

Nyugat-magyarországi Egyetem
Erdőmérnöki Kar
Kémiai Intézet

JUHARFA LOMBOZATÁNAK GLÜKÓZ-FRUKTÓZ REGRESSZIÓJA VÁROSI KÖRNYEZETBEN

Tudományos Diákköri Dolgozat

Kocsis Ramóna
környezetmérnök BSc szakos hallgató

Témavezetők:
Dr. Németh Zsolt István
Badáczy Dorottya Zsófia

Sopron
2011

Tartalom

Bevezetés	3
IRODALMI RÉSZ	
1. A fotoszintézis	4
2. Központi szénhidrát anyagcsere	5
2.1. A növényi szénhidrát-anyagcsere matematikai modellje	7
3. A növényi anyagcsere környezet érzékenysége	9
4. Biológiai változók állapotfüggő korrelációi	11
5. Glükóz-fruktóz korreláció	14
KÍSÉRLETI RÉSZ	
7. Tesztfa: korai juhar (<i>Acer platanoides</i> L.)	15
8. Mintavételi körülmény, módszerek és eszközök	16
8.1. Cukortartalmak elválasztása vékonyréteg-kromatográfiával	17
9. Eredmények	20
9.1. Szóráselemzés	21
9.2. Eloszlásvizsgálat	22
9.3. Korreláció analízis	22
9.4. Állapotfüggő regressziók kovariancia analízise	24
9.5. A közlekedési forgalomnak kitett és a kontroll juharfák adatainak összehasonlítása	25
Összefoglalás	27
Irodalom	28
MELLÉKLETEK	
I. Csengery utcai juharfa lombzat glükóz-fruktóz regresszióinak kovariancia analízise Stats Direct programmal	31 32
II. Kontroll juharfa lombzat glükóz-fruktóz regresszióinak kovariancia analízise Stats Direct programmal	 36

Bevezetés

A növényi sejt, mint szabályozott biológiai rendszer folyamatos kölcsönhatásban van a környezetével. A növény sejtjeinek anyagcsere-intenzitását a környezeti körülményekhez (napfénytartam, hőmérséklet, páratartalom, termőhely tápanyag-ellátottság, talajnedvesség, stb.) igazítja. A civilizációs környezeti tényezők megjelenése az evolúciós időskálán formálódó sejtszabályozásoknak jelentős kihívás. A stabilis sejtszabályozású növényfajok fennmaradása, ill. a változó körülményekhez való alkalmazása valószínűsíthető. A városi környezet a növények számára sejtszabályozási szempontból pótlólagos próbatétel.

A növényi biokémiai változók (metabolit koncentrációk, enzimaktivitások) lineáris korrelációi környezeti hatás érzékenyek. A környezeti állapotváltozások a korrelációs kapcsolatokat leíró regressziók paramétereit módosíthatják, ill. módosítják. Célrányosan választott biokémiai változók állapotfüggő korrelációinak vizsgálatával a növények fiziológiás állapotváltozásai nyomon követhetők. Környezetfüggő vitalitási tulajdonságaik felfedhetők.

A korai juhar (*Acer platanoides* L.), mint hazánk egyik gyakori előfordulású parkfája, hegyvidéki élőhelyi körülményeken túl civilizációs (pl. közlekedési, ipari termelési, stb.) hatásokhoz is szükséges alkalmazkodnia. A környezeti tényezők (napsugárzás, hőmérséklet, páratartalom, légszennyező komponensek, stb.) lombozatra gyakorolt hatását, ill. a juharfa változó környezeti körülményekhez való alkalmazkodását leveleinek glükóz és fruktóz tartalmaival, s belőlük származtatható állapotfüggő regressziókkal jellemezzük. A dolgozat a növény és környezete kölcsönhatás tanulmányozására egy a növényi levél glükóz és fruktóz tartalmainak adatelemzéséből kiinduló értékelési eljárást javasol.

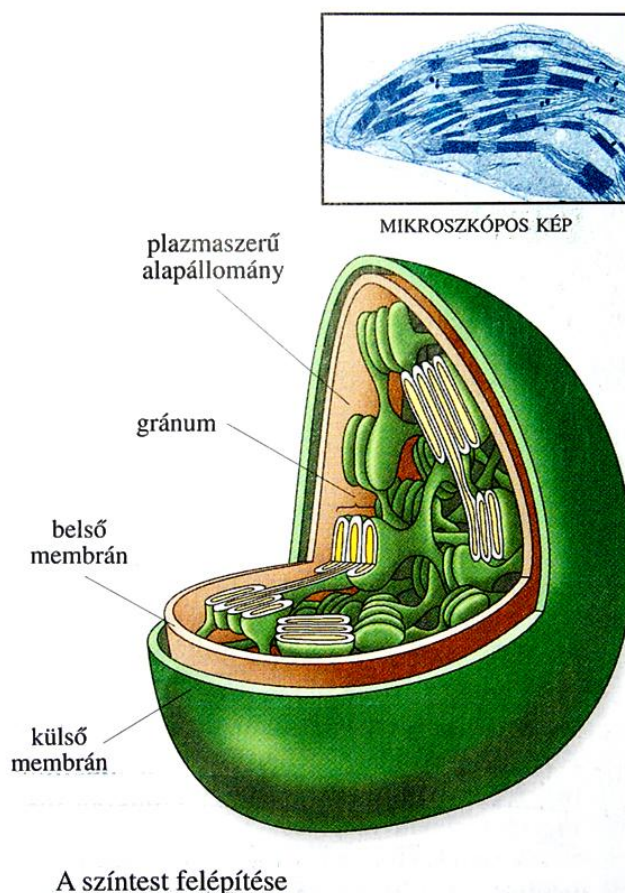
IRODALMI RÉSZ

1. Fotoszintézis

A fotoszintézis során növények, algák és egyes baktériumok a Napból származó fényenergia felhasználásával szerves vegyületeket állítanak elő. Ez a folyamat túlzás nélkül földünk legalapvetőbb folyamata, hiszen a fotoszintézisből származnak a magasabbrendű életformák számára elengedhetetlen szénhidrátok. A molekuláris oxigén kibocsátásával és a széndioxid megkötésével a fotoszintézis alapvető szerepet játszott a Föld jelenlegi légkörének kialakításában és egyensúlyának fenntartásában.

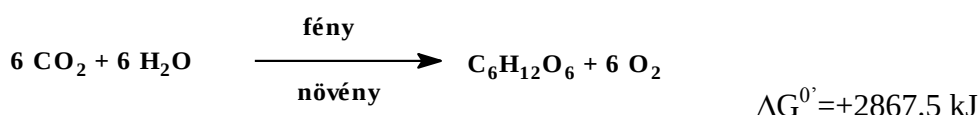
Az 1770-es években John Priestly fedezte fel, hogy a növények olyan anyagot bocsátanak ki a levegőbe, ami lehetővé teszi az égést, illetve szükséges a magasabbrendű szervezetek számára. Noha akkor még a molekuláris oxigén nem volt ismert, Priestly kísérletei azt mutatták, hogy a növények oxigént termelnek (<http://fotoszintezis.szbk.u-szeged.hu>).

A fotoszintézis az autotróf szénasszimiláció elterjedtebb típusa. A fotoszintézis a kloroplasztiszokban folyik, melyek lencse vagy gömb alakúak, kettős membránnal határoltak, s belsejüket szintelen plazma tölti ki. A belső teret korongszerűen összefekvő gránumok, illetve ezeket összekötő kettős membránok, sztrómatilakoidok töltik ki, melyek a fotoszintézis fényreakciójának helyei. A növényekben előforduló öt fajta klorofill molekula közül a klorofill-a (esszenciális), és a klorofill-b a magasabb rendű növényeknél meghatározók. Felépítésük szerint magnézium bázisú porfirinek (Hoffmann, 1987).



1. ábra. Gránumos kloroplasztisz felépítése.

A fotoszintézis bruttó folyamata a következő:



A fényenergiának adszorbeálódnia kell ahhoz, hogy kémiai energiává alakulhasson át (fényszakasz). A folyamat tehát lebontó (katabolikus) és felépítő (anabolikus) folyamatokból tevődik össze. A katabolikus folyamat a fényszakasz, az anabolikus pedig a sötétszakasz, mely során a szén-dioxid fixálódik (megkötődik). A megkötés következményeképp keletkező energia NADPH és ATP formájában kerül raktározásra, ezen felül pedig glicerinaldehid-3-foszfát termelődik a folyamat primer termékeként. Ezt a folyamatot a fotoszintetikus pigmentek bonyolítják le, melyek a növények fotoszintetikus endoszimbionta organelleim (Hoffmann, 1987).

A fotoszintézis a legnagyobb mennyiségű biológiai anyagképző folyamat a Földön, annak ellenére, hogy a Földre kerülő fényenergia alig 1-2%-a kötődik meg e folyamat során (<http://www.kislexikon.hu>).

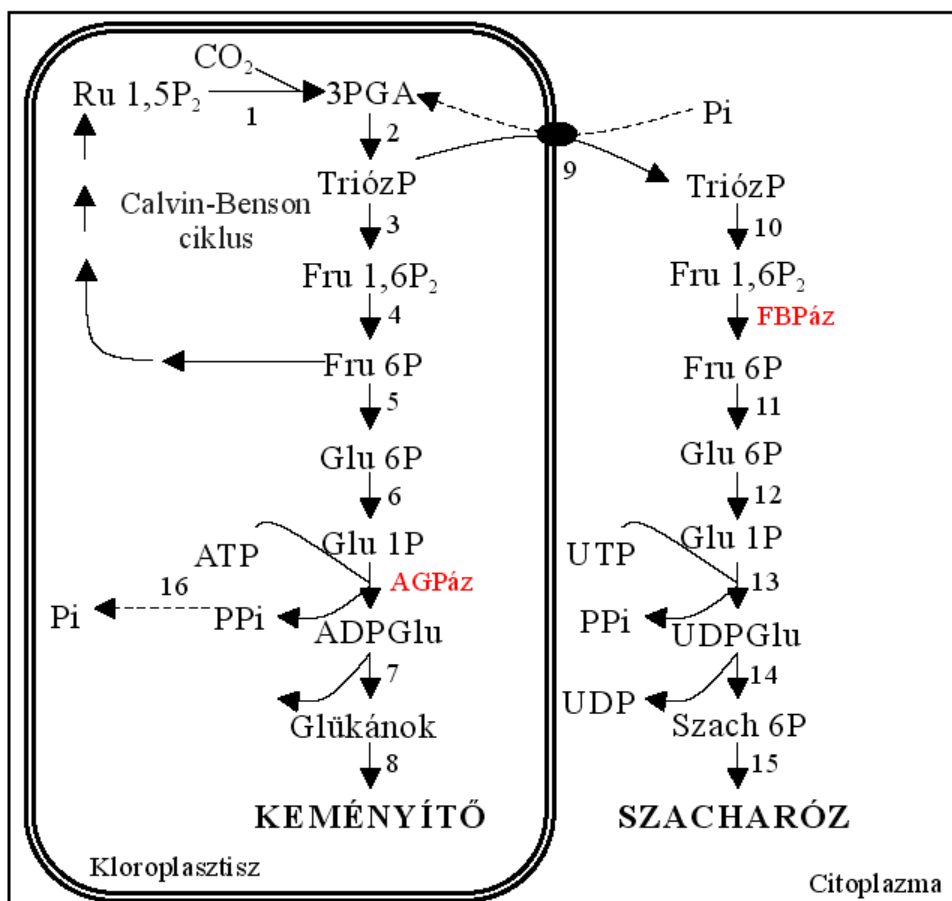
Mivel a fotoszintézis fotofizikai, fotokémiai, redox és enzimatis reakciók bonyolult sorozata, ezért számos környezeti tényezővel szemben igen érzékeny. Túl sok látható fény, ultraibolya sugárzás, alacsony- vagy magas hőmérséklet, túl kevés vagy túl sok víz, illetve tápanyag, légszennyezők, nehézfémek, stb. képesek önmagukban, de még inkább együttesen károsítani a fotoszintézis folyamatát és csökkenteni a természetes ökoszisztémák hatékonyságát.

A fotoszintetikus fényenergia átalakítási folyamat részleteinek megértése, valamint a károsító stresszhatások molekuláris hátterének tisztázása a hazai és nemzetközi kutatások nagy prioritású területe (<http://fotoszintezis.szbk.u-szeged.hu>).

A fotoszintézis fényszakasza a növényi anyagcsere működtetéséhez szükséges ATP-t és NADPH-t termel. A NADPH-molekulában tárolt energia felhasználásával a levegőből fölvet CO₂ egy körfolyamatban, a Calvin-ciklusban szénhidrátokká redukálódik. Ez a lépés a fotoszintézis sötétszakaszának kulcs momentuma. A körfolyamat primér termékéből, a glicerinaldehid-3-foszfátból (G3P) glükóz keletkezik, amely az anyagcsere-szabályozási funkcióból fakadóan más mono-, di- és poliszacharidoknak (pl. fruktóz, szacharóz, keményítő) prekursor metabolitja.

2. Központi szénhidrát-anyagcsere

A CO₂ redukciója során a Calvin-ciklusban trióz-foszfátok (3-P-glicerinaldehid + dihidroxi-aceton-P), majd fruktóz-1,6-foszfát szintetizálódik. E vegyületből keletkező fruktóz-6-foszfát jelenti kiindulópontját a keményítő bioszintéziséhez, mely a fotoszintézis jelképes végterméke. Fruktóz-6-foszfátból glükóz-6-foszfát keletkezik, majd pedig glükóz-1-foszfát. E vegyület kulcsfontosságú szerepet játszik az oligo- és poliszacharidok képződésében (Pethő, 1993). A primér szénhidrát anyagcserét Glu-1-P táplálja, ill. fényhiányos nap- és időszakokban ezen a csatlakozási ponton keresztül táplál vissza e rendszer Glu-1-P molekulákat, biztosítandó a teljes növényi anyagcsere működésének energiaigényét (Kötting és trsai, 2010). A keményítő-szacharóz anyagcsere a teljes növényi metabolizmus energiaellátási puffer-rendszerének is tekinthető (2. ábra).



2. ábra. A keményítő és a szacharóz bioszintézise (Kolbe, 2005). Piros színnel jelölt a két folyamat kulcsenzime, amelyek aktivitását a fru 2,6P2 direkt (FBPáz) vagy indirekt (AGPáz) módon szabályozza. 1 – Rubisco, 2 – 3PGA kináz és NADP-GAPDH, 3 és 10 – fru 1,6P2 aldoláz, 4 – kloroplasztisz FBPáz, 5 és 11 – foszfoglükóz izomeráz, 6 és 12 – foszfoglükomutáz, 7 – GBSS, 8 – elágazási enzim, 9 – triózfoszfát transzlokátor, 13 – UDP-glükóz pirofoszforiláz, 14 – szacharóz-foszfát szintáz, 15 – szacharóz-foszfát foszfatáz, 16 – pirofoszfatáz.

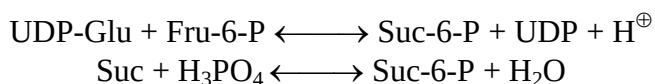
A di- és oligoszacharidok képződésének általános jellegzetessége, hogy a szintézis nem szabad cukorból valósul meg, hanem abban nukleotidokhoz kötött cukrok vesznek részt. A leggyakrabban előforduló nukleotid-komponens az UDP, de a CDP, GDP, ADP, és a TDP is ismert, mint cukor-nukleotid-alkotórész (Farkas,1978).

A szénhidrát anyagcsere a cukormetabolitjai számos gén átírását befolyásolja (Koch, 1996). A szénhidrát kontroll alá eső gének egy jelentős része a szénhidrát metabolizmus, mások egyéb útvonalak enzimeit kódolják. Az oldható szénhidrátok, különösen a glükóz és a szacharóz előidézik a RUBISCO (ribulóz-1,5-biszfoszfát-karboxiláz) kicsi és nagy alegységeit kódoló gének represszióit (Sheen, 1994). A cukorérzékelő és –jelátviteli rendszer szoros kölcsönhatásban van azokkal az útvonalakkal, amelyek olyan ingerekre, mint a növényi hormonok és a fényintenzitás, érzékenyek. A fényszabályozás alatti gének közé tartozó RUBISCO és a CAB (klorofill a/b molekulákat kötő fehérje) gének ki-be kapcsolási gyakoriságát a cukrok megemelt mennyiségei represszív aktivitásmódosítással csökkentik (Krapp és trsai, 1993). A cukrok általában RNS átírást indukálnak, amíg a szacharóz a fehérjék szintézisére hat. (Hill, 1998). Több tanulmány alátámasztja a hexokináz részvételét a génátírás módosításához vezető jelátvitelben. Pl. a glioxálsav-ciklusnak ICL (izocitromsav-

liáz) és MS (almav-szintáz) enzimeket kódoló génjei cukrok repressziós hatásai alatt állnak (Graham és trsai, 1994).

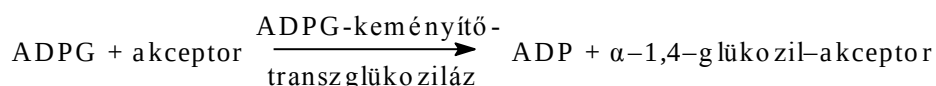
A cukornukleotid glikozilkötésének szabadenergia-tartalma 32 kJ/mol, ami elégséges a szintetikus folyamatokhoz. Hasonló folyamatok során keletkeznek a glükóznak egyéb nukleotidjai (UDP-G, GDP-G) is, ahol a glükóz-1-foszfát ATP helyett UTP-vel, illetve GTP-vel lép reakcióba. A glükóznak nukleotidokkal alkotott vegyületei jelentik kiindulópontjait a keményítő, a cellulóz, s a pektin bioszintézisének is.

A legtöbb növényben a szacharóz (Suc) a domináns cukor. A szacharóz a fotoszintézis elsődleges végtermékeként a levelekben szintetizálódik. Szintézisét a szacharóz-foszfát-szintáz (SPS) és a szacharóz-foszfát-foszfátáz (SPP) katalizálja.



Lebontását a szacharóz-szintáz (SS) és az invertáz (INV) egyensúlyi folyamatban végzik. A szacharóz vagy étkezési cukor (nádcukor, répacukor, juharcukor) egy diszacharid, melyet egy glükóz és egy fruktóz molekularész alkot ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$). A szacharóz univerzális molekula, a növényekben transzport, raktározó és szignál szénhidrát, mely a keményítő mellett a fotoszintézis fő terméke. A szén- és energiatranszport meghatározó komponense, mely a levelekből a nem fotoszintetizáló szövetekbe szállítódik (www.wikipedia.org). Az aktív fotoszintézis alatt a szacharóz bioszintézis magában foglalja fruktóz-1,6-biszfoszfátáz aktivitásának fruktóz-2,6-difoszfát által gyakorolt ciklikus módosítását, amíg ezt az aktivitásvezérlést éjszaka a sejtszabályozás kikerüli (Winter és Huber, 1998).

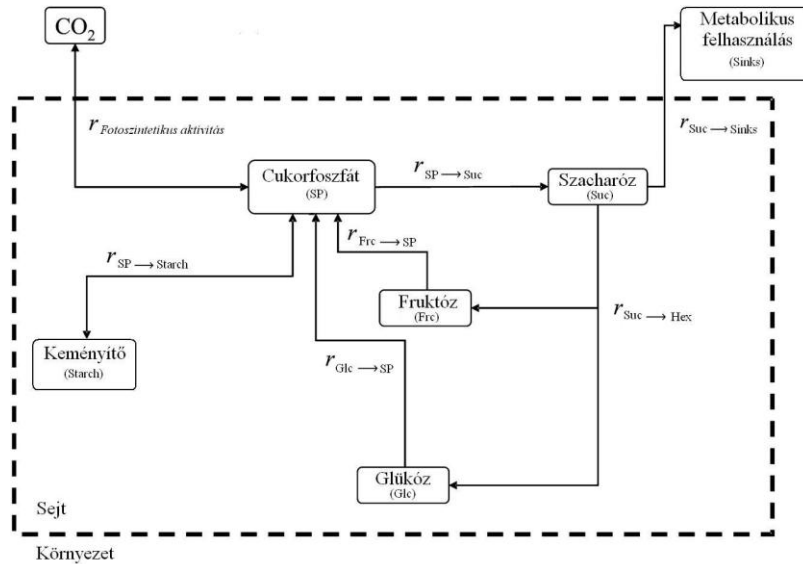
A szacharóz és a keményítő felhalmozás arányának beállításáért döntően az SPS aktivitás a felelős. A kloroplasztiszokban az ADP-glükózból kiinduló keményítőszintézis során egy transzglikozidáz enzim a glükózt egy olyan akceptorra viszi, ami legalább három glükózegységet (maltotrióz) tartalmaz. A szomszédos glükózmolekulák között α -1,4-glikozidos kötés létesül, az akceptor egy glükózzal gyarapszik:



A folyamat addig ismétlődik, amíg létre nem jön a glükózmolekulák között α -1,4-glikozidos kötésekkel kapcsolódó poliszacharid, az amilóz. A keményítő α -1,6-glikozidos kötésekkel kapcsolódó elágazó láncokat is tartalmaz (amilopektin). Keményítő-foszforiláz hatására anorganikus foszfáttal foszforilálódik, s a keményítő glükóz-1-foszfátra bomlik. E vegyületekből cukorfoszfátokon (G-6-P, F-6-P, FDP) át triózfoszfátok keletkeznek, amelyek kivándorolnak a citoplazmába, ahol cukorfoszfátokon át uridin-difoszfó-glükóz keletkezik (Pethő, 1993). Az uridin-difoszfó-glükózból különféle cukrok képződnek. Részt vesz a cukrok egymásba való átalakításában is (Gombkötő, 1985). E cukor-nukleotidból és a reakciólánc egyik intermedieréből (F-6-P) szacharóz-szintetáz segítségével szacharóz-foszfát, majd szacharóz keletkezik (Pethő, 1993).

2.1. A növényi szénhidrát-anyagcsere matematikai modellje

A metabolitok átalakulásainak kvantitatív értelmezése végett Nagele és társai (2010) egy matematikai modellt dolgoztak ki az *Arabidopsis thaliana* növény szénhidrát metabolizmusára. Egyik célkitűzésük az anyagcsere-hálózaton belüli trendek, ill. a kulcsfontosságú szénhidrátok szabályozott mennyiségei változásainak nyomon követése volt. A cukor-foszfátokat, szacharózt, keményítőt, fruktózt és glükózt az anyagcsere súlyponti változóinak tekintve a központi szénhidrát-anyagcserére az 3. ábrán látható egyszerűsített folyamatot vázolták fel.



3. ábra. A növényi szénhidrát-anyagcsere egyszerűsített sémája (Nagele és trsai, 2010).

A központi anyagcsere működését az egyszerűsített sémára felírt, hat reakciókinetikai differenciálegyenletet magában foglaló egyenletrendszerrel modellezték. A szénhidrát anyagcsere egyszerűsített modelljét az 1.1 – 1.6 egyenletek alkotják (Nagele és trsai, 2010).

$$(1.1) \quad \frac{d[SP]}{dt} = \frac{1}{6} r_{NetPhotosynthesis} - r_{SP \rightarrow Starch} + r_{Fru \rightarrow SP} + r_{Glu \rightarrow SP}$$

$$(1.2) \quad \frac{d[Starch]}{dt} = r_{SP \rightarrow Starch}$$

$$(1.3) \quad \frac{d[Suc]}{dt} = \frac{1}{2} r_{SP \rightarrow Suc} - \frac{1}{2} r_{Suc \rightarrow Sinks} - r_{Suc \rightarrow Hex}$$

$$(1.4) \quad \frac{d[Glu]}{dt} = r_{Suc \rightarrow Glu} - r_{Glu \rightarrow SP}$$

$$(1.5) \quad \frac{d[Fru]}{dt} = r_{Suc \rightarrow Fru} - r_{Fru \rightarrow SP}$$

$$(1.6) \quad \frac{d[Sinks]}{dt} = r_{Suc \rightarrow Sinks}$$

A modell fő sajátossága az, hogy a nevesített metabolitok mennyiségeit - fotoszintézis intenzitás és a napsugárzás közötti kapcsolaton, valamint a környezet érzékeny kinetikai paramétereken keresztül – függvénykapcsolatba hozza napsugárzás mértékével és a környezeti körülménnyel.

3. A növényi anyagcsere környezet érzékenysége

Bár a növényi szénhidrát anyagcsere-szabályozás teljes körű feltárása még várat magára, az eddig részismeretek birtokában levonható az a következtetés, hogy a primér szénhidrát anyagcsere összetett és rugalmas, valamint sok, hierarchikus szinten szabályozott. A szacharóz jelátviteli sajátosságából fakadóan a kutatók figyelme elsősorban a szacharóz keletkezésének és fogyasztásának dinamikájára fókuszál. A környezeti körülmények által befolyásolt cukor mennyiségek indirekt módon kihatnak szinte a teljes növényi anyagcserére. A glükóz származékok allosztérikus effektor karaktere és a szacharóz szignál átviteli sajátossága közismert. A növényekben az enzimaktivitás szabályozása cukrok és cukor anyagcserék kapcsán bonyolódik le. A szabályozás döntően gén alapú, cukor és cukor metabolitok által szabályozott (Sjef Smeekens, 1998).

E részfolyamatokat katalizáló enzimek (SPS, SS, INV, stb.) aktivitásainak kontrolljai és környezeti tényezőkkel való kölcsönhatásai a növénytudomány slágertémái közé tartoznak.

A klorofilok viaszállományú, rendkívül érzékeny vegyületek, amely már enyhe behatásra is visszafordíthatatlanul megváltozik (www.hu.wikipedia.org). A fotoszintézist, s ezen keresztül a szervesanyag-termelést jelentősen befolyásolja a fény mennyisége, a hőmérséklet és a CO₂-koncentráció.

A fényintenzitás növelésével nő a fotoszintézis intenzitása is (Haraszti,1977). Ha a fotoszintézis intenzitását a megvilágítás függvényében grafikusan ábrázoljuk, és pedig az ordinátán az időegység alatt elbontott széndioxid mennyiségét, az abszcisszán pedig a fény intenzitását jelöljük, akkor az asszimilációnak a fény mennyiségétől függő görbéje telítésbe tartó, korlátos jellegű (Szalai,1968). Optimális fényhatás mellett nő a növények cukor-, keményítő- és más szervesanyag-tartalma. Fényigény szempontjából azonban jelentős különbséget találunk az egyes növényfajok között (napfénykedvelők és árnyékkedvelők) (Haraszti,1977). A fényigényes növények estében az asszimiláció mindaddig növekszik, amíg a megvilágítás intenzitása egyenlővé nem válik a teljes napfény intenzitásával, viszont az árnyéktűrők asszimilációja aránylag csak kis fényintenzitásig, a teljes megvilágításnak csupán egytized részéig növekszik, és a további fényerősödés már eredménytelen marad (Szalai,1968).

A megvilágítás erősségének néhány jellemző értéke:

A fotoszintézis alsó határa (holdvilágnál):	20 lux
Kompenzációs pont (szervesanyag-termelés=légzési veszteség):	100-300 lux
Szórt fény, esőfelhőkön keresztül:	1000 lux
Normális nappali fény (legfeljebb 25% felhő), optimális fotoszintézis:	10000 lux
Nyári teljes napfény a déli órákban:	50000 lux
A fotoszintézis zavarását előidéző erősségű fény:	200000 lux

A fotoszintézis kémiai folyamat, így a hőmérséklet az intenzitását is befolyásolja. A kémiai reakciókhoz hasonlóan a fotoszintézisre is érvényes a van't Hoff törvénye, de csak szűk hőmérsékleti határok (0° és +30°C) között. A hőmérsékleti görbe tipikus optimum görbe, amelynek három fontos pontja a minimum, az optimum és a maximum pont. A minimum

ponttól a hőmérséklet növekedésével fokozódik a fotoszintetikus teljesítmény az optimum eléréséig, ettől kezdve a hőmérséklet további emelkedése már csökkenő hatású, és a 40-45 °C körül teljesen megszűnik a fotoszintézis. Ennek kettős oka van: egyrészt a légzés fokozódik, másrészt a kloroplasztiszok inaktiválódnak. Az optimális szervesanyag-termelésre kedvező a viszonylag magas nappali hőmérséklet és az ezzel társuló éjszakai lehűlés, amikor csökken a légzési veszteség. A fotoszintézis maximum-, minimum pontjai között növényfajonként lényeges különbségek tapasztalhatóak (Haraszti, 1977).

A levegő hőmérsékletének a megszokott érték fölé történő, 5-6 °C-os emelkedése már szignifikánsan befolyásolja a fotoszintézist, a RUBISCO tartalmat és a szénhidrát metabolizmust (Bowes és trsai, 1996; Morison és Lawlor, 1999). A bablevelek optimális, fotoszintetikus intenzitása 25 °C-on (Jones, 1971) van, a hőmérséklet 25 °C-ról 45 °C-ra, 5 h alatti emelkedése jelentősen csökkenti a fixálás sebességét (40-50%) (Udomprasert és trsai, 1995). A magas hőmérséklet RUBISCO-ra és szénhidrát anyagcserére gyakorolt hatása kevés figyelmet kapott. Szójában a RUBISCO aktivitása és mennyisége 28 °C-ról 40 °C-ra változásnál hasonló volt, de 44 °C-ról 48 °C-ra emelkedésnél már hanyatlott az általános és megemelt CO₂ szinteknél egyaránt (Vu és trsai, 2001).

Az alacsony hőmérsékletre való növényi adaptáció magában foglalja az oldható cukrok felhalmozódását, amely leggyakrabban és legnagyobb mennyiségben a szacharóztól ered (Steponkus et al., 1968; Kaurin et al., 1981; Guy et al., 1992). A hideghatás az SPS-Ib alegység mennyiségének növekedését eredményezi, mely egybe esik az SPS kinetikai sajátságainak megváltozásával. Az SPS aktivitás szelektív tesztekben növekedett, amíg a maximális aktivitás állandó maradt (Hill és trsai, 1996). A kinetikai tulajdonságok változásáról azt gondolják, hogy a szacharóz szintézisének fokozódásához szükségesek, amelyek hidegben tárolt gumókban a hexóz-foszfátok mennyiségének csökkenése ellenére következnek be (Hill és trsai, 1996). Minthogy az SPS enzim szubsztrát által *in vivo* gátolt, a kinetikai sajátságok változásai feltételezés szerint egy hatékony mechanizmust szolgáltat az enzim aktivitásának változtatására.

A levegő CO₂ koncentrációja is befolyásolja a fotoszintézis intenzitását. A sztómákon át történő diffúzió sebessége oly mértékű is lehet, hogy a sztómamembrán transzport gátló hatása már elhanyagolhatóvá válik. A növényi test szárazanyagát nagyrészt szén alkotja, amelyet CO₂ formájában a környező légkörből veszi fel. A levegő 0.03%-os átlagos CO₂ koncentrációja nem jelenti a növények számára az optimumot, ez 0,1% körül van és feltehetően növényenként különböző. A növények CO₂-t kb. 2%-ig tűrik, ezen felül a levelekben mérgező tünetek lépnek fel. A gyökerek kb. 3% CO₂-t viselnek el (Haraszti, 1977).

A megemelt CO₂ szint és/vagy hőmérséklet az SPS és ADP-glükóz-foszforiláz (AGP) aktivitások túlszabályozásához vezet (Prasad és trsai, 2004). Ozmotikus stressz indukálása során, amikor spenót leveleket (Quick és trsai, 1989; Zrenner és trsai, 1991; Toroser és trsai, 1997) vagy burgonya gumókat (Reimholz és trsai, 1994; Geigenberger és trsai, 1995; Geigenberger és trsai, 1997), hiperozmotikus mannitol vagy szorbitol oldatokkal inkubáltak, az SPS aktivitás emelkedését tapasztalták. A szelektív tesztekben állandó maximális aktivitás mellett az aktuális aktivitás értékek növekedtek.

Jelentős változás tapasztalható a fotoszintézis intenzitásában a növények fejlődése során is. Általában a virágzás kezdetéig fokozatosan nő a fotoszintézis intenzitása, virágzáskor eléri a maximumot, majd csökkenni kezd.

A növények helyhez kötöttségük révén különösen érzékenyek a légszennyezésre. A fiatal, osztódó szövetek érzékenyebbek, de az idősebb egyedek károsodása maradandóbb. A szennyező anyagok beépülnek a sejtekbe, melynek következménye lehet a növény pusztulása,

szövetek elhalása, növekedési rendellenességek, elkorcsosulás. A szervezetbe jutó anyag mennyisége az expozíciótól függ, vagyis attól, hogy az élőlény milyen szennyezettségű és koncentrációjú levegőben mennyi ideig tartózkodott. Nagyobb koncentráció akut mérgező hatásokat válthat ki, míg kisebb koncentrációjú szennyezés hatása esetleg hosszabb idő után sem jelentkezik. Kis koncentrációjú mérgező anyagokat a növény képes elbontani.

A növények epidermisze a legellenállóbb, a szivacsos és az oszlopos parenchima érzékenyebb.

A légszennyező anyagok fiziológiai hatásai nagymértékben különböznek egymástól. A porszennyeződés eltömi a növények gázcseré nyílásait. A porok vízzel reagálva bekapcsolódnak a növény anyagcseréjébe. A kéndioxid a vízzel kénessavvá, majd kénsavvá alakul át és roncsoló hatást fejt ki. A klorofillal reagálva a fotoszintézist bénítja. A kéndioxid főleg a szivacsos parenchimat támadja. Az ózón az oszlopos parenchimat károsítja. Megtámadja a levelek hámrétegét és a légzőnyílásait. Csökkenti a növekedésüket és a reprodukáló képességüket. Gátolja a fotoszintézist és a gyökérlégzést is. Az ózonnak baktériumölő hatása van, ami a természetes ökoszisztémákban káros. Az Amerikai Egyesült Államokban végzett felmérések szerint a légszennyeződés okozta mezőgazdasági károk 90%-áért az ózón a felelős. A levél ózón hatására szórtan pettyes lesz.

A NO_2 toxikus hatása a növényekre, $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ koncentráció felett már rövid idő alatt is csökkenti fejlődésüket. Az NO_2 és az O_3 eredő hatása szinergikus. A kén-dioxiddal együtt részt vesz a savas esők okozásában. A növényzet ugyanakkor visszahat a levegő minőségére, szűri, tisztítja a levegőt (Haraszi, 1977).

4. Biokémiai változók állapotfüggő korrelációja

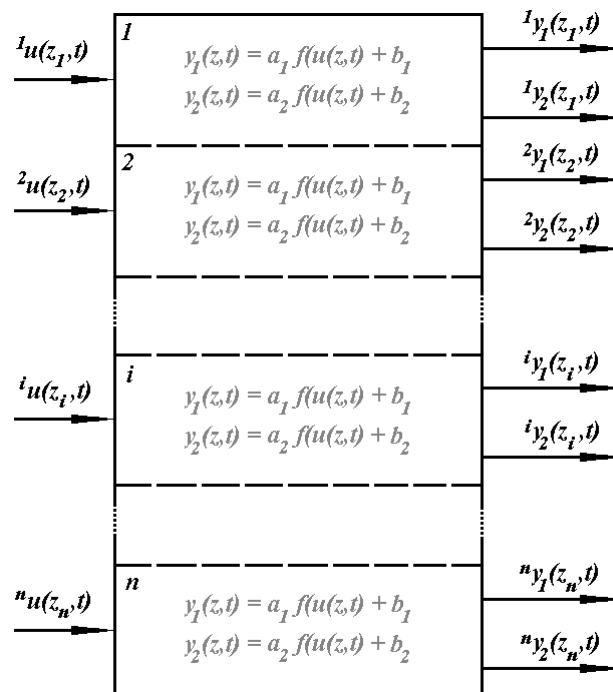
A növényi anyagcsere szabályozott és vezérelt biokémiai reakciókból áll. Az útvonalak enzimek katalizálta biokémiai reakciói összehangoltan játszódnak le. Így, az anyagcsere metabolitjainak, intermediereinek mennyiségei nem lehetnek függetlenek egymástól. A metabolit koncentrációk egymáshoz való viszonya a kombinációik döntő részében nem lineáris természetű. Néhány biokémiai változó esetében, azonban lineáris korrelációk is tapasztalhatók például: Polifenol-oxidáz – Peroxidáz, Antioxidáns – Totálfenol tartalom, klorofill-a - klorofill-b és a glükóz-fruktóz, stb. változó párok között (Roessner és társai, 2011; Boo és társai, 2011; Németh és társai, 2009d). A biológiai rendszer lineáris korrelációinak eredete és információ tartalma az új keletű állapotfüggő korreláció koncepció alapján tisztázható, ill. kinyerhető. A növényi pigment mennyiségek kapcsolatainak vizsgálatát a biokémiai változók állapotfüggő korrelációjának elméletére alapoztuk. E fejezet a kutatás eredményeinek értelmezéséhez szükséges elméleti alapismereteket foglalja össze.

Az élővilág organizmusai a rendszerdefiníció kritériumait teljesítik. Mint biológiai rendszerek önálló funkcióval, bemenetekkel és kimenetekkel rendelkeznek. Szabályozási és anyagcsere-folyamatok képezik a sejt komplex működését. A sejt szabályozáselméleti nézőpontból szabályozott rendszernek tekinthető. A modellek bemenetein keresztül specifikusan előidézett változásokkal környezeti hatás és stressz-érzékenységi vizsgálatokra egyaránt lehetőség nyílik. A rendszerbiológiai kutatások és dinamikai vizsgálatok egyre átfogóbb és részletesebb képet szolgáltatnak a sejtek szabályozásáról. A sejtek szabályozott anyagcseréjének részletei a technológiai rendszerekhez hasonlóan differenciál és algebrai egyenletrendszer leírással megközelíthetők. Ez az analógia lehetőséget teremt arra, hogy a technológiai szabályozáselmélet vizsgálatait és értékelő módszereit a biológiai rendszer működési, illetve környezeti hatásokra adott válaszreakcióinak vizsgálataira is alkalmazzuk. Szabályozáselméleti analógiák alapján a biológiai szabályozási mechanizmusok és a technológiai szabályozási folyamatok között párhuzam teremthető.

A Németh Zsolt István által felvázolt, a biológiai és a technológiai rendszerek szabályozás elméleti hasonlóságok alapján a biológiai rendszerekre is elképzelhető egy olyan F rendszerfüggvény amely a biológiai rendszer bemenetei és kimenetei közötti szabályozott kapcsolatokat tükrözik vissza. A biológiai rendszer bemenetei és kimenetei közötti kapcsolatok szabályozott jellege egy egyszerű, heterogén bemenetű lineárisan korreláló kimenetű (HB-LKK) rendszerrel modellezhető (Németh, 2009b).

A HB-LKK rendszert jellemezze egy f rendszerfüggvény amely a rendszer bemenetéből (u) egymástól nem független y_1 és y_2 kimeneteket állít elő. A kimeneti transzformációk az f függvény lineáris módosításai.

$$(2) \quad y_1(t) = a_1 f(u(t)) + b_1 \quad \text{és} \quad y_2(t) = a_2 f(u(t)) + b_2$$



4.ábra. Heterogén bemenetű és lineárisan korreláló kimenetű (HB-LKK) hierarchikus rendszer (Németh, 2009b)

Az ábrán bemutatott lineárisan korreláló kimenetű rendszer foglaljon magában a „ z ” térbeli pozíció által megkülönböztethető „ n ” darab alrendszert, amelyekben a rendszerfunkció változatlan. Tételezzük fel, hogy az alrendszerek bemenetei nem egyenlők egymással. A rendszeren belül a bemenet az alrendszerek térbeli pozíciója szerint valamilyen eloszlást (pl.: normáleloszlást) követ. A bemenet azonos „ t ” időponthoz tartozó, „ z ” szerinti eloszlását ($u(z, t)$) a rendszerfunkció $y_1(z, t)$ és $y_2(z, t)$ eloszlásfüggvényekké transzformálja. Mivel a rendszerfunkció mindegyik alrendszerben azonos, ezért az $y_1(z, t)$ és $y_2(z, t)$ eloszlásfüggvények típusa is szükségszerűen azonos. $y_1(z, t)$ kimenet lineáris transzformációval $y_2(z, t)$ függvényé alakítható, s alrendszerként a kimenetek azonos módon korrelálnak egymással:

$$(3.1) \quad \frac{y_1^i(z_i, t) - b_1}{a_1} = \frac{y_2^i(z_i, t) - b_2}{a_2}, \text{ ahol „} i \text{” az } i\text{-edik alrendszer index (} i=1, 2, \dots, n \text{)}$$

Az (3.1) egyenlet jelölését az alrendszerektől és a rögzített időponttól függetlenül származtatjuk a rendszer állapotfüggő korrelációs egyenletét, amely az alrendszerek térbeli pozíciójától függetlenül egy adott y_1 kimenethez egy meghatározott y_2 kimenetet társít:

$$(3.2) \quad y_2 = \frac{a_2}{a_1} y_1 + \frac{a_1 b_2 - a_2 b_1}{a_1}$$

A korrelációs egyenlet meredekségét a rendszer kimeneti erősítéseinek hányadosa (a_2/a_1), amíg a tengelymetszetet az erősítések és a független hatások (b_1, b_2) lineáris kombinációja határozza meg. Az (3.2) egyenlet y_1 és y_2 eloszlásaiból is származtatható, ha lineárisan korreláló kimenetű rendszer feltételei teljesülnek. Az (3.3) korrelációs egyenlet y_1 és y_2 eloszlásainak normalizálásával is előállítható:

$$(3.3) \quad y_2 = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} y_1 + \frac{\sigma_1 \mu_2 - \sigma_2 \mu_1}{\sigma_1}$$

ahol σ és μ az y_i eloszlás elméleti szórása, valamint várható értéke. Az (3.2) és (3.3) egyenletek ekvivalensek, így y_1 és y_2 kimeneti változók mérésével becsült eloszlásaiból, s azok momentumaiból a rendszerfunkció paramétereinek viszonyára lehet következtetni. Az anyagcsere szabályozott volta és a környezeti tényezőknek a hatása leképeződik a korreláló változók eloszlásainak momentumaiban (várhatóérték, szórás). A változó környezet és ahhoz társuló anyagcsere kinetikai paramétereknek a módosulása megváltoztatja a változók eloszlásainak momentumait, s azon keresztül 3.2, ill. 3.3 egymással ekvivalens egyenletek meredekségét és tengelymetszetét.

Az alrendszerek szerint összetartozó kimenetek ($y_1(z_i, t)$, $y_2(z_i, t)$) értékpárjaira az (3.2) vagy az (3.3) egyenletű egyenes, $R^2=1$ határozottsági fokkal illeszthető. Az y_1 és y_2 értékek korrelációja a rendszer pillanatnyi állapotát jellemzi, ezért az állapotfüggő korrelációnak, a kimeneti pontpárookra illesztett egyenest pedig állapotfüggő regressziós egyenesnek nevezzük. Ha a rendszerünkben a kimenetre szuperponálódó véletlen zaj (rendszerzaj) létezését is megengedjük, akkor a zaj amplitúdójának nagysága függvényében az ($y_1(z_i, t)$, $y_2(z_i, t)$) pontpárookra illesztett egyenes határozottsági foka csökken (Németh és társai, 2009a). A környezeti körülmény jelentős változása, vagy manifesztálódó növényi stressz jelentősen csökkentheti az a biokémiai változók állapotfüggő regresszióinak határozottsági fokát. Ennek a tapasztalatnak birtokában az R értékét a rendszerszabályozás robusztusosságáról információt szolgáltató indikátornak is tekintjük.

$$(3.4) \quad R = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

A Pearson-féle korrelációs tényező a kapcsolat linearitásáról tájékoztat. A tényező értékei -1 és 1 között változhat. Ha a tényező ± 1 a két tulajdonság között 100 %-os a kapcsolat. Ha az értéke 0, akkor a két tulajdonság között nincs lineáris kapcsolat. A korrelációs tényező a változók közötti kapcsolat lineáris erősségét „méri”.

Heterogén bemenetű, lineárisan korreláló kimenetű (HB-LKK) rendszereket jellemző korreláció az élővilágban nagyon sok esetben tapasztalható. A korrelációk létezésének vagy hiányának közlései a közlemények megállapításainak fontos, empirikus részét képezik. A HB-LKK biológiai rendszer létezése nagy valószínűséggel feltételezhető pl. fás szárú növények lombzatában, amelynek leveleit adott időpillanatban eltérő fényintenzitás éri. Ezek a hatások leképződnek a biológiai rendszer szénhidrát koncentrációinak vagy enzimaktivitásainak állapotfüggő korrelációiban. A biológiai rendszerekben az állapotfüggő korrelációk létezésének elégséges feltétele a biokémiai változók összehangolt szabályozása és eloszlásaik típusazonossága. A környezeti körülmények megváltozása és a stressz képes fiziológias állapotváltozást indukálni a növényekben. Fényhiány, kiszáradás, légszennyező anyagok, stb. vagy a patogének szignifikáns hatása biokémiai változók állapotfüggő korrelációinak vizsgálatával is érzékelhető (Németh, 2009b; Németh és trsai, 2009d).

5. Glükóz-fruktóz korreláció

Glükóz-fruktóz lineáris regressziókat különböző növényi szövetekre már közöltek (Roessner és trsai, 2011; Aljane és trsai, 2007; Bhaskar és trsai, 2010; Kim és Padk, 2007; Matsumoto és trsai, 2007; Bartolome és trsai, 1996), de az empirikus kapcsolat fiziológias eredetét nem tisztázták. A 2009-ben közölt, technológiai és biológiai rendszerek szabályozásának analógiáin alapuló állapotfüggő korreláció koncepció (Németh és trsai, 2009b) a biokémiai változók korrelációját, így a glükóz-fruktóz lineáris korrelációt is összehangolt génszabályozás kinetikai sajátosságaira és a növényt érő fényintenzitás eloszlására vezeti vissza (Németh, 2009a). Az elmélet következtetéseit a hivatkozott szakirodalmi kísérletes eredmények mellett az Nagele és trsai (2010) 1.1 -1.6 egyenletekkel megadott modellje (lásd. 2.1. fejezet) különböző fotoszintézis intenzitásokhoz lineárisan korreláló glükóz és fruktóz tartalmakat rendel.

A glükóz-fruktóz regressziók abiotikus és biotikus hatásokat egyaránt visszatükröztek. A különböző szőlőváltozatok *Botrytis cinerea* fertőzéssel szembeni érzékenysége a meredekség szignifikáns eltéréseiben is jelentkezik (Németh, 2009a; Kovács-Nagy és trsai, 2008). Körtefa levelekben a szárazság manifesztálódása (Németh és trsai, 2009c), s a napfénytartam kukoricalevél szénhidrát anyagcseréjére gyakorolt hatása a glükóz-fruktóz állapotfüggő regressziók paraméter változásaival jelezhetővé vált (Badáczy és trsai, 2011).

KÍSÉRLEI RÉSZ

A kutatás a Nyugat-magyarországi Egyetem TÁMOP 4.2.1/B. projektjének részét képezte. Az Erdőmérnöki Kar Kémiai Intézetében szerveződő, a növény és a környezet közötti kölcsönhatásokkal foglalkozó kutatócsoporthoz kapcsolódva növényi levél szénhidrát tartalmait vizsgáltam. A glükóz és fruktóz tartalmainak monitorozásával a városi környezetnek növényzetre gyakorolt hatását kívántuk érzékelhetővé, s mérhetővé tenni. Az irodalmi részben összegzett szakirodalmi ismeretek bázisára, és az új keletű „állapotfüggő korreláció koncepció” feltételeire alapozva, statisztikai módszerek felhasználásával kísérletet tettünk a közlekedési forgalom növényzetre gyakorolt szignifikáns hatásának kimutatására. A kísérleti részbe foglalt tapasztalatok és megállapítások 2011. év nyarán, Sopron városában kivitelezett vizsgálatok eredményei. A kutatás vizsgálati növényének a korai juhart választottuk, amelyet előszeretettel ültetnek parkfaként városainkban.

7. Tesztfá: korai juhar (*Acer platanoides* L.)

Nevét a kora tavasszal tömegesen megjelenő pompás sárgás-zöld ernyős virágzatáról kapta. Latin nevét a platánéhoz hasonló leveléről. A tavasszal ébredő természet első virágdíszé fái közé tartozik, ezért kedvelt parkfa is. A korai juhar termőhelyi igénye szerényebb, mint a hegyi juharé. Az éghajlati szélsőségeket jól tűri. Fagyálló. Fiatalon árnyéktűrő, később közepesen fényigényessé válik. Szereti a laza, mély talajokat, bár sekélyebb talajokon is megmarad. A száraz homokot és az elárasztást azonban kerüli. Mészkedvelő. Levelei 10-15 cm nagyságúak, 5-7 karéjúak. A karéjok durván fogazottak, a fogak erősen kihegyezettek, az öblök lekerekítettek. A levélnyel 5-15 cm hosszú, a fiatal leveleké tejnedves, a levél felülete sima és fényes. Virágai bogernyőben állnak, sárgászöldek, március végén, április elején, lombfakadás előtt virítanak. Termései éréskor vörösbarna színűek, a szárnyak tompaszöget zárnak be egymással, a szárnyak külső éle egyenes, a magok laposak. Valamivel korábban érnek, mint a hegyi juhar termései, és szintén gyakran és bőven terem. Fája a hegyi juharéhoz hasonló, de évgyűrűi hullámos szélűek, bélsugár tükrei szintén selymesen fényesek. Termőhely tűrése szélesebb, de méretei elmaradnak a hegyi juharétól. A talaj mésztartalmát jobban eltűri, ezért a Bakonyban nagy a jelentősége (Szilágyi, 2001). A városi környezetben a közúti forgalom hatását is képes elviselni. A közlekedési forgalom indukálta abiotikus stressz a lombozat alakjában (csonkolt fakoronák gyakoriságában), sorvadó levelek jelenlétében is szembetűnő. E két morfológiai változás a kiválasztott, Sopron városában a Csengery utca és az Arany János utca kereszteződésénél található mintafán is megfigyeltük. (lásd 5. ábra). Referencia juharfának a Nyugat-magyarországi Egyetem soproni botanikai kertjében ültetett, közlekedési forgalomtól távol eső egyedet jelöltünk ki (6. ábra).



5. ábra. Közlekedés hatásának kitett juharfa (Sopron, Csengery u.)



6. ábra. Kontroll juharfa (NymE, Botanikai kert, Bajcsy-Zs. u.)

8. Mintavételi körülmény, módszerek és eszközök

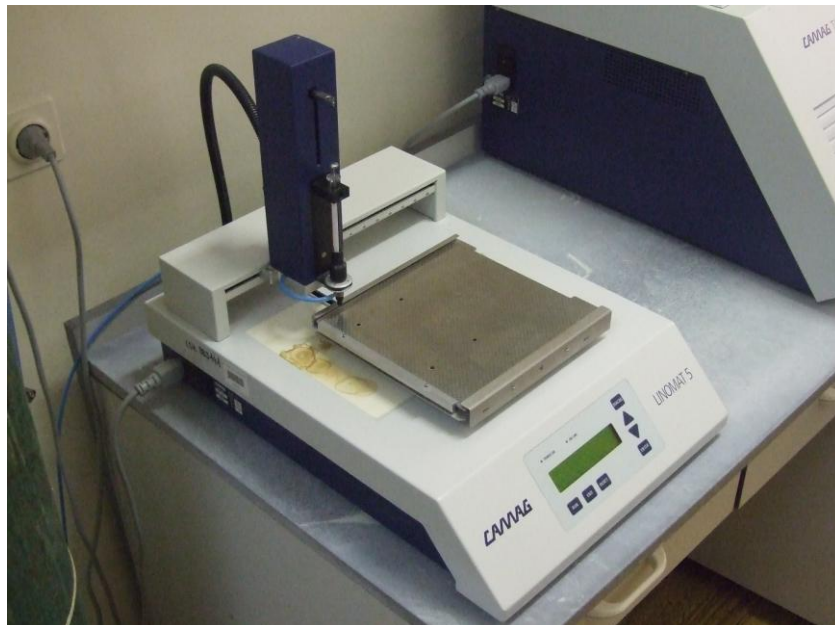
A vizsgálatainkhoz Sopron városában telepített légszennyezettségi táblakijelző (Csengery u.) környezetében található juharfát (5. ábra) választottunk. A légszennyezettségi paramétereket (SO_2 , NO_2 , CO , O_3) táblakijelzőkről és az Országos Légszennyezettségi Mérőszolgálat soproni Monitor Állomásáról (Sopron, Kodály tér) rögzítettük. A Csengery utcai táblakijelző adatait a Csengery utcai juharfához, a Kodály téri adatokat a kontroll fához társítottuk. A mintavétel során, külön mértük helyszíni a hőmérsékleteket és a páratartalmakat, valamint a globálisugárzás mértékeit. Minden mintavétel során 7 darab morfológiailag épnek tűnő levelet választottunk ki juhar falombozatából. A vizsgálatok 2011. május elejétől szeptember közepéig 7 mintavételi alkalomra terjedtek ki. A kontroll fáról (6. ábra) 2001. június elejétől szeptember közepéig 6 alkalommal gyűjtöttünk mintát. Ez esetben is minden mintavétel során 7 morfológiailag épnek tűnő levelet választottunk és mértük a levegő hőmérsékletét és páratartalmát.

Minden mintavétel során megmértük LUX mérővel (LUX-méter JU 116; CCCP) az egyes levelekre eső fény intenzitását is.

A mintavételt követően az Nyugat-magyarországi Egyetem Kémia Intézetének Műszeres Analitikai Laboratóriumában dolgoztuk fel a juharfa leveleket. Minden egyes levelet hosszában kettévágtunk, majd az egyik feléből szárazanyag-tartalmat határoztunk meg. A levelek másik feléből külön-külön extraktumokat készítettünk. A levél tömegét lemértük, majd a bemért mennyiséggel megegyező kvarchomok segítségével dörzsmozsárban pépé homogenizáltuk a leveleket. A kvarchomokos pépből 0,2 g-ot mértünk be Eppendorf csőbe majd 0,75 ml metanolos vizet adtunk hozzá pipetta segítségével ($\text{MeOH-H}_2\text{O}$ 4:1). Ezután 15 percig ráztuk az extraktumot ultrahangos rázóban, majd 30 percig centrifugáltuk 18000-as fordulatszámon 20 °C-on.

8.1. Cukortartalmak elválasztása vékonyréteg-kromatográfiával

A juharlevél kivonatokat 20x20 cm-es kromatográfiás vékonyrétegre CAMAG LIMNOMAT 5 mintaadagoló alkalmazásával vittük fel.



7.ábra. CAMAG mintaadagoló

A mintákkal preparált vékonyréteget az 85% acetonitril-15 % víz összetételű eluenssel OPLC berendezéssel (BIONISIS OPLC 50) fejlesztettük ki.



8.ábra. BIONISIS OPLC berendezés

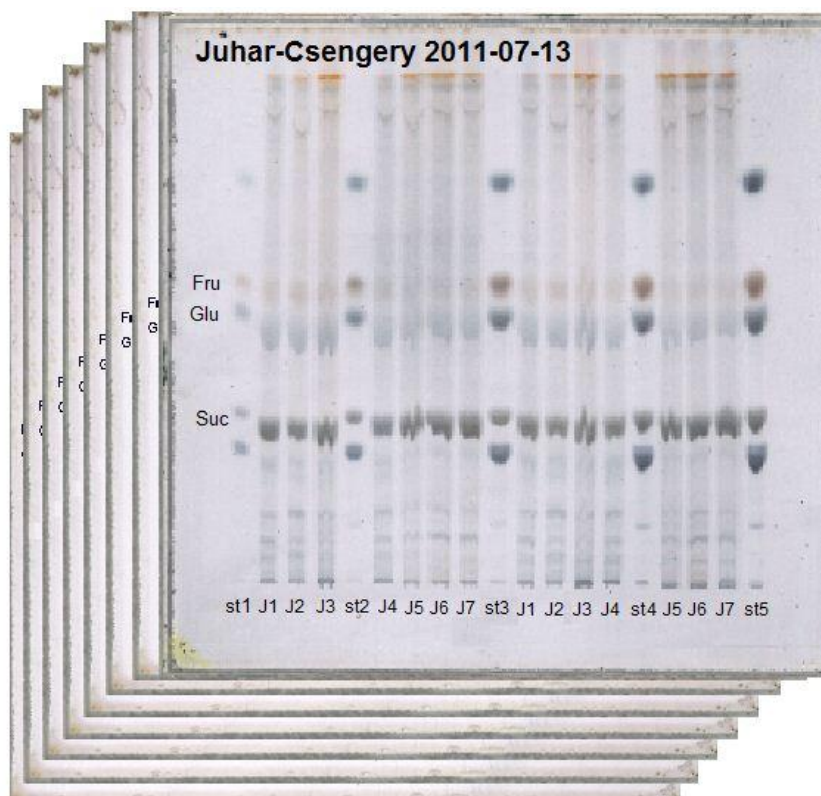
A vékonyrétegre felvitt mintákat egymás után kétszer választottuk el Sárdi eljárása szerint (Sárdi és trsai, 1996; Sárdi és trsai, 1999). A két futtatás között a nedves rétegeket szárítottuk. Az előhívását frissen készített anilines előhívószerrel hajtottuk végre. Anilines előhívószer összetétele: 1g difenil-amin, 1 ml anilin, 5 ml 85%-os H_3PO_4 , 50 ml aceton.

Az előhívó szerrel kezelt vékonyréteget 10 percen keresztül, 120°C-on termosztáltuk (DESAGA Thermoplate S). Az előhívott réteget CAMAG TLC SCANNER 3 denzitométerrel szkenneltük. A denzitogramok csúcsterületeit a WinCATS programmal határoztuk meg.

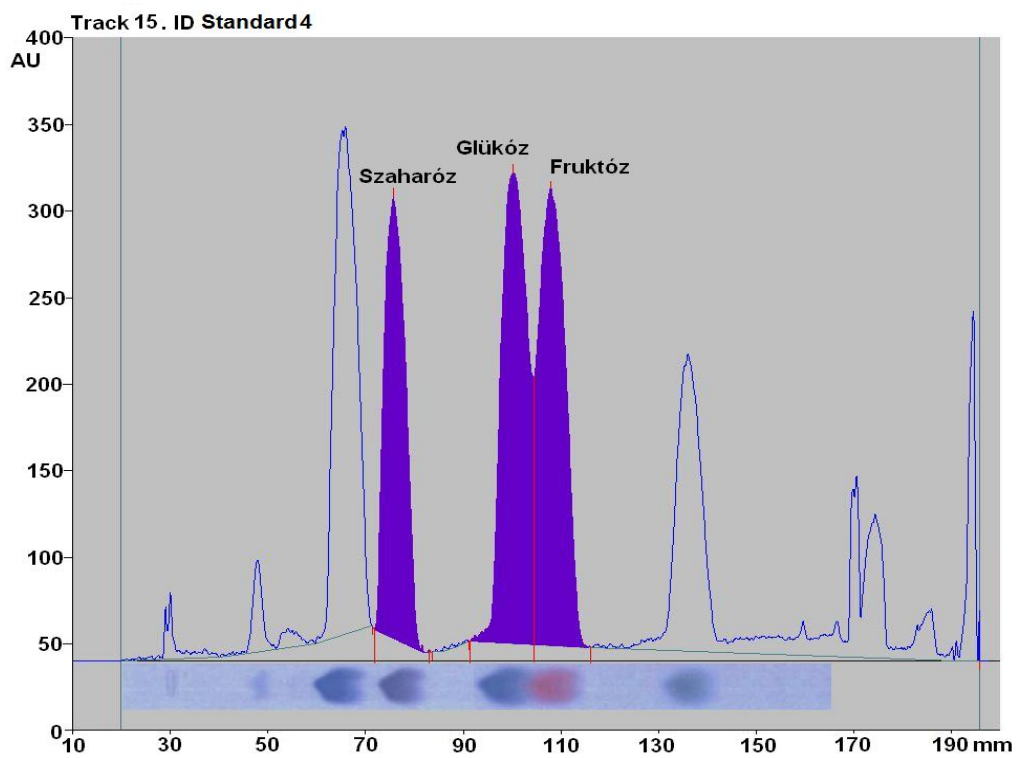


9. ábra. CAMAG szkennner

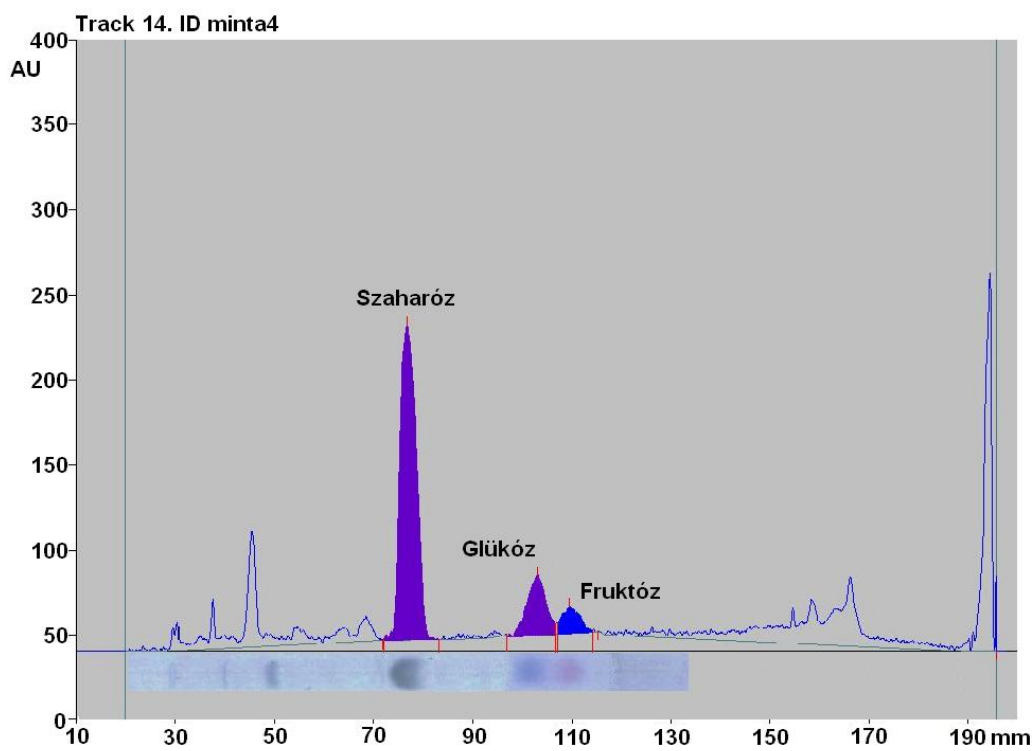
A juharlevél szénhidrát összetevőinek egy reprezentatív elválasztását és standard és minta denzitogramjait mutatják be a 10-12. ábrák.



10. ábra. Kromatográfiás cukor elválasztás vékonyrétegen juhar levélben
(J1-J7: levél extraktumok, St1-St6: standard minták, Fru: D-fruktóz, Glu: D-glukóz, Suc: szacharóz)



11.ábra. Referencia elválasztás(st4) denzitogramja



12.ábra. Juhar levél kivonat elválasztása (J4 minta)

9. Eredmények

A vizsgálatok primér eredményeit a I. – II. táblázatok tartalmazzák. Az I. – II. táblázatok adatai képezik a juharlombozat és a környezet közötti kölcsönhatás kimutatásának bázisát. A növény és a környezet kölcsönhatását jellemző, a mérési eredmények halmazában rejtett információk kinyeréséhez célirányos statisztikai és sokváltozós adatelemzési módszereket használtunk fel. A primér adatok szórás elemzését, eloszlásvizsgálatát, korreláció analízisét, valamint a glükóz-fruktóz regressziók kovariancia analízisét hajtottuk végre.

I/1.táblázat. A Csengery utcai juhar lombozatának glükóz és fruktóz tartalmai

2011.05.18 (A)		2011.06.01(B)		2011.06.22(C)		2011.07.13(D)		2011.08.09(E)		2011.08.24(F)		2011.09.14(G)	
[µg/g]		[µg/g]		[µg/g]		[µg/g]		[µg/g]		[µg/g]		[µg/g]	
Glükóz	Fruktóz	Glükóz	Fruktóz	Glükóz	Fruktóz	Glükóz	Fruktóz	Glükóz	Fruktóz	Glükóz	Fruktóz	Glükóz	Fruktóz
5687,6	5020,3	5795,9	10898,1	7448,1	8753,8	5169,2	4240,9	4842,8	2948,6	14446,0	10485,1	7552,1	4890,3
3660,8	3465,7	5080,8	7844,5	9136,0	16306,7	6072,2	5951,1	4266,8	2908,0	8739,7	5984,7	4729,4	2840,2
3969,8	2277,4	5251,6	5500,9	5693,8	5139,2	6433,6	4205,1	1854,3	1767,6	7565,2	3999,7	3562,1	2107,1
6925,1	12345,7	4070,5	3120,6	4827,8	5704,4	3510,6	2915,9	2441,5	1820,0	11538,3	6317,4	3012,8	1741,5
3670,8	6060,1	3245,1	5673,5	1982,1	1611,1	3815,2	2621,0	2141,0	1007,7	140,4	259,1	1433,1	1373,2
3905,5	5690,2	2516,2	2112,0	5487,5	6047,2	4357,8	2789,4	1571,8	934,1824	8565,6	3147,1	1698,4	834,5
1438,1	1378,2	2391,2	2487,4	3442,5	9171,2	3933,9	2954,4	2127,4	1256,316	6493,8	3820,8	1532,6	1022,3

I/2.táblázat. A Csengery utcai juhar glükóz és fruktóz tartalmak statisztikai és regressziós paraméterei, valamint a környezeti, ill. és légszennyező paraméterek értékei

Mintavétel	Juhar (Csengery utca)				A regresszió paraméterei			Környezeti tényezők			Légszennyezők*		
	MG	SD _G	M _F	SD _F	a	b	R ²	T	SR	RH	O ₃	CO	NO ₂
2011.05.18	4179,72	1730,84	5176,83	3610,75	1,711	-1977,2	0,673	24,7	98000	41	147,6	2800	208
2011.06.01	4050,25	1372,79	5376,76	3182,64	1,932	-2449,2	0,694	23,0	50000	57,5	78	2700	82
2011.06.22	5431,16	2383,32	7533,41	4609,81	1,541	-837,1	0,634	31,3	82000	40,5	27,6	2600	48
2011.07.13	4756,13	1153,82	3668,30	1209,14	0,876	-500,2	0,699	30,5	85000	43	104,4	2700	40
2011.08.09	2749,41	1273,10	1806,09	838,79	0,611	124,3	0,862	20,3	53000	49	33,6	2900	16
2011.08.24	8212,74	4450,70	4859,16	3187,30	0,667	-626,1	0,869	27,0	56000	60	27,6	3000	66
2011.09.14	3360,12	2214,50	2115,63	1399,48	0,622	24,8	0,969	25,6	45000	51	39,6	2500	16

(M_G, M_F: glükóz, ill. fruktóz átlagok; SD_G, SD_F: glükóz, ill. fruktóz szórások; a: meredekség; b: tengelymetszet; R²: határozottsági fok; T: hőmérséklet [°C]; SR: fényintenzitás [Lux]; RH: relatív páratartalom [%]; O₃: ózon [µg/m³]; CO: szén-monoxid [µg/m³]; NO₂: nitrogén-dioxid [µg/m³])

II/1.táblázat. A kontroll juharhoz tartozó glükózt és fruktózt átlagértékek

2011.06.01 (A)		2011.07.13 (B)		2011.08.09 (C)		2011.08.24 (D)		2011.09.14 (E)		2011.06.01 (A)	
[µg/g]		[µg/g]		[µg/g]		[µg/g]		[µg/g]		[µg/g]	
Glükóz	Fruktóz	Glükóz	Fruktóz	Glükóz	Fruktóz	Glükóz	Fruktóz	Glükóz	Fruktóz	Glükóz	Fruktóz
1794,0	1638,5	3104,8	3525,5	1885,9	1815,6	1535,8	2168,8	1905,3	1758,3	723,5	907,0
1975,2	1874,4	3185,1	3044,8	645,3	1143,7	1617,6	1977,0	4198,3	3067,1	1002,9	767,0
2245,0	1840,2	2298,0	2332,3	462,1	782,1	1761,1	1537,3	1301,5	1516,6	307,2	338,6
1729,1	1496,3	2382,9	2676,4	671,5	1013,7	530,8	1409,3	377,3	1081,4	621,3	938,5
1221,7	1256,0	2998,5	3285,0	440,0	880,8	306,6	944,4	2097,2	1618,4	246,1	361,9
1025,9	1296,7	4197,3	4532,1	456,4	867,7	589,3	949,0	396,1	874,5	285,1	731,3
938,6	1160,6	3460,2	3555,2	336,4	781,6	1004,0	1138,7	350,2	744,8	856,4	1046,6

II/2.táblázat. A kontroll (Botanikus kert) mintafához tartozó glükózt és fruktózt statisztikai és regressziós paraméterek; környezeti tényezők és légszennyező paraméterek

Mintavétel	Juhar (Kontroll)				A regresszió paraméterei			Környezeti tényezők			Légszennyezők*		
	MG	SD _G	M _F	SD _F	a	b	R ²	T	SR	RH	O ₃	CO	NO ₂
2011.06.01	1561,4	501,7	1508,9	285,9	0,544	659,1	0,912	30,0	73000	54	46,1	556,6	8,1
2011.07.13	3089,6	646,5	3278,8	709,6	1,055	18,6	0,924	30,0	11000	48	96,7	469,7	13,7
2011.07.27	699,6	536,3	1040,7	365,4	0,668	573,1	0,962	25,7	75000	54	75,8	463,2	7,6
2011.08.09	1049,3	591,6	1446,4	484,2	0,643	770,7	0,618	22,5	2000	55	41,8	731,1	1
2011.08.24	1518,0	1392,8	1523,0	782,0	0,552	684,9	0,966	30,2	72000	69	74,3	619,3	10,2
2011.09.14	577,5	302,8	727,3	278,3	0,665	342,8	0,524	23,6	6100	64	44,0	540,7	27,8

(M_G, M_F: glükóz, ill. fruktóz átlagok; SD_G, SD_F: glükóz, ill. fruktóz szórások; a: meredekség; b: tengelymetszet; R²: határozottsági fok; T: hőmérséklet [°C]; SR: fényintenzitás [Lux]; RH: relatív páratartalom [%]; O₃: ózon [µg/m³]; CO: szén-monoxid [µg/m³]; NO₂: nitrogén-dioxid [µg/m³])

9.1. SzórásElemzés

A glükóz illetve fruktóz tartalmak mintavételi időpontok szerinti szórásainak Fischer-próbával való összehasonlítását mutatja be a III. táblázat. A táblázat felső háromszög mátrixa a glükóz szórások, az alsó háromszöge a fruktóz szórások *F*-valószínűségi változóit (lásd. 4. képletek) tartalmazza. A táblázat félkövérrrel szedett értékei a 95%-os valószínűségi feltételezéshez tartozó, szignifikánsan eltérő szórásokat emelik ki. A szürke színű cellák azokat a mintavételi párosításokat jelképezik, amelyeknél a glükóz - fruktóz értékek szórásainak *F* értékei a kritikus értékeknél egyidejűleg nagyobbak.

$$(4) \quad F_{krit}(0.05;6) = 4.28 \quad {}_{ij}F_F(\downarrow \Delta) = \frac{iSD_G^2}{jSD_F^2} \quad \text{and} \quad {}_{ij}F_G(\uparrow \Delta) = \frac{iSD_F^2}{jSD_G^2}$$

III.táblázat. A Csengery utcai juharfa glükóz és fruktóz tartalmainak szórás vizsgálata

Fruktóz	Glükóz	A	B	C	D	E	F	G
	SD	1730,8	1372,7	2383,3	1153,8	1273,1	4450,7	2214,5
A	3610,7		1,58	1,89	2,25	1,84	6,61	1,63
B	3182,6	1,28		3,01	1,41	1,16	10,51	2,6
C	4609,8	1,62	2,09		4,26	3,5	3,48	1,15
D	1209,1	8,91	6,92	14,53		1,21	14,87	3,68
E	838,7	18,53	14,39	30,2	2,07		12,22	3,02
F	3187,3	1,28	1	2,09	6,94	14,43		4,03
G	1399,4	6,65	5,17	10,84	1,33	2,78	5,18	

A kontroll juharfa glükóz illetve fruktóz tartalmainak mintavételi időpontok szerinti szórásainak Fischer-próbával való összehasonlítását mutatja be a IV. táblázat.

IV.táblázat. Kontroll juharfa glükóz és fruktóz tartalmainak szórás vizsgálata

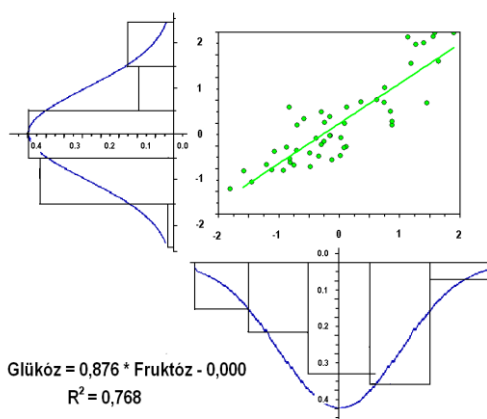
Fruktóz	Glükóz	A	B	C	D	E
	SD	501,7	646,5	536,3	591,6	1392,8
	285,9		1,66	1,14	1,39	7,7
A	709,6	6,15		1,45	1,19	4,64
B	365,4	1,63	3,77		1,21	6,74
C	484,2	2,86	2,14	1,75		5,54
D	782,0	7,48	1,21	4,57	2,6	21,14
E	278,3	1,05	6,49	1,72	3,02	7,89

1. tézis. A vizsgált vegetációs időszakban a közlekedési forgalomnak kitett (Csengery u.) és attól mentesnek tekinthető (kontroll) juharlombozatokat szignifikánsan azonos és eltérő szórásértékek egyaránt jellemezték (lásd. III. és IV. táblázatok kiemeléseit).

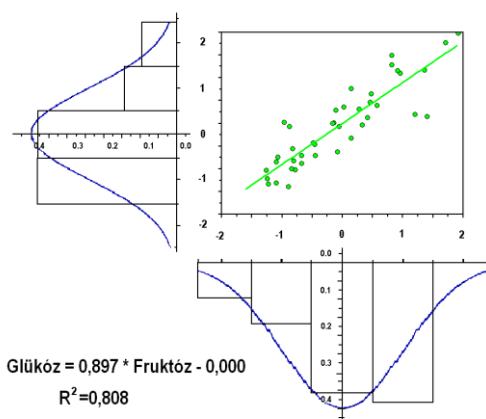
9.2. Eloszlásvizsgálat

A glükóz és fruktóz adatokat mintavételek szerint standardizálva ún. állapottól független, az anyagcsere-szabályozás, ill. a környezeti tényezők hatásaitól mentes standardizált adatokat kapunk. A standardizálás kiiktatja az anyagcsere-szabályozásnak és a környezeti körülménynek a glükóz, valamint fruktóz átlag- és szórásértékekre gyakorolt hatását. Így a különböző mintavételek standardizált adatai egyesíthetők. Az standardizált, egyesített glükóz és fruktóz adathalmazokon az állapotfüggő korreláció koncepciónak a korreláló változók eloszlásainak típusazonosságai kritériumi feltétele ellenőrizhető.

2. tézis. Ideális, HB-LKK működésű lombozat esetén a standardizált glükóz és fruktóz tartalmaknak 1-es meredekségű és zérus tengelymetszetű, tökéletes illeszkedésű ($R^2=1$) regressziót határoznak meg. A I-II. táblázatok standardizált adatai magas határozottsági fok mellett szinte egységnyi meredekségű és zérus tengelymetszetű egyeneseket adnak (lásd. 13. és 14. ábrák). Ez a kísérletes tapasztalat a HB-LKK koncepció növénylombozatra való alkalmazhatóságát valószínűsíti. A tapasztalati relatív gyakoriságok típus azonos eloszlási jellegét Kolmogorov-Szmirnov próba is valószínűsítette.



13. ábra. A Csengery utcai juharfa standardizált glükóz-fruktóz tartalmainak regressziója és tapasztalati gyakoriságai



14. ábra. A kontroll juharfa standardizált glükóz-fruktóz tartalmainak regressziója és tapasztalati gyakoriságai

9.3. Korreláció analízis

A Csengery utcai juharfa glükóz és fruktóz tartalmainak és a környezeti tényezők közötti kapcsolatok felszínre hozásához korrelációs elemzést hajtottunk végre. A IV. táblázat a statisztikai, regressziós és környezeti tényezők közötti, *Pearson R* és *Spearman ρ* együtthatókat tartalmazza. A táblázatban félkövérrel kiemelve hangsúlyozottak azok az együtthatók, amelyeknél mindkét korreláció erős kapcsolatot sugall. Legerőteljesebb korrelációk a glükóz–fruktóz értékek szórásainak és átlagértékeinek kapcsolatát jellemzi, valamint a meredekség, tengelymetszet és a határozottsági fok közötti kapcsolatot. Ezen erős lineáris kapcsolatok az állapotfüggő korreláció elméleti összefüggésének kísérletes megerősítéseinek tekinthetők. Erős kapcsolatok figyelhetők meg a környezeti tényezők és a

regressziós paraméterek között. Közülük a nitrogén dioxiddal mutakozó kapcsolatok emelhetők ki. A magas értékekből erős kapcsolat valószínűsíthető a glükóz-fruktóz értékek regresszióinak paramétereivel, valamint a fruktóz szórásával és átlagértékével. A napsugárzásnak és a páratartalomnak határozottsági fokkal való kapcsolata jelentősnek tekinthető.

V. táblázat. A Csengery utcai juharfa adatainak Pearson R és Spearman ρ korreláció analízise

		Spearman rho koeficiensek												
		M _G	SD _G	M _F	SD _F	a	b	R ²	T	SR	RH	O ₃	CO	NO ₂
Pearson R koeficiensek	M _G		0,536	0,571	0,643	-0,321	-0,393	0,286	0,786	-0,536	-0,071	0,306	0,18	0,45
	SD _G	0,858		0,393	0,714	0	-0,214	0,071	0,393	-0,107	0,179	-0,631	0	0,234
	M _F	0,509	0,257		0,857	0,857	-0,893	-0,786	0,393	0,321	-0,286	-0,054	-0,198	0,739
	SD _F	0,496	0,386	0,947		0,607	-0,714	-0,607	0,464	0,393	-0,321	-0,18	-0,108	0,685
	a	-0,076	-0,295	0,73	0,713		-0,964	-0,75	0,107	0,357	-0,214	0,432	-0,162	0,847
	b	-0,061	0,159	-0,605	-0,62	-0,92		0,679	-0,071	-0,286	0,071	-0,27	0,036	-0,919
	R ²	-0,073	0,345	-0,767	-0,606	-0,805	0,661		-0,214	-0,607	0,714	-0,198	0,126	-0,577
	T	0,52	0,257	0,541	0,37	0,042	0,098	-0,397		0,393	-0,357	-0,288	-0,36	-0,018
	SR	0,112	-0,2	0,491	0,399	0,414	-0,301	-0,744	0,507		-0,643	0,342	0,288	0,468
	RH	0,333	0,485	-0,209	-0,117	-0,22	-0,057	0,537	-0,416	-0,809		-0,216	0,342	-0,018
	O ₃	-0,226	-0,478	0,095	0,063	0,499	-0,594	-0,52	-0,014	0,671	-0,425		-0,109	0,327
	CO	0,441	0,387	-0,072	-0,02	-0,214	-0,014	0,089	-0,355	-0,005	0,37	-0,012		0,291
	NO ₂	0,093	-0,019	0,418	0,53	0,642	-0,739	-0,501	-0,09	0,627	-0,253	0,779	0,225	

(M_G, M_F: glükóz, ill. fruktóz átlagok; SD_G, SD_F: glükóz, ill. fruktóz szórások; a: meredekség; b: tengelymetszet; R²: határozottsági fok; T: hőmérséklet [°C]; SR: fényintenzitás [Lux]; RH: relatív páratartalom [%]; O₃: ózon [µg/m³]; CO: szén-monoxid [µg/m³]; NO₂: nitrogén-dioxid [µg/m³])

Az összefüggések feltérképezése céljából a kontroll mintafa esetében is elvégeztük a korrelációs analízist. A VI. táblázat a V. táblázat-hoz hasonló jelölésrendszerrel tartalmazza a Pearson R és Spearman ρ korrelációs tényezőket. A Csengery utca mintafájához hasonlóan itt is erős kapcsolat mutatkozott a glükóz illetve a fruktóz átlagértékei és szórásai, valamint a glükóz-fruktóz regresszió meredekségei és a tengelymetszetei között. A korrelációs analízis szerint, a hőmérséklet változása az átlagértékek és a regressziók határozottsági fokainak változásaival van leginkább összhangban. A VI. táblázatból az ózon koncentrációnak a korrelációi is kiemelhetők.

VI. táblázat. A kontroll juhar adatainak Pearson R és Spearman ρ korreláció analízise

		Spearman rho koeficiensek												
		M _G	SD _G	M _F	SD _F	a	b	R ²	T	SR	RH	O ₃	CO	NO ₂
Pearson R koeficiensek	M _G		0,543	0,943	0,543	-0,086	-0,086	0,371	0,638	0,143	-0,522	0,486	0,086	0,029
	SD _G	0,257		0,771	1	0,086	0,257	0,714	0,522	-0,029	0,058	0,429	0,257	-0,143
	M _F	0,981	0,196		0,771	-0,029	-0,029	0,543	0,725	0,086	-0,319	0,543	0,143	0,086
	SD _F	0,641	0,819	0,644		0,086	0,257	0,714	0,522	-0,029	0,058	0,429	0,257	-0,143
	a	0,731	-0,193	0,812	0,381		-0,714	0,029	-0,232	-0,086	-0,493	0,543	-0,714	0,257
	b	-0,61	0,275	-0,628	-0,201	-0,889		0,086	-0,116	-0,143	0,522	-0,6	0,829	-0,714
	R ²	0,475	0,528	0,423	0,441	0,097	-0,022		0,754	0,657	-0,029	0,714	-0,2	-0,143
	T	0,698	0,531	0,572	0,495	0,162	-0,234	0,815		0,551	-0,015	0,638	-0,087	0,319
	SR	-0,138	0,418	-0,235	-0,018	-0,52	0,44	0,765	0,549		-0,29	0,6	-0,543	-0,143
	RH	-0,491	0,511	-0,583	0,127	-0,625	0,389	-0,206	-0,063	0,198		-0,551	0,58	0,116
	O ₃	0,677	0,405	0,702	0,685	0,681	-0,591	0,701	0,582	0,175	-0,285		-0,714	0,257
	CO	-0,267	0,276	-0,249	0,123	-0,486	0,68	-0,444	-0,379	-0,261	0,347	-0,603		-0,314
	NO ₂	-0,095	-0,295	-0,158	-0,213	0,194	-0,593	-0,399	-0,066	-0,302	0,351	-0,017	-0,44	

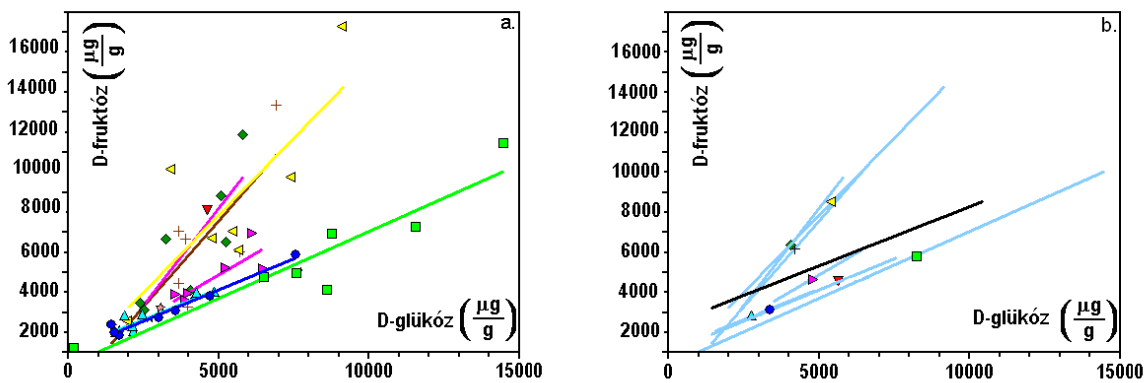
(M_G, M_F: glükóz, ill. fruktóz átlagok; SD_G, SD_F: glükóz, ill. fruktóz szórások; a: meredekség; b: tengelymetszet; R²: határozottsági fok; T: hőmérséklet [°C]; SR: fényintenzitás [Lux]; RH: relatív páratartalom [%]; O₃: ózon [µg/m³]; CO: szén-monoxid [µg/m³]; NO₂: nitrogén-dioxid [µg/m³])

3. tézis. A korreláció analízis eredményei a növény és környezete közötti kölcsönhatás létezését megerősítik.

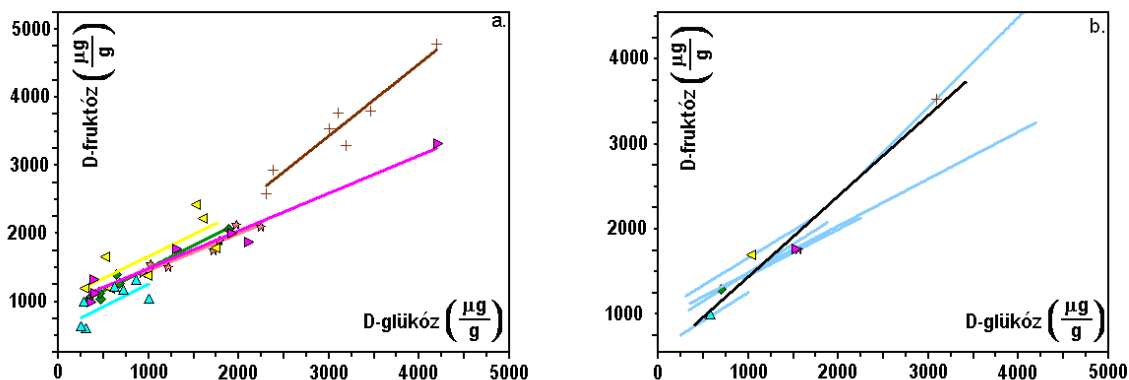
9.4. Állapotfüggő regressziók kovariancia analízise

A primér adatok (I/1. – II/1. táblázatok) glükóz-fruktóz regresszióinak (15a.ábra) kovariancia analízisével (ANCOVA) hatékonyabb statisztikai összehasonlítások végrehajthatók, mint a változók külön-külön végrehajtott statisztikai vizsgálataival. Az értékelést StatsDirect programmal hajtottuk végre. A kovariancia analízis a glükóz - fruktóz regressziók tengelymetszetei és a meredekségei között egyaránt szignifikáns különbségeket mutatott ki. A Csengery utcai juharfához hasonlóan a kontroll glükóz-fruktóz regresszióinak (16. ábra) kovariancia analízise is szignifikánsan eltérő eredményt szolgáltatott.

4. tézis. A regressziók tengelymetszetei és meredekségei közötti szignifikáns eltérések alapján az őket produkáló fiziológiás állapotok, valamint a regressziók súlypontjai (15b.ábra) is szignifikánsan megkülönböztethetők. A környezeti körülmény megváltozásához a glükóz-fruktóz állapotfüggő regressziók paraméter (meredekség, tengelymetszet, határozottsági fok) módosulása társul.



15.ábra. A Csengery utcai juharfa glükóz-fruktóz állapotfüggő (a) és súlyponti (b) regressziói



16.ábra. A kontroll juharfa glükóz-fruktóz állapotfüggő (a) és súlyponti (b) regressziói

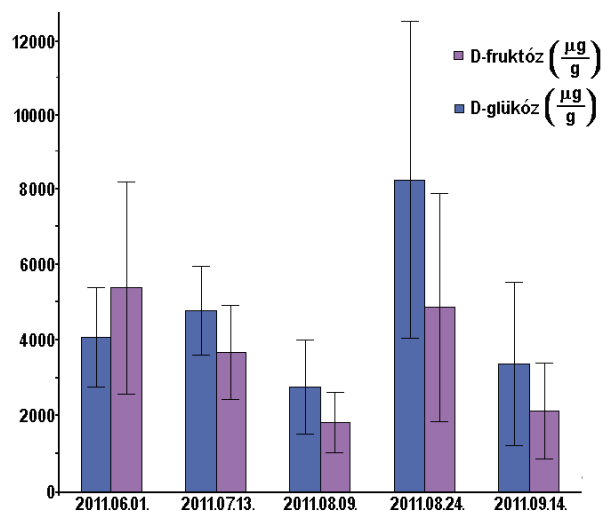
9.5. A közlekedési forgalomnak kitett és a kontroll juharfák adatainak összehasonlítása

A légszennyezettségnek kitett Csengeri utcai és a kontroll mintafa glükóz illetve fruktóz tartalmainak összehasonlításához kiválogattuk azokat a mintavételi alkalmakat amikor mindkét helyszínen ugyan azokon a napokon, azonos napszakokban történt a mintavétel.

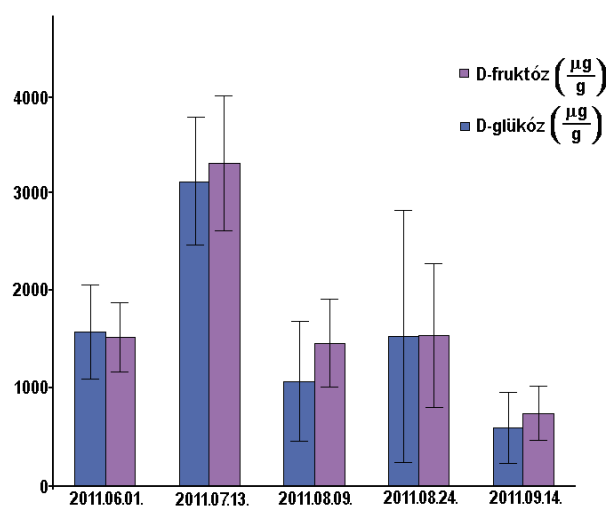
A glükóz és fruktóz tartalmak szórásait összehasonlítva a kontroll juharnak az értékei a közlekedési forgalom hatását szenvedő faegyed szórásainál kisebb értékűek (lásd. a IV. és a V. táblázatokat). Ezt a megállapítást szórás-átlagértékek t-próbája is alátámasztja.

5. tézis. A közlekedési forgalomnak kitett juharlombozatot szignifikánsan szélesebb glükóz és fruktóz eloszlás terjedelmek jellemzik a kontrollhoz képest. Feltehetőleg a gépjármű forgalomból eredő légszennyezettség növekedés indukálja a glükóz és fruktóz lombozaton belüli szórásértékeknek növekedését.

A glükóz és fruktóz átlagértékek között is szignifikáns az eltérés. A Csengery utcai juharfa lombozatát magasabb szénhidrát tartalmak jellemzik (lásd 17. és 18. ábrák). A közlekedési forgalom hatásához a glükóz-fruktóz állapotfüggő regressziók érvényességi tartományai magasabb értékű koncentráció tartományokba tolódnak el (lásd. 19. ábra). A 19. ábrán a Csengery utcai juharfa állapotfüggő regresszióit világoszöld, amíg a kontroll regresszióit világoskék színű egyenesek jelképezik.

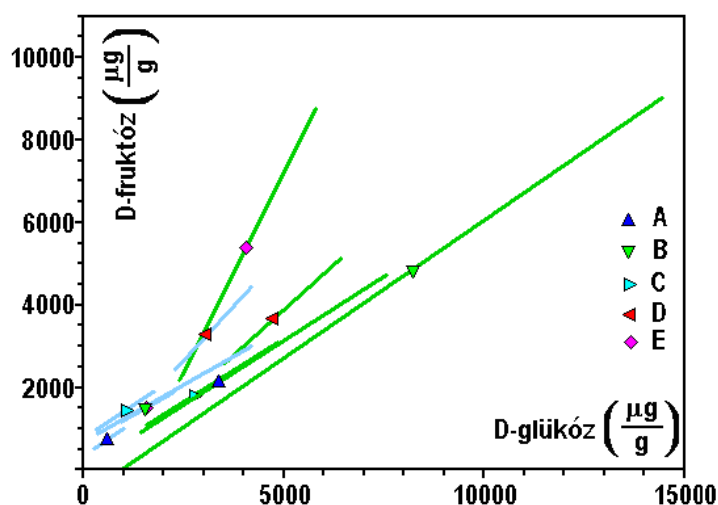


17. ábra. Csengery utcában található mintafa glükóz fruktóz tartalmainak mintavételenkénti átlagértékei



18. ábra. A kontroll (Botanikus kert) mintafa glükóz fruktóz tartalmainak mintavételenkénti átlagértékei

6. tézis. Az intenzív közlekedési kitettséghez a lombozatnak magasabb szénhidrát tartalmai társíthatók.



19. ábra. Közlekedési forgalom hatásának kitett (Csengery u.; világoszöld) és a kontroll (világoskék) juharfák állapotfüggő regressziói

A standardizált glükóz és fruktóz eloszlások mind Csengery utcai és mind a kontroll juharfa esetében típusában azonos eloszlások létezését valószínűsíti (lásd. 13. és 14. ábrák).

A korreláció analízis glükóz és fruktóz statisztikai paraméterek között nagyon erős kapcsolatokat mutat (V. és VI. táblázatok), ami e két szénhidrátnak a levél anyagcserén belüli összehangolt szabályozásának a következménye. A glükóz-fruktóz regressziók meredeksége (a) és tengelymetszete (b) mindét faegyed esetében magas korrelációs tényező értékekkel rendelkeznek, ami az állapotfüggő korreláció koncepció elméleti egyenlet egy pótlólagos, kísérleti megerősítésének tekintendő. Ugyanis a 3.2, vagy 3.3 egyenlet meredeksége és tengelymetszete nem független egymástól. A glükóz-fruktóz adatokhoz tartozó környezeti (hőmérséklet, páratartalom, napfényintenzitás) tényezők, ill. társított légszennyezettségi paraméterek (O_3 , CO , NO_2) korrelációs tényezői a növény és környezete közötti kölcsönhatás megnyilvánulásainak köszönhetők.

Az azonos mintavételekhez tartozó kontroll és Csengery utcai juharfák regressziói kovariancia analízissel szignifikánsan megkülönböztethetők. A két faegyed fiziológiás állapota a szignifikánsan eltérő glükóz-fruktóz regressziók alapján is megkülönböztethető.

Összefoglalás

A városökológiai kutatási célú módszerfejlesztésben, Sopron városában telepített légszennyezettségi táblakijelző (Csengery utca) környezetében található, valamint kontrollként a Nyugat-magyarországi Egyetem soproni botanikus kertjében található juharfát választottunk mintafának. Minden mintavétel során, tesztfánként 7-7 darab, morfológiailag épnek tűnő leveleket választottunk ki a juharfák lombzataiból. A mintavételek során mértük a hőmérsékletet, páratartalmat, fényintenzitást, illetve leolvastuk a táblakijelzőről a légszennyezettségi adatokat. Ezek után a Nyugat-magyarországi Egyetem Kémia Intézet laborjában meghatároztuk a levelek glükóz, fruktóz és szacharóz tartalmait.

Majd a glükóz-fruktóz tartalmak regresszióira kovariancia analízist hajtottunk végre az összefüggések feltérképezése céljából. Ezután külön-külön mind a két mintafa glükóz - fruktóz értékeinek statisztikai paramétereinek és a környezeti tényezők közötti kapcsolatok felszínre hozásához korrelációs elemzést hajtottunk végre, majd Fisher-próbát végeztünk.

Ezek alapján a mérési alkalmak fiziológiás állapotai megkülönböztethetők. Mindkét mintafa esetében erős kapcsolat mutatkozott a glükóz illetve a fruktóz átlagértékei és szórásai, valamint a glükóz-fruktóz regresszió meredekségei és a tengelymetszetei és a határozottsági fok között.

A Csengery utcában lévő juharfa esetében erős kapcsolatok figyelhetők meg a környezeti tényezők és a regressziós paraméterek között, amelyek közül a nitrogén dioxidot emelném ki, valamint a napsugárzás és a páratartalom határozottsági fokra gyakorolt hatását is felfedezhetjük.

A kontroll juhar esetében a korrelációs analízis szerint, a hőmérséklet átlagértékekre és a regressziók határozottsági fokára van leginkább befolyással. A magas értékekből jól látszik az ózon feltételezhető hatása az átlagértékekre és a regresszió paramétereire.

Irodalom

- Aljane F., Toumi I., Ferchichi A. (2007): HPLC determination of sugars and atomic absorption analysis of mineral salts in fresh figs of Tunisian cultivars; *African Journal of Biotechnology* Vol. 6(5):599-602
- Bartolome A. P., Ruperez P., Fuster C. (1996): Changes in soluble sugars of two pineapple fruit cultivars during frozen storage; *Food chemistry* 56(2):163-166
- Badáczy D. Zs., Németh K. E., Kocsis R., Németh Zs. I. (2011): Interactions between plant and environment revealed by the concept of state-dependent correlation; 4th European Conference on Chemistry for Life Sciences (4ECCLS); Program és absztrakt-kötet; Magyar Kémikusok Egyesülete; Budapest; ISBN 978-963-9970-14-4
- Bhaskar P. B., Wu L., Busse J. S., Whitty B. R. , Hamernik A. J., Jansky S. H., Buell C. R., Bethke P. C., Jiang J. (2010): Suppression of the vacuolar invertase gene prevents cold-induced sweetening in potato; *Plant Physiology* 154:939–948
- Boo H., Heo B. Gorinsteinc S., Chond S. (2011): Positive effects of temperature and growth conditions on enzymatic and antioxidant status in lettuce plants; *Plant Science* 181, 479– 484
- Bowes G., Vu J. C. V., Hussain M. W., Pennanen A. H., Allen L. H. Jr. (1996): An overview of how rubisco and carbohydrate metabolism may be regulated at elevated atmospheric CO₂ and temperature; *Agric. Food Sci.* 5:261–270
- Farkas G. (1978): *Növényi biokémia*; Akadémiai Kiadó; Budapest
- Geigenberger P., Reimholz R., Geiger M., Merlo L., Canale, Stitt M. (1997): Regulation of sucrose and starch metabolism in potato tubers in response to short-term water deficit; *Planta* 201:502-518
- Gombkötő G. – Sajgó M. (1985): *Biokémia*; Mezőgazdasági kiadó; Budapest
- Graham I. A., Denby K. J., Leaver C. J. (1994): Carbon catabolite repression regulates glyoxylate cycle gene-expression in cucumber; *Plant Cell* 6:761-772
- Guy C. L., Huber J. L., Huber S. C. (1992): Sucrose phosphate synthase and sucrose accumulation at low temperature; *Plant Physiol.* 100:502-508
- Kaurin A., Junttila O., Hansen J. (1981): Seasonal changes in frost hardiness in cloudberry (*Rubus chamaemorus*) in relation to carbohydrate content with special reference to sucrose; *Plant Physiol.* 52:310-314
- Kim S. J., Padk H. Y. (2007): Changes in sugar composition and related enzyme activities during fruit development in peach cultivars; *Korean journal of horticultural science & technology* 25(3):204-211
- Koch K. E. (1996): Carbohydrate-modulated gene expression in plants; *Annu Rev Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 47:509-540

Kötting O., Kossmann J., Zeeman S. C., Lloyd J. R. (2010): Regulation of starch metabolism: the age of enlightenment; *Current Opinion in Plant Biology* 13:321–329

Krapp A., Hofmann B., Schafer C., Stitt M. (1993): Regulation of expression of *rbcS* and other photosynthetic genes by carbohydrates: a mechanism for the 'sink regulation' of photosynthesis?; *Plant J.* 3:817-828

Hoffmann P. (1987): *Fotoszintézis; Mezőgazdasági Kiadó; Budapest*

Pethő M. (1993): *Mezőgazdasági növények élettana; Akadémia Kiadó; Budapest*

Haraszti E. (1977): *Zsebkönyv a növények életéről; Natura; Budapest*

Hill L. M., Reimholz R., Schroder R., Nielsen T. H., Stitt M. (1996): The onset of sucrose accumulation in cold-stored potato tubers is caused by an increased rate of sucrose synthesis and coincides with low levels of hexose-phosphates, an activation of sucrose phosphate synthase and the appearance of a new form of amylase; *Plant, Cell, Environ.* 19:1223-1237

Hill S. A. (1998): Carbohydrate metabolism in plants, *Trends in Plant Science* 3 (10): 370-371

Jones L. H. (1971): Adaptive responses to temperature in dwarf French beans *Phaseolus vulgaris* L; *Ann. Bot. Lond.* 35:581

Kovács-Nagy E., Bilek A., Lacz E., Bodor P., Sárdi É. (2008): The comparison of grape varieties of different stress tolerance based on the quantitative measurement of carbohydrates. *Int. J. hort. Sci.*; 14(4): 7–10

Matsumoto K., Mm B. K., Oahn V.T.V., Seo J.H., Yoon H.V., Pafl M.K., Hwang Y.S., Chun J. P.(2007): Comparison of sugar compositions and quality parameters during berry ripening between grape cultivars; *Korean Journal of Horticultural Science and Technology* 25(3):230-234

Morison J.I.L., Lawlor D.W. (1999): Interactions between increasing CO₂ concentration and temperature on plant growth; *Plant Cell Environ.* 22:659–682

Nagele T., Henkel S., Hörmiller I., Sauter T., Sawodny O., Ederer M., Heyer A. G. (2010): Mathematical Modeling of the Central Carbohydrate Metabolism in *Arabidopsis* Reveals a Substantial Regulatory Influence of Vacuolar Invertase on Whole Plant Carbon Metabolism; *Plant Physiology* Vol. 153, 262

Németh Zs.I., Sárdi É., Stefanovits-Bányai É. (2009a): State dependent correlations of biochemical variables in plants, *Journal of Chemometrics*; 23, pp. 197-210.; DOI: 10.1002/cem.122

Németh Zs. I. (2009b): Növényi stressz vizsgálata és értelmezése szabályozáselméleti analógiák alapján, Zárójelentés; MTA Bolyai János Ösztöndíj Kutatás (2006-2009), p. 35

Németh Zs. I., Pozsgai-Harsányi M., Stefanovits-Bányai É., Sárdi É. (2009c): Characterization of plant stress syndrome by some correlations of biochemical variables, *Cereal Research Communications Suppl S*, 37, pp 141-144.; DOI: 10.1556/CRC.37.2009. Suppl.141 2

Németh Zs. I., Pozsgai-Harsányi M., Gálos B., Albert L. (2009d): Stress sensitivity of correlation between POD and PPO activities in plants, *Acta Silv. Lign. Hung.* 5, pp 27-45

Prasad P.V.V., Boote K. J., Vu J. C.V., Allen L. H. Jr. (2004): The carbohydrate metabolism enzymes sucrose-P synthase and ADG-pyrophosphorylase in phaseolus bean leaves are up-regulated at elevated growth carbon dioxide and temperature; *Plant Science* 166:1565–1573

Quick P., Siegl G., Neuhaus H. E., Feil R., Stitt M. (1989): Short-term water stress leads to a stimulation of sucrose synthesis by activating sucrose-phosphate synthase; *Planta* 177:536-546

Reimholz R., Geigenberger P., Stitt, M. (1994): Sucrose phosphate synthase is regulated, via metabolites and protein phosphorylation, in potato tubers, in a manner analogous to the enzyme in leaves; *Planta* 192:480-488

Roessner U., Luedemann A., Brust D., Fiehn O., Linke T, Willmitzer L., Fernie R. A. (2011): Metabolic Profiling Allows Comprehensive Phenotyping of Genetically or Environmentally Modified Plant Systems; *The Plant Cell*, Vol. 13: 11–29

Sárdi, É., Velich, I., Hevesi, M., Klement, Z. (1996): The role of endogenous carbohydrates in the Phaseolus-Pseudomonas host-pathogene interaction. 1. Bean ontogenesis and endogenous carbohydrate components. *Hort. Sci. Hung.* 28: 65-69

Sárdi, É., Velich, I., Hevesi, M., Klement, Z. (1999): Ontogenesis- and biotic stress dependent variability of carbohydrate content in snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Z. Naturforsch.* 54c, 782-787

Sheen J. (1994): Feedback-control of gene expression; *Photosynth. Res.* 39:427–438

Szalai I. (1968): *Növényélettan*; Tankönyvkiadó; Budapest

Szilágyi F. (1997-2001): *Fák és cserjék*; "dr. Bányai János" Műszaki Kollégium Székelyudvarhely

Sjef Smeekens (1998): Sugar regulation of gene expression in plants; *Current Opinion in Plant Biology* 1:230–234

Steponkus P. L., Lanphear F. O. (1968): The relationship of carbohydrates to cold acclimation of *Hedera helix* L. cv. Thorndale; *Physiol. Plantarum* 22:777-791

Toroser D., Huber S. C. (1997): Protein phosphorylation as a mechanism for osmotic-stress activation of sucrose-phosphate synthase; *Plant Physiol.* 114:947-955

Udomprasert N., Li P.H., Davis D.W., Markhart A.H. I.I.I. (1995): Effect of root temperatures on leaf gas exchange and growth at high air temperatures in *P. acutifolius* and *P. vulgaris*, *Crop Sci.* 35:490–495

Vu J.C.V., Gesch R.W., Pennanen A.H., Allen L.H. Jr., Boote K.J., Bowes G. (2001): Soybean photosynthesis, rubisco, and carbohydrate enzyme function at supraoptimal temperatures in CO₂; *J. Plant Physiol.* 158:295–307

Winter H., Huber S.C. (2000): Regulation of sucrose metabolism in higher plants: Localization and regulation of activity of key enzymes; Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology 35(4):253-289

www.fotoszintezis.szbk.u-szeged.hu/miafoto/miafoto.htm

www.kislexikon.hu/fotoszintezis.html

www.wikipedia.org/wiki/Fotoszintezis

www.wikipedia.org/wiki/Szachar%C3%B3z

Zrenner R., Stitt M. (1991): Comparison of the effect of rapidly and gradually developing waterstress on carbohydrate metabolism in spinach leaves; Plant Cell Environ. 14:939-946

MELLÉKLETEK

I. Csengery utcai juharfa lombosítási glükóz-fruktóz regresszióinak kovariancia analízise StatsDirect programmal

Grouped linear regression

Source of variation	SSq	DF	MSq	VR
Common slope	203010828,649658	1	203010828,649658	
	69,532138	$P < 0,0001$		
Between slopes	47002258,080048	6	7833709,680008	2,683081
	$P = 0,03$			
Separate residuals	102188414,902837	35	2919668,997224	
Within groups	352201501,632543	42		

Common slope is significant

Difference between slopes is significant

Slope comparisons:

slope 1 (cG-CDW) vs. slope 2 (cG-CDW) = 1,711596 vs. 1,93221

Difference (95% CI) = 0,220614 (-1,096049 to 1,537276)

t = -0,340155 $P = 0,7358$

slope 1 (cG-CDW) vs. slope 3 (cG-CDW) = 1,711596 vs. 1,541193

Difference (95% CI) = 0,170403 (-0,840782 to 1,181587)

t = 0,34211 $P = 0,7343$

slope 1 (cG-CDW) vs. slope 4 (cG-CDW) = 1,711596 vs. 0,876439

Difference (95% CI) = 0,835157 (-0,639913 to 2,310226)

t = 1,149409 $P = 0,2582$

slope 1 (cG-CDW) vs. slope 5 (cG-CDW) = 1,711596 vs. 0,611711

Difference (95% CI) = 1,099885 (-0,280977 to 2,480747)

t = 1,617022 $P = 0,1149$

slope 1 (cG-CDW) vs. slope 6 (cG-CDW) = 1,711596 vs. 0,667899

Difference (95% CI) = 1,043697 (0,165819 to 1,921576)

t = 2,413567 $P = 0,0212$

slope 1 (cG-CDW) vs. slope 7 (cG-CDW) = 1,711596 vs. 0,622253

Difference (95% CI) = 1,089343 (0,050895 to 2,127791)

t = 2,129606 $P = 0,0403$

slope 2 (cG-CDW) vs. slope 3 (cG-CDW) = 1,93221 vs. 1,541193

Difference (95% CI) = 0,391016 (-0,799462 to 1,581494)

t = 0,666796 $P = 0,5093$

slope 2 (cG-CDW) vs. slope 4 (cG-CDW) = 1,93221 vs. 0,876439

Difference (95% CI) = 1,055771 (-0,547531 to 2,659072)

t = 1,336822 $P = 0,1899$

slope 2 (cG-CDW) vs. slope 5 (cG-CDW) = 1,93221 vs. 0,611711

Difference (95% CI) = 1,320499 (-0,196579 to 2,837576)

t = 1,767051 $P = 0,0859$

slope 2 (cG-CDW) vs. slope 6 (cG-CDW) = 1,93221 vs. 0,667899

Difference (95% CI) = 1,264311 (0,184767 to 2,343855)

t = 2,377567 $P = 0,023$

slope 2 (cG-CDW) vs. slope 7 (cG-CDW) = 1,93221 vs. 0,622253

Difference (95% CI) = 1,309957 (0,096236 to 2,523678)

t = 2,191076 $P = 0,0352$

slope 3 (cG-CDW) vs. slope 4 (cG-CDW) = 1,541193 vs. 0,876439

Difference (95% CI) = 0,664754 (-0,698869 to 2,028377)

t = 0,98966 $P = 0,3291$

slope 3 (cG-CDW) vs. slope 5 (cG-CDW) = 1,541193 vs. 0,611711

Difference (95% CI) = 0,929482 (-0,331636 to 2,1906)

t = 1,496251 $P = 0,1436$

slope 3 (cG-CDW) vs. slope 6 (cG-CDW) = 1,541193 vs. 0,667899
 Difference (95% CI) = 0,873295 (0,199271 to 1,547318)
 t = 2,630297 P = 0,0126
slope 3 (cG-CDW) vs. slope 7 (cG-CDW) = 1,541193 vs. 0,622253
 Difference (95% CI) = 0,918941 (0,046008 to 1,791873)
 t = 2,137105 P = 0,0397
slope 4 (cG-CDW) vs. slope 5 (cG-CDW) = 0,876439 vs. 0,611711
 Difference (95% CI) = 0,264728 (-1,3917 to 1,921156)
 t = 0,324449 P = 0,7475
slope 4 (cG-CDW) vs. slope 6 (cG-CDW) = 0,876439 vs. 0,667899
 Difference (95% CI) = 0,208541 (-1,059389 to 1,47647)
 t = 0,333899 P = 0,7404
slope 4 (cG-CDW) vs. slope 7 (cG-CDW) = 0,876439 vs. 0,622253
 Difference (95% CI) = 0,254187 (-1,129774 to 1,638147)
 t = 0,372862 P = 0,7115
slope 5 (cG-CDW) vs. slope 6 (cG-CDW) = 0,611711 vs. 0,667899
 Difference (95% CI) = 0,056187 (-1,100789 to 1,213164)
 t = -0,09859 P = 0,922
slope 5 (cG-CDW) vs. slope 7 (cG-CDW) = 0,611711 vs. 0,622253
 Difference (95% CI) = 0,010542 (-1,27254 to 1,293623)
 t = -0,016679 P = 0,9868
slope 6 (cG-CDW) vs. slope 7 (cG-CDW) = 0,667899 vs. 0,622253
 Difference (95% CI) = 0,045646 (-0,668629 to 0,759921)
 t = 0,129735 P = 0,8975

Covariance analysis

Uncorrected:

Source of variation	YY	xy	xx	DF
Between groups	168411425,488888		76569045,238658	134164737,900363
	6			
Within	352201501,632543		215780353,469337	229353090,438856
	42			
Total	520612927,121432		292349398,707995	363517828,339219
	48			

Corrected:

Source of variation	SSq	DF	MSq	VR
Between groups	136308143,462327	6		22718023,910388
	6,243279			
Within	149190672,982885	41		3638796,902022
Total	285498816,445212	47		

P = 0,0001

Corrected Y means ± SE for baseline mean predictor of 4677,080039:

Y' = 5644,766377 ± 723,707617
 Y' = 5966,50238 ± 725,301247
 Y' = 6823,954616 ± 727,220688
 Y' = 3593,93024 ± 721,059835
 Y' = 3619,687985 ± 760,77776
 Y' = 1532,735615 ± 847,444207
 Y' = 3354,650965 ± 739,827404

Line separations (common slope = 0,940822):

Lines not parallel

line 1 (cG-CDW) vs. line 2 (cG-CDW) vertical separation = -321,736003

95% CI = -2381,19473 to 1737,722723

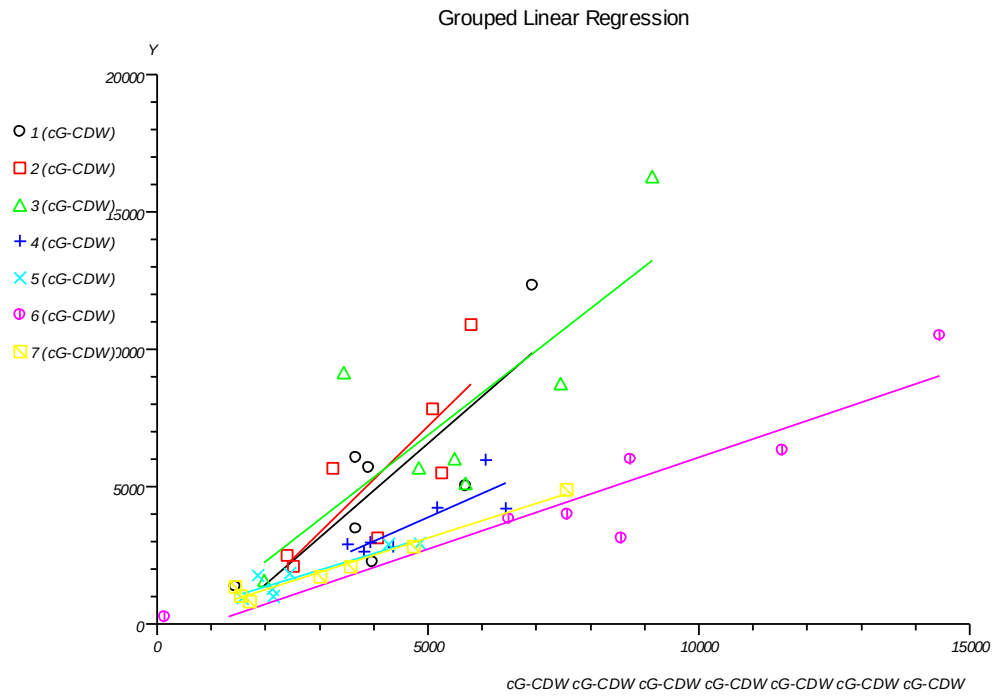
t = -0,3155 (41 df) P = 0,754

line 1 (cG-CDW) vs. line 3 (cG-CDW) vertical separation = -1179,188239

95% CI = -3262,845045 to 904,468566

t = -1,142904 (41 df) P = 0,2597

line 1 (cG-CDW) vs. line 4 (cG-CDW) vertical separation = 2050,836136
 95% CI = -13,573013 to 4115,245286
 t = 2,006263 (41 df) P = 0,0515
line 1 (cG-CDW) vs. line 5 (cG-CDW) vertical separation = 2025,078391
 95% CI = -66,013308 to 4116,170091
 t = 1,955786 (41 df) P = 0,0573
line 1 (cG-CDW) vs. line 6 (cG-CDW) vertical separation = 4112,030762
 95% CI = 1811,425906 to 6412,635618
 t = 3,609666 (41 df) P = 0,0008
line 1 (cG-CDW) vs. line 7 (cG-CDW) vertical separation = 2290,115411
 95% CI = 220,392725 to 4359,838098
 t = 2,23459 (41 df) P = 0,031
line 2 (cG-CDW) vs. line 3 (cG-CDW) vertical separation = -857,452236
 95% CI = -2946,394264 to 1231,489791
 t = -0,828965 (41 df) P = 0,4119
line 2 (cG-CDW) vs. line 4 (cG-CDW) vertical separation = 2372,57214
 95% CI = 305,562739 to 4439,58154
 t = 2,318087 (41 df) P = 0,0255
line 2 (cG-CDW) vs. line 5 (cG-CDW) vertical separation = 2346,814395
 95% CI = 261,200883 to 4432,427907
 t = 2,272467 (41 df) P = 0,0284
line 2 (cG-CDW) vs. line 6 (cG-CDW) vertical separation = 4433,766765
 95% CI = 2118,287897 to 6749,245634
 t = 3,867094 (41 df) P = 0,0004
line 2 (cG-CDW) vs. line 7 (cG-CDW) vertical separation = 2611,851415
 95% CI = 545,186455 to 4678,516375
 t = 2,552296 (41 df) P = 0,0145
line 3 (cG-CDW) vs. line 4 (cG-CDW) vertical separation = 3230,024376
 95% CI = 1163,682021 to 5296,36673
 t = 3,156866 (41 df) P = 0,003
line 3 (cG-CDW) vs. line 5 (cG-CDW) vertical separation = 3204,266631
 95% CI = 1035,014831 to 5373,518431
 t = 2,983124 (41 df) P = 0,0048
line 3 (cG-CDW) vs. line 6 (cG-CDW) vertical separation = 5291,219001
 95% CI = 3113,847771 to 7468,590231
 t = 4,907676 (41 df) P < 0,0001
line 3 (cG-CDW) vs. line 7 (cG-CDW) vertical separation = 3469,303651
 95% CI = 1343,784708 to 5594,822593
 t = 3,296325 (41 df) P = 0,002
line 4 (cG-CDW) vs. line 5 (cG-CDW) vertical separation = -25,757745
 95% CI = -2147,281132 to 2095,765641
 t = -0,02452 (41 df) P = 0,9806
line 4 (cG-CDW) vs. line 6 (cG-CDW) vertical separation = 2061,194626
 95% CI = -177,874097 to 4300,263348
 t = 1,859106 (41 df) P = 0,0702
line 4 (cG-CDW) vs. line 7 (cG-CDW) vertical separation = 239,279275
 95% CI = -1850,31183 to 2328,87038
 t = 0,231258 (41 df) P = 0,8183
line 5 (cG-CDW) vs. line 6 (cG-CDW) vertical separation = 2086,952371
 95% CI = -397,337474 to 4571,242216
 t = 1,696535 (41 df) P = 0,0974
line 5 (cG-CDW) vs. line 7 (cG-CDW) vertical separation = 265,03702
 95% CI = -1800,01024 to 2330,08428
 t = 0,259197 (41 df) P = 0,7968
line 6 (cG-CDW) vs. line 7 (cG-CDW) vertical separation = -1821,915351
 95% CI = -4222,753955 to 578,923254
 t = -1,532561 (41 df) P = 0,1331



II. Kontroll juhárfa lomboszat glükóz-fruktóz regresszióinak kovariancia analízise StatsDirect programmal

Grouped linear regression

<u>Source of variation</u>	<u>SSq</u>	<u>DF</u>	<u>MSq</u>	<u>VR</u>
Common slope	8136001,574546		1	8136001,574546 206,597908
	$P < 0,0001$			
Between slopes	537754,77678	5	107550,955356	2,731047 $P = 0,0378$
Separate residuals	1181425,548837		30	39380,851628
Within groups	9855181,900163		36	

Common slope is significant

Difference between slopes is significant

Slope comparisons:

slope 1 (cG-CDW) vs. *slope 2* (cG-CDW) = 0,544246 vs. 1,055206

Difference (95% CI) = 0,51096 (0,093559 to 0,92836)

t = -2,500041 $P = 0,0181$

slope 1 (cG-CDW) vs. *slope 3* (cG-CDW) = 0,544246 vs. 0,66837

Difference (95% CI) = 0,124124 (-0,327431 to 0,575679)

t = -0,561382 $P = 0,5787$

slope 1 (cG-CDW) vs. *slope 4* (cG-CDW) = 0,544246 vs. 0,643905

Difference (95% CI) = 0,099658 (-0,332694 to 0,532011)

t = -0,470748 $P = 0,6412$

slope 1 (cG-CDW) vs. *slope 5* (cG-CDW) = 0,544246 vs. 0,552109

Difference (95% CI) = 0,007863 (-0,342624 to 0,35835)

t = -0,045816 $P = 0,9638$

slope 1 (cG-CDW) vs. *slope 6* (cG-CDW) = 0,544246 vs. 0,665767

Difference (95% CI) = 0,121521 (-0,516564 to 0,759606)

t = -0,388943 $P = 0,7001$

slope 2 (cG-CDW) vs. *slope 3* (cG-CDW) = 1,055206 vs. 0,66837

Difference (95% CI) = 0,386836 (-0,013996 to 0,787667)

t = 1,970961 $P = 0,058$

slope 2 (cG-CDW) vs. *slope 4* (cG-CDW) = 1,055206 vs. 0,643905

Difference (95% CI) = 0,411301 (0,032234 to 0,790369)

t = 2,215935 $P = 0,0344$

slope 2 (cG-CDW) vs. *slope 5* (cG-CDW) = 1,055206 vs. 0,552109

Difference (95% CI) = 0,503097 (0,220953 to 0,785241)

t = 3,641619 $P = 0,001$

slope 2 (cG-CDW) vs. *slope 6* (cG-CDW) = 1,055206 vs. 0,665767

Difference (95% CI) = 0,389439 (-0,213817 to 0,992694)

t = 1,318413 $P = 0,1973$

slope 3 (cG-CDW) vs. *slope 4* (cG-CDW) = 0,66837 vs. 0,643905

Difference (95% CI) = 0,024466 (-0,391913 to 0,440845)

t = 0,120001 $P = 0,9053$

slope 3 (cG-CDW) vs. *slope 5* (cG-CDW) = 0,66837 vs. 0,552109

Difference (95% CI) = 0,116261 (-0,21432 to 0,446843)

t = 0,718241 $P = 0,4782$

slope 3 (cG-CDW) vs. *slope 6* (cG-CDW) = 0,66837 vs. 0,665767

Difference (95% CI) = 0,002603 (-0,624769 to 0,629975)

t = 0,008474 $P = 0,9933$

slope 4 (cG-CDW) vs. *slope 5* (cG-CDW) = 0,643905 vs. 0,552109

Difference (95% CI) = 0,091795 (-0,212031 to 0,395622)

t = 0,617034 $P = 0,5419$

slope 4 (cG-CDW) vs. *slope 6* (cG-CDW) = 0,643905 vs. 0,665767

Difference (95% CI) = 0,021863 (-0,591833 to 0,635558)

t = -0,072756 P = 0,9425

slope 5 (cG-CDW) vs. slope 6 (cG-CDW) = 0,552109 vs. 0,665767

Difference (95% CI) = 0,113658 (-0,44539 to 0,672706)

t = -0,415208 P = 0,6809

Covariance analysis

Uncorrected:

Source of variation	YY	XY	XX	DF	
Between groups	27507173,858809		27840342,751772		29281425,062556
	5				
Within	9855181,900163		12767278,076932		20034827,673052
	36				
Total	37362355,758972		40607620,828704		49316252,735608
	41				

Corrected:

Source of variation	SSq	DF	MSq	VR	
Between groups	2206351,305451	5		441270,26109	8,983618
Within	1719180,325617	35		49119,437875	
Total	3925531,631068	40			

P < 0,0001

Corrected Y means ± SE for baseline mean predictor of 1415,942381:

Y' = 1416,284332 ± 84,077058

Y' = 2212,260033 ± 117,833324

Y' = 1497,197128 ± 90,965896

Y' = 1680,028435 ± 85,712052

Y' = 1458,015288 ± 83,920283

Y' = 1261,584499 ± 93,490042

Line separations (common slope = 0,637254):

Lines not parallel

line 1 (cG-CDW) vs. line 2 (cG-CDW) vertical separation = -795,9757

95% CI = -1081,346593 to -510,604808

t = -5,662514 (35 df) P < 0,0001

line 1 (cG-CDW) vs. line 3 (cG-CDW) vertical separation = -80,912795

95% CI = -336,534557 to 174,708966

t = -0,642597 (35 df) P = 0,5247

line 1 (cG-CDW) vs. line 4 (cG-CDW) vertical separation = -263,744103

95% CI = -509,689138 to -17,799067

t = -2,177027 (35 df) P = 0,0363

line 1 (cG-CDW) vs. line 5 (cG-CDW) vertical separation = -41,730956

95% CI = -282,268689 to 198,806778

t = -0,352204 (35 df) P = 0,7268

line 1 (cG-CDW) vs. line 6 (cG-CDW) vertical separation = 154,699834

95% CI = -105,339554 to 414,739222

t = 1,20773 (35 df) P = 0,2352

line 2 (cG-CDW) vs. line 3 (cG-CDW) vertical separation = 715,062905

95% CI = 375,133731 to 1054,992079

t = 4,270463 (35 df) P = 0,0001

line 2 (cG-CDW) vs. line 4 (cG-CDW) vertical separation = 532,231598

95% CI = 216,161369 to 848,301827

t = 3,418505 (35 df) P = 0,0016

line 2 (cG-CDW) vs. line 5 (cG-CDW) vertical separation = 754,244745

95% CI = 466,502422 to 1041,987068

t = 5,321422 (35 df) P < 0,0001

line 2 (cG-CDW) vs. line 6 (cG-CDW) vertical separation = 950,675534

95% CI = 601,960342 to 1299,390726

t = 5,534528 (35 df) P < 0,0001

line 3 (cG-CDW) vs. line 4 (cG-CDW) vertical separation = -182,831307

95% CI = -425,884066 to 60,221451
 t = -1,527106 (35 df) P = 0,1357
 line 3 (cG-CDW) vs. line 5 (cG-CDW) vertical separation = 39,18184
 95% CI = -214,994995 to 293,358675
 t = 0,312945 (35 df) P = 0,7562
 line 3 (cG-CDW) vs. line 6 (cG-CDW) vertical separation = 235,612629
 95% CI = -5,198811 to 476,424069
 t = 1,98628 (35 df) P = 0,0549
 line 4 (cG-CDW) vs. line 5 (cG-CDW) vertical separation = 222,013147
 95% CI = -23,056116 to 467,08241
 t = 1,839115 (35 df) P = 0,0744
 line 4 (cG-CDW) vs. line 6 (cG-CDW) vertical separation = 418,443936
 95% CI = 173,314295 to 663,573578
 t = 3,465457 (35 df) P = 0,0014
 line 5 (cG-CDW) vs. line 6 (cG-CDW) vertical separation = 196,430789
 95% CI = -61,981176 to 454,842755
 t = 1,543178 (35 df) P = 0,1318

