

Somody Gergő Lajos
Speed breeding mint a gyors generációváltás és a recesszív fenotípus
rögzítésének platformja a *Cannabis sativa* L. nemesítésében

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS

TÉZISFÜZET

Somody Gergő Lajos

MOSONMAGYARÓVÁR

2026

Somody Gergő Lajos
Speed breeding mint a gyors generációváltás és a recesszív fenotípus
rögzítésének platformja a *Cannabis sativa* L. nemesítésében

SZÉCHENYI ISTVÁN EGYETEM

ALBERT KÁZMÉR MOSONMAGYARÓVÁRI KAR

NÖVÉNYTUDOMÁNYI TANSZÉK

**WITTMANN ANTAL NÖVÉNY-, ÁLLAT- ÉS ÉLELMISZER-
TUDOMÁNYI MULTIDISZCIPLINÁRIS DOKTORI ISKOLA**

**HABERLANDT GOTTLIEB
NÖVÉNYTUDOMÁNYI PROGRAM**

**DOKTORI ISKOLA VEZETŐ
PROF. DR. VARGA LÁSZLÓ, DSC**

PROGRAMVEZETŐ

PROF. DR. PINKE GYULA, DSC

Somody Gergő Lajos
Speed breeding mint a gyors generációváltás és a recesszív fenotípus
rögzítésének platformja a *Cannabis sativa* L. nemesítésében

TÉMAVEZETŐK:

Prof. Dr. Molnár Zoltán, egyetemi tanár
Albert Kázmér Mosonmagyaróvár Kar

Dr. Lakatos Erika, egyetemi docens
Albert Kázmér Mosonmagyaróvár Kar

SPEED BREEDING MINT A GYORS GENERÁCIÓVÁLTÁS ÉS A RECESSZÍV FENOTÍPUS RÖGZÍTÉSÉNEK PLATFORMJA A *CANNABIS SATIVA* L. NEMESÍTÉSÉBEN

KÉSZÍTTE

SOMODY GERGŐ LAJOS

MOSONMAGYARÓVÁR

2026

Bevezetés

A gyors klimatikus változások és a szigorú piaci szabályozás szükségessé teszik a növénynevelés felgyorsítását, különösen az ipari kender (*Cannabis sativa* L.) esetében, amely természetes körülmények között évi egy generációra korlátozódik. A hagyományos nevelési módszerek gyakran túl lassúnak bizonyulnak az olyan alapvető tulajdonságok stabilizálásához, mint a specifikus kannabinoid-profilok és a rostminőség. A gyorsított generációváltásra alapozott „Speed Breeding” (SB), amely szabályozott környezetben manipulálja a fotoperiódust és a hőmérsékletet, megoldást kínál a generációs idők drasztikus lerövidítésével. Alkalmazása azonban a rövidnappalos fajoknál - mint amilyen a kender is - még kevésbé feltárt terület.

Jelen doktori kutatás validálja az SB alkalmazását mint az ipari kender nevelésének alapvető platformját. Az elsődleges cél a kiváló rostfeldolgozási tulajdonsággal rendelkező, recesszív sárgaszárú fenotípus gyors

Somody Gergő Lajos

Speed breeding mint a gyors generációváltás és a recesszív fenotípus rögzítésének platformja a *Cannabis sativa* L. nemesítésében

introgressziója és rögzítése volt, a magas CBD-tartalom és a jogszabályoknak megfelelő alacsony THC-szint egyidejű optimalizálása mellett. Az eltérő virágzási idejű szülői vonalak komplex keresztezésének irányításával a tanulmány célja, hogy több évnyi nemesítési munkát egyetlen naptári évbe sűrítse. A kutatás emellett értékelte a modern, drónalapú fenotipizálás integrálhatóságát is a hatékony szelekció biztosítása érdekében. Az értekezés dokumentálja egy robusztus SB módszertan sikeres létrehozását, amelynek eredménye egy korai és egy középérésű, stabilizált sárgaszárú, magas CBD- és alacsony THC-tartalmú kendervonal.

Célkitűzések

A doktori kutatás elsődleges célja az ipari kender (*Cannabis sativa* L.) nemesítési folyamatának megújítása volt a „Speed Breeding” (SB) technológia és a célzott genetikai szelekció integrálásával. A munka célja egy olyan nagy áteresztőképességű platform létrehozása volt, amely képes felgyorsítani a generációváltást és

Somody Gergő Lajos

Speed breeding mint a gyors generációváltás és a recesszív fenotípus rögzítésének platformja a *Cannabis sativa* L. nemesítésében

hatékonyan rögzíteni több recesszív tulajdonságot, miközben biztosítja a szigorú szabályozási előírásoknak való megfelelést.

Kutatási kérdések

A generációgyorsítás megvalósíthatósága: Képes-e egy integrált SB protokoll hatékonyan lerövidíteni a fotoperiódus-érzékeny, kétlaki kendervonalak életciklusát - különösen az erősen eltérő virágzási idejűekét - az évi több generációs ciklus elérése és fenntartása érdekében?

Tulajdonságrögzítés és öröklődés: Melyik a leghatékonyabb nemesítési út (visszakeresztesés vagy gyorsított beltenyésztés) SB körülmények között a kívánatos recesszív sárgaszárú fenotípus rögzítésére, a kapcsolt nemkívánatos tulajdonságok (pl. kezdeti alacsony maghozam és potenciális kemotípus-instabilitás) egyidejű kezelése mellett?

Fenotípus-kemotípus szelekció hatékonysága: Megbízhatóan integrálhatók-e a nagy áteresztőképességű,

Somody Gergő Lajos

Speed breeding mint a gyors generációváltás és a recesszív fenotípus rögzítésének platformja a *Cannabis sativa* L. nemesítésében

alacsony költségű analitikai módszerek a gyorsított nemesítési ciklusba az azonnali szelekció érdekében, a szigorú alacsony THC-határértékek betartása mellett, a magas CBD-tartalomra és a termésmennyiségre irányuló párhuzamos szelekció veszélyeztetése nélkül?

Környezeti előrejelezhetőség és termésstabilitás:

Hogyan befolyásolják az SB környezet által biztosított szabályozott hőmérsékleti és megvilágítási körülmények a rögzített vonalak későbbi szántóföldi teljesítményét (érésidő, növénymagasság, maghozam), és kidolgozható-e megbízható módszer a fenológiai és morfológiai extrapolációra?

Kutatási hipotézisek

Generációgyorsítás: A precízen szabályozott, egyedi fotoperiódus- és hőciklusokat alkalmazó Speed Breeding (SB) környezet szignifikánsan csökkenti a fotoperiódus-érzékeny *Cannabis sativa* generációs idejét, lehetővé téve évi minimum négy, de potenciálisan akár hat generáció elérését, a szülői vonalak érési csoportjától függetlenül.

Tulajdonság-introgresszió: A recesszív sárgaszárú fenotípus SB körülmények között, utódvizsgálattal kiegészített visszakeresztezési stratégiával 5 generáción belül stabilizálható és homozigóta állapotban rögzíthető. Ez lehetővé teszi a tulajdonság sikeres átvitelét egy korai érésű donorból különböző genetikai hátterekbe a vegetatív vigor hosszú távú genetikai romlása nélkül.

Kemotípus-szelekció: A nagy áteresztőképességű vékonyréteg-kromatográfiás (/TLC) szűrésen alapuló, alacsony THC-tartalomra irányuló szelekció elegendő a jogszabályi megfelelés biztosításához a fejlett vonalakban, olyan populációkat eredményezve, ahol a CBD-koncentráció a nem szelektált szülői átlagoknál szignifikánsan magasabb szinten stabilizálódik.

Szántóföldi stabilitás: A nagy állománysűrűségű SB környezetben kompakt habitusra és magas magszámra szelektált fejlett vonalak a későbbi szabadföldi validáció során a konvencionális szülőfajtákhoz képest hasonló vagy jobb maghozamot és ezerszemtömeg-stabilitást (TKW) mutatnak.

Módszertan

A kutatásra Héderváron található kísérleti üvegházban került sor. A „Speed Breeding” platformot 250 W-os, szabályozható spektrumú, teljes spektrumú LED-világítással és a fotoperiódus szabályozását szolgáló sötétítő rendszerrel alakítottuk ki.

Protokoll: A vetéstől vetésig tartó (magtól-magig) ciklust körülbelül 90 napra sűrítettük. A megvilágítási program egy hosszú nappalos fázist (16–24 óra) tartalmazott a vegetatív növekedéshez, amelyet egy szigorú 12 órás sötét periódus követett a szinkronvirágzás kiváltására.

Termesztés: A növényeket 20 literes konténerekben, tőzeg-agyag szubsztrát keverékben neveltük, amelyet automata csepegtető öntözőrendszer látott el fázishoz igazított tápoldattal.

Növényanyag és nemesítési stratégia A nemesítési program célja a recesszív sárgaszárú fenotípus bevitele (introgressziója) volt különböző genetikai hátterekbe, a

Somody Gergő Lajos

Speed breeding mint a gyors generációváltás és a recesszív fenotípus rögzítésének platformja a *Cannabis sativa* L. nemesítésében

kannabinoid-profil optimalizálása (magas CBD, alacsony THC) mellett.

Szülői vonalak: A program a 'Chamaeleon' (sárgaszárú donor) fajtát keresztezte a 'Balaton' (korai érésű) és az 'Eletta Campana' (késői érésű, magas CBD-tartalmú) fajtákkal.

Munkamenet: keresztezést, visszakeresztezést és családselekciót foglalt magában nyolc gyorsított generáción keresztül.

Szinkronizálás: A fotoperiódus manipulálásával szinkronizáltuk a korai és késői érésű szülői vonalak virágzását a sikeres hibridizáció érdekében.

Mérések és értékelések

Morfológiai jellemzés: A fenotípusos adatokat a Közösségi Növényfajta-hivatal (CPVO) protokolljai szerint rögzítettem, megkülönböztetve olyan tulajdonságokat, mint a szárszín, a növénymagasság és a virágzási idő. Az adatbevitelt egy egyedi, Android-alapú,

vonalkódos nyomon követést biztosító digitális keretrendszer segítette.

Kémiai elemzés: Nagy áteresztőképességű szelekciós stratégiát alkalmaztunk vékonyréteg-kromatográfiával (VRK/TLC), amellyel több ezer egyed kannabinoid-tartalmát (THC/CBD) szűrték. A megerősítő elemzéseket nagyhatékonyságú folyadékkromatográfiával (HPLC) végezték.

Nagy áteresztőképességű fenotipizálás: Pilóta nélküli légi jármű (UAV/drón) felvételeket használtunk a VARI (Visible Atmospherically Resistant Index) index kiszámításához a szántóföldi teljesítmény és a levélszín értékelésére.

Adatelemzés A statisztikai értékeléseket, beleértve a varianciaanalízist (ANOVA) és a főkomponens-analízist (PCA), R szoftverrel és az ARM 9.1.0 programmal végeztem a tulajdonságok stabilitásának és a genetikai előrehaladásnak a ciklusokon átívelő értékelése érdekében.

Eredmények

A tanulmány sikeresen validált egy „Speed Breeding” (gyorsított nemesítési) platformot ipari kender számára, évi négy generációt (kb. 90 napos ciklusokat) elérve, a szülői vonalak kezdeti virágzási idejétől függetlenül. A gyorsított ciklusok fenntartották a magas, 80% feletti magcsírázási arányt a fejlett vonalakban, és nem rontották az ezerszemtömeget (TKW), amely a korai érésű szelekciós vonalban progresszív növekedést mutatott.

A tulajdonságok öröklődését illetően a kezdeti F1 keresztezések kizárólag zöld szárú növényeket eredményeztek, megerősítve a sárgaszárú tulajdonság recesszív jellegét. Sorozatos visszakeresztezéssel és szigorú családszelekcióval ezt a tulajdonságot az ötödik generációra mind a korai, mind a közepes érésű vonalakban 100%-os homozigóta állapotban rögzítették. A kémiai profilt tekintve egyértelmű lineáris növekedési trendet ($r = 0,993$) értek el a CBD-tartalomban a közepes érésű vonalban az egymást követő ciklusok során,

Somody Gergő Lajos

Speed breeding mint a gyors generációváltás és a recesszív fenotípus rögzítésének platformja a *Cannabis sativa* L. nemesítésében

miközben a szigorú szelekciónyomás biztosította, hogy a THC-szint a 0,2%-os törvényi határérték alatt maradjon. Emellett validálták az UAV-alapú távérzékelés alkalmazását is, amely erős korrelációt mutatott a kézi mérésekkel a növénymagasság ($r=0,93$) és a klorofilltartalom ($r=0,76$) tekintetében.

A fotoperiódus manipulálásával (12 órás szigorú sötét periódus beiktatásával) sikeresen szinkronizálták a korai és késői szülők erősen eltérő virágzási idejét, lehetővé téve a hibridizációt. Bár a sárgaszárú tulajdonságot sikeresen bevitték (introgresszió), az F₂ és a visszakeresztezett generációkban a hasadás (szegregáció) kissé eltért a szigorú mendeli arányoktól – ami inkomplett dominanciára vagy környezeti hatásra utal –, így szükségessé vált egy „világoszöld” osztályozási kategória bevezetése.

A korai generációk kedvezőtlen kapcsoltságot (linkage) tártak fel, ahol a sárgaszárú fenotípus alacsonyabb CBD-tartalommal és maghózzammal társult, de ezt a

Somody Gergő Lajos

Speed breeding mint a gyors generációváltás és a recesszív fenotípus rögzítésének platformja a *Cannabis sativa* L. nemesítésében

többciklusos szelekció során sikeresen feloldották. Bár a nagy áteresztőképességű vékonyréteg-kromatográfiás (TLC) módszer hatékony volt a gyors, alacsony költségű kiselejtezésre, a THC-tartalom túlbecslésére való hajlama valószínűleg lassította a maximális CBD-nyereség elérését, ami kiegyensúlyozottabb szűrési módszerek szükségességét jelzi. Továbbá, míg a kvalitatív tulajdonságok – mint a szárszín - tökéletesen átvihetők voltak a szántóföldi körülmények közé, a késői érésű vonal kvantitatív tulajdonságait - például a végső növénymagasságot és az érési időt - nehezebb volt kizárólag az üvegházi adatok alapján megjósolni, a Speed Breeding környezetben drasztikusan lecsökkent vegetatív fázis miatt.

Következtetések

A kutatás sikeresen létrehozott és validált egy új, ipari kenderre szabott „Speed Breeding” (gyorsított nemesítési) platformot. A fotoperiódus, a hőmérséklet és a környezeti feltételek precíz szabályozásával a rendszer stabil, körülbelül 90 napos vetéstől vetésig tartó ciklust ért el, amely két év alatt nyolc szelekciós ciklust tett lehetővé. Ez a platform hatékonyan kiküszöbölte a faj elsődleges korlátait - a kétlakiséget és a fotoperiódus-érzékenységet, bizonyítva, hogy a gyors generációváltás megvalósítható a magéletképesség vagy a termésmennyiség romlása nélkül.

A platform hatékonyságát a recesszív sárgaszárú tulajdonság célzott bevitele (introgressziója) és rögzítése, valamint a kemotípusok hatékony kezelése bizonyította a kiváló CBD:THC arányok elérése érdekében. A fejlett vonalak megőrizték magas agronómiai minőségüket, ami azt mutatja, hogy a gyorsított nemesítés nem követeli meg a sebesség és a minőség közötti kompromisszumot.

Somody Gergő Lajos

Speed breeding mint a gyors generációváltás és a recesszív fenotípus rögzítésének platformja a *Cannabis sativa* L. nemesítésében

Végezetül a kutatás demonstrálja, hogy a „Speed Breeding” egy robusztus, skálázható platform, amely több mint nyolc évről mindössze két évre csökkenti a nemesítési időt, igazolt utat biztosítva a jogszabályoknak megfelelő és agronómiailag kiváló kenderfajták kifejlesztéséhez.

Új tudományos eredmények

A *Cannabis sativa* gyorsított nemesítési (SB) platform validálása a szabályozási megfelelés érdekében

Egy integrált Speed Breeding rendszer demonstrálása és validálása, amely sikeresen kiküszöböli a genetikailag eltérő (korai × késői érésű) *Cannabis* szülői vonalak aszinkron virágzását, lehetővé téve a két év alatti nyolc generációs ciklus elérését a magéletképesség és a termésstabilitás fenntartása mellett.

A *Cannabis sativa* Speed Breeding (SB) platform optimalizálása a genetikai előrehaladás érdekében

A kannabidiol (CBD) tartalomban elért genetikai előrehaladás számszerűsítése szigorú szelekciós nyomás alatt, egyértelmű lineáris trendet ($r = 0,993$) dokumentálva az 'E' vonal gyorsított ciklusaiban, megerősítve, hogy a szigorú szabályozási szelekcióval párhuzamosan jelentős kemo-típus-fejlődés érhető el.

Somody Gergő Lajos
Speed breeding mint a gyors generációváltás és a recesszív fenotípus
rögzítésének platformja a *Cannabis sativa* L. nemesítésében

Kedvezőtlen genetikai kapcsoltság jellemzése ipari kender genetikai állományban

Egy kedvezőtlen genetikai asszociáció vagy pleiotróp hatás azonosítása és jellemzése a 'Chamaeleon' keresztezésből származó korai generációs heterozigótákban, ahol a kívánt sárgaszárú fenotípus csökkent CBD-tartalommal és gyenge maghozammal kapcsolódott. Ez az új megfigyelés kritikus genetikai korlátra világít rá az ipari sárgaszárú tulajdonságot érintő, több tulajdonságra irányuló nemesítési stratégiákban.

A minor kannabinoidok genetikai potenciáljának dokumentálása

A minor kannabinoid-bioszintézis (kifejezetten kannabikromén, CBC) genetikai potenciáljának dokumentálása új ipari kendervonalak korai generációiban (pl. 0,143% CBC a Cycle-1-B ciklusban), demonstrálva ezen értékes genetikai háttér jelenlétét annak ellenére, hogy az a kizárólag a fő CBD:THC

Somody Gergő Lajos

Speed breeding mint a gyors generációváltás és a recesszív fenotípus
rögzítésének platformja a *Cannabis sativa* L. nemesítésében

kemotípusra összpontosító nemesítés miatt később
elveszett.

Publikációk

Somody, G., & Molnár, Z. (2025). Flowering Synchronization Using Artificial Light Control for Crossbreeding Hemp (*Cannabis sativa* L.) with Varied Flowering Times. *Plants*, 14(1), 594. <https://doi.org/10.3390/plants14040594>

Somody, G., Molnár, Z., & Lakatos, E. (2024). Possibilities of rapid generation cycling of hemp (*Cannabis sativa* L.) for the stabilization of recessive traits. *Bio Web of Conferences*, 125, 01012. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202412501012>

Somody, G., & Aranyi, N. R. (2022). The potential impact of flower infecting botrytis bud rot (*Botrytis cinerea* Pers.) on hemp (*Cannabis sativa* L.) selective breeding. *Georgikon for Agriculture: A*

Somody Gergő Lajos

Speed breeding mint a gyors generációváltás és a recesszív fenotípus rögzítésének platformja a *Cannabis sativa* L. nemesítésében

Multidisciplinary Journal in Agricultural Sciences, 26(1),
126–137.

Somody, G., Molnár, Z., & Lakatos, E. (2022). A kender (*Cannabis sativa* L.) domesztikációja, nemesítésének múltja, jelene és jövője. *Acta Agronomica Óváriensis*, 63(2), 158–184.