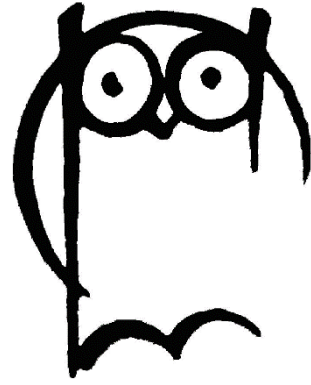


Debreceni Egyetem
Műszaki Kar
Környezetmérnöki Tanszék



Öntöző vizek klorid-tartalmának hatása a növényfejlődésre

**Készítette: Zalai Levente IV. évfolyamos
környezetmérnöki BSc szakos hallgató**

Témavezető: Izbékiné Szabolcsik Andrea, tanársegéd,
Dr. Bodnár Ildikó, főiskolai tanár

Tanszékvezető: Dr. Kocsis Dénes László

Debrecen
2023.11.14.

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés.....	3
2.	Szakirodalmi áttekintés.....	5
2.1.	Vízminőségi paraméterek: sótartalom, kloridion-tartalom, vas- és mangántartalom.....	5
2.2.	Hidropónikus modellek: típusok és működési módszerek.....	6
2.2.1.	A kanóc rendszer.....	6
2.2.2.	A csepegtető rendszer.....	6
2.2.3.	Az ár-apály rendszer.....	7
2.2.4.	A (mély)vízkultúra-rendszer.....	7
2.2.5.	A tápanyagfilm-technikai rendszer.....	8
2.2.6.	Aeropónikus rendszer.....	8
2.2.7.	Hidropónikus ablakos gazdálkodás: egy új modell.....	9
2.3.	A hidrokultúra előnyei és korlátjai.....	9
3.	Anyag és módszertan.....	11
3.1.	Kutatás, palántanevelés menete.....	11
3.2.	Laboratóriumi vízkémiai vizsgálatok.....	14
3.2.1.	A pH mérése.....	15
3.2.2.	Fajlagos elektromos vezetőképesség mérése.....	16
3.2.3.	Ionkromatográfiás vizsgálat (IC).....	17
3.3.	Spektrofotometriás vizsgálat jellemzése.....	19
3.4.	Elemanalitikai vizsgálatok (ICP-OES) jellemzése.....	21
4.	Eredmények és értékelésük.....	24
4.1.	Laboratóriumi vízkémiai vizsgálatok eredményei és azok kiértékelése (pH, EC, T) a növény fejlődés szempontjából.....	24
4.2.	Ionkromatográfiás (IC) vizsgálat eredményei és kiértékelésük.....	29
4.3.	A vizek mikroelemtartalmának vizsgálata.....	36
4.4.	Gyökér- és szárhossz eredmények és értékelésük.....	37
4.5.	Növények nedves és száraz biomassa tömege, nedveségtartalma víztípus alapján.....	39
4.6.	Növények mikro- és makroelem tartalma.....	43
4.7.	Fotoszintetikus aktivitást befolyásoló pigmentek mennyisége.....	49
5.	Következtetések és javaslatok.....	53
6.	Összefoglalás.....	55
7.	Szakirodalmi hivatkozás.....	57

1. Bevezetés

A hidropónikus rendszerek olyan termesztési technológiák, amelyek talajszubsztrátumok helyett tápoldatokat használnak növénytermesztési célokra. Az is előfordul, hogy a növények termesztésére természetes vagy mesterséges közeget használnak, mint például: tőzegmoha, fűrészpor, faszén, kőzetgyapot, kókuszrost, agyaggranulátum, kavics vagy kerámia [1]. A hidropónikus rendszerek számos előnnyel rendelkeznek, többek között: a víz és a tápanyagok újrafelhasználásának lehetősége, könnyű a környezeti ellenőrzés, valamint a talajból származó betegségek és kártevők megelőzése. A fejlett országokban nagy mennyiségű növényt termelnek hidropónikus rendszerekben a fogyasztói kereslet kielégítésére. Az elmúlt évtizedekben a hidrokultúrák kutatások folyamatosan növekedtek, különösen a termesztés termelékenységének javítása és a hidrokultúrák rendszerek korlátainak megoldása terén. Számos különböző növény termesztetőségét vizsgáltak hidrokultúrák rendszerekben, többek között babot, uborkát, salátát, paradicsomot. A kutatások többsége a növények növekedésének elősegítésére, a tápanyag-gazdálkodásra és a növényi kórokozók elleni védekező rendszer vizsgálatára, valamint a tápanyaghiány, a nehézfémek, a sók, a szárazság, a magas hőmérséklet okozta stresszre adott válaszreakciókra összpontosított [2]. A hidropónikus növénytermesztési technikákat az 1920-as évek végén kezdték alkalmazni és az 1940-es években fejlesztették ki a kereskedelmi méretű rendszereket. A legtöbb hidrokultúrák rendszer automatikusan működik, a különböző növények igényei alapján a rendszer szabályozza pl. a vízmennyiséget, a tápanyagokat és a megvilágítási időt is [3]. A különböző természetes vagy mesterséges közegek különböző szemcseméretet, formát és áteresztő képességet biztosíthatnak; mindegyik közeg másképp hat a növények fejlődésére és a gyökerekre, mivel különböző mértékben tartják vissza a vizet, támogatják a növényeket. A vízben terjedő betegségek problémát okozhatnak a vízcső-rendszereken keresztül. A *Colletotrichum*, *Fusarium*, *Phytophthora*, *Pythium* és *Phytophthora* fajok a hidrokultúrák rendszerekben gyakran észlelt növényi kórokozók [4], [5].

Kutatómunkám kiemelt célja egy ún. csepegtető hidropóniás rendszerbe beültethető különböző növénypalánták előnevelése és részletes vizsgálata. A témát egy gyakorlati probléma indukálta: a hidropóniás technológiát fejlesztő és alkalmazó cég (Green Drops Farm Kft.) a növények termesztése során sómentes vizet alkalmazott, amelynek előállítási költségei magasak, de a céljuk gazdaságosabb, és környezetkímélőbb működés megvalósítása. Ennek tükrében az alkalmazott ionmentes vizet, - melybe megfelelő tápoldatot adagolva képezték a

szükséges makro- és mikrotápanyagokat tartalmazó öntözővizet - a tervek szerint ivóvízre cserélnék, amely viszont magasabb kloridion tartalommal rendelkezik. A klorid-tartalomnak zavaró hatása lehet a növények fejlődésére.

Munkám során vizsgálom, hogy a *rukkola*, *bazsalikom*, *amerikai barnatépősaláta*, *Lolla Rossa* fejlődésére hogyan hat a tápoldatos öntözővízhez adagolt NaCl, mint jól ismert standard klorid tartalmú só mennyisége. Ezen túlmenően vizsgálom az öntözővizek pH, fajlagos vezetőképesség, anion és kation koncentrációit, és elemzem a növények és az öntözővizek makro- és mikroelemtartalmát is. Ez utóbbi vizsgálat célja az volt, hogy a magasabb kloridion tartalom hatását részletesen tanulmányozzam és esetleg kimutassam, hogy ez befolyásolja-e az egyes esszenciális vagy toxikus elemek beépülését a növénymintákba.

2. Szakirodalmi áttekintés

Ebben a fejezetben bemutatom a vizsgálatok során követett vízminőségi mutatókat, a hidropónikus rendszerek főbb típusait, működéseit, továbbá azt, hogy a hidrokultúrák rendszereknek milyen előnyei és milyen korlátjai vannak.

2.1. Vízminőségi paraméterek: sótartalom, kloridion-tartalom, vas- és mangántartalom

Sótartalom: Növénytermesztésben fontos az öntözővíz fajlagos vezetőképességének a figyelembevétele. Az elektromos vezetőképességet (EC) mS/cm, vagy μ S/cm egységben fejezik ki. Ez a vízminőségi jellemző az összes összetevő jelenlétének összegzését adja meg oldott formában és ionos szerkezetben, és elsősorban a szervetlen ionos összetevők mennyiségére való következtetésre szolgál. Az öntözött kultúrákban a tápanyagokat gyakran oldott formában biztosítják (tápoldatos kultúra). A tápoldatkészítés alapja az öntözővíz, amelynek sótartalma alapvetően meghatározza az elkészített tápoldat EC-értékét. Az öntözővíz sótartalmát a műtrágyák (tápoldat) által bevitt sók növelik, így alacsony sótartalmú öntözővízzel alacsony EC-értékű, de mégis kedvező tápanyagarányú oldatot lehet készíteni. Ha a tervezett műtrágyákat magasabb sótartalmú vízhez adjuk, az oldat EC-értéke olyan mértékben megnőhet, hogy az káros lehet a növényre [6].

Klorid-tartalom: Gyakran mondják, hogy "az én vizem nagyon klóros" - ez az öntözővíz minősége szempontjából nem helyes állítás, mivel a vizet fertőtlenítés céljából klórozzák, ami szabad klór (Cl_2) jelenlétét feltételezi. Ami a kertészeti felhasználás során problémát jelenthet, az az oldott kloridion (Cl^-) túlzott jelenléte. A kloridion minden természetes vízben jelen van, de ritkán éri el az elfogadhatatlan szintet (általában nem haladja meg a 20 mg/l-t). Az antropogén szennyezés (talaj, víz) miatt, különösen az ásott és sekély kutakban, a kloridion szintje (akár 50-200 mg/l) olyan magas lehet, hogy akadályozza a termesztést, mérgező lehet a növényekre, sőt túlzott sótartalmat okozhat a gyökérzónában. A zöldségnövények meglehetősen eltérően tolerálják a magas kloridion szintet: míg a paprika, a cukkini és a hagyma nagyon érzékeny, a paradicsom és a káposztafélék kevésbé, a zeller és a spárga pedig kifejezetten igényli a kloridion jelenlétét a gyökérzónában. Általános vizsgálati tapasztalat az is, hogy a magasabb kloridion tartalmú vizek pH-ja alacsonyabb, inkább enyhén savas [6].

Vas- és mangán-tartalom a tápoldatokban: A víz magasabb vas- és mangántartalma (<2 mg/l) általában nem jelent problémát a növények termesztése szempontjából, a vas- és a mangán

ebben a koncentrációtartományban követelmény. Magas vastartalom esetén azonban könnyen előfordulhat, hogy a tápoldat szállítása során a rosszul oldódó foszfátok vagy vasoxid kicsapódik, eltömítve a szűrő- és elosztórendszereket. A kicsapódó ionok körüli nyálkás baktériumtelepek szintén összefüggésbe hozhatók a csepegtető szűrők eltömődésével. A mangán a vas gyakori kísérője, és a mangán-tartalmú kőzetek nagyobb nyomáson történő feloldódásával kerül a víztartó rétegekbe. A felszín alatt is maradhat oldott állapotban, de a felszínre kerülve az Mn^{2+} oxidálódik, és oldhatatlan csapadék formájában kiválik az oldatból [6].

2.2. Hidropónikus modellek: típusok és működési módszerek

A hidropónikus rendszerek nagymértékben testre szabhatók, és számos módosított változatot használtak már az egyes növények termesztési körülményeinek optimalizálására. Két formájuk van attól függően, hogy a tápoldatot és a hordozó közeget újra felhasználják vagy újrahasznosítják-e. A nyitott rendszerekben a tápoldatot és a hordozó közeget nem használják/hasznosítják újra, míg a zárt rendszerekben újra felhasználják vagy újrahasznosítják. Általánosságban elmondható, hogy a nyitott hidrokultúrás rendszerek kevésbé érzékenyek a víz sótartalmára, mint a zárt rendszerek, de a zárt rendszerek költséghatékonyabbak, mint a nyitott rendszerek. A továbbiakban hat általánosan használt hidrokultúrás rendszert ismertetek részletesebben: *a kanóc, a csepegtető, az apályos, a vízkultúrás, a tápanyagfilmes, az aeropónikus és a nemrégiben bevezetett windowfarm modellt* [7].

2.2.1. A kanóc rendszer

A kanóc vagy passzív rendszer kiváló modell a beltéri növények termesztésére: ez egy önellátó modell, és nem igényel vízszivattyút. A vizet vagy a tápoldatot egy tartályban lévő kanócon vagy szálas anyagokon (általában nejlon) keresztül juttatjuk be, amelyek kapilláris hatás révén képesek a vizet felszívni és a tartályból a gyökérterületre szállítani. Ez a modell hatékonyan gátolja a túlöntözéssel járó betegségeket, de a kanócrendszer nem képes nagyméretű, hosszú szárú növények számára biztosítani a megfelelő vízmennyiséget [7].

2.2.2. A csepegtető rendszer

A víztartályban lévő vizet vagy tápoldatot egy szivattyú juttatja az egyes növényekhez vagy edényekhez, a vízmennyiséget pedig egy elektronikus időzítő állítja be [8]. A csepegtető rendszer - az újrahasznosított víz vagy tápoldat feldolgozásától függően - két modellre osztható, visszanyerő és nem visszanyerő rendszerekre. A visszanyerő rendszerben a vizet vagy tápoldatot összegyűjtik és visszavezetik a tartályba, majd a rendszeren keresztül visszaforgatják

[9]. Ez gazdaságosabbá teszi a visszanyerés nélküli modellnél, de az oldatok újrahasználata pH-változást és algák vagy penészgombák szaporodását eredményezheti a tartályban vagy a csőrendszerben. A nem visszanyerő csepegtető rendszerben a víz vagy tápoldat mennyiségét gyakran ellenőrizni kell a tartályban, hogy elegendő víz vagy tápoldat jusson a növények gyökereihez. A rendszer érzékeny az áramkimaradásra is, amely stresszfaktor vagy a növények pusztulását okozza[8].

2.2.3. Az ár-apály rendszer

Ez a modell automatikus elárasztásos és lefolyásos öntözési technikát alkalmaz, amelyben a növényeket átmenetileg és időszakosan elárasztják. A különböző közegek alkalmazása a gyökérterület körül a rendszer erőssége. A tartályban lévő víz vagy tápoldat egy vízszivattyú segítségével felemelkedik a növekedési tálcába, felhalmozódik egy bizonyos szintig, és egy meghatározott ideig a növekedési tálcában marad, ahol a növényeket vízzel és tápanyaggal látja el. Egy előre meghatározott idő elteltével az oldatot egy csőrendszeren keresztül visszaengedik a tartályba. Ez a keringtető rendszer folyamatos megfigyelést igényel a rendszerbe juttatott víz mennyiségének szabályozásához. Bár sokféle növényt lehet termesztetni és nagy mennyiségű vizet biztosítani számukra, ebben a rendszerben könnyen előfordulhatnak gyökérbetegségek, valamint algák vagy penészgombák szaporodása; ezért néhány módosított, ún. vízáramlásos rendszer szűrési lépést vagy más módszert tartalmaz a víz sterilizálására [10].

2.2.4. A (mély)víz kultúra-rendszer

A vízkultúra-rendszer egy egyszerű modell, amely egy tartályból, egy léggömből, egy csőrendszerből, egy légszivattyúból és egy úszó platformból áll. Az oldott oxigén megtartására szolgáló levegőztetési módszerek fejlesztésével kifejlesztették a mélyvízi kultúra rendszerét, így a növényeket úgy lehet termesztetni, hogy a gyökerek folyamatosan a vízben lebegnek. A kanócrendszerrel ellentétben ez aktívan biztosítja a tápanyagot: egy úszó platform tartja a növényeket vagy cserepeket egy tartályban, ahol a gyökérrészek folyamatosan vízben vagy tápoldatban vannak elhelyezve, az oxigénellátást pedig egy légszivattyú és egy ún. léggömb biztosítja. A termesztési feltételek optimalizálásához figyelemmel kell kísérni az oxigén- és tápanyagkoncentrációt, a sótartalmat és a pH-értéket. Bár mindenféle növény, különösen az uborka és a retek jól fejlődik ebben a rendszerben, a nagyméretű vagy hosszúszerű növények nem, valamint az algák és a penészgombák gyorsan elszaporodhatnak a tározóban [11].

2.2.5. A tápanyagfilm-technikai rendszer

A tápanyagfilm-technika (NFT) rendszerét az 1960-as években hozták létre az ár-ápany rendszerek gyenge pontjainak ellensúlyozására. Az NFT-rendszerek az áramlás és a vízmélység szabályozásával folyamatosan vizet és tápanyagot tudnak biztosítani, és oxigénben gazdag körülményeket teremtenek. A víz vagy egy tartályban lévő tápoldat kering az egész rendszerben; a víz egy időszabályozás nélküli vízszivattyúval kerül a növekedési tálca, majd folyamatosan áramlik a gyökerek körül [12]. A felhasznált oldatot összegyűjtik és újrahasználik, a vízmennyiséget pedig a tálca lejtése és a vízszivattyú teljesítménye szabályozza. A gyökerek azonban fogékonyak a gombafertőzésre, mivel folyamatosan vízben vagy tápoldatban vannak. Egy NFT rendszerben figyelni kell tehát a gyökerekre, melyek nagyon gyorsan terjednek, és könnyen túlnőhetik a szivattyút. Fontos továbbá a légcseré, a közeg nélkül a gyökérzóna kevésbé védett a hőstresszel szemben. Mint minden hidroforos rendszer esetében, a tápoldat hőmérséklete is fontos szempont. A 18°C körüli hőmérséklet az ideális, amelyen a növények a legjobban tudják felvenni a tápanyagokat és az oldott oxigént. A beltérben, mesterséges megvilágítás mellett termesztett növények több vizet vesznek fel, mint tápanyagot - ez az EC-szint folyamatos emelkedését eredményezi. Továbbá a pH-értéket 5,8 és 6,2 között kell tartani. Betakarításkor ügyelni kell arra, hogy a növényt megfelelően megtámasszuk, mivel a gyökerek kevésbé bírják a súlyt, mint a talajban termesztésnél [13].

2.2.6. Aeroponikus rendszer

Egy mikroinjektáló fűvókával ellátott nagynyomású permetező segítségével vízzel vagy tápoldattal permetezik a gyökerek köré a vizet, és ez magas oxigéntartalmú tápoldatot biztosít a növények számára. A cserepek vagy növények fenntartása érdekében a víz vagy tápoldat köd formájában van, és egy speciális fűvóka és egy elektronikus időzítő segítségével meghatározott ideig adagolják. A ködképzési ciklusok testre szabása az egyes növényekhez fontos, mivel gyökereik ki vannak téve a levegőnek, és gyorsan kiszáradhatnak. A ködöt könnyen befolyásolhatja a külső hőmérséklet, ami megnehezíti e rendszerek működését hideg vagy fagyos körülmények között. Ezt a rendszert ritkán használják kereskedelmi forgalomban, a rendszer telepítése és karbantartása költséges, mivel gyakori tisztítást igényel a növénybetegségek és a szórófejek eltömődésének megelőzése érdekében. Az aeroponikus rendszerek részleges meghibásodása is könnyen károsíthatja vagy elpusztíthatja a növényeket [7].

2.2.7. Hidropónikus ablakos gazdálkodás: egy új modell

Az ablakos gazdálkodás egy új koncepció a városi mezőgazdaságban a helytakarékoság érdekében, és lehetővé teszi a lakosok számára, hogy egész évben zöldségeket és fűszernövényeket termeljenek városi környezetben egy rendelkezésre álló ablakkal. Az ablakos farmrendszer általában egy egyszerű háztartási anyagokból épített függőleges hidropónikus rendszer, beleértve a műanyag palackokat, egy víztartályt és egy kisméretű vízszivattyút csövekkel. A víz egy szivattyú és egy elektronikus időzítő segítségével automatikus csepegtető rendszerben kering a rendszerben. A napfény természetes megvilágítást biztosít, bár felhős napokon mesterséges fényre is szükség lehet [7].

2.3. A hidrokultúra előnyei és korlátjai

A hidropónikus rendszereknek számos előnye van a talajban termesztett növényekkel szemben. A hidropónia még olyan területeken is jól működik, amelyek egyébként alkalmatlanok a növénytermesztésre a talajt szennyező mérgező vegyi anyagok vagy nehézfémek miatt. A beltéri hidropónikus rendszerek a növénytermesztés optimalizálása érdekében megkönnyítik a növekedési feltételeket, például a hőmérséklet, a víz áramlási sebessége és mennyisége, a tápanyagok, a relatív páratartalom és a világítás időtartama szabályozását is. Ezenkívül a hidrokultúrás rendszerekben a növényeket nem befolyásolja könnyen az éghajlatváltozás, ezért a növények egész évben termesztethetők a legkülönbözőbb körülmények között. Ezeket a rendszereket stabil és egyenletes termés mennyiség jellemzi: paradicsom, 14-74 kg/m²; uborka, 6900 kg/m²; saláta, 5200 kg/m²; bab, 5 kg/m²; egyenletes termelési minőség mellett. A rendszerekben egyenletes az eloszlás a növények között; a műtrágyák hatékony felhasználása és költségmegtakarítás is kiemelt jellemző; továbbá a pH és a tápanyag mennyiségének könnyű szabályozása. A közeg és az összes anyag könnyű kezelése és a higiéniai feltételek fenntartása további előnyként adható meg [14].

A hidrokultúra korlátjai a következők:

Magas a kezdeti beszerzési költség a készletekkel kapcsolatban, valamint a folyamatos csere költségek a karbantartás miatt. Hulladékanyagok és magas tápanyagtartalmú hidrokultúrás hulladékkörmag keletkezhet a neveltetés során. A hidrokultúrás rendszer veszélyeztetett az áramkimaradásra, ami a víz- vagy tápanyagellátás problémáihoz és a kiszáradáshoz vezethet. A fitopatogének könnyen elterjedhetnek a vízcsőrendszerekben. Megfelelő szakembereket kell alkalmazni a rendszerek karbantartásához, illetve az optimális termeléshez. Tápanyagszükséglet háttér korlát lehet a tápanyagok mennyiségének szabályozásához,

valamint nemkívánatos algák és gombák növekedhetnek a tápoldatban. A biofilm felhalmozódhat a rendszerben, ami zavarja a tápanyagfelvételt és csökkenti a rendszer élettartamát, valamint nem minden növény termeszthető hidropónikus rendszerekben [7].

Hidropónikus rendszerekben alkalmazható növények:

A hidropónikus rendszerekben gyümölcsök, zöldségek, fűszernövények, gyógynövények egyaránt termeszthetők.

Ezek a következők lehetnek: tárkony, borsmenta, zöld menta, oregánó, bazsalikom, zsálya, citromfű, rozmaring, saláta, spenót, paradicsom, paprika, uborka, zeller, ördögi borostyán, béke liliom, kínai pénzvirág, kínai örökzöld, szamóca, kakukkfű, viola, vízitorma, görögdinnye, csipkebogyó, sóska, dália, hegedűlevelű füge, szőlő, pozsgafa, kelkáposzta, bab, áfonya, borágó, káposzta, szegfű, macskamenta, kamilla, orchideák, petúnia, retek, levendula, koriander, sárgarépa, brokkoli, citromfű, hidropónikus articsóka, kapor, burgonya, mángold, rukkola [15].

A salátafélét lehet termeszteni a leggyorsabban hidropónikus rendszerekben, mert azok fejlődnek a legintenzívebben. A Green Drops Farm Kft-nél végzett munkatapasztalataim alapján ilyen salátafélék például: Lolla Rossa, amerikai barna tépősaláta, fejes saláta, római saláta.

3. Anyag és módszertan

Ezen fejezetben a kutatást, a palántanevelés menetét ismertetem, továbbá azt, hogy milyen eszközökkel, laboratóriumi műszerekkel történtek a vizsgálatok. A fejezetben a laboratóriumi vízkémiai vizsgálatokat, a pH mérés, a fajlagos elektromos vezetőképesség, az ionkromatográfiás, az elemanalitikai és a spektrofotometriás vizsgálatokat jellemzem. A növényminták esetében mértem fotoszintetikus pigmenttartalmat, és elemtartalmat is.

3.1. Kutatás, palántanevelés menete

A palántaneveléshez kapcsolódó kutatásomat a Debreceni Egyetem Műszaki Kar Környezetmérnöki Tanszék Levegőtisztaságvédelmi laborjában végeztem.

A vizsgálat 4 fajta növényvel történt: **zöld bazsalikom** (*Ocimum basilicum*), **rukkola** (*Eruca sativa*), **Lolla Rossa tépősaláta** (*Lactuca sativa*), **amerikai barna tépősaláta** (*Lactuca sativa* var. *Crispa*).

A bazsalikom számos vitamint és ásványi anyagot, valamint antioxidánsokat, például luteint, zeaxantint, béta-karotint és béta-kriptoxantint tartalmaz. Számos egészségügyi előnye ezekből az antioxidánsokból, valamint illóolajaiból származik [16].

A rukkola tele van antioxidánsokkal. A rukkola glükozinolátokat tartalmaz. Ezek a természetes anyagok, amelyek a rukkola kesernyés ízét és erős illatát adják, védelmet nyújthatnak bizonyos rákos megbetegedésekkel szemben, beleértve a mell-, prosztatata-, tüdő- és vastagbélrákot. Bőséges K-vitamint tartalmaz, ami jól tesz a csontoknak, és segíthet megelőzni a csontritkulást [17].

A Lolla Rossa egy olasz vörös, laza levelű tépősalátafajta. Ez a salátafajta vasat, magnéziumot és káliumot tartalmaz, ami segíti szervezetünk anyagcsere-funkcióinak fokozását. Ezenkívül a Lolla Rossa B-vitamin-komplexet tartalmaz, amely segíti az anyagcserét [18].

Az amerikai barna tépősaláta hasonló tulajdonságokkal rendelkezik, mint a Lolla Rossa, mivel a tépősalátafajba tartozik. Levele belül zöld, szélen pedig barna színű. Nem hajlamosak a káros nitrátok felhalmozására. Vitamin és ásványi sótartalma magas [19].

A következőkben a **palántanevelés** menetét ismertetem részletesebben. Egy propagátorba 20 db kőzetgyapot kockát raktam, növényeként 5 db gyapotkockát jelentett. 3% -os H_2O_2 oldattal áttöröltem a tálcákat fertőtlenítés céljából. A kőzetgyapot kockákat körülbelül 2,5 liter pH beállított vízbe kellett áztatni. Előzetes eredmények alapján a tápoldat pH értékét 6,5 körülire állítottam be 24,5 (m/m)%-os foszforsav adagolással. A kőzetgyapot kockák jól felszívták a tápoldatot, ez szemmel jól látható volt, ezért könnyen beazonosítható volt, hogy mikor nedvesedett át teljes mértékben a kőzetgyapotkocka. A nedvesített kockákat elvágtam és úgy helyeztem el a propagátorokba, hogy a tápoldatos víz egyenlően mindenhova eljusson.

A következő lépés a **vetés** volt: Vetésnél nem tömegre néztem a magokat, hanem darabszámba. Egy propagátorban:

- 5 db Lolla Rossa/kocka (25 db/5 kocka)
- 5 db Amerika barna tépősaláta/kocka (25 db/5 kocka)
- 10 db Rukkola/kocka (50 db/5 kocka)
- 10 db Bazsalikom/kocka (50 db/5 kocka) került.

A vetést követően a gyapot kockákat vermiculittal letakartam, ahogyan ezt az 1. ábra is szemlélteti. Permetező flakon segítségével végig spricceltem a vermiculitot. Így egyenletes nedvesítést alkalmaztam. A vermiculit felülete száraz és be kellett nedvesíteni, víz hatására elnehezedett és ráült a kőzetgyapotra. A vermiculit a természetben előforduló ásvány, amely fényes pelyhek formájában jelenik meg, színe a sötétszürkétől a homokbarnáig terjed. Ezeket a pelyheket, amelyek pontosabban egy hidratált magnézium-vas-alumínium-szilikát ásványi anyagból állnak, egy erre a célra épített kereskedelmi kemencében melegítik fel, ahol aztán kitágulnak és harmonika alakot vesznek fel, majdnem olyanok, mint egy apró harmonika. A kertészetben a vermiculitnak ezt a változatát használják leggyakrabban a talajminőség javítására, illetve a palánták gyorsabb meggyökeresedéséhez [20].



1. ábra Vermiculittal megszórta gyapotkockák [saját fotó]

Ezután a propagátorra ráhelyeztem a fedelét, amelyen található szellőző nyílást zárt állásba állítottam. Ha a búra belső falán pára jelenik meg, akkor ki kell nyitni a nyílást. A vetést követő 2. napon levettem a propagátorok fedelét.

A vetést követő 2. napon az automatikus **világítást bekapcsoltam**, addig nem volt szükséges. Az automatikus világítás 6:00-18:00 működött, utána lekapcsolt. A világítás alkalmával Secret Jardin TLED 54 cm LED paneltípust (2. ábra) használtunk. Napi szinten figyeltem a palánták fejlődését, melyet fotókkal dokumentáltam. Erre azért volt szükség, mert ha a levelek elkezdtek volna sárgulni az azt jelenti, hogy sok a fény, és ebben az esetben csökkenteni kellene a fényintenzitást, azaz az egyik lámpatestet ki kellett volna kapcsolni. Ha pedig kevés lett volna a fény, akkor a palánták elkezdtek volna megnyúlni, és ebben az esetben több lámpatest használata lett volna indokolt.



2. ábra: A beállított 4 propagátor LED világítással [Saját fotó]

Folyamatosan figyeltem a levelek hátoldalát is, hogy nem jelenik-e meg rajtuk esetlegesen kártevő, ugyanis ezt ún. biorovarcsapdával kell visszaszorítani.

A palántákat körülbelül kétnaponta pH beállított tápoldatos vízzel öntöztem. Öntözéskor a propagátorban a víz körülbelül 1 cm magasan állt. Alkalmazott tápoldat (termék) a **Hydro SuperMix**, mely Európai Közösségi műtrágya (EK műtrágyák) és NPK műtrágyák oldata 7-4-5, és az alábbi összetevőket tartalmazza:

- 7% összes nitrogén, ebből: 3% ammóniás nitrogén, 4% nitrogén-nitrogén.
- 4% foszfor-pentoxid, vízben oldódó
- 5% kálium-oxid, vízben oldódó.

Mikrotápanyagok:

- Vízben oldódó 0,036% vas, DTPA kelátos
- Vízben oldódó EDTA kelátos: 0,004% cink és 0,01% mangán [16].

4 db propagátor került beállításra ezek száma, tartalma: 800 ml vízhez 2 ml tápoldat szükséges így 600 ml vízhez 1,5 ml tápoldatot kellett adagolni, valamint 6 ml kloridion tartalmú oldatot. A törzsoldat 20 g/l kloridion tartalmú oldat, amelynek készítéséhez 32,99 gramm NaCl szilárd vegyszert oldottam fel 1 liter ultratiszta vízben. Az öntözővízmintákhoz hozzáadott kloridion tartalom 200 mg/l körüli volt.

A propagátorok és milyen víz típust tartalmaztak a palántanevelés folyamán:

- 1. Ultratisztavíz + tápoldat (UT+TPO)
- 2. Ultratisztavíz + tápoldat + Cl⁻ (UT+TPO+Cl⁻)
- 3. Ivóvíz + tápoldat (IV+TPO)
- 4. Ivóvíz + tápoldat + Cl⁻ (IV+TPO+Cl⁻)

A pH és fajlagos elektromos vezetőképesség értékeket követtem az új (elkészített, öntözéshez szükséges víz) és korábbi vízre (2 nap után a kockák alatt megmaradt víz) vonatkozóan is, ill. a mintákból félre tettem ionkromatográfiás vizsgálatra is. A vizsgálat leállításakor a növények szár - és gyökérhosszát, ill. a nedves biomassa tömegüket kockánként megmértem. A levélmintákban lévő klorofilltartalmat spektrofotometriásan határoztam meg. A szárított növényeket pedig dörzsmozsárban porítással előkészítettem elemanalitikai vizsgálatra.

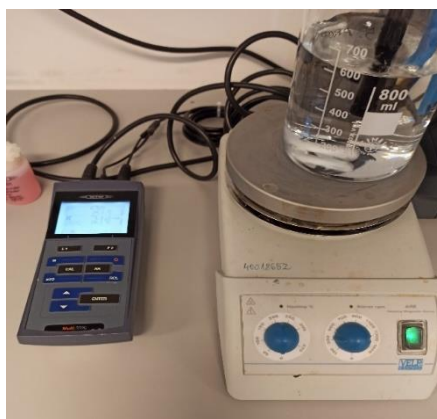
3.2. Laboratóriumi vízkémiai vizsgálatok

A vizsgálatokat a Debreceni Egyetem Műszaki Kar Környezetmérnöki Tanszék Vízminőségvédelmi, valamint a Levegőtisztaságvédelmi laboratóriumában végeztem el. A propagátorokban lévő víz esetében meghatároztam a fajlagos vezetőképességet (EC), pH-t, ezekhez tartozó hőmérsékletet, és az ionösszetételt ionkromatográfiás készülékkel. A 2 nap után kockák alatt maradt víz, illetve az elkészített új öntöző víz paramétereire voltam kíváncsi, azaz, hogy milyen mértékben változott az iontartalom, sótartalom.

A vizsgálat lépései:

- A mérőműszer kalibrálása
- Vízmintavétel a 4 propagátorból
- A minták EC, pH mérése, melynek adatait saját készítésű Excel táblázatba digitalizáltam.

A vizsgálatot MultiLine P4 univerzális kézi-mérőműszerrel (3. ábra) hajtottam végre. Ez a műszer egyszerre több paraméter mérését teszi lehetővé (szimultán mérést): pH, oldott oxigén tartalom, vezetőképesség, oldott só-tartalom, hőmérséklet. A mérőbőrönd tartalmazza a MultiLine P4 műszert, hordszíjat 2 hordkapoccsal, védőtokot, LF/Oxi elektródatartót tartókapoccsal, pH-elektroda tokot, állványt, műanyag főzőpoharat (50 ml), tárolóoldatot a pH elektródákhoz, 50 ml pH pufferoldatot (STP 4 és STP 7-et), 50 ml hitelesítő és ellenőrző oldatot vezetőképesség-mérő cellához, 50 ml elektrolit töltő-oldatot oldott oxigén-érzékelőhöz, 50 ml ürtartalmú tisztítóoldatot RL/G oldott oxigén-érzékelőhöz, tartalék membránfejeket (3 db) WP 90/3 oldott oxigén-érzékelőhöz, csiszolófóliát oldott oxigén-érzékelőhöz, vezetőképességmérőt (TetraCon 325-3, TetraCon 325), pH kombinált elektródát (SenTix 41-3, SenTix 41), oldott oxigén-érzékelőt (CellOx 325), kezelési hálózati adaptert [22].



3. ábra: MultiLine P4 típusú mérőműszer és Velp Scientifica mágneses keverő használata közben [saját fotó]

A Velp Scientifica mágneses keverőnek lehet állítani a keverés erősségét, sebességét, valamint, hogy melegítse-e az oldatot vagy ne. MultiLine P4 típusú mérőműszerrel egyszerre tudtam mérni a vízminék pH-ját és fajlagos vezetőképességét, valamint az ezekhez tartozó hőmérséklet eredmények is láthatóak voltak a kijelzőn. Mérési funkciók között a le és fel mutató gombokkal lehet váltani. A funkciók közötti váltást pedig az M mint (mode) feliratú gomb segítségével tudtam elérni. Az elektródákat minden mérés után ioncserélt vízzel le kellett öblíteni és papír törölővel szárazra törölni mielőtt elkezdtem volna a másik mérést. A mintatartó edényeket is ultratiszta vízzel előblítettem mérés után és megkezdése előtt is [22].

3.2.1. A pH mérése

A pH megmutatja egy minta kémhatását, hogy lúgos-e vagy savas-e az adott vizsgált minta. A 7-es pH érték azt jelenti, hogy semleges kémhatású a minta, azaz sem savas és nem is lúgos. Semleges például az ivóvíz (7,0-7,5 pH). 7-es pH alatt savas a minta, e fölött viszont

lúgos. Minél jobban eltér a 7 pH értéktől a minta annál agresszívabb. A pH értékeket tudjuk mérni pH-mérő rendszerekkel, kolorimetriásan vagy akár indikátorpapírokkal. A legpontosabb méréseket az elektrokémiai mérésekkel lehet kivitelezni. Elektroda segítségével történnek a mérések. Az elektroda egy elektrokémiai érzékelő. Áll egy referencia és mérő elektródából. A feszültség egy membránon változik a mérendő oldat pH-értékének függvényében. A membránon lévő feszültség 7-es pH értéknél 0 mV. A mérendő oldat pH-ja minél jobban eltér a pH 7-től, annál fokozottabb a feszültség. A pH-érték kiszámítására ezt a jelet használja fel a mérő műszer, és (1) egyenletben látható összefüggéssel állapítható meg:

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+] \quad (1)$$

A kézi pH-mérők könnyen kezelhetők és durva terepen is alkalmazhatóak. Ütés álló tokozatuk van, vízszágnak ellenállnak, a vízbe is meríthetők. Több száz, ezer órás működésük az energiatakarékos mikroprocesszor technikának köszönhetően. A SenTix 41-es típusú pH kombinált elektródát használtam a méréseim során. Az elektroda egy vízálló dugóval rendelkezik. A hőmérsékletérzékelő pedig 1-tűs banándugóval. A pH elektroda végén található a membránja és diafragmája, valamint a hőmérséklet érzékelő is. Fontos, hogy nedves állapotban kell tartani a membránt. Ezt nedvesítő kupakkal biztosítottam, amelynek tartalma kálium-klorid oldat ($c=3 \text{ mol/l}$). Tároláshoz nem szabad desztillált vizet használni és vízszintesen vagy állítva szabad tárolni membránnal az alján.

Az eszközt a következő képpen kalibráltam a mérésekhez: csatlakoztattam a pH elektródát ezután megnyomtam a CAL gombot, amivel előkészítettem a műszert a kalibrációhoz. A CAL 1 felirat megjelent majd a pH elektródát behelyeztem a pH= 4,01 pufferoldatba, megnyomtam az ENTER gombot és elindult a kalibrálás első fele. A folyamat befejezése után megjelenik a CAL 2 felirat, kivettem az előző pufferoldatból az elektródát, ioncserélt vízzel leöblítettem, megtöröltem és belemerítettem a másik pH= 7,00 pufferoldatba. ENTER gombot megnyomtam, kalibrálás másik fele elindult. A művelet befejezése után az F1 gomb megnyomásával jóváhagytam a mérési eredményeket. A kalibrálás megtörtént[22].

3.2.2. Fajlagos elektromos vezetőképesség mérése

Az elektromos vezetőképesség gyűjtőparaméter, ami a vizsgálandó oldat ionkoncentrációjára jellemző. Minél több savat, sót vagy lúgot tartalmaz az oldat, annál magasabb a vezetőképesség. Mértékegysége: Siemens/méter. Elektrokémiai ellenállásméréssel lehet végrehajtani a vezetőképesség mérést. A mérőcella a legegyszerűbb esetben két azonos

elektrodából áll. Az elektrodákra alkalmazott váltakozó feszültség hatására az oldatban lévő ionok az oldat elektrodáit vizsgálják. Az elektrodák között folyó áram nagysága az oldatban jelenlévő ionok mennyiségétől függ. A műszer, Ohm-törvénye szerint számítja ki az oldat vezetési értékét és a vezetőképességet.

Vizsgálataim során a TetraCon 325 típusú elektrodát használtam. Ami egy 8-tűs IP 67 dugóval lehet csatlakoztatni a műszerhez. Az elektroda végén helyezkedik el a feszültségelektroda, az áram elektroda és a hőmérsékletérzékelő. Kalibrálás során az elektrodát belehelyeztem egy 0,01 mol/l koncentrációjú KCl oldatba. ENTER gombot megnyomtam és elindult a kalibráció. A folyamat végezte után elfogadtam a mérési eredményt [22].

3.2.3. Ionkromatográfiás vizsgálat (IC)

Az ionkromatográfiás vizsgálat feladata a minta egymáshoz hasonló viselkedésű alkotóinak elválasztása, azonosítása és mennyiségük meghatározása. A szétválasztás során az elválasztandó komponenseket két érintkezési fázis között osztják szét. Az egyik az állófázis mivel áll, a másik a mozgófázis mert mozog (eluens). Az állófázis szilárd anyag vagy folyadék. A mozgófázis az állófázissal nem elegyedő folyadék vagy gáz. Az elválasztásra szánt mintakeverék a mozgófázisba jut és vele együtt halad az állófázison keresztül. A keverék alkotói a fluidfázissal és az állófázissal eltérő mértékű és típusú kölcsönhatásokat alakítanak ki, ezért az állófázisban különböző ideig tartózkodnak. Az állófázison keresztül haladó oldatnak valamilyen kémiai vagy fizikai sajátosságát mérjük az idő függvényében. Eredményként kapott függvényt kromatogramnak nevezzük. Az ún. elúciós csúcsokból álló sorozat, a csúcsok a minta komponenseit jelölik a mennyiségükkel arányosan. A retenciós idő és a csúcsok alatti terület az alkotókra jellemző adat. A retenciós idő az az idő, amely a minta mobilfázisba való bevezetésétől a detektor által mért maximális koncentráció megjelenéséig tart. A csúcsok alatti terület az oszlopon áthaladó alkotók mennyiségével arányos. Így kiszámolható a vizsgált minta koncentrációja. Kvalitatív és kvantitatív vizsgálatokat is végezhetünk ezzel a módszerrel [23].

A kromatográfiás módszerek az állófázis alakja és minősége szerint csoportosíthatók. Az állófázisok többnyire csőbe töltött vagy síkfelületen elterített szemcsés anyagok. Papír is használható állófázisként. Ezért három csoportot különböztetünk meg:

- oszlop
- papírkromatográfia
- rétegekromatográfia

A mozgófázis állapota is lehet csoportosítási kritérium. A mobil fázis lehet gáz, folyadék vagy szuperkritikus folyadék. Ezek szerint lehet:

- Folyadékkromatográfia (LC)
- Gázkromatográfia (GC)
- Szuperkritikus fluid kromatográfia (SFC)

A Debreceni Egyetem Műszaki Kar Környezetmérnöki Tanszékének Vízminőségi Laboratóriumában a Dionex ICS- 3000 dual típusú nagynyomású folyadékkromatográf (HPLC) használatával végeztem el a méréseket. A HPLC módszer lényege, hogy az apró szemcsés állófázison, áramoltatják keresztül nagy nyomással a mozgófázist. A HPLC mérési technika egy speciális típusa az ionkromatográfia. Az ionkromatográfia töltött részecskék és ionok elválasztására és meghatározására szolgáló analitikai technika.



4. ábra: Dionex ICS- 3000 dual típusú nagynyomású folyadékkromatográf (HPLC) [saját fotó]

Az elválasztás azon a tényen alapul, hogy a különböző ionok töltésüktől és méretüktől függően különböző mértékben kötődnek egy ellentétes töltésű szilárd anyag felületén. Az erősebben adszorbeálódó anyag képes a kevésbé erősen adszorbeálódó anyagot a szilárd fázisból kiszorítani, és a felszínre helyezni. A leggyengébben kötődő, kis töltésű, nagy ionok érkeznek először az oszlop végére, míg a nagy töltésű és kisméretű, erősen adszorbeálódó ionok érkeznek a leglassabban az oszlop végére. DIONEX ICS-3000 dual ionkromatográfiás technológia alkalmas gyenge és erős savak anionjainak ionelnyomással való, valamint egy és kétértékű kationok meghatározására. A műszer elemei: gázmentesítő, pumpa, kolonna termosztáttal, szupresszor (elektrolitikus ionelnyomó reaktor), detektor, ami a vezetőképességet méri, mintaváltó, és 50 db minta befogadására képes automata mintabeviteli egység [23].

3.3. Spektrofotometriás vizsgálat jellemzése

A spektrofotometriás mérés az ionok és molekulák fényelnyelésének (abszorbancia) mérésén alapszik. Egy oldaton folytonos fényt bocsátunk keresztül és ebből az oldatban lévő molekulák egy bizonyos hullámhossztartományban a fényt elnyelik. Az abszorpció történhet ultraibolya, látható tartományban. Kvantitatív és kvalitatív mérések is végezhetők, főként környezeti minták meghatározására, például foszfáttartalom meghatározására használjuk. Az oldat anyagi minősége határozza meg, hogy milyen hullámhossztartományban történik az fényelnyelés. Az elnyelés erőssége pedig a vizsgált oldat koncentrációjával arányos. A koncentráció és az abszorbancia kapcsolatát a Lambert-Beer törvény (2) definiálja.

$$A = -\log I_{tr}/I_o = \epsilon \cdot L \cdot c \quad (2)$$

Az abszorbancia egyenlő a transzmittált (I_{tr}) és a beeső fény intenzitásának (I_o) mínusz logaritmuson vett hányadosával, vagyis a moláris abszorpciós koefficiens (ϵ) a rétegvastagság (L) és a koncentráció szorzatával (c).

Az alkalmazott műszer NANOCOLOR UV-VIS spektrofotométer, ami egy egysugaras fotométer. Méréskor a vak mintát a küvettába helyezzük és a rajta áthaladó egyszínű fény hatására keletkező detektor jelét ellentétesen csatlakoztatott potenciométer feszültségével kiegyenlítjük. A vizsgálandó oldatot belerakjuk ugyanabba a küvettába és a fény útjába helyezzük, a keletkező új jelet a potenciométerrel ismételt kompenzáljuk. Nagyon fontos ennél a módszernél, hogy a forrásból jövő fény erőssége a mérések közben folyamatos legyen. A NANOCOLOR UV-VIS felépítése: Áll egy fényforrásból, ami 330 – 900 nm közötti hullámhosszú fény kibocsátó lámpa. A monokromátor csak a méréshez szükséges fényt szűri ki a teljes sávszélességű fényből és azt ereszti át. A küvette tartalmazza a mintát, mely lehet üveg, műanyag, vagy kvarcból készített mintatartó. A fotocella a mintán áthaladó fényt elektromos árammá alakítja. Az ún. IC egység ezt az elektromos jelet pedig digitális értékké konvertálja. A kijelzőn utasításokat, eredményeket lehet megjeleníteni [22].



5. ábra: NANOCOLOR VIS mérőműszer

(Forrás: <https://www.directindustry.com/prod/macherey-nagel/product-28304-1201211.html>)

A klorofill-a, klorofill-b, és az össz-karotinoidok koncentrációját spektrofotometriásan határoztam meg. A fotoszintetikus pigmentek meghatározásához a mintákból pigment-kivonatot készítettem az alábbi módon:

- 70 mg friss levélmintát 7 ml DMF (N, N-Dimethylformamid) -ban oldottam 72 órán keresztül, 4°C-on.
- Majd spektrofotometriásan megmértem a klorofill-a (664nm), a klorofill-b (647nm), és a karotinoidok mennyiségét 480 nm-es hullámhosszon.
- A mennyiségek meghatározásához az alábbi képleteket (3-5) alkalmaztam:

$$\text{Klorofill-a (mg/gSP)} = (11,65 A_{664} - 2,69 A_{647}) * v/sp \quad (3)$$

$$\text{Klorofill-b (mg/gSP)} = (20,8 A_{647} - 3,14 A_{664}) * v/sp \quad (4)$$

$$\text{Karotinoidok (mg/gSP)} = (1000 A_{480} - 1,28 \text{ klorofill a} - 56,7 \text{ klorofill b}) / 245 * v/sp \quad (5)$$

ahol:

A_{480} – az olvasható érték 480nm filternél;

A_{647} – az olvasható érték 647nm filternél;

A_{664} – az olvasható érték 664nm filternél;

v – alkalmazott oldat ml-ben

SP- mg friss növényi anyag, amely az extrakcióhoz fel lett használva [20], [21].



6.ábra: ~70mg friss levélminta mérése és extrahálása [Saját fotó]



7.ábra: 1-es és 2-es levélminták 72 óra extrahálás után [Saját fotó]

3.4. Elemanalitikai vizsgálatok (ICP-OES) jellemzése

A különböző minták elemtartalmának meghatározására számos mérési módszer alkalmazható, ezek közül az induktív csatolású plazma optikai emissziós spektrometriát ICP-OES (8. ábra) módszert előszeretettel alkalmazzák szimultán multielemes jellege miatt. Az ICP-OES-t Fassel és Greenfield 1963-ban szabadalmaztatta. Az ICP-OES készüléknél alkalmazott gáz az argon, mely plazmagáz, valamint az öblítő gáz és segéd-gáz. A készülékben található atomizáló és gerjesztő egység a plazmaégőben létrejött magas hőmérsékletű térrész, plazma. Az égő 3 koncentrikus körből áll melynek külső körében a segéd gáz, a plazmagáz a közepén mozog és belsejében pedig a mintaáram fut. A modernebb készülékekben axiális és radiális vizsgálat is végezhető. A jelképzéshez alkalmazni kell egy CCD és polikromátor detektort. A mérésre kiválasztott elemeket egyidejűleg lehet detektálni. A 8000-10000 K hőmérsékletű argon plazma nagyon pontos meghatározást biztosít. Kb. mintegy 70-80 elem pontos koncentrációja határozható meg a módszer segítségével [24].

Az elemvizsgálatra előkészítettem a növény mintákat. Szárítószekrénybe szárítva, minden növényt dörzsmozsárban porítottam, amely műveleteket a 9. ábra is szemléltet. A palánták öntözésére felhasznált vízből is vettem mintákat, amelyeket szintén ICP-OES módszerrel elemezték a Debreceni Egyetem Szervetlen és Analitikai Kémiai Tanszék Környezetanalitikai Kutatócsoport munkatársai.



8. ábra ICP-OES 5110 Vertical Dual View, Agilent Technologies mérőműszer Forrás: <https://www.agilent.com/en/product/atomic-spectroscopy/inductively-coupled-plasma-optical-emission-spectroscopy-icp-oes/icp-oes-instruments/5110-icp-oes>



9. ábra Szárított minta porítás előtt és után [saját fotó]

ICP-OES mérés előtt a kiszáritott növénymintákat analitikai mérlegen (Precisa ES 225SM-DR) mértük be teflon roncsolócsövekbe. A minták oldatba viteléhez ETHOS UP (Milestone) mikrohullámú roncsolóberendezést alkalmaztunk, roncsolószerként pedig 6 ml cc. HNO_3 (Merck) és 2 ml 30%-os H_2O_2 (Merck) elegyet használtunk. Az így elroncsolt mintákat 25 ml-re töltöttük PE centrifugacsövekben ultratiszta vízzel (MilliQ Millipore), melyeket a mérésig szobahőmérsékleten tároltuk. A növényminták elemtartalmának meghatározását induktív csatoltású plazma optikai emissziós spektrométer (ICP-OES 5110 Vertical Dual View, Agilent Technologies) segítségével végeztük. A mérés során Agilent SPS 4 automata mintaadagolót, Meinhard® típusú porlasztót, double pass ködkamrát és öt pontos kalibrációt

alkalmaztunk. A kalibráló oldatsorozatot a mikroelemekre (Ag, Al, B, Ba, Bi, Cd, Co, Cu, Cr, Fe, Li, Mn, Ni, Pb, Sr, Zn) egy multielemes spektroszkópiai standard oldatból (ICP VI, Merck), míg a makroelemekre (Ca, Mg, Na, K) monoelemes spektroszkópiai törzsoldatokból (Scharlau). készítettük el. Mindkét esetben három pontos kalibráló sorozatot alkalmaztunk, melyek elkészítéséhez ultratiszta (MilliQ Millipore) vízből készített 0.1 M HNO₃ oldatot használtunk.

A vízminták esetében a mintaelőkészítés annyit jelentett, hogy 50 ml mintához 50µl tömény salétromsavat adtunk.

4. Eredmények és értékelésük

A vizsgálatok eredményeit és ezek kiértékelését mutatom be ezen fejezetben táblázatok, képek és diagrammok formájában.

4.1. Laboratóriumi vízkémiai vizsgálatok eredményei és azok kiértékelése (pH, EC, T) a növény fejlődés szempontjából

Az 1. táblázat és 2. táblázat az öntözések alkalmát, öntözővizek összterfogatát, a víz típusát, tápoldat mennyiségét, a vizek kloridion tartalmát, hőmérsékletét, kémhatását, fajlagos elektromos vezetőképességét foglalja össze. A "TPO" megnevezés az öntözővizekhez adagolt tápoldatot jelöli.

1. táblázat: Ultratiszta vízből készített öntözővíz adatai a palánták neveléséhez

Alkalom	Össz. térfogat [ml]	Víztypus	TPO mennyiség [ml]	Cl ⁻ mennyiség [ml]*	Hőmérséklet (T)	pH	EC [μS/cm]
1.	600	UT+TPO	1,5	0	23,9°C	5,38	1259
2.	600	UT+TPO	1,5	0	24,9°C	5,26	1239
3.	600	UT+TPO	1,5	0	24,7°C	5,25	1245
4.	600	UT+TPO	1,5	0	24,4°C	5,43	1213
5.	900	UT+TPO	2,25	0	24,8°C	5,24	1216
6.	600	UT+TPO	1,5	0	25,2°C	5,23	1250
7.	400	UT+TPO	1	0	26,2°C	5,27	1233
1.	600	UT+TPO	1,5	0	23,8 °C	5,26	1283
1.	600	UT+TPO+Cl ⁻	1,5	6	24,2°C	5,25	1938
2.	600	UT+TPO	1,5	0	24,7 °C	5,27	1211
2.	600	UT+TPO+Cl ⁻	1,5	6	24,2°C	5,26	1846
3.	600	UT+TPO	1,5	0	25°C	5,22	1314
3.	600	UT+TPO+Cl ⁻	1,5	6	25,1°C	5,21	1998
4.	600	UT+TPO	1,5	0	22,9°C	5,26	1302
4.	600	UT+TPO+Cl ⁻	1,5	6	24,5°C	5,22	1968
5.	900	UT + TPO	2,25	0	25,3°C	5,33	1344
5.	900	UT+TPO+Cl ⁻	2,25	9	25,6°C	5,28	2020
6.	600	UT+TPO	1,5	0	25,6°C	5,31	1213
6.	600	UT+TPO+Cl ⁻	1,5	6	25,9°C	5,32	1851
7.	400	UT+TPO	1	0	25,9°C	5,26	1559
7.	400	UT+TPO+Cl ⁻	1	4	26,3°C	5,33	2350
1.	600	UT	0	0	24°C	6,00	1,4
2.	600	UT	0	0	24°C	6,30	1,6
3.	600	UT	0	0	25,3°C	5,69	1,6
4.	600	UT	0	0	24,6°C	6,96	1,2
5.	900	UT	0	0	24,8°C	6,18	1,3
6.	600	UT	0	0	25,7°C	6,12	1,3
7.	400	UT	0	0	26,3°C	6,00	1,1

Megjegyzés: * törzsoldat 20g/l kloridion tartalmú oldat

A 4 propagátorban 4 különböző öntözővízzel történt 2 naponta a magok öntözése. Az 1-es propagátorba csak tápoldatos ultratisztavíz (UT) került. A 2-es propagátorba tettem kloridiont, amit NaCl-oldat formájában adagoltam (a törzsoldat 20 g/l kloridiont tartalmazó oldat volt). Az első oszlop összefoglalja az öntözések számát, tehát 7 alkalommal készítettem új öntözővizet.

Első négy alkalommal 600 ml ultratiszta vízhez adagoltam 1,5 ml tápoldatot, kloridiont (NaCl) nem. Ötödik alkalommal 900 ml öntöző vizet kellett készítenem, mert 3 nap után került kicserélésre az új öntözővíz. Ekkor ennek arányában 2,25 ml tápoldatot adagoltam a vízhez. Az utolsó új öntözés előtt megint 600 ml és 1,5 ml tápoldatot használtam. Vizsgálat leállítása előtt pedig 400 ml-is 1 ml tápoldatot (TPO) tartalmazó ultratiszta vízzel öntöztem.

A 2-es propagátorba az öntözést ugyanazokkal az arányokkal végeztem csak annyi különbséggel, hogy a tápoldatos vízhez NaCl-ot is adagoltam. 600 ml vízhez 6 ml-t 900 ml-hez 9 ml-t és 400 ml-hez pedig 4 ml kloridion mennyiséget öntöttem. A kloridion adagolása előtt megmértem a vízminta EC és pH értékét és az ezekhez tartozó hőmérsékletet, ez utóbbit abból a célból, hogy vizsgáljam, hogy befolyásolja-e a vezetőképességet, pH-t és később a növény fejlődését.

Átlagosan 600-700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ vezetőképesség különbséget tapasztaltam. A hőmérsékletnél 23,9°C-26,5°C közötti értékeket mértem. Az ultratiszta víz pH-ját és vezetőképességét is megmértem, 5,50-7,00 pH közötti értékeket kaptam. A tápoldat adagolása átlagosan ezeket az értékeket mindkét propagátorban (1,2) lévő víz esetében, 5,20-5,40 pH eredményekre csökkentette. Az 1-es tálca új vizének vezetőképességei 1200-1260 $\mu\text{S}/\text{cm}$ közé estek.

2 naponta vizsgáltam és mértem a kockák alatt lévő víz minőségi paramétereit (régii öntözővíz). A pH 2 nap elteltével az 1-es és 2-es tálcához tartozó régi öntözővíznek körülbelül 1 pH értékkel növekedett az új víz pH értékéhez képest. A fajlagos vezetőképesség (EC) pedig csak a NaCl nélküli vízben növekedett 354 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -el, a másikban stagnált 1924 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -en. A hőmérsékletváltozásokban maximum 3°C-4°C-os különbségeket figyeltem meg mind növekedés mind pedig csökkenés szempontjából 22,0°C-26,0°C.

6. nap után nem volt ún. régi víz a tálcákban, de a kockák nedvesek voltak, azaz a növényfejlődésre nem voltak negatív hatással, mivel a közetgyapotkockák nem száradtak ki. 8. nap a régi víz pH-ja az egyes tálcában 6,16 pH volt a kettesben 6,14 pH. Az EC az egyes tálcában felment 2140 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -re a kettes propagátorban pedig 3110 $\mu\text{S}/\text{cm}$ volt. A növények

növekedése miatt koncentráldott a tápanyagok mennyisége. 10. napon az 1-es propagátor víz pH-ja 6,12 és ez EC értéke 2090 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

A NaCl-os víznek 6,09 pH lett a pH értéke, 3140 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pedig a vezetőképessége. Nagy eltérés nem figyelhető meg a 8.napon megmértékhez képest. Kis mértékben növekedtek az EC értékek és csökkentek a pH értékek. Leállításkor, a 16. napon az UT+TPO pH= 6,02 EC=2140 $\mu\text{S}/\text{cm}$ volt. Az UT+TPO+Cl- pH-ja 6,00 és vezetőképessége 3710 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Összeségében pH csökkenést és fajlagos vezetőképesség növekedést figyeltem meg.

A vizsgálat eredményeit a növényekről, készített képekkel dokumentáltam, ahogyan ezt a 10. ábra is szemlélteti.



10. ábra: 1-es (UT+TPO) és 2-es (UT+TPO+Cl-) tálca leállítás [Saját fotó]

A növények részletes elemzése előtt az alábbi megállapításokat tehettem a kísérlet leállítása után. Az 1-es tálca (UT+TPO) rukkola palántái kisebbek lettek, mint a 2-es tálcában (UT+TPO+Cl-) lévő rukkola palánták. Ebből arra lehet következtetni, hogy a rukkola fejlődésére pozitívabb hatással van a magasabb kloridion tartalom, ill. ultratiszta víz esetében szükség van további sók adagolására. Bazsalikomokat figyelembe véve mindkét tálca esetében volt egy kocka, amin nem fejlődött ki a palánta, de még így is a 2-es propagátorban 3 kockán dúsabb hozam volt megfigyelhető. A Lolla Rossa és az amerikai barnatépősaláta mindkét esetben hasonló fejlődést mutattak, amit szabad szemmel látni lehetett.

2. táblázat: Ivóvízből készített öntözővíz adatai a palánták neveléséhez

Alkalom	Össz térfogat [ml]	Víz típus	TPO mennyiség [ml]	Cl ⁻ mennyiség [ml]*	Hőmérséklet (T)	pH	EC [μS/cm]
1.	600	IVÓVÍZ+TPO	1,5	0	24,0°C	7,00	1657
2.	600	IVÓVÍZ+TPO	1,5	0	24,7°C	7,02	1668
3.	600	IVÓVÍZ+TPO	1,5	0	24,5°C	6,98	1675
4.	600	IVÓVÍZ+TPO	1,5	0	22,9°C	6,97	1736
5.	900	IVÓVÍZ+TPO	2,25	0	23,8°C	6,89	1726
6.	600	IVÓVÍZ+TPO	1,5	0	24,3°C	6,97	1698
7.	400	IVÓVÍZ+TPO	1	0	24,9°C	6,87	1780
1.	600	IVÓVÍZ+TPO	1,5	0	23,7°C	6,98	1681
1.	600	IVÓVÍZ+TPO+Cl ⁻	1,5	6	23,9°C	7,00	2290
2.	600	IVÓVÍZ+TPO	1,5	0	25°C	6,99	1680
2.	600	IVÓVÍZ+TPO+Cl ⁻	1,5	6	25,4°C	7,00	2290
3.	600	IVÓVÍZ+TPO	1,5	0	24,1°C	6,97	1690
3.	600	IVÓVÍZ+TPO+Cl ⁻	1,5	6	24,1°C	6,98	2460
4.	600	IVÓVÍZ+TPO	1,5	0	23,8°C	6,95	1799
4.	600	IVÓVÍZ+TPO+Cl ⁻	1,5	6	24,0°C	6,97	2440
5.	900	IVÓVÍZ+TPO	2,25	0	23,9°C	6,92	1925
5.	900	IVÓVÍZ+TPO+Cl ⁻	2,25	9	23,2°C	6,96	2470
6.	600	IVÓVÍZ+TPO	1,5	0	24,4°C	6,97	1810
6.	600	IVÓVÍZ+TPO+Cl ⁻	1,5	6	24,7°C	6,92	2450
7.	400	IVÓVÍZ+TPO	1	0	24,7°C	6,97	1707
7.	400	IVÓVÍZ+TPO+Cl ⁻	1	4	25,3°C	7,02	2320
1.	600	IVÓVÍZ	0	0	23,8°C	7,40	545
2.	600	IVÓVÍZ	0	0	24,3°C	7,93	524
3.	600	IVÓVÍZ	0	0	24,3°C	7,47	584
4.	600	IVÓVÍZ	0	0	22,6°C	7,45	592
5.	900	IVÓVÍZ	0	0	22,6°C	7,35	561
6.	600	IVÓVÍZ	0	0	24,2°C	7,51	552
7.	400	IVÓVÍZ	0	0	24,6°C	7,40	571

Megjegyzés: * a törzsoldat 20 g/l kloridion tartalmú oldat

A 3-es és 4-es propagátorba került új öntözővíz adatait foglalja össze a 2. táblázat. A 3-as tálcába csak tápoldatos ivóvizet öntöttem. A 4-es palántázóba NaCl-ot is adagoltam. Az arányok víz, tápoldat, kloridion mennyiség szempontjából megegyeznek az 1. táblázatban szereplő adatokkal. Itt is külön mértem a tápoldatos ivóvíz és a tápoldatos-extra kloridion + ivóvíz minták pH-ját és EC értékét.

A pH és hőmérséklet értékeket vizsgálva nem volt különösebb változás. A pH értéke 7, a hőmérséklet pedig 24°C körüli volt. A különbség vezetőképességnél 500-600 μS/cm lett. Az EC eredmények a 3-as tálca (IVÓVÍZ+TPO) új vizeinek 1600-1800 μS/cm közötti volt, a 4-esnek (IVÓVÍZ+TPO+Cl⁻) pedig 2200-2500 μS/cm-ig terjedtek ki. Az ivóvíz esetén 7 alkalommal mérve, az átlagos pH-érték 7,50±szórás volt, míg a vezetőképességérték pedig 561±szórás μS/cm. A 3-as (IVÓVÍZ+TPO+Cl⁻) és 4-es (IVÓVÍZ+TPO+Cl⁻) tálcákban lévő

növényeket 400-500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -rel magasabb vezetőképességű öntözővízzel öntöztem a magokat 2 naponta, hét alkalommal. A pH értékek a kiinduláshoz képest csökkentek.

Minden 2. nap után megmértem a tápkockák alatt lévő (régi) víz értékeit. A pH 2 nap elteltével a 3-as és 4-es tálcához tartozó régi víznek körülbelül 0,90 pH értékkel növekedett az új víz pH-hoz képest. A vezetőképesség pedig a plusz kloridion nélküli ivóvízben csökkent 71 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -rel. A több kloridiont tartalmazó tápoldatos ivóvíz vezetőképessége 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -rel csökkent. A hőmérsékletváltozásokban maximum 2°C különbséget figyeltem meg mind növekedés mind pedig csökkenés szempontjából 23,0°C-25,0°C.

6. nap után régi öntözővíz nem volt a tálcákban, de a kőzetgyapot kockák nedvesek maradtak. A növényfejlődésre így az öntözővíz hiánya nem volt hatással. A 8. nap a régi víz pH-ja a 3-as tálcában 7,86 pH volt a 4-esben 7,78 pH. Az EC a 3-as tálcában 2130 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -re emelkedett, a 4-es propagátorban pedig 3120 $\mu\text{S}/\text{cm}$ adódott.

A 10. napon az 3-as propagátorban az öntözővíz pH-ja 7,90 és ez EC értéke 2030 $\mu\text{S}/\text{cm}$. A plusz kloridion tartalmú víznek 7,74 pH lett a kémhatása és 3170 $\mu\text{S}/\text{cm}$ az EC-je. A 13. napon pH értékeknél nagy eltérés nem volt tapasztalható sem a több kloridion tartalmú sem pedig a tápoldatos ivóvíznél. A vezetőképesség a plusz kloridion tartalmú tápoldatos ivóvízben 3400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -re növekedett. A 3-as tálcának pedig 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -rel lett több.

A 15. napon 4220 $\mu\text{S}/\text{cm}$ lett a fajlagos vezetőképesség a 4-es palántázóban, pH-ja 7,47. 2 nap alatt 820 értékkel magasabb lett a víz EC eredménye. A tápoldatos ivóvíz fajlagos vezetőképessége 2150 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -en maradt, a kémhatása 7,57 pH lett. 16. nap a leállítási napján, mindkét tálcában csökkent a pH érték. Ivóvíz+TPO esetében pH= 7,40 és Ivóvíz+TPO+Cl⁻ -nél pH= 7,45 volt. A fajlagos vezetőképesség Ivóvíz+TPO-t tartalmazó tálcában 2190 $\mu\text{S}/\text{cm}$ volt, az Ivóvíz+TPO+Cl⁻-t magába foglaló tálcában 3870 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -t mértem. 4-es tálcában ennél az egy esetenél vissza csökkent az EC. Összeségében pH csökkenést és vezetőképesség növekedést figyeltem meg, mint az 1-es és 2-es tálcáknál.

A vizsgálat eredményeit a növényekről készített képekkel dokumentáltam, ahogyan ez a 11. ábrán is látható.



11. ábra: 3-as (IVÓVÍZ+TPO) és 4-es (IVÓVÍZ+TPO+Cl-) tálca (leállítás)

A 3-as tálcában (ivóvíz +TPO-t tartalmazott), ahogyan az a 11. ábrán is látható a rukkola palánták dúsabb hozamú termést mutattak, de ebben az esetben nem adagoltunk plusz kloridiont, így a fejlődést nem gátolta a növényeknek. A 4-es tálcában a rukkola szemmel láthatólag kevesebb. Feltételezhető, hogy a plusz NaCl lassítja a rukkolák fejlődését. A bazzalikomok hasonló méretűek mindkét propagátorban. Az amerikai barna tépősaláta esetében szemmel látható különbség nincsen. Az következtethető, hogy a 4-es és 3-as tálca víztípusai hasonlóan hatottak a bazzalikomok és az amerikai barna tépősaláták fejlődésére. A Lolla Rossa saláták közül a 3-as tálcában egy gyapotkockán nem nőttek párhuzamosan a többi tápkocka salátaival, sőt kis méretűek maradtak, tápanyag gátlás feltételezhető.

4.2. Ionkromatográfiás (IC) vizsgálat eredményei és kiértékelésük

Az ionkromatográfiás vizsgálat Dionex ICS- 3000 dual típusú folyadékkromatográfiás (HPLC) mérőműszerrel történt. A vizsgálataim során kapott víztípusok anionjainak (fluoridion, kloridion, bromidion, nitrácion, foszfácion, szulfácion) és kationjainak (lítiumion, nátriumion, ammóniumion, káliumion, magnéziumion, kalciumion) a mennyiségét táblázatokban összesítettem. A mérési eredmények megadásakor átlag és szórás értékeket is feltüntettem.

A 3. táblázat a különböző öntözővíz típusok anion koncentrációit összesíti átlag és szórás értékekkel.

3. táblázat: Az öntözővizek anion koncentráció értékei

		<i>UT</i>	<i>IV</i>	<i>UT+TPO</i>	<i>IV+TPO</i>	<i>UT+TPO +Cl</i>	<i>IV+TPO +Cl</i>
<i>F⁻</i> (mg/l)	<i>Átlag</i>	0,07	0,08	0,07	0,17	0,06	0,13
	<i>SD</i>	0,07	0,04	-	0,18	0,08	0,13
<i>Cl⁻</i> (mg/l)	<i>Átlag</i>	0,75	17,69	3,17	21,34	255	263
	<i>SD</i>	0,32	2,67	1,63	2,29	22	8
<i>Br⁻</i> (mg/l)	<i>Átlag</i>	0,03	0,03	0,09	0,12	0,11	0,11
	<i>SD</i>	0,02	0,01	0,02	0,07	0,03	0,03
<i>NO₃⁻</i> (mg/l)	<i>Átlag</i>	0,40	3,23	813	827	747	894
	<i>SD</i>	0,22	0,18	74,00	125	109	257
<i>PO₄³⁻</i> (mg/l)	<i>Átlag</i>	0,79	3,37	174	83,05	172	107
	<i>SD</i>	-	-	14	23,9	21	35
<i>SO₄²⁻</i> (mg/l)	<i>Átlag</i>	0,53	12,72	30,79	45,11	31,56	48,12
	<i>SD</i>	0,87	0,98	2,76	5,98	3,71	12,00

Az ultratiszta víz (UT) mintákban a vártan megfelelően kis mennyiségben voltak jelen anionok. $0,75 \pm 0,32$ mg/l lett az átlagos kloridion koncentráció a vizsgálati időszak folyamán. További átlag koncentrációértékek: $0,07 \pm 0,07$ mg/l fluorid-ion, $0,03 \pm 0,02$ mg/l bromid-ion, $0,40 \pm 0,22$ mg/l nitrát-ion, 0,79 mg/l foszfát-ion és $0,53 \pm 0,87$ mg/l szulfát-ion. Nitrit-iont nem tartalmaztak a minták. Legnagyobb koncentrációban foszfát-iont tartalmazott az ultratiszta víz, legkisebb mennyiségben pedig bromid-iont a vizsgálati időszak alatt. Az ultratiszta vízhez tápoldatot kellett adagolni, hogy fel tudjam használni a további vizsgálatához, növények öntözéséhez, mert túlságosan alacsony a vezetőképességértéke, azaz az oldott iontartalma.

A tápoldatos ultratiszta víznél (UT+TPO) legnagyobb anion koncentrációt a nitrát-ion esetén mértem, átlagosan 813 ± 74 mg/l-t. Legkisebb mennyiségben a bromidionok voltak jelen a mintákban ($0,09 \pm 0,02$ mg/l), míg nitrit-iont nem detektáltam. A tápoldatos ultratiszta víz, mint öntözővíz átlagosan $3,17 \pm 1,63$ mg/l kloridion tartalmazott és ennek az oldatnak 76%-kal magasabb lett kloridion koncentrációja, mint az ultratiszta vize.

A kloridionnal növelt, tápoldatos ultratiszta öntözővíz (UT+TPO+Cl⁻) anionjai közül, a kloridionok mennyisége átlagosan 255 ± 22 mg/l volt. A nitrát-ion átlag koncentrációja 747 ± 109

mg/l, azaz ez volt a domináns anion a mintákban. A foszfát-ion átlag koncentrációja 172 ± 21 mg/l, míg a szulfát-ion tartalom átlagosan $31,56 \pm 3,71$ mg/l volt. Ezeknél a mintáknál fluorid-ionból és a bromid-ionból mértem a legkevesebbet. Az UT+TPO+Cl⁻ öntözővíz esetén a kloridion koncentrációja az UT+TPO víz kloridion mennyiségéhez képest közel 99%-kal több volt.

A vizsgálat során az öntözésre használt ivóvízben (IV) kimutatható ionok a fluorid-ion, kloridion, bromid-ion, nitrát-ion, foszfát-ion és a szulfát-ion volt, ezek közül a domináns anion a kloridion lett. Az ivóvíz másik kiemelkedő koncentrációjú anionja a szulfát-ion volt. A legkisebb koncentrációban a bromid-ion volt jelen. Az ivóvíz (IV) kloridion tartalma 96%-kal volt magasabb, mint az ultratiszta víz (UT) kloridion koncentrációja, míg nitrit-iont nem detektáltunk.

Az öntözésre alkalmazott tápoldatos ivóvíz (IV+TPO) kimutatható aniontartalma: fluorid-ion, kloridion, bromid-ion, nitrát-ion, foszfát-ion és szulfát-ion. A tápoldat hozzáadásával leginkább a nitrát-ion, foszfát-ion és a szulfát-ion mennyisége növekedett és mindezt figyelembe véve, a domináns anion a nitrát-ion lett. A tápoldatos ivóvíz (IV+TPO) kloridion tartalma 85%-kal lett magasabb, mint a tápoldatos ultratiszta víz (UT+TPO) kloridion koncentrációja. Nitrit-iont nem lehetett detektálni a mérés során.

A másik típusú tápoldatos ivóvízhez, amit felhasználtam öntözésre (IV+TPO+Cl⁻), kloridiont (NaCl) adtam, így átlagosan 263 ± 8 mg/l kloridion koncentrációt mértem. 92%-kal több kloridion volt jelen, mint tápoldatos ivóvíznél (IV+TPO). A nitrit-ion jelenlétét nem lehetett detektálni a mérések során, a kimutatható anionok a következők voltak: fluorid-ion, bromid-ion, nitrát-ion, foszfát-ion és szulfát-ion. Az anionok közül a domináns a nitrát-ion volt. A növelt NaCl-ot tartalmazó tápoldatos ivóvíz (IV+TPO+Cl⁻) kloridion koncentrációja 3%-kal lett nagyobb, mint a kloridiont tartalmazó ultratiszta víz (UT+TPO+Cl⁻) esetében mért.

A 4. táblázat a lecserélt öntözővíz típusokat és a hozzájuk tartozó anion koncentrációit összegzi átlag és szórás adatokkal.

4.táblázat: A korábbi öntözővizek anion koncentráció értékei

		UT+TPO	IV+TPO	UT+TPO +Cl-	IV+TPO +Cl-
F^- (mg/l)	Átlag	0,18	0,31	0,16	0,34
	SD	0,06	0,10	0,04	0,07
Cl^- (mg/l)	Átlag	6,89	37,68	299	433
	SD	2,14	9,67	161	165
NO_2^- (mg/l)	Átlag	-	1,11	-	0,47
	SD	-	1,14	-	0,21
Br^- (mg/l)	Átlag	0,27	0,30	0,29	0,47
	SD	0,04	0,10	0,05	0,21
NO_3^- (mg/l)	Átlag	1273	1313	1371	1492
	SD	236	298	236	424
PO_4^{3-} (mg/l)	Átlag	295	76,07	294	121
	SD	61	17,97	58	46
SO_4^{2-} (mg/l)	Átlag	105	110	107	134
	SD	29	34	27	27

A lecserélt víztípusoknál az egyes ionok koncentrációi megnövekedtek. A régi tápoldatos ultratisztavíz (UT+TPO) esetében a legnagyobb aniontartalmat a nitrát-ionokból kaptam 1273 ± 236 mg/l, ami 56%-os növekedést jelent az öntözéskor mérthez képest. A fluorid-ionok több mintában jelentek meg, így az átlagnál $0,18 \pm 0,06$ mg/l koncentrációt mértünk. Kloridionok ($6,89 \pm 2,14$ mg/l), szulfát-ionok (105 ± 29 mg/l) és foszfát-ionok (295 ± 61 mg/l) változatos mennyiségben voltak jelen a lecserélt vízben. Nitrit-iont nem detektáltam a mintákban a mérés során.

A régi kloridiont tartalmazó tápoldatos ultratisztavíznél (UT+TPO+Cl-), a kloridionok átlagos koncentrációja 255 ± 22 mg/l-ről 299 ± 161 mg/l-re növekedett, mely átlagosan 17% emelkedést jelent. Legkisebb mértékben a fluorid-ionok koncentrációja nőtt, a domináns ion pedig a nitrát-ion volt. Nitrát-ion után csökkenő sorrendben következett a kloridion, foszfát-ion, szulfát-ion, a bromid-ion és a fluorid-ion, nitrit-ion nem volt kimutatható.

A lecserélt tápoldatos ivóvíz (IV+TPO) átlagos aniontartalma a következő volt: 0,31±0,10 mg/l fluorid-ion, 37,68±9,67 mg/l kloridion, 1,11±1,14 mg/l nitrit-ion, 0,30±0,10 mg/l bromid-ion, 1313±298 mg/l nitrát-ion, 76,07±17,97 mg/l foszfát-ion és 110±34 mg/l szulfát-ion. A nitrit-, nitrát-, szulfát-, klorid-, és fluorid-ion mennyisége növekedett, a foszfát-ioné viszont csökkent 83,05±23,9 mg/l-ről 76,07±17,97 mg/l-re. A legnagyobb eltérést a nitrát-ionok mennyiségében kaptam.

Régi növelt kloridion tartalmú tápoldatos ivóvíz (IV+TPO+Cl-) anionjainak az átlagos koncentrációértékei: 0,34±0,07 mg/l fluorid-ion, 433±165 mg/l kloridionok (körülbelül 64%-kal nőtt), nitrit-ionok nem jelentek meg a lecserélt vízben, 0,47±0,21 mg/l bromid-ion, 1492±424 mg/l nitrát-ion (közelítőleg 67%-kal több keletkezett, mint öntözéskor), 121±46 mg/l foszfát-ion, 134±27 mg/l szulfát-ion.

Az 5. táblázat a növény neveltetéséhez felhasznált öntözővizek típusait és a típusokhoz tartozó kation mennyiséget összegzi, átlag és szórás értékekkel.

5.táblázat: Öntözővizek kation koncentráció értékei

		<i>UT</i>	<i>IV</i>	<i>UT+TPO</i>	<i>IV+TPO</i>	<i>UT+TPO +Cl</i>	<i>IV+TPO +Cl</i>
<i>Li</i> ⁺ (mg/l)	<i>Átlag</i>	-	0,07	-	0,17	-	0,11
	<i>SD</i>	-	0,03	-	0,22	-	0,14
<i>Na</i> ⁺ (mg/l)	<i>Átlag</i>	0,24	25,63	2,81	28,05	138	163
	<i>SD</i>	0,25	1,65	0,36	1,44	12	9
<i>NH</i> ₄ ⁺ (mg/l)	<i>Átlag</i>	0,07	5,99	46,57	45,37	39,56	37,59
	<i>SD</i>	0,05	-	4,65	2,87	6,03	7,53
<i>K</i> ⁺ (mg/l)	<i>Átlag</i>	0,07	1,02	152	155	153	168
	<i>SD</i>	0,11	0,43	13	22	17	52
<i>Mg</i> ²⁺ (mg/l)	<i>Átlag</i>	0,10	15,21	13,50	26,36	13,69	26,84
	<i>SD</i>	0,05	1,27	0,86	1,84	1,70	2,40
<i>Ca</i> ²⁺ (mg/l)	<i>Átlag</i>	0,56	69,02	0,40	47,02	1,77	51,74
	<i>SD</i>	0,19	7,69	0,31	11,53	2,18	11,10

Az ultratiszta víz (UT) kationjai közül, lítium-ion nem volt detektálható mennyiségben a mintákban. Alacsony kation koncentrációkat mértem, ami ultratisztavíz esetében a vártnak megfelel, hiszen nem tartalmaz oldott komponenseket, alacsony vezetőképesség értékkel

rendelkezik. Legnagyobb koncentrációban a kalcium-ion volt jelen, $0,56 \pm 0,19$ mg/l értékkel (domináns). A legkisebb koncentrációban az ammónium- és a kálium-ionok voltak jelen ($0,07 \pm 0,11$ mg/l).

Az öntözésre használt tápoldatos ultratiszta (UT+TPO) vízben lítium-iont nem volt detektálható. Ennek a mintának a vezetőképessége a vártnak megfelelően növekedett a tápoldat adagolásával. Az ionok koncentrációi jól korreláltak a vezetőképesség értékekkel, tehát az öntözővíz a fajlagos vezetőképessége az ionok növekedésével nő. A domináns kation a kálium-ion esetében 152 ± 22 mg/l koncentrációt mértünk. A kalcium-ion mennyisége lett a legkisebb a tápoldatos ultratiszta vízben $0,40 \pm 0,31$ mg/l. Az ammónium-ion $46,57 \pm 4,65$ mg/l, a nátrium-ion $2,81 \pm 0,36$ mg/l, a magnézium-ion pedig átlagosan $13,50 \pm 0,86$ mg/l mennyiségben voltak jelen az öntözővízben.

A kloridionnal növelt tápoldatos ultratiszta víz (UT+TPO+Cl⁻) kationjai közül a legmagasabb koncentrációban, a nátrium-ion (138 ± 12 mg/l) és a kálium-ion (153 ± 17 mg/l) volt azonosítható. Kálium-ion lett a domináns kation. A nátrium-ion a kloridion kísérője. Kloridion adagolásával párhuzamosan növekedett. A vízben kalcium-ionok fordultak elő a legkisebb mennyiségben, amit az átlag koncentráció is jelöl ($1,77 \pm 2,18$ mg/l). További átlag értékek: ammónium-ion ($39,56 \pm 6,03$ mg/l), magnézium-ion ($13,69 \pm 1,70$ mg/l).

Az öntözésre felhasznált ivóvíz (IV) átlagos kation mennyisége a következő volt: $0,07 \pm 0,03$ mg/l lítium-ion, $25,63 \pm 1,65$ mg/l nátrium-ion, $5,99$ mg/l ammónium-ion, $1,02 \pm 0,43$ mg/l kálium-ion, $15,21 \pm 1,27$ mg/l magnézium-ion és $69,02 \pm 7,69$ mg/l kalcium-ion. Elenyésző mennyiségben a lítium-ionok voltak jelen a vízben. A kalcium-ion a többi kationhoz képest kiugró értéket mutatott az ivóvízben, azaz ez a domináns kation. Nátrium-ion tartalma 99%-kal ($25,39$ mg/l-el) nagyobb, mint az ultratiszta vízben (UT).

Az öntözésre használt tápoldatos ivóvíz átlagos kationtartalmára a mérés során a következő értékeket kaptam: $0,17 \pm 0,22$ mg/l lítium-ion, $28,05 \pm 1,44$ mg/l nátrium-ion, $45,37 \pm 2,87$ mg/l ammónium-ion, 155 ± 22 mg/l kálium-ion, $26,36 \pm 1,84$ mg/l magnézium-ion, $47,02$ mg/l kalcium-ion. Az ivóvíz kationjaihoz képest a kalcium-ionok mennyisége csökkent $69,02$ mg/l-ről $47,02$ mg/l-re. Legnagyobb mértékben a kálium-ionok mennyisége emelkedett ($1,02$ mg/l-ről 155 mg/l-re). A kálium-ionok értékei nagy eltérést mutattak, szembevető változást még az ammónium-ion tartalom mutatott: $5,99$ mg/l-ről $45,37$ mg/l-re nőtt a tartalmuk az ivóvízben a tápoldat adagolásával.

A kationok átlagértékei a tápoldattal és növelt kloridionnal használt ivóvíz minták esetén (IV+TPO+Cl⁻): 0,11±0,14 mg/l lítium-ion, 163±9 mg/l nátrium-ion, 37,59±7,53 mg/l ammónium-ion, 168±52 mg/l kálium-ion, 26,84±2,4 mg/l magnézium-ion, 51,74±11,10 mg/l kalcium-ion. A domináns kation szerepét a vízben az ammónium-ion töltötte be. Kimagaslóan megnövekedett a nátrium-ion mennyisége is az öntözővízben, ami a kloridion adagolásával együtt járó változás.

A 6. táblázat a lecserélt víztípusok kationtartalmát szemlélteti, átlag és szórás adatok formájában.

6.táblázat: Régi öntözővizek kation koncentráció értékei

		<i>UT+TPO</i>	<i>IV+TPO</i>	<i>UT+TPO +Cl⁻</i>	<i>IV+TPO +Cl⁻</i>
<i>Li⁺</i> (mg/l)	<i>Átlag</i>	0,01	0,31	0,01	0,31
	<i>SD</i>	-	0,10	-	0,05
<i>Na⁺</i> (mg/l)	<i>Átlag</i>	27,05	72,23	177	274
	<i>SD</i>	7,91	5,63	79	83
<i>NH₄⁺</i> (mg/l)	<i>Átlag</i>	56,83	23,22	48,88	18,89
	<i>SD</i>	8,01	3,85	6,52	7,28
<i>K⁺</i> (mg/l)	<i>Átlag</i>	251	226	251	267
	<i>SD</i>	46	41	42	58
<i>Mg²⁺</i> (mg/l)	<i>Átlag</i>	24,70	44,52	25,12	48,69
	<i>SD</i>	4,01	7,20	4,33	10,53
<i>Ca²⁺</i> (mg/l)	<i>Átlag</i>	7,82	54,73	7,33	62,39
	<i>SD</i>	2,31	14,15	1,46	20,67

A régi tápoldatos ultratiszta víz kationjai közül a legnagyobb növekedési arányt a kalcium-ionok mutatták 0,40 mg/l-ről 7,82 mg/l-re történt az emelkedés. Továbbra is a kálium-ionok maradtak a legtöbb mennyiségben 251 mg/l-el. Ehhez kapcsolódó szórás értéke 47 lett. Lítium-ionok megjelentek a lecserélendő vízben, de nagyon alacsony koncentrációban 0,01 mg/l), míg a nátrium-ionok átlagértékei: 27,05±7,91 mg/l.

A korábbi kloridion tartalmú tápoldatos ultratisztavíz kationjainál a nátrium-ionok 138 mg/l-ről 177 mg/l átlagértékre változtak, mely átlagosan 28% növekedést jelent. A kálium-ionok 153 mg/l-ről 251 mg/l-re emelkedtek, ami 63 % emelkedést jelent. Átlagosan 0,01 mg/l

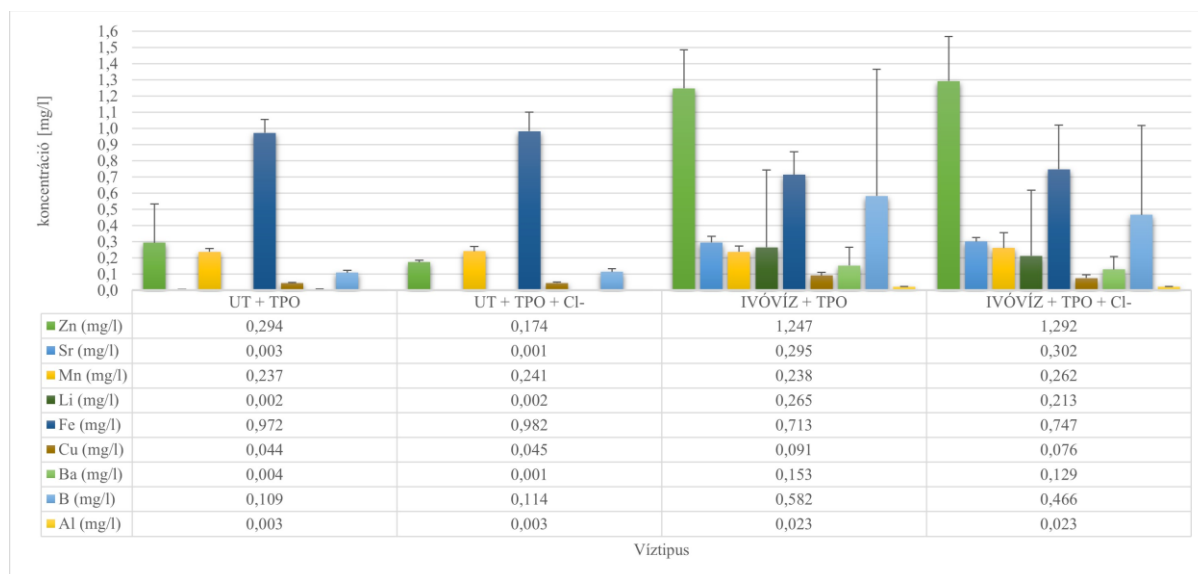
lítium-ion jelent meg a lecserélendő vízben. A kalcium-ionok $7,33 \pm 1,46$ mg/l-re, a magnézium-ionok $25,12 \pm 4,33$ mg/l-re, az ammónium-ionok pedig $48,88 \pm 6,52$ mg/l koncentrációra emelkedtek.

A régi tápoldatos ivóvíz átlagos kation koncentrációra a következőket kaptam: $0,31 \pm 0,10$ mg/l lítium-ion, $72,23 \pm 5,63$ mg/l nátrium-ion, $23,22 \pm 3,85$ mg/l ammónium-ion, 226 ± 41 mg/l kálium-ion, $44,52 \pm 7,20$ mg/l magnézium-ion és $54,73 \pm 14,15$ mg/l kalcium-ion. A kationok közül csak az ammóniumok esetében tapasztaltam csökkenést. $45,37$ mg/l-ről $23,22$ mg/l-re csökkent. A többi kation növekedett. Legnagyobb átlagos kation koncentrációt a kálium-ionokra kaptam ($225,88$ mg/l-t).

A régi növelt kloridion tartalmú tápoldatos ivóvíz átlagos kation tartalma: $0,31 \pm 0,05$ mg/l lítium ion, 274 ± 83 mg/l nátrium-ion (körülbelül 110 mg/l-el több jelent meg a lecserélt vízben), $18,89 \pm 7,28$ mg/l ammónium-ion, 267 ± 58 mg/l kálium-ion (nagyjából 100 mg/l plusz keletkezett), $48,69 \pm 10,53$ mg/l magnézium-ion és $62,39 \pm 20,67$ mg/l kalcium-ion. Az ammónium-ion kivételével mindegyik kation mennyiségileg növekedett. Az ammónium-ion átlagosan $37,59$ mg/l-ről $18,89$ mg/l-re csökkent. A nátrium-ion tartalom $82,52$ mg/l, a kálium-ionoké pedig $58,06$ mg/l volt, míg a legkisebb koncentrációban a lítium-ionok voltak azonosíthatóak ($0,05$ mg/l).

4.3. A vizek mikroelemtartalmának vizsgálata

Az öntözésre felhasznált vizekből mintát vettem és eljuttattam ICP-OES mérésre. A mérés előtt a mintelőkészítés megtörtént. Az eredményeket átlagoltam, diagram formájában összesítettem. A szórást hibasávként ábrázoltam az értékek oszlopain.



12. ábra: Vízminták átlagos mikroelem tartalma

Ahogy ezt a 12. ábra is jól szemlélteti az ivóvíz minták mikroelem tartalma magasabb, mint az ultratiszta víz minták mikroelem összetétele a megfelelő tápoldat és kloridion mennyiség adagolása után. Az ultratiszta víz (UV) mikroelem tartalma a kimutatási határ alá esik, kivéve az alumínium, aminél $0,0015 \pm \text{szórás mg/l}$ átlagkoncentrációt lehetett mérni. A tápoldatos ultratiszta vízben (UT+TPO) legnagyobb mennyiségben a vas volt jelen ($0,972 \text{ mg/l}$), míg legkisebb mennyiségben a lítium alumínium és a stroncium volt detektálható. Kloridion tartalmú tápoldatos ultratiszta vízben (UT+TPO+Cl-) a cink, stroncium, bárium, mennyisége csökkent, míg a mangán, vas, bór koncentrációja nőtt.

A tápoldat és kloridion adagolása előtt az ivóvíz (IV) átlag mikroelem tartalma alacsonyabb lett, kivéve a cink esetét, mert $1,491 \pm \text{szórás mg/l}$ koncentráció értéket mértem. Az IVÓVÍZ+TPO és IVÓVÍZ+TPO+Cl- víztípusoknál a legnagyobb a mikroelem tartalom. A kevesebb kloridion tartalom esetében a cink mennyisége $1,247 \text{ mg/l}$, a nagyobb kloridion koncentrációjúánál pedig $1,292 \text{ mg/l}$, ez 4%-os növekedést jelent. Az alumínium mennyisége egyenlő a két típusnál ($0,023 \text{ mg/l}$). A vas koncentrációja szintén megnőtt a több kloridion tartalmú tápoldatos ivóvízben, mert a kevesebb kloridionnal rendelkező tápoldatos ivóvízben $0,713 \text{ mg/l}$ vaskoncentráció volt. A réz mérési eredménye az IVÓVÍZ+TPO-nál $0,091 \text{ mg/l}$ és a több kloridiont tartalmazó tápoldatos ivóvíznél pedig $0,076 \text{ mg/l}$ lett.

A kloridion jelenléte negatív hatást nem eredményezett a mikroelemek koncentrációjában. Az ezüst, bizmut, kadmium, kobalt, króm, nikkel, ólom, mikroelemek mind az ivóvíz, mint pedig az ultratiszta víz mintákban a <LOD határ alá esik, azaz nem voltak jelen kimutatható mennyiségben.

4.4. Gyökér- és szárhossz eredmények és értékelésük

A nevelési vizsgálat után, egy közetgyapotkockán lévő összes növény szárát és gyökerét milliméterben kifejezve, vonalzó segítségével megmértem. Az egy kockáról lemért egyfajta növényeket petricsészékre helyeztem el. A mérés eredményeit a következő táblázatokban foglaltam össze átlag és szórási eredményekkel víztípus szerint, növénytípusonként.

A 7., 8., 9., 10. táblázat a vizsgált növénytípusok átlag gyökérhosszát és szárhosszát mutatja be külön víztípusokra lebontva.

7.táblázat: Bazsalikom gyökér és szárhossz adatai víz típus szerint

Bazsalikom	Gyökérhossz [cm]		Szárhossz [cm]	
	Átlag	Szórás	Átlag	Szórás
UT + TPO	0,89	0,36	2,04	1,07
UT + TPO + Cl-	1,03	0,45	2,50	0,70
IVÓVÍZ + TPO	2,90	2,59	3,36	1,53
IVÓVÍZ + TPO + Cl-	3,57	3,01	2,10	1,46

Az ultratiszta tápoldatos vízben növekedett bazsalikomok átlag szárhossza és gyökérhossza kisebb volt, mint a kloridion tartalmú ultratiszta vízben nevelteké. Az ivóvíz esetében, amibe csak tápoldatot raktam az átlag szárhossz 3,36 cm, míg a kloridion tartalmú víz esetében 2,10 cm volt. Ezzel ellentétben a kloridionnal növelt tápoldatos ivóvízen növekedett növényeknél, az átlag gyökérhossz 0,66 cm-rel nagyobb lett a tápoldatos ivóvízen nevelkedett növények átlag gyökérhosszától. Feltételezhető, hogy a bazsalikomnál a gyökérhossz növekedését elősegíti a szárhossz növekedést gátolja, ha az alap közeg az ivóvíz. Az ultratiszta víz alapján a gyökérhossz növekedést és a szárhossz növekedést is serkentette kloridion az adatok alapján.

8.Táblázat: Rukkola gyökér és szárhossz adatai víz típus szerint

Rukkola	Gyökérhossz [cm]		Szárhossz [cm]	
	Átlag	Szórás	Átlag	Szórás
UT + TPO	1,29	0,31	3,29	1,06
UT + TPO + Cl-	1,15	0,65	1,15	0,65
IVÓVÍZ + TPO	4,72	4,88	6,14	1,74
IVÓVÍZ + TPO + Cl-	4,73	3,45	5,41	1,67

Rukkolák gyökérhosszát a kloridion, az eredményekre hivatkozva késleltette a leállításig. Az átlag kisebb lett az UT víz alapján. Kisebb átlag szárhosszt kaptam az UT+TPO+Cl- típusú víznél is. Ivóvíz esetében a gyökérhossz átlag közel azonos a kloridion nélküli és a kloridionos víznél. A plusz kloridionos ivóvíznél kisebb átlag szárhosszt kaptam (12%-os csökkenés) mint a kevesebb kloridiont tartalmazó ivóvíznél (IVÓVÍZ+TPO). Összeségében az ivóvízen fejlődött rukkolák nagyobbra nőttek, mint az ultratiszta vízen nevelkedett rukkolák, amit a 8. táblázat is szemléltet.

9. Táblázat: Amerikai barnatépősaláta gyökér és szárhossz adatai víztípus

Amerikai barnatépősaláta	Gyökérhossz [cm]		Szárhossz [cm]	
	Átlag	Szórás	Átlag	Szórás
UT + TPO	3,28	1,11	5,07	1,02
UT + TPO + Cl ⁻	3,55	3,05	5,41	0,63
IVÓVÍZ + TPO	3,56	3,52	5,56	1,45
IVÓVÍZ + TPO + Cl ⁻	4,87	1,85	4,86	1,33

Az amerikai barna tépősaláták gyökér fejlődésére a kloridion tartalmú tápoldatos ivóvíz negatív hatással nem volt, mert az átlag érték 4,87 cm lett, ami a legnagyobb a többihez képest. Szárhossz eredmények közelítőleg majdnem megegyeznek, egy 5 cm átlag alá esett 4,86 cm átlag értékkel rendelkező növények szárhossza. Az tápoldatos ivóvízen (IVÓVÍZ + TPO) fejlődött amerikai barna tépősaláták szárhossza 14%-kal lett nagyobb, mint az IVÓVÍZ + TPO + Cl⁻ típuson fejlődött növények szárhossza.

10. Táblázat: Lolla Rossa gyökér és szárhossz adatai víztípus

Lolla Rossa	Gyökérhossz [cm]		Szárhossz [cm]	
	Átlag	Szórás	Átlag	Szórás
UT + TPO	3,43	2,09	5,34	1,26
UT + TPO + Cl ⁻	4,08	2,92	5,21	1,06
IVÓVÍZ + TPO	4,55	2,86	3,84	1,90
IVÓVÍZ + TPO + Cl ⁻	3,32	1,67	4,44	1,72

A Lolla Rossák gyökérnövekedését a tápoldatos ivóvíz serkentette a legnagyobb mértékben, így átlag gyökérhossznál 4,55 cm-t kaptam. Itt viszont, az ultratiszta víznél nagyobb átlag növényhosszokat tapasztaltam, mint az ivóvíznél. Kloridion nélkül átlag 5,34 cm, kloridionnal pedig átlag 5,21 cm értékeket számoltam ki. Ivóvíz típusoknál az átlag gyökérhossz nagyobb lett, mint az ultratiszta vízen nevelkedett növények átlag gyökérhossza.

4.5. Növények nedves és száraz biomassa tömege, nedveségtartalma víztípus alapján

Bazsalikom, rukkola, amerikai barna tépősaláta, és lolla rossa növények nedves és száraz biomassa tömegét, illetve nedveségtartalmát 11., 12., 13. és 14. táblázatokban foglaltam össze. Átlagok és szórások szerepelnek a táblázatokban. Minden víztípusból

(tálcából) 5 db kockányi megegyező fajtájú növény száraz és nedves biomassa tömegének, nedvesség tartalmának átlagát és szórását számoltam ki Excelben.

11. táblázat: Bazsalikomok száraz/nedves biomassa tömege és nedvességtartalma

Nedves biomassa tömeg [g]		Száraz biomassa tömeg [g]		Nedvességtartalom [%]	
[IVÓVÍZ+TPO]		[IVÓVÍZ+TPO]		[IVÓVÍZ+TPO]	
Átlag	Szórás	Átlag	Szórás	Átlag	Szórás
0,7308	0,5530	0,05302	0,03685	92,36%	0,97%
[IVÓVÍZ+TPO+Cl]		[IVÓVÍZ+TPO+Cl]		[IVÓVÍZ+TPO+Cl]	
Átlag	Szórás	Átlag	Szórás	Átlag	Szórás
0,6362	0,1815	0,05237	0,01244	91,65%	0,77%
[UT+TPO+Cl]		[UT+TPO+Cl]		[UT+TPO+Cl]	
Átlag	Szórás	Átlag	Szórás	Átlag	Szórás
0,2122	0,1482	0,0189	0,01426	90,71%	5,01%
[UT+TPO]		[UT+TPO]		[UT+TPO]	
Átlag	Szórás	Átlag	Szórás	Átlag	Szórás
0,2096	0,0334	0,0319	0,01814	84,26%	9,56%

Az ivóvízen termesztett bazsalikomok nedves biomassa tömege nagyobb lett, mint az ultratiszta vízben nevelteké. A plusz kloridiont tartalmazó tápoldatos ivóvízen termelt bazsalikomok nedves biomassa tömege átlagosan kisebb lett (0,6362 g) mint az IVÓVÍZ+TPO típusnál (0,7308 g). Az ultratiszta vizet vizsgálva, ennek ellenkezőjét tapasztaltam. Amelyikben nem volt kloridion kevesebb lett a nedves biomassa produktum (0,2096 g). Amiben volt, ott (0,2122 g) lett az átlagos nedves terméstömeg. A bazsalikom átlagos száraz biomassa tömege a tápoldatos ivóvíz esetében magasabb, mint a kloridion tartalmú tápoldatos ivóvízen növekedett növényeké. Nagyobb lett a száraz biomassa hozam az ivóvízen növekedett bazsalikomok esetében, mert a tápoldatos ultratiszta vízen növekedett bazsalikomok átlagos tömege szárítás után 0,0189 g lett, a kloridion nélküli mintákban pedig 0,0319 g volt. A nedvességtartalom értékeiről ugyanez elmondható. Ivóvíznél nagyobb volt a minták nedvességtartalma, mint az ultratiszta vizek esetében. A növelt kloridiont tartalmazó csapvíznél 91,65%, a kloridion nélkülinél 92,36% volt a nedvességtartalom növényekben. Ultratisztavíz esetében fordítva volt: ami kloridiont tartalmazott, ott nagyobb volt a növényekben a nedvességtartalom átlagosan 90,71%, amelyiknél pedig nem, ott 84,26%.

12.táblázat: Rukkolák száraz/nedves biomassa tömege és nedvességtartalma

Nedves biomassa tömeg [g]		Száraz biomassa tömeg [g]		Nedvességtartalom [%]	
[IVÓVÍZ+TPO]		[IVÓVÍZ+TPO]		[IVÓVÍZ+TPO]	
Átlag	Szórás	Átlag	Szórás	Átlag	Szórás
2,9645	0,7712	0,3076	0,16920	89,69%	4,94%
[IVÓVÍZ+TPO+Cl ⁻]		[IVÓVÍZ+TPO+Cl ⁻]		[IVÓVÍZ+TPO+Cl ⁻]	
Átlag	Szórás	Átlag	Szórás	Átlag	Szórás
2,5308	0,0646	0,2007	0,01421	92,07%	0,46%
[UT+TPO+Cl ⁻]		[UT+TPO+Cl ⁻]		[UT+TPO+Cl ⁻]	
Átlag	Szórás	Átlag	Szórás	Átlag	Szórás
1,2434	0,3671	0,0856	0,04103	92,43%	4,02%
[UT+TPO]		[UT+TPO]		[UT+TPO]	
Átlag	Szórás	Átlag	Szórás	Átlag	Szórás
0,6620	0,5539	0,0332	0,02360	90,35%	8,34%

Ahogy a 12. táblázatban is látható a rukkolák nedves biomassa tömege nagyobb lett az ivóvízes minták esetében. Ezen belül a növelt kloridion tartalmú ivóvízben fejlődött rukkolák nedves biomassa tömege kisebb, 2,5308 g volt, a másiknál esetben pedig 2,9645 g. Feltételezhető, hogy a növelt kloridionnak az ivóvíz alapú öntözővíznél gátló hatása volt a rukkolák fejlődésében. Az ultratisztavíznél ennek ellenkezőjét tapasztaltam. Az UT+TPO+Cl⁻ típusnál 1,2434 g, míg a tápoldatos ultratiszta vízben nevelkedett növények nedves biomassa tömege pedig 0,6620 g volt. A rukkolák átlagos száraz biomassa tömege magasabb volt az ivóvíznél, mint az ultratiszta víznél, viszont a növények nedvességtartalma magasabb volt az ultratiszta víz esetében. A tápoldatos ivóvízen nevelkedett növények száraz biomassa tömege nagyobb lett (0,3076 g), mint a növelt kloridiont tartalmazó minták esetén (0,2007 g). A nedvességtartalomnál az ellenkezője történt, kloridionnal növelt öntözővíz esetén lett nagyobb a rukkolák nedvességtartalma (92,07%). Az ultratiszta vízben fejlődött rukkolák száraz biomassa tömege a kloridionnal növelt víz esetben volt nagyobb (0,0856 g), nedvességtartalmuk szintén (92,43%) így alakult.

13.táblázat: Amerikai barna tépősaláták száraz/nedves biomassa tömege és nedvességtartalma

Nedves biomassa tömeg [g]		Száraz biomassa tömeg [g]		Nedvességtartalom [%]	
[IVÓVÍZ+TPO]		[IVÓVÍZ+TPO]		[IVÓVÍZ+TPO]	
Átlag	Szórás	Átlag	Szórás	Átlag	Szórás
1,7396	0,9577	0,08756	0,05762	95,17%	1,32%
[IVÓVÍZ+TPO+Cl]		[IVÓVÍZ+TPO+Cl]		[IVÓVÍZ+TPO+Cl]	
Átlag	Szórás	Átlag	Szórás	Átlag	Szórás
1,8741	0,5513	0,15547	0,00635	91,32%	1,99%
[UT+TPO+Cl]		[UT+TPO+Cl]		[UT+TPO+Cl]	
Átlag	Szórás	Átlag	Szórás	Átlag	Szórás
1,7186	0,5175	0,0774	0,02254	95,21%	1,61%
[UT+TPO]		[UT+TPO]		[UT+TPO]	
Átlag	Szórás	Átlag	Szórás	Átlag	Szórás
1,7765	0,6857	0,0712	0,04385	95,35%	3,81%

Az amerikai barna tépősaláta átlagos nedves biomassa tömege a növelt kloridiont tartalmazó ivóvíznél 1,8741g, míg az IVÓVÍZ+TPO típusú öntözővíz esetében 1,7396 g. UT+TPO típusnál 1,7765 g, a kloridion tartalmú esetben pedig kevesebb 1,7186 g lett. Amerikai barna tépősaláta esetén a legnagyobb száraz biomassa tömege a kloridionnal növelt tápoldatos csapvíz esetében volt mérhető, majd a tápoldatos ivóvízen nevelkedett növényeknek, ill. az ultratisztavíz alapú öntözővíz sorrendben csökkent. Hasonló eredmények születtek a két ultratisztavíznél mind biomassa tömege (0,0774 g és 0,0712 g) mind pedig nedvességtartalomra (95,35% és 95,21%) vonatkozóan, azaz az ultratiszta vízen fejlődött növények nedvességtartalma magasabb értékeket hozott, mint az ivóvízen növelteké.

14.táblázat: Lolla Rossa száraz/nedves biomassza tömege és nedvességtartalma

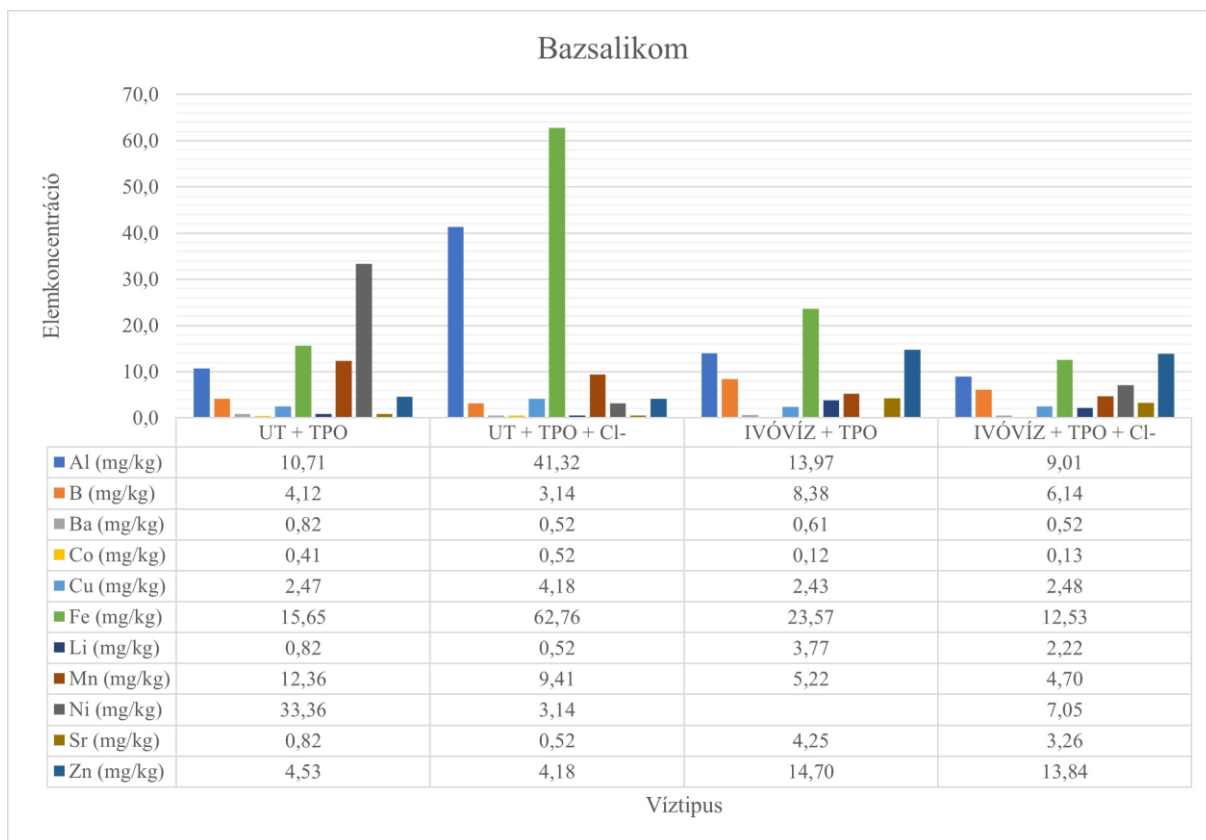
Nedves biomassza tömeg [g]		Száraz biomassza tömeg [g]		Nedvességtartalom [%]	
[IVÓVÍZ+TPO]		[IVÓVÍZ+TPO]		[IVÓVÍZ+TPO]	
Átlag	Szórás	Átlag	Szórás	Átlag	Szórás
0,5711	0,3512	0,03604	0,02383	94,77%	2,73%
[IVÓVÍZ+TPO+Cl]		[IVÓVÍZ+TPO+Cl]		[IVÓVÍZ+TPO+Cl]	
Átlag	Szórás	Átlag	Szórás	Átlag	Szórás
0,8983	0,3988	0,05376	0,02359	93,99%	0,14%
[UT+TPO+Cl]		[UT+TPO+Cl]		[UT+TPO+Cl]	
Átlag	Szórás	Átlag	Szórás	Átlag	Szórás
1,2461	0,3758	0,08788	0,02901	92,96%	0,95%
[UT+TPO]		[UT+TPO]		[UT+TPO]	
Átlag	Szórás	Átlag	Szórás	Átlag	Szórás
0,7829	0,3229	0,0517	0,01734	93,17%	1,29%

Lolla Rossák átlagos nedves biomassza tömege mind a növelt kloridion tartalmú tápoldatos ivóvíz, mind pedig a kloridiont tartalmazó tápoldatos ultratiszta víz esetében nagyobb lett, mint a növelt kloridiont nem tartalmazó tápoldatos vizeknél. Az UT+TPO+Cl-öntözővíz típusnál kaptam a legnagyobb átlagos száraz biomassza tömeget (0,08788 g-ot). A tápoldatos ivóvíznél a legnagyobb az átlagos nedvességtartalom (94,77%), a plusz kloridionokat tartalmazó ivóvíz alapú minták esetén 93,99% volt. Véleményem szerint ez nem tekinthető jelentős különbségnek.

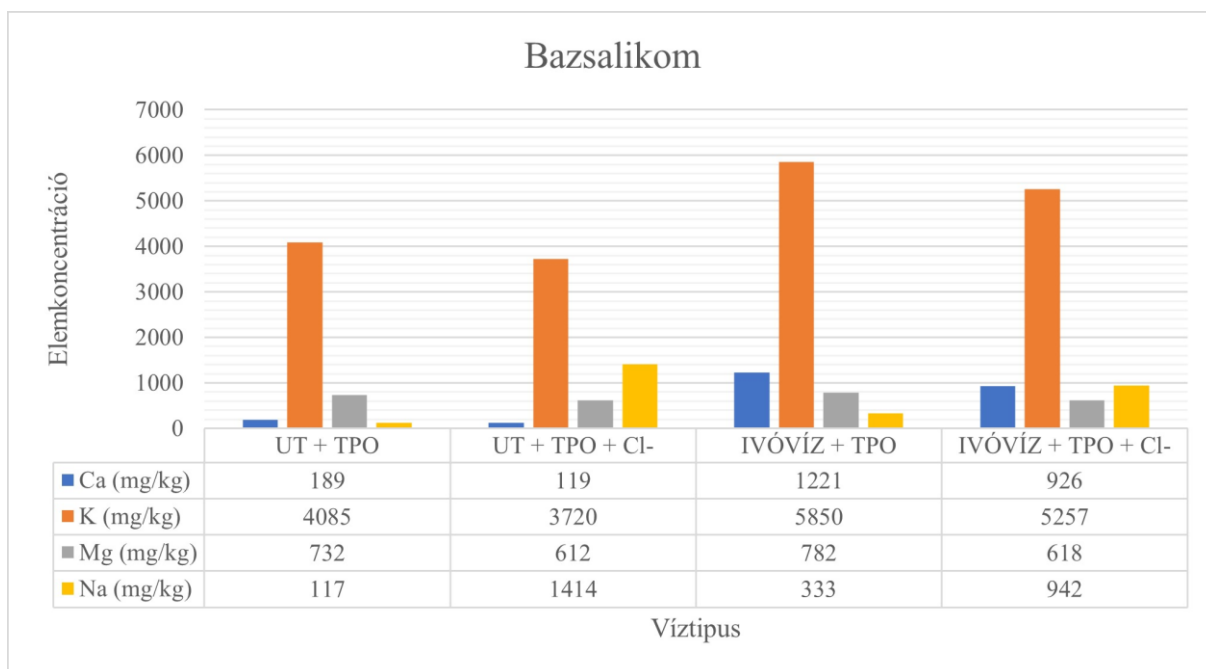
4.6. Növények mikro- és makroelem tartalma

Propagátorként minden növénytypust szárítás után dörzsmozsárban porítottam és elemanalitikai mérésre készítettem elő. ICP-OES mérési technikával a növények mikro- és makroelem tartalma került meghatározásra. Ahol nincs mért adat, ott nem volt detektálható az adott komponens /az a (<LOD) jelölésnek felel meg/. Minden vizsgált növény mikro- és makroelem tartalmát víztípusokra nézve az Excelben elkészített diagrammok formájában összesítettem, értékeltem, a mért koncentrációértékeket átváltottam mg/kg-ba.

A 13. ábra a bazsalikom minták átlagos mikroelem tartalmát, a 14. ábra pedig a makroelemek koncentrációit mutatják be víztípusonként.



13.ábra: Bazsalikom minták mikroelem tartalma



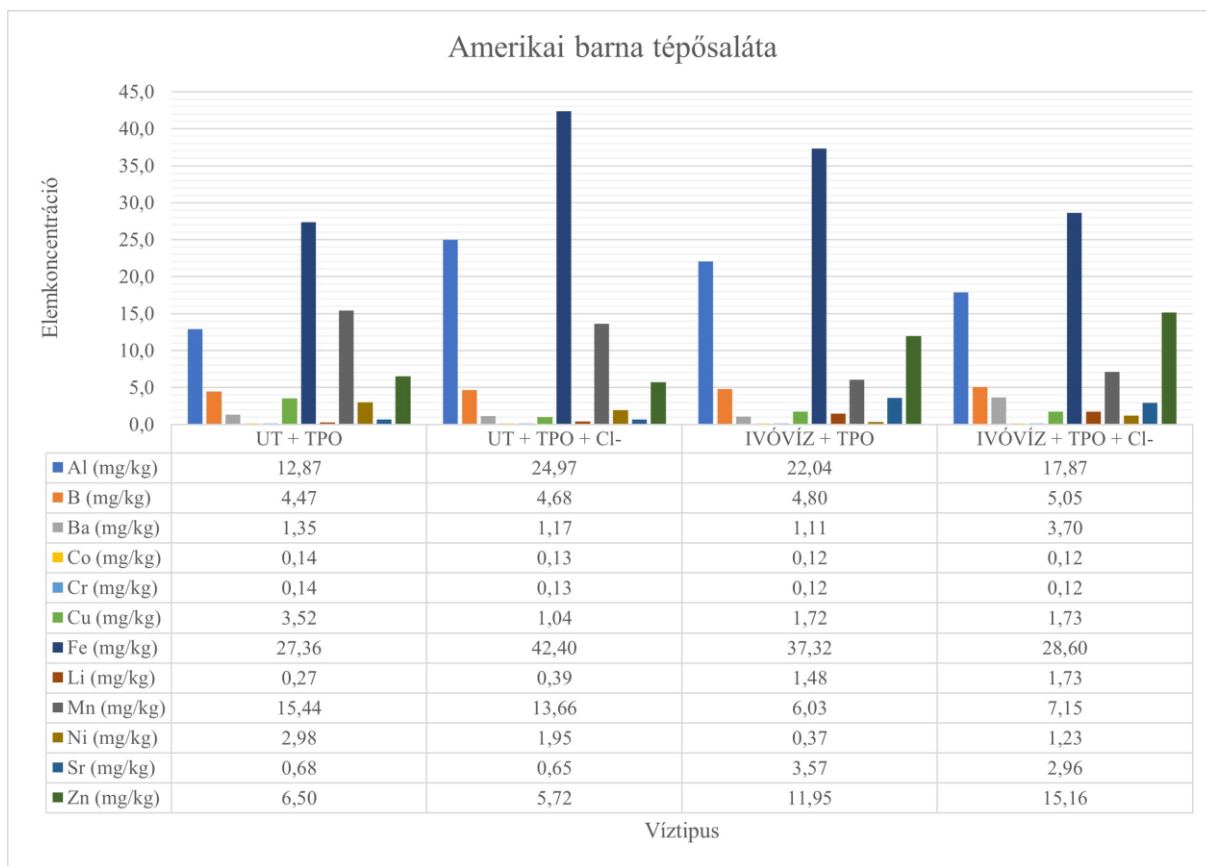
14.ábra: Bazsalikom minták makroelem tartalma

A bazsalikom esetében a minták legnagyobb Fe tartalma a kloridiont tartalmazó tápoldatos ultratisztavíznél volt. Kloridiont nem tartalmazó ultratiszta víznél kevesebb, 15,65 mg/kg. Ivóvíz esetében megfigyeltem, hogy a növények mikroelem koncentrációja magasabb volt a kloridiont nem tartalmazó tápoldatos ivóvíznél, mint a növelt kloridiont tartalmazó

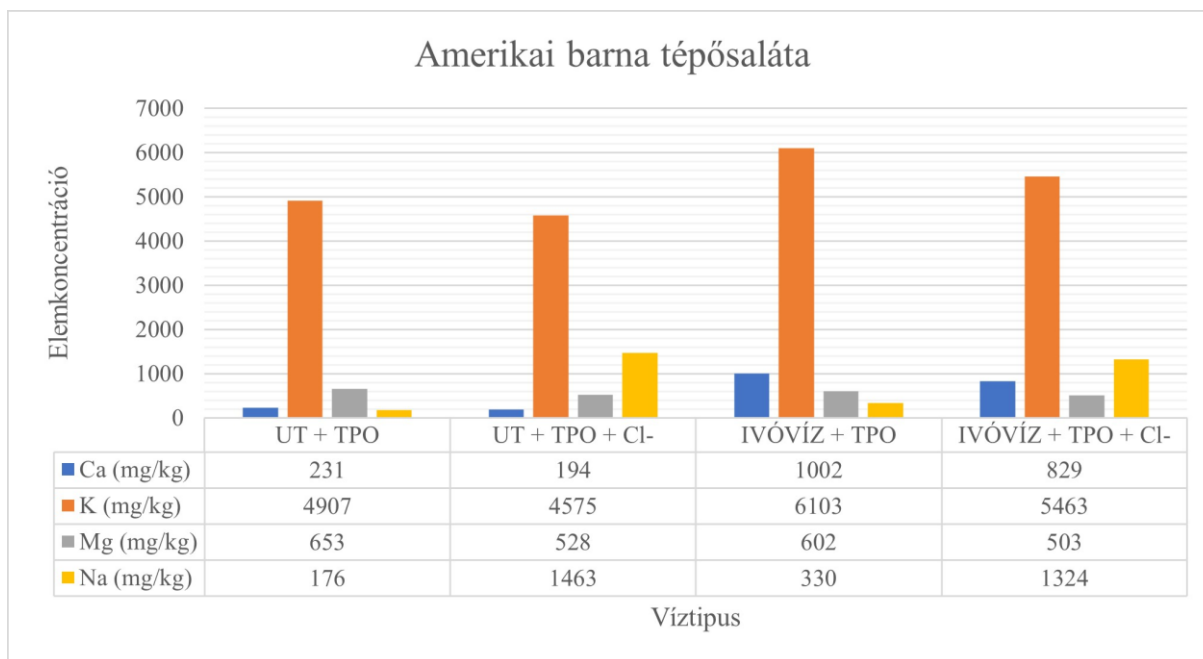
csapvíznél. Kivételek: Co, Cu, Ni, mikroelemek. Az kloridiont tartalmazó ultratisztavízen fejlődött bazsalikomok Al tartalma 41,32 mg/kg, a kloridion nélküli öntözővíz esetében pedig 10,71 mg/kg volt, mely szerint feltételezhető, hogy a kloridion nincs negatív hatással az Al, Fe, felvételére.

A bazsalikomok kálium és kalcium tartalma a tápoldatos ivóvíz esetében volt a legmagasabb, a tápoldatos ultratisztavíz öntözővízhez képest is. A legkisebb koncentrációt a kloridiont tartalmazó ultratisztavízen fejlődött, növények esetében mértünk. A bazsalikomok nátrium tartalma mindkét kloridionnal növelt öntözővíznél magasabb volt, UT+TPO+Cl- esetén 1414 mg/kg, míg az IVÓVÍZ+TPO+Cl- típusnál 942 mg/kg volt.

A 15. ábra az amerikai barna tépősaláták mikroelem koncentrációját, a 16. ábra pedig a makroelemek mennyiségét összegzi víztípusra nézve.



15.ábra: Amerikai barna tépősaláta minták mikroelem tartalma

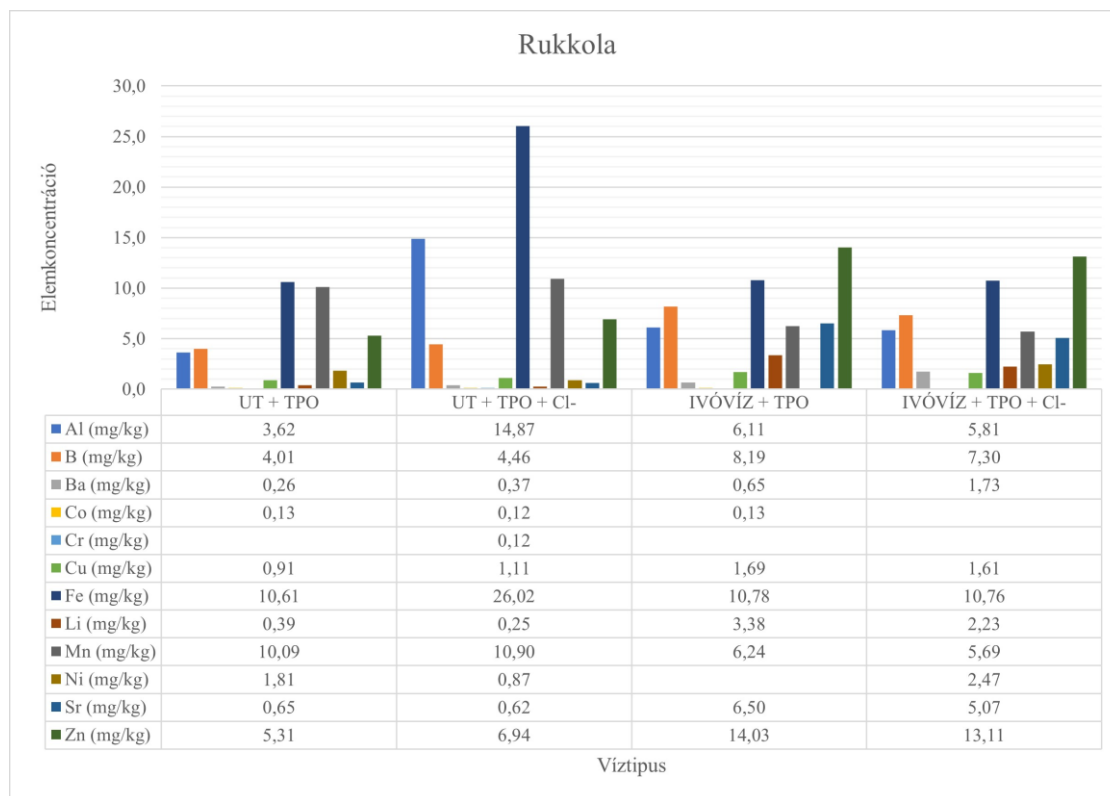


16.ábra: Amerikai barna tépősaláta minták makroelem tartalma

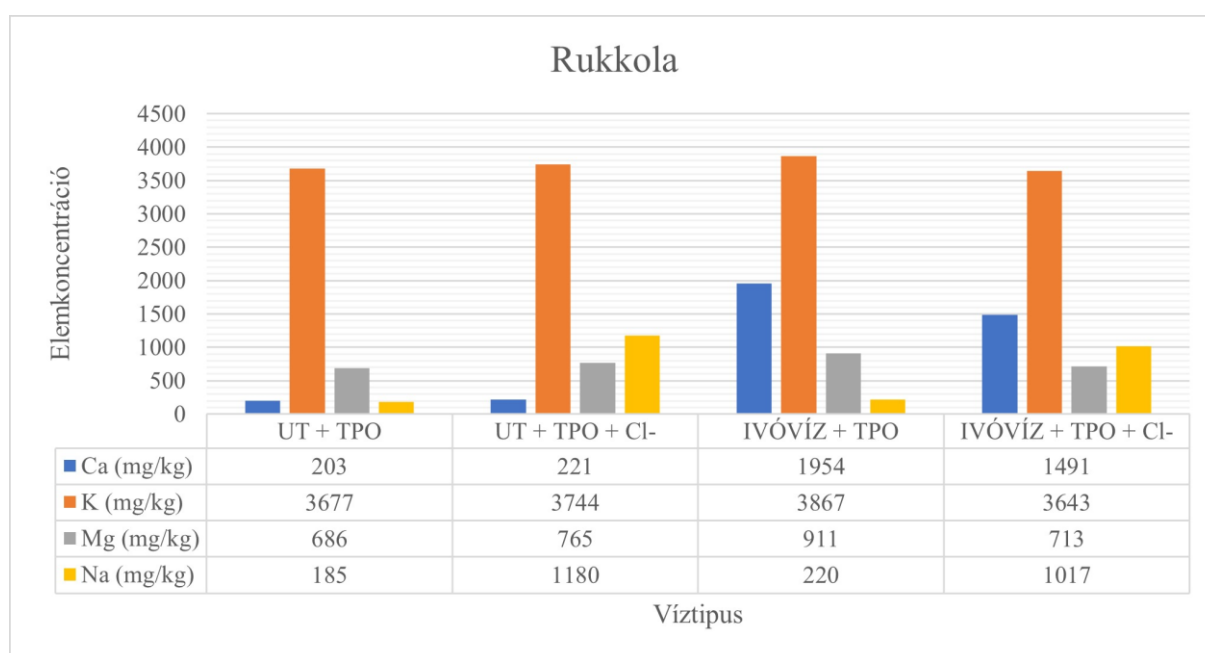
Az amerikai barna tépősaláta mikroelem tartalmát a növelt kloridion mind az ivóvíznél és mind az ultratisztavíznél befolyásolta. Kiemelkedő eltérést a vas és alumínium esetében kaptam. UT+TPO típusnál 12,87 mg/kg alumínium és 27,36 mg/kg vas koncentrációt mértünk, míg az UT+TPO+Cl- fajtánál magasabb értékeket: 24,97mg/kg alumíniumot és 42,40 mg/kg vasat tartalmazott a minta. A többi mikroelem adatai egymáshoz közel esnek a két ultratisztavíz típust vizsgálva. A kevesebb kloridiont tartalmazó tápoldatos ivóvízen fejlődött palánták alumínium, vas, stroncium koncentrációja magasabb lett, a többi mikroelem koncentrációja pedig kisebb: bór, bárium, réz, lítium, mangán, nikkel cink. A kobalt és króm koncentrációértékei egyenlőek a két ivóvíz típusnál: 0,12 mg/kg. A cink mennyisége a mintában 15,16 mg/kg volt, ez a magasabb kloridiont tartalmazó tápoldatos ivóvízes mintáknál tapasztaltam.

Makroelemeket (16. ábra) vizsgálva mindkét kloridiont tartalmazó víztípus esetében a nátrium mennyisége jóval nagyobb volt az amerikai barna tépősalátákban (1463 mg/kg), az ultratisztánál és az ivóvízesnél pedig 1324 mg/kg. A magnézium, kálium, kalcium koncentrációja viszont, a kevesebb kloridiont tartalmazó ultratiszta és csapvízben nevelkedett növényekben volt magasabb. Ezen makroelemek növekvő mennyiségét a salátákban a kloridion feltételezhetően gátolhatja.

A 17.ábra a rukkola minták mikroelem koncentrációit, a 18. ábra pedig a makroelem mennyiségét szemlélteti vízjellegre nézve.



17.ábra: Rukkola minták mikroelem tartalma



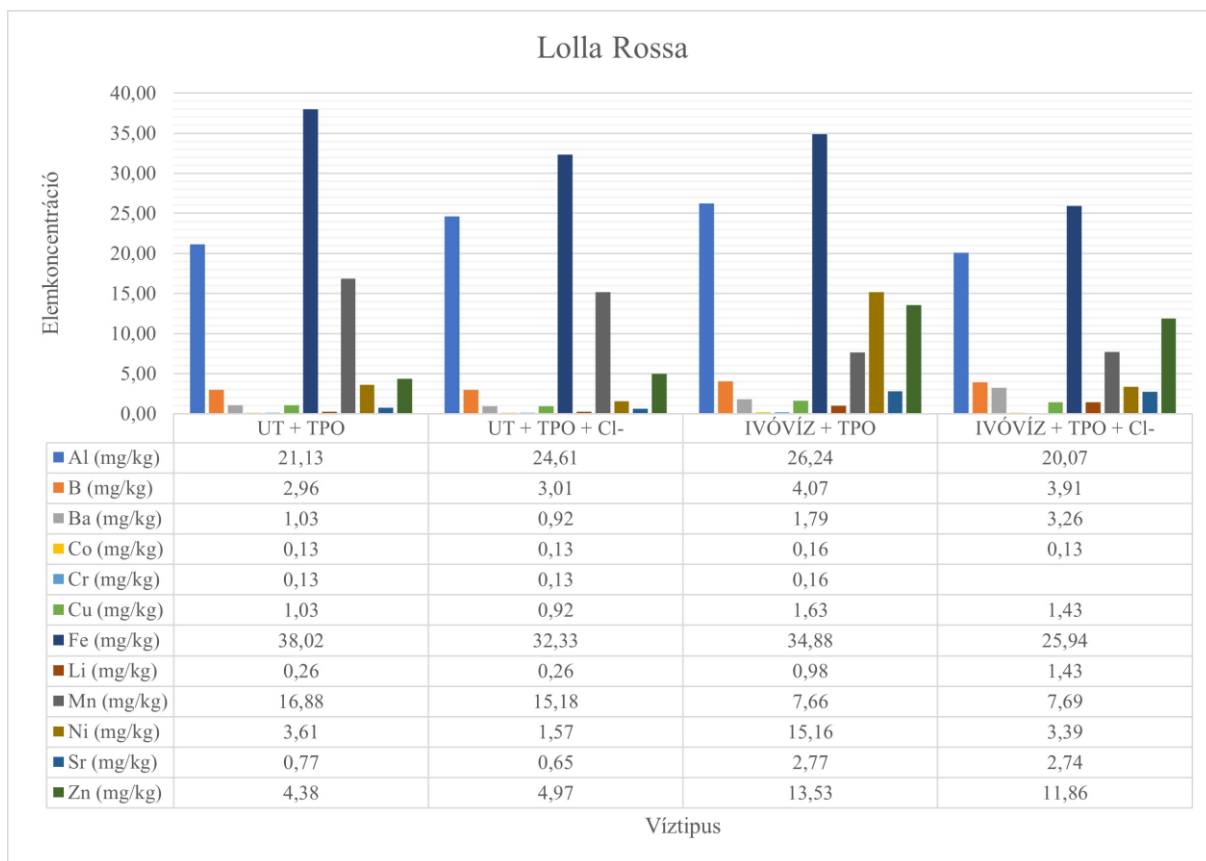
18.ábra: Rukkola minták makroelem tartalma

A kloridion nélküli tápoldatos ultratiszta vizes rukkola a minták esetében az alumínium tartalom a kloridionos változathoz képest (14,87 mg/kg) jelentősen alacsonyabb értékű lett (3,62 mg/kg). Króm nem volt kimutatható, csak a kloridiont tartalmazó ultratisztavíz típusúnál. A vastartalom az UT+TPO típusnál 10,61 mg/kg, a kloridionnal növelt esetben 26,02 mg/kg.

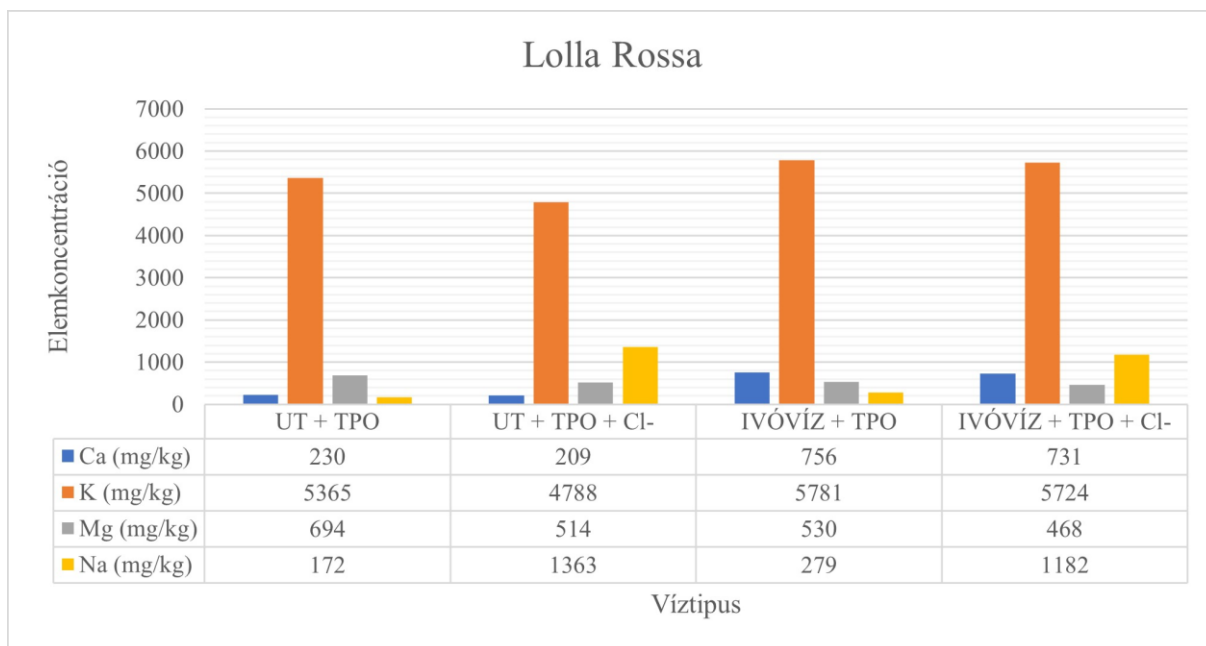
IVÓVÍZ+TPO-nál nikkelt és krómot, kloridionnal növelt típusnál pedig kobaltot és krómot nem lehetett kimutatni a vizsgálat során. Cink koncentrációja a rukkolákban tápoldatos ivóvíznél 14,03 mg/kg, kloridionnal növelt típusnál 13,11 mg/kg. Az vas mennyisége megegyezik a két víztípus eseténél (10,78 mg/kg - 10,76 mg/kg).

A rukkola makroelem tartalmának alakulása teljesen más, mint az eddigi növények esetében. A tápoldatos ultratiszta ivóvízben fejlődött növényekben a Ca, K, Mg, Na koncentráció kisebb lett, mint a kloridionos verzióban, ahogyan ezt az 18. ábra is szemlélteti. Ebben a helyzetben kloridion pozitív hatású lehet. IVÓVÍZ+TPO öntözővíz esetén a növények makroelem tartalma a nátrium kivételével nagyobb lett, mint a kloridionos változatnál.

A 19. ábra a Lolla Rossa minták mikroelem tartalmát és a 20. ábra pedig a makroelem koncentrációit mutatja be víztípusonként.



19.ábra: Lolla Rossa minták mikroelem tartalma



20.ábra: Lolla Rossa minták makroelem tartalma

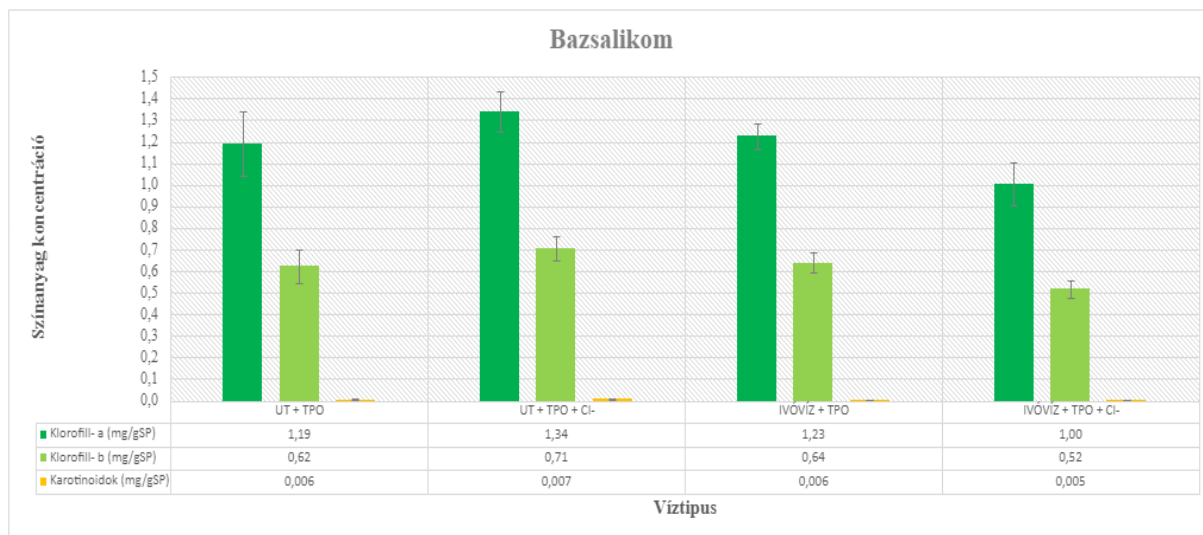
A Lolla Rossa minták különböző mikroelem tartalma az UT+TPO és UT+TPO+Cl- típusoknál egymáshoz közelítő eredményeket mutatnak, kivételt képezett a vas és az alumínium. Az UT+TPO öntözővíz esetén 38,02 mg/kg vasat vett fel a növény a fejlődése során. Az UT+TPO+Cl- esetről pedig 32,33 mg/kg-ot. A kloridion jelenléte itt gátló hatású lehetett. Alumínium felvételénél serkentő hatás feltételezhető, hiszen a kloridion tartalmú tápoldatos ultratisztavízben való fejlődés folyamán a Lolla Rossa saláták összesen 24,61 mg/kg alumíniumot tartalmaztak, míg a másik típusnál 21,13 mg/kg-ot. Lolla Rossák alumínium, bór, réz, vas, nikkel, stroncium, cink tartalma magasabb lett a tápoldatos ivóvíznél. A növelt kloridionos csapvíznél a bárium, lítium, mangán elemek voltak magasabb koncentrációban jelen a növényekben, míg a krómot nem lehetett kimutatni. Az összes növény típusnál az ezüst, bizmut, kadmium, ólom mikroelemek mennyisége a (<LOD) kimutatási határ alá estek, ezért nincsenek feltüntetve a diagrammon. A makroelemeket vizsgálva az UT+TPO-nál a Ca, K, Mg, makroelemek mennyisége magasabb lett a növényekben, mint a kloridion tartalmú ultratisztavízben (kivétel a nátrium 1363 mg/kg eredménnyel). Ugyanez az eset vonatkozik az ivóvíz típusokban fejlődött salátákra, itt a nátrium koncentrációja 1182 mg/kg volt.

4.7. Fotoszintetikus aktivitást befolyásoló pigmentek mennyisége

Minden növény fajtaról körülbelül 0,0700 g levélmintát mértem le és azokat egy üvegküvetába tettem, ezekre extrahálószerrel öntöttem és a minták extrahálása 72 óráig tartott. Majd a spektrofotometriás mérések után a megfelelő képletek alkalmazásával kiszámoltam a

klorofill-a, klorofill-b és a karotinoidok mennyiségét. Kapott eredményeket átlagoltam, valamint szórást is számoltam. Táblázatokban összesítettem az adatokat és diagramokat készítettem el a kiértékelésükre, növényfajtákra vonatkozóan.

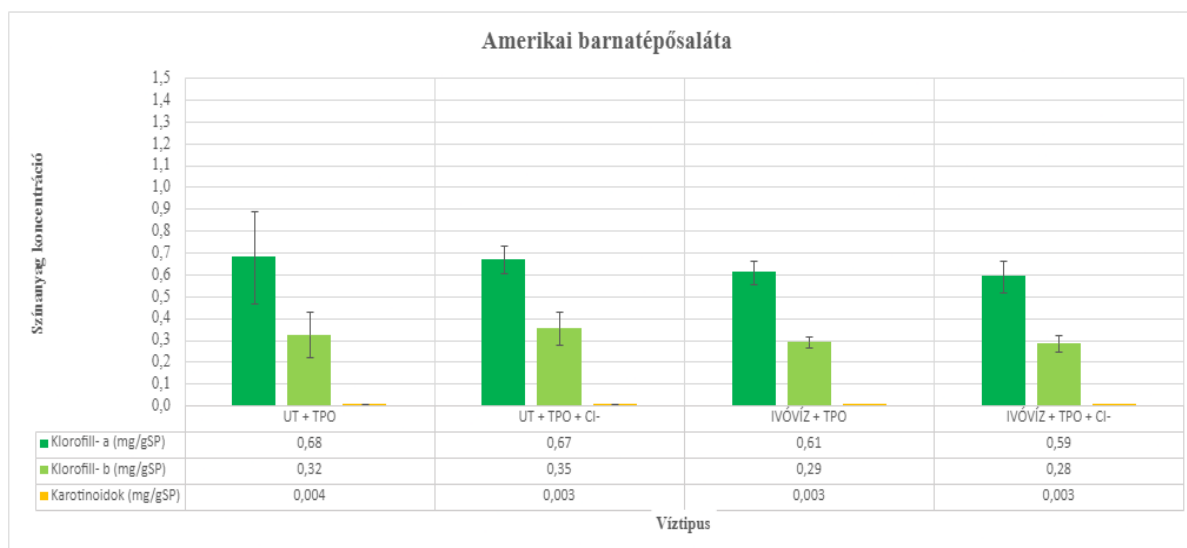
A 21. ábra a bazsalikomok fotoszintetikus pigmenttartalmát összegzi víztípusokra nézve



21.ábra: Bazsalikom minták fotoszintetikus pigmenttartalma

A 21. ábra a színanyag koncentrációt mutatják be a víztípusok függvényében. Ebben az esetben a bazsalikomra vonatkozóan. Legnagyobb klorofill-a (mg/gSP) koncentrációt a kloridion tartalmú tápoldatos ultratisztavíz eseténél mértem, melyek esetén a klorofill-b és karotinoidok mennyisége is magas volt, azaz ebben az esetben volt a legnagyobb színanyag mennyiség. A karotinoidok mennyisége azért a legkisebb, mert az a növényeknek a narancssárgás, sárgás, élénk piros színét adják [25]. A termesztett növények színe sötétzöld, világoszöld, élénkszöld lett. Legkisebb színanyag koncentrációt a bazsalikomokban az IVÓVÍZ + TPO + Cl- típus produkálta: 1,00 mg/gSP klorofill-a, 0,52 mg/gSP klorofill-b és 0,005 mg/gSP karotinoid tartalmat. Ivóvíz esetében a tápoldatos, kloridion nélküli öntözővízes minták esetében olt magasabb a színanyag koncentráció, mint a növelt kloridion tartalmú öntözővíz esetében. Azaz, feltételezhető, hogy a növelt kloridion tartalom már gátló hatással rendelkezik a festékanyag képződésre. Ultratiszta víznél mivel nincsen plusz kloridion mennyiség a tápoldatos változatában ezért lehet, hogy az UT+TPO+Cl- típushoz adagolt + Cl- miatt a növényekben megnőtt a színanyag.

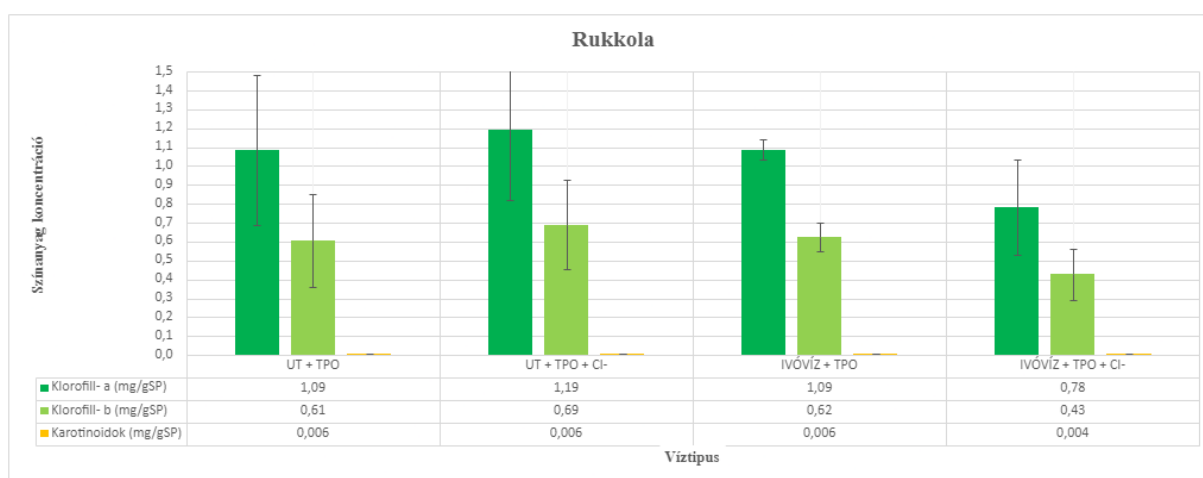
A 22. ábra az amerikai barna tépősaláták klorofill-a, klorofill-b, és a karotinoidok koncentrációját mutatja a be külön víz típusokra felosztva.



22.ábra: Amerikai barna tépősaláták fotoszintetikus pigmenttartalma

Amerikai barna tépősaláták színanyag koncentrációi víztípusonként közelítenek egymáshoz. Az UT+TPO klorofill-a értékek 1%-kal térnek el a kloridion tartalmú változattól. A növények klorofill-b koncentrációja 9%-kal kevesebb a tápoldatos ultratiszta vízben, karotinoidok szempontjából, pedig 1%-kal térnek el egymástól az értékek. A növények karotinoid mennyisége ivóvízes mintáknál megegyezik. Klorofill-a és -b színanyag koncentrációk egymáshoz közelítő értéket mutatnak. A színanyag mennyiség magasabb az ultratisztavízben fejlődött amerikai barnatépősalátákban mint a csapvízben nevelkedett növényekben, amely a 22. ábrán is látható.

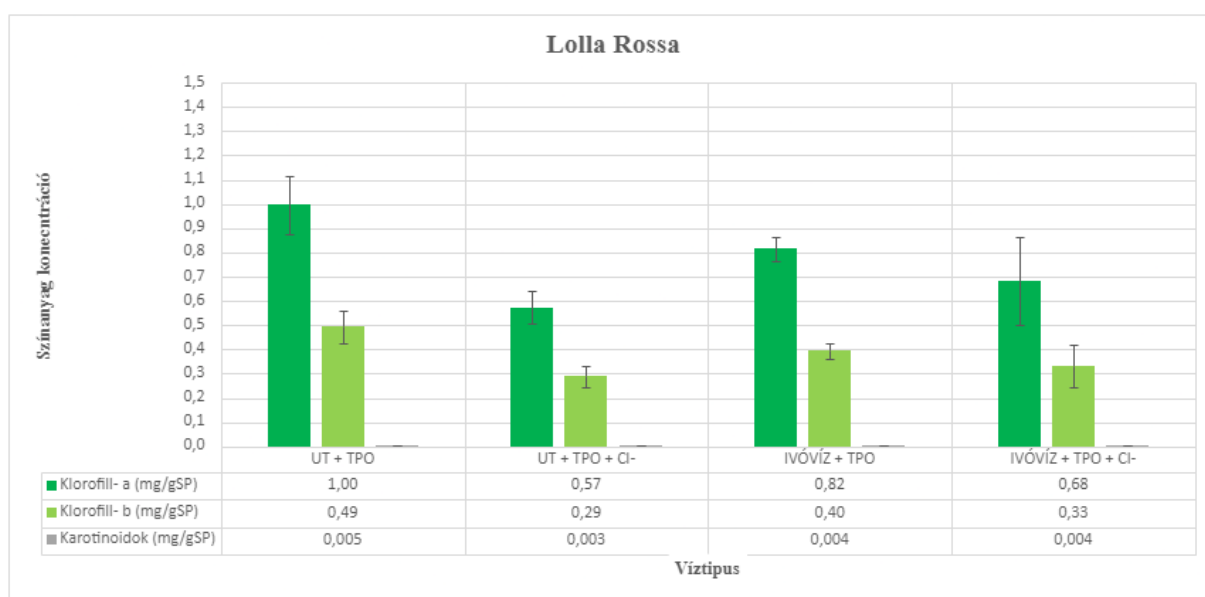
A 23. ábra a rukkola minták fotoszintetikus pigment tartalmának koncentrációit szemlélteti külön öntözővíz jellegre nézve.



23.ábra Rukkola minták fotoszintetikus pigmenttartalma

Az UT+TPO és IVÓVÍZ+TPO vízben fejlődött rukkolák fotoszintetikus pigment tartalma között jelentős különbség nem figyelhető meg. A pigment koncentráció a rukkolákban, a kloridionos tápoldatos ultratisztavíznél magasabb lett, mint a tápoldatos ultratisztavíznél. Az ivóvíz alapú öntözővizeknél ennek az ellenkezőjét tapasztaltam, a magasabb kloridion tartalmú ivóvíz esetén kisebb pigmenttartalmat detektáltam. Ugyanez az eset volt megfigyelhető az előzőekben értékelt növényeknél is. A karotinoidok mennyisége megegyezik az UT+TPO, UT+TPO+Cl-, IVÓVÍZ+TPO típusoknál (0,006 mg/gSP).

A 24. ábra a Lolla Rossák fotoszintetikus pigmenttartalmának kvantitását összegzi víztípusonként.



24.ábra Lolla Rossa minták fotoszintetikus pigmenttartalma

Lolla Rossa minták karotinoid mennyisége egyenlő volt a tápoldatos és a magasabb kloridionnal rendelkező ivóvízes mintáknál. Az UT+TPO típusú öntöző vízben fejlődött Lolla Rossákban a klorofill-a 1,00 mg/gSP, míg a kloridiont tartalmazó ultratiszta vízben nevelt Lolla Rossákban 0,57 mg/gSP volt. A Klorofill-b pigmentből 0,49 mg/gSP termelődött a növényekben a tápoldatos ultratisztavíznél, az UT+TPO+Cl- típusnál pedig 0,29 mg/gSP. A karotinoidok mennyisége is kevesebb volt, ahogyan azt a 24.ábra is mutatja. Az IVÓVÍZ+TPO víztípusnál növekedett Lolla Rossák klorofill-a mennyisége (0,82 mg/gSP), ezzel ellentétben a kloridion tartalmú öntözővíznél 0,68 mg/gSP volt. A tápoldatos ivóvíznél klorofill-b-ből 0,40 mg/gSP volt azonosítható a növényekben, a több kloridion tartalmú mintáknál pedig 0,33 mg/gSP. Ezekből az adatokból egyértelműen megállapítható, hogy a kloridion a növények színanyag termelését többnyire negatív irányba befolyásolja.

5. Következtetések és javaslatok

Az elvégzett komplex kísérletsorozat vizsgálati eredményeiről az elsődleges következtetést a növényekről készített képek alapján határoztam meg. Az UT+TPO típusú öntözővíz rukkolái kisebb méretűek lettek, mint az UT+TPO+Cl⁻ típusban lévő rukkolák. Ebből arra lehet következtetni, hogy a rukkola fejlődésére pozitív hatással lehet a NaCl jelenléte ill. az is megállapítható, hogy az ultratiszta víz esetében szükség van plusz sókra. Mindkét palántanevelő tálcánál volt egy gyapotkocka, amin nem fejlődött ki a bazsalikom, de még így is az UT+TPO+Cl⁻ típusnál 3 db kocka dúsabb növényeket hozott. A Lolla Rossa és az amerikai barna tépősaláta mindkét víztípusnál (UT+TPO; UT+TPO+Cl⁻) hasonló fejlődést mutatott, amit szabad szemmel is tapasztaltam. A tápoldatos ivóvízen fejlődött rukkola dúsabb volt, de ebben az esetben nem adagoltam több kloridiont. A több kloridiont tartalmazó ivóvízben a rukkola palánta szemmel láthatólag kevésbé fejlődött ki. A bazsalikomok sűrűsége az IVÓVÍZ+TPO és IVÓVÍZ+TPO+Cl⁻ típusokban megegyeztek. Az amerikai barna tépősalátáknál különbséget nem figyeltem meg, a Lolla Rossa saláták közül a tápoldatos ivóvízben egy gyapotkockán nem nőttek nagyra a palánták, azaz valamilyen gátlás feltételezhető.

A növények átlag szár- és gyökérhosszát vizsgálva arra a következtetésre jutottam, hogy növény típusonként eltérő igények jelentkeztek. Bazsalikomok legnagyobb átlag szárhossza a kevesebb kloridion tartalmú tápoldatos ivóvíznél volt megfigyelhető, viszont tápoldatos ultratiszta víz használata esetében a magasabb kloridion tartalmú öntözővíz használatakor fejlődött hosszabb növényzet. A rukkolák szárhossza az IV+TPO öntözővízes esetben lettek a legnagyobbak, itt a tápoldatos ultratisztavíz közeget alkalmazva nem kell kloridiont használni. Amerikai barna tépősaláták hossza a kevesebb kloridionnal rendelkező tápoldatos ivóvíz esetén lett a kiemelkedő, a tápoldatos ultratiszta vízben való neveltetésnél célszerű kloridiont is adni a vízhez. Lolla Rossa saláták átlag szárhosszt vizsgálva az UT+TPO közegeket kedvelték a legjobban, a magasabb kloridion jelenléte nem zavarta a növény fejlődését a tápoldatos ivóvíz esetében.

A bazsalikom palánták a legnagyobb átlagos nedves biomassa tömegét a kevesebb kloridiont tartalmazó tápoldatos ivóvíz esetében mutatták, azaz az ilyen öntözővízben érdemes bazsalikomokat termelni. Legnagyobb átlag nedves rukkola tömeget az IV+TPO közeg fajtánál kaptam. Amerikai barna tépősalátáknál a legnagyobb átlagos nedves biomassa tömeget a plusz kloridionnal rendelkező tápoldatos ivóvíznél mutattak, a Lolla Rossák

esetében pedig az UT+TPO+Cl⁻ típusnál. Ezen eredmények is alátámasztják azt, hogy a kloridion negatív hatásainak a megjelenése egyértelműen növényfajta függő.

A százalékos nedvességtartalmakat megfigyelve egyik növénytípusnál sem tapasztaltam, hogy 80% alá vagy 95% fölé esett volna a nedvességtartalom. Optimális százalékos értékeket kaptam, mivel a növekvő növények szöveteinek víztartalma tipikusan 80-95% közötti [26]. Tehát megállapíthattam, hogy a vizsgált növények vízháztartásában a magasabb kloridion tartalom nem okozott gátló hatást.

A növények a számukra megfelelő mikro- és makroelemeket használták fel a fejlődésükhöz. A növénymintákban a nátrium makroelem megnövekedett, ha kloridiont adagoltunk a vízhez, a palántákba legnagyobb koncentrációban a makroelemek közül a kálium, mikroelemek közül pedig a vas és az alumínium volt azonosítható. Negatív hatást a növények pigmenttartalmánál ivóvízes öntözővizeknél tapasztaltam. Kevesebb fotoszintetikus pigment koncentráció volt azonosítható a nagyobb kloridion tartalmú ivóvizekben (IVÓVÍZ+TPO+Cl⁻) fejlődött palántákban. A bazsalikomok és a rukkolák esetét vizsgálva a legtöbb színanyag koncentráció az UT+TPO+Cl⁻ típusú öntözővíznél volt azonosítható. Az amerikai barna tépősaláták színanyag tartalma víztípusonként egymáshoz viszonyítva nagy eltérést nem mutattak. Lolla Rossa minták esetében a legtöbb karotinoid, klorofill -a, klorofill -b a tápoldatos ultratisztavíznél volt mérhető. A rukkolák és bazsalikomok nedves biomassza tömegére negatív hatással lehetett az ivóvízhez adagolt kloridion. Lolla Rossák és amerikai barna tépősaláták nedves biomassza tömegét megfigyelve negatív hatás nem volt tapasztalható, amikor plusz kloridiont adtam az ivóvízhez.

6. Összefoglalás

A kutatómunkám kiemelt célja a csepegtető hidropóniás rendszerbe beültethető különböző palánták nevelése volt, mely során vizsgáltam, hogy a rukkola, bazsalikom, amerikai barnatépősaláta, Lolla Rossa fejlődésére hogyan hat a tápoldatos öntözővízhez hozzá adagolt többlet NaCl mennyisége.

A vizsgálatom során egy gyakorlati probléma megoldási lehetőségeit vizsgáltam. Arra kerestem a választ, hogy egy ionmentes vizet felhasználó cég (Green Drops Farm Kft.) gazdaságosan áttérhet-e a magasabb kloridion tartalmú ivóvíz használatára. Ennek kapcsán az elsődleges vizsgálatom az ivóvíz növények fejlődésére gyakorolt hatására irányult. A kutatás eredményeit figyelembe véve összességében elmondható, hogy az ivóvíz használata negatív hatást nem eredményez a növények fejlődésében, egyértelműen alkalmazható neveltetésükhöz és ezáltal gazdaságosabb élelmiszertermelést lehet kivitelezni, mint a korábban használt tápoldatos ionmentes vízzel.

A különböző vizsgálatokat és a palántanevelést a Debreceni Egyetem Műszaki Kar Környezetmérnöki Tanszék Vízhőszeg és Levegőtisztaságvédelmi laboratóriumában végeztem el. Vizsgálataimban egy MultiLine P4 típusú univerzális mérőműszerrel mértem az öntözővizek pH és fajlagos elektromos vezetőképesség értékeit, valamint mértem a növények szárát és gyökerét, ezek hosszát átlagoltam, víztípusonként táblázatokban összesítettem, majd kiértékeltem. Továbbá mértem a növények nedves és száraz biomassza tömegét, valamint kiszámítottam a nedvesség tartalmukat.

Levélminták fotoszintetikus pigmenttartalmát extrahálószerrel, valamint a NANOCOLOR VIS mérőműszer segítségével határoztam meg, majd víztípusokra vonatkozóan összesítettem.

Az ionkromatográfiás vizsgálat Dionex ICS- 3000 dual típusú nagynyomású folyadékkromatográffal történt. Az vízminták anion és kation koncentrációit táblázatokban összesítettem és ezek szerint értékeltem.

Vizsgáltam a növények makro- és mikroelem tartalmát is, valamint az öntözővizek mikroelem tartalmát. Az elemanalitikai vizsgálat célja az volt, hogy megvizsgáljam, hogy a magasabb kloridion koncentráció befolyásolja-e az egyes esszenciális vagy toxikus elemek beépülését a növényekbe. Ez a meghatározás ICP-OES mérési technikával történt a Debreceni

Egyetem Szervetlen és Analitikai Kémiai Tanszék Környezetanalitikai Kutatócsoport munkatársai közreműködésével.

Általánoságban elmondható, hogy a mikroelemek közül a vas és az alumínium volt a legnagyobb koncentrációban azonosítható a Lolla Rossa palánták kivételével a növényekben, amelyek a növelt kloridiont tartalmazó ultratiszta vizekben fejlődtek. A növelt kloridiont tartalmazó tápoldatos ivóvízben fejlődött növényekben kevesebb volt a vas és az alumínium, mint a kloridiont nem tartalmazó tápoldatos ivóvízben.

Amerikai barna tépősaláták, rukkolák és bazsalikomok szárhossza a tápoldatos ivóvíz (IVÓVÍZ+TPO) esetében lettek a legnagyobbak. A tápoldatos ivóvízben (IVÓVÍZ+TPO) fejlődött növényekben a makroelemek közül, a legnagyobb koncentrációban a kalcium, magnézium, kálium elemek voltak. Kivétel: a Lolla Rossa, ezeknél a több kloridion koncentráció, szárhossz tekintetében nem okozott negatív hatást. Az IVÓVÍZ+TPO víztípusban fejlődött Lolla Rossákban a makroelemek közül a magnézium kevesebb lett, mint a többi növényben.

A növények klorofill-a, klorofill-b, és karotinoidok termelődésében negatív hatást nem okozott a kevesebb kloridionnal rendelkező tápoldatos ivóvíz (IVÓVÍZ+TPO). A százalékos nedvességtartalom optimális (80%-95%) volt mindegyik palántánál, egyensúlyban lévő vízháztartással rendelkeztek. Csak a Lolla Rossa nedves biomassa tömegére nem lett negatív hatással a több kloridion tartalmú tápoldatos ivóvíz (IVÓVÍZ+TPO+Cl⁻). Összeségében növénytípustól függ, hogy milyen a kloridion hatása. A tapasztalatokra, mért értékekre hivatkozva, elmondható, hogy az ivóvíz alkalmazható ezen növénytípusok neveléséhez és így a gazdaságos növénytermesztés fokozható.

A jövőben kiemelt célom kiterjeszteni a vizsgálat időtartamát ugyanezen növénytípusok hidropónikus csepegtető rendszerbe való ültetésével, valamint a fenntartható élelmiszertermelés érdekében más növényfajtákat is (Green Drops Farm Kft által termesztett növények) tervezek vizsgálni a növelt kloridionos ivóvízben, mint öntözővízben.

7. Szakirodalmi hivatkozás

- [1] S. P. Bhattarai, C. Salvaudon, and D. J. Midmore, “Oxygation of the Rockwool Substrate for Hydroponics,” no. 29, 2008.
- [2] “A Publication of ATTRA-National Sustainable Agriculture Information Service • 1-800-346-9140 • www.attra.ncat.org ATTRA-National Sustainable Agriculture Information Service,” 2010, Accessed: Mar. 06, 2023. [Online]. Available: www.attra.ncat.org
- [3] G. Hochmuth and R. Hochmuth, “Design Suggestions and Greenhouse Management for Vegetable Production in Perlite and Rockwool Media in,” *Small*, pp. 1–24, 2009.
- [4] M. Li *et al.*, “Monitoring by real-time PCR of three water-borne zoosporic *Pythium* species in potted flower and tomato greenhouses under hydroponic culture systems,” *Eur. J. Plant Pathol.*, vol. 140, no. 2, pp. 229–242, 2014, doi: 10.1007/s10658-014-0456-z.
- [5] J. Nahalkova, J. Fatehi, C. Olivain, and C. Alabouvette, “Tomato root colonization by fluorescent-tagged pathogenic and protective strains of *Fusarium oxysporum* in hydroponic culture differs from root colonization in soil,” *FEMS Microbiol. Lett.*, vol. 286, no. 2, pp. 152–157, 2008, doi: 10.1111/j.1574-6968.2008.01241.x.
- [6] “ab756939a5f45058bddcc79cf7344760fa5e965d @ agroforum.hu.” <https://agroforum.hu/szakcikkek/zoldseg/milyen-vizzel-ontozzunk-az-ontozoviz-minoseg-elmeleti-es-gyakorlati-kerdesei-a-kerteszeti-termesztesben/>
- [7] S. Lee and J. Lee, “Beneficial bacteria and fungi in hydroponic systems: Types and characteristics of hydroponic food production methods,” *Sci. Hortic. (Amsterdam)*, vol. 195, pp. 206–215, 2015, doi: 10.1016/j.scienta.2015.09.011.
- [8] Y. Rouphael and G. Colla, “Growth, yield, fruit quality and nutrient uptake of hydroponically cultivated zucchini squash as affected by irrigation systems and growing seasons,” *Sci. Hortic. (Amsterdam)*, vol. 105, no. 2, pp. 177–195, Jun. 2005, doi: 10.1016/J.SCIENTA.2005.01.025.
- [9] J. H. L. Schröder, Fritz-Gerald, “Pub052_SchroederLieth ch7.PDF.”
- [10] C. J. Nielsen, D. M. Ferrin, and M. E. Stanghellini, “Efficacy of biosurfactants in the

- management of *Phytophthora capsici* on pepper in recirculating hydroponic systems,” <https://doi.org/10.1080/07060660609507319>, vol. 28, no. 3, pp. 450–460, 2010, doi: 10.1080/07060660609507319.
- [11] M. F. Saaïd, N. A. M. Yahya, M. Z. H. Noor, and M. S. A. M. Ali, “A development of an automatic microcontroller system for Deep Water Culture (DWC),” *Proc. - 2013 IEEE 9th Int. Colloq. Signal Process. its Appl. CSPA 2013*, no. September 2014, pp. 328–332, 2013, doi: 10.1109/CSPA.2013.6530066.
- [12] D. S. Domingues, H. W. Takahashi, C. A. P. Camara, and S. L. Nixdorf, “Automated system developed to control pH and concentration of nutrient solution evaluated in hydroponic lettuce production,” *Comput. Electron. Agric.*, vol. 84, pp. 53–61, 2012, doi: 10.1016/j.compag.2012.02.006.
- [13] “hidrokultura-i-46 @ babylon-grow.eu.” [Online]. Available: <https://babylon-grow.eu/hidrokultura-i-46.html?language=en>
- [14] H. Norén, P. Svensson, and B. Andersson, “A convenient and versatile hydroponic cultivation system for *Arabidopsis thaliana*,” *Physiol. Plant.*, vol. 121, no. 3, pp. 343–348, 2004, doi: 10.1111/j.0031-9317.2004.00350.x.
- [15] Daniel Iseli, “1e5e5919b70433171425f2c3e931f2e7b283cb96 @ plantophiles.com,” *Biel*, 2023. <https://plantophiles.com/houseplant-tips/best-plants-for-hydroponics/>
- [16] Zilpah Sheikh, “health-benefits-basil @ www.webmd.com,” *WebMD*, 2023, [Online]. Available: <https://www.webmd.com/diet/health-benefits-basil>
- [17] Will Blair, “benefits-arugula @ www.webmd.com,” *WebMD*, 2022, [Online]. Available: <https://www.webmd.com/food-recipes/benefits-arugula>
- [18] Dinesh Sengar, “benefits-of-buying-lollo-rosso-lettuce-at-a-suitable-price @ onlyhydroponics.in,” *Delhi Natl. Cap. Reg. Régio, India*, 2023, [Online]. Available: <https://onlyhydroponics.in/blogs/about-hydroponics-and-more/benefits-of-buying-lollo-rosso-lettuce-at-a-suitable-price>
- [19] Székely Gyöngyvér, “74e3cb096b43d157418ca8169b13e14db83099c0 @ biokiskert.hu,” *Budapest*, 2021. <https://biokiskert.hu/bio/amerikai-barna-teposalata-vegyszermentes-vetomag/#tab-description>
- [20] “vermiculite @ www.trees.com.” [Online]. Available:

<https://www.trees.com/gardening-and-landscaping/vermiculite#>

- [21] “50061Z @ bionovanutrients.com.” [Online]. Available: <https://bionovanutrients.com/Bionova-Hydro-Supermix/50061Z>
- [22] B. Ildikó, “„Vízgazdálkodás- és vízminőség védelem c. tantárgy oktatási segédlete,”” *Debrecen*, 2022.
- [23] B. Ildikó, “„Környezetmérnöki méréstechnika, monitoring II. c. tantárgy oktatási segédlete,”” *Debrecen*, 2004.
- [24] S. Zs, “Mézek összehasonlító elemzése és alkalmazása környezeti változások becslésére,” *Debrecen*, 2022.
- [25] T. Maoka, “Carotenoids as natural functional pigments.,” *J. Nat. Med.*, vol. 74, no. 1, pp. 1–16, Jan. 2020, doi: 10.1007/s11418-019-01364-x.
- [26] V. Ördög; Z. Molnár, “A növény vízmérlege , szélsőséges vízellátás hatása,” *Veszprém*, 2011.