlem.2025.112.1.19>

Bevezetés

A háztartási mosószerek a mindennapi élet folyamán nagy mennyiségben alkalmazott anyagok. Európában 9 millió tonna mosó- és tisztítószert használnak fel évente (MADSEN et al. 2001). A mosószerek többnyire különböző felületaktív anyagok elegyei, amelyeket emulgeáló, diszpergáló, habosító és nedvesítő tulajdonságaik miatt kedvelnek.

A felületaktív anyagokat a készítésükhöz használt alapanyagok alapján két csoportba sorolhatjuk: természetes és szintetikus felületaktív anyagok. A természetes felületaktív anyagok azok a szappanok, amelyekhez a felhasznált lipidek természetes eredetűek. Növényi olajokból vagy állati zsírokból készülnek, így azok aerob mikrobiális folyamatok során (STEBER és BERGER 1995) és anaerob körülmények között (SCOTT és JONES 2000) is lebonthatók. SCHÖBERL et al. (1988) a nátriumszappansók esetében 80–90%-os, BIRCH et al. (1992) a nátriumpalmitát esetében az iszapban anaerob körülmények között 79–94%-os mineralizációs arányt tapasztalt.

A szintetikus felületaktív anyagok lipid természetű alkotói kőolajszármazékok, ennek tudható be magasabb toxicitásuk és az, hogy biológiailag kevésbé bonthatók (CHIRANI et al. 2021). SAWADOGO et al. (2014) anionos felületaktív anyag tartalmú mosószer hatását vizsgálta okra (*Abelmoschus esculentus*) és saláta (*Lactuca sativa*) növények öntözésével. A mosószer-koncentráció növelésére $0,1$ és 1 g l^{-1} mellett a növények hajtásának és gyökerének száraz tömege csökkent, míg magasabb (5 g l^{-1}) oldatkoncentráció a növények pusztulását okozta 12–20 napon belül. JOVANIĆ et al. (2010) alacsony koncentrációjú ($0,6\text{ g l}^{-1}$ -es) mosószerooldatokkal 21 napig öntözött bab növényeket. A bab levelének klorofillkoncentrációja

átlagosan 12%-kal, míg a II. fotorendszer aktivitása 45%-kal csökkent. A szürke-vízzel (azaz mosásból és mosakodásból származó szennyvízzel) történő öntözés gátolta a napraforgó hajtásnövekedését és csökkentette a levelek klorofilltartalmát (GADALLAH 1996).

Mosószerekben gyakran alkalmazott anionos felületaktív anyagok közül a lineáris alkil-benzol-szulfonátok (LAS), a nátrium-lauril-szulfát (SLS) és a nátrium-lauril-éter-szulfát (SLES) habképző emulgeálószeresek, vízben jól oldódnak. A zsíralkohol-szulfátokat erős tisztítóerő, kiváló habképződés jellemzi. A közülük tartozó nátrium-lauril-szulfát jó habzó-, nedvesítő- és mosóképeséssel, magas tisztító és emulgeáló hatással rendelkezik, ezért gyakran használják emulgeálószerként folyékony mosó- és mosogatószeresekben. A SLES az arra érzékeny növényeknél csökkenti a gyökernövekedést, valamint magasabb koncentrációnál a fotoszintetikus teljesítményt. Képes megzavarni a gyökerek víz- és/vagy tápanyagfelvételét. Hatása a talajban átmeneti, mivel a mikrobiális közösség biológiai úton gyorsan lebontja (SALVATORI et al. 2021).

A mosószerek toxicitásának egyik lehetséges vizsgálati módja – amit kísérletünkben mi is alkalmaztunk – adott tesztnövény csírázási százalékanak meghatározása különböző koncentrációjú mosószerooldatok felhasználásával (UZMA et al. 2018, DA SILVA 2023). Emellett kutatásunkban a kereskedelmi forgalomban kapható folyékony szintetikus mosószereknek a közönséges búza életműködésére gyakorolt hatásait vizsgáltuk és hasonlítottuk össze mosószappan vízben való feloldásával készített mosószappanoldatra adott válaszokkal. A kereskedelem-ben forgalmazott háromféle, környezetbarát minősítéssel nem rendelkező, és egy környezetbarát szintetikus mosószert, valamint saját készítésű mosószappanoldat különböző hígítású oldataiban csíráztattunk, illetve neveltünk búzát, és mértük a csírázás, a növekedés és egyes élettani mutatók válaszát. Feltételeztük, hogy a mosószappanoldat kevésbé toxikus a növények növekedésére és életműködésére, mint a szintetikus mosószerek.

Anyag és módszer

A toxicitási vizsgálatainkba három, környezetbarát minősítéssel nem rendelkező (A, B, C) és egy környezetbarát (E) szintetikus folyékony mosószert, továbbá természetes zsíradékból készült mosószappan vizes oldatát (mosószappanoldat) vontuk be. A kereskedelmi forgalomban kapható folyékony mosószerek főbb összetevőit az 1. táblázat tartalmazza, biztonsági adatlapjaik az elektronikus mellékletben elérhetők. Tesztnövényünk a közönséges búza (*Triticum aestivum* L.) volt.

Annak érdekében, hogy a vizsgált mosószappanunk biztosan ne tartalmazzon semmiféle tartósító- vagy illatosítószert, magunk készítettük el. A szappankészítéshez sertézsírt használtunk, amelynek elszappanosítási együtthatója (SAP)

alapján 1 g zsír 0,138 g nátrium-hidroxiddal reagál (http1). A megfelelő mennyiségű nátronlúgot (NaOH) feloldottuk a zsír tömegének egyharmadával meg egyező tömegű vízben, a zsírt pedig felmelegítettük. Amikor mindkettő elérte az 50 °C-os elegyítési hőmérsékletet, a kettőt összeöntöttük és botmixerrel keverve

1. táblázat. A vizsgált szintetikus mosószerek összetétele a csomagoláson jelzett és a biztonsági adatlapon szereplő tájékoztatók alapján. Jelmagyarázat: a betűjelet követi a mosószer neve, valamint a biztonsági adatlap felülvizsgálatának utolsó dátuma.

Table 1. The composition of the tested synthetic detergents, based on the information indicated on the packaging and described in the safety data sheet. Legends: the single-letter code is followed by the commercial name of the detergent and the last date of revision of the safety data sheet. (1) soap; (2) anionic surfactants; (3) nonionic surfactants; (4) amphoteric surfactants; (5) others; (6) sodium salts of ethoxylated alcohol sulfates; (7) alkylamidopropyl betaine; (8) phenoxyethanol; (9) enzyme mixture; (10) fragrance; (11) sodium salts of benzenesulfonic acid; (12) fatty alcohol ethoxylate; (13) phosphonate; (14) benzisothiazolinone; (15) methylisothiazolinone; (16) butylphenyl methylpropional; (17) limonene; (18) sodium lauryl sulfate; (19) sodium cumenesulfonate; (20) ethoxylated alcohol; (21) tetrahydrolinalool; (22) 2-octyl-2H-isothiazol-3-one; (23) hexaethylene glycol monododecyl ether.

	E CLEANECO Organikus Univer- zális Mosógél Koncentrátum, 2016.06.21	A Persil GEL COLOR, 2016.10.11	B Ariel Mountain Spring Folyékony mosószer, 2019.09.09	C Coccolino Care Mosógél Színes ruhákhoz, 2019.05.30
Szappan (1)	< 5%	< 5%	–	–
Anionos felületaktív anyagok (2)	Etoxilált alkohol- szulfátok nátrium sói (6)	Etoxilált alkohol- szulfátok nátrium sói (6); Nátrium- alkil-benzol- szulfonát (11)	Nátrium-alkil- benzol-szulfonát (11); Nátrium- lauril-szulfát (18); Nátrium-kumén- szulfonát (19)	Nátrium-lauril- szulfát (18)
Nemionos felületaktív anyagok (3)	–	Zsíralkohol- etoxilát (12)	C12-14 etoxilált alkohol (20); C15 etoxilált alkohol (20)	C12-15 etoxilált alkohol (20); Hexa- etilén-glikol mono- dodecil-éter (23)
Amfoter felületaktív anyagok (4)	Alkilamido- propil-betain (7)		–	–
Egyéb (5)	Fenoxietanol (8); Enzimkeverék (9); Illatanyag (10)	Foszfónát (13); Benzizotiazolinon (14); Metilizo- tiazolinon (15); Butilfenil- metilpropional (16); Limonén (17)	Tetrahydrolinalool (21); 2-oktil-2H- izotiazol-3-on (22)	Benzizotiazolinon (14)

segítettük az elszappanosítás folyamatát. Az így, hideg eljárással készített szappant egy hónapig állni hagytuk, hogy a kémiai reakció teljesen megvalósuljon. A mosószappan 100 g-ját feloldottuk annyi vízben, hogy az oldat végtérfogata 2 liter, azaz koncentrációja 50 g l^{-1} legyen. A mérés reprodukálhatósága érdekében megmértük az így kapott oldat pH-ját Testo pH206 pH mérővel (pH: 10,0). Ezt az oldatot használtuk további vizsgálataink során törzsoldatként.

Az összes mosószer esetén a vizsgált koncentrációk a következők voltak: 0 (kontroll), 2,5, 5, 10, 100, 400 ml l^{-1} . További összehasonlító hígításnak fontosnak tartottuk beállítani a gyártók által javasolt koncentrációt is. Mivel a gyártók a vízkeménység és a mosandó ruha szennyezettsége mértékének megfelelően többféle mosószermennyiséget is javasolnak – ahogy a mosóprogram során felhasznált víz mennyisége is ezen tényezők hatására változik – ezért egységesen a kézi mosáshoz és 10 liter vízhez javasolt mennyiséget vettük alapul (A: 2,5, B: 4, C: 3,5, E: 5 ml l^{-1}). Méréseink során a mosószappanoldat esetében $2,5 \text{ ml l}^{-1}$ adagolási koncentrációt alkalmaztunk ($0,125 \text{ g l}^{-1}$ szappankoncentráció), mivel tapasztalataink szerint ez megfelelő mosási hatékonyságot képvisel. A környezetbarát mosás esetén (http2) jellemzően $0,083\text{--}0,167 \text{ g l}^{-1}$ szappankoncentrációjú oldatot javasolnak a mosáshoz. A csírázási vizsgálatokhoz időpontonként négy ismétlésben 25–25 búza szemtermést a vizsgált mosószerek megfelelő koncentrációjú oldataival, illetve kontrollként csapvízzel (0 ml l^{-1} mosószer-koncentráció) átitatott szűrőpapírban csíráztattunk szobahőmérsékleten 4 napig (a csírázás meghatározására végzett vizsgálat ismétlésszáma: $n = 4$). A legalább 1 mm-es gyököcskével rendelkező szemterméseket tekintettük kicsírázottnak. A csírázási százalék meghatározása után a csíranövényekből 20–20 darabot csíráztató rácson a megfelelően előkészített mosószerooldatokban neveltünk tovább 7 napig természetes megvilágításnál, $23 \text{ }^{\circ}\text{C}$ -on. Meghatároztuk az oldatok pH értékeit Testo pH206 pH mérővel. A BBCH gabonaskála alapján a búza a 11. napra már az első levél teljesen kinyílt állapotát éri el (WITZENBERGER et al. 1989), ezért a 11. napon kezelésként négy ismétlésben 10–10 csíranövény nedves tömegét mértük egyedenként (a szemtermést is beleértve; $n = 4 \times 10 = 40$) analitikai pontossággal. A véletlenszerű kiválasztás érdekében a növényeket keresztirányból vettük le a csíráztató rácstről. Ugyanezen 10 egyednek mértük a gyökér-, és hajtáshosszát vonalzóval ($n = 4 \times 10 = 40$), majd ezeket a csíranövényeket használtuk a további vizsgálatokhoz is.

A klorofill- és karotinoid tartalmat KOVÁTS et al. (2021) szerint határoztuk meg, egy adott kezelésre nézve négy ismétlésben három-három csíranövény mérését elvégezve ($n = 4 \times 3 = 12$). A pigmentkivonatot 80%-os acetonnal készítettük. Az oldatok abszorbanciáját 440, 645 és 663 nm-en mértük UV-VIS spektrofotométer segítségével. Az abszorbancia-értékekből a következő képletek segít-

ségével számítottuk a klorofill-a és klorofill-b, illetve az összes karotinoid tartalmat, melyet nedves levéltömegekre vonatkoztatunk (mg g^{-1}):

$$\text{Klorofill-a} = (9,78E_{663} - 0,99E_{645})V/1000W$$

$$\text{Klorofill-b} = (21,4E_{645} - 4,65E_{663})V/1000W$$

$$\text{Összes karotinoid} = [4,69E_{440} - 0,268(5,13E_{663} + 20,41E_{645})]V/1000W$$

ahol: E = abszorbancia (extinkció), alsó indexben a nm-ben kifejezett hullámhossz, V = minta térfogata (ml), W = minta nedves tömege (g).

A levelek klorofilltartalma összefügg a fotoszintetikus kapacitással. A karotinoidok a fotoszintézisben betöltött antenna funkciójukon túl fontos szerepet játszanak abban is, hogy védik a fotoszintetikus apparátust különféle káros környezeti hatásokkal szemben, megkötik az oxidatív stressz miatt keletkező reaktív oxigénformákat (STRZAŁKA et al. 2003).

A II. fotokémiai rendszer (PSII) kvantumhozamát (F_v/F_m) AZIZULLAH et al. (2012) szerint mértük Imaging PAM M series Mini (Henz Walz GmbH, Effeltrich) készülékkel a kísérlet 11. napján kezelésként négy ismétlésben három-három példány levelén három-három mintaterület felvételével ($n = 4 \times 3 \times 3 = 36$). A leveleket 20 percig sötétben tartottuk a mérés előtt, hogy az összes PSII reakcióközpont nyitva legyen. A mérés kezdetekor a mérőfény bekapcsolása hatására megjelenik a klorofill fluoreszcencia minimális értéke (azaz az F_0). Ezután telítési impulzus alkalmazásával rögzítődik a fluoreszcencia maximális értéke (F_m). A kettő különbsége a variábilis fluoreszcencia (F_v). Az F_v/F_m hányados (azaz a PSII fotorendszer maximális kvantum hatásfoka) a levelekre ható stressz mérésére szolgáló mutatók közül a legelterjedtebbek közé tartozik. Nem stresszelt levelek esetén ennek az értékét 40 szárazföldi növényfajra meghatározva, megközelítőleg 0,83-nak találták átlagosan (MURCHIE és LAWSON 2013).

A guaiacol peroxidáz enzimaktivitást CHANCE és MAEHLY (1955) leírása alapján határoztuk meg, négy ismétlésben három-három példány mérésével mosószer-koncentrációként ($n = 4 \times 3 = 12$). A peroxidáz (hidrogénperoxid-oxidoreduktáz enzim) egy stresszenzim, amelynek feladata a sejtekben képződő reaktív oxigéngyökök semlegesítése. Különböző stresszfaktorok hatására megnövekszik ezen gyökök koncentrációja, ebből kifolyólag a peroxidáz enzimaktivitás is (FEKETE 2008). A reakció általános egyenlete: DH_2 (redukált) + $\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{D}$ (oxidált) + $2\text{H}_2\text{O}$, ahol D elektrondonor (LÁNG 1997).

A teljes kísérletsorozatot pontosan megismételtük egy hónap elteltével. A két kísérletsorozatból származó eredményeket egyesítettük, a statisztikai teszteket az összesített adatbázison végeztük el. Az adott változók vizsgálatakor az azonos oldatok esetén mért eredményeket átlagoltuk, illetve számítottuk az átlaghoz tartozó szórásokat, valamint szignifikancia szinteket a kontrollhoz képest. A különböző mosószerek eltérő oldatkoncentrációira vonatkozó értékeket egytényezős varianciaanalízissel (ANOVA) teszteltük, majd – szignifikáns hatás ese-

tén – post hoc analízist végeztünk Tukey teszt alkalmazásával. Az adatok értékeléséhez a Microsoft Excel és az SPSS 9.8 programokat használtuk.

Eredmények

A kereskedelmi forgalomban kapható mosószerek és a mosószappanoldat kémhatása nagyon különbözött egymástól (2. táblázat). Míg a forgalmazott mosószerek kémhatása egyik koncentrációnál sem haladta meg a 8,1-es pH értéket, a mosószappanoldat pH-ja a legtöményebb koncentrációban már erősen lúgos, 9,9 volt.

A csírázás teljes gátlása csak a szintetikus mosószerek nagy töménységű (400 ml l⁻¹) oldatánál volt megfigyelhető (3. táblázat). A nem környezetbarát szintetikus mosószerek 100 ml l⁻¹ koncentrációjú oldatai 8,0–94,7%-ra csökkentették a csírázást. A legerősebb gátló hatást a B mosószer fejtette ki. Ennél a koncentrációnál a környezetbarát szintetikus mosószerben a magok közel fele csírázott ki. A csírázás a mosószappan legtöményebb, 400 ml l⁻¹-es oldatában is közel 100%-os volt, nem különbözött szignifikánsan a kontrolltól. Annak ellenére, hogy az A, B, C szintetikus mosószerek oldataiban 100 ml l⁻¹ koncentrációban még csíráztak ki magok, a csíranövények a 11. napra már elpusztultak az A és C oldatokban, a B szintetikus mosószernél pedig már az 5 ml l⁻¹ koncentráció is teljes pusztulást eredményezett. A mosószappanoldat és a környezetbarát mosószer esetében nem tapasztaltuk a csíranövények hasonló ütemű pusztulását (4. táblázat).

A nem környezetbarát szintetikus mosószerek jelentősen gátolták a növekedést. A növények tömege az A, B és C mosószer oldatában már 2,5 ml l⁻¹-nél erőteljesen csökkent, a B mosószer esetében pedig már az 5 ml l⁻¹-es koncentráció is letálisnak bizonyult, míg a környezetbarát szintetikus mosószer csak 100 ml l⁻¹ koncentrációban okozott szignifikáns csökkenést (1. ábra). A szappanoldat egyik

2. táblázat. A kísérletekhez használt mosószeroldatok kémhatása (pH). S: mosószappanoldat; E = kereskedelmi forgalomban kapható öko címkés mosószer; A, B, C: egyéb kereskedelmi forgalomban kapható mosószerek.

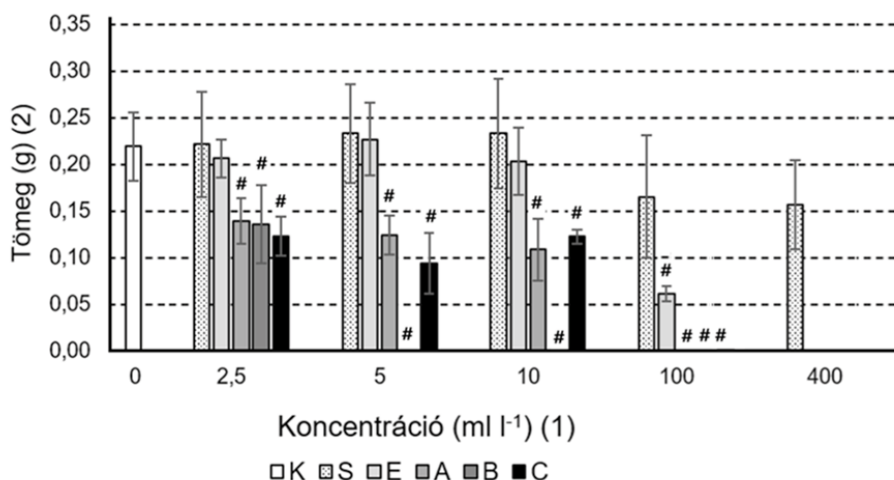
Table 2. pH values of laundry detergent solutions used in the experiments. (1) detergent concentration; S: laundry soap solution; E: commercially available eco-label detergent; A, B, C: other commercially available detergents.

Mosószer-koncentráció (ml l ⁻¹) (1)	pH				
	S	E	A	B	C
0	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2
2,5	7,5	7,4	7,6	7,3	7,3
5	7,5	7,3	7,6	7,3	7,3
10	7,6	7,3	7,7	7,3	7,3
100	8,2	7,3	8,0	7,6	7,3
400	9,9	7,9	8,1	7,9	7,4

3. táblázat. Mosószeroldatokban csíráztatott búza szemtermések csírázási százaléka a 4. napon. Szignifikanciaszint: $p < 0,01 = ***$ a kontrollhoz (0 ml l^{-1}) képest. Az adatok 8 ismétlés átlagai SD értékekkel. S: mosószappanoldat; E: kereskedelmi forgalomban kapható öko címkés mosószer; A, B, C: egyéb kereskedelmi forgalomban kapható mosószerek.

Table 3. Germination percentage of wheat seeds in detergent solutions on the 4th day. Significance level: $p < 0.01 = ***$ compared to the control (0 ml l^{-1}). Data are mean values $\pm$ SD of 8 replicate samples. (1) detergent concentration; S: laundry soap solution; E: commercially available eco-label detergent; A, B, C: other commercially available detergents.

Mosószer- koncentráció (ml l^{-1}) (1)	Csírázás (%)				
	S	E	A	B	C
0	100 $\pm$ 0,0	100 $\pm$ 0,0	100 $\pm$ 0,0	100 $\pm$ 0,0	100 $\pm$ 0,0
2,5	97,3 $\pm$ 2,3	97,3 $\pm$ 2,3	100 $\pm$ 0,0	98,7 $\pm$ 2,3	96,0 $\pm$ 4,0
5	96,0 $\pm$ 4,0	100 $\pm$ 0,0	96,0 $\pm$ 4,0	100 $\pm$ 0,0	100 $\pm$ 0,0
10	96,0 $\pm$ 4,0	94,7 $\pm$ 4,6	96,0 $\pm$ 4,0	96,0 $\pm$ 4,0	96,0 $\pm$ 4,0
100	98,7 $\pm$ 2,3	52,0 $\pm$ 22,6***	61,3 $\pm$ 10,1***	8,0 $\pm$ 11,3***	94,7 $\pm$ 9,2
400	97,3 $\pm$ 6,1	0,0***	0,0***	0,0***	0,0***



1. ábra. Mosószeroldatokban nevelt búzanövények nedves tömege a 11. napon. K: kontroll; S: mosószappanoldat; E: kereskedelmi forgalomban kapható öko címkés mosószer; A, B, C: egyéb kereskedelmi forgalomban kapható mosószerek. Az oszlopok 80 ismétlés átlagában egy-egy búzanövény friss tömegét jelzik, a hibásávok a szórást (SD) jelölik, a hiányzó adatok esetében a magok nem csíráztak ki az adott kezelésben. # a kontrolltól szignifikáns ($p < 0,05$) eltérést jelez.

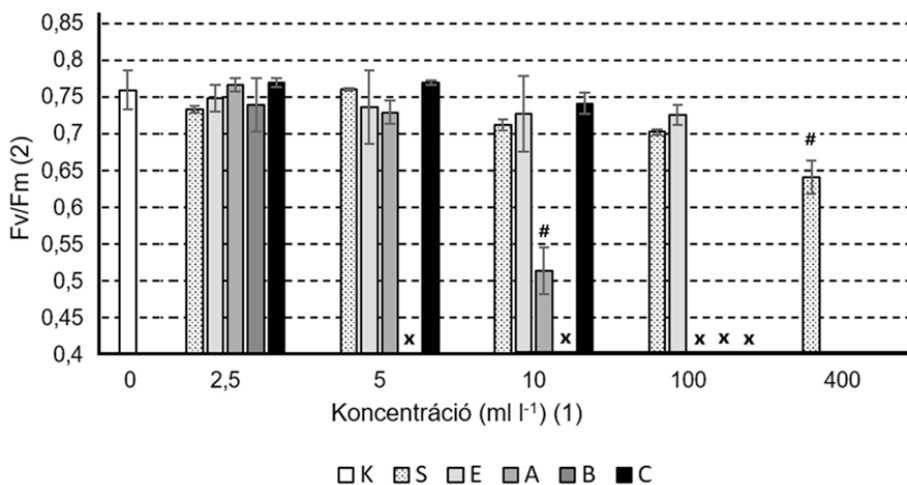
Fig. 1. Fresh weight of wheat plants grown in detergent solutions after 11 days. K: control; S: laundry soap solution; E: commercially available eco-label detergent; A, B, C: other commercially available detergents. Each bar is the mean of 80 independent replicates, error bars show the standard deviation. Where data is missing, seeds failed to germinate. # above the bar indicates significant ($p < 0.05$) difference from the control. (1) detergent concentration (ml l^{-1}); (2) fresh weight of 1 wheat plant (g).

4. táblázat. Különböző mosószeres oldatokban nevelt búza csíranövények hajtás-, és gyökérhossza 11 nap után. hh: hajtáshossz; gyh: gyökérhossz; szignifikanciaszintek: $p < 0,1 = *$, $p < 0,05 = **$, $p < 0,01 = ***$ a kontrollhoz képest, az adatok 80 ismétlés átlagai SD értékekkel. Szignifikáns eltérés esetén az aláhúzott értékek a kontrollnál hosszabbak, a nem aláhúzottak a kontrollnál rövidebbek. A 0 értékek pusztulást jelentenek, a hiányzó adatok esetében a magok nem csíráztak ki az adott kezelésben. S: mosószappanoldat; E: kereskedelmi forgalomban kapható öko címkés mosószert; A, B, C: egyéb kereskedelmi forgalomban kapható mosószerek.

Table 4. Shoot and root length of wheat seedlings grown in different detergent solutions after 11 days. Significance levels: $p < 0,1 = *$, $p < 0,05 = **$, $p < 0,01 = ***$ compared to the control. Values are means $\pm$ SD of 80 replicates. For significant differences, underlined values are higher than the control, the values not underlined are lower than the control. 0 values indicate that seedlings died during the growth test. Where data is missing, seeds failed to germinate. (1) detergent concentration (ml l^{-1}); (2) control; (3) examined plant trait; (4) length (mm); hh: shoot length; gyh: root length; S: laundry soap solution; E: commercially available eco-label detergent; A, B, C: other commercially available detergents.

Mosószert- koncentráció (ml l^{-1}) (1)	Tulajdonság (3)	Hosszúság (mm) (4)				
		S	E	A	B	C
0 (2)	hh	143,6 $\pm 18,4$	143,6 $\pm 18,4$	143,6 $\pm 18,4$	143,6 $\pm 18,4$	143,6 $\pm 18,4$
	gyh	137,5 $\pm 22,8$	137,5 $\pm 22,8$	137,5 $\pm 22,8$	137,5 $\pm 22,8$	137,5 $\pm 22,8$
2,5	hh	<u>169,7</u> $\pm 9,3***$	124,6 $\pm 18,2**$	68,2 $\pm 25,1***$	96,1 $\pm 6,1***$	80,7 $\pm 20,6***$
	gyh	149,4 $\pm 26,3$	115,1 $\pm 12,0**$	12,9 $\pm 4,2***$	10,6 $\pm 4,9***$	21,8 $\pm 10,3***$
5	hh	<u>169,6</u> $\pm 11,6***$	130,1 $\pm 15,5*$	42,9 $\pm 25,4***$	0,0***	51,9 $\pm 29,0***$
	gyh	113,7 $\pm 16,6**$	<u>156,6</u> $\pm 9,6**$	12,3 $\pm 4,2***$	0,0***	14,8 $\pm 4,2***$
10	hh	<u>175,9</u> $\pm 4,0***$	143,3 $\pm 14,3$	16,1 $\pm 1,6***$	0,0***	46,3 $\pm 12,4***$
	gyh	131,0 $\pm 16,5$	114,5 $\pm 15,6**$	4,6 $\pm 5,1***$	0,0***	7,1 $\pm 3,3***$
100	hh	95,3 $\pm 5,9***$	3,9 $\pm 11,6***$	0,0***	0,0***	0,0***
	gyh	25,7 $\pm 7,3***$	1,2 $\pm 2,7***$	0,0***	0,0***	0,0***
400	hh	89,7 $\pm 4,5***$				
	gyh	18,5 $\pm 7,5***$				

vizsgált koncentrációban sem csökkentette szignifikánsan a növények tömegét. A nem környezetbarát szintetikus mosószerek már $2,5 \text{ ml l}^{-1}$ koncentrációban is erőteljesen csökkentették a gyökerek (15,9–7,7%-ra) és kevésbé a hajtások (66,9–47,5%-ra) hosszúságát (4. táblázat). Ugyanebben a koncentrációban a szintetikus környezetbarát mosószer 83,7%-ra csökkentette a gyökér és 86,8%-ra a hajtás hosszúságát. Az 5 ml l^{-1} koncentrációjú oldatában a hajtás, a 10 ml l^{-1} töménységben a gyökér növekedés gátlását figyeltük meg, míg a 100 ml l^{-1} koncentrációban 0,9%-ra csökkent a gyökerek és 2,7%-ra a hajtások hosszúsága. Ugyanebben a töménységben a mosószappanoldat hatása enyhébb volt: 66,4%-ra mérsékelte a növények hajtáshosszát, és 18,7%-ra a gyökerekét. Az A, B és C mosószer 100 ml l^{-1} koncentrációban már az összes növény pusztulását eredményezte. 400 ml l^{-1} koncentrációban csak a mosószappanoldatban éltek a csíranövények, 62,5%-os hajtás- és 13,5%-os gyökérhosszúsággal. Ugyanakkor a mosószappanoldatnál 10



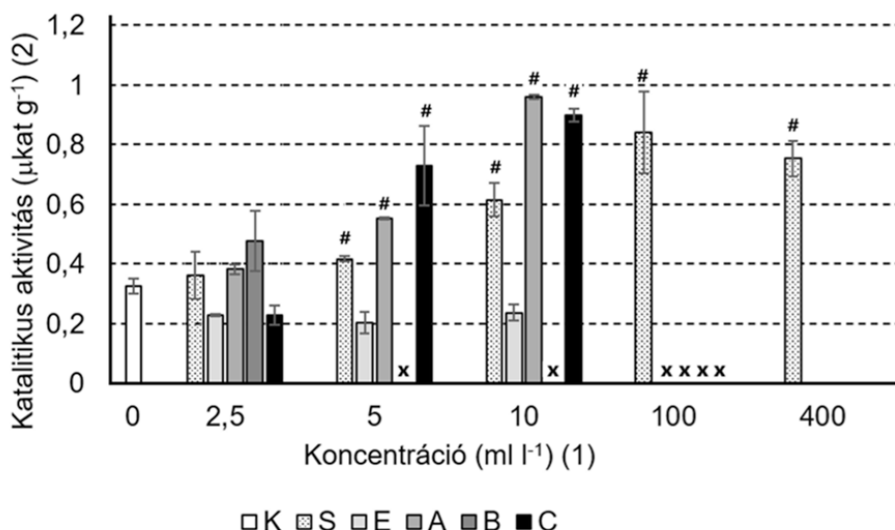
2. ábra. A II. fotokémiai rendszer (PSII) maximális kvantumhozama (F_v/F_m) mosószeroldatokban nevelt búzanövényeknél a 11. napon. K: kontroll; S: mosószappanoldat; E: kereskedelmi forgalomban kapható öko címkés mosószer; A, B, C: egyéb kereskedelmi forgalomban kapható mosószerek. Az oszlopok 72 ismétlés átlagai, a hibasávok a szórást (SD) jelölik, a hiányzó adatok esetében a magok nem csíráztak ki az adott kezelésben, x: nem volt elég életben maradt növény a méréshez. # a kontrolltól szignifikáns ($p < 0,05$) eltérést jelez.

Fig. 2. The maximal quantum yield (F_v/F_m) of photosystem II (PSII) of wheat plants grown in detergent solutions on the 11th day. K: control; S: laundry soap solution; E: commercially available eco-label detergent; A, B, C: other commercially available detergents. Each bar shows the mean of 36 independent replicates, error bars indicate the standard deviation. Where data is missing, the seeds did not germinate in the given treatment, x: there were not enough surviving plants to measure. # above the bar indicates significant ($p < 0,05$) difference from the control. (1) detergent concentration (ml l^{-1}); (2) the maximal quantum yield of photosystem II.

ml l⁻¹-es koncentrációig a hajtáshossz, az E mosószer 5 ml l⁻¹-es koncentrációjában a gyökérhossz szignifikánsan magasabb volt a kontrollnál (4. táblázat).

A pigmenttartalmat (klorofill-a, -b, karotinoidok) a szintetikus A, B és C mosószerek már 2,5 ml l⁻¹, a környezetbarát mosószer 100 ml l⁻¹, a mosószappanoldat 400 ml l⁻¹ koncentrációban csökkentette szignifikánsan (5. táblázat). (A mosószappanoldat 5 ml l⁻¹ oldatánál mérsékelten alacsonyabb volt a karotinoidtartalom a kontrollnál, ám a különbség nem volt megfigyelhető a 10 ml l⁻¹ és 100 ml l⁻¹ koncentrációknál.) A növényekben a klorofill-b tartalmat a mosószappanoldat 2,5, 5 és 100 ml l⁻¹-es koncentrációjú oldata növelte. A környezetbarát mosószer 2,5 és 5 ml l⁻¹ koncentrációnál hatott pozitívan a karotinoid tartalomra.

A szintetikus mosószerek a csíranövények leveleiben a II. fotokémiai rendszer maximális kvantumhatásfokát (F_v/F_m) kis mértékben befolyásolták közvetlenül. A



3. ábra. Peroxidáz enzimaktivitás változása búza csíranövényben különböző mosószerek hatására 11 nap kezelés után. K: kontroll; S: mosószappanoldat; E: kereskedelmi forgalomban kapható öko címkés mosószer; A, B, C: egyéb kereskedelmi forgalomban kapható mosószerek. Az oszlopok 24 ismétlés átlagai, a hibasávok a szórást (SD) jelölik, a hiányzó adatok esetében a magok nem csíráztak ki az adott kezelésben, x: nem volt elég életben maradt növény a méréshez. # a kontrolltól szignifikáns ($p < 0,05$) eltérést jelez.

Fig. 3. Peroxidase enzyme activity in wheat seedlings after 11 days of treatment in different detergent solutions. K: control; S: laundry soap solution; E: commercially available eco-label detergent; A, B, C: other commercially available detergents. Each bar is the mean of 24 independent replicates, error bars indicate the standard deviation. Where data is missing, the seeds did not germinate in the given treatment, x: there were not enough surviving plants to measure. # above the bar indicates significant ($p < 0.05$) difference from the control. (1) detergent concentration (ml l⁻¹); (2) catalytic activity (µkat g⁻¹).

5. táblázat. Különböző mosószeres oldatokban nevelt búza csíranövények nedves levéltömegre vonatkoztatott klorofill-a és -b, illetve karotinoid tartalma a 11. napon. Szignifikanciaszintek: $p < 0,1 = *$, $p < 0,05 = **$, $p < 0,01 = ***$ a kontrollhoz képest, az adatok 24 ismétlés átlagai SD értékekkel. Szignifikáns eltérés esetén, az aláhúzott értékek a kontrollnál nagyobbak, a nem aláhúzottak a kontrollnál kisebbek, a hiányzó adatok esetében a magok nem csíráztak ki az adott kezelésben. x: az életben maradt csíranövények kis mennyisége miatt nem mért változó. S: mosószappanoldat; E: kereskedelmi forgalomban kapható öko címke mosószer; A, B, C: egyéb kereskedelmi forgalomban kapható mosókészletek.

Table 5. Chlorophyll-a, -b and carotenoid content of fresh leaf mass of wheat seedlings grown in different detergent solutions, on the 11th day. Significance levels: $p < 0,1 = *$, $p < 0,05 = **$, $p < 0,01 = ***$ compared to the control. Values are means $\pm$ SD of 24 replicates. For significant differences, underlined data are higher than the control, the values not underlined are lower than the control. Where data is missing, seeds failed to germinate thus there were no seedlings for this experiment, x: variable not measured due to the small number of surviving seedlings. (1) detergent concentration; (2) pigment content (mg g^{-1}) (3) chlorophyll-a; (4) chlorophyll-b; (5) carotenoid; S: laundry soap solution; E: commercially available eco-label detergent; A, B, C: other commercially available detergents.

Mosószer- koncentráció (ml l^{-1}) (1)	Pigment	S	E	Pigmenttartalom (mg g^{-1}) (2)		
				A	B	C
0 ml l^{-1}	Klorofill-a (3)	3,32 $\pm$ 0,4	3,32 $\pm$ 0,4	3,32 $\pm$ 0,4	3,32 $\pm$ 0,4	3,32 $\pm$ 0,4
	Klorofill-b (4)	1,13 $\pm$ 0,1	1,13 $\pm$ 0,1	1,13 $\pm$ 0,1	1,13 $\pm$ 0,1	1,13 $\pm$ 0,1
	Karotinoid (5)	1,12 $\pm$ 0,1	1,12 $\pm$ 0,1	1,12 $\pm$ 0,1	1,12 $\pm$ 0,1	1,12 $\pm$ 0,1
2,5 ml l^{-1}	Klorofill-a	3,56 $\pm$ 0,2	3,43 $\pm$ 0,3	2,24 $\pm$ 0,1**	2,61 $\pm$ 0,1*	2,12 $\pm$ 0,2***
	Klorofill-b	1,28 $\pm$ 0,1**	1,12 $\pm$ 0,1	0,80 $\pm$ 0,1***	0,95 $\pm$ 0,0*	0,69 $\pm$ 0,1***
	Karotinoid	1,16 $\pm$ 0,1	1,34 $\pm$ 0,1**	0,88 $\pm$ 0,0***	0,97 $\pm$ 0,0*	0,81 $\pm$ 0,1***
5 ml l^{-1}	Klorofill-a	3,23 $\pm$ 0,1	3,20 $\pm$ 0,5	1,09 $\pm$ 0,4***	x	0,76 $\pm$ 0,3***
	Klorofill-b	1,23 $\pm$ 0,0*	1,07 $\pm$ 0,1	0,35 $\pm$ 0,1***	x	0,25 $\pm$ 0,1***
	Karotinoid	0,99 $\pm$ 0,0*	1,27 $\pm$ 0,2*	0,45 $\pm$ 0,0***	x	0,30 $\pm$ 0,1***
10 ml l^{-1}	Klorofill-a	3,50 $\pm$ 1,5	3,29 $\pm$ 0,3	0,37 $\pm$ 0,1***	x	1,10 $\pm$ 0,2***
	Klorofill-b	1,27 $\pm$ 0,6	1,09 $\pm$ 0,1	0,19 $\pm$ 0,1***	x	0,40 $\pm$ 0,1***
	Karotinoid	1,07 $\pm$ 0,2	1,23 $\pm$ 0,1	0,11 $\pm$ 0,1***	x	0,44 $\pm$ 0,1***
100 ml l^{-1}	Klorofill-a	3,28 $\pm$ 0,0	2,37 $\pm$ 0,3**	x	x	x
	Klorofill-b	1,22 $\pm$ 0,0*	0,97 $\pm$ 0,1*	x	x	x
	Karotinoid	1,04 $\pm$ 0,0	0,73 $\pm$ 0,01***	x	x	x
400 ml l^{-1}	Klorofill-a	2,64 $\pm$ 0,0*				
	Klorofill-b	1,04 $\pm$ 0,3				
	Karotinoid	0,82 $\pm$ 0,1***				

levelek fejlettsége a szintetikus mosószerekben csak alacsonyabb mosószertartalmaknál tette lehetővé a klorofill fluoreszcencia indukciós méréseket. A rendelkezésre álló minták közül csak az A szintetikus mosószert 10 ml l⁻¹ koncentrációja és a mosószappanoldat 400 ml l⁻¹ koncentrációja csökkentette szignifikánsan a maximális kvantumhatékonytságot a kontrollhoz képest (2. ábra). Jellemző módon a csíranövények pusztulását nem előzte meg a tulajdonság számottevő változása.

6. táblázat. A fiziológiai vizsgálatok eredményei a mosószerek gyártók által javasolt adagolás szerinti koncentrációja mellett 11 nap kezelés után. Szignifikanciaszintek: $p < 0,1 = *$, $p < 0,05 = **$, $p < 0,01 = ***$ a kontrollhoz képest. Az adatok átlagok szórás értékekkel, az ismétlések száma változóként eltérő a 4–5. táblázatoknál és az 1. ábránál közölteknek megfelelően. Szignifikáns különbség esetén az aláhúzott számok a kontrollnál nagyobbak, a nem aláhúzottak a kontrollnál kisebbek, a hiányzó adatok esetében a magok nem csíráztak ki az adott kezelésben, x: az életben maradt csíranövények kis mennyisége miatt nem mért változó. S: mosószappanoldat; E: kereskedelmi forgalomban kapható öko címkés mosószert; A, B, C: egyéb kereskedelmi forgalomban kapható mosószerek.

Table 6. The results of the physiological tests in the manufacturer's recommended concentration for detergents after 11 days of treatment. Significance level: $p < 0,1 = *$, $p < 0,05 = **$, $p < 0,01 = ***$ compared to the control. Mean values $\pm$ SD, the number of replicates is different for the different variables and is according to those given for Table 4–5 and Fig. 1. For significant differences, the underlined values are higher than the control, the values not underlined are lower than the control, in the case of the missing data the seeds did not germinate in the given treatment, x: variable not measured due to the small number of surviving seedlings. (1) studied variable; (2) seedling fresh weight (g); (3) shoot length (mm); (4) root length (mm); (5) chlorophyll-a; (6) chlorophyll-b; (7) carotenoid; (8) F_v/F_m ; (9) peroxidase enzyme activity; (10) control; S: laundry soap solution; E: commercially available eco-label detergent; A, B, C: other commercially available detergents.

Vizsgált változó (1)	Kontroll (0 ml l ⁻¹) (10)	S (2,5 ml l ⁻¹)	E (5 ml l ⁻¹)	A (2,5 ml l ⁻¹)	B (4 ml l ⁻¹)	C (3,5 ml l ⁻¹)
csíranövény nedves tömeg (g) (2)	0,224 $\pm 0,0$	0,200 $\pm 0,1$	0,202 $\pm 0,0$	0,145 $\pm 0,0***$	0,057 $\pm 0,0***$	0,135 $\pm 0,0***$
hajtáshossz (mm) (3)	143,6 $\pm 18,4$	<u>169,7</u> $\pm 9,3***$	130,1 $\pm 15,5*$	68,2 $\pm 25,1***$	12,8 $\pm 0,9***$	85,3 $\pm 28,3***$
gyökérhossz (mm) (4)	137,5 $\pm 22,8$	149,4 $\pm 26,3$	<u>156,6</u> $\pm 9,6**$	12,9 $\pm 4,2***$	5,4 $\pm 0,0***$	14,5 $\pm 4,7***$
klorofill-a (mg g ⁻¹) (5)	3,32 $\pm 0,4$	3,56 $\pm 0,2$	3,20 $\pm 0,5$	2,24 $\pm 0,1**$	x	1,40 $\pm 0,0**$
klorofill-b (mg g ⁻¹) (6)	1,13 $\pm 0,2$	<u>1,28</u> $\pm 0,1**$	1,06 $\pm 0,1$	0,80 $\pm 0,1***$	x	0,47 $\pm 0,1***$
karotinoid (mg g ⁻¹) (7)	1,12 $\pm 0,1$	1,16 $\pm 0,1$	<u>1,27</u> $\pm 0,2*$	0,88 $\pm 0,0***$	x	0,52 $\pm 0,1***$
F_v/F_m (8)	0,76 $\pm 0,0$	0,74 $\pm 0,1$	0,74 $\pm 0,0$	0,77 $\pm 0,0$	x	0,77 $\pm 0,0$
peroxidáz-aktivitás (μ kat g ⁻¹) (9)	0,32 $\pm 0,0$	0,36 $\pm 0,1$	0,20 $\pm 0,0$	0,38 $\pm 0,1$	<u>2,21</u> $\pm 0,1***$	<u>0,90</u> $\pm 0,0***$

A peroxidáz enzim aktivitását érdemben 10 ml l⁻¹-es mosószer-koncentrációig lehetett összehasonlítani, ennél nagyobb töménységnél a növények jelentős része már elpusztult (3. ábra), csak a mosószappan oldataiban maradtak életben. Az A, B és C mosószerek és a mosószappanoldat 5 ml l⁻¹ koncentrációtól többnyire növelték a stresszenzimeként is számontartott peroxidáz aktivitását, míg a környezetbarát mosószer 10 ml l⁻¹-es koncentrációja sem okozott oxidatív stresszt. A mosószappan oldatai kevésbé növelték az enzimaktivitást, mint a szintetikus (A, B és C) mosószerek azonos koncentrációjú oldatai.

A mosószerek javasolt adagolási koncentrációi mellett mérhető növényi válaszok összehasonlítása jól mutatja a különböző mosószerek környezetkárosító hatásának mértékét (6. táblázat). Mind a három nem környezetbarát szintetikus mosószer (A, B, C) szignifikánsan csökkentette a nedves tömeget, illetve a hajtás-, és gyökérhosszt, az A és C mosószer a pigmenttartalmat is. A B mosószer erősen toxikus jellegét mutatja, hogy a pigmenttartalom és az F_v/F_m meghatározásához nem volt elegendő minta a többszörös ismétlések ellenére sem, viszont a peroxidáz-aktivitást erősen növelte. Összességében az A, B és C mosószerek adagolási koncentrációban erőteljes gátló hatást fejtettek ki a növényekre. Ezzel szemben a környezetbarát (E) mosószer és a mosószappanoldat ebben a koncentrációban nem csökkentette szignifikáns mértékben a vizsgált jellemzőket. A mosószappanoldat és a környezetbarát mosószer az adagolási koncentrációban kis mértékben, de szignifikánsan növelte a csíranövények hajtás- vagy gyökérhosszát, olyan módon, hogy a növények nedves tömegére emellett nem volt hatással.

Megvitatás

A növények növekedésére és életműködéseire kimutatható gátlást figyelhetünk meg az összes mosószernél a csírázás mértékében, a csíranövények friss tömegében, a hajtások és a gyökerek növekedésében, a levelek klorofill és karotinoid tartalmában, és károsító hatásra utal a peroxidáz-aktivitás megnövekedése is. A csírázást a szintetikus mosószerek 400 ml l⁻¹ koncentrációban teljesen meggátolták. A szintetikus A, B és E mosószerek 100 ml l⁻¹ koncentrációban szignifikánsan csökkentették a magok csírázását. A kereskedelmi forgalomban kapható mosószerek koncentrációjának növekedésével a csírázási mutatók romlanak, a por formájú mosószerek már 1%-os oldatban is szignifikáns mértékű gátlást okoznak a lencse (*Lens culinaris*) csírázására (CAI és OSTROUMOV 2020). A szintetikus háztartási tisztítószerek (mosószer, öblítő, folyékony szappan) 100 ml l⁻¹-es koncentrációja a mungóbab (*Vigna radiata*) csírázására termékenként változóan hat. Egyes termékek nem gátolják azt, mások teljes pusztulást okoznak (VANITHA et al. 2017). Az egyes mosószerek csírázásgátló hatása tehát termékenként és növényfajonként jelentős mértékben eltérhet, ezt tapasztaltuk kísérleteink során is. A csíranövények hajtás- és

gyökérhosszúsága együtt változott, azonban a gátlás erőteljesebben jelentkezett a gyökereknél, feltételezhetően azért, mert azok közvetlenül érintkeztek a mosószerooldatokkal, a hatás a koncentráció növekedésével intenzívebbé vált. Feltételezzük, hogy a szintetikus mosószeresek esetében a gátlás elsősorban a felületaktív anyagok hatása. SALVATORI et al. (2021) szerint már 100 mg l^{-1} SLES koncentráció is jelentős mértékben gátolja a gyökerek megnyúlását, zavarja a gyökerek víz-, és/vagy tápanyagfelvételét. A mosószappanoldat esetében a gátlást elsősorban a magasabb pH-nak tulajdonítjuk, koncentrációjának növekedésével a kémhatás intenzíven lúgosodik, 400 ml l^{-1} koncentrációnál a pH már 9,9, amit a növények nehezen toleráltak. Vízinövényeknél hasonló megfigyelést tettek ANSARI és KHAN (2014). A szintetikus mosószeresek esetében az oldat kémhatása még a vizsgált legterményebb koncentrációban sem haladta meg a 8,1-es pH értéket. A mosószappanoldat és a környezetbarát mosószer egyes alacsony adagolási koncentrációkban serkentő hatást gyakorolt a csíranövények növekedésére, ami leginkább a hajtáshossz esetében jelentkezett. A csíranövények hajtáshossza még a 10 ml l^{-1} -es mosószappan-koncentrációban is szignifikánsan nagyobb volt, mint a kontrollé. ANSARI és KHAN (2014) vízi szervezeteknél $10\text{--}50 \text{ mg l}^{-1}$ koncentrációtartományban hasonló jelenséget tapasztalt, a szintetikus mosószeresek oldataiban a békalencse szignifikánsan nagyobb száraz tömeget ért el a kontrollhoz képest.

A klorofill-a, klorofill-b és karotinoid tartalom a nem környezetbarát szintetikus mosószereknél már adagolási koncentrációnál is szignifikánsan csökkent a kontrollhoz képest (illetve a B mosószernél már ebben a koncentrációban sem volt elegendő életben maradt növény a mérés elvégzéséhez). Ilyen hatást anionos felületaktív vegyületek okozta terheléskor vízi és szárazföldi növényeknél is kimutattak (GADALLAH 1996, ZHOU et al. 2018). A kukorica összes pigmenttartalma esetében is dóziszfüggő csökkenést figyeltek meg 10 mg l^{-1} koncentrációtól (UZMA et al. 2018). SALVATORI et al. (2021) szerint már reális (360 mg kg^{-1}) SLES expozíció vagy tartósan ható alacsony koncentráció mellett is gátolt a fotoszintetikus teljesítmény. A fotoszintetikus pigmentek a mosószere okozta stresszre érzékenyek, ami a mosószerekből lévő felületaktív anyagok pigmentkárosító, valamint pigment bioszintézist gátló hatásának tulajdonítható a pigment-protein komplexek fehérjeszintézisének megzavarása révén (CHAWLA et al. 1989). A pigmenttartalom jó indikátora a növények érzékenységeinek.

A fotoszintetikus elektrontranszport hatékonyságát tükröző II. fotorendszer maximális kvantumhozama alacsony érzékenységű indikátornak bizonyult, csak kis mértékben változott a kezelések hatására.

A peroxidáz-aktivitás növekedése jól jellemezte a növények érzékenységét az egyes készítményekre még kis oldatkoncentrációk mellett is. A nem környezetbarát szintetikus mosószerekből 10 ml l^{-1} koncentrációig jelentősen nőtt a peroxidáz-aktivitás, a környezetbarát mosószereben ugyanakkor nem változott. A

felületaktív lineáris alkil-benzol-szulfonátok (LAS) fokozzák az oxidatív stresszt (ZHOU et al. 2018), ami a membrán lipidperoxidációjához és az antioxidáns rendszer (szuperoxid-dizmutáz, kataláz, peroxidáz) aktiválásához vezet (MISHRA et al. 2009). A peroxidáz-aktivitás növekedése kivédheti a mosószerek hatására bekövetkező oxidatív stresszt (ZHOU et al. 2018). Vízinövényeknél már alacsony koncentrációknál ($0,1-10 \text{ mg l}^{-1}$) is növekvő peroxidáz-aktivitást figyeltek meg, ami magas szinten maradt a vizsgált 50 mg l^{-1} koncentrációtartományig is, ellenében a szuperoxid-dizmutáz- és katalázaktivitással (ZHOU et al. 2018). A környezetbarát mosószerben feltehetően a többi vizsgált szintetikus mosószerektől eltérő felületaktív anyagok okoztak kisebb mértékű oxidatív stresszt. A mosószappan is kiváltotta az antioxidáns enzim aktiválódását, azonban jelentősen magasabb, 400 ml l^{-1} mosószappan-koncentráció esetén is még biztosítani tudta a növény életben maradását, annak ellenére, hogy egyébként a vizsgált élettani változóknál a gátló hatások már mérhetőek voltak. A peroxidáz-aktivitás kísérleteink tapasztalata szerint jól jellemzi a mosószerek által kiváltott stressz mértékét.

A fiziológiai vizsgálatokba vont jellemzők már alacsony mosószer-koncentrációknál is negatív élettani hatást jeleztek. A vizsgált tulajdonságok értékelése alapján összehasonlítható a mosószerek ökotoxikus hatása.

A szintetikus B mosószer kis töménységben is erősen mérgező, a javasolt adagolási (4 ml l^{-1}) koncentrációban már 74,6%-os nedves tömeg, 91,1%-os hajtáshossz és 96,1%-os gyökérhossz csökkenést okozott. Mosószerekben található anyagok kis koncentrációkban is érvényesülő erős bioaktív hatására vonatkozóan PANDEY és GOPAL (2010) azt tapasztalták, hogy bár a nátrium-lauril-szulfát $2-15 \text{ mg l}^{-1}$ koncentrációtartományban növelte az *Azolla pinnata* telepek és levelek méretét, 20 mg l^{-1} már gátló hatású volt a kontrollmintához viszonyítva. A nátrium-dodecil-benzol-szulfonát kezelés 10 mg l^{-1} koncentrációban még növelte, de $15-20 \text{ mg l}^{-1}$ esetében már csökkentette a növények növekedését. Mindkét felületaktív anyag hatására csökkent a növények klorofilltartalma kis koncentrációk esetében is (annak ellenére, hogy a növények méretére ez a koncentrációtartomány még pozitív hatást gyakorolt), majd $15-20 \text{ mg l}^{-1}$ -nél a növények megbarnultak. A B mosószer erőteljes gátló hatása feltehetően a benne található több különböző felületaktív anyag együttes hatásának következménye.

A valós ökotoxikus hatást mérsékelheti, hogy a mosás során a felületaktív molekulák egy része szennyeződésekhez kötődik, így aktivitásuk csökken, illetve a mosóvíz szennyvízhálózatba kerülésével jelentősen hígul is az oldat (pl. az öblítővízzel), ami az ökotoxikus hatást tovább enyhítheti. A felületaktív anyagok toxicitásának következménye azonban a vízi növényvilág biomasszájának, fehérjetartalmának és klorofilltartalmának csökkenése. A LAS fitotoxikus dózisa a békalencsék közé tartozó *Lemna minor* és *Spirodela polyrrhiza* esetében $81,5 \text{ mg l}^{-1}$, de pl. az érzékenyebb *Salvinia molesta* vízipáfrány fajnál már $0,05 \text{ mg l}^{-1}$ -es kon-

centráció is fitotoxikus hatású (CHAWLA et al. 1989). Igazolták, hogy a mosószerekben leggyakrabban előforduló LAS vegyületeket aerob körülmények között a folyóvizek természetes biótája 99%-ban képes lebontani (PERALES et al. 1999), ugyanakkor McEVOY és GIGER (1985) szerint a szennyvíztisztításban a koncentrációja anaerob kezelés előtt és után mérve nem mutatott számottevő változást, azaz a LAS vegyületek csak aerob körülmények között bonthatók le. A mosószerekből származó felületaktív anyagok maradványai a szennyvíztisztítás ellenére is kimutathatók az élővizekben, azok habzását, eutrofizációját és egyéb, életlen természetű folyamatok megváltozását okozzák, így például gátolják a vízinövények fotoszintetikus aktivitását és fehérjeszintézisét (MINARECI et al. 2009, AZIZULLAH et al. 2012). A fajok különböző érzékenysége az életközösségek fajösszetételének és diverzitásának megváltozásához vezethet.

A mosószappanoldat kevésbé hatott negatívan a növények csírázására, növekedésére és fiziológiai tulajdonságaira, mint a kereskedelmi forgalomban kapható szintetikus mosószerek, tehát azoknak környezetkímélő alternatívája lehet. A környezetbarát minősítésű mosógél koncentrátum szintén kevésbé toxikusnak bizonyult, mint a kísérletben vizsgált többi szintetikus mosószer: csak nagyobb koncentrációban (100 ml l^{-1}) csökkentette a búza csírázását, növekedését és fotoszintetikus tulajdonságait, és csak nagyon nagy (400 ml l^{-1}) töménységben akadályozta meg teljes mértékben a csírázást. A mosószappanoldattal és a környezetbarát mosószerrel történő mosás során keletkező szürkevíz feltételezéseink szerint nem fejt ki lényeges gátló hatást a búza növény csírázására és növekedésére.

Köszönetnyilvánítás

A munka a Kulturális és Innovációs Minisztérium EKÖP-24 Kódszámú Egyetemi Kiválósági Ösztöndíj Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.

Irodalomjegyzék

- ANSARI A. A., KHAN F. A. 2014: Household detergents causing eutrophication in freshwater ecosystems. In: ANSARI A. A., GILL S. S. (eds) Eutrophication: causes, consequences and control. Springer, Dordrecht. Vol. 2, pp. 139–163. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7814-6_12
- AZIZULLAH A., RICHTER P., JAMIL M., HÄDER D.-P. 2012: Chronic toxicity of a laundry detergent to the freshwater flagellate *Euglena gracilis*. Ecotoxicology 21(7): 1957–1964. <https://doi.org/10.1007/s10646-012-0930-3>
- BIRCH R. R., GLEDHILL W. E., LARSON R. J., NIELSEN A. M. 1992: Role of anaerobic biodegradability in the environmental acceptability of detergent materials. Proceedings of the Third CESIO, London, International Surfactants Congress and Exhibition, Vol. 26, pp. 26–33.
- CAI X., OSTROUMOV S. A. 2020: Discovery of detergent toxicity using non-animal bioassay. In: ERMAKOV V. V., KAPITALCHUK M. V., KAPITALCHUK I. P., PERELOMOV L. V., SHEP-TITSKIY V. A., MELNICENCO E. D. (eds) Biogeochemical innovations under the conditions

- of the biosphere technogenesis corrections. Shevchenko State University, Tiraspol, Vol. 2, pp. 215–219.
- CHANCE B., MAEHLY A. C. 1955: Assay of catalases and peroxidases. *Methods in Enzymology* 2: 764–775. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(55\)02300-8](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(55)02300-8)
- CHAWLA G., MISRA V., VISWANATHAN P. N., DEVI S. 1989: Toxicity of linear alkyl benzene sulphonate on some aquatic plants. *Water, Air, and Soil Pollution* 43: 41–51. <https://doi.org/10.1007/BF00175581>
- CHIRANI M. R., KOWSARI E., TEYMOURIAN T., RAMAKRISHNA S. 2021: Environmental impact of increased soap consumption during COVID-19 pandemic: Biodegradable soap production and sustainable packaging. *Science of The Total Environment* 796: 149013. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149013>
- DA SILVA L. M. 2023: Impactos dos detergentes no meio ambiente: evidências de um estudo ecotoxicológico. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação* 9(2): 1429–1441. <https://doi.org/10.51891/rease.v9i2.8883>
- FEKETE SZ. 2008: Új nemesítésű balkonnövények klímaturése és peroxidáz aktivitása. Doktori (PhD) értekezés, Budapesti Corvinus Egyetem, Budapest, 141 pp.
- GADALLAH M. A. A. 1996: Phytotoxic effects of industrial and sewage waste waters on growth, chlorophyll content, transpiration rate and relative water content of potted sunflower plants. *Water, Air, and Soil Pollution* 89(1–2): 33–47. <https://doi.org/10.1007/BF00300420>
- JOVANIĆ B. R., BOJOVIĆ S., PANIĆ B., RADENKOVIĆ B., DESPOTOVIĆ M. 2010: The effect of detergent as polluting agent on the photosynthetic activity and chlorophyll content in bean leaves. *Health* 2(5): 395–399. <https://doi.org/10.4236/health.2010.25059>
- KOVÁTS N., HUBAI K., DIÓSI D., SAINNOKHOI T.-A., HOFFER A., TÓTH Á., TEKE G. 2021: Sensitivity of typical European roadside plants to atmospheric particulate matter. *Ecological Indicators* 124: 107428. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107428>
- LÁNG F. (szerk.) 1997: Növényélettan. A növényi anyagcsere 1. ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 998 pp.
- MADSEN T., BUCHARDT BOYD H., NYLÉN D., RATHMANN PEDERSEN A., PETERSEN G. I., SIMONSEN F. 2001: Environmental and health assessment of substances in household detergents and cosmetic detergent products. Environmental Project No. 615, CETOX, Hørsholm, 201 pp. + 35 pp. Appendix
- MCEVOY J., GIGER W. 1985: Accumulation of linear alkylbenzenesulphonate surfactants in sewage sludges. *Naturwissenschaften* 72(8): 429–431. <https://doi.org/10.1007/BF00404885>
- MINARECI O., ÖZTÜRK M., EGEMEN Ö., MINARECI E. 2009: Detergent and phosphate pollution in Gediz River, Turkey. *African Journal of Biotechnology* 8(15): 3568–3575.
- MISHRA V., SRIVASTAVA G., PRASAD S. M. 2009: Antioxidant response of bitter gourd (*Momordica charantia* L.) seedlings to interactive effect of dimethoate and UV-B irradiation. *Scientia Horticulturae* 120(3): 373–378. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.11.024>
- MURCHIE E. H., LAWSON T. 2013: Chlorophyll fluorescence analysis: a guide to good practice and understanding some new applications. *Journal of Experimental Botany* 64(13): 3983–3998. <https://doi.org/10.1093/jxb/ert208>
- PANDEY P., GOPAL B. 2010: Effect of detergents on the growth of two aquatic plants: *Azolla pinata* and *Hydrilla verticillata*. *Environment & We – An International Journal of Science & Technology* 5: 107–114.
- PERALES J. A., MANZANO M. A., SALES D., QUIROGA J. A. 1999: Biodegradation kinetics of LAS in river water. *International Biodeterioration & Biodegradation* 43(4): 155–160. [https://doi.org/10.1016/S0964-8305\(99\)00044-X](https://doi.org/10.1016/S0964-8305(99)00044-X)

- SALVATORI E., RAUSEO J., PATROLECCO L., BARRA CARACCIOLO A., SPATARO F., FUSARO L., MANES F. 2021: Germination, root elongation, and photosynthetic performance of plants exposed to sodium lauryl ether sulfate (SLES): an emerging contaminant. *Environmental Science and Pollution Research* 28: 27900–27913.
<https://doi.org/10.1007/s11356-021-12574-w>
- SAWADOGO B., SOU M., HIJIKATA N., SANGARE D., MAIGA A. H., FUNAMIZU N. 2014: Effect of detergents from greywater on irrigated plants: case of okra (*Abelmoschus esculentus*) and lettuce (*Lactuca sativa*). *Journal of Arid Land Studies* 24(1): 117–120.
- SCHÖBERL P., BOCK K. J., HUBER L. 1988: Ökologisch relevante Daten von Tensiden in Wasch- und Reinigungsmitteln: Sachstandsbericht der Arbeitsgruppen „Abbau/Elimination“ und „Bioteste“ im Hauptausschuß Detergentien unter der Leitung von Dr. K. J. Bock, Dr. L. Huber und Dr. P. Schöberl. *Tenside Surfactants Detergents* 25(2): 86–98.
<https://doi.org/10.1515/tsd-1988-250214>
- SCOTT M. J., JONES M. N. 2000: The biodegradation of surfactants in the environment. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Biomembranes* 1508(1–2): 235–251.
[https://doi.org/10.1016/S0304-4157\(00\)00013-7](https://doi.org/10.1016/S0304-4157(00)00013-7)
- STEBER J., BERGER H. 1995: Biodegradability of anionic surfactants. In: KARSA D. R., PORTER M. R. (eds) *Biodegradability of surfactants*. Springer, Dordrecht, pp. 134–182.
https://doi.org/10.1007/978-94-011-1348-9_5
- STRZAŁKA K., KOSTECKA-GUGAŁA A., LATOWSKI D. 2003: Carotenoids and environmental stress in plants: significance of carotenoid-mediated modulation of membrane physical properties. *Russian Journal of Plant Physiology* 50: 168–173. <https://doi.org/10.1023/A:1022960828050>
- UZMA S., KHAN S., MURAD W., TAIMUR N., AZIZULLAH A. 2018: Phytotoxic effects of two commonly used laundry detergents on germination, growth, and biochemical characteristics of maize (*Zea mays* L.) seedlings. *Environmental Monitoring and Assessment* 190: 651.
<https://doi.org/10.1007/s10661-018-7031-6>
- VANITHA S., VIGHNESH L., SREEKAR V. 2017: A study on the effects of cleaning agents (household) on seed germination. *International Journal of Advance Research in Science and Engineering* 6(spec. 1): 198–203.
- WITZENBERGER A., HACK H., VAN DER BOOM T. 1989: Erläuterungen zum BBCH-Dezimal-Code für die Entwicklungsstadien des Getreides – mit Abbildungen. *Gesunde Pflanzen* 41(11): 384–388.
- ZHOU J., WU Z., YU D., PANG Y., CAI H., LIU Y. 2018: Toxicity of linear alkylbenzene sulfonate to aquatic plant *Potamogeton perfoliatus* L. *Environmental Science and Pollution Research* 25: 32303–32311. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3204-7>

Hivatkozott biztonsági adatlapok:

- CLEANECO Organikus Mosógél Koncentrátum Biztonsági adatlap. Termékazonosító: CLEANECO Organikus Univerzális Mosógél Koncentrátum. Felülvizsgálat utolsó dátuma: 2016.06.21., verzió: 1.0.
- Henkel biztonsági adatlap Persil GEL COLOR. Termékazonosító: Persil GEL COLOR. Felülvizsgálat utolsó dátuma: 2016.10.11., BA száma: 74289, verzió: 1.3.
- P&G Biztonsági adatlap: Ariel Mountain Spring. Termékazonosító: 90766657_RET_CLP_EUR_SAW. Felülvizsgálat utolsó dátuma: 2019.09.09. verzió: 1.0.
- Unilever Biztonsági adatlap: Coccolino Care mosógél színes ruhákhoz. Termékkód: 67674665. Felülvizsgálat utolsó dátuma: 2023.05.15/2019.05.30., verzió: 1.0.

Világháló hivatkozások

http1 – From nature with love – Saponification chart. <https://www.fromnaturewithlove.com/resources/sapon.asp> (Hozzáférés: 2024.08.15)

http2 – Zöldbolt – Mosószer házilag: takarékos és környezetkímélő megoldás mosószappanból. https://www.zoldbolt.hu/magazin/Mososzer_hazilag_takarekos_es_kornyezetkimelo?srsltid=AfmBOopfIwkgq2QbDkXPMgWiV3TvOUUX1ktwJI8XW4n6_bDAMZstYSpm (Hozzáférés: 2024.08.15)

Elektronikus melléklet

Electronic supplement

A vizsgálatban használt szintetikus mosószerek biztonsági adatlapjai
Safety data sheets of synthetic detergents used in the study

Effects of household synthetic detergents and environmentally friendly laundry soap on germination, growth and physiological properties of wheat

B. R. HORVÁTHNÉ DANI^{1*}, A. SKRIBANEK²

¹ELTE Eötvös Loránd University, Doctoral School of Environmental Sciences,
1053 Budapest, Egyetem tér 1–3, Hungary; danibrigiroxi@gmail.com

²ELTE Eötvös Loránd University, Berzsenyi Dániel Teacher Training Centre,
9700 Szombathely, Károlyi Gáspár tér 4, Hungary; skribanek.anna@sek.elte.hu

Accepted: 12 February 2025

Key words: ecotoxicity, maximum photochemical efficiency, peroxidase enzyme activity, photosynthetic pigments, *Triticum aestivum*.

The increasing and widespread use of cleaning substances is a major source of environmental pollution. The pursuit of environmentally responsible behaviour is getting increasingly important in households as well. One way to do this is to use environmentally friendly detergents. In this study, we compared the ecotoxicity of commercially available synthetic laundry detergents and a washing solution made from laundry soap on wheat (*Triticum aestivum* L.). Three not environmentally friendly (A, B and C) and one eco-friendly synthetic liquid laundry detergents were included in the tests and compared with the ef-

* Corresponding author

fect of a washing solution made from traditional laundry soap. The effects of detergents on wheat germination, seedling weight, shoot and root growth, leaf carotenoid and chlorophyll content, photosynthesis, and peroxidase enzyme activity were investigated in the manufacturer's recommended and higher concentrations. The laundry soap solution did not reduce germination even in the highest concentration (400 ml l^{-1}), while synthetic detergents inhibited it even in 100 ml l^{-1} solution, and completely prevented it in a concentration of 400 ml l^{-1} . The changes in the weight of seedlings due to the treatments showed a similar pattern of toxicity for the different detergents. The weight of individual seedlings decreased even at a low detergent concentration recommended by the manufacturers ($2.5\text{--}5 \text{ ml l}^{-1}$), except for the environmentally friendly detergent and the laundry soap solution. For the not environmentally friendly synthetic detergents, the concentration of 2.5 ml l^{-1} reduced the length of shoots by 33–53% and that of roots by 84–92%, while for the eco-friendly detergent, an intense inhibitory effect appeared from 100 ml l^{-1} . The laundry soap solution did not have such effect; even in a solution of $100\text{--}400 \text{ ml l}^{-1}$ concentration, the length of the shoots was reduced by only 34–38% and the length of the roots by 81–87%. For every detergent, growth inhibition was stronger in the roots than in the shoots. The concentration of photosynthetic pigments (chl-a, chl-b, carotenoids) decreased under the influence of synthetic detergents A, B and C even at low concentrations (2.5 ml l^{-1}), in the 5 ml l^{-1} treatment of detergent B there were no surviving plants suitable for measurement. For the eco-friendly synthetic detergent, photosynthetic pigment contents declined only at 100 ml l^{-1} concentration. The maximum quantum yield (F_v/F_m) of photosystem II proved to be a weak indicator in this study as it responded moderately to treatments. Increasing oxidative stress indicated by the increase in peroxidase activity was obvious for the not environmentally friendly synthetic detergents with increasing low detergent concentrations. For the eco-friendly detergent, peroxidase activity did not change, while for the solutions made from laundry soap, it gradually doubled as high ($100\text{--}400 \text{ ml l}^{-1}$) concentration was reached. Based on our results, seed germination, root growth, pigment content and peroxidase activity are the most appropriate plant traits for the detection of stress caused by detergents.

When used in the recommended dosage concentration, the laundry soap solution and the eco-friendly synthetic laundry detergent did not have significant inhibitory effects on wheat germination, growth and physiological properties while inhibition occurred with the not environmentally friendly synthetic detergents. Our study shows that the laundry soap solution and the tested eco-

friendly detergent – even though the latter also contains synthetic surfactants – may pose a low environmental risk if they get into greywater.

Citation: Horváthné Dani B. R., Skribanek A. 2025: Effects of household synthetic detergents and environmentally friendly laundry soap on germination, growth and physiological properties of wheat. Bot. Közlem. 112(1): 19–40. (in Hungarian with English abstract)
<https://doi.org/10.17716/BotKozlem.2025.112.1.19>