



MISKOLCI EGYETEM
MŰSZAKI ANYAGTUDOMÁNYI KAR



**MŰANYAGOK BIODEGRADÁCIÓJÁNAK VIZSGÁLATA A
KÖZÖNSÉGES LISZTBOGÁR (*TENEbrio molitor*) SEGÍTSÉGÉVEL**

P2P – Plastic to Protein

Szerzők:

Kónya Máté Bertalan

Turjanicza Boldizsár

Konzulensek:

dr. Fiser Béla

Hegyi Flóra

Dóka Erzsébet

Lévay József Református Gimnázium és Diákotthon

Miskolc, 2022



Tartalom

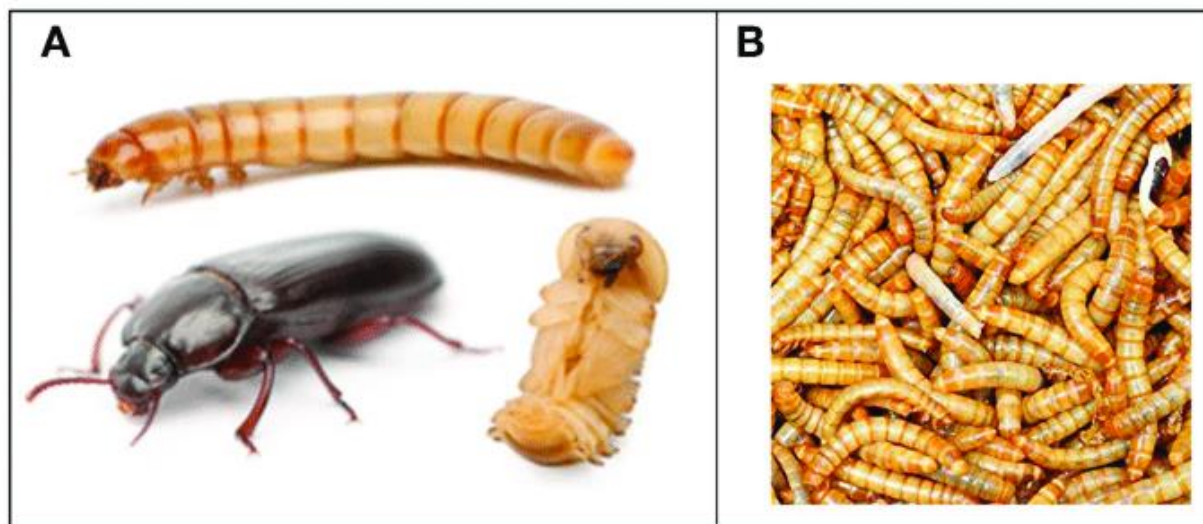
Műanyagok Biodegradációjának Vizsgálata a Közönséges Lisztbogár (<i>Tenebrio molitor</i>) Segítségével	2
Absztrakt	4
Tenebrio molitor.....	5
A rovar tenyésztése	5
Műanyagok.....	7
Vizsgált műanyagok.....	10
Polisztirol	10
Tulajdonságai.....	10
Előállítása.....	10
7. ábra Sztírol polimerizációja	11
Felhasználás.....	11
Poliuretán	11
8. ábra Poliuretán hab [10].....	12
Alapanyag és összetétel	12
A poliuretán felhasználási területei.....	12
A polisztirol és a lisztbogár kapcsolata.....	13
Eredmények és Értékelésük	14
Konklúzió	19
Köszönetnyilvánítás	20

ABSZTRAKT

Mit hagyunk magunk után? Bolygónkat egyre súlyosabb mértékben érinti a globális műanyagprobléma. A Földön már most meghaladja a műanyagok összömege az emlősökét. A műanyag hulladék tárolására, megsemmisítésére, újrahasznosítására jelenleg nem áll rendelkezésre hosszútávon fenntartható, zöld, gazdaságos megoldás. Jelen kutatás erre a problémára keres megoldást. Célunk egy környezettudatos, élő szervezetek (pl. lisztkukacok) segítségével történő, fenntartható, a körforgásos gazdaság irányelveit követő műanyagbontási módszer kialakítása. Eddigi vizsgálataink igazolták, hogy a lisztkukacok képesek a polisztirol és a poliuretán bizonyos mértékű elfogyasztására. Kisebb lisztkukac populációkat (kb. 100-150 egyed) vizsgálva fény derült arra is, hogy egy lisztkukac átlagosan napi 34-36 mg polisztirolt, illetve poliuretánt képes elfogyasztani. Ezeket a biztató eredményeket további kísérletekkel tervezzük kiegészíteni, amelyek keretében egyéb műanyagokat és nagyobb lisztkukac populációkat is vizsgálni kívánunk.

TENEBRIO MOLITOR

A növényi, illetve mezőgazdasági kártevőként számontartott közönséges lisztbogár (*Tenebrio molitor*) a rovarok (*Insecta*) osztályának bogarak (*Coleoptera*) rendjébe, ezen belül a mindenevő bogarak (*Polyphaga*) alrendjébe és a gyászbogárfélék (*Tenebrionidae*) családjába tartozó faj. Lárvája (a köznyelvben lisztukac) a tárolt élelmiszerek elfogyasztása mellett ürülékével és elpusztult egyedekkel is szennyezi azt. Az emberi tevékenység hatására valamennyi földrészen elterjedt: egészen az északi sarkkörtől a déli sarkkörig. A természetes élőhelyek mellett gyakran élelmiszer raktárakban, pékműhelyekben, malmokban raktári kártevőként fordul elő, de természetben fő tápláléka a fa korhadék. A leginkább éjjel aktív kifejlett bogár teste hosszúkas, kb. 0,5-2 cm hosszú, színe fényes barna, gesztenyebarna, esetleg koromfekete (1. ábra). Tora egyenletesen pontozott, szélessége gyakran meghaladja hosszúságát, illetve szárnyfedőin finoman pontozott sávok futnak végig. Rövid csápjain az ízék vastos jellegűek. Testéhez hasonlóan csápja és lába vörösesbarna (1. ábra). A szabadban a megtermékenyített nőtények petéiket az avarba, a kártevők, élősködők pedig lisztbe, illetve más élelmiszerekbe rakják. A lisztukacok sárgásbarna, hosszúkas lárvák, egzotikus állatok eledeként tenyésztik őket (1. ábra). Kemény, kitines kutikulával rendelkeznek. Megfelelő hőmérsékelt és más pozitív hatások esetén évi több generáció is kifejlődhet. [1]

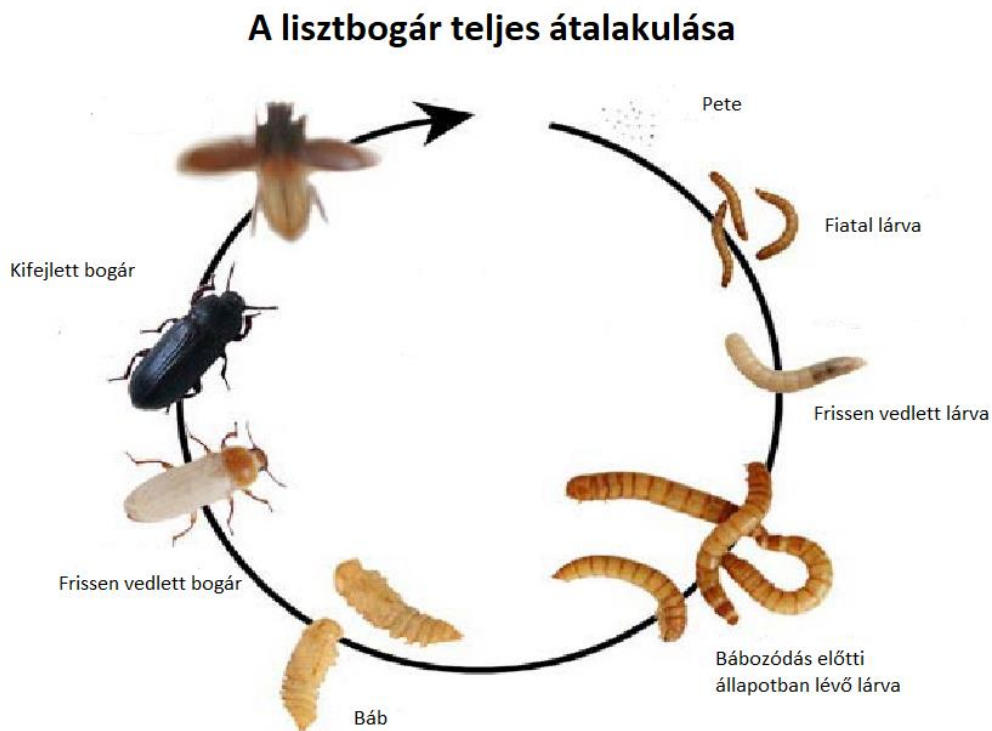


1. ábra A *Tenebrio molitor* életszakaszai [2]

A rovar tenyésztése

A lisztukacokat a legtöbb hobbiállat szívesen fogyasztja (például madarak, hüllők, rágcsálók, vagy ízeltlábúak), emiatt nagy mennyiségben tenyésztik őket. Tenyésztése nem igényel különösebb szakértelmet, fejlődésük teljes átalakulással történik. A petéből lárva fejlődik

(amely akár a bogár méretének duplája is lehet), mely többszöri vedlés után bebábozódik (2. ábra).



2. ábra A lisztbogár fejlődési szakaszai [4]

A végső stádiumban kikel a bábból a kifejlett bogár. Fejlődése pár hónapot vesz igénybe (3-4-6 hónap körülményektől függően). A hímek kicsit nagyobbak a nőstényeknél, de külsőleg nehéz megkülönböztetni őket. Legegyszerűbben a szelvények alapján lehet meghatározni a nemeket. A fejlődésben lévő lárvákat korpával, liszttel, kenyérrel, zabpehellyel, uborkával, répával, és egyéb liszt tartalmú élelmiszerekkel is lehet etetni. A bogarak átalakulásuk után nem sokkal párosodnak, majd a nőstények lerakják a petéiket. A lisztbogár nőstények a kopulációt követő 4-17 nap elteltével kezdenek el petéket rakni. Egyetlen állat akár 500 petét is lerakhat.

A lisztbogár petéi hosszúkas alakúak, amelyeket a petét rakó nőstény ragacsos anyaggal borít, amellyel rögzíti azokat az aljzathoz. Az optimális keltetési hőmérséklet 25-27 °C közötti, amelyen az embriófejlődés 4-6 napig tart. A hőmérséklet kismértékű emelésével a kikelés felgyorsítható. A petékből apró (kb. 3 mm hosszúságú), fehérés lárvák kelnek ki (2. ábra).

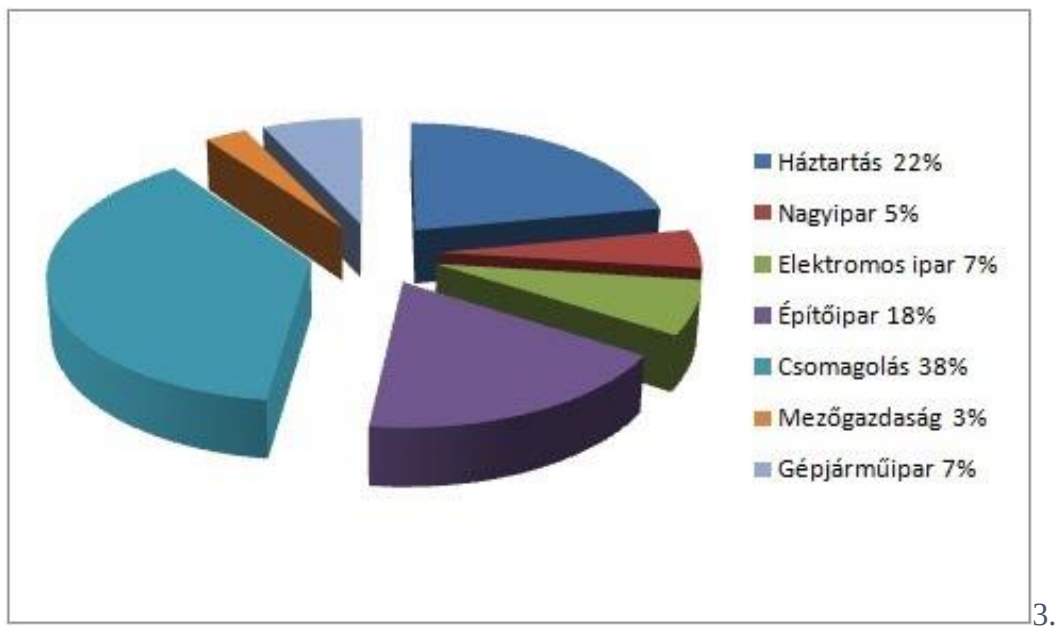
Néhány nap múlva ezek sárgássá válnak, és kemény, kitines külső vázat képeznek. Egy kifejlett lárvá súlya körülbelül 0,2 g, míg a teste kb. 25-35 mm hosszú. A faj lárvális fejlődése nagyon hosszú, amely optimális hőmérsékleten és alacsony nedvességtartalom mellett körülbelül fél év után fejeződik be teljesen. A kifejlett lárvákat a világ egyes részein emberi táplálékként is hasznosítják. Abban az esetben, ha raktárkártévőként vannak jelen a lárvák, akkor a károsított

termékek mélyén maradnak, elkerülve a napfényt. A lárvális fejlődés vége előtt a kukacok az élelmiszerek felszínére rágják magukat és ott bábokká alakulnak. A báb „szabadon élő” (nincs körülötte védőburok, pl. földből), hosszúsága kb. 12-18 mm, színe krémfehér (2. ábra). A bábos szakasz átlagos időtartama megfelelő hőmérsékleten 5-6 nap. [2] [3]

MŰANYAGOK

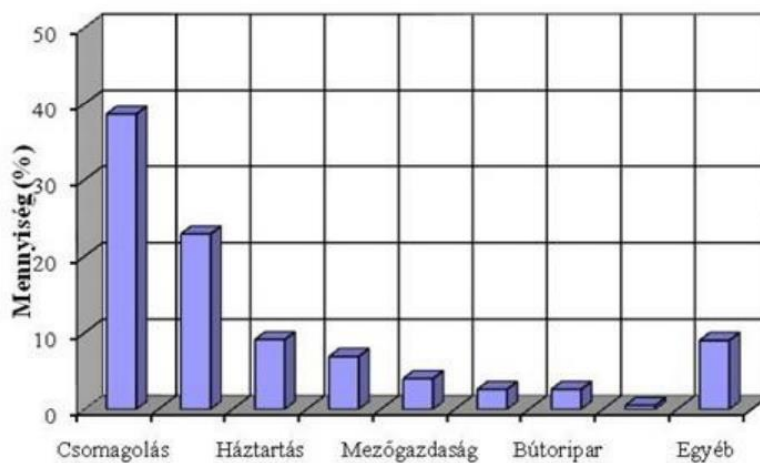
Az ember ősidők óta használ polimereket, gondoljunk csak a táplálékul szolgáló fehérjék, a cellulózrostokból készült kötelek, de akár a mayák által használt kaucsuklabdákra. Ezek mindegyike hozzátartozott és bizonyos esetekben még ma is hozzátartozik az emberek életéhez. Ezeknek a természetes anyagoknak az átalakítása, feldolgozása a XIX. századtól kezdve ipari méreteket öltött. Hatalmas fejlődésnek indult az ipar a Goodyear által kidolgozott vulkanizálási technológiával kezdődően, amelyből Amerikában és Angliában alig 10 év alatt kialakult a gumiipar és a romahos növekedés nem állt meg itt, hanem folytatódott a cellulóz átalakításával celluloiddá, nitrocelullózzá, ami számos további területet forradalmasított. Ezeket a természetes alapú „műanyagok”-at aztán a XX. század elejétől követték az újabbnál-újabb mesterségesen előállított anyagok. Ezzel egyidőben az anyagszerkezeti kutatások bebizonyították a makromolekulák létezését. Hermann Staudinger bizonyította először, hogy léteznek makromolekulák (más néven polimerek), amelyek kovalens kötéssel összekapcsolódó kis egységekből, ún. monomerekből állnak. [5]

A 30-as évektől kezdve megindul a műanyagok területén a kutatás-fejlesztés és a tömeges gyártás. Ezt követően az iparág fejlődése messzemenően meghaladta a többi iparág fejlődését és ma széleskörűen elterjedtek a műanyagok a gazdaság legkülönbözőbb területein. (3. ábra).



3. ábra Műanyagok felhasználása a gazdaság különböző területein [6]

A műanyagok sikerének titka egyrészt az előnyös ár/érték arányban, másrészt a széleskörű felhasználási lehetőségükben rejlik (4. ábra).



4. ábra Műanyagok felhasználása Magyarországon (2005) különböző iparágak szerint [5]

A műanyagok hasznossága mellett ma a környezetre gyakorolt terhelésük, ami leginkább jellemzi őket. Elsődleges felhasználásuk után gondot jelent a keletkező hulladékok elhelyezése, lebontása, vagy újrahasznosítása. Jelenleg a műanyagokkal kapcsolatos kutatások egy jelentős része ebben az irányban történik.

A hulladékok hatásának a csökkentése és kezelése többféle módon érhető el: a hulladék mennyiségének csökkentésével, újrafeldogozással, kémiai lebontással, égetéssel (a műanyag energiatartalmának visszanyerése hő vagy áramtermeléssel), szemétlerakókban való megfelelő elhelyezéssel. A kémiai lebontás mellett alternatívaként jelent meg a biológiai lebontás lehetősége, amelynek során különböző élőlények segítségével történik a műanyagok kezelése. [7] [8]

VIZSGÁLT MŰANYAGOK

Két különböző műanyag, a polisztirol (PS) és a poliuretán (PUR) biológiai lebontását vizsgáltuk lisztkecskák segítségével. [7] [8]

Polisztirol

A polisztirol széles körben elterjedt, amelynek habosított formája (5. ábra), a hungarocell, nikecell néven alkalmazott hőszigetelő anyag, amelyet az építőanyagiparban jelentős mennyiségben alkalmaznak. Habosítás nélkül számos használati tárgy, például tejföldsdoboz, tubuskupak készül belőle. A különböző vastagságú hőszigetelő lapokat építkezéshez vagy utólagos szigeteléshez üvegszál szövetttel és speciális bevonattal alkalmazzák.



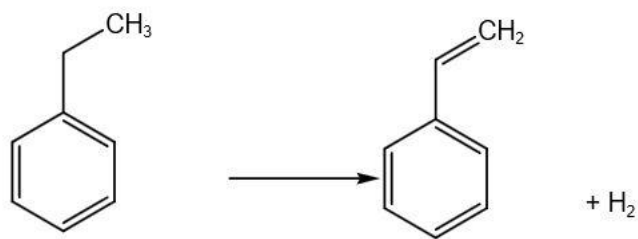
5. ábra Polisztirol csomagolóanyagként használva [9]

Tulajdonságai

A polisztirol tiszta állapotban rideg és átlátszó, de színezhető hőre lágyuló műanyag, amely nagyon jó elektromos szigetelő. Melegítve könnyen préselhető formába. Égésével irritáló és mérgező füst keletkezik. Vízben nem, de szerves oldószerekben jól oldódik.

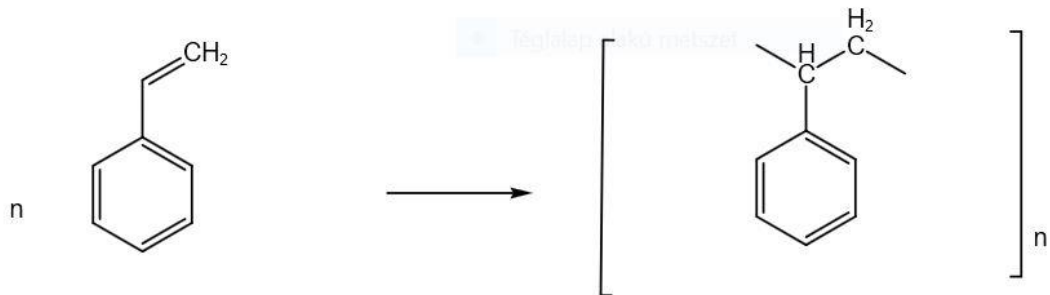
Előállítás

A sztírolt etil-benzol dehidrogénezésével állítják elő az iparban. Az etil-benzol gőze melegítve könnyen sztírollá dehidrogéneződik (6. ábra). Alacsonyabb hőmérsékleten katalitikus reakcióban állítják elő tömegméretekben. Katalizátorként alumínium-oxidot, bauxitot vagy króm-oxidokat alkalmaznak.



6. ábra Sztírol előállítása

A polisztirol, a sztírol (vinilbenzol) polimerizációjával keletkezik, ami már állás közben is végbemegy (7. ábra). A reakciót gyorsítja a melegítés, az erős megvilágítás és bizonyos katalizátorok (például szerves peroxidok) jelenléte is.



7. ábra Sztírol polimerizációja

Felhasználás

Megjelenése és a mechanikai tulajdonságai tág határok között változtathatóak. Készítenek belőle háztartási eszközöket, poharakat és tányérokat, élelmiszertároló dobozokat és joghurtos vagy egyéb tejtermékes poharakat, optikai lencsét is. Az ütészálló kivitelezésből burkolatokat és dobozokat, tartályokat, játékokat, evőeszközt, CD és DVD tartót.

Poliuretán

A másik műanyag, amire kiterjedtek a vizsgálataink az a poliuretán volt. A poliuretánnak számos különböző megjelenési formája ismert, ezek közül az ún. purhab (8. ábra) használata a

hőszigetelés egyik leghatékonyabb formája. Távol tartja a füstöt, bűzt, nedvességet és betömi a hiányosságokat.

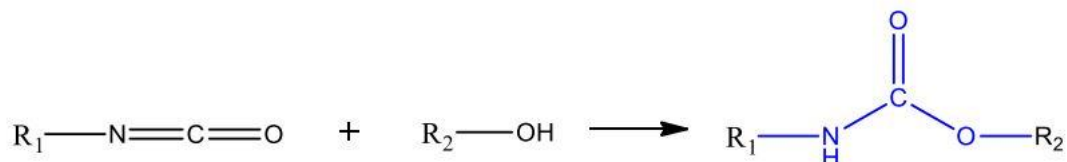


8. ábra Poliuretán hab [10]

Alapanyag és összetétel

A poliuretánt Otto Bayer (1902 - 1982) német kémikus fejlesztette ki 1937-ben. Jelenleg kiindulási anyagai között a diizocianátok és a többértékű alkoholok szerepelnek. Utóbbiak forrásául a természetben előforduló szénhidrogének átalakítása szolgál. Ugyanakkor nagyon érdekes kutatások folynak abban az irányban, hogy az eddig felhasznált poliolok helyett a habokat xilit és fruktóz alapú ionos folyadékkal helyettesítsék. [11]

Minden olyan makromolekula poliuretánnak tekinthető, amelyben számos uretán funkcióscsoport található (9. ábra).



9. ábra Az uretán csoport kialakulása

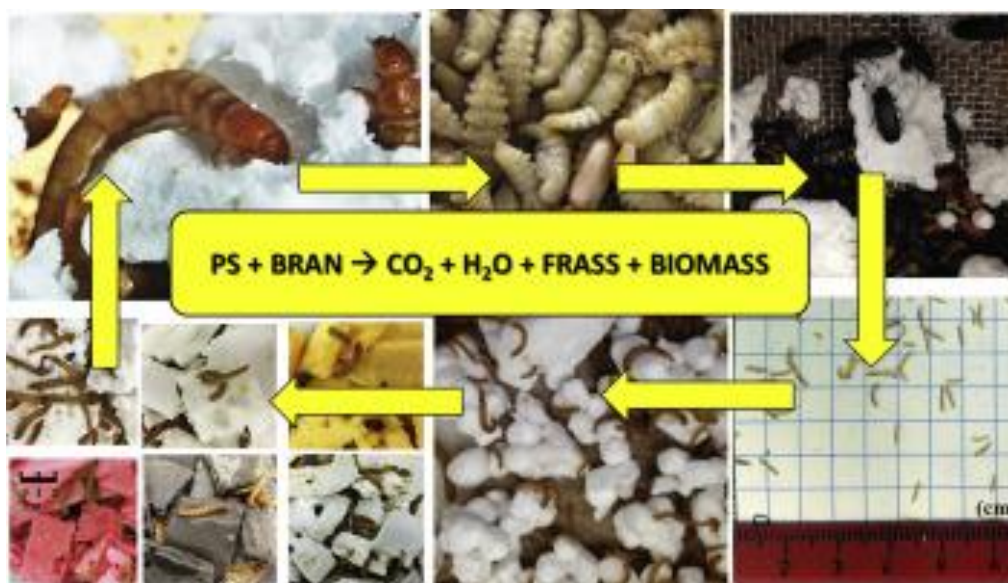
A poliuretán habok az alapanyagoktól és az előállítás körülményeitől függően lehetnek kemények, illetve lágyak, ami meghatározza felhasználási területüket is.

A poliuretán felhasználási területei

- Hézagok, rések, repedések tömítése pl.: az ablakok körüli hézag kitöltése
- Üregek kitöltése
- Hő- és hangszigetelés
- Kárpitozott bútorok és habszivacs-betétek készítése
- Ragasztó- és festékgyártás
- Matracok, autóülések

A POLISZTIROL ÉS A LISZTKUKAC KAPCSOLATA

A polisztirol egy olyan tartós műanyag, amely a legváltozatosabb környezeti tényezők mellett sem bomlik el jelentős mértékben. Nagy mennyiségben gyártják kereskedelmi céllal, így vált a talaj, a folyók, a tavak és az óceánok jelentős szennyezőanyagává. 2015-ben azonban felfedezték, hogy a *Tenebrio molitor* (közönséges lisztbogár) lárvája képes a PS biológiai lebontására (10. ábra). [7]



10. ábra PS biológiai lebontása [7]

A kizárólag polisztirollal táplált lárvák esetében a lisztbogarak bélrendszerének rövid (12-15 órás) tartózkodási ideje alatt eltávolított PS százalékos összetétele 2-3 héten keresztül fokozatosan nőtt, majd 65%-os értékeken stagnált. A polimermaradványok a bélsárban a részleges depolimerizáció és oxidáció jeleit mutatták. Minden vizsgált PS-hulladék lebomlott, a kevésbé sűrű habok bomlottak a leggyorsabban. A korpával és polisztirollal etetett lisztbogarak az életciklus minden szakaszát (lárva, báb, bogár, tojás) befejezték és a második generációban is kedvező volt a PS lebontása, ami megnyitotta az utat a szelektív tenyésztés előtt. [7] [8]

Hogyan képesek erre? Az emésztés során a kukacok a műanyagokat CO_2 -á és biomasszává alakítják, amit a bélbaktériumaik segítségével érnek el. A kutatók a kukacoknak a tápkeverékkel együtt antibiotikumot is adtak annak érdekében, hogy meg tudják határozni milyen bélbaktériumok játszanak szerepet a polimerek lebontásában. Az antibiotikumok közül a gentamicin volt a leghatékonyabb. Emiatt a bélbaktériumok aktivitását lényegében elnyomta a gentamicinnal dúsított táplálék (30 mg/g), amit 10 napon keresztül kaptak. Ennek

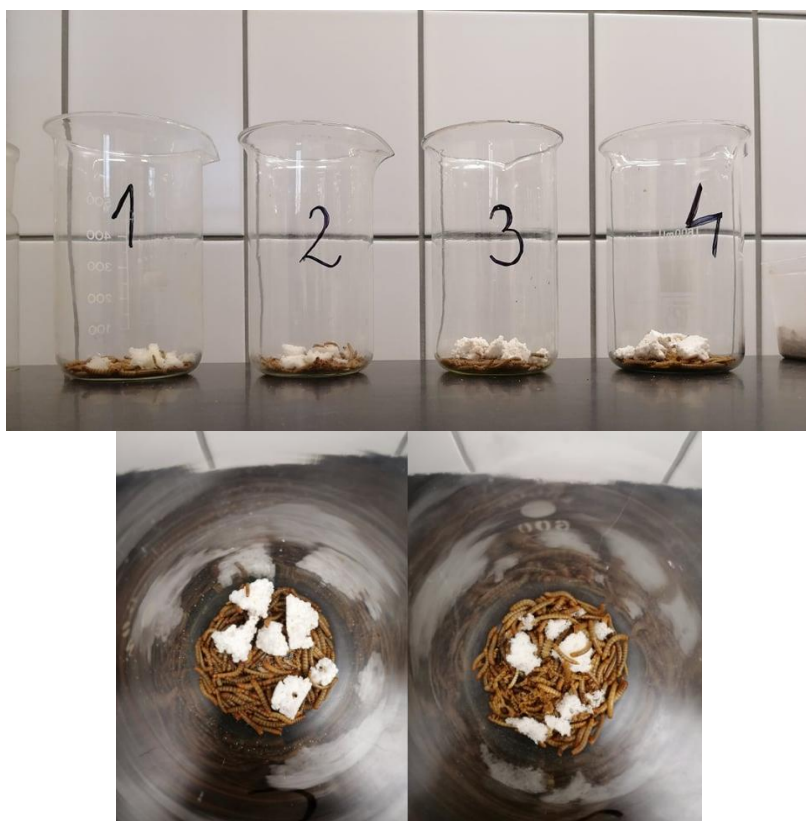
eredményeképpen a lisztukacok elvesztették a PS depolimerizációjának és mineralizációjának képességét. További vizsgálatokat követő izoláció során kiderült, hogy a PS lebontási folyamat az *Exiguobacterium sp.* jelenlétének köszönhető. Ezen PS-bontó bélbaktériumok jelenléte elengedhetetlen, hiszen miattuk megy végbe a biodegradáció. Ezek a baktériumok a lisztukacok középső bélszakaszában élnek. A tenyésztendő mikroorganizmusok száma az egyes lisztukacok bélrendszerében körülbelül $5-6 \times 10^5$ kolóniaképző egység. A bélben élő mikrobapopulációkat befolyásolja a táplálék. Az antibiotikumok, mint például a nisztatin és az ampicillin, képesek elnyomni a bélmikrobiótát. Az izolációs vizsgálatok során találtak két polietilén (PE) lebontó baktériumtörzset is, a *Bacillus sp.*-t és *Enterobacter asburiae*-t. [7] Ezekre a vizsgálatokra alapozva két polimer, a polisztirol és a poliuretán biodegradációjának a vizsgálatát tűztük ki célul lisztukacok segítségével.

EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELEÉSÜK

2021 szeptemberében a Lévay József Református Gimnázium és Diákotthonban működő Mentor program keretében kezdtünk el dolgozni egy rovarokkal kapcsolatos olvasmányélmény [12] kapcsán – amiben megemlítsre került az eredeti kísérlet [7] [8] – és a közönséges lisztbogár lárvájának műanyagbontási képességeit vizsgáltuk.

Kutatási célként azt tűztük ki, hogy egyrészt reprodukáljuk az eredeti kísérletet és megvizsgáljuk, hogy a polisztirol mellett más műanyagokat is képesek-e lebontani a lisztukacok, illetve milyen hatással van ez a folyamat a lisztbogár populációra.

A kutatási folyamat elején egymástól izolált egyedekkel és kis mennyiségű, 0,1-0,2 gramm műanyaggal (PS) kísérleteztünk. Ekkor, mivel mérhető fogyás nem volt és a lárvák többsége tartalékát felhasználva bebábozódott, segítséghez folyamodtunk és a kutatással megkerestük a Miskolci Egyetem Kémiai Intézetét. Itt segítséget kaptunk két konzulens - dr. Fiser Béla kutató és Hegyi Flóra vegyészmérnök hallgató - személyében. A személyi feltételek mellett a kutatás optimális környezeti feltételeinek betartása, reprodukálhatósága miatt az egyetem egyik laboratóriumába folytattuk a munkát. Itt pontosabb műszerekkel (pl. analitikai mérleg) tudtunk a továbbiakban dolgozni. Az itt végzett kísérletek (11. ábra), melyeket 50, illetve 100 egyeddel és 20-20 g műanyaggal végeztünk el, alátámasztották az eredeti kutatást [7] [8] és azt is megállapítottuk, hogy a lárvák napi 34-36 mg műanyagot képesek lebontani (1. táblázat).



11. ábra Főzőpohárban egy hónapon keresztül alatt folytatott kísérletek polisztirol (PS, 1-2), illetve poliuretán (PUR, 3-4), illetve a lisztkeverék populációk felülnézetből.

1. táblázat Lisztkeverék poliuretán (PUR) fogyasztása egy hét alatt

PUR			
	Lárva tömege	Polimer tömege	Polimerfogyás értéke
1. csoport	3,2383 g	0,2021 g	0,0024 g
2. csoport	3,6129 g	0,1964 g	0,0075 g

A műanyagok önmagukban nem elegendőek a lisztkeverék életműködésének fenntartásához, illetve nem képesek a műanyagok teljes mértékű lebontására, így van olyan mikroműanyag, ami kiürül a szervezetükből. A bomlástermékek vizsgálata további méréseket igényel abban a tekintetben, hogy marad-e és mennyi mikroszemcsés műanyag az ürülékben.

A továbbiakban szerettünk volna nagyobb mennyiségű műanyaggal is kísérletezni, ezért az iskolai laborban 4500 ml-es üvegedényekben (12. ábra) 1:3 arányban műanyagot etettünk a lárvákkal.



12. ábra Kísérleti elrendezés polisztirol és poliuretán lisztkecskékkel történő biodegradációjának vizsgálatához.

Ebben a kísérletben a műanyagok (PUR 80 g, PS 30 g) mennyiségének növelése eddig nem tapasztalt jelenségre világított rá: a lárvák etológiai változásokon is keresztülmennek. Az etológiai változás leginkább a túlélési ösztön ritkán látott viselkedési formákat váltott ki az egyedekből. A műanyag fogyasztása mellett megjelent a kannibalizmus is.

A műanyagfogyasztás és a természetes táplálék hiánya morfológiai elváltozásokat (13. ábra) is előidézett.



13. ábra Polisztirol (PS, bal) és poliuretán (PUR, jobb) fogyasztása után kifejlődött morfológiailag torz lisztbogár példányok.

Többek között a polisztirolt fogyasztó és később ennek fogyasztása után kifejlődő egyedek között több morfológiai elváltozás is szembetűnő: ilyen például a fedőszárny(ak), csáp(ok), lába(ak) és hártás szárny(ak) hiánya, de volt teljes mértékben, hiánytalanul kifejlődő egyed is. A poliuretánt fogyasztó egyedek közül viszont egyik sem tudott teljesen kifejlődni. Egy hónap vizsgálati idő után (2. táblázat) a lárvák táplálékát polimerekről természetes szerves táplálékra – búzakorpa és kovászos kenyér – változtattuk.

2. táblázat A polimerek és a lárvák tömege a mérések alkalmával. PUR – poliuretán, PS – polisztirol.

PUR				PS			
Mérés dátuma	Polimer tömege	Lárvák tömege	Megjegyzés	Mérés dátuma	Polimer tömege	Lárvák tömege	Megjegyzés
2022.04.29.	83,00 g	221,00 g	-	2022.04.29.	30,00 g	30,00 g	-
2022.05.09.	82,00 g	194,78 g	-	2022.05.09.	29,00 g	29,00 g	-
2022.05.16.	79,18 g	176,79 g	-	2022.05.16.	28,43 g	28,43 g	1 db bogár
2022.05.24.	78,20 g	155,93 g	Elpusztult 17 db	2022.05.24.	28,37 g	28,37 g	4 db bogár

A teljes táplálékváltás előtt egy átállási időszakot hagytunk, mely alatt szintén 1:3 arányban tartalmazott műanyagot és már a korábban említett természetes táplálékot a rendszer. Ebben az időszakban az átállított táplálékot nem voltak képesek megemészteni az egyedek, mivel bélrendszerük teljesen a műanyag fogyasztására állt át, így az új táplálék közül is a műanyagokat fogyasztották el először. A korábban polisztirolt fogyasztók többsége morfológiailag hiánytalan bogárrá fejlődött ki, míg a poliuretánt fogyasztók általánosságban elpusztultak (14. ábra).



14. ábra Poliuretánt (PUR-t) fogyasztó lisztkukacok (élő-elpusztult aránya) természetes táplálékon.

A lebontási folyamat végtermékeinek vizsgálata és az esetlegesen visszamaradó/keletkező mikroműanyagok mennyiségének meghatározása további méréseket igényel. Emellett pedig további élőlények (pl. *Zophobas morio* [13]) biodegradációs potenciálját is vizsgálni kívánjuk és összehasonlítjuk az eddigi eredményeinkkel.

KONKLÚZIÓ

A műanyagok gyártása terén kialakult új irányvonal, trend, vagyis a lebomló műanyagok előállítása mellett a már meglévő, sok problémát okozó műanyagok megsemmisítése, a hatékony hulladékkezelés még jó ideig központi témája lesz a kutatásoknak. Az élő organizmusok felhasználása a probléma megoldására néhány éve került előtérbe. Az elsődleges cél, vagyis a műanyagok lebontása mellett a lebontásért felelő élő szervezetek - mi esetünkben a lisztkecskék - fehérje forrásként, takarmánnyként történő felhasználása nagyon ígéretes iránya a fejlesztéseknek. Sikert az irodalomban leírt kísérletek reprodukálása és megmutattuk, hogy a lisztkecske (*Tenebrio molitor*) lárvája, a lisztkecske képes a polisztirol biodegradációjára. Vizsgáltuk továbbá a lisztkecskék poliuretán bontó képességét is. További vizsgálatok szükségesek, hogy a visszamaradó/keletkező mikroműanyagok mennyiségét meghatározzuk. Általánosságban azonban elmondható, hogy a műanyaggal táplálkozó példányok morfológiai változásokon mentek keresztül, de bizonyos mértékben sikeresen alkalmazkodtak a természetestől eltérő táplálékhoz. Mindamelllett a lisztkecskék a polisztirol lebontására alkalmasabbnak bizonyultak.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretnénk megköszönni a helyszínt, az eszközöket, a lehetőséget a Miskolci Egyetem Kémiai Intézetének és Prof. Dr. Viskolcz Béla intézetigazgató úrnak. A projekt koordinálását, a személyes segítséget, a felkészítést Dr. Fiser Bélának, a kutatásban nyújtott segítségét, szakmai tudását és tapasztalatát Hegyi Flóra másodéves vegyészmérnök hallgatónak, a projekt mentorálását és az ötleteket pedig Dóka Erzsébet tanárnőnek.

Hivatkozások

- [1] Nagy európai természetkalauz. Összeáll. és szerk. Roland Gerstmeier. 2. kiadás. Budapest: Officina Nova. 1993. ISBN 963 8185 40 6
- [2] De Loof Arnold, Schoofs Liliane, Intraluminal Farnesol and Farnesal in the Mealworm's Alimentary Canal: An Unusual Storage Site Uncovering Hidden Eukaryote Ca^{2+} -Homeostasis-Dependent “Golgicrine” Activities. *Frontiers in Endocrinology*, 10, **2019**, DOI: 10.3389/fendo.2019.00885
- [3] <https://hullomagazin.hu/hu/blog/gerinctelenek/elesegallatok-a-lisztukac-tartasa-es-tenyesztese.271.ahtml>
- [4] <https://www.bugburger.se/wp-content/uploads/2018/11/mealwormguide.pdf>
- [5] Pukánszky Béla, Móczó János (2011): Műanyagok, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vegyészmérnöki és Biomérnöki Kar Fizikai Kémia és Anyagtudományi Tanszék,
https://oszkdk.oszk.hu/storage/00/00/59/38/dd/1/Muanyagok_animaciok_nelkul.pdf
- [6] <https://sites.google.com/site/adhjfhaio/home/muanyagtermeles-es-felhasznalas-napjainkban>
- [7] Y. Yang, J. Yang, W.Mi. Wu, J. Zhao, Y. Song; L. Gao, R. Yang, L. Jiang, Biodegradation and Mineralization of Polystyrene by Plastic-Eating Mealworms: Part 1. Chemical and Physical Characterization and Isotopic Tests. *Environmental Science & Technology*, **2015**, 12080–12086. DOI: 10.1021/acs.est.5b02661
- [8] Y. Yang, J. Yang, W.Mi. Wu, J. Zhao, Y. Song; L. Gao, R. Yang, L. Jiang (2015): Biodegradation and Mineralization of Polystyrene by Plastic-Eating Mealworms: Part 2. Role of Gut Microorganisms. *Environmental Science & Technology*, **2015**, 2087–12093. DOI: 10.1021/acs.est.5b02663
- [9] <https://hirmagazin.sulinet.hu/hu/tudomany/polisztitol>
- [10] <https://hirmagazin.sulinet.hu/hu/tudomany/a-poliuretan>

[11] Pecsmány Dániel, Emma Zhang, Mester Enikő, Jánosi Benjámín, Juhász Koppány, Viskolcz Béla, Fiser Béla, Poliuretán habok szintézise cukor alapú ionos folyadékokkal, *Scientia Denique*, IX. évf., 1. kiadás, 167-18. old.

https://www.scientiadenique.net/files/books/Scientia_Denique11_IX_1_2019.pdf

[12] Anne Sverdrup-Thygeson: Terra Insecta ford. Merkl Ottó HVG Könyvek 2020 ISBN 9789633049617

[13] Jiarui Sun, Apoorva Prabhu, Samuel T. N. Aroney, Christian Rinke, Insights into plastic biodegradation: community composition and functional capabilities of the superworm (*Zophobas morio*) microbiome in styrofoam feeding trials, *Microbial Genomics*, **2022**, 8 (6), DOI: 10.1099/mgen.0.000842

<https://microbiologysociety.org/news/press-releases/university-of-queensland-discovers-superworms-capable-of-munching-through-plastic-waste.html>