

Fenntartható anyagok alkalmazása a kertészetben

A bioműanyagok egyik kitörési pontja lehet, az ún. többfunkciós anyagok fejlesztése, amikor több alkotórész pozitív jellemzőinek kombinálásával egy adott alkalmazáshoz optimálják a kompaundot. Ez egyben a hulladékok csökkenését is eredményezi. Kínában fóliagyártó és mezőgazdasági cégek együttműködésével hasonló célú munkák indultak meg.

Tárgyszavak: műanyag-alkalmazás; mezőgazdaság; bioműanyagok; talajtakaró fólia; Kína.

Biodegradálható kompaundok fejlesztése palántázócserepekhez

A bioműanyagokat már egyre jobban elfogadják a műanyagiparban és a különböző alkalmazási területeken. Elfogadásukat hátráltatta, hogy bizonyos tulajdonságaik – pl. vízerzékenységük vagy ridegségük – korlátozták alkalmazhatóságukat, és hiányoztak a feldolgozásukhoz szükséges ismeretek. Ennek az anyagosztálynak a szélesebb körű bevezetése más tényezőktől is függ, ide tartozik a gyenge gazdasági megtérülés, a mezőgazdasági alapanyagok árának ingadozása. Megoldásként olyan anyagok vagy keverékek kifejlesztését javasolják, amelyek egyrészt költséghatékonyak, másrészt egyedi alkalmazásokhoz a többfunkciós anyagok hozzáadott előnyeit nyújtják. Egy ilyen megközelítés segíthet előmozdítani a kereskedelmi elfogadottságukat.

A többfunkciós anyagok fejlesztésekor két vagy több alkotórész pozitív jellemzőit kombinálják, hogy egy bizonyos alkalmazáshoz/területre, mint pl. a kertészet, ideális anyagot alakítsanak ki. Kimutatták, hogy optimális körülmények között *Kaliforniában a gyümölcsstermesztésben éves szinten 107 ezer tonna mezőgazdasági műanyag hulladék keletkezik. Ezenkívül a dísznövénykertészetben több mint 6 milliárd palántázó cserep válik hulladékká.* A biodegradálható-multifunkcionális műanyagok használata, pl. a szójabrotein műanyagok kertészeti cserepekhez, jelentősen csökkentheti a hulladék mennyiségét.

Mivel a mezőgazdasági termékek viszonylag rövid élettartamúak, ezek az alkalmazások ideálisak olyan műanyagok számára, amelyek hasonló idő alatt bomlanak le. Azok a cserepek, talajtakaró fóliák, ideiglenes azonosító jelzések, amelyek élettartama elég, ha egy év vagy annál rövidebb idő, ideális célalkalmazásai lehetnek a proteinalapú műanyagoknak. Ezek a műanyagok önmagukban műtrágyaként is szolgálnak, ezért előnyösek a kertészetben palántázócserepként. Előállításuk növényi proteinekből történik, amelyek polimerizált aminosavak. Bomlásukkor nitrogént és más fontos növényi tápanyagot bocsátanak ki, ezért funkcionálnak szerkezeti anyagként és műtrágyaként is.

A szójabroteinek azonban hidrofílek, így eddig a vízzel szembeni nagyobb stabilitást csak a mechanikai szilárdság kárára lehetett elérni. *Biztató megoldás a szójabrotein műanyagok kompaundálása politejsavval (PLA)*. Ez a megközelítés javítja mind a mechanikai tulajdonságokat, mind a hidrolízissel szembeni ellenállást. Ezekhez az alkalmazásokhoz a PLA megfelelő polimer, mert komposztálható és deponálásakor nincs kedvezőtlen környezeti hatása.

Természetes körülmények között a PLA lebomlása viszonylag hosszú (1–2 év vagy még több) időt vesz igénybe. Ez gyorsítható a komposztálási körülmények megfelelő beállításával, ahol a nedvességtartalom és a hőmérséklet viszonylag magas. Növényi proteinek vagy természetes biomassza-alapú töltőanyagok hozzáadása, együtt olyan oligomerekkel, mint a polietilén-glikol, gyorsítja a lebomlást és a PLA mátrix teljes degradálódását a talajban, mert a proteinek/töltőanyagok bomlása növeli a PLA hidrolízisének lehetséges reakciófelületét, és megnyitják az utat a mikrobiális támadás előtt.

A kísérletek során kompaundált szója, PLA és PHA polimerek használatát vizsgálták olyan kertészeti termékek esetében, amelyek élettartama rövidebb, mint egy év. Összehasonlítva kereskedelemben kapható más bioalapú cserepekkel (papír vagy tözegmoha cserepek), a javasolt receptúrával készült termékek viszonylag vízállóak voltak, és nem volt szükség extra öntözésre a növények növekedéséhez. Számos más degradálható anyag mechanikailag gyenge és szállítás során könnyen megrepedhet. A javasolt megoldás költséghatékony és multifunkcionális előnyökkel rendelkezik: víz-visszatartás, műtrágyahatás, szerkezeti stabilitás és degradálhatóság.

Anyagok, feldolgozási és vizsgálati módszerek

Összesen 15-féle fröccsöntött palántázócserepet vizsgáltak. Ebből 9 biokompozitokból, 5 biopoliészterből és 1 kereskedelemben kapható standard polipropilénből készült. A receptúrák PLA-t, PHA-t és szójaliszt/szójabrotein keveréket tartalmaztak. A töltőanyagokat, mint pl. a DDGS-t (száraz szeszipari gabonatorkölyt) és a kukoricából kiinduló etanolgyártás melléktermékét (kukoricatakarmány) is vizsgálták. A 15 receptúrát az *1. táblázat* mutatja be részletesen.

Szójapolimerek és keverékek

Az alapanyagokat különböző gyártóktól szerezték be. A szójabrotein-izolátum (SPI, ~90% protein) a Solae Company-tól (USA), a zsírtalanított szójaliszt (SF) az Archer Daniels Midland-tól (USA), a fröccsönthető politejsav *3001D* a NatureWorks LLC-től, a lágyítók és sók, pl. glicerin, nátrium-szulfít, szorbinsav (káliumsó) és polietilén-glikol (*PEG 8000*) a Fischer Scientific-től (USA), a ftálsavanhidrid és az adipinsav a Sigma Aldrich-től és az Acros Organics-től származtak.

A receptúrák előállításakor két frakciót, egy szilárd és egy folyékony frakciót kompaundáltak. A szilárd frakció mindegyik esetben 1 kg SPI:SF (50:50) keveréket tartalmazott. A folyékony frakció víz, glicerin, valamint nátrium-szulfít és szorbinsav (K-só) volt mind az SP, mind az SP.A receptúrában. A szilárd és a folyékony részt

nagy sebességű keverőben (Henschel Mixers American, USA) keverték össze, hogy porszerű szójapolimer keveréket kapjanak. Ezt a keveréket tovább extrudálták egy két-csigás keverőben (Leistritz Micro 27, L/D arány 30, American Leistritz Corp., USA), a kapott extrudátumot granulálással (Scheer Bay Inc., USA) granulálták. A hőmérséklet-profil az extrudálás során az adagológarat és a szerszám között 95–110 °C volt minden receptúránál, kivéve a ftálsavanhidridesnél, amelynél 95 °C–120 °C közötti volt. A műanyag granulátumot 10–15% nedvességtartalomig szárították.

1. táblázat

A vizsgált palántázócserepek receptúrái

Palántázócserep összetétele	Leírás
1.SP	Szója protein izolátum és szójaliszt [50:50 %(m/m)]
2.SP.A	SP receptúra + adipinsav
3.SP+PLA	SP keverve Ingeo PLA-val [50:50 %(m/m)]
4.SP.A+PLA	SP.A keverve Ingeo PLA-val [50:50 %(m/m)]
5.Mirel-PHA P1003	Metabolix Mirel PHA P1003
6.Mirel-PHA P1004	Metabolix Mirel PHA P1004
7.Mirel-PHA P1008	Metabolix Mirel PHA P1008
8.Mirel-PHA P4010	Metabolix Mirel PHA P4010
9.Nw-PLA 3001D	NatureWorks Ingeo PLA 3001D
10.Mirel P1003 és DDGS	Mirel P1003 és DDGS* kompozit [90:10 %(m/m)]
11.Mirel P1004 és DDGS	Mirel P1004 és DDGS* kompozit [90:10 %(m/m)]
12.NW PLA 3001D és DDGS	Ingeo PLA 3001D és DDGS* kompozit [90:10 %(m/m)]
13.NW PLA 3001D és kukoricatakarmány	Ingeo PLA 3001D és kukoricatakarmány kompozit [90:10%(m/m)]
14.NW PLA 3001D és nanoagyag	Ingeo PLA 3001D és nanoagyag kompozit [90:10 %(m/m)]
15.Kőolaj-alapú kontrolminta (PP)	Standard palántázócserep (kőolajalapú PP)

* DDGS = lepárlóból származó szárított gabonamaradék, oldódást segítővel.

Az SP+PLA és az SP.A+PLA keverékeket SP és SP.A granulátumokból PLA hozzáadásával (50:50 koncentráció arányban) kompaundálással állították elő. Ezt megelőzően a PLA ömledék hőmérsékletét 20% PEG 8000 bekeverésével módosították. Erre a módosításra azért volt szükség, hogy elkerüljék a kompaundálás során a szójapolimer termikus degradációját.

Biopoliészter kompozitok

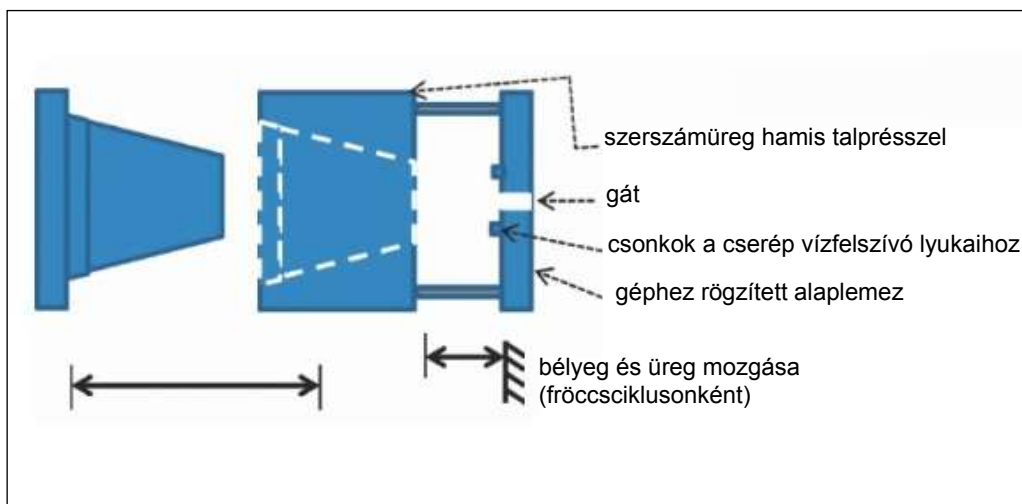
A felhasznált alapanyagok közül a fröccsönthető PLA 3001D-t a NatureWorks LLC, a szintén fröccsönthető PHA 1003, 1004, 1008 és 4010 típusokat a Metabolix (USA) gyártotta, míg a DDGS és a kukoricatakarmány helyi forrásokból származott.

Az összes kompozitot DDGS vagy takarmány 10 %(m/m) kompaundálásával állították elő kétcsigás extruderben (Leistritz *Micro 27*, L/D 30), majd az extrudátumot Scheer Bay berendezéssel granulálták a fröccsöntéshez.

Fröccsöntés

A különböző receptúrával előállított granulátumokból *ASTM* húzópróbatesteket fröccsöntöttek egy *22s* típusú Boy berendezéssel. A szűz anyaghoz javasolt feldolgozási hőmérsékleteken, de a kompozitok biokomponenseinek degradációs hőmérsékletei alatt dolgoztak. A próbatesteket a vizsgálat előtt szobahőmérsékleten minimum 48 órát kondicionálták az *ASTM D638-08* szabvány szerint.

A 11,5 cm-es cserép prototípusait az *1. ábrán* látható, háromelemes szerszámban fröccsöntötték, hogy elkerüljék a szójaprotein polimert nagy koncentrációban tartalmazó műanyagok fröccsöntésénél az ismétlődő beömlőcsatorna-hibákból adódó gépleállásokat, ami ezeknél az anyagoknál ismert probléma. Ezek a meghibásodások azért következnek be, mert a szójalisztzárványok kialakulása gyengíti a szójapolimerek mechanikai tulajdonságait. A szójalisztet költségcsökkentés miatt használják.



1. ábra A háromelemes fröccsszerszám sematikus ábrája

A bioműanyag és a standard cserepekben ötféle növényt (körömvirág, petúnia, szalvia, bors és paradicsom) növesztettek üvegházban öt hétig, majd ezeket a cserepes növényeket egy mintakertbe telepítették át további nyolc hétre. Ezután a cserepeket eltávolították, összetörték és az átültetett növények gyökereihez közel a talajba helyezték el. Az eredményeket azoknak a növényeknek a növekedésével hasonlították össze, amelyek hagyományos PP cserepekben a szokásos módon fejlődtek, és ahol a cserepeket eltávolítás után kidobták.

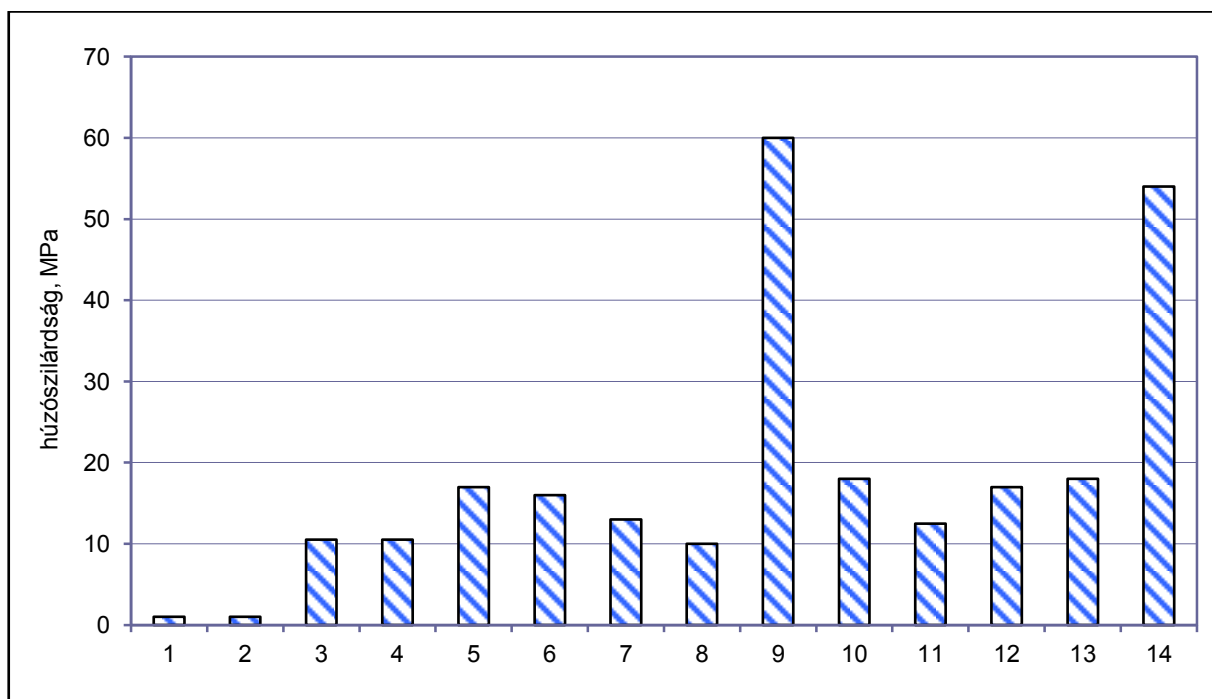
Összesen 195 cserepet értékelték ebben a vizsgálati fázisban (13-féle cserép x 5-féle növény x 3 ismétlés). Fontos megjegyezni, hogy a nagy szójapolimer-tartalmú (SP

és SP.A) cserepeket nem vizsgálták a kerti kísérletek során, mert az üvegházi körülmények között szerkezetileg tönkrementek. Az áttelepítés után nyolc héttel értékelték a palánták egészségét (0-tól 5-ig, 0 = legrosszabb, 5 = legjobb), a palánták méretét, valamint a bors és a paradicsom esetében a termés mennyiségét (friss tömeg). Meghatározták a cserepanyagok biodegradációját 20 hét talajban töltött idő után a tömegveszteség mérésével. Az eredményeket normalizálták és egy 0–5 fokozatú skálán értékelték.

Eredmények és következtetések

Mechanikai tulajdonságok

A biopolimert tartalmazó kompaundok húzószilárdsága a 2. ábrán látható. A PLA-nak volt a legnagyobb szilárdsága (60 MPa), amely kissé csökkent a nanoagyag hozzáadásával (54 MPa). Úgy tűnik, hogy a PHA viszonylag erős (10-15 MPa). A proteinalapú műanyagok (SP és SP.A) viszonylag gyengék (<10 MPa), azonban PLA-val kompaundálva a szilárdság nagyjából 10 MPa-ra nőtt. Amikor a PLA-t és a PHA-t DDGS-sel és kukoricatakarmánnyal keverték, a szilárdság 12–18 MPa között mozgott.



2. ábra A különböző biopolimereket tartalmazó kompaundok húzószilárdsága (a sorszámmal jelzett minták összetétele az 1. táblázatban látható)

Vizsgálatok talajban

A növények egészsége, mérete és a termés mennyisége szempontjából a legmagasabb értéket az SP.A+PLA cserepekkel érték el, míg a *Mirel-PHA P4010* cserepek

esetében volt a legkisebb az érték. 20 hét után a talajban a legnagyobb mértékben a *Mirel-PHA 4010*, az SP+PLA és az SP.A+PLA anyagok degradálódtak. A DDGS vagy a kukoricatakarmány javította a PHA- és a PLA-alapú anyagok teljesítményét a növény növekedése és az anyag degradációja tekintetében. Míg közel az összes vizsgált bioanyag ugyanolyan vagy jobb teljesítményt nyújtott, mint a PP cserép, addig az SP.A+PLA anyagból készült cserép volt a legjobb mindegyik közül a négy mérést összesítve.

Összefoglalás

A bioműanyagok és biokompozitok jelentős potenciállal rendelkeznek a mezőgazdaságban, mint a kőolajalapú műanyagok fenntartható helyettesítői, főleg az egyszerű használatos termékeknél, ahol a műanyagoknak rövid az életciklusa. A vizsgálati eredmények azt mutatják, hogy a bioműanyag termékek a meglévő műanyagfeldolgozó berendezésekkel gyárthatók, teljesítményük ugyanolyan jó vagy jobb, mint a kőolajalapú polimereké, és elfogadható időn belül észrevétlenül szerves anyagokká bomlanak a talajban. Olcsó természetes töltőanyagok, mint a DDGS és kukoricatakarmány hozzáadásával javítható a bioműanyagok funkcionalitása és degradációja, ezzel egyidőben pedig csökkenthetők a költségek. Protein- és szénhidrátalapú polimerek keverésével javítani lehet pl. a palántázócserepek teljesítményét, ugyanakkor ez önmagában műtrágyaként is szolgál a fejlődő növények számára.

„Zöld művelés” Kínában biodegradálható műanyag talajtakaró fóliával

A műanyag talajtakaró fóliák számos előnyt kínálnak a mezőgazdaság számára. Mégis, ezek széles körű felhasználása kezd több kárral járni, mint haszonnal, mivel egyre nagyobb mennyiségük halmozódik fel a földeken, főleg Kínában, a világ legnagyobb élelmiszertermelő országában. Ennek a „fehér szennyezésnek” a tudatában, a kínai műanyaggyártó cégek előálltak saját biodegradálható műanyagaikkal a „zöldebb” és fenntarthatóbb földművelés érdekében.

A műanyag talajtakaró fóliákat a gyomok visszaszorítására és a víz visszatartására használják a növénytermesztésben, Kína mezőgazdaságának fejlődésével egyre nagyobb mennyiségben. A statisztikák azt mutatják, hogy *Kínában 20 millió hektár olyan földterület van, ahol polietilénfóliát használnak a művelésben.* A fóliák felhasználása évente 10%-kal bővül és mára már meghaladta az 1 millió tonnát. Annak ellenére, hogy ezeknek a fóliáknak a használata több terményt eredményez és jelentős gazdasági haszonnal jár, mégis komoly mértékben szennyezi az ökológiai környezetet.

„Fehér szennyezés”

Az elhasznált talajtakaró fólia felhalmozódik a szántóföldön, fokozatosan szennyezi a környezetet és a tájat. Akadályozza a növényt, hogy vizet és tápanyagot ve-

gyen fel, a termékhozam csökkenése meghaladhatja a 20%-ot. A műanyag talajtakaró fóliás művelési technológia korábban „fehér forradalom”-ként volt ismert a mezőgazdaságban, mára azonban teljes mértékben „fehér szennyezés”-sé vált.

Jelenleg két út mutatkozik a talajtakaró fóliák okozta szennyezés mérséklésére: a reciklálás és a biodegradálható fóliák használata. Kutatók által Kínában és más országokban végzett vizsgálat szerint, a „részlegesen biodegradálható műanyag talajtakaró fólia” (mint pl. a foto- és oxobiodegradálható PE fólia, a keményítő alapú PE fólia) hatástalan megoldás. A fóliamaradványok a talajban meghaladják a felhasznált fólia mennyiségének 30%-át, ami évről évre tovább halmozódik.

A hagyományos műanyag talajtakaró, mint a foto- és oxodegradálható fóliák, könnyen bomlanak ultraibolya (UV) fényben, de a fóliadarabok több évig is a földben maradnak. A keményítőalapú fólia, bár a keményítő komponens részlegesen lebomlik, a PE viszont nem, még több PE fragmentumot hagy a talajban, így a szennyezés még rosszabb.

A teljesen biodegradálható műanyagok speciális molekulaszervezetüknek köszönhetően stabilak maradnak a használatuk során. Az élettartamuk végén ezek az anyagok komposztálhatók, bomlanak a talajban, a vízben, az eleveniszapban stb. Az állatok vagy növények testében megtalálható mikroorganizmusok vagy enzimek által szén-dioxiddá és vízzé degradálódnak. Jó biokompatibilitási és biodegradálódó tulajdonságaikkal a *teljesen biodegradálható műanyag talajtakaró fóliák környezetbarát megoldást jelenthetnek a fóliamaradékok okozta problémára.*

A 100%-ban biodegradálható fóliák három fő előnye

A teljesen biodegradálható műanyagból készült talajtakaró fóliák számos előnyös tulajdonsággal rendelkeznek. Mindezek közül az első az, hogy a fóliák „takarási” ideje szabályozható, ezért az adott felhasználási terület természeti viszonyainak megfelelően állíthatók be a tulajdonságaik. Élettartama végén a fólia automatikusan és teljes mértékben lebomlik. Másodsorban, ennek következtében megtakarítható a használat utáni munkabérből. Végül, de nem utolsósorban, a másodlagos szennyezés lehetősége nem áll fenn, mivel a fólia életciklusa végén vízzé és szén-dioxiddá alakul át.

Napjainkban a 100%-ban biodegradálódó műanyagok használata a nyugati országokban általánosan elterjedt. Közép-Európa és Japán fokozatosan váltott ezekre a termékekre, hogy növeljék a termények mennyiségét. A kínai gazdák váltása a hagyományos talajtakaró fóliákról a biodegradálható alternatívákra valamivel hosszabb folyamat lesz. A sikeres európai gyakorlat mondatja, hogy a kedvező politikai hozzáállás fontos a biodegradálható műanyagok használatának előmozdításában, mivel ezek még három-öttször drágábbak, mint a poliolefinok, így sem az iparág, sem a gazdálkodók nem fognak tudni váltani rövid időn belül, és ez az oka, hogy miért van szükség a politikai támogatásra. *A részlegesen bioalapú és a teljesen biodegradálódó anyagokat gyártókat támogatni kell adókedvezmények, fontos projekteken való részvétel stb. által.* Ha a politikai támogatás megvalósul, akkor Kínában a biodegradálható műanyagok piaca gyorsan növekedni fog.

Kooperáció a biodegradálható talajtakaró fólia elterjesztése érdekében

A Kingfa cég sikeresen kifejlesztett két teljesen biodegradálható és bioalapú műanyagcsaládot *EcoPond* márkanéven, amely 10 különféle típust foglal magában. A termékeket poliészterszintézissel és reaktív extrudálással, valamint különböző feldolgozási módszerekkel gyártják.

A Kingfa szerint, anyagaik eleget tesznek az *EN 13432* és a legszigorúbb biodegradálhatósági szabványok követelményeinek. Általában a biodegradációnak (oxigénfogyasztás és CO₂ előállítás) 90%-os mértékűnek kell lenni 180 napon belül, és az anyagmaradványoknak nem szabad kedvezőtlenül hatniuk a növények növekedésére.

A Kingfa és egy mezőgazdasági cég, az XPCC együttműködésében 2014-ben kísérletek indulnak a biodegradálható talajtakaró fóliákkal egy mintagazdaságban a kínai Xinjiang Uyghur tartományban. Az XPCC hároméves szerződést kötött a Kingfa-val. Az XPCC 14 divíziója 2014-ben 9300 hektáron helyezett el biodegradálható műanyagfóliát a mezőgazdasági területeken, míg 2016-ra ezt 400 ezer hektárra szeretnék növelni.

Teljesen biodegradálható talajtakaró fólia az Ecomann cégtől

2012-től az Ecomann Biotechnology, helyi kormányzati szervekkel együttműködésben, teljesen biodegradálható talajtakaró fóliákat próbál ki számos művelési területen. A cél az, hogy különböző növények termesztése alatt tanulmányozzák ezeknek a fóliáknak az alkalmazhatóságát. A Zoucheng City Agriculture Bureau által kiadott tanulmányban megállapítják, hogy mogyoróültetvényen az *Ecomann* fólia javítja a hőmegtartást, a talaj vízmegkötését és előmozdítja a csírák növekedését – funkcionálisan hasonlóan, mint a hagyományos talajtakarók. Biodegradálhatósága segíti a talaj légnedvességének és tápanyagcseréjének részleges beállítását. Az ilyen indirekt szabályozás a mogyoró növekedése alatt lehetővé teszi a jobb tápanyagfelvételt, a termés korábban megéri, ezáltal javítja a gazdaságos termelést.

Az Ecomann a teljesen biodegradálható talajtakaró fólia előállításához ipari genetikai technológiát használ, amelyben az anyagok közvetlen előállítása a mikroorganizmusok testén belül történik. A gyártósor az alapanyaggyártást és a módosító eljárásokat foglalja magában. A teljesen biodegradálható és jó mechanikai tulajdonságokkal rendelkező poli(hidroxi-alkanoát)-ok (PHA) teljes mértékben kielégítik az *EN 13432* szabvány általi követelményeket, és Európában megkapták az *OK Compost Home Certificate* tanúsítványt.

Egy „zöld ciklus” megvalósítása

A jelenleg futó projektek alapján, az Ecomann reméli, hogy vezető szerepet játszhat a biodegradálható talajtakaró fóliák fejlesztésében és elterjesztésében, és bővítheti ismereteit a biodegradálható műanyagok tekintetében, hogy a különböző kor-

mányzati szinteken előmozdítsa a kapcsolódó szabályozások kialakítását. A nyilvánosság és a potenciális vásárlók tudatosságának erősítése által, a környezetbarát filozófia terjesztésével és a vásárlói elképzelések alakításával az Ecomann igyekszik megvalósítani a biodegradálható műanyagok helyi gyártását.

A Kingfa szintén hangsúlyozza, hogy a teljesen biodegradálható talajtakaró fóliák használata határozottan előmozdítja az innovációt a vegyiparban, a fóliafeldolgozásban és a mezőgazdaságban, és további lökést fog adni a „zöld” műanyag talajtakarók fejlesztésének.

Összeállította: Dr. Lehoczki László

Grewell, D.; Srinivasan, G.; Schrader, J.; Graves, W.; Kessler, M.: Sustainable materials for horticultural application = *Plastics Engineering*, 70 k. 3. sz. 2014. p. 44–52.

Green cultivation with biodegradable plastic mulch = *Plastics Engineering*, 70. k. 5. sz. 2014. p. 24–27.