

Válaszok
Dr. Zsuga Miklós egyetemi tanár, az MTA doktora bírálatára

Nagyon köszönöm Zsuga Miklós professzor úrnak a doktori értekezésem bírálatát. Köszönöm az észrevételeit, hasznos tanácsait és kritikai megjegyzéseit.

Bírálonak a bevezetőben tett néhány megjegyzéséhez a következőket szeretném hozzáfűzni:

- Bíráló nem helyesli a lábjegyzetben tett megjegyzéseimet, melyek szerint a „textilkémia területén viszonylag kevés nemzetközileg elismert folyóirat van, és ezek közül csak néhánynak van impakt faktora”; ezek az impakt faktorok alacsonyok és a disszertációhoz kapcsolódó publikációk megjelenési időszakában (2004-2017) csupán kismértékben változtak. Bíráló szubjektívnek és a publikációs tevékenység színvonala értékelésének tartja ezeket a megjegyzéseket.

Nekem a céloom ezekkel a megjegyzésekkel csupán az volt, hogy információt adjak a tudományometriában jártas, de a textilkémiai kutatások speciális publikálási jellemzőit nem ismerő Bírálonak/olvasónak a tudományterület eme sajátosságairól. Szándékom szerint a megjegyzéseim azt jelzik, hogy a klasszikus értelemben vett textilkémiára és -technológiára koncentráló kutatásokkal nehéz teljesíteni a Bíráló által is említett, és az MTA Kémiai Tudományok Osztálya Doktori Bizottsága által elvárt szakterületi minimum követelményt, elsősorban az impakt faktorra vonatkozóan. Talán ez is magyarázhatja azt, hogy ezen a területen az elmúlt 45 évben nem nyújtottak be doktori disszertációt.

Formai megjegyzések:

1. A disszertáció és a téziszfüzet szerkezetileg nem homogén, több felesleges szubjektív megjegyzést tartalmaz. Az irodalmi összefoglaló és a célkitűzések túl részletezettek, ugyanakkor nem különülnek el egymástól kellő mértékben az összetartozó részek. Célszerű lett volna különválasztani a gyapot szála és a len szála vonatkozó technológiai megoldásokat, miután ezen szálak biológiai funkciója alapvetően különböző. A gyapotszál, a pamutszál és a szövet feldolgozására vonatkozó ismereteket is el kellett volna különíteni: külön alfejezetben.

Válasz:

A disszertáció szerkesztésére vonatkozó megjegyzéseit elfogadom.

Bírálóval egyetértek abban, hogy a kísérleti munka során vizsgált pamut és len biológiai funkciója különbözik, hiszen a pamut magszál, a len pedig háncsrost. A kikészítési technológiát azonban nem ez határozza meg, hanem az a közös jellemző, hogy mindkettő a cellulóz alapú szálanyagok közé tartozik. Ennek következtében a pamut és a len kikészítési technológiája hasonló részfolyamatokból áll és alapvetően ezt nem befolyásolja a megjelenési forma – laza szál, fonal, szövet – sem. (A megjelenési formától függően természetesen változik az alkalmazott gépi berendezés típusa). Az értekezésben én a kikészítés egyes részfolyamatait tárgyaltam és kitértem arra, hogy a kémiai kezelések (pl. lúgos főzés) paramétereiben a két szálanyag esetén milyen eltérések lehetnek.

2. A gyapotszál minőségét és szerkezetét alapvetően meghatározza a gyapot termesztés földrajzi helye (éghajlati viszonyok, mezőgazdasági és növényvédelmi kultúra, génmódosítás), ezért a kísérleti részben ki kellett volna térni a szálak származási helyének pontosabb bemutatására. Ez annál is inkább fontos, mert a gyapot termesztésénél és a primer

feldolgozásánál többféle kémiai szer is felhasználásra kerülhet, amelyek a szálak felületén adszorbeálódva, jelentős mértékben befolyásolhatja a későbbi biotechnológiai megoldásokat.

Válasz:

Egyetértek Bírálóval abban, hogy a pamut minőségét befolyásolják a fajta és a termesztés körülményei. A fajta elsősorban a szálhosszt, a finomságot és a szakítóerőt határozza meg, a termesztés körülményei pedig az érettséget (illetve az éretlen szálak mennyiségét) és kismértékben a pamut nem-cellulóz komponenseinek – elsősorban az ásványianyag tartalmának (hamutartalom) – a mennyiségét határozza meg. Bíráló említi még a génmódosítást is, amellyel szintén befolyásolhatók a száltulajdonságok, és a hozam.

A gyapot génmódosításának elsődleges célja azonban a növény kártevőkkel, valamint növényvédőszerrel szembeni ellenállásának a javítása. Bár a génmódosított gyapot termesztése során a növényvédőszer mennyisége jelentősen csökkenthető, a világ éves peszticid felhasználásának kb. 6-7 %-a (2010-es adat) még így is a gyapottermesztésre fordítódik. Az intenzív vegyszeres növényvédelmet a növény életciklusának abban a szakaszában alkalmazzák, amikor még a gyapotszálak a zárt tok belsejében helyezkednek el. Így a gyapotszál nem érintkezik közvetlenül vegyszerekkel, és nem tartalmaz detektálható mennyiségben peszticid nyomokat a feldolgozásra kerülő nyers pamut sem. (https://cottontoday.cottoninc.com/wp-content/uploads/2014/07/Pesticide-Fact-Sheet_HR.pdf).

A kutatómunka során felhasznált nyers pamut alapanyagok származási helyének a pontos kiderítésére nem törekedtünk, de valószínűleg ez nem is lett volna lehetséges. Az egyes kísérletsorozatokat azonos alapanyaggal végeztük. A nyers pamutszövetet vásároltuk (Testfabrics, USA), vagy hazai vállalatoktól kaptuk (pl. Pannon-Flax Rt. Győr). A magyar cégek általában közép-ázsiai pamutot dolgoznak fel.

3. A disszertáció kísérleti része hiányos. Véleményem szerint a kísérleti részbe szervesen illeszkedő Függelék be kellett volna integrálni. Így az adatok értékeléséhez szükséges kísérleti háttér könnyebben áttekinthető lett volna.

Válasz:

Egyetértek Bírálóval abban, hogy a kísérleti rész hiányos és a kísérleti munka részletesebb bemutatása segítette volna az értekezés áttekinthetőségét. Az értekezésben valóban szükséztlenül mutatom be a kísérleti munkában alkalmazott szálanyagokat és az alkalmazott kutatómunka részleteit. Ennek több oka van: (1) a kutatómunka során elvégzett nagyszámú vizsgálathoz felhasznált eltérő összetételű, kikészítettségi fokú, kötésmintájú, területi sűrűségű, stb. kelmék és egyéb szálanyagok ismertetése, valamint a változatos kémiai és enzimes kezelések bemutatása jelentősen megnövelte volna az értekezés terjedelmét; (2) az egyes kísérletekhez kapcsolódó publikációk tartalmazzák a felhasznált szálanyagok részletes bemutatását és az elvégzett kutatómunka jellemző paramétereit; (3) a munkahelyi vitára elkészített dolgozatban az „Anyagok és módszerek” fejezet lényegesen hosszabb volt. Az egyik (elő)bíráló javaslatára azonban jelentősen lerövidítettem ezt a fejezetet, és egy-egy részterület alaposabb bemutatására létrehoztam a Függelék.

4. Az ábrák és táblázatok aláírásai nem elég informatívak. Az ábráknak és táblázatoknak a hozzájuk tartozó aláírásokkal együtt önmagukban is érthetőeknek kell lenniük.

Válasz:

Mindig arra törekszem és azt tanítom a hallgatóimnak is, hogy az „ábráknak és táblázatoknak a hozzájuk tartozó aláírásokkal együtt önmagukban is érthetőeknek kell lenniük”. Sajnálom, ha ezt nem sikerült a disszertációban megvalósítani.

5. A tézisfüzet szerkesztése vonatkozásában a Jelölt nem követi a Kémiai Tudományok Osztálya Doktori Bizottságának ajánlásait, így pl. a tézisfüzetbe feleslegesen bekerült a disszertáció összefoglalása, amely gyakorlatilag azonos tartalmú állításokból áll, mint a tézisek.

Válasz:

Bíráló kritikai megjegyzését elfogadom.

Kérdések:

1. Végeztek-e előzetes vizsgálatokat a nyersanyagok felületén található, a mezőgazdasági tevékenységből származó adszorbeált szennyezőkkel kapcsolatban?

Válasz:

Nem végeztünk ilyen vizsgálatokat, és nem találtam olyan publikációt sem, amelyben a nyers pamut „mezőgazdasági tevékenységből származó adszorbeált” szennyezőit (pl. peszticid nyomokat) a bioelőkészítést megelőzően meghatározták volna. Ez – mint ahogy azt a 2. megjegyzésre adott válaszomban már leírtam – valószínűleg azzal magyarázható, hogy a gyapotszálak a környezettől elzártan, a tok belsejében helyezkednek el és nem érintkeznek közvetlenül a növénytermesztés során alkalmazott vegyszerekkel, pl. növényvédőszerrel. A zárt tok felnyílása után pedig – a kb. 2 napos száradást követően – a gyapotot leszedik.

Megjegyezném még, hogy egyiptomi nyers pamutokban a kromatográfiai eljárásokkal kimutatott különböző peszticidek koncentrációja a 0,01-0,4 mg/kg tartományba esett. A peszticidek összkoncentrációja a vizsgált 6 minta közül csak egy esetben haladta meg az 1 ppm értéket (Attallah, E.R., Abdelwahed, M.H. Middle East J. Appl. Sci., 7(1): 102-109, 2017). Véleményem szerint a peszticidek, mint lehetséges mesterséges kísérőanyagok, ilyen kis koncentrációban nem befolyásolják a nyers pamut bioelőkészítése során az enzimek működését.

2. A dolgozatban viszonylag kevés utalás található az újonnan bevezetett eljárások (ultrahang, hidegplazma) hatásosságának leírására. Az ultrahang alkalmazásánál ismeretes a kavitáció erős mechanokémiai hatása, amely még a flexibilis polimerek esetén is jelentős mértékű depolimerizációhoz vezet. Észleltek-e ilyen hatásokat az ultrahangos kezelésnél, beleértve az alkalmazott enzimek degradációját is? Megváltozott-e a szálakat alkotó cellulóz kristályszerkezete, különös tekintettel az amorf fázis arányának növekedésére?

Válasz:

A kisméretű ultrahang – a besugárzás paramétereitől függően – előidézhetheti egyes polimerek degradációját. A folyamat során depolimerizáció azonban általában nem következik be.

A kutatómunkánkban – a 43.b ábrán bemutatott rögzítési módot alkalmazva – vizsgáltuk a hangforrástól különböző távolságra acélkeretre rögzített és pufferoldatba merített fehérített pamutszövet szakítószilárdságának változását az ultrahangos kezelés paramétereinek (amplitúdó, időtartam) függvényében. A mérési eredmények (nem közölt adatok) azt bizonyították, hogy még a legintenzívebb ultrahangos kezelés esetén (80 % amplitúdó, 1 cm távolság, 60 min) sem volt mérhető szakítószilárdság csökkenés. Ezt követően nem vizsgáltuk a kísérletben a cellulóz kristályosságának a változását.

Az alacsonyfrekvenciás ultrahang „hatásosságának” a bemutatása látványosabb, ha az őrlött szilárd szubsztrátumok (fehérített pamut- és lenpor) részecskeméretét követjük a besugárzás paramétereinek függvényében. Az értekezés 19. táblázatában és a 42. ábrán bemutatott eredmények jelentős részecskeméret csökkenést jeleznek, ami a kavitációs buborékok szilárd felszín közelében végbemenő szétrobbanása során kialakuló nagy sebességű mikroáramlásoknak a következménye. Hatásosabb a bemelegítő ultrahang generátor a részecskék dezintegrálásában, mint az ultrahangos kád. A rostkötegekből álló len(por) érzékenyebb a kavitáció által előidézett dezintegrációra, mint az egyetlen elemi sejtből felépülő pamut(por).

Az alacsonyfrekvenciás ultrahangos térben a kavitáció következtében kialakuló extrém viszonyok módosíthatják az enzim fehérje szerkezetét és előidézhetik denaturációját. A folyamat következménye pedig az enzim aktivitásának megváltozása lehet. A kutatómunka során ipari és szilárd fázisú fermentációval előállított enzimek pufferes híg oldatát sugárztuk be bemelegítő ultrahangos reaktorral, és a besugárzás paramétereinek függvényében követtük az enzimek aktivitásának változását. Az eredmények azt bizonyították, hogy az ipari celluláz enzim szűrőpapír lebontó aktivitása akár 25 %-kal is csökkenhet az ultrahangos besugárzás intenzitásától függően (40. ábra). Sokkal ellenállóbbnak bizonyultak az ultrahangos besugárzással szemben azSSF-fel előállított enzimek (41. ábra). Az eredmények összegzését a 8. tézispontban adtam meg.

3. Az enzimek alkalmazhatóságának bizonyításra készültek-e enzim-kinetikai mérések, amelyek adott esetben alátámaszthatják és megerősíthetik a bemutatott kísérlet eredményeket?

Válasz:

Nem végeztünk enzim-kinetikai méréseket.

4. Az alkalmazott új technológiai megoldások, a disszertáció szerint nem oldották meg teljesen a vegyszeres (lúgos) eljárásokkal kezelhető technológiai problémákat. Így pl. a szálfelületen található teljes viaszréteg eltávolítását, illetve a szálak fehérítését (H_2O_2 utószíntelenítés szükséges) ezért úgy tűnik, hogy a bonyolultabb technológiai megoldások nem helyettesítik teljes egészében a vegyszeres eljárásokat. Mi erről a Jelölt véleménye?

Válasz:

Bíráló megállapításaival csak részben értek egyet. A pektináz enzimmel végzett bioelőkészítés ugyanis hatékony és környezetbarát alternatívája a lúgos főzésnek. Igaz ugyan, hogy az enzimes kezeléssel a szálfelületet borító viaszrétegnek csak egy része távolítható el, de a viasz eltávolítás mértéke elegendő ahhoz, hogy a szálfelület jól nedvesedő legyen. A bioelőkészítés tehát jó nedvszívóképességű szövetet eredményez, laboratóriumi és üzemi körülmények között is. Ezt a kutatási eredményeink, az általunk sikeresen bevezetett üzemi technológia, valamint más kutatócsoportok és vállalatok bioelőkészítésről szóló közleményei is bizonyítják. A Novozymes cég – a világ legnagyobb enzimgyártó cége – például a közelmúltban számolt be a bioelőkészítés üzemi megvalósításáról egy kínai pamut kötött kelme feldolgozó üzemben (<http://www.sipzhengda.com.cn/en/xwzx.asp?id=410>). Hangsúlyozták, hogy az enzimes technológia egyszerűbb a lúgos főzésnél, mivel a semlegeshez közeli pH-n végrehajtott enzimes kezelést követően nincs szükség intenzív öblítő lépések sorozatára. Összehasonlítva a hagyományos lúgos főzéssel, a bioelőkészítés idő, energia és jelentős öblítővíz megtakarítással jár.

Egyetértek Bírálóval abban, hogy kizárólag enzimekatalizált reakciókkal a cellulóz alapú szálanyagok színes komponenseinek elszíntelenítése ma még nem valósítható meg. Ugyanakkor az enzimes és vegyszeres kezelések kombinálásával (pl. xilanáz enzimes előfehérítés és hidrogén-peroxiddal végzett enyhe oxidációs fehérítés) az elvárt fehérség elérhető. A biofehérítésre évek óta jelentős kutatási potenciál összpontosul a világon. A kutatók elsősorban a lignin degradációjában eredményes oxidatív enzimek, továbbá a glükóz-oxidáz hatását vizsgálják. Fontos azt is megjegyezni, hogy a biofehérítéshez eredményesen használható enzimek előállítására nagy mennyiségben és gazdaságosan ma még nem megoldott. Mindezek hozzájárulhatnak ahhoz, hogy a biofehérítés ipari megvalósítása még várat magára.

5. A szálak primer kikészítésénél alkalmazott eljárások a kelmék illetve szálak felhasználhatóságának első lépései. A hétköznapi gyakorlatban legalább ennyire fontos a mosási technológiák fejlesztése is. (A kereskedelmi forgalmakban található mosószerek tartalmaznak enzimeket.) Mi a véleménye a Jelöltnek, hogy a kikészítésnél használt eljárások hozzájárulhatnak-e a mosási technológia (mosószerek, illetve az ezzel kapcsolatos mosógép) fejlesztési lehetőségeihez? Lehet-e pl. beépíteni ultrahang generátort a háztartási mosógépbe?

Válasz:

Mosás során, legyen az ipari vagy háztartási mosás, fontos szerepe van az anyagszállításnak és az anyagátadásnak, hasonlóan az enzimes textilkikészítési folyamatokhoz. Kisfrekvenciás ultrahanggal besugárzott rendszerben, a kavitáció által gerjesztett mikroáramlások jelentősen növelik az anyagszállítás sebességét, még a fonalak között és a fonalon belül lévő pórusokban is. Így tehát az ultrahangos besugárzás jelentősen javíthatja a mosási folyamat hatékonyságát. A német Sonotronic cég ultrahangos ipari mosógépe például textíliák széles állapotban végzett szakaszos mosására alkalmas, ahol a feszített szövetréteget az ultrahangforráshoz közel vezetik el. Míg a hagyományos mosási technológiában 4-8 mosási ciklusra volt szükség adott mosási hatékonyság eléréséhez, addig az ultrahangos mosógéppel ez 1-3-ra csökkenthető. Az ultrahangos mosógéppel jelentős víz-, idő- és energia megtakarítás érhető el

(<https://sonotronic.de/technologies/ultrasonic/ultrasonic-washing>).

Régóta vizsgálják az ultrahang alkalmazását a háztartási mosásban is. Mivel a háztartási mosás során nem biztosíthatók azok a körülmények, amelyek az ultrahangos ipari mosás esetén a hatékony mosás feltételei (egyetlen szövetréteg feszített állapotban, a hangforrás közelében), ezért beépített ultrahang generátorral ellátott háztartási mosógép jelenleg nincs forgalomban. A háztartási mosásnál ugyanis a mosógépbe helyezett 1-4 kg tömegű textília rétegei jól abszorbeálják a hangot, és ennek következtében a mosási hatékonyság a hangforrástól távolodva jelentősen csökken és az egyes szövetrétegekben eltérő. Ennek ellenére forgalmaznak hordozható ultrahang generátort, amelyet a kézi mosás hatékonyságának javítására ajánlanak. Az eszköz eredményessége erősen megkérdőjelezhető.

Az enzimek közel ötven éve fontos alkotóelemei a mosószereknek, tehát már a textil biotechnológia diszciplína megjelenése előtt is alkalmazták enzimeket a háztartási és ipari mosásban. Főként a proteázok, lipázok, amilázok és cellulázok csoportjába tartozó enzimeknek köszönhetően nő a mosási hatékonyság, csökken az energiafogyasztás, a mosási idő és hőmérséklet, továbbá jelentős vízmegtakarítás érhető el. Az ipari enzimek kb. 30 %-át a mosószerepar használja fel (DOI: 10.1016/B978-044451664-0/50003-6). A legnagyobb enzimgyártó cégek mindkét területre ajánlanak enzimeket.

Egyes enzimek alkalmazása esetén a cél nagyon hasonló mindkét folyamatban. Például a cellulázok feladata a cellulóz alapú szálanyagok mosása és biokikészítése során azonos, vagyis a felületből kiálló elemi szálak eltávolítása. Az elért hatás mosás során a ruházat megújítását, a biokikészítés során pedig a pillingesedési hajlam csökkentését szolgálja. A mosószer-fejlesztés és a textil biotechnológia területén végzett kutatások a kilencvenes évektől kezdődően párhuzamosan folynak és kölcsönösen hatnak egymásra.

Végezetül szeretném még egyszer megköszönni az alapos és minden részletre kiterjedő bírálatot, és külön köszönöm, hogy kutatómunkámat és az elért eredményeket értékeli és támogatja az MTA doktori cím odaítélését.

Budapest, 2020. augusztus 20.


Koczáné Csiszár Emília