

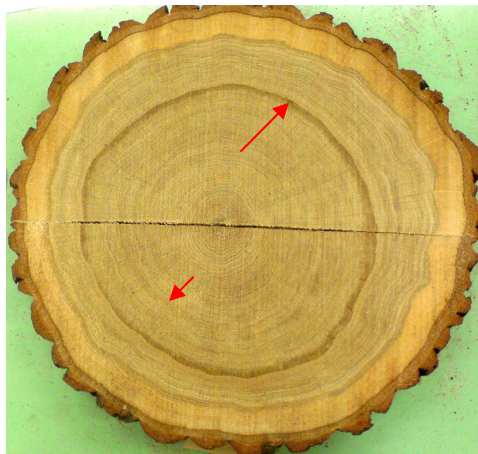
RÉSZLETES SZAKMAI ZÁRÓJELENTÉS

A KOCSÁNYOS TÖLGY (*QUERCUS ROBUR* L.) GESZTESEDÉSÉNEK ÉS GESZTHIBÁINAK KÉMIAI VIZSGÁLATA

OTKA T 0495756 / 2005-2008

A **kocsányos tölgy** (*Quercus robur* L.) hazánkban őshonos, kemény, lombos, igen széles körben felhasznált, értékes fafaj. Magyarország erdőterületeiből 8,7 %-al (144 980,6 ha) részesedik. Kötelező színes gesztképző. Szíjácsa nagyon vékony, egységesen színes gesztje követi az évgyűrűk határait.

Az üvegházhatás, a kedvezőtlenül alakuló mikroklíma, a szélsőségesen változó csapadékmennyiség és más előnytelen hatások szinergikus eredményeként egyre gyakoribbak az ismert erdők- és faárok, mellettük azonban újak is megjelennek. A kocsányos tölgy esetében is egyre számosabbak a geszthibás törzsek. A tölgy gesztjének nemzetközi szinten is jelentős, nagy gazdasági veszteségeket okozó fahibája az ún. „gyűrűs” elszíneződés. Bár nem mindig jár együtt a faanyag szerkezeti, strukturális romlásával, olyan esztétikai problémát jelent, ami a fa alkalmazhatóságát és ezáltal az erdőállományok értékét jelentős mértékben csökkenti.



1. ábra A kocsányos tölgy gesztjének „gyűrűs” elszíneződése

KÖTELEZŐ SZÍNES GESZTESEDÉS, ÁLGESZTESEDÉS

A **gesztképződés** az érett szíjácsban található sejtek programozott halálának eredménye, életük utolsó szakasza, amelyet belső tényezők váltanak ki (MAGEL és mtsai., 2001). Szoros kapcsolatban áll a fa évente, periódikusan megisméltendő életciklusával, kezdete korfüggő, előrehaladását a fa kora és növekedési üteme befolyásolja. A gesztesedés kapcsolatba hozható a szíjácsszövet mennyiségének szabályozásával is. A gesztesedés során az elhaló faparenchima és bélsugársejtek különböző „ gesztesítő anyagokat” választanak ki, amelyek berakódnak a sejtfalakba, a sejtüregekbe, néha a szomszédos sejtekbe is. A komplex, ún. másodlagos metabolitok lerakódása kedvezően befolyásolják a fa élettartamát, mivel bioaktív kopmonensekben gazdag, így védelmet biztosít a patogének ellen (BOSSHARD, 1974).

A **határzóna**. A „határzóna”, „átmeneti zóna”, vagy „tranzicionális zóna” vékony, néhány évgyűrű szélességű faszövet a szíjács-geszt határon. A legtöbb fafaj bütümentszetén jól lokalizálható, nedvességtartalma lényegesen alacsonyabb mint a szíjácsé és a geszté.

A határzóna kitüntetett élettani szereppel rendelkezik, a gesztesedés szempontjából nagy jelentőségű. ZIEGLER (1968) több fafaj esetében kimutatta számos vitamin (tiamin, riboflavin, nikotinsavamid, piridoxin és biotin) koncentrációjának jelentős emelkedését a szíjács-színes geszt határon. Ugyancsak fokozott fiziológiai aktivitásra utal számos enzim, pl. peroxidázok (LAJRAND, 1963), polifenol-oxidázok (HILLIS, 1965), invertázok (KONDO, 1964; HAUCH és MAGEL, 1998), aktivitásának fokozódása is. Az akác (*Robinia pseudoacacia* L.) esetében HÖLL (1967) beszámolt az aldoláz enzimaktivitás és a fehérjekoncentráció emelkedéséről is a határzónában. Az enzimek szerepét a gesztesedésben későbbi mérések is megerősítették (HÖLL és LENDZIAN, 1973; MAGEL és mtsai., 1997; MAGEL és mtsai., 2001). LAJRAND (1963) valamint HIGUCHI és mtsai. (1964) szerint a határzónában a sejtmagok DNS tartalma is jellegzetesen megváltozik.

Az álgesztesedés. A bükk legfontosabb szerkezeti és szín anomáliája, amely jelentős értékvesztést okoz. A bükk faszöveit elszínező anyagok képződése több tényező együttes hatásának az eredménye. Központi szerepet játszik a megemelkedett szöveti pH, a színes, a faszöveteket megfestő polimér prekursorjainak, a fenoloidoknak a minősége és mennyisége, valamint az oxidoreduktáz enzimek aktivitása [ALBERT és mtsai., 2002, 2003; HOFMANN és mtsai., 2004; RÉTFALVI és mtsai., 2004; ALBERT, 2005]. A színhatáron az oxidoreduktáz enzimek aktivitása ugrásszerűen megemelkedik és az álgeszt belsejében is jelentős marad. A bükk álgeszt pH értékein (pH=6.1-6.8) a polifenol-oxidáz (PPO) enzim fajlagosan aktívabb, mint a peroxidáz (POD). Az álgesztesedésben jelentősebb szerepet játszó fenoloidok (flavan-3-olok) mennyisége a szíjácstól a színhatárig folyamatos akkumulációt mutat. Előző kutatásaink során öt fenoloid-glikozidot és négy fenoloidot választottunk el. Ezek közül azonosítottuk a (+)-katechint, az (-)-epikatechint, a kvercetin és a taxifolint. Hidrolízis után a glikozidok aglikonjaiként kvercetin és taxifolint találtunk. A színanyagok a katechin epimérekéből keletkeznek, ezek koncentrációja a színhatár előtt magas, utána pedig nagymértékben csökken. A színes faanyag belsejében a szabad taxifolin és kvercetin akkumulálódik, szerepük az álgeszt színanyagainak képződésében csekély. A színhatár előtt, a határzónában nem, vagy csak elenyésző mértékben játszódik le a gesztesítő fenolok *in situ* szintézise. A szacharóz akkumulációja és hidrolízise a határzónában kis mértékű.

KUTATÁSI CÉLOK

1. A gesztesedés és a geszthiba kialakulásának kémiai szereplői. Az erdei fák kötelező színes gesztesedésében a kioldható szénhidrátok, a növényi savak, a növényi fenoloidok (flavonoidok, antocianidinek) és néhány speciális enzim játszik döntő szerepet. A gesztesedésben résztvevő kémiai komponensek minősége fafaj függő.

A pályázati időszakban a járulékos (extrakt) anyagoknak és a kémiai paramétereknek a kocsányos tölgy kötelező színes gesztesedésében és a geszthibák képződésében játszott szerepét tanulmányoztuk.

2. A kötelező gesztesedés és a bükk álgesztesedése kémiai folyamatainak összehasonlítása. A bükk (*Fagus sylvatica* L.) álgesztesedésének kémiai vizsgálata (OTKA T 043038; 2003-2004) témájú kutatásaink során felderítettük az álgesztesedés kémiai szereplőit, a lejátszódó kémiai reakciókat és tisztáztuk a kémiai paraméterek szerepét. *In vitro* előállítottuk az álgeszt színanyagait is.

A két – OTKA által támogatott - kutatás eredményeinek összevetésével lehetőségünk nyílt az élettanilag normális és az anomáliás gesztesedés közötti (kémiai) különbségek felderítésére.

3. A színes geszthiba kémiai kimutatása a szín elhalványodása után. A kocsányos tölgy gesztjének színes „gyűrűje” a levegő oxigénjével érintkezve a vágási felületen rövid idő alatt kifakul. A fakereskedők így csak a faanyag feldolgozása során észlelhetik a hibát, az értékvesztést.



Frissen vágott felület

Száradt, kifakult felület

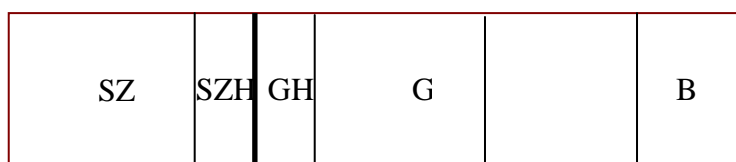
2. ábra A gyűrűs színesedés fakulása a faanyag száradása során

Célunk volt olyan járulékos anyagok felderítése, amelyek minősége vagy mennyisége eltérő az ép és a színhibás gesztben. Ezek kémiai jelzőmolekulái lehetnek a „gyűrűs” fahibának és egy színreakción keresztül lehetővé teszik a fahiba kimutatását kifakult fafelületen is.

KÍSÉRLETI RÉSZ

Mintavételi helyek: Somogyhárság, 3G2 erdőrészlet; TAEG, Soproni Hegyvidéki Erdészete; Sopron, Lenti Erdészet.

A mintákat célirányosan, tervezetten vettük. Egy részüket októberben, a gesztelési időszakban, más részüket májusban, amikor nem zajlik gesztelés. 2007-ben fiatal törzseket vizsgáltunk, 2008-ban idős tölgyekre terjesztjük ki a méréseket. A méréseket az egymást követő években megismételtük. A mintakorongokat megszámoztuk.



3. ábra Mintavétel sugárirányban. SZ (szijács), SZH (szijács határ), GH (geszt határ), G (geszt), B (bél).

Mintavétel a „gyűrűsen” elszíneződött faszövetekből, az ép gesztből és a tranzicionális zónából. Minden korong gesztjéből vettünk kontroll mintát is (kontroll), amely *nem* tartalmazott elszíneződött szöveteket. Külön vizsgáltuk a tranzicionális zóna szöveget.

Mintaszám: statisztikai feldolgozásra alkalmas. A méréseket többször megismételtük különböző termőhelyekről és klimatikus viszonyok közül kikerülő mintákkal.

Száranyag tartalom. A minták száranyag tartalmának tekintetében nem tapasztaltunk jelentős eltéréseket.

KÉMIAI KOMPONENSEK, KÉMIAI PARAMÉTEREK

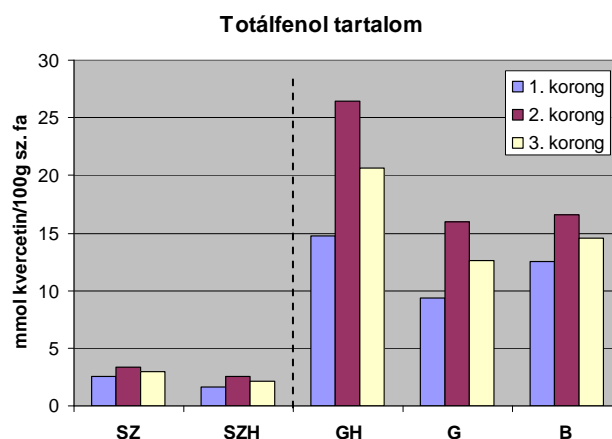
pH. A kocsányos tölgy szöveti pH-ja 3,74 - 4,34 között változik. Jelentős sugár irányú pH csökkenést mértünk. A színhatáron mért csökkenés arra utal, hogy a kocsányos tölgy gesztesedése alacsonyabb pH értékeknél, savasabb közegben zajlik.

Megjegyzendő, hogy a bükk álgesztesedésénél ellentétes a tendencia, ott a pH a színhatáron megemelkedik.

Pufferkapacitás. A pH-t befolyásolja a szövetek pufferkapacitása, amely 1,0-1,3 (mMol NaOH/ kg fa) közötti értékeket mutat.

Savasság. A faszövetek savassága különböző paraméterek (savtartalom, pH-érték, pufferkapacitás) meghatározásával számszerűen is kifejezhető és erősen fajfaj specifikus. A savasság jelentősen befolyásolja, szabályozza az élő fában végbemenő biokémiai - elsősorban enzimatis - folyamatokat. A kocsányos tölgy szövetekben az összesav- tartalom a szijácstól a bél felé nő.

Totálfenol tartalom (Folin-Ciocalteu módszer). A totál fenol tartalom a szijácstól a bél felé folyamatosan nő, a színhatár belső oldalán jelentősen megemelkedik, majd a bél felé állandósul. A szijácban vízben oldható (ezért szállítható) fenoloid-glikozidokat találtunk, ezek akumulálódnak a határzónában. Hidrolízis után egy részük a gesztképződés folyamatában kémiai átalakul, vízben nem oldódó színeképző anyag keletkezik belőle, a többi – zömmel fenolkarbonsavak – a gesztben marad és a fa védelmi képességeit növeli. A színhatáron akumulálódott színeképző előanyagok (prekurzorok) oxidációs és polimerizációs folyamatokban alakulnak színhordozó, nagy molekulájú anyagokká. A fenoloidok koncentrációját a határzónában az is növelheti, hogy a „normális” anyagcsere folyamatok a gesztítő anyagok (polifenolok, fenolkarbonsavak) szintézisének felé tolnak el. A kialakult gesztben a flavonoid-glikozidok szinte teljesen hiányoznak.

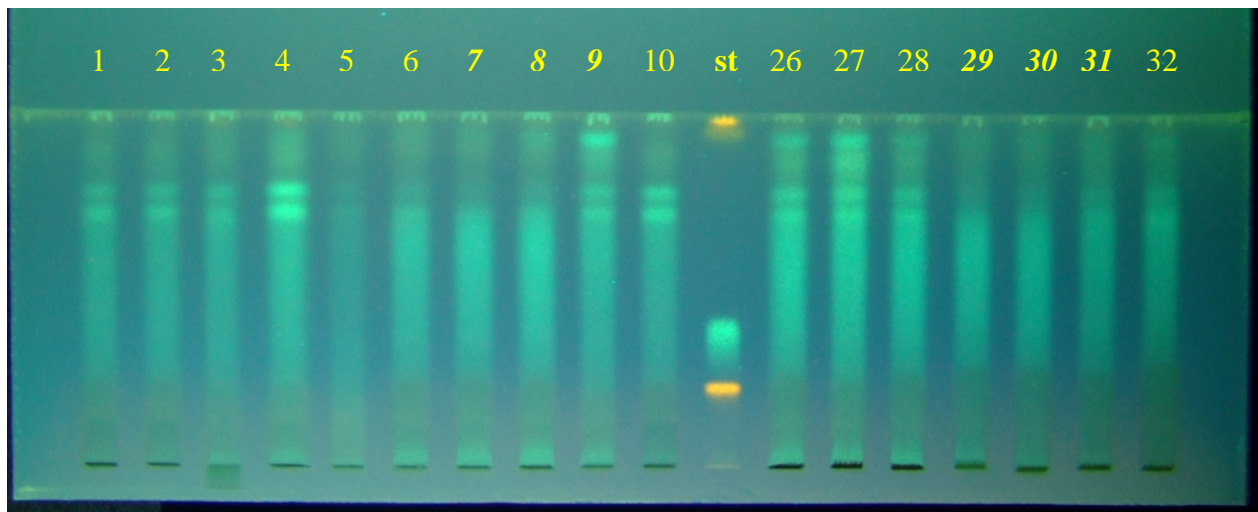


4. ábra A totálfenol tartalom sugárirányú változása. SZ (szijács), SZH (szijács határ), GH (geszt határ), G (geszt), B (bél).

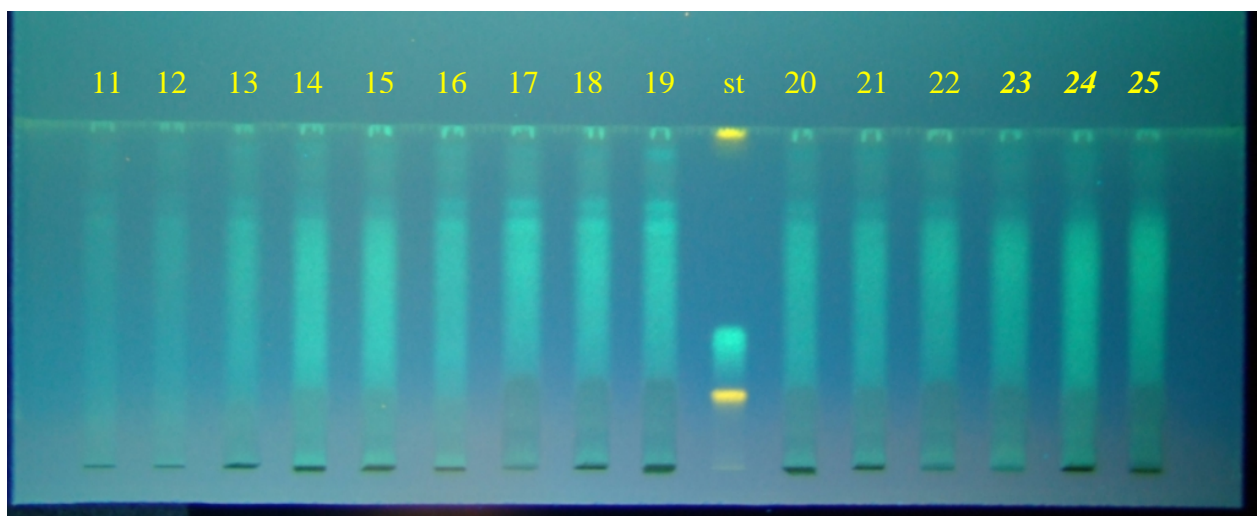
Szignifikáns különbségeket mértünk az elszíneződött, fahibás kontroll minták és az ép gesztből vett minták totálfenol tartalma között. A geszthibás, elszíneződött minták totálfenol tartalma kisebb, ezekben a fenoloidok átalakultak.

A fenoloidok elválasztása és azonosítása. Vizsgáltuk a fenoloidok elválasztásának, valamint minőségi és mennyiségi analízisének lehetőségeit nagyteljesítményű rétegekromatográfiás (HPTLC) és túlnyomásos rétegekromatográfiás (OPLC) módszerekkel. Külön mértük a flavonoidokat és külön a fenolkarbonsavakat. A fenolkarbonsavakat két előhívási módszerrel is vizsgáltuk, mert szerkezeti sokféleségük miatt az összes ilyen jellegű komponens vizualizációja nem valósítható meg egyetlen módon. Összehasonlítottuk a kontroll és az elszíneződött minták minőségi spektrumát és az egyes komponensek mennyiségei közötti eltéréseket is.

Fenolkarbonsavak I. Az 5. és 6. ábrák a kocsányos tölgy gesztjében igen magas koncentrációban jelen lévő fenolkarbonsavak „ujjlenyomat”-át mutatják be. Az előhívás NR reagenssel valamint polietilén-glikol 4000 oldattal történt. A fenolkarbonsavak jelentős része világoskék fluoreszcencia-színnel jelenik meg az előhívást követően ultraibolya fényvel (366 nm) történő megvilágítás esetén.



5. ábra Fenolkarbonsavak elválasztása az 1. és 3. korong extraktumaiból. Állófázis: szilikagél, mozgófázis: 87:3:10 etilacetát:hangyasav:víz, előhívás: NR reagens + PEG 4000 oldat, megvilágítás: 366 nm. St: standard sáv. Standard vegyületek (növekvő R_f szerint): rutin (narancssárga), klorogénsav (kék), kvercetin (sárga), felvitt mennyiség: 200 ng. 1.korong: 1-10 sz. minták, 3. korong: 26-32 sz. minták.

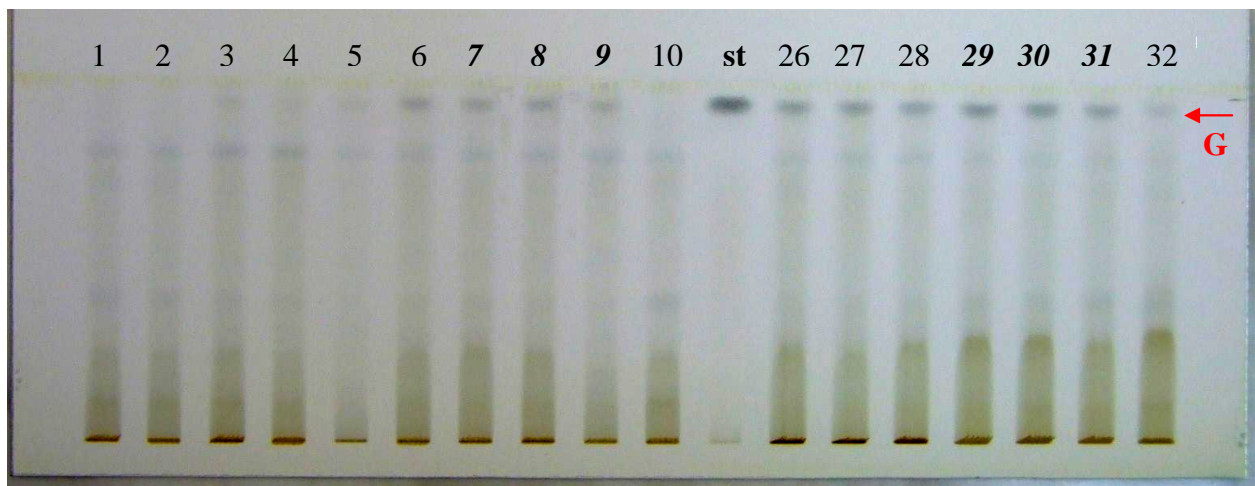


6. ábra Fenolkarbonsavak elválasztása a 2. korong extraktumaiból. Állófázis: szilikagél, mozgófázis: 87:3:10 etilacetát:hangyasav:víz, előhívás: NR reagens + PEG 4000 oldat, megvilágítás: 366 nm. St: standard sáv. Standard vegyületek (növekvő R_f szerint): rutin (narancssárga), klorogénsav (kék), kvercetin (sárga), felvitt mennyiség: 200 ng. 3. sz. korong: 11-25 sz. minták.

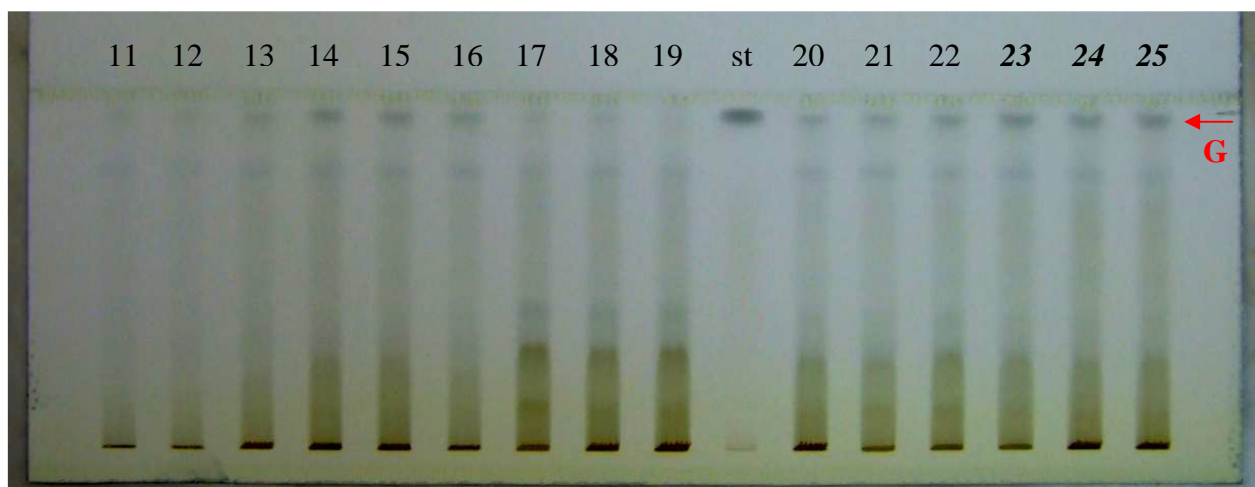
Az 1-es korongban nem figyelhetők meg egyértelmű különbségek a kontroll és a színes minták között az egyes komponensek minőségét, illetve mennyiségét illetően. A 2-es korongban a kontroll minták esetén több komponens hiányzik, illetve mennyiségük lecsökken az elszíneződött faanyag mintáihoz képest. A 3-as korongból vett elszíneződött minták egy részében szinte alig található meg a fluoreszcenciát mutató fenolkarbonsavak (11-13), másokban igen sok található (14, 15, 22). A 6. ábra szerint az NR reagenssel világoskék fluoreszcenciát mutató fenolkarbonsavak a 24 és 25-ös kontrol mintákban található meg a legnagyobb mennyiségben. Ez ellentmond az 1. korong esetében tapasztaltakkal (2. ábra).

Az alkalmazott mérési technika és a mérési eredmények alapján kijelenthető, hogy ezen típusú fenolkarbonsavak nem jellemzik egyértelműen a tölgy gyűrűs gesztetésének jelenségét. A szóban forgó komponensek nagy száma és magas koncentrációja miatt nagyobb felbontású elválasztási technikára van szükség ezen vegyületek elválasztására és szerepük azonosítására az elszíneződési folyamataiban.

Fenolkarbonsavak II. A galluszsav ugyancsak fenolkarbonsav, külön tárgyalását az indokolja, hogy az NR reagenssel nem képez fluoreszkáló származékot, ezért az 5. és 6. ábrákon bemutatott kromatogramokon nem válik láthatóvá.



7. ábra Fenolkarbonsavak elválasztása az 1. és 3. korong extraktumaiból. Állófázis: szilikagél, mozgófázis: 87:3:10 etilacetát:hangyasav:víz, megvilágítás: látható fény. St: standard sáv. Standard vegyület (G): galluszsav, felvitt mennyiség: 1000 ng. 1.korong: 1-10 sz. minták, 3. korong: 26-32 sz. minták.



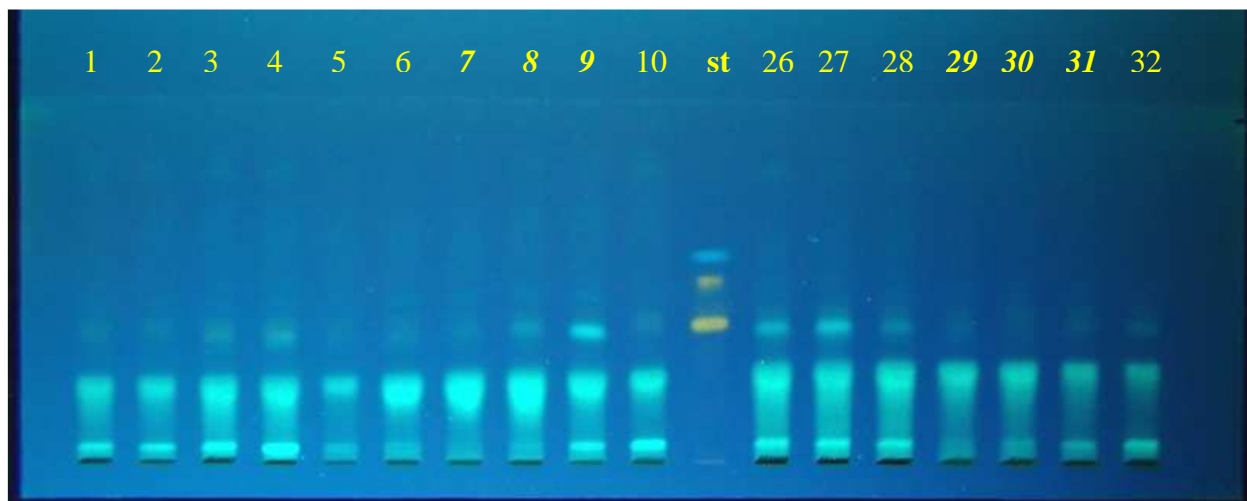
8. ábra Fenolkarbonsavak elválasztása a 2. korong extraktumaiból. Állófázis: szilikagél, mozgófázis: 87:3:10 etilacetát:hangyasav:víz, megvilágítás: látható fény. St: standard sáv. Standard vegyület (G): galluszsav, felvitt mennyiség: 1000 ng. 3. sz korong: 11-25 sz. minták.

A 7 és 8. ábrák a vizsgált tölgy minták elválasztásáról készült kromatogramok láthatók. Az ábrák igazolják, hogy a galluszsav jelentős mennyiségben fordul elő a tölgy gesztjében. Egyértelműen megfigyelhető, hogy a galluszsav a gyűrűsen elszíneződött geszt kivonatában vagy csak nyomokban jelenik meg (1-5, 10, 11, 12, 17-19 minták), vagy a kontrollnál kisebb mennyiségben. Mind a három vizsgált korongban a kontroll minták esetében tapasztalható a legmagasabb galluszsav koncentráció. Figyelemre méltó, hogy a geszthatárt is rendkívül alacsony galluszsav koncentráció jellemzi (1, 2, 10, 17-19).

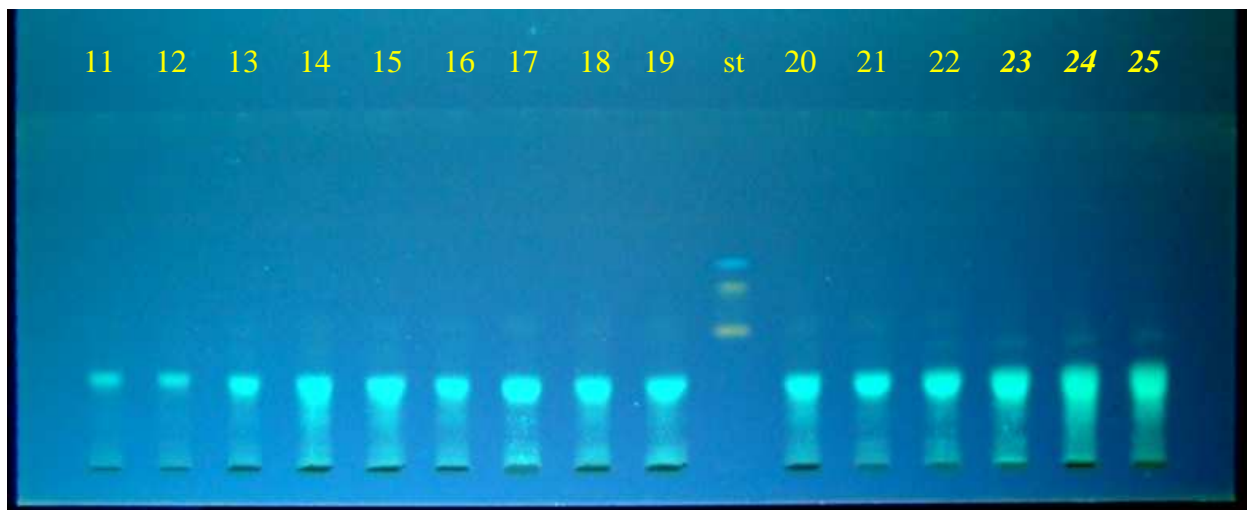
A galluszsav a gyűrűsen elszíneződött geszt kivonatában csak nyomokban jelenik meg, hiánya kémiaailag jelzi a színesedést. A geszthatáron tapasztalható galluszsav-koncentráció csökkenésnek számos oka lehet (szíjács-geszt átalakulás következtében végbemenő hidrolízis, enzimtevékenységek, in situ fenolszintézis- és bontás, stb.) melyek további vizsgálatokat igényelnek.

Flavonoidok. A 9. és 10. ábrák a flavonoid típusú vegyületek elválasztását és azonosítását szemléltetik. Szakirodalmi adatok alapján a tölgy gesztjének járulékos anyagai között legnagyobb mennyiségben fenolkarbonsavak találhatóak (ld. világoskék sávok), flavonoidok (pl. kvercetin) csak kisebb mennyiségben. Ezt igazolják a mi mérési eredményeink is: a fenolkarbonsavakhoz képest csak lényegesen kisebb mennyiségben mutathatók ki ezek a komponensek. Tendenciaszerű változás a kontroll mintákkal összevetve nem figyelhető meg.

Valószínűsíthető hogy ezen komponensek szerepe - kis koncentrációjuk miatt - elenyésző a tölgy gyűrűs gesztésedésében. Egyértelmű következtetések levonásához további vizsgálatokra van szükség.



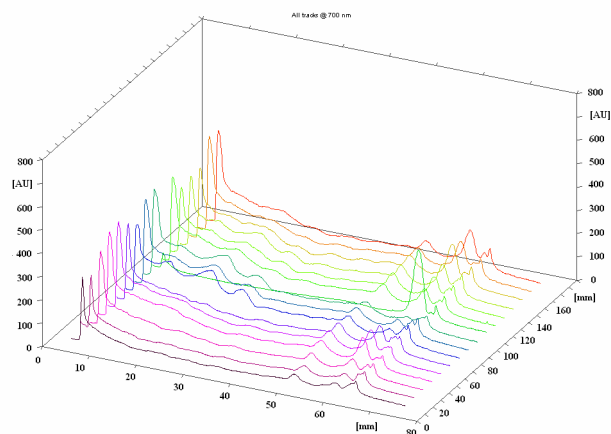
9. ábra Flavonoidok elválasztása az 1. és a 3. korong extraktumaiból. Állófázis: szilikagél, mozgófázis: 6:3:1 toluol:etilacetát:hangyasav, előhívás: NR reagens + PEG 4000 oldat, megvilágítás: 366 nm. St: standard sáv. Standard vegyületek (növekvő Rf szerint): taxifolin (narancssárga), kvercetin (narancssárga), dihidrobenzoészav (kék), felvitt mennyiség: 200 ng. 1.korong: 1-10 sz. minták, 3. korong: 26-32 sz. minták.



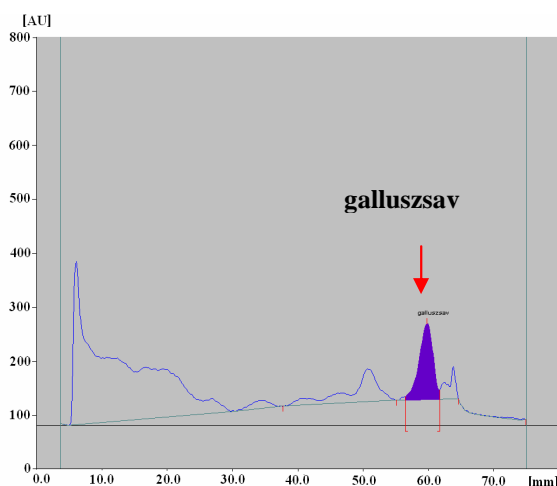
10. ábra Flavonoidok elválasztása a 2. korong extraktumaiból. Állófázis: szilikagél, mozgófázis: 6:3:1 toluol:etilacetát:hangyasav, előhívás: NR reagens + PEG 4000 oldat, megvilágítás: 366 nm. St: standard sáv. Standard vegyületek (növekvő R_f szerint): taxifolin (narancssárga), kvercetin (narancssárga), dihidrobenzoészav (kék), felvitt mennyiség: 200 ng. 3. sz korong: 11-25 sz. minták.

A galluszsav mennyiségi meghatározása

A galluszsav mennyiségének meghatározását a denzitometriás kiértékelés során kapott csúcsterület (é: folt nagysága és optikai sűrűségének mérése) segítségével végeztük. A denzitometriás meghatározást Camag TLC Scanner 3 denzitométerrel kiviteleztek. A denzitometriás kiértékelés 700 nm-en történt reflexiós üzemmódban. A 8. ábrán bemutatott kromatogramhoz tartozó denzitogramot a 11. ábra mutatja. A csúcsterület mérése és kiértékelése a 12. ábrának megfelelően történt.



11. ábra A kromatogramról felvett denzitogram 700 nm-en



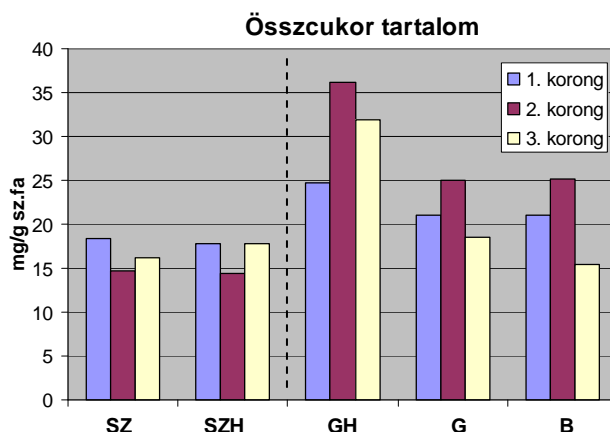
12. ábra A galluszsav csúcsterületének megállapítása

Összehasonlítottuk a fahibás gesztminták (kontroll) és az ép gesztből vett minták galluszsav tartalmát. Az eredmények alapján kijelenthető, hogy a galluszsav mennyisége a gyűrűsen elszíneződött szövetekben szignifikánsan alacsonyabb mint az ép geszt szöveiteiben.

A galluszsav koncentráció csökkenése a vizsgált korongok gesztiszöveiteiben szignifikánsan jelzi a kocsányos tölgy gyűrűs elszíneződésének jelenlétét.

Összucukor tartalom (Dubois-módszer)

A különböző vízoldható mono- és oligoszacharidok a másodlagos metabolizmus folyamataiban alakulnak át járulékos anyagokká, így a gesztesedésben aktívan részt vesznek. A kioldható szénhidrátok szerepet játszanak mind a fenoloidok, mind a fenoloid-glikozidok szintézisében is. Méréseink célja az volt, hogy eldöntsük: keletkeznek-e *in situ*, a színhatáron a gesztképzéshez szükséges fenoloidok, vagy csak a külső szövetekben képződött fenolok lassú akkumulációja miatt nő meg a fenoloid koncentráció színhatár közeli szövetekben. Első esetben a színhatár két oldalán jelentős összucukor tartalom változásnak kell bekövetkeznie, a második esetben ez nem jellemző.



13. ábra A kioldható összes szénhidrát-tartalom sugár irányú változása

Szignifikáns különbség mutatható ki a „gyűrűsen” elszíneződött minták és a kontroll minták összucukor tartalma között. Az elszíneződött minták összucukor tartalma kisebb.

Oxidoreduktáz enzimek aktivitása és fehérjetartalom a szíjácsban és a gesztben. Mértük a polifenol-oxidáz (PPO) és peroxidáz (POD) enzimek aktivitását és az enzimek mennyiségére is utaló fehérje koncentrációt. A fehérje tartalom a színes geszt két oldalán (határzóna) lévő faszövetekben a legnagyobb, ez a két vizsgált enzim szerepére utalhat a fenol szubsztrátumok oxidációjában. A geszt belsejéből valamint a bél körüli geszt-szövetekből nem mutatható ki sem POD sem PPO aktivitás, fehérjetartalom viszont mérhető. Az eredmények összhangban vannak a magas összfenol koncentrációval. Az enzimek aktivitása a szíjácsban a legmagasabb, de itt kisebb a fehérje koncentráció.

Összefoglalás

1. A tölgy gesztjében lényegesen nagyobb mennyiségben fordulnak elő fenoloidok, mint a szíjácsban.
2. A tölgy szíjácsának és gesztjének fenoljai főleg fenolkarbonsav típusúak.
3. A kocsányos tölgy gyűrűsen elszíneződött illetve ép gesztszöveteinek egyes kémiai paraméterei között szignifikáns különbségek vannak.
4. A kocsányos tölgy gyűrűs színesedést egyértelműen jelzi a kioldható szénhidrát-tartalom, a totálfenol-tartalom, valamint a galluszsav koncentrációjának csökkenése.
5. A tölgy gesztjében nagy mennyiségben jelen lévő egyéb fenolkarbonsav komponens tekintetében nem mutatható ki egyértelmű eltérés a kontroll és a minták között az alkalmazott analitikai technika segítségével. Ezen vegyületek azonosítására és nagy felbontású elválasztására, ill. a további aktív komponensek azonosítása szükség van.

6. A tölgy geszt belsejéből nem mutatható ki oxidoreduktáz enzimek jelenléte sem az ép sem az elszíneződött gesztszövetekből.
7. A geszthatáron rendkívül alacsony galluszsav koncentrációk mérhetők. Ennek lehetséges okai a szíjács-geszt átalakulás molekuláris, illetve enzim folyamatai, a hidrolízis, illetve az *in situ* polifenol-szintézis lehet.
8. A galluszsav koncentrációjának csökkenése kapcsolatba hozható a tölgy gyűrűs gesztesedésének kémiai folyamataival is. A galluszsav faanyagon történő szelektív kimutatásával (színreagens) a tölgy gyűrűs gesztesedése indikálható.

A kémiai komponensek és paraméterek felderítése lehetővé teszi a normális és attól eltérő élettani folyamatok (gesztesedés, álgesztesedés) jobb megértését, a stresszhatásokra adott válaszreakciók tanulmányozását, a stressz-tűrőképesség minősítését és ezzel a fa vitalitásának jellemzését. Ezek ismeretében közelebb kerülhetünk a geszthibákat kiváltó okokhoz, a megelőzéshez és a védekezéshez is. A járulékos anyagok ismeretében lehetővé válik a magyar tölgy-faanyag egzaktabb minősítése, a tudatos és célirányos anyagfelhasználás. Az élő fára irányuló kémiai kutatások elősegíthetik a fakárok csökkentését.

SZAKIRODALOM

Albert, L. (2005): A bükk (*Fagus sylvatica* L.) álgesztesedésének kémiai vizsgálata. OTKA T 043038 (2003-2004)

Albert, L. Hofmann, T., Németh, ZS. I., Rétfalvi, T., Koloszar, J., Varga, SZ., CSepregi, I. (2003): Radial variation of total phenol content in Beech (*Fagus sylvatica* L.) wood with and without red heartwood, *Holz als Roh- und Werkstoff* 61: 227-230.

Albert, L., Hofmann, T., Visi-Rajczi, E., Rétfalvi, T., Németh, ZS. I., Koloszar, J., Varga, SZ., CSepregi, I. (2002): Relationships Among Total Phenol and Soluble Carbohydrate Contents And Activities of Peroxidase and Polyphenol Oxidase in Red-Heartwooded Beech (*Fagus sylvatica* L.), 7th European Workshop on Lignocellulosics and Pulp - Towards molecular-level understanding of wood, pulp and paper, 2002 augusztus 26-29, Turku/Abo, Finnország, pp. 253-256.

Higuchi, T., Fukazawa, K., NAKASHIMA, S. (1964): Study on the mechanism of heartwood formation. I. Histochemistry of the wood tissue, *J. Jap. Wood Res. Soc* 10: 235-241.

Bosshard, H. H. (1974): Splintholz-Kernholz-Umwandlung, In: *Holzkunde*, 2. kötet: Biologie, Physik und Chemie des Holzes, Birkäuser Verlag, Basel.

Hauch, S., Magel, E. (1998): Extractable activities and protein content of sucrose phosphate synthase, sucrose synthase and neutral invertase in trunk tissues of *Robinia pseudoacacia* L. are related to cambial wood production and heartwood formation, *Planta* 191: 394-401.

Higuchi, T., Fukazawa, K., Nakashima, S. (1964): Study on the mechanism of heartwood formation. I. Histochemistry of the wood tissue, *J. Jap. Wood Res. Soc* 10: 235-241.

Hillis, W. E. (1965): Biological aspects of heartwood formation, *Proc. Meeting Section 41, IUFRO*, Melbourne, Vol 1.

Hofmann, T., Albert, L., Rétfalvi, T. (2004): Quantitative TLC Analysis of (+)-Catechin and (-)-Epicatechin from *Fagus sylvatica* L. with and without Red Heartwood, *Journal of Planar Chromatography* 17: 350-354.

Höll, W. (1967): Physiologische und biochemische Gradienten in den Jahrringen von Stämmen, államvizsgadolgozat, Darmstadt.

- Höll, W., Lenzian, K. (1973): Respiration in the sapwood and heartwood of *Robinia pseudoacacia*, *Can. J. Bot.* 52: 727-734.
- Keller R, (1987). Différentes variétés de chêne et leur répartition dans le monde. *Conn Vigne et Vins*, 21 : 191-229.
- Kondo, T. (1964): On the wood enzyme, *J. Jap. wood Res. Soc.* 10: 43-48.
- Lajrand, D. B. (1963): On cytochemistry of wood elements, *Drev. Vyskum* 1: 1-11.
- Magel, E. A., Hillinger, C., Höll, W., Ziegler, H. (1997): Biochemistry and physiology of heartwood formation: Role of reserve substances. In: *Trees – Contribution to modern tree physiology*, Eds.: H. Rennenberg, W. Eschrich és H. Ziegler, SFB Academic Publisher. The Hague. pp. 477-506.
- Magel, E. A., Hillinger, C., Wagner, T., Höll, W. (2001): Oxidative pentose phosphate pathway and pyridine nucleotides in relation to heartwood formation in *Robinia pseudoacacia* L., *Phytochemistry* 57 (7): 1061-1068.
- Mosedale J-R, Savill P, (1996). Variation of heartwood phenolics and oak lactones between the species and phenological types of *Quercus petraea* and *Q. robur*. *Forestry*, 69 : 47-54.
- Masson G, Puech J-L, Moutounet M, (1996). Composition chimique du bois de chêne de tonnellerie. *Bull OIV*, 69 : 634—657.
- Rétfalvi, T., Hofmann, T., Visi-Rajczi, E., Takács, P., Albert, L., Markó, G. (2004): The acidity of red-heartwooded beech and its effects on the mechanical features of the chipboard, 7th European Workshop on Lignocellulosics and Pulp, 2004 Augustus 23-25, Riga, Lettország, pp. 547-550.
- Vancsura R. (1992): *Quercus – Tölgy*. In: Gencsi L.–Vancsura R. (1992): *Dendrológia. – Mezőgazda Kiadó, Budapest*, p. 226–273.
- Ziegler, H. (1968) Biologische Aspekte der Kernholzbildung, *Holz als Roh- und Werkstoff* 26: 61-68.

A PÁLYÁZAT KERETÉBEN MEGJELENT KÖZLEMÉNYEK

- Albert L., Hofmann T., Rajczi E., Csepregi I., Makk Á. (2007): Polifenolok kinyerése magyarországi fafajok szöveteiből. Extrakciós eljárások hatékonyságának vizsgálata. NymE EMK Tudományos Ülésszaka, 2007. december 11.
- Rétfalvi T., Hofmann T., Albert L., (2007). A GC-MS alkalmazása fakémiai kutatásokban. Shimadzu/Simkon szakmai nap, Budapest, 2007. november 14.
- T. Hofmann, L. Albert, S. Fehér, and T. Rétfalvi (2008): HPTLC analysis of wood discolorations – comparative investigation of the red heartwood of beech (*Fagus sylvatica* L.) and the ring-like discoloration of pedunculate oak (*Quercus robur* L.), ISC 2008 – 27th International Symposium on Chromatography, September 21-25, 2008, Münster, Németország.
- T. Hofmann, L. Albert, T. Rétfalvi, S. Fehér (2009): The molecular characteristics of typical colored wood defects in beech and pedunculate oak, International Scientific Conference on Forest, Wildlife and Wood Sciences for Society Development, Április 16-18, 2008, Prága, Cseh Köztársaság.