

A fény szerepe az agrárerdészeti termesztésben

ZUBAY PÉTER, ZÁMBORINÉ NÉMETH ÉVA, SZABÓ KRISZTINA

Szent István Egyetem, Kertészettudományi Kar, Gyógy- és Aromanövények Tanszék

E-mail: zubaypeter@gmail.com

Összefoglalás

Agroökológiai rendszereink és mezőgazdasági termelésünk számos égető kihívással (klímaváltozás, növekvő élelmiszerigény, talajdegradáció, fajok nagymértékű kihalása) néz szembe a XXI. században, melyre a közös agrárpolitika (KAP) stratégiai szinten az ökoszisztéma-szolgáltatásokkal kiegészített fenntartható intenzifikációval-, extenzifikációval- és a tudásalapú precíziós gazdálkodás koncepcióival reagál. Az agrárerdészeti földhasznosítási rendszer mindennek megfelelő gazdálkodási mód, melynek bevezetése Európaszerte több száz ezer hektárnyi gyenge termőképességű szántóterület állapotán és jövedelmezőképességén javíthatna. Az agrárerdészeti művelés új természetési kérdéseket vet fel (fákkal történő versengés a fényért-, vízért-, tápanyagokért; allelopátia), melyek közül jelen szemlében a fény szerepét összegeztük szabályozott-, kvázi-szabályozott- és szabadföldi kísérleti eredményekre alapozva. Elsősorban a gyógynövénytermesztésre, a fény és a hatóanyagok akkumulációjára fókuszáltunk. Az agrárerdészeti rendszerben történő gyógynövénytermesztés (vadontermő fajok introdukálása, termesztett fajok implementációja) hozzájárulhat a gyógynövény ágazat fejlődéséhez és pozícióba hozásához.

Kulcsszavak: gyógynövények, megvilágítás, fénystressz, beltartalmi értékek, alley-cropping

Az agrárerdészet helye a XXI. századi mezőgazdaságban

A mezőgazdasági tevékenység és civilizációnk fejlődése folyamatos egymásra ható relációban értelmezendő. Napjainkban rohamléptékben zajlik a negyedik mezőgazdasági forradalom – a negyedik ipari forradalommal- és soha nem látott népességgrobbanással karöltve -, melyre két fő irányvonal jellemző: a robottechnológia és digitalizáció (pl. precíziós gazdálkodás), valamint a hagyományokhoz való visszanyúlás (pl. ökológiai gazdálkodás) (Gyuricza és Borovics 2018). Egyszerre zajlik tehát technokrata és tradicionalista progresszió az agráriumban, melyek integrációjából világlik ki az

agrárerdészet, az a világszinten reneszánszát élő földhasználati- és technológiai rendszer, melyben erdei fás szárú növények együtt hasznosíthatóak szántóföldi- és kertészeti kultúrákkal, valamint legelőgazdálkodásos állattartással egyazon földterületi egységen belül (Borovics és Gyuricza 2015).

A fogalom sokszínűségének megfelelően a rendszerek klasszifikációja is szükségszerű, melynek funkcionális, művelés szempontú formái a következők: szántó és fák együttese (silvoarable); erdőgazdálkodás (forestry); pufferzónák és mezővédő erdősávok (riparian buffer strips); fás ugar (improved fallow); szórványgyümölcsösök (multipurpose trees); fáslegelő (silvopasture) (Mosquera-Losada et al. 2009). Dannis Garrity, a World Agroforestry Centre egykori vezérigazgatója szerint a földhasználat jövője világszerte számos égető kihívással küzd (élelmiszerbiztonság, talajdegradáció, klímaváltozás, stb.), melyekre egyként jelenthet megoldást az agrárerdészeti rendszerek koncepciójának és gyakorlatának széleskörű alkalmazása (Garrity 2012). Ezen állítás alapjául szolgálnak az agrárerdészet jegyzett előnyei: biodiverzitás megőrzés és élőhelynyújtás; élelmiszer-, takarmány- és tüzelőanyag termelés; klímaszabályozás; tájkép esztétikai megőrzése; tápanyaggazdálkodás javítása; talajmegőrzés; kultúrtörténeti értékek megőrzése; rekreáció és ökoturizmus fellendítése; megporzás és biológiai kontroll támogatása; a mezőgazdasági és erdészeti ágazat versenyképességének javítása; a vidék életminőségének javítása- és gazdaság diverzifikációjának ösztönzése (Fagerholm et al. 2016; Smith et al. 2012). A szántó és fák együttes rendszerének (silvoarable) gyakorlati kivitelezése az alley-cropping művelés (fák soros művelése között szántóföldi kultúrnövények termelése), mely természetesi gyakorlattá válása Európaszerte sok százezer hektárnyi kedvezőtlen adottságú szántóterületen járhatna egyszerre ökológiai és ökonómiai előnyökkel (Reisner et al. 2007). Hazánkban jelenleg 800 ezer ha gyenge termőképességű szántó van, melyeken nem jövedelmező a szántóföldi növénytermesztés, ezeken a területeken stratégiai jelentőségű lépés volna a fás borítottság növelése (Gyuricza és Borovics 2018).

A gyógynövények helye az agrárerdészeti rendszerekben – Indiában már használatos terminológia szerint: horty-medicinal agroforestry-systems – elsősorban a szántóföldi természetben a vetésforgó növényeként, másodsorban az erdők aljnövényzetében-, gyümölcsültetvények sorközeiben- és a kertekben, harmadlagosan pedig a legelők gyepalkotója- és szegélynövényeként jelenik meg. A gyógynövények agrárerdészeti rendszerben történő termesztését indokolja a vadontermő források kimerülése és megóvásának igénye, valamint a növényi hatóanyagokra mutatott folyamatosan növekvő igény (Rao 2004). Vadontermő fajok agrárerdészeti rendszerben történő termesztésbe vonása (introdukción), valamint az erre építő branding (pl. „agrárerdőben termelt gyógynövény”) és minőségügyi rendszer fejlesztés potenciális gazdasági és környezeti előnyöket jelentene az agrárium számára (Burkhart és Jacobson 2009).

A fény növényi produkcióban és hatóanyag akkumulációban betöltött szerepét feltáró kutatási eredmények összefoglalása

Az eddigi kutatási eredményeket három kategóriába rendszereztük. A kategorizálás irányelve a kísérleti beállítás, a környezet mikéntje volt, ennek megfelelően külön tárgyaljuk a szabályozott (*in vitro* sejtenyészet; klímakamra)-, a kvázi-szabályozott (üvegházi és szabadföldi kísérlet takaróberendezéssel)-, valamint az agrárerdészeti rendszerekben, szabadföldön beállított kutatásokat.

Szabályozott környezeti tényezők között végzett kutatások:

A len (*Linum usitatissimum* L.) *in vitro* körülmények között gátolt flavonoid akkumulációval reagált a folyamatos sötétség stresszre, s flavonoid szintézis serkentéssel a folyamatos fénystresszre (Zahir et al. 2018). Fehér üröm (*Artemisia annua* L.) sejtenyészeten végzett kísérletek eredményei szerint a megvilágítottság növekedésével növekszik a növényi produkció és az artemisinin szintézis 3000 lux értékig, majd az ezt követő megvilágítottsági fok felett megáll a folyamat és nem képződik sem több fitomassza, sem több hatóanyag (Liu et al. 2002). Ali és Abbasi (2014) kísérleti eredményei pozitív korrelációt bizonyítanak *in vitro* körülmények között a fényhatás és a beltartalmi paraméterek (fenolsav-, teljes másodlagos anyagcseretermékek, antioxidáns kapacitás) között. Klímakamrában végzett kísérlet alapján a kínai édesgyökér (*Glycyrrhiza uralensis* Fisch) az alacsony fényintenzitás általi stresszhatásra csökkent levélvastagsággal, fotoszintetikus aktivitással, fitomasszával, ellenben növekedett levélfelülettel és klorofill koncentrációval reagált. A glicirrizinsav és liquiritin hatóanyagok akkumulációja növekedett a gyökérben az alacsony fényintenzitás hatására, mely alapján a szerzők következtetésükben rámutatnak a faj agráreredészeti perspektivikusságára (Hou et al. 2010). A közönséges orbáncfű (*Hypericum perforatum* L.) speciális anyagcseretermékei és a természetést meghatározó környezeti feltételek közötti kölcsönhatásokat feltáró kísérletek bizonyítják, hogy a levélszinten mért nettó fotoszintézis (Pn) és a hipericin és pszeudohipericin termelődés között pozitív korreláció van. A Pn a megvilágítás intenzitásával és/vagy a CO₂ koncentráció növelésével érhető el (mely mindkettő nehezen képzelhető el agráreredészeti körülmények között). A megvilágítás és a CO₂ koncentráció növelésével azonban, kontrolált körülmények között, az orbáncfű hatóanyag akkumulációja akár 31-40-szeres mértékre is növelhető a szabadföldi termesztési körülményekhez viszonyítva (Mosaleeyanon et al. 2005). Egy másik tanulmány is egyértelműsíti a megvilágítási intenzitás és a hipericin tartalom közötti pozitív korrelációt, mely kapcsolatot szövettani magyarázattal is alátámaszt, mely szerint: növekvő fényintenzitás esetén növekszik a leveleken a fekete mirigy pontok száma, s mindez növekvő hipericin tartalmat eredményez (Briskin és Gawienowski 2001). A pohánka (*Fagopyrum esculentum* M.) rutin felhalmozódása és az UV-B sugárzás kapcsolatát elemző kutatók adatai szerint a környezeti UV-B sugárzás növelte a rutintartalmat mind a környezetihez képest fokozott, mind pedig a csökkentett UV-sugárzás kezelésekhöz viszonyítva (Kreft et al. 2002). A mák alkaloid-tartalmára vonatkozó, klímakamrában végzett kísérletek eredményei értelmében az alkaloid-tartalom koncentrációja és összetétele is egyértelmű függést mutat a megvilágítás intenzitásától, emellett a hőmérséklettel és e két környezeti tényező interakciójától is. Az alkaloidok képződését egyértelműen felgyorsította a megvilágítás növelése (16000 luxról 32000 luxra). A megvilágítási intenzitás növelése javította a növények fejlődését, valamint többszörösére emelte a hatóanyagok akkumulációját (Bernáth és Tétényi 1979; Bernáth és Tétényi 1981).

Kvázi-szabályozott környezeti tényezők között végzett kutatások:

Belgiumban beállított szabadföldi kísérlet során időszakos- és folyamatos árnyékhatast vizsgáltak takaróhálók segítségével a cukorrépa (*Beta vulgaris* L.) termelés agráreredészeti implementációja céljából. A növekvő levélnyelé fejlődéssel párhuzamosan levélfelület csökkenést-, valamint a karógyökér szárazanyag- és cukortartalmának csökkenését tapasztalták mind az időszakos, mind a folyamatos árnyékhatast esetén. A cukor kivonhatóságára is negatívan hatott az árnyék, azonban

kevésbé negatívan, mint a szárazanyagtartalomra és a hozamra (Artrua et al. 2018). Spanyolországi kutatók is célul tűzték ki a szántóföldi agrárerdészeti-rendszer fa- és lágyszárú fajainak optimalizációját az ottani környezeti tényezők között, így vizsgálták az őszi búza (*Triticum aestivum* L.) és az őszi árpa (*Hordeum vulgare* L.) fajok és különböző fajtáik rendszerebe illeszthetőségét üvegházi körülmények között, 0%, 10% és 50% árnyékhatast imitálva. Fajonként 9 fajtát teszteltek szkrín-jelleggel, melyek jelentős része mindkét faj esetén hozamnövekedéssel reagált az árnyéokra. Az őszi búza 10% árnyékhatast-, az őszi árpa 50% árnyékhatast esetén produkálta a legnagyobb hozamot. A gabonafélék N-tartalmát vizsgálva a búzában csökkent ezen érték mérő tulajdonság az árnyék hatására, az árpa neutrálisan reagált. A kutatók következtetésükben felhívják a figyelmet az árnyékstressz orientált fajtaszelekció perspektívására és fontosságára a megfelelő szántóföldi agrárerdészeti-rendszer implementáció elérése érdekében (Arenas-Corraliza et al. 2018a). Illinois-i (USA) takaróberendezéssel beállított szabadföldi kísérletben figyelték meg a fekete ribiszke (*Ribes nigrum* L.) reakcióját a fényvonásra, mely szerint 65%-os árnyékhatast nem csökken a hozam (Wolske et al. 2018). A paradicsom (*Lycopersicon esculentum* L.) klímaváltozáshoz és a potenciális beltéri termesztőberendezések adta lehetőségekhez optimalizált jövőbeli termesztéstechnológiáját megalapozó kutatások is tanulmányozzák az árnyék hozam- és beltartalmi paraméterekre gyakorolt hatását. Németországban üvegházi kísérletekben igazolták, hogy az árnyék csökkenti a szárazanyag tartalmat (34% árnyék 19%-kal, 57% árnyék 31%-kal), azonban nem gyakorol hatást sem a likopin-, sem a cukortartalomra. A titrálható savtartalom szignifikánsan növekedett az árnyékhatast növelésével, eközben azonban enyhén csökkent a β -karotin tartalom (Klaring és Krumbien 2013). A paradicsom anyagcseréje könnyen alkalmazkodik a fényhozzáférhetőség korlátozásához a levélfelület növelése és a légzés csökkentése révén. 50% árnyékhatast 13%-kal csökkent a paradicsomtermés glükóz- és fruktóz tartalma, valamint visszaesett a termés hozam 44-58%-kal. Emellett változott – általában nem a paradicsomra jellemző illatot adó komponensek javára – az illóanyagok összetétele és a titrálható savtartalom is (Krumbein és Schwarz 2013). Gyógynövényekre vonatkozó kísérletek is napvilágot láttak az elmúlt években, főként amerikai és ázsiai területeken agrárerdészeti termesztési megalapozás szándékával. A közönséges gyömbér (*Zingiber officinale* R.) produkciobiológiai válaszreakciója a csökkent fényhatásra a növekvő összflavonoid-tartalom- és antioxidáns kapacitás mellett a csökkenő összpolicifol-tartalom volt (Ghasemzadeh 2010). A *Flourensia cernua* DC. észak-amerikai sivatagi bokor habitusú növény, melyet gyógy- és takarmánykiegészítő növényként alkalmaznak, fő hatóanyagai: flavonoidok, szeszkviterpének, monoterpének, valamint alga-, természet-, és gombaellenes hatással bír (Tellez et al. 2001). A fajban az árnyékhatast a gyömbérhez hasonlóan csökkentette az összpolicifol-tartalmat, azonban nem gyakorolt hatást az egységnyi szárazanyag tartalomra vonatkoztatott összes illóolaj-tartalomra. Az árnyék hatására növekedett a következő hatóanyag összetevő molekulák aránya: kamfén, szabinén, β -pinén, borneol, bornil-acetát, Z-jazmon (mg/g sz.a.) (Estell et al. 2016). Mérsékelt égövön és hazánkban szokványosan termesztett gyógy- és aromanövényekre vonatkozó, árnyékhatast vizsgáló kísérleti eredményből kevés áll rendelkezésünkre a témában, ezen kevés eredmény az orvosi zsályára (*Salvia officinalis* L.), a kerti kakukkfűre (*Thymus vulgaris* L.), valamint a citromfűre (*Melissa officinalis* L.) vonatkozik. A zsályá és a kakukkfű hozamadatainak és beltartalmi értékeinek árnyékhatast történő változását Massachusetts államban (USA) kutatták üvegházi kísérletben, mesterséges takarást biztosítva. Eredményeik szerint a megvilá-

gítás-, a fitomassza- és az illóolaj-tartalom ($\mu\text{g/g}$ friss levél) között pozitív korrelációt tártak fel mindkét faj esetén. Az illóolajtartó mirigyszőrök sűrűsége és a hatóanyagok létrejötte is egyenes arányban nőtt a megvilágítottság mértékével, azonban a zsálya esetén az 55%-os árnyékolttság állapotában szintetizálta a növény a legtöbb illóolajat, miközben a 100% fényhatás csökkentett az akkumuláción. Az illóolaj-összetétel is változott a zsálya esetén: a tujon aránya (%) növekedett, miközben a kámforé csökkent. A kakukkfű esetén a fitomassza és az illóolajhozam-, valamint annak összetétele is a teljes megvilágítottság állapotában volt a legkedvezőbb (Yan-Li et al. 1996). A citromfű viselkedési reakciója 10-15% árnyékhatásra a növénymagasság növekedése volt, azonban szignifikáns változás nem történt sem a hozam adatok, sem a hatóanyag-tartalom terén. Pozitív korreláció volt az illóolaj-tartalom és a levél-szár arány között, miközben az illóolaj-tartalom és a növénymagasság negatívan korrelált (Russo és Honermeier 2017).

Agrárerdészeti rendszerekben, szabadföldön végzett kutatások:

Az agrárerdészeti rendszerek, különösen a soros művelésű rendszerek kutatásának centrumai a globális térképen Délkelet-Ázsia, kifejezetten India, Észak-Amerika, valamint Nyugat-Európában kiemelten Franciaország. Ennek megfelelően a szabadföldi, valódi agrárerdészeti körülmények között beállított kísérleteket is nagyrészt ezeken a területeken végezték, melyekből a távol-keleti eredmények kevésbé, az észak-amerikai és a nyugat-európai eredmények javarészt adekvátak a hazai agroökológiai viszonyok közé. Az eredmények bemutatását és értékelését megelőzően fontos egyértelműsíteni, hogy míg az eddig bemutatott szabályozott- vagy kvázi-szabályozott környezeti tényezők között végzett kutatások esetén lehetőség volt a fény-árnyék hatás egyedüli szerepére redukálni a kísérlet tudományos kérdésfelvetését, addig a szabadföldön, valós agroökológiai rendszerben, fák között végzett kísérletek esetén a fényért történő versengésen kívül, további befolyásoló faktorként jelenik meg a vízért- és tápanyagokért potenciálisan fellépő versengés, valamint az allelopátia jelensége is.

Három indiai kísérlet számol be gyógynövény köztvetésű agrárerdészeti rendszerekről, melyek közül egy a helyben megtalálható fajok szkrínelésére, egy az *Ocimum* fajokra, egy pedig a kurkuma (*Curcuma longa* L.) és a mungóbab (*Vigna radiata* L.) természettségére fókuszál. A szkrínélést kitűző kísérletbe 64 helyben gyűjtött gyógynövényfajt vontak be, melyeket 5 m-es sortávolságra ültetett, 2 éves folyóparti nyár (*Populus deltoides* L.) ültetvénybe teszteltek, s teljesítményük (fitomassza, illóolajhozam) és adaptációs képességük (túlélés) szerint csoportosítottak. A hazánkban is ismert, vagy termesztési potenciállal rendelkező fajok közül a következők teljesítettek jól: orvosi kálmos (*Acarus calamus* L.), orvosi aloe (*Aloe barbadense* L.), fekete üröm (*Artemisia vulgaris* L.), kender (*Canabis sativa* L.), kurkuma (*Curcuma longa* L.), jávai citronella (*Cymbopogon winterianus* L.), szent bazsalikom (*Ocimum sanctum* L.), indiai macskagyökér (*Valeriana wallichii* DC.), közönséges gyömbér (*Zingiber officinale* R.), fokhagyma (*Allium sativum* L.), kapor (*Anethum graveolens* L.), rózsa meténg (*Catharanthus roseus* L.). Kifejezetten kedvezőtlenül teljesítettek a mentafajok és az álombogyó (*Withania somnifera* L.) (Jha és Gupta 1991). Egy két és fél éves *Pongamia pinnata* ültetvényben *Ocimum* fajokkal (*O. sanctum* L., *O. tenuiflorum* L., *O. basilicum* L. és *O. gratissimum* L.) végzett kutatásban megfigyelték, hogy a kontroll parcellaként használt monokultúra fényviszonyaihoz (529-578 lux) képest az általuk silvi-medicinal rendszer terminológiával fémjelzett rendszerben 352-364 luxra redukálódott a fákon át bejutó fény mennyiség.

Ezen körülmények között az összes *Ocimum* faj statisztikailag szignifikánsan nagyobb termés és illóolaj-hozamot produkált a silvi-medicinal rendszerben. Az átlag fitomassza 8,53 t/ha-ról 9,58 t/ha-ra-, az illóolaj-tartalom 0,66%-ról 0,68%-ra, valamint az illóolaj-hozam 45,41 kg/ha-ról 50,75 kg/ha-ra nőtt (Suvera et al. 2015). A kurkuma (*Curcuma longa* L.) és mungóbab (*Vigna radiata* L.) tesztnövényekkel végzett, 4 és 5 éves, 6x6 m térállású nyárültetvényben (*Populus deltoides* L.) végzett kutatás szerint az árnyékhatás a fák koronanövekedésének előrehaladtával egyre inkább csökkentette a kurkuma gyökértömegét. A mungóbab esetén az 5 éves ültetvény árnyék – és egyéb potenciális biotikus interakciók – hatása okozott csökkenést a hüvelyek számában és a magok súlyában. A hozamcsökkenés jelentősebb volt az öt éves ültetvényben (58%), mint a négy éves ültetvény esetén (37%). A kutatók javasolják a fák felmetszését, valamint megfogalmazznak egy félig következtetést – félig preconcepciót, mely szerint a gyökérhasznú növények jobban adaptálhatók agrárerdészeti körülmények közé, mint a magjukért termesztett növények. Kísérletük alapján egyértelmű, hogy az agrárerdészeti rendszer teljes produkciója nagyobb a monokultúráénál, valamint agroökonómiai modellszámításuk alapján az ilyen rendszerek üzemeltetése ésszerű és gazdaságos, mert a helyben konvencionális földhasznosítással - a rizs-búza vetésváltású monokultúrák gazdálkodással - összemérve mintegy háromszoros gazdasági haszonra tehet szert a gazda (Chauhan et al. 2013). Franciaország gazdátársadalmára jellemző, hogy jó az alulról szerveződő képessége, nyitott az innovációkra, jól hálózatosodik, valamint elkötelezett a környezetvédelem és a fenntarthatóság iránt, mindennek megfelelően az országban reneszánszát éli az agrárerdészet. Kísérleteinkben – és gazdálkodási gyakorlatukban – hibrid diókat-, vagy nyárákat kombinálnak többnyire gabonanövényekkel. Egy hibrid dió (*Juglans x intermedia* Mj209xRa) és durumbúza (*Triticum turgidum* L. subsp. *durum*) kombinációjú soros művelésű rendszerben (13 m sortávolságra ültetett 17 éves diófák kelet-nyugati tájolásban, 100 fa/ha) végzett kísérletben 27% termésvesztésűt és ezzel párhuzamosan 25% fehérjenövekedést tapasztaltak. A kutatók felhívják a figyelmet a fajok választásakor a fenológiai stádiumok optimalizációjára, a korona-alakítás fontosságára, a térállás befolyásoló hatására, valamint az árnyéktűrő genotípusok nemesítésének igényére (Dufour et al. 2013). Egy ugyancsak hibrid dió (*Juglans x intermedia* Mj209xRa) és gabonanövény: őszi búza (*Triticum aestivum* L.); őszi árpa (*Hordeum vulgare* L.) kombinációjú rendszerben (6x5 m sor- és tőtávolság, 9 éves ültetvény, 333 fa/ha) végzett kutatás eredményei szerint az árnyékre adott válaszreakciók különböztek a tesztelt fajok és fajták függvényében is. Az őszi árpa hozamának kedvezett a szántóföldi agrárerdészeti-rendszer a monokultúrához viszonyítva azokban az években, amikor tavasszal korai hő/szárazságstressz érte az állományt. Ezekben az években az soros művelésű rendszer pufferkapacitása 15% és 55% termés-hozam növekedést biztosított. Az őszi búza esetén a kedvezőtlen években neutrális hatást, míg a búzatermesztésnek kedvező években negatív hatást állapítanak meg a szerzők. Mindezzel némileg ellentétesen a nitrogén-tartalom (mely fontos jelzőértéke a gabonafélék fehérjetartalmának, ezáltal takarmányozási-, vagy élelmezési értékének) a búza esetén növekedett a soros művelésű rendszerben (2,76% és monokultúrában mért 2,56%-hoz képest), az árpa esetén nem történt változás. Fontos megállapítás, hogy a fák növekedése is csökkent a tisztán dióültetvényhez képest, ugyanakkor a két monokultúrát (dió és gabona) a szántóföldi agrárerdészeti-rendszer köztestermesztési földhasználati móddal összevetve a szántóföldi agrárerdészeti-rendszer produkálta a legtöbb biomasszát termőföld egyenértékre vonatkoztatva (Arenas-Corraliza 2018b). Hazánkban egy fellelhető kutatást találtunk a gyógynövények agrárerdészeti alkalmazhatóságát illetően, mely a 14 gyógynövényfaj klasszikus,

erdészeti hasznosítású nyárültetvények sorközeiben történő termesztetőségi kérdését veti fel. A kísérlet eredményei értelmében két kategóriát állapítottak meg a növények viselkedése alapján, melyek a nem termesztető és a termesztésre javasolható további vizsgálatok igényével. Eszerint nem termesztetők: kapor (*Anethum graveolens* L.), fehérmustár (*Sinapis alba* L.), konyhakömény (*Carum carvi* L.), muskotályzsálya (*Salvia sclarea* L.), orvosi angyalgökökér (*Angelica archangelica* L.), lestyán (*Levisticum officinale* L.), borsmenta (*Mentha piperita* L.). Termesztésre javasolhatónak ítélik: orvosi székfű (*Matricaria chamomilla* L.), macskagyökér (*Valeriana officinalis* L.), fehérmályva (*Althea officinalis* L.) (Galambosi 1980).

Összefoglalás és következtetések

Korunk mezőgazdasága számos kihívással néz szembe (klímaváltozás, növekvő népesség élelemigénye, talajdegradáció, stb.), mely problémák megoldását két egymással részint ellentmondó, részint egy irányba mutató eszme, stratégia és termelési gyakorlat kívánja megeremteni: a digitalizációra és robottechnológiára építő precíziós gazdálkodás koncepciója, valamint a hagyományokhoz visszanyúló ökológiai perspektíva. Az agrárerdészet, mint fás borítottágot növelő, művelési ágakat integratív módon kezelő földhasznosítási rendszer – mely ökológiai előnyei mellett ökonómiai előnyökkel bír – szintetizálja a két fő mezőgazdasági progressziót. A gazdálkodás kultúrájának tradíciójából merít, ökológiai szemlélet által vezérelve tervez, s komplexitása által igényli a tudásalapú mezőgazdaság eszközzrendszerét és ismeretanyagát. A fásszárú növények között történő növénytermesztés számos tudományos és technológiai kérdést vet fel, ezek közül jelen szemlében a növény – fény kapcsolatot-, az agrárerdészeti termelés szempontjából az árnyékhatás következményeit tárgyaltuk.

A mérsékelt égövön köztesnövényként termelhető szántóföldi növények közül az irodalmi adatok megerősítik a szakmai prekonceptiót, mely szerint a C_3 növények fejlődnek megfelelően szántóföldi agrárerdészeti-rendszerben, ezen belül azonban nagy a faj- és fajtaspecificitás. A gyógynövényfajok esetén fontos munka kimérni a különböző fajok azon fényintenzitási szintigényét- és ennek a szintigénynek a plaszticitását, mely kielégítése mentén a hatóanyagok termelődése – a gyógyszerkönyvi elvárásoknak megfelelően – optimalizálható agrárerdészeti körülmények között. Ez alapján skálázhatóvá válnak a termesztett és az introdukcióra- és árnyékstressz nemesítésre aspiráns fajok. Mindehhez figyelembe kell venni a hatóanyagok biogenetikai rendszerét és a klímaváltozással növekvő UV-B stresszfaktort is.

A szakirodalmi adatok alapján nem kapunk egyértelmű útmutatást a különböző hatóanyagosztályokba tartozó hatóanyagok termelődése és a fény/árnyékstressz optimalizációja kérdésében. A legtöbbet kutatott hatóanyagosztály a fenoloidok, ahol a len (összflavonoid-tartalom), a közönséges orbáncfű (hipericin) és a gyömbér (összpolifenol-tartalom) esetén is bizonyítást nyert, hogy az árnyékstressz gátolta a hatóanyag akkumulációt (Zahir et al. 2018; Briskin és Gawienowski 2001; Ghasemzadeh et al. 2010). Mindezt némileg árnyalja, hogy csakugyan a fenoloidok közé tartozó flavonoidok mennyisége gyömbérben növekedett árnyékolás hatására, valamint a pohánka rutin tartalmát nem növelte a környezetitől nagyobb UV-B terhelés (Kreft et al. 2002). A szaharidok és az azotoidok hatóanyagosztályait a cukorrépa és a mák fajok képviselték, melyek esetén csökkenő megvilágítottság esetén hatóanyag visszaesést tapasztaltak a kutatók (Bernáth és Tétényi 1979):

Artru et al. 2018). A terpenoidok termelődése a leginkább fajspecifikus, egy családba tartozó növények (orvosi zsálya, kerti kakukkfű) között is illóolaj-hozam eltérés tapasztalható árnyékhatás esetén (Yan-Li et al. 1996).

A szántóföldi agrárerdészeti-rendszerekben általánosan elfogadott a köztesnövények hozamcsökkenése – melyet a fászszerű kultúrákból eredő externális és internális hasznok kompenzálnak – azonban ez a gyógynövénytermesztésben a hatóanyagtartalom- és összetétel esetén komplexebb kérdést és problémát jelent. Mindennek tudományos alapjait igyekszünk mindinkább feltárni a Szent István Egyetem Gyógy- és Arománövények Tanszékén.

Irodalomjegyzék

1. Ali, M. and Abbasi, B.H. 2014. Light-induced fluctuations in biomass accumulation, secondary metabolites production and antioxidant activity in cell suspension cultures of *Artemisia absinthium* L. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 140: 223-227.
2. Arenas-Corraliza, M.G., López-Díaz, M.L. and Moreno, G. 2018a. Shade increases cereal production in mediterranean conditions facing the climate change. Proceedings of the 4th European Agroforestry Conference Agroforestry as Sustainable Land Use, 127-131.
3. Arenas-Corraliza, M.G., López-Díaz, M.L. and Moreno, G. 2018b. Winter cereal production in a Mediterranean silvoarable walnut system in the face of climate change. Agriculture, Ecosystems and Environment. 264. 111–118.
4. Artrua, S., Lassoisa, L., Vancutsemb, F., Reubensc, B. and Garréa, S. 2018. Sugar beet development under dynamic shade environments in temperate conditions. European Journal of Agronomy, 97: 38-47.
5. Bernáth, J. and Tétényi, P. 1979. The Effect of Environmental Factors on Growth, Development and Alkaloid Production of Poppy (*Papaversomniferum* L.) I. Responses to Day-length and Light Intensity. Biochem. Physiol. Pflanzen, 174: 468-478.
6. Bernáth, J. and Tétényi, P. 1981. The Effect of Environmental Factors on Growth, Development and Alkaloid Production of Poppy (*Papaver somniferum* L.) II. Interaction of Light and Temperature. Biochem. Physiol. Pflanzen, 176: 599-605.
7. Borovics A. és Gyuricza Cs. 2015. Fókuszban az agroerdészet – Termeljünk együtt a természettel. Agroforum, 11: 12-17.
8. Briskin, D.P. and Gawienowski, C.M. 2001. Differential effects of light and nitrogen on production of hypericins and leaf glands in *Hypericum perforatum*. Plant Physiol. Biochem. 39: 1075-1081.
9. Burkhart, P.E. and Jacobson, G.M. 2009. Transitioning from wild collection to forest cultivation of indigenous medicinal forest plants in eastern North America is constrained by lack of profitability. Agroforestry Systems, 76: 437-453.
10. Chauhan, S.K., Dhillon, W.S., Singh, N. and Sharma, R. 2013. Physiological Behaviour and Yield Evaluation of Agronomic Crops Under Agri-horti-silviculture System. International Journal of Plant Research, 3(1): 1-8.
11. Dufour, L., Metay, A., Talbot, G. and Dupraz, C. 2013. Assessing Light Competition for Cereal Production in Temperate Agroforestry Systems using Experimentation and Crop Modelling. J Agro Crop Sci, 199: 217-227.
12. Estell, R.E., Fredrickson, E.L. and James, D.K. 2016. Effect of light intensity and wavelength on concentration of plant secondary metabolites in the leaves of *Flourensia cernua*. Biochemical Systematics and Ecology, 65: 108-114.
13. Fagerholm, N., Torralba, M., Burgess, J.P. and Plieninger, T. 2016: A systematic map of ecosystem services assessments around European agroforestry. Ecological Indicators, 62: 47-65.

14. Galambosi B. 1980. Gyógynövények termesztési lehetőségei cellulóz nyárültetvény aljnövényeként. Nem publikált.
15. Garrity, D. 2012. Agroforestry and the Future of Global Land Use. in: P.K.R. Nair and D. Garrity (eds.), *Agroforestry - The Future of Global Land Use*, Springer Science+Business Media, Dordrecht.
16. Ghasemzadeh, A., Jaafar, H.Z.E., Rahmat, A., Wahab, M.E. P. and Halim, A.R.M. 2010. Effect of Different Light Intensities on Total Phenolics and Flavonoids Synthesis and Anti-oxidant Activities in Young Ginger Varieties (*Zingiber officinale* Roscoe). *Int. J. Mol. Sci.* 11: 3885-3897.
17. Gyuricza Cs. és Borovics A. 2018. Agrárerdészet. Nemzeti Agrárkutatási és Innovációs Központ, Gödöllő.
18. Hou, J., Li, W., Zheng, Q., Wang, W., Xiao, B. and Xing, D. 2010. Effect of low light intensity on growth and accumulation of secondary metabolites in roots of *Glycyrrhiza uralensis* Fisch. *Biochemical Systematics and Ecology*, 38: 160-168.
19. Jha, K.M. and Gupta, C. 1991. Intercropping of medicinal plants with Poplar and their phenology. *Indian Forester*, 117(7): 535-544.
20. Klaring, H.P. and Krumbein, A. 2013. The Effect of Constraining the Intensity of Solar Radiation on the Photosynthesis, Growth, Yield and Product Quality of Tomato. *J Agro Crop Sci.* 199: 351-359.
21. Kreft, S., Strukelj, B., Gaberscik, A. and Kreft, I. 2002. Rutin in buckwheat herbs at different UV-B radiation levels: comparison of two UV spectrophotometric and an HPLC method. *Journal of Experimental Botany*, 53(375): 1801-1804.
22. Krumbein, A. and Schwarz, D. 2013. Grafting: A possibility to enhance health-promoting and flavour compounds in tomato fruits of shaded plants? *Scientia Horticulturae*, 149: 97-107.
23. Liu, C., Guo, C., Wang, Y. and Ouyang, F. 2002. Effect of light irradiation on hairy root growth and artemisinin biosynthesis of *Artemisia annua* L. *Process Biochemistry*, 38: 581-585.
24. Mosaleyanon, K., Zobayed, S.M.A., Afreen, F. and Kozai, T. 2005. Relationships between net photosynthetic rate and secondary metabolite contents in St. John's wort. *Plant Science*, 169: 523-531.
25. Mosquera-Losada, M.R., McAdam, H.J., Romero-Franco, R., Santiago-Freijanes, J.J. and Rigueiro-Rodríguez, A. 2009. Definitions and Components of Agroforestry Practices in Europe. in: Rigueiro-Rodríguez, A. et al., (ed.). 2009. *Agroforestry in Europe: Current Status and Future Prospects*. Springer Netherlands.
26. Rao, M.R., Palada, M.C. and Becker, B.N. 2004. Medicinal and aromatic plants in agroforestry systems. *Agroforestry systems*, 61: 107-122.
27. Reisner, Y., De Filippi, R., Herzog, F. and Palmar, J. 2007. Target regions for silvoarable agroforestry in Europe. *Ecological Engineering*, 29: 401-418.
28. Russo, M. and Honermeier, B. 2017. Effect of shading on leaf yield, plant parameters, and essential oil content of lemon balm (*Melissa officinalis* L.). *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 7: 27-34.
29. Smith, J., Pearce, B. and Wolfe, M.S. 2012. A european perspective for developing modern multifunctional agroforestry systems for sustainable intensification. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 27(4): 323-332.
30. Suvera, A.H., Thakur, N.S. and Jha, S.K. 2015. Herbage and essential oil yield of ocimum spp. intercropped under pongamia pinnata based silvimedical systems in Gujarat, India. *The Bioscan*. 10(1): 81-85.
31. Tellez, M., Estell, R., Fredrickson, E., Powell, J., Wedge, D., Schrader, K. and Kobaisy, M. 2001. Extracts of *Flourensia cernua* (L): Volatile constituents and antifungal, antialgal, and antitermite bioactivities. *Journal of Chemical Ecology*, 27(11): 2263-73.
32. Wolske, E., Branham, B. and Wolz, K. 2018. Effects of shade on black currant physiology and productivity. *Proceedings of the 4th European Agroforestry Conference Agroforestry as Sustainable Land Use*, 387-390.

33. Yan-Li, L., Craker, E.L. and Potter, T. 1996. Effect of light level on essential oil production of sage (*Salvia officinalis*) and thyme (*Thymus vulgaris*). Acta Hort, 426.
34. Zahir, A., Ahmada, W., Nadeema, M., Giglioli-Guivarc'h, N., Hanob, C. and Abbasi, B.H. 2018. In vitro cultures of *Linum usitatissimum* L.: Synergistic effects of mineral nutrients and photoperiod regimes on growth and biosynthesis of lignans and neolignans. Journal of Photochemistry & Photobiology, B: Biology, 187: 141-150.

The role of light in plant production in agroforestry systems

ZUBAY P., ZÁMBORINÉ NÉMETH É., SZABÓ K.

Szent István University, Faculty of Horticultural Science, Department of Medicinal and Aromatic Plants

E-mail: zubaypeter@gmail.com

Summary

The agroecological systems and agricultural production face a number of significant challenges (climate change, increasing food demand, soil erosion, extinction rate of species) in the 21st century. Common Agricultural Policy (CAP) responds to this issue at a strategic level by the concepts of sustainable intensification complemented by ecosystem services, extensification and knowledge-based precision farming. Agroforestry land use is an appropriate management method, and the implementation of it could improve the profitability of hundreds of thousands of hectares of degraded arable land in Europe. Agroforestry cause new problems in cultivation (competition with trees for light, water, nutrients; allelopathy) of which the role of light is summarized in this study based on controlled, quasi-controlled and field experimental results. We focused primarily on the relation of light and phytochemical accumulation in medicinal and aromatic plant cultivation. The agroforestry land use method in the cultivation of medicinal and aromatic plants (introduction of wild species; implementation of cultivated species) can contribute to the development and positioning of the sector.

Keywords: medicinal and aromatic plants, illumination, light stress, phytochemicals, alley-cropping

Szerzők

Zubay Péter (kapcsolattartó szerző) – PhD hallgató, Szent István Egyetem, Kertészettudományi Kar, Gyógy- és Aromanövények Tanszék, 1118 Budapest, Villányi út 29-43.

Zámboriné Németh Éva – DSc, tanszékvezető, Szent István Egyetem, Kertészettudományi Kar, Gyógy- és Aromanövények Tanszék, 1118 Budapest, Villányi út 29-43.

Szabó Krisztina – PhD, egyetemi docens, Szent István Egyetem, Kertészettudományi Kar, Gyógy- és Aromanövények Tanszék, 1118 Budapest, Villányi út 29-43.