

MŰHELY



Kérjük, hogy a MŰHELY című módszertani rovatba szánt írásait közvetlenül a szerkesztőhöz küldjék lehetőleg e-mail mellékleteként vagy postán a következő címre: Dr. Tóth Zoltán, Debreceni Egyetem Kémia Szakmódszertan, 4002 Debrecen, Pf. 400.

E-mail: tothzoltandr@gmail.com.

Dobóné Tarai Éva

Természettudomány – Képzőművészet – Oktatás A gubacsdarázstól David Hockney-ig

A XX. század utolsó évtizedeiben új oktatásfilozófiák jelentek meg és terjedtek el, amelyek a különböző tudományterületekhez kötődő tantárgyak integrált oktatását szorgalmazták. Az ismert betűszó, a STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) azt a törekvést testesíti meg, hogy a közoktatásból kikerülő diákok olyanfajta tudással rendelkezzenek, amely képessé teszi őket a munka világában felmerülő összetett problémák megoldására (Dacumos 2003). A legutóbbi időkben a természettudományok, a technológia, a mérnöki tudományok és a matematika mellett helyet követeltek maguknak a művészetek (Arts) is. Megjelent a STEAM, egy olyan oktatási modell, ami a hagyományos tantárgyakat és a művészeti oktatást ötvözi egy olyan keretbe, amelyre integrált tanterv tervezhető (Prasad és Prasad 2024; Yakman 2008) A Nemzeti Alaptanterv a diszciplináris oktatás elvére épül, azonban a mai közoktatási gyakorlatban is lehetőség nyílik egyfajta tantárgyi integrációra például szakkörök, önképzőkörök keretein belül.

Egyedi – általános

Iskolánkban évek óta működik egy, a hagyományos szakköri kereteken túlmutató kémiai önképzőkör. Jellemzője a diákok önszerveződése, nagyfokú aktivitása, kezdeményezőkézsége, önálló kutatás és kooperáció. Általában több héten, esetleg hónapokon átfutó projekteken dolgozunk, miközben folyamatosan újabb és újabb ajtók nyílnak nem várt kutatási irányokba, bár előfordul, hogy ezek az irányok zsákutcákba vezetnek. Többször foglalkoztunk már festékekkel, pigmenteket állítottunk elő növényi és ásványi eredetű anyagokból, és különböző kötőanyagokkal festékeket készítettünk belőlük. Minden ilyen kísérletsorozat csúcspontját jelentette a kész anyagok kipróbálása és az önálló alkotások létrehozása. A projekt betetőzését a rajzszakkörrel történő együttműködés után létrehozott kiállítás jelenti.

Az önképzőköri munkát minden tanév legelején egy ötletbörze indítja. Megbeszéljük a diákok nyáron gyűjtött természettudományokhoz, elsősorban kémiához kötődő tapasztalatait, olvasmány-, film- vagy kiállítás alapján felmerült ötleteit, kérdéseit, saját megfigyeléseikről szóló beszámolóit és ebből a nagyon színes csokorból választjuk ki, hogy mivel kezdjük, és mivel folytatjuk a közös munkát. Egyikük néhány suskagubacsal érkezett az első alkalomra és természetesen mindenkit érdekelt, hogy mi is ez a képződmény valójában és hogyan keletkezik. Már a gyors tájékozódás után is kiderült, hogy több tudományterületet érintő témáról van szó, és amikor a gubacstinta készítés révén még a képzőművészetekkel való kapcsolódással is kecsegtetett, egyhangú volt a döntés: ez lesz a tanév kezdő projektje.

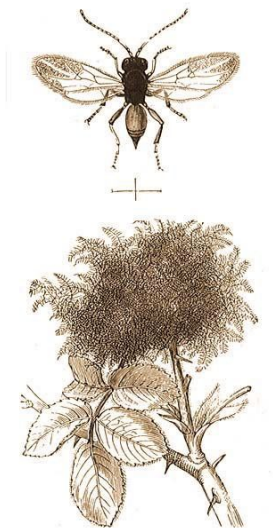
Jelen írásban a tölgyfagubacs tematika köré szervezett kutatásainkat és kísérleteinket mutatom be.

A gondos szülő neve: gubacsdarázs

A tölgyfagubacsdarázs egy népes nemzetség (*Cynipidae*) tagja, csak tölgyfán élő rokonsága több mint 200 fajt számlál, de előfordulnak vadrózsán, gesztenyén vagy bükkfán is. A stratégia mindig ugyanaz: a darázs megszúrja a friss, fejlődő rügyet és elhelyezi benne a petéjét. A kikelő lárva hormonális úton, kémiai jeleket kibocsátva elindítja a rendellenes szövetburjánzást. A kialakuló gubacs belsejében egy kamrában fejlődik a lárva, míg a külső, kemény burok védelmet biztosít számára, a belső lágy szövet pedig táplálékul szolgál. Egyes fajok esetében csak egy

lárva fejlődik egy gubacsban, de ismertek többkamrás gubacsok is, amelyek lakóinak száma akár több száz is lehet.

A gubacs külső felszíne sem véletlenszerűen alakul. Lehet ritkán tüskés, mint a magyar tölgyfagubacs vagy sűrűn szúrós, például a rózsagubacs esetében (1. ábra). A gubacsdarazsak a ragadozó fémfürkész darazsak ellen védik így az utódjaikat.



1. ábra. Rózsagubacsdarázs és gubacs (Brehm: Állatok világa, Ízeltlábúak)

A gubacs mint 17. századi exportcikk

Bár nem tudható biztosan ki állította elő az első tintát, leletek bizonyítják, hogy kb. 4000 évvel ezelőtt már az ókori egyiptomiak és a kínaiak is használtak valamilyen anyagot, ami az írás rögzítésére szolgált. Az ókori egyiptomiak koromból és szurokból álló írófolyadékot használtak, a rómaiak pedig a Földközi-tengerben élő tintahalak mirigyváladékából készítették barnásfekete színű, írásra alkalmas szépiafolyadékot (Finály, 1948).

A mai tinta őséneke a kínaiak által használt keveréket tekinthetjük. A legjobb minőségű tintákat 1500 évvel ezelőtt kezdték el készíteni. A jól bevált recept szerint olajmécsest égettek egy bambuszból készült ernyő előtt és minden félóránban, egy madártoll segítségével lekapargatták a

keletkező kormot, majd a megfelelő tapadás biztosítása érdekében marhabőrből kivont enyvvvel és szezámmagolajjal keverték össze. Kisebb lepényeket, korongokat formáztak a képlékeny anyagból, majd megszáritották. Felhasználáskor kisebb darabokat törtek le belőle, porították és vízzel elkeverve alkalmazták tustintaként. A Tang-dinasztia (618-907) idején élő Wu Daozi hozta divatba és vitte sikerre a monokróm (fekete-fehér) tusábrázolást (Finlay, 2014).

A Kilenc sárkány című, 1244-ben készült, közel 2,5 m hosszúságú fekete tustintával festett kép alkotója, Chen Rong az elkészült művet szemlélve a következő, nem túl szerény kijelentést tette: „Távolról nézve úgy érzik az ember, mintha a sárkányok és a felhők repkednének és mozognának. Közeli szemlélve pedig azt gondoljuk, hogy ezeket a sárkányokat csak egy isten tudja megfesteni.”



2. ábra. Chen Rong: Kilenc sárkány, 1244. (J. Paul Getty Museum, Los Angeles, Getty Publications)

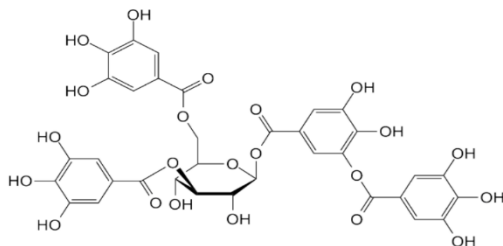
A korai európai kódexek növényi festékekkel és tussal készültek. A 11. században azonban az európai-ázsiai kereskedelmi útvonalakon csak bizonytalanul és nagyon drágán lehetett hozzájutni a kínai árukhoz, így a tustintához is. Valamilyen egyszerűbb és olcsóbb forrás felkutatása vált szükségessé. A hagyomány szerint egy, a 11. században élt bencés szerzetes, Theophilus presbiter találta meg a megoldást (Theophilus, 1986). Csak valószínűsíthető, de nem bizonyított, hogy ő írta le először a tölgyfagubacsból készíthető tinta előállítását. Egyetlen másolatban fennmaradt műve a *De diversis artibus* a középkori mesterségeket mutatja be. Első kötetében a festésről (fal- és kódexdíszítés) ír és bemutatja

a felhasznált anyagokat és eszközöket és ezek, pl. a tinta és a festékek előállításí módját is.

A középkorban a legkeresettebbek a közel-keleti Aleppóból (ma: Szíria) származó gubacsok voltak. A 19. században Magyarország jelentős bevételre tett szert a tölgyfagubacs-kereskedelemből. Évente több ezer tonnát szállítottak Nyugat-Európába a szlavóniai kocsányos tölgyesekből. Legjobb minőségű tintát a suskagubacsból lehetett előállítani, ezért ez volt a legkeresettebb.

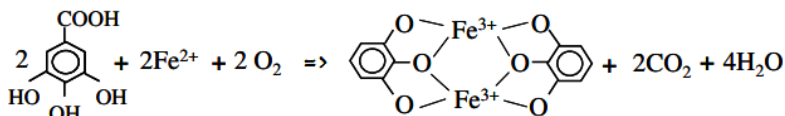
A recept

Robert Boyle szerteágazó munkássága során *A színek történetének kezdetei* című munkájában a gubacstinta készítéséhez is kísérleti leírást ad. A csersav egy polifenolokat tartalmazó bonyolult poliészter (3. ábra).



3. ábra: A csersav szerkezete

Boyle kísérleteinek tanúsága szerint a gubacsból kivont csersavas elegy vas(II)-szulfát hatására sötétebbé válik (Boyle, 1664), száradás után pedig megfeketedik, a csersavas vasvegyületben lévő vas(II)-ionok vas(III)-ionokká való oxidációjának köszönhetően (4. ábra).



4. ábra. A galluszsav és a vas(II)-ionok egy lehetséges reakciója a gubacstinta száradása során

Papírra írva halvány, majdnem színtelen az oldat, ami száradás után a levegő oxidáló hatására kezd sötétedni. (A korabeli kódexmásolók

munkájuk megkönnyítésére bodzaport kevertek a tintához, így a szöveg piros színnel láthatóvá vált.)

A polifenolokból álló különféle csersavak és a savasan hidrolizáló vasgálic olyan savas közeget teremtett, ami évszázadok alatt a gubacstintákkal írt dokumentumok roncsolódásához vezetett. Boyle javaslatára a tintakészítés utolsó lépéseként még a borkósav valamelyik alkálifémmel alkotott sóját adták a rendszerhez, ami egy megbízhatóbb tintát eredményezett. Boyle megfigyelése volt az is, hogy ha a kész tintához kénsavoldatot adott, akkor az elszíntelenedett, míg hamuzsírral (kálium-karbonáttal) közömbösítve vissza tudta nyerni az eredeti színt.

Carl Wilhelm Scheele újabb tapasztalatokkal bővítette a gubacstintára vonatkozó ismereteket. 1785-ben felfedezte, hogyha tölgyfagubacs oldatát levegőn hagyja beszáradni, egy kristályos só képződik, amit a gubacs német neve (Gallapfel) után galluszsavnak nevezett el (2,3,4-trihidroxi-benzoesav).

Bár hosszú évszázadokon keresztül használták az egyre tökéletesített eljárások során előállított gubacstintát, folyamatos próbálkozások zajlottak újabb tartós festékek előállítására. Sajnos a csersavaknak vassal alkotott vegyületei könnyen kicsapódó szuszpenzió formájában voltak jelen a tintában. 1856-ban August Leonardinak sikerült homogén koloid rendszerré alakítani a gubacstintát az alizarin segítségével. De ez a festékek történetének már egy újabb fejezete.

Túl sok sav

A gubacsdarázs vagy gubacslégys által megszűrt és burjánzásnak indult gubacs csersavtartalma nagyon magas. Ez olyan magas savtartalmat és olyan erős hatást jelent, hogy még a pergament vagy a papírt is szétmarja. A megoldást, a savtartalom csökkentését a klasszikus, Boyle által leírt recepttel sikerül elérni. Az összetört gubacsból vízzel és vasgálicos áztatással kötötték meg a csersavat, majd mézgával sűrítették a keveréket.

Kezdetben az is gondot okozott, hogy az áztatás során a csersavon kívül más anyagok is kioldódtak a gubacsból, amelyek túl azon, hogy módosították a tinta színét, az írásra használt felületet is károsították. Ez a hatás néhány évszázad alatt olyan drámai átalakulásokat eredményezett a kódexek pergamenjeiben, ami a szövegeket olvashatatlanná tette és pótolhatatlan veszteséget okozott a kultúrtörténet számára. Leonardo da

Vinci írásos életművének 60-70%-a hanyatlás jeleit mutatja, Johann Sebastian Bach kottái folyamatosan pusztulnak és Galileo Galilei számos kézírata gyakorlatilag megsemmisült.

A papír károsodását két tényező együttes hatása okozhatja: a savasság és a fémionok jelenléte. A savas kémhatás a cellulóz savas hidrolízisét eredményezi, a vas(II)-ionok (egyes barna színű tinták esetében a réz(II)-ionok) a cellulóz oxidációs lebomlásához járulnak hozzá.

Savas közegben a cellulózmolekula polikondenzációval összekapcsolódott 1,4-glükozidos kötésű β -D-glükóz egységei vízfelvétellel kilépnek a láncból és a pH függvényében hosszabb-rövidebb idő alatt a cellulózláncok feldarabolódhatnak. Ennek következtében a papír a kialakuló bomlástermékek miatt sárgásbarna színűvé válik, mechanikai szilárdságát is elveszti, töredezik, porlik (Janssens, és mtsai. 2008)

A cellulóz oxidációs lebomlása

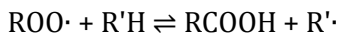
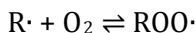
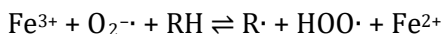
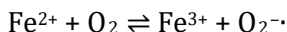
A cellulózmolekulában fény (elektromágneses sugárzás) hatására gyökös mechanizmusú autooxidációs folyamatok kezdődnek, jellemzően az alkoholos hidroxilcsoportokon és a glükóz egységeket összekapcsoló éterkötés oxigén atomján (Orosz, 2008).

Normál körülmények között egy kezeletlen cellulózlánc oxidációjához 200 nm hullámhosszú UV-sugárzás szükséges, azonban a festett papír esetében már a látható fény hullámhossztartományába eső sugarak is elindíthatják az oxidációs folyamatokat. Ilyenkor a 2. és 3. szénatomon lévő alkoholos csoportok oxocsoportokká (aldehid- és ketocsoportokká), majd karboxilcsoportokká oxidálódnak. Ezek részben kromofór (színt adó) csoportok, a kialakuló konjugáció miatt a papír sárgás, barnás elszíneződését eredményezik, másrészt a karboxilcsoport jelenléte hozzájárul a már eddig is savas közeg biztosításához.

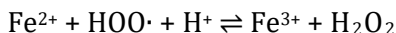
A másik, párhuzamosan zajló reakcióban a cellulózban a vas(II)-ionok által katalizált oxidációs folyamatok során reakcióképes szabadgyökök keletkeznek, amelyek eredményeképpen egyebek mellett hidrogén-peroxid is keletkezik (Fenton-reakció). A savas közeg biztosított, a tinta vasgálic tartalmú, így most már minden feltétel adott a cellulóz gyökös mechanizmusú autooxidációs folyamatához és a régi, papír alapú írásos dokumentumok öregedéséhez, roncsolódásához.

A valószínűsíthető folyamatok legfontosabb lépései:

A) Szerves gyökök képződése:



B) Hidrogén-peroxid képződése (Fenton-reakció):



A folyamatok sebessége pH függő. Általában az 5,5-9,5 tartományon belül zajlanak és a pH növekedése elősegíti a lejátszódásukat. A vastartalom nagysága is szerepet játszik a dokumentum roncsolódásának ütemében. A történeti tintareceptek általában 1:2 vas-szulfát – gubacs arányt írtak elő. Ahhoz azonban, hogy a gubacsban levő galluszsav és tannin (csersav) tökéletesen elreagáljon a vassal, tehát az ne maradjon feleslegben, 1:3 arány lenne az ideális. A legtöbb régi recept alapján készített tinta tehát feleslegben tartalmazott vas(II)-szulfátot, ami levegőn oldhatatlan vas-hidroxidokká és kénsavvá alakult. Mivel a cellulózban és a tintában is található redukáló molekuláriszletek, a vas(II)-ionok folyamatosan újratermelődnek és biztosítják a papír további katalitikus oxidációját.

A restaurátorokat komoly, kémiai ismereteket is igénylő feladat elé állítja az emberiség ilyen formában fellelhető írásos kultúrkincsének megőrzése.

Gubacstintakészítés házilag

Kísérleteinkhez a Margitszigeten gyűjtött suskagubacsokat használtuk. Alapos tisztítás, mosás, szárítás után dörzsmozsárban finom porrá törtük, majd desztillált vízben főztük 30 percig. Lehűlés után pár csepp formalint adtunk hozzá és a következő önképzőkörig (168 óra) lefedve, hűtőszekrényben tároltuk.

A következő alkalommal a főzeteket leszűrtük és a barnás színű oldatokból elkészítettük a kész festékeket a vas-szulfát és a porrá tört gumiará-bikum hozzáadásával. Mivel többféle forrást is felkutattunk, amelyek más-más mennyiségű vas(II)-szulfát hozzáadást javasolja, többféle

arányt is kipróbáltunk, de a kész tinták esetében érzékszervi vizsgálattal nem tudtunk különbséget megállapítani. Az oldatok feketék voltak, amelyek színe a papíron száradás után érzékelhetően mélyült.

A puding próbája...

Az elkészült tintákkal azonnal próbaíráásokat és festményeket is készítettünk. Hagyományainkhoz híven a festékes projektjeinket a rajzszakkörrel végzett együttműködés zárja. Most David Hockney alkotásai adták az inspirációt. Érdekes és nehéz feladat volt a jellemzően harsány színekkel dolgozó művész képeinek a gondolatiságát megragadni, majd pusztán egyetlen, fekete színű tinta felhasználásával ábrázolni. Az elkészült képekről összeállított kiállítás részlete látható az 5. ábrán.



5. ábra. Gubacsintával készített festmények David Hockney művei alapján

Köszönöm B. Csernyánszky Katalin textilművész – rajztanárnak és tanítványainknak a közös munkát.

Források

Boyle R. (1664): The beginning of an experimental history of colours. Henry Herringmann, New Exchange, London (p. 134).

<https://www.gutenberg.org/files/14504/14504-h/14504-h.htm>

Dacumos LP. (2003): STEM education and the project-based learning: A review article. STEM Education Review. 2023. doi: 10.54844/stemer.2023.0385

Finály István (1948): Tus, tinta, ceruza. Természettudomány III. évfolyam 9-10. szám, (p. 273-280.) A Magyar Természettudományi Társulat közlönye. Budapest.

<https://www.kfki.hu/~cheminfo/hun/teazo/festek/tus.html>

Finlay V. (2014): The Brilliant History of Color in Art. J. Paul Getty Museum, Los Angeles, Getty Publications, (p. 34-35.)

Forum Hungaricum Nonprofit Kft. <http://forumhungaricum.hu/kulturkincs/kis-szovegkiemelés-történet-ii/>

Janssens, K., Vekemans, B., De Nolf, W. Rouchon Quliet, V. (2008): Natural ageing study of paper impregnated with Iron-galls inks: Correlation between Fe^{2+} -content and mechanical strength. Photon Science – Highlights and Annual Report, DESY Photon Science, Germany.

Koirala Prasad K., Parajuli Prasad K. (2024): Integrating STEAM education in the school science teaching at Gorkha district. Forum for Education Studies 2024, 2(3), 1430. <https://doi.org/10.59400/fes.v2i3.1430>

Orosz Katalin (2008): XVI-XVII. századi festett papírtárgyak vizsgálata és konzerválásuk lehetőségei. DLA értekezés, Magyar Képzőművészeti Egyetem, Budapest.

Theophilus presbyter (1986): A különféle művességekről. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, (p. 172.)

Yakman G. (2008): STEAM education: An overview of creating a model of integrative education. Purdue University Press