

SZAKDOLGOZAT

Bányánszki Gréta

2024



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Szent István Campus

Mezőgazdasági mérnök alapképzési szak

Egy kukorica állomány teljesítményének térbeli változékonysága

Belső konzulens:	Dr. Fóti Szilvia egyetemi docens
Belső konzulens intézete/tanszéke:	Növénytermesztési- tudományok Intézet, Növényélettan és Növényökológia Tanszék
Készítette:	Bányánszki Gréta

Gödöllő

2024

Tartalomjegyzék

Bevezetés és célkitűzések.....	3
Személyes motiváció	3
Szakirodalmi áttekintés	4
A téma fontossága.....	4
A távérzékelés jelentősége.....	5
Copernicus és Sentinel	6
Mezőgazdaságbéli hasznosítása.....	7
Reflektancia spektrum.....	8
Gazdák véleménye a távérzékelésről	9
A választott növény	9
Kukorica, mint gazdasági növény	9
A kukorica környezeti igénye.....	10
A kukorica fotoszintézisélettani sajátosságai.....	11
Fluoreszcencia	14
A növényi stressz	14
Anyag és módszer.....	15
Vizsgálati terület jellemzése.....	15
Domborzati adottságok.....	16
Elvégzett vizsgálatok és használt műszerek bemutatása	17
Adatfeldolgozás	21
Eredmények és értékelésük	22
A vizsgálati év adottságai	22
A növényzet és a talajnedvesség térbeli jellegzetességei Sentinel képek alapján.....	23
Környezeti hatótényezők a mérési kampány adatai alapján	26
Az állomány élettani működésének térbeli jellegzetességei	27
A mért változók kapcsolatai	28
Stressztérképek	33
A gazdák visszajelzése	35
Következtetések és javaslatok.....	36
Összegzés.....	36
Irodalomjegyzék	38

Bevezetés és célkitűzések

Szakdolgozatom során számos témát érintettem. Az egyik legfontosabb kérdés a mai rohamos tempóban növekvő népesség élelmezése, ami a mezőgazdaságra nagy terhet ró. Az élelmiszer megtermelése megfelelő minőségben és mennyiségben megköveteli a termésbiztonságot, valamint a maximalizálást. Ennek érdekében alkalmazhatók a különböző precíziós megoldások a mezőgazdasági termelésben. Az éghajlatváltozás kiváltóképp megnehezíti az élelmezés feladatát, hiszen a termesztett növényeink tenyészideje nagyrészt az egyre forróbb, gyakran aszályos nyarainkra esik. A precíziós megoldások lehetővé teszik, hogy az állományunkat alaposabban tudjuk vizsgálni, illetve a problémákat az érintett területen kezelhessük, ez legyen akár tápanyag visszapótlás, vagy a különböző stresszfaktorok felismerése, valamint azok orvoslása. Az aszályos nyaraink a növényzet számára okozhat gondokat, mint a fény-, a hő-, vagy a vízhiánystressz. Ezeket a növényzet különböző módokon jelzi, melyek terepi mérésekkel, de akár távérzékelés útján is felismerhetővé válnak.

Szakdolgozatom célja, hogy egy Kartalon található 2023-as kukorica állomány élettani működésének térbeli vonatkozásait szemléltesse különböző módszerekkel. Helyet kap a dolgozatban a terepi mérések adatainak sokasága, valamint a Sentinel műholdak felvételei alapján készült fotók. Célunk az állomány állapotának tér- és időbeli nyomon követése, emellett az állományt érő esetlegesen stresszhatások detektálása. Az állomány élettani adottságait egymással és a környezeti hatótényezőkkel is összevetettük, hogy minden lehetséges összefüggést feltárhassunk.

Személyes motiváció

Véleményem szerint a mai változékony, szeszélyes időjárás mellett, amikor egyre gyakrabban jelentkeznek az aszályok, legyen az légköri vagy talaj aszály nagy figyelmet kell fordítanunk a gazdasági növényeink állapotára. A Föld növekvő népességét fontos jó minőségű és megfelelő mennyiségű táplálékkal ellátni, a növényi táplálék nem csupán az emberek étrendjéhez elengedhetetlen, hanem takarmányként is hasznosítjuk. Ezért lényeges, hogy a növényeink állapotára nagy hangsúlyt fektessünk, hogy maximalizálhassuk a termésbiztonságot. Jelentős lehet a növény különböző stressz faktorait felismerni, és amennyiben lehetséges beavatkozni. Fontos, hogy gyorsan és hatékonyan érjük el ezeket az adatokat, erre adhat kiváló lehetőséget a távérzékelés, azon belül a műholdak használata.

A kukoricát (*Zea mays* L.), mint növényt több szempontból is meghatározó növénynek gondolom, mert a hasznosítása nagyon sokrétű. Beszélhetünk a bioetanol előállításban betöltött szerepéről, takarmánynövényként történő hasznosításról, de az egyik legfontosabb felhasználása a humánélelmezésben történik. A kukorica szerves része lehet az egészséges táplálkozásnak, valamint azért is tartom kiemelkedő növénynek, mert napjainkban egyre többen küzdenek gluténérzékenységgel. Ezt a bizonyos gabonanövényeinkben található fehérje, a glutén okozza, ami megtalálható a búzában, árpában és a rozsban is. A kukoricalisztból készült ételek segíthetnek a gluténérzékenységgel küzdőknek.

Szakirodalmi áttekintés

A téma fontossága

Kijelenthetjük, hogy napjainkban két fontos kérdés merül fel társadalmi szinten. Az egyik az éghajlatváltozás problémája, a másik az egyre rohamosabb tempóban növekvő népesség élelmezése. Szükség van olyan gazdasági növényekre, melyek alkalmazkodnak a megváltozott környezeti feltételekhez, jó beltartalommal rendelkeznek, sokféleképpen hasznosíthatók és magas termésátlagokat produkálnak.

A Központi Statisztikai Hivatal adatai szerint 2000-ben mindössze 6,1 milliárd ember élt a Földön, napjainkra ez a szám 8,1 milliárdra nőtt. Azonban a növekedés nem áll meg, ám valamivel lassabb lesz, hiszen becslések szerint 2050-re „csak” 9,6 milliárdra rúg majd a szám. A növekvő népességet megfelelő mennyiségű és minőségű élelmiszerrel kell ellátni, de a mezőgazdasági területek száma véges. Egyes számítások szerint az igény 70%-os növekedést mutatna. Az elkövetkezendő években óriási kihívások elé állítja a mezőgazdaságot a gyarapodó populáció, mind a növénytermesztés, mind az állattenyésztés szempontjából. 2050-re várhatóan az emberek testtömege és testmagassága is nagyobb értéket mutat majd, valamint hosszabb lesz a várható élettartam és az urbanizáció is felgyorsul. Az ENSZ kutatásai szerint 1950-ben az emberiség kevesebb, mint 30%-a lakott városban, ez 2050-re a 68%-ot is elérheti. Az urbanizáció miatt még több mezőgazdasági terület kerülhet beépítésre (László 2020).

A mezőgazdasági területeinket maximálisan ki kell használnunk a jövőben, de ez nem jelent egyet a terület kimerítésével, emellett a természeti erőforrásainkra kell nagy hangsúlyt fektetni. Érdemes lehet a precíziós megoldásokhoz nyúlni, akár a termésbiztonság, akár a hozam növelése miatt, vagy annak érdekében, hogy az önköltséget csökkentsük és gazdaságosan állítsunk elő élelmiszert vagy takarmányt. A precíziós megoldásokkal lehetőségünk lenne fenntarthatóbbá tenni a termelést, például csökkenne a menetszám, ami megelőzi a talaj tömörödését, csökkenne a belső égésű motor által termelt károsanyagok kibocsátása.

A másik jelentős probléma manapság az éghajlatváltozás, aminek több jele is van. Ez lehet akár a tavaszodás kitolódása, vagy hogy a madarak tojásrakásának ideje megváltozik, esetleg a költözésük. A korábbi tavaszodás lehetővé teszi a termelésben a korábbi ültetést vagy vetést. Az enyhébb telek nem okoznak annyi fagykárt, viszont a jellemzően hó nélküli fagyos idők gyakran eredményeznek kifagyást. Az enyhe telek emellett a kártevők áttelelésére is aggodalmat adhatnak (Dunkel, Bozó, és Geresdi 2018). Hazánkban egyre szeszélyesebb és kiszámíthatatlanabb az időjárás. Gyakran fordulnak elő aszályos időszakok, erre kiváló példa a 2022-es év. 2022-ben kontinensünk nagy részét sújtotta szárazság, a tavak és a folyók vízszintje jelentősen lepadt, emellett több melegrekord is megdőlt, sőt Angliában először mértek 40 °C-ot. Több csapadék csak Észak-Európában fordult elő, hazánkban is rendkívüli aszály volt jellemző. A leginkább érintett terület az Alföld. Nagyon változatos a csapadék időbeli eloszlása és intenzitása is, de a térségi változékonyság is jelentős, ugyanis kijelenthetjük, hogy a legszárazabb terület az Alföld, míg a nyugati vagy hegyvidéki területeken jelentősebb mennyiségű csapadék fordul elő (Szentés 2023). Fontos megtalálni azokat a növényeket, amiket az adott területen sikeresen tudunk termesztetni, és ki tudjuk

elégíteni a növény szükségleteit, valamint olyan tűréstartománnyal rendelkezzen az adott kultúra, hogy a területi adottságainkhoz kellőképp alkalmazkodni tudjon.

A távérzékelés jelentősége

A távérzékelés meglehetősen nagy utat tett meg az elmúlt 160 évben. A kezdetleges próbálkozások, hogy a föld felszínét a magasból készült képek, felvételek alapján vizsgáljuk eleinte kimondottan egyszerűen születtek meg. Az első légi felvétel 1858-ban készült Felix Tournachon jóvoltából, aki egy kikötözött ballonból fényképezte a francia Bièvre Valley-t. 50 év elteltével, 1907-ben Julius Neubronner egy galambra hámmal erősített kamerát, és így készített felvételeket a Föld felszínéről. Neubronner a madarat 100 km-re az otthonától engedte útjára. Amíg hazafelé tartott 50-100 méteres magasságban készített felvételeket a felszínről. Ezt a megoldást a jelenkori drónok előfutárának is tekinthetjük. A galamb után sorra következtek az olyan megoldások, mint a repülőgépből vagy hőlégballonból készített fotók. A repülőgépes megoldásokat előszeretettel alkalmazták az I. világháborúban is, ahol a csatatér felderítése volt az cél. A korabeli távérzékelés tehát a térképkészítés szerves része lett, emellett hadászati szerepe is nagy volt. A korai módszer több akadályba is ütközött, hiszen a helyszín pontos azonosítása elengedhetetlen, a repülési magasság ismerete a méretarányosság meghatározása miatt szintén elengedhetetlen, és a légi jármű aktuális pozíciója (dőlése) is befolyásolta a felvételek tulajdonságait (Cracknell 2018).

A technológia fejlődésével és a két nagyhatalom versengésével lehetőség nyílt a Föld atmoszférájából kilépve is felvételeket készíteni a felszínről. Az eddig használt egyszerű, korabeli fényképezőgépeket és a különböző légi járműveket leváltja a szatellit. Az első műholdat a Szovjetunió állította pályára 1957 októberében. A Szputnyik-1 nevet viselő műhold volt az emberiség első ember alkotta égiteste (Cracknell 2018). A Szputnyik-1 mindössze három hétig küldött jeleket, energiaforrásai elfogytak, ezt követően négy hónap után elégett a légkörben. Napjainkban is fontos kérdés az űrszemét helyzet és a műhold fenntarthatósága. Az első szatellit felbocsátása óta több mint 17.000 műholdat juttatunk fel az űrbe (Daczi, Vári, és Bartóki-Gönczy 2024). Ezeknek nagyrésze kommunikációs eszköz, de szép számmal akad meteorológiai, helymeghatározó szatellit, valamint beszélhetünk olyan objektumról, amely a Föld tanulmányozásához szükséges adatokat szolgáltat számunkra (http1).

Napjainkban igen elterjedtek a pilóta nélküli légijárművek, vagyis a drónok. A drónok felettébb nagy múltra tekintenek vissza, hiszen az elődeik már az 1840-es évek végén megjelentek. Az Itáliai forradalom ideje alatt Ausztria támadta meg Velencét egy pilóta nélküli légi járművel. Az 1949. augusztus 22.-i bombázáshoz ballonokat használtak az osztrákok, melyeket időzítetten robbantottak fel, mikor azok Velencébe értek. A kezdetlegesség miatt ezek nem voltak irányíthatók, valamint a szél és az időjárás nagymértékben befolyásolták az úticéljukat (Szalkai 2019). Az első valóban drónnak nevezhető eszköz 1935-ben lett feljegyezve, a neve DH 82B Queen Bee volt, melyet az angol haditengerészet használt. Ezzel a szerkezettel gyakorolták a célbalövést. Az eszköz már végre tudta hajtani a mai drónokhoz hasonlóan a le- és felszállást, valamint irányítható volt. Később az amerikai Delmer Fahrney hasonló légi járművet hozott létre angol mintára, mely

megkapta a ma is használatos „drone” nevet, ami hímvárú méhet jelent, ezzel is tisztelve az eredeti találmány előtt (Márton 2022).

Míg régen a drónok leginkább csak a katonaság számára voltak elérhetőek, addig napjainkban már széleskörben használatosak. A közelmúltban a drónok rohamos tempóban fejlődtek, és a szakemberek állítják, hogy a fejlődés nem fog lassulni, hiszen hatalmas a piaci igény. Számtalan területen találkozhatunk velük, akár a logisztikánál. A drón alkalmas lehet kisebb mérettel és súllyal rendelkező csomagok kiszállítására, erre Budapesten is volt példa, hiszen 2023-ban kísérleti jelleggel lezajlott egy drónos házhozszállítás. A leltározásnál több magyar cég is alkalmazta már a pilóta nélküli légitárműveket. Kísérletezett ezzel a Hell Energy Magyarország Kft. és a Waberer’s International Nyrt. is. Nagyobb sikert ért el ezzel kapcsolatban az Ikea Soroksáron található üzlete, ahol nem csak kísérleti jelleggel folyt a drónnal történő leltár. Az eszközök megteremthetik az emberek számára azt a lehetőséget is, hogy veszélyes helyeket figyeljenek meg a segítségükkel, legyen szó baleset, vagy akár természeti katasztrófák helyszínéről. Használhatók a mezőgazdaságban különböző területeken, de sokan csupán kedvtelésből ruháznak be egy ilyen légi járműbe, hiszen egyre szélesebb körben válnak elérhetővé ezek az eszközök (Lepizsán 2020).

A távérzékelés tehát hatalmas fejlődésen ment keresztül, viszonylag rövid idő alatt. A Föld feltérképezésére már 14.000 évvel ezelőtt is voltak próbálkozások. A kezdetleges, kőbe vésett térkép valószínűleg a vadászat sikerességét szolgálhatta, vagy annak a történetét mesélhette el. Napjainkban pedig a műholdas távérzékelés hálózta be életünket. A távérzékelés segítségével különböző adatokat kapunk közvetlen vagy tágabb környezetünkről, és mivel fizikai kapcsolat nélkül kapunk eredményeket, ezért könnyen vizsgálhatunk veszélyes vagy távoli helyeket is. A távérzékelés alapvetően az elektromágneses energiát érzékeli, ami a különböző objektumokból árad, legyen az a Föld felszíne, a hidroszféra vagy az atmoszféra. Megvan a lehetőségünk, hogy a különböző érzékelt objektumokat egymástól elkülönítsük, azonosítsuk, vagy körvonalazzuk őket (Khorram et al. 2012).

Copernicus és Sentinel

A Copernicus Browser lehetőséget nyújt számunkra, hogy könnyedén és gyorsan juthassunk hozzá adatokhoz. Alkalmazhatjuk saját területeink megfigyelésére, de a világ minden pontjáról tudunk adatokat lehívni. A program Sentinel műhold párokat alkalmaz annak érdekében, hogy megfelelő mennyiségű adat álljon rendelkezésünkre, hiszen az iker műholdak lehetővé teszik a visszatérési idő lerövidítését (<http2>). Az Európai Űrügynökség Copernicus programja széles körben biztosít hozzáférést a felvételekhez, melyeket a mezőgazdasági munkák során is hasznosíthatunk. A program létrejötté magyar szakemberek érdeme is, ugyanis a Kormányzati Informatikai Fejlesztési Ügynökség (KIFÜ) és különböző hazai szoftverfejlesztő cégek által létrehozott Földmegfigyelési Információs Rendszert integrálták a Földmegfigyelési programba. A folyamat az Európai Unióval és az Európai Űrügynökséggel együttműködve zajlott le (<http3>).

A műholdak hetente 12 terabájt adatot szolgáltatnak, a megvalósításban szárazföldi, légi és tengeri mérőrendszerek vesznek részt. A rendelkezésre álló információ birtokába juthatnak kis- és közép vállalkozók, de akár egyetemisták is. A program nyújtotta lehetőség elsősorban

a mezőgazdaságban, az erdőgazdálkodásban, a környezetvédelemben és a hon- és katasztrófavédelemben lesz jelentős. Segítségével könnyen vizsgálhatóvá válik a növényborítottság, a növényzet aktuális állapota, a víz borította területek kiterjedése, vagy használható a több évre visszamenő adatok gyűjtésére is. A sokéves adatok lehetőséget adnak a gazdálkodóknak saját területeiken történő tendenciák felismerésére, vizsgálatára. Ezáltal lehetőség nyílik a megfelelő kezelések tervezésére (http3).

Szemügyre véve a Copernicus Browser felületét szembeötlő, hogy számos témát választhatunk a beállításoknál, mint például mezőgazdasági, árvizek és aszály vagy légkör és légszennyezés. Minden beállításnál látható, hogy melyik műhold szolgáltatja az adatot. A mezőgazdasági beállításnál a Sentinel-2 műholdak gyűjtik az adatokat.

Mezőgazdaságbéli hasznosítása

Napjainkban egyre elterjedtebbek a precíziós megoldások, legyen szó talajmunkáról, tápanyag visszapótlásról, öntözésről, permetezésről, vetésről vagy betakarításról. A precíziós megoldások lehetővé teszik a pontos, kényelmes és költséghatékony munkavégzést, ami kevesebb stresszt okoz a munkavállalónak és munkáltatónak egyaránt. Az adatok könnyen átvihetők egyik eszközről a másikra, ami segíthet a következő évi tervezésben, a különböző input anyagok beszerzésében. A vezeték nélküli távadók által kínált megoldások egyre népszerűbbek a mezőgazdaságban. A nagy távolságok leküzdése mellett esélyünk van gyors kármegelőzésre vagy annak enyhítésére, hiszen a gazdasági növényről számos adatot kaphatunk. Emellett meteorológiai adatok és a talajt jellemző fizikai és kémiai értékek is elérhetők lesznek számunkra (Ágnes és Zoltán 2011).

Egy-egy tábla a domborzati különbségek és talajadottságok miatt mindenképpen mutat térbeli különbségeket a haszonnövény állapotában. Felmerülhet a kérdés, hogy a tábla különböző adottságú, vagy állapotú részeit, hogyan lehet egymástól elválasztani, esetleg külön kezelni a problémás, vagy rosszabb állapotban lévő területeket. A távérzékelés lehetővé teszi, hogy az állományról gyorsan kapjunk információt. Az NDVI (Normalizált Differenciális Vegetációs Index) adatokkal például arról is tájékoztatást kaphatunk, hogy mennyire érintette az adott terület növényállományát az aszály. Ehhez érdemes párhuzamosan vizsgálni a standardizált csapadékindeket (SPI), a talajnedvesség anomáliát (SMA) és az NDVI értékeket. Az NDVI értékek és a két aszályt szemléltető érték, az SMA és a SPI között kapcsolatot lehet felfedezni, hiszen, ahol az NDVI értéke kismértékben nő, ott az SPI és az SMA negatív értéként tűnik fel, ahol viszont az NDVI jelentős növekedést produkál, ott az SMA és az SPI pozitív értéként vannak jelen (Szentpéteri 2020). Az NDVI alapvetően egy terület növényzetének a zöldességét és fotoszintetikus aktivitását hivatott jellemezni. E műholdas index használata széleskörben elterjedt. A talajra értéke 0,2-0,3 körüli, és minél nagyobb ez a szám, annál biztosabbak lehetünk abban, hogy a terület egészséges, jó víz- és tápanyagellátottságú. A mérést befolyásolja a növény tenyészidőszakbeli állapota, hiszen a még kezdetleges növekedés időszakában, különösen a nagy sortávolságú növények esetében a talaj értékei is hozzájárulnak a kapott mutatóhoz. Befolyásoló tényező lehet a virágzás (pl.: repce esetében), a termés megjelenése, vagy a felhőborítottság is (http4).

Az NDVI értékek kiválóan hasznosíthatók a tápanyagpótlás esetében is, hiszen a N trágyázás során a pótolni kívánt tápanyag a klorofill egyik alkotóeleme, ami a hatékony fotoszintézis

elengedhetetlen feltétele. Az NDVI gyakorlatilag a hasznosított, elnyelt fény mennyiségét mutatja a fotoszintézis során. A zónánkénti művelés nem nevezhető teljesen pontos módszernek, a helyspecifikus művelés során tisztában kell lennünk azzal, hogy az input anyagok helyhez történő igazítása nem teljesen megbízható ([http5](#)).

A John Deere megalkotta az első hozamleképző és automata navigációs rendszerét. Az installáció műholdakból, illetve a hardvert képző jellevőkből és kijelzőkből áll össze. A StarFire antennák, vagyis jellevők biztosítják a műhold jeleinek befogását, egyszerre akár 3 műholdat is érzékelnek. A jelminőség attól függ, hogy milyen típusú rendszerünk van. Az erőgépbe egy kijelző kerül, melyen számtalan információ jelenik meg. Nyomon követhetjük rajta, hogy a táblánk mely részein végeztük már el az adott munkát, de akár az erőgépünk sebességét is láthatjuk rajta. A képernyőn megjelenő adatokat megoszthatjuk akár a telepvezetővel is. Az AutoTrac funkció átveszi a kormányzást a gépkezelőtől, csökkenti a kihagyást és az átfedéseket. Ezáltal csökken az anyagköltség, a stressz, és akár rossz látási viszonyok mellett is elvégezhető a munka. A rendszer képes eltárolni a parcella adatait, hogy hol található a tábla széle, esetleg valamiféle akadály - magányos fa - bentebb-van a szántóföldön ([http6](#)).

Az automata navigációs rendszer nélkül bevetett területek művelése is lehetséges, hiszen az AutoTrac Vision kamerával felszerelt rendszere érzékeli a kukorica vagy gabona táblában már a 10cm-es növényt még akár éjjel is. Ez betakarításnál is lehetséges a RowSense segítségével, ami mindig megfelelő utat biztosít a betakarítógépnek ([http6](#)).

A műholdak és automata kormányzás mellett a drónok is fontos szerepet töltenek be napjaink mezőgazdaságában. Ezek a légi járművek többféle érzékelővel felszerelhetők, amelyek adatokkal szolgálnak a növény vagy a talaj állapotáról, emellett nagyfelbontású képeket is készítenek. Nagy lehetőségeket rejt magában a LiDAR (Light Detection and Ranging) technológia. A műszer egy lézerszkennel segítségével végzi el a mérést, a rengeteg pontmérésből származó értéket 3D-s pontfelhővé alakítja. Így a vizsgált területről, annak növényzetéről és a rajta elhelyezkedő tárgyakról átfogó képet kaphatunk, legyen szó strukturális vagy felszíni tulajdonságokról. A technológia a fényérzékelésen alapszik, valamint távolságmérést alkalmaz. Rossz látási viszonyok mellett is biztosítja a mérés sikerességét az aktív érzékelési módszer, hiszen a folyamatosan aktív jelkibocsátás és a lézerszkennel biztosítja ezt (Horváth 2020).

Reflektancia spektrum

A reflektancia valaminek - legyen az tárgy, vagy akár növény - a visszaverő képességét jelenti, ezt úgy kapjuk meg, ha a felszínről visszaverődő sugárzást elosztjuk a felszínre eső sugárzás mértékével. A mindennapokban bennünket körülvevő tárgyak reflektancia jellemzőire könnyen rájöhethetünk a színük alapján. A növények tehát a zöld színt visszaverik, ezért láthatjuk őket zöldnek, míg a kék és vörös színeknél kis reflektanciával rendelkeznek ([http7](#)).

A reflektancia jelek segítségével stressz mérésre és a növény egészségi állapotára vonatkozó adatokat gyűjtésére is lehetőségünk van. A vizsgálat azon alapszik, hogy az egészséges növény reflektanciája jellemző értéket mutat a látható, valamint a közeli infravörös tartományban. A kóros elváltozást a közeli infravörös reflektanciajel csökkenése, míg az 500

és 650 nanométer közötti reflektancia mértékének megugrása jelzi. Ez a jelenség a levelek sejteinek, illetve sejtközi járatainak egészségtől eltérő állapotát jelzi (Tuba és Csintalan 2009).

Gazdák véleménye a távérzékelésről

A Deere & Company évek óta használ műholdakat precíziós megoldásként. A koncepció lehetővé teszi a gazdálkodók számára, hogy csökkentsék a menetszámot, precízen juttassanak ki műtrágyát vagy vetőmagot. A munkások kényelme sem elhanyagolható, ugyanis az AutoTrac megoldás biztosítja a szinte tökéletes sortávot és nyomvonalakat. Az automata kormányzás bekapcsolásával, rendszertől függően pár cm-es hibák jöhetnek számításba, a rendszer akár a művelőutak kialakításában is a segítségünkre lehet. A John Deere műhold alapú rendszereinek több változata van. Az SF-RTK +/- 2,5 cm-es pontossággal dolgozik, míg az SF1 rendszer +/- 15 cm-es pontosságú (http4).

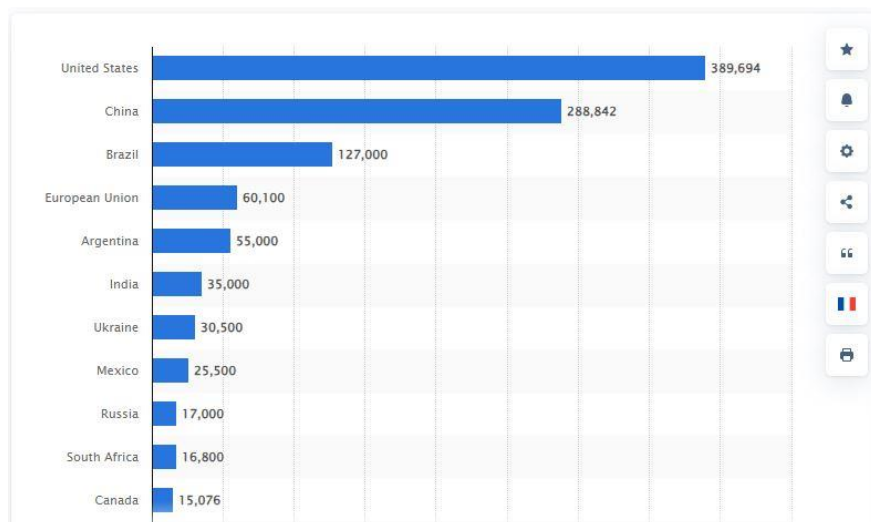
Az SF1 belépő szintű jelet feljavították a SF7000 jellevővel. Ez a jellevő 4 műhold segítségével biztosítja a kényelmesebb és pontos munkavégzést (http4). Szakmai gyakorlatom során volt alkalmam közelebbről is megismerni az SF1 típusú rendszert, valamint azok véleményét kérdezni, akik napi szintű használói. Az első dolog, amit mindenki kiemelt a hévízgyörki Agrintegrál Kft. dolgozói közül, hogy kényelmesebb, gyorsabb az adott munka elvégzése, legyen szó talajelőkészítésről, vetésről vagy betakarításról. A rendszer alkalmas arra is, hogy az adatokat pendrive-ra átvigyék és a gazdasági napló elkészítésében is nagyon hasznos. A vetésnél, vagy a műtrágya kijuttatásnál a műhold jelek segítségével a munkaeszköz automatikusan kikapcsol, ha már az adott területre került a kijuttatni kívánt anyagból. A kérdezett gépkezelők elmondták, hogy a költségek csökkentésének szempontjából is jelentős a változás, hiszen csökkent az üzemanyag, és az input anyagok költsége.

A választott növény

Kukorica, mint gazdasági növény

A Föld népességének növekedése miatt célszerű olyan növényeket termesztetni melyek sokrétűen hasznosíthatók, illetve alkalmazkodni is képesek a megváltozott klímához. A kukoricát (*Zea mays L.*) változatos felhasználása teszi kiválónak, hiszen a humán élelmezésben is felhasználható, és az állattenyésztés szempontjából is fontos takarmánynövény, akár szarát is hasznosíthatjuk takarmánnyként.

A Statista adatai szerint a legnagyobb kukorica termesztő ország az Egyesült Államok, őt követi Kína és Brazília, valamint az Európai Unió. A Központi Statisztikai Hivatal 2021. évi adatai szerint a kukoricát hazánkban 1.076.061 hektáron termesztették, ezzel megelőzve a búzát vagy a napraforgót. Országunkban a kukorica hozamának 89,5%-át állatok takarmányozására használják fel, ami nagy keményítőtartalmának is köszönhető.



1.ábra: A világ legnagyobb kukorica termesztő országai

forrás: (http8)

Emellett a takarmány kukorica az egyik legalkalmasabb növény a bioetanol gyártásához. A nagy mennyiségű keményítő alakul át a folyamat során etilalkohollá, de emellett a fehérje is hasznosul, ebből állati takarmányt és élelmiszeripari alapanyagot készítenek. A folyamat végrehajtható szinte bármilyen növénnyel, amennyiben annak vagy a cukor, vagy a szénhidrát tartalma megfelelő. A növény kiválasztásában döntő szerepe lesz a gazdaságosságnak és az éghajlati viszonyoknak, hazánkban tehát a kukorica a leginkább elterjedt ilyen tekintetben. A leggyakoribb növények a kukorica mellett a cukornád, a cukorrépa és a búza. A jövőben nagy szerepet kaphat a bioetanol, mert a fosszilis tüzelőanyagaink csupán korlátozott mennyiségben állnak rendelkezésre. Az etanolt autók üzemanyagaként alkalmazzák, esetleg benzinnel keverik. A hátránya a benzinnel szemben, hogy kisebb a fűtőértéke, ezzel nő a gépjármű fogyasztása is, ha az etanolt alkalmazzuk (Herman et al. 2013).

A kukorica környezeti igénye

A kukorica akkor is hoz termést, ha az időjárási körülmények nem a legmegfelelőbbek, vagy a szükségletei nincsenek teljes mértékben kielégítve. Azonban elmondható, hogy egy igényes növényről van szó, valamint fontos, hogy fejlődése alatt milyen stressz éri az adott fejlődési szakaszban. Emellett fontos a termőhely típusa, a talajállapot és a tápanyagellátottság is. Egy több évre kiterjedő kísérlet segítségével megállapították, hogy a kukorica termés csökkenése akár 25-40% is lehet aszály vagy csapadékbősség esetén (Gyuricza és Birkás 2000). A címerhányás idején az aszály 53%-kal veti vissza a termésátlagot, míg a szemtelítődéskor 30%-kal. A csapadékbősség eltorzíja a kukorica ideális 67-79%-os statikai vízigényét, tehát megváltozik a pórustér fogatban a víz és levegő aránya. A túlzott vízmennyiség miatt a növény gyökerei nem jutnak megfelelő mennyiségű oxigénhez (Futó és Bencze 2017).

A kukorica jellemzően a meszes talajokat kedveli, érdemes savanyú talaj esetében a kukorica előtt meszezni a területet, ha ezt meg tesszük, a növény termésátlagán is érezhetünk változást. Tápanyagszükségletét tekintve lassan indul a felvétel de 5-7 leveles korban, a szár megnyúlásakor intenzívebbé válik. 4-6 leveles korban a P ellátottság okozhat gondot, hiszen

ekkor a növény gyökere még fejletlen, ezért a talajban lévő P-t nem tudja maradéktalanul hasznosítani. A K felvétele a címerhányáskor lelassul, majd teljesen meg is áll, ellenben a N és a P felvétele zavartalan, sőt virágzáskor igen jelentős (http9).

Magyarország ideális helynek tekinthető, ha kukorica termesztéséről beszélünk, ám egy fontos limitáló tényezőt szükséges megemlítenünk, ami miatt elmaradhat a nagyobb termésátlag. A tényező a vízellátottság, melynek növelésével nő a hozam is. A közepes vízigényű növénynek egy tenyészidőszakban 450-550 mm vízre van szüksége. 1kg szárazanyag előállításához pedig 350 l víz kell. A vízigény változik a tenyészidőszakban, elmondható az is, hogy a növény vegetatív részeinek gyarapodásával nő a víz iránti napi szükséglete is. Az igény a fejlődés kezdeti fázisában és a szemtelítődés után kisebb, míg a legnagyobb a címerhányáskor. A növény jellemzően 1,5-2 méterről képes felvenni a vizet (Futó és Bencze 2017).

Mivel a kukoricának a legtöbb vízre júliusban és augusztusban van szüksége, ezért aszályérzékenyek tekinthetjük. Hatékonyan alkalmazhatjuk a kukorica esetében az öntözést, ami segít megteremteni a termésbiztonságot. A növény meghálálja az öntözést, hiszen genotípustól és a körülményektől függően 2-6 t/ha többlettel számolhatunk. Öntözni a nagy terméshozamot produkáló, az öntözésre jól reagáló hibrideket érdemes (Futó és Bencze 2017).

A kukorica fotoszintézisélettani sajátosságai

A **fotoszintézis** folyamatát, azon belül is a CO₂ fixációt több, mint 80 éve kezdték vizsgálni. Benson és Calvin - akiről a ciklus a nevét is kapta - fedezték fel a C3-as szén-dioxid megkötést, a munkájukat segítette Bassham is, valamint számos munkatárs (Bratek et al. 2013).

A fotoszintézis a növények meglehetősen összetett folyamata, mely során a fényenergia kémiai energiává alakul át, és végső soron szerves anyagok képződnek a segítségével. A fényenergia teszi lehetővé a földi élet működését. A fotoszintézis folyamán a szén-dioxid megkötődik, az oxigén viszont felszabadul. Fontos azonban megemlíteni, hogy a szénmegkötés csökken, hiszen egyre nagyobb léptékben irtják az őserdőket, valamint a tengeri elnyelés is visszaesett a tengerek erős szennyezettsége miatt. Ezt a folyamatot csak tetézi a nagymértékű fosszilis tüzelőanyag felhasználás. A légkör szén-dioxid koncentrációja erősen megugrik, üvegházhatású gáz lévén fokozza a globális felmelegedést. A fotoszintézis hozzájárul a légkör gázegyensúlyának fenntartásához (Allaga és Bódis 2014).

A fotoszintézist értelmezhetjük redox folyamatként is, melyben részt vesz egy elektrondonor, illetve egy elektronakceptor. A donorról az akceptorra átkerül az elektron és a két redoxtag közötti redoxpotenciál különbség legyőzéséhez szükséges energiát a fényenergia adja. Növényeknél jellemzően a víz a donor, és a szén-dioxid a legtöbbször előforduló, valamint a leginkább számottevő akceptor. A növények mellett egyes baktériumok is képesek a fotoszintézisre, ők jellemzően víz helyett kénhidrogént, hidrogéngázt vagy akár propionsavat, tejsavat is használnak donorként. Itt a víz hiánya miatt a folyamat nem jár oxigén felszabadulásával (Tuba és Csintalan 2009). Röviden összefoglalva tehát a folyamat során a szén-dioxid és víz C és H atomjai, valamint a NADPH H atomja fog részt venni

komplikált biokémiai folyamatokban, és így jönnek létre végül a szénhidrátok. A folyamat lefolyásához ATP-re, vagyis energiára lesz szükség. A NADPH esetében a H fog beépülni a szén-dioxid mellé, amit redukáló erőnek nevezünk (Allaga és Bódis 2014).

A fotoszintézis folyamatát három különböző szakaszra tudjuk bontani. Megkülönböztetünk fényszakaszt, szén-dioxid redukciós szakaszt, illetve a diffúziós folyamatok szakaszát. A fényszakasz a fényabszorpcióval kezdődik, melyhez fotoszintetikus pigmentek kellenek, ezeket magasabb rendű növényeknél klorofillnak és karotinoidnak nevezzük. A pigmentek a nap fényenergiájának 400 és 700 nanométer hullámhossz közti tartományát absorbeálják. Majd a fényszakaszban megtörténik az energia szállítása, és a fényenergia kémiai energiává történő átalakítása. Ebben a szakaszban szabadul fel az oxigén, emellett a NADPH és az ATP képződés is itt következik be. A fényszakasznál a folyamatok lefolyása összefügg a fény intenzitásával, a hőmérséklet megváltozása nem befolyásoló tényező bizonyos határok között. A folyamat fény-, illetve szén-dioxid redukciós szakaszának nagyrésze is a kloroplasztiszban történik (Allaga és Bódis 2014).

A szén-dioxid redukciós szakasz fény nélkül is végbe megy, ám a fényszakaszból származó ATP és NADPH szükséges hozzá. Itt történik a szén-dioxid fixáció, majd annak szénhidrát szintre történő redukciója. A redukció nappal történik, ugyanis a fényszakaszban termelt energiát használja hozzá a növény (Tuba és Csintalan 2009).

A diffúziós folyamatok szakasza lényegében egy gázcserét biztosító szakasz, ami a szén-dioxid, illetve az oxigén cseréjét szolgálja. Ez a csere a kloroplasztiszok, és a környező légtér között zajlik le. A fotoszintézis által képződött oxigén leadása, valamint a légzéshez elengedhetetlen oxigén felvétele és a légzés során keletkező szén-dioxid leadása egyszerre történik (Fehér et al. 2019).

A fényszakaszban keletkezett ATP és NADPH segítségével a szén-dioxid redukciós szakaszban a szén-dioxid szénhidráttá redukálódik, ehhez a szén-dioxidot a növénynek meg kell kötnie. Ennek három egymástól eltérő módja is van. A szén-dioxid megkötése után létrejövő primer szénhidrát termékek szénatomjainak száma határozza meg a növények fotoszintézis-típusát. Ezek alapján beszélhetünk **C₃**-as, **C₄**-es, és **CAM** típusú növényekről (Tuba és Csintalan 2009).

A C₃-as növényeknél a szén-dioxid megkötés a Calvin-Benson-ciklusban történik meg, az elsődleges termék pedig a három szénatommal rendelkező glicerinsav-3-foszfát. Ebben a típusban a szén-dioxid a RUBISCO (a ribulóz-1,5-difoszfát-karboxiláz/oxigenáz) enzim segítségével, az öt szénatommal rendelkező ribulóz-1,5-difoszfáthoz kötődik. A RUBISCO enzim kétféle alegységből tevődik össze, melyből a nagyobb a kloroplasztiszban képződik, a kisebb a citoplazmában. A kisebb egység mindössze a szabályozásban játszik szerepet, míg a nagyobb egység felelős az enzimaktivitásért (Tuba és Csintalan 2009). A RUBISCO enzim elengedhetetlen a szén-dioxid fixációja során. Ez az enzim a legnagyobb mennyiségben fellelhető fehérje a növények kloroplasztiszában, valamint a világon leggyakrabban előforduló fehérje is egyben. Amíg szerepe nem volt ismert, addig Frakció I protein néven ismerték. Az enzim CO₂ megkötése nagyobb volumenű, mint az éves kőolaj felhasználás (Bratek et al. 2013). A karboxilációt követően, hidrolízissel jön létre két molekula glicerinsav-3-foszfát. Ezt követően a glicerinsav-3-foszfát 1-1 egység ATP segítségével glicerinsav-1,3-

difoszfáttá alakul, majd a NADPH-t igénylő reakció végén glicerinaldehid-3-foszfáttá redukálódik. Mivel a folyamat következő részei az akceptor regenerációját hivatottak szolgálni, ezért nevezhető ciklusnak. A C₃-as növények közé tartozik számos gazdasági növényünk, mint a búza, árpa, rozs, vagy akár a napraforgó is (Bratek et al. 2013). Ezt a ciklust hívhatjuk reduktív pentóz foszfát útnak is. A reduktív és oxidatív folyamatokhoz szükséges enzimek egyaránt megtalálhatók a kloroplasztisz sztrómákban. A reduktív folyamat enzimeit csak fényben működnek, az oxidatív útvonal enzimeit viszont sötétben válnak aktívvá (Fehér et al. 2019).

A másik megkötési mód a C₄-es típusú. A választott növény, vagyis a kukorica is ide tartozik, a C₄-es típusba. Itt a szén-dioxidból történő szénhidrát szintézis ugyancsak a Calvin-Benson-ciklus segítségével megy végbe, viszont a Hatch-Slack-Kortschak-ciklus egészíti ki, ami a szén-dioxid elsődleges fixációját segíti (Tuba és Csintalan 2009). A C₄-es növényekre jellemző, hogy kiváló szén-dioxid-koncentrációra képesek, folyamatosan, nagy mennyiségű CO₂ koncentrálódik a RUBISCO közelében. Valamint a C₄-es növények jellemzően melegebb hőmérsékletű területekről származnak, jó példa a kukorica, a seprűcirok vagy a termesztett köles. Emellett levelük anatómiája is eltér a C₃-as növényekétől. Ezek a növények Kranz anatómiával rendelkeznek, ami azt eredményezi, hogy a Calvin-Benson ciklus csak a kör alakban elhelyezkedő nyalábhüvely sejtekben működik (Fehér et al. 2019). Mivel a nyalábhüvelyek plasztiszi gránummal nem rendelkeznek, ezért a vízbontás helye a PSII is hiányzik. Tehát O₂ sem képződik, valamint a lineáris elektron-transzportlánc sem funkcionál. A mezofillum-plasztiszokban zajlik a CO₂ megkötés, a foszfoenol-piruvát-karboxiláz enzim szubsztrátja az oldott szén-dioxid (HCO₃⁻) fog kötődni a foszfoenol-piruváthoz (PEP) és létrejön az oxálecetsav. Az oxálecetsav aszparaginsavvá vagy almasavvá alakul. A nyalábhüvely sejtekben az almasav dekarboxilálódik, a felszabadult szén-dioxid megkötődik a RUBISCO enzim által. A CO₂ felszabadulása után az almasav piroszőlősavvá alakul és a mezofillum kloroplasztiszaiba tér vissza, ahol foszfoenol-piruváttá regenerálódik. Ez ATP felhasználással járó folyamat. A C₄-es növényeknél tehát a Calvin-Benson-ciklus mellett van még egy karboxilációs út. A C₄-es növények képesek hatékonyan fotoszintetizálni kevésbé előnyös környezeti körülmények között, valamint meglehetősen szűk sztóma nyitottság mellett is. Jól viselik a magas intenzitású fényt, a rossz vízgáldálkodású területeket, valamint a magas hőmérsékletet is, tehát azokat a tényezőket, amik manapság legtöbbször okoznak stresszt növényeinknek a vegetációs időszak során. Eddig a C₄-es fotoszintézis utat körülbelül 1000 fajban találták meg, emellett legtöbbször a *Poaceae* család növényeinél (Bratek et al. 2013).

Végül a CAM fotoszintézis utat használó növények csoportja a harmadik típus. A CAM rövidítés a Crassulacean Acid Metabolism szavakból származik, ugyanis a *Crassulaceae* félék, vagyis varjúháj félék családjába tartozó egyedeken fedezték fel először ezt az utat. Jellemzően ezek a növények nagy hőstressznek vannak kitéve. Ilyen növény például a kaktusz, vagy az ananász. A szárazföldi növények jellemzően vagy a C₄-es fotoszintézist, vagy a CAM fotoszintézist használják, ha nagy szárazsággal, vagy magas hőmérséklettel, erős fényviszonyokkal kell megküzdeniük. A CAM növényei nappal a vízvesztés elkerülése miatt a sztómaikat zárva tartják, helyette este nyitják ki és ekkor történik a CO₂ megkötés is (Bräutigam et al. 2017). A CAM folyamatot négy részre tudjuk bontani, ahol az első lépésben

almasav képződik, nyitott sztómák mellett, az almasav a vakuólumban gyűlik, ezzel párhuzamosan a keményítőtartalom csökkenni fog. A szén-dioxid megkötés éjjel éri el a csúcát. A második szakaszban a sztómák már nyitódnak, és a fixáció egy ponton emelkedhet, amikor is a két karboxiláció együttesen működik, tehát a Calvin-Benson-ciklus fixációja és az éppen megszűnni készülő éjszakai karboxiláció. A harmadik szakaszban emelkedik az intercelluláris szén-dioxid koncentráció, mert az almasavból nappal felszabadul a szén-dioxid, amit a RUBISCO újra fixál. Végül a negyedik szakaszban ismét egyszerre lehet jelen a két folyamat, a RUBISCO aktivitás csökken, a PEP-karboxiláz aktivitás fokozódik, majd a sztómák záródnak. Vannak növények, amelyek időszakosan CAM típusúak, ezek a növények jellemzően nagy szárazságstressz hatására válnak időnként CAM típusúvá. Míg vannak állandó jellegű CAM szénmetabolizmusú egyedek is (Tuba és Csintalan 2009).

Fluoreszcencia

A fotoszintézis során a fény abszorpciója szolgáltat energiát és a gerjesztett állapotba kerülő pigment, név szerint a klorofill-a pigment végzi az elektrondonációt. Az elektron egy akceptor molekulához fog kapcsolódni. A fotoszintézis folyamata emellett olyan energia felszabadulással is járhat, ami nem a fotoszintézisben vesz részt, ezek a folyamatok disszipálják az energiát. Egyik részről termodinamikai folyamatok során hőenergia képződik, másrészről fény formájában bocsátja ki a fölös gerjesztési energiát a növény a fluoresszcencia folyamatában. A fényenergiát ezen folyamatok között osztja meg a növény, tehát, ha kevesebb energia jut a nem fotokémiai folyamatra (hő, fény), annyival több abszorbeált energia kerül felhasználásra a fotokémiai reakció során és fordítva. A különböző stresszfaktorok, mint az aszály, az alacsony hőmérséklet, vagy a forróság limitálhatja a fotoszintetikus hatékonyságot ([http10](http://10)) és eltolhatja az energiadisszipáció irányába.

Két egymástól elkülöníthető fotokémiai rendszert tudunk megkülönböztetni, ezek a PSI, illetve a PSII. A fluoresszcencia vizsgálata során arról kaphatunk információkat, hogy a növény milyen mértékben végez fluoresszcencia emisszót, mely a növény fotokémiai fényfelhasználására enged következtetni. A fluoresszcencia kapcsán a klorofill az a pigment, melyből 95%-ban a fluoreszcencia jelek származnak. A fluoresszcencia mérése során a fluoresszcencia jelek fényfelhasználását vizsgáljuk, melyből kiderül a PSII számára szolgáltatott energia mértéke ([http10](http://10)).

A növényi stressz

A növények vegetációs idejük alatt rengeteg stressztényezővel találkozhatnak, minden növény rendelkezik egy optimummal, ami a számára kedvező feltételeket jelenti, valamint egy tűrés tartománnyal, ám egy bizonyos pont felett, vagy alatt ezen tartományon kívülre lépve a növény fejlődését nagy mértékben befolyásolják a környezeti tényezők szélsőséges értékei. Számtalan tényező válhat ki stresszt, legyen szó akár hőről, szárazságról vagy fagyról, esetleg fény és UV, szél, vagy só okozta stresszről.

A stresszek közül talán a hőstresszt kell leginkább kiemelnünk, ugyanis napjainkban a klímaváltozás miatt a nyarak egyre forróbbak. Ez veszélyezteti jelenleg leginkább a fenntartható növénytermesztést. A növények próbálnak akklimatizálódni a megváltozott feltételekhez, és különböző reakcióik vannak a stressz ezen fajtájára. Az optimum feletti hő már stresszként hat a növényekre. A hőstressz befolyásolja a növényi szerveket, szöveteket,

és a sejteket is. A növények különféle reakciókkal próbálják védeni magukat, melyek szerepet játszanak a homeosztázis megóvásában is. A hőstressz megzavarja a környezethez való alkalmazkodást, fejlődési zavarokat eredményez, valamint retardációhoz vezet, végső soron a növény pusztulása is bekövetkezhet (Kotak et al. 2007). Ez az abiotikus stressz gyakran egészül ki aszályal, ebben az esetben a növény számára két legfontosabb optimuma kerül veszélybe, a megfelelő vízellátottság és az optimális hőmérséklet. Ez a növény fejlődése mellett negatívan befolyásolhatja a termés hozamot is. A gabonanövények, valamint a C4-es növények jobban viselik a hőstresszt, a kukorica tehát meglehetősen jól át tudja vészelni a stresszel járó időszakokat. A magas hőmérséklet egy ideig kedvező a növény számára, ugyanis a növekedés, virágzása és érése gyorsabb és intenzívebb. Mivel a fejlődési időszak lerövidül, ezért a növény kevesebb produktív hajtást hoz létre, ezenkívül kevesebb és kisebb szemeket. A termésbiztonság romlik a stressz hatására. A toleránsabb fajok tenyészideje a stressz hatására sem rövidül le ilyen szinten, tőlük jobb termés hozamot várhatunk. Azonban nem elhanyagolható a fejlődési szakasz, amiben a stressz éri a növényt, és a hőstressz hossza is fontos szempont. Hiszen ha a reprodukív szakaszban rövid ideig tartó hőstressznek vannak kitéve a növények, akkor a virágrügyek és a már kinyílt virágok abortálódhatnak, ami virágzáskor a termékenyülésre, illetve a szemfejlődésre nézve káros (Balla 2011).

A másik jelentős stressz napjainkban a már említett szárazságstressz, ami akkor jelentkezik, ha a víz a talajban csak kis mennyiségben van jelen, ezáltal a növények számára nem vehető fel. Az aszályos időszakok Magyarországon is egyre gyakrabban fordulnak elő, legyen szó légköri, vagy talaj aszályról. A vízhiány a növény számára igen nagy problémát jelenthet, hiszen befolyásolja a növekedését, a fotoszintézisét, a gázcserét, de még további anyagcsere folyamatait is (Skribanek, Schmidthoffer, és Csontos 2016). Az is elmondható, hogy az aszályos időszakokból ered a legtöbb termésveszteség. A vízhiány úgy, mint a hő, hatással van a sejtekre, szövetekre és a szervekre. A szárazságstresszt is próbálják a növények kivédeni különböző mechanizmusokkal. Többek közt a szárazság lehet az oka a gyökér, a szár, és a levél fejletlenségének. A nagy szárazság hatására a szén-dioxid megkötése is visszaesik, ugyanis a sztómák csukva vannak. A vízveszteség diffúziós ellenállás okozta csökkentésével próbálnak védekezni, ezért a mélyre hatoló gyökereik segítségével próbálnak vízhez jutni a talajból. Emellett a tápanyagok is tudják segíteni a növényt a szárazságstressz alatt, az egyik tápanyag a kálium, ami pozitívan hat az ozmotikus állapotra. A másik a szilícium, ami segíti a sejtek vízháztartását. Vízhiányos időben a sejtek működésében nagy szerepük van a különböző aminosavaknak, polioloknak, és a szerves savaknak. A megoldást a szárazságtűrésre a nemesítés jelentheti, vagy a markerekre végzett szelekció. Esetleges megoldásként szóba jöhet akár a hormonok használata is vetőmagokra, vagy a növekedésben lévő növényre exogén módon (Farooq et al. 2009).

Anyag és módszer

Vizsgálati terület jellemzése

A kísérlet helyszíne a Gödöllői Tangazdaság Zrt. kartali telephelye (47,658°N, 19,532°E). A telephely közvetlen szomszédságában található a ~100 ha-os szántó terület, ahol kukorica állományban végeztük el a méréseket. Kartal Pest vármegyében található, Budapesttől körülbelül 40 km-re. A galgamenti település meglehetősen jó termőterületekkel rendelkezik.

A területre vonatkozó átlagos évi középhőmérséklet jellemzően 10,42°C-os értéket mutat. A tábla környezetére jellemző átlagosan előforduló csapadék mennyisége 568mm, az adatok az OMSZ 1991 és 2021 közötti átlagai. A talaj adottságait tekintve barna erdőtalajról beszélhetünk, mely enyhén savas pH-val rendelkezik (6,27 pH KCl), emellett egy átlagosnak nevezhető szervesanyagtartalom (1,6%) társul mellé. Az Arany-féle kötöttségi száma a talajnak 43, ami agyagos vályogra enged következtetni. A tangazdaságban a forgatásos talajművelést alkalmazzák (Balogh et al. 2022).

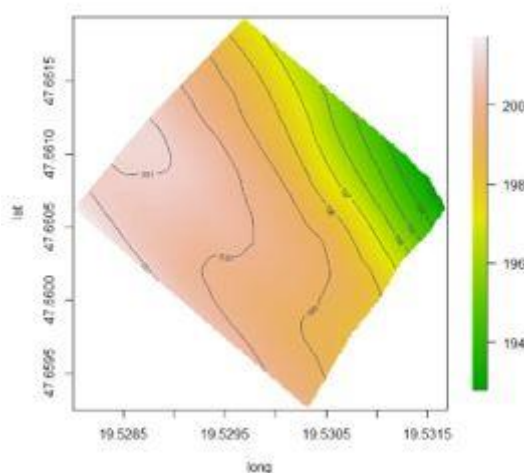
1.táblázat: Növényi sorrend a területen

Év	Termesztett növény
2021/2018	Őszi búza
2018/2019	Őszi káposztarepce
2019	Szemes cirok
2019/2020	Őszi búza
2021	Napraforgó
2021/2022	Őszi búza
2023	Kukorica

forrás: Saját szerkesztés (Balogh et al. 2022) adatai alapján

Domborzati adottságok

Kartal két nagytájunk, az Alföld és az Északi- középhegység határán fekszik el. Ennek eredményeként a kísérlet helyszínén, és annak környezetében a szántóföldek domborzata igen változatos. A környékre jellemzők a dombos tájak, viszont az enyhébb lejtők, sőt a sík területek is szép számmal vannak jelen. A kísérlet helyszínéről készített térképen jól láthatók a szintkülönbségek (2. ábra), ám nem nevezhetők kiugróan nagyoknak az eltérések. Hiszen láthatjuk, hogy a terület nyugati részén 201 méter a tengerszint feletti magasság, ez az érték a legmagasabb. Nyugatról keleti irányba haladva viszont fokozatosan csökken a magasság. A tábla közepén ez 198 métert jelent, majd onnan tovább haladva folytatódik a csökkenés. A tábla legkeletibb oldalán az érték már mindössze csak 193 méteres tengerszint feletti magasság.



2. ábra: A terület domborzati adottságai

forrás: saját ábra

Elvégzett vizsgálatok és használt műszerek bemutatása

A területen végzett mérések 2023 júniusában valósultak meg Kartalon, kukorica állományban. A kísérlet során olyan abiotikus tényezőket térképeztünk fel a területen, mint a lombozat hőmérséklete, a talajnedvesség, vagy éppen a területre érkező besugárzás mértéke. A táblán végzett mérések során 30x30 méteres felbontással kijelöltünk 9x7 mérési pontot, ezeken kívül 15 véletlenszerű mérési pontot, ahol az éppen aktuális műszerekkel elvégeztük a méréseket.

Több műszerrel, három ismételtsben mértünk, melyeket később átlagoltunk. Az elvégzett mérések közt szerepelt többek közt a mérési pozíciók és a domborzati magasság (**ALT**, m) GPS segítségével történő rögzítése, a talaj nedvességének mérése, a lombozat felszíni hőmérsékletének mérése, a levélfelület index meghatározása, a reflektancia rögzítése, valamint kiválasztott leveleken az összes klorofill tartalommal arányos SPAD-értéket és a fluoresszencia és a fotoszintézis mértékét is sikerült meghatározni.

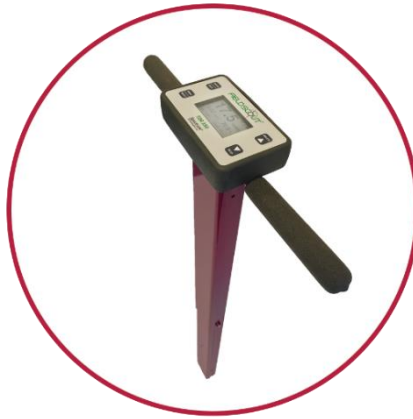
A **SPAD** műszert klorofill meghatározásra használtuk (3. ábra). Az adott ponton három eltérő levélen végeztünk mérést. A műszer könnyen hordozható és egyszerűen használható. A kalibrálás, vagyis egy sima, levél nélküli mérés után a növény levelét a műszer csipetűs részébe fogva gyorsan megkapjuk az értéket. A műszer a klorofill tartalmat a vörös és infravörös fények segítségével határozza meg, amely a mérés során a levél összecsípett részén áthalad. A SPAD használata lehetővé teszi, hogy a szemmel még nem látható hiányosságokat megtudjuk, hiszen a használat során a nitrogén ellátottsági szintre is tudunk következtetni, ezáltal a növény tápanyag visszapótlásáról is gondoskodhatunk. A haszonnövények termesztése során a műszer igen praktikus, hiszen a növekedés és az egészségi állapot követhetőbbé válik, emellett a nitrogén visszapótlása sokkal inkább irányíthatóvá válik, nem juttatjuk ki feleslegesen, vagy túl nagy mennyiségben, ezáltal a környezet számára sem válik terhelővé. A műszer segítségével végzett mérést követően a növény sértetlen marad. A műszert nedves levélfelületen is biztonságosan használhatjuk (<http11>).



3. ábra: Mérés a SPAD-dal

forrás: saját fotó

A talajnedvesség (**SWC**, m^3/m^3) megállapításához a FieldScout TDR 350-es mérőműszert alkalmaztuk (4. ábra), melynek használata gyors és egyszerű, hiszen a földbe szúrva a diódáit másodperceken belül megkaphatjuk az adatokat. Ezzel a műszerrel is több mérést végeztünk. Használata hasznos a növénytermesztés folyamán, mert a nedvességet megállapítva könnyebb döntést hozni az öntözést illetően. Valamint nem pazarolunk el az értékes öntözővízből sem (<http12>).



4. ábra: Talajnedvesség méréshez használatos műszer

forrás: (<http13>)

A lombzat felszíni hőmérsékletét Raynger MX-4 (Raytek Ltd., USA) infravörös hőmérővel rögzítettük úgy, hogy az állomány fölötti néhány másodperces folyamatos méréssel egy átlag-értéket kaptunk (5. ábra).



5. ábra: A lombzat felszíni hőmérsékletének méréséhez használt eszköz

forrás: (<http14>)

Végeztünk mérést a levélfelületi index meghatározása érdekében is, ennek rövidítése **LAI** (Leaf Area Index, m^2/m^2). Ezt az értéket levél felületének m^2 -ben megadott értékét a talajfelület m^2 -ben megadott értékére vonatkoztatva kapjuk meg. A LAI megállapításához az Accupar LP-80 nevű műszert használtuk (6. ábra), a lombzat felett, valamint a lombzat alatt mértünk besugárzást. Ennél a műszernél is elsődleges a kalibráció, melyet a területhez, illetve az adott napszakhoz igazítva kell elvégeznünk. A területen kijelölt mérési pontokon több mérést érdemes végeznünk a műszerrel, ami lementi az adott mérési ponthoz tartozó

átlagolt eredményeket. A műszer használatánál korlátozó tényező lehet a felhőborítottság, ha az idő túl borús, akkor a mérés nem végezhető el biztonsággal. Ennek a mérésnek több előnye is van, hiszen egyszerű az érték meghatározása, kiválóan tudunk következtetni a növény állománysűrűségére, emellett a LAI használható akár a produktivitás, akár a szénmérleg meghatározására, de még a távérzékelésből származó adatok hitelesítésére is. Valamint a kevésbé előnyös tulajdonságaihoz tartozik, hogy a növényről nem tudunk meg konkrétumokat, például annak alakját, vagy a levelek eloszlását (Richter 2009).



6. ábra: LAI mérése

forrás: saját fotó

A LI-6400 (LI-COR, USA) nevű műszer segítségével határoztuk meg a fotoszintézis (**PN**, $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2 \text{ s}$) és a transzspiráció (**TR**, $\text{mmol H}_2\text{O}/\text{m}^2 \text{ s}$) mértékét (7. ábra). A műszer a nettó fotoszintézis megállapításában segít, hiszen zárt körülmények közt végzi a mérést. A mérendő levelet óvatosan csíptetjük be a műszer levélkamrájába, ahol a terepi körülmények között aktuális besugárzás adja a gerjesztési energiát. Az mérés intakt leveleken végezhető, érdemes a levelet a kamrába minél természetesebben helyezni. Miután a levél bekerült a kamrába meg kell várni, hogy a fotoszintézis stabilizálódjon, majd el lehet végezni a mérést (<http15>). Mérési pozícióként három levelet mértünk.



7. ábra: A fotoszintézis és a transzspiráció meghatározásához használt műszer

forrás: saját fotó

A fluoresszencia méréséhez az FMS-2 (Hansatech, Németország) műszert alkalmaztuk (8. ábra). A vizsgálatot 15 percig sötétadaptált leveleken kellene végrehajtani. Szántóföldi körülmények közt nem adaptáltuk őket, hanem a fényen lévő levél mérési protokollját követtük. A rögzített paraméterek között volt a **FiPS2**, vagyis a kettes fotokémiai rendszerben az abszorbeált és a fotokémiai folyamatok során hasznosult fotonok aránya, valamint az elektron-transzport ráta (**ETR**). Ez a műszer mérte a besugárzás mértékét is.



8. ábra: Fluoresszencia mérés

forrás: saját fotó

A reflektancia mérést pedig a Qmini spektrométerrel végeztük (RGBPhotonics, Németország). Itt minden mérési pozíciónál a lombzat fölé helyezett műszerrel nagyjából 40x40cm-es felszínről rögzítettük a reflektanciát. A meghatározáshoz az ún. „proximal sensinget” használtuk, ami ez egy köztes megoldás, lépték a műholdas távérzékelés és a levél felületén végzett mérés között (Angelopoulou et al. 2020). A reflektancia adatok alapján vegetációs indexeket számoltunk.

A **Sentinel** műholdak segítségével, a **Copernicus Browser**rel töltöttünk le képeket a kartali területünkről. A képek 10x10 m-es felbontásúak. A kukoricát 2023. május 04-én vetették el, tehát a képek letöltésének kezdete ez a nap. A felvételeket egymás mellett felsorakoztatva, az állomány vegetációs idejét időben lefedve szemléltetjük eltérő szempontok szerint. Az

adatok közt szerepel a NDVI érték, a nedvesség stressz és nedvesség index. Ezeket az adatokat összevetve átfogóbb képet kaphatunk a növényi stressz megjelenéséről. A képeket kéthetes sávokban töltöttem le, ahol figyelembe kell venni a műhold visszatérését, valamint a felhőborítottságot. A területet koordináták alapján vettük fel a **Copernicus**ban a következő lépések során: beállítottam a megfelelő témát, ami a mezőgazdasági téma volt, valamint a különböző rétegeket (NDVI, Moisture Stress, Moisture Index), majd ezt követően letöltjük a kívánt terület értékeit. A képeket Power Point használatával egymás mellé rendeztem, hogy jól követhetően ábrázolhassam a vizsgált kukorica vegetációs ideje során zajló változásokat. A betakarítás 2023. szeptember 12-én történt, így érthetően az adatok letöltése eddig tartott.

Adatfeldolgozás

Az adatfeldolgozás folyamata meglehetősen egyszerű, hiszen a legtöbb mérőműszer automatikusan eltárolja a mért értékeket, melyeket könnyen át tudunk vinni számítógépre (pl.: LAI-nál). Viszont előfordul, hogy a műszer nem menti a kapott adatokat vagy kevés információt tárol és könnyen eltéveszthető, hogy hol mennyit mért az ember, így kézzel kell azokat feljegyeznünk (pl.: SPAD). Az eltárolt adatokat a számítógépre történő áttöltés után először Excel táblázatba kellett rendezni, ahol minden kijelölt, illetve random pont összes mérésének adatai megjelentek. Később ezeket az értékeket átlagolnunk kellett. A három mért érték adta az egy-egy pontra vonatkozó átlagolt végső értéket. A területre vetítés, vagyis a térképezés az R program (Akima és Gebhardt 2022; Furrer et al. 2021; [http16](http://16)) segítségével valósult meg. Itt tudtuk szemléltetni a területen mért értékek térbeli elhelyezkedését, valamint prezentálni az adott hatótényező változatosságát, vagy éppen homogenitását a térben. A program segítségével az Excel táblázatok adatait behívtuk, majd interpoláltuk az adatokat, hogy az ismeretlen - tehát, ahol nem végeztünk mérést - területekre is megkaphassuk a közelítőleges értékeket. Az interpoláció segít, hogy a terület minden pontjához hozzá tudjuk rendelni azt az értéket, ami a valóságban a legközelebb állhat a vélt értékhez.

Az interpolációknál két variációt próbáltunk ki, a lineáris interpolációt, illetve a spline interpolációt, melyek közül az utóbbi bizonyult jobbnak, mert csak az ábrázolni kívánt terület tűnik fel rajta, valamint egy sokkal realiztikusabb képet kapunk az adatokról.

Ha a lineáris interpolációt alkalmazzuk, akkor azt feltételezzük, hogy egyenes arányosság van a két ismert pont között. Vagyis, ha a harmadik pont helyét kell meghatároznunk, akkor azt feltételezzük, hogy az is az egyenesen lesz rajta, valamint elegendő annak egy koordinátáját ismernünk ([http17](http://17)). Lineáris interpoláció használata során folytonos függvényt kapunk, ám abban törések jelennek meg. Ha egy simább függvényt szeretnénk kapni, akkor magasabb fokú spline-nal érdemes próbálkozni ([http18](http://18)).

Ha több adatot vizsgálunk, akkor jobb megoldásnak bizonyul a spline módszer. Ennek a módszernek az a lényege, hogy nem egy nagy magasfokú polinomot használ, hanem több alacsonyabb fokszámmal rendelkezőt. Minden alacsony fokszámmal bíró polinom csak egy részre, intervallumra vonatkozik kettő vagy több pont között. Elsőfokú polinomok esetében a pontokat egyes vonalak kapcsolják össze, míg a másod- vagy harmadfokúaknál vonalak helyett görbék végzik el a feladatot. Ezt ismerjük szakaszonként változó polinominális

interpolációként, más néven spline interpolációként. Ez a lokális interpolációk közé sorolható, mert a szakaszok esetében mindig csak annak a környezetében található pontokat vesszük számításba (http18).

A mért adatok közötti kapcsolatokat Student-féle t-próbával elemeztük 0.05-ös szignifikancia szint mellett.

Eredmények és értékelésük

A vizsgálati év adottságai

A HungaroMet Magyar Meteorológiai Szolgáltató Nonprofit Zrt. adatai alapján vontam átlagot az elmúlt 20 év távlatában, mely szerint az évi átlagos csapadék mennyisége 597mm. A térképeken mindig a Kartal területéhez tartozó színkód értéktartomány közepét vettem figyelembe az átlag kiszámításához. A két legkiemelkedőbb év a 2010-es és a 2023-as évek voltak, 2023-ban érdemes megfigyelni havi bontásban is a történéseket, hiszen ebben az évben volt a területen a vizsgált kultúra. 2010-ben 950 mm csapadék hullott a térségben, míg 2023-ban 850 mm. A kukorica vetése általában áprilisban történik és a betakarítása pedig az őszi hónapok elejére vagy közepére esik. A 2023-as év tavasza 10-20%-kal több csapadékos volt, mint az elmúlt 20 év tavasza. Nyári hónapok tekintetében a július átlag alatti eredményeket hozott, ám a június és az augusztus, valamint az október járt még kiemelkedőbb mennyiségű csapadékkal (http19).

A napsütéses órák számát is az Országos Meteorológiai Szolgálat adatai segítségével határoztuk meg, ahol szintén az elmúlt 20 év adataival hoztuk létre az átlagot. Ugyanúgy a kartali területre a színek segítségével feltüntetett kategóriák közepét használtam a számolás során. A 2011-es évben volt a legkevesebb napsütéses óra, szám szerint 1750 óra. A legmagasabb érték 2425 óra volt 2021-ben. Illetve 2022-ben is meglehetősen nagy értéket mértek (2325 óra), ekkor megfigyelhető volt, hogy a lehullott éves csapadék mennyisége is elég kevés volt, emellett aszályosnak is mondható a két magas napsütéses órással és kevés csapadékkal rendelkező év. Itt is kiemelt figyelmet kell fordítanunk a 2023-as évre, azon belül is a kukorica tenyésztésére vonatkozó hónapok a mérvadóbbak. A két legtöbb napsütéses órával rendelkező hónap a július és az augusztus volt. 2020-tól a mérőállomások helyett műhold felvételek segítségével határozza meg az Országos Meteorológiai Szolgálat a napsütéses óráknak számát, ez is mutatja a műholdak sokrétű felhasználását (http19).

2.táblázat: A napsütéses órák száma, csapadék összegek

Év	Óra	mm
2023	2275	850
2022	2325	525
2021	2425	425
2020	2225	525
2019	nincs adat	625
2018	2250	575
2017	2250	650
2016	2150	675
2015	2150	525

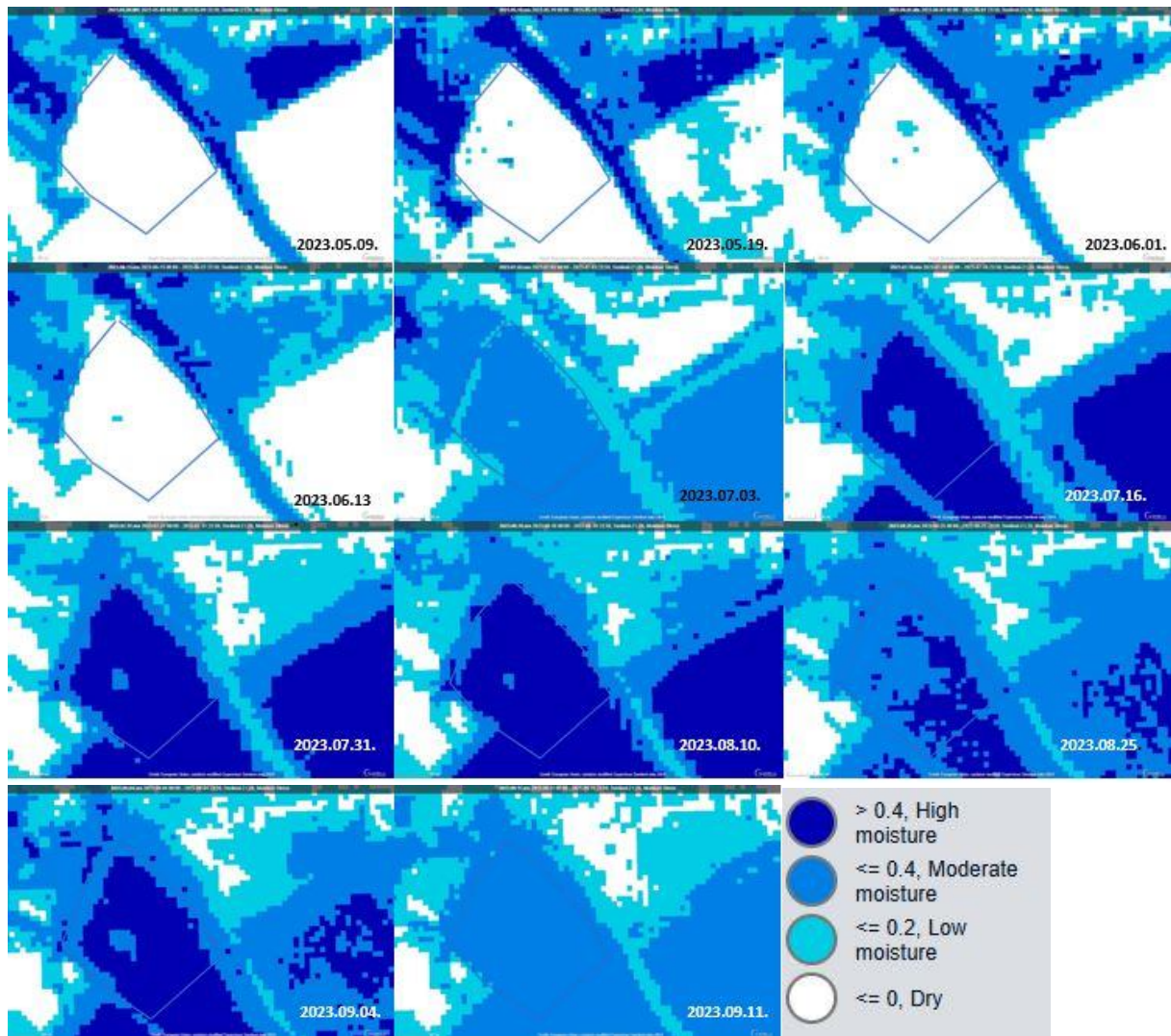
2014	1950	650
2013	2050	575
2012	2340	425
2011	2275	375
2010	1730	950
2009	2050	650
2008	2050	550
2007	2130	660
2006	2050	525
2005	2025	625
2004	1950	575
Átlag	2139	597
Min.	1730	375
Max.	2425	950

forrás: Saját szerkesztés az Országos Meteorológiai Szolgálat adatai alapján (<http16>)

A növényzet és a talajnedvesség térbeli jellegzetességei Sentinel képek alapján

A talajnedvesség meghatározását a Sentinel műholdak által kapott képekkel oldottuk meg. A képek a Moisture Indexet, valamint a Moisture Stress-t szemléltetik.

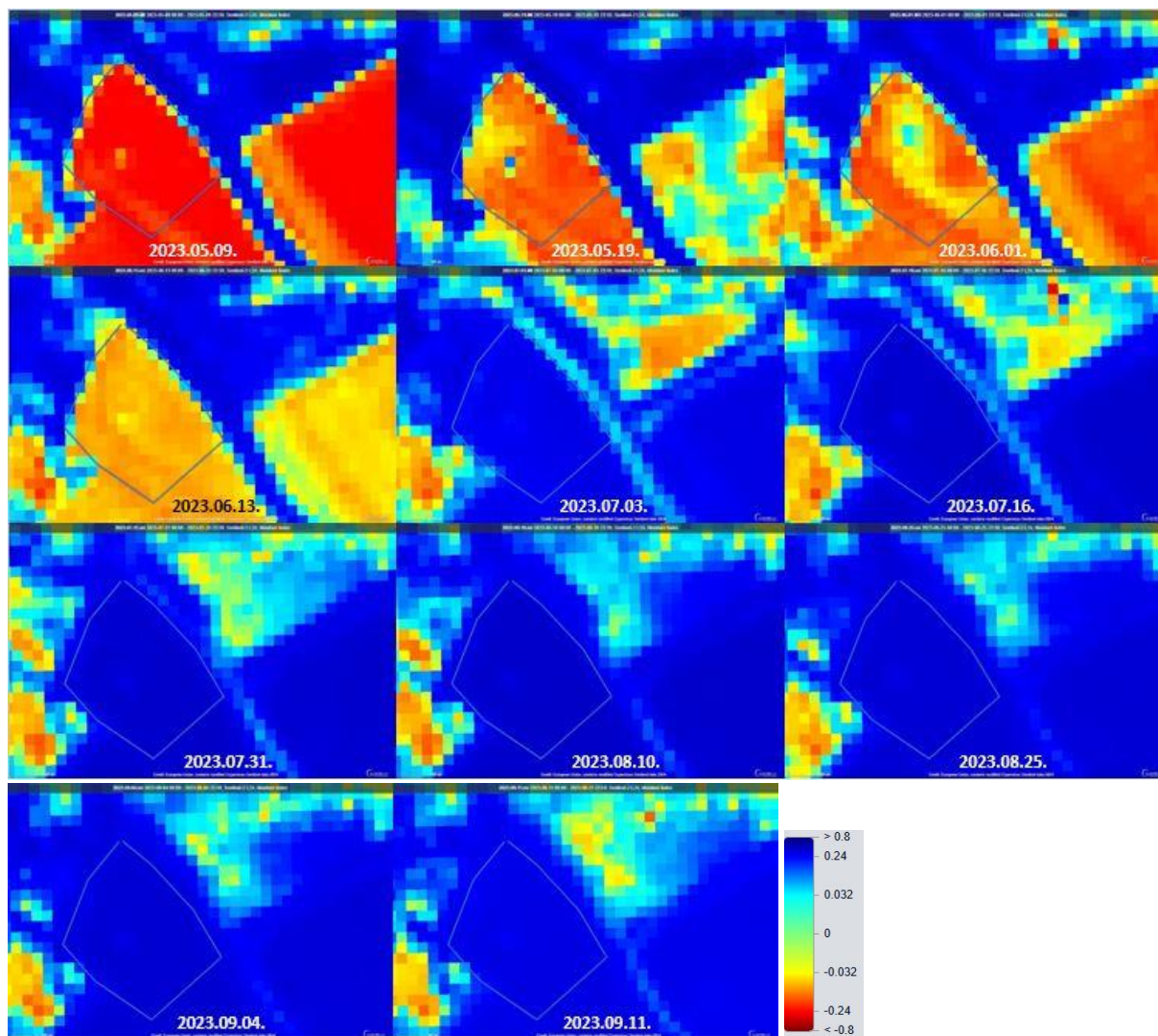
A Moisture Stress-t szemléltető réteg elsőszámú feladata, hogy az öntözést ellenőrizhessék, ami a területünkön nem történt, viszont az alsóbb rétegekben megtalálható, a növény által hasznosítható talajvizet is megjeleníti. A Moisture Stress alkalmas lehet az illegális öntözés felderítésére, az öntözés ellenőrzésére, de nem csupán az öntözésre használt vizet mutatja, hanem a csapadék formájában talajba kerülő vizet is. A műholdfelvételek (9. ábra) nagyvonalakban kéthetente készültek a felhőborítottság függvényében. Jól látszik, hogy a kezdeti hetek meglehetősen szárazak, az első kép a vetés után 5 nappal készült május 09-én. A terület száraz volt, néhány alacsony kategóriába sorolt nedvességtartalmú pontot leszámítva a tábla közepén, ez az állapot a július 03-án készített felvétellel tört meg, hiszen akkor szinte az egész táblára mondhatjuk, hogy közepes nedvességtartalommal bírt. A júliusi, illetve az augusztusi képeken látszik, hogy a terület magas nedvességtartalommal bírt, egy-egy közepes foltot leszámítva a bekeretezett terület közepén. Az utolsó hetekre kissé csökkent a nedvesség, míg az aratást megelőző napon, szeptember 11-én szinte a teljes terület közepes nedvességgel bírt. A Magyar Meteorológiai Szolgáltató Nonprofit Zrt. adatai szerint a május, a június és az augusztus is 75-80mm körüli csapadékot produkált, a képeken mégis változó értékek jelennek meg, de természetesen nem törvényszerű, hogy a vizsgált területen is lehullott az országos átlagok alapján számolt érték. Összehasonlítva a terepi mérést, illetve a műholdképet, terepi mérés során rögzített talajnedvesség az interpolált térképeken sokkal pontosabb adatokat ad a műholdfelvételhez képest. A negyedik kép (9. ábra, 2023.06.13.) áll legközelebb a terepi mérés idejéhez, öt napos eltérés van a kettő közt. A terepi mérésnél a terület észak-keleti felén a legmagasabb a talajnedvesség, míg a műholdas adatoknál egységesen közepes a nedvesség, kivéve a tábla szélein, ahol inkább az alacsony értékek jellemzőek.



9. ábra: A területre vonatkozó nedvesség stressz a tábla kontúrjának kiemelésével, illetve a letöltések időpontjának feltüntetésével

forrás: (http20)

Az NDMI (Normalized Difference Moisture Index) a vizsgált vegetáció víztartalmát hivatott szemléltetni (10.ábra), illetve az aszályok meghatározását teszi lehetővé. Az értékek -1 és 1 között változnak, a -1, vagy ahhoz közeli érték jelöli a vízhiányos talajt, a -0,2 és 0,4 közötti szám stresszes állapotra utal, míg a magasabb pozitív értékek a stresszmentes körülményekre engednek következtetni. A réteg a közeli infravörös és a rövid hullámhosszú infravörös tartomány segítségével érzékeli a stresszt, vagy annak hiányát. Mivel az állomány víztartalma és az aszály mértéke vizsgálható ezzel a réteggel, ezért jól látható az idő előre haladtával a fokozatosság: míg először a szinte állomány nélküli kezdetleges állapotokat látjuk alacsony víztartalommal az első képen, majd a stressz közeli állapot az idő előre haladtával, az állomány növekedésével szinte megszűnik. A tenyészidőszakban a Magyar Meteorológiai Szolgáltató Nonprofit Zrt. adatai szerint átlagosan 66mm csapadék hullhatott le, a legkevesebb szeptemberben, amikor is a kukoricát betakarították a hónap 12. napján.

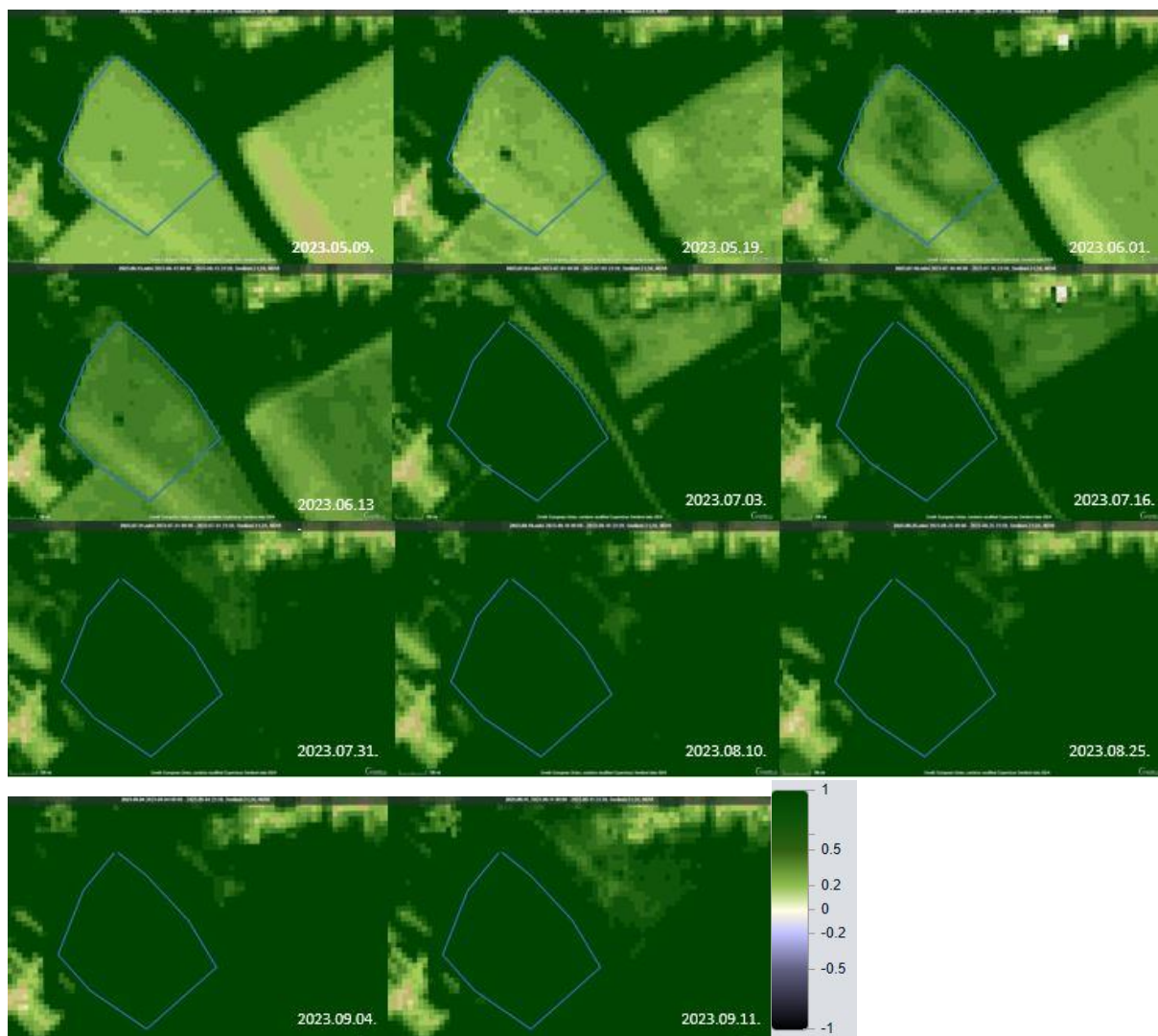


10 ábra: A területen érzékelhető nedvesség stressz műholdképeken a tábla kontúrjának kiemelésével, illetve a letöltések időpontjának feltüntetésével

forrás: (http20)

A Copernicus Browser segítségével elérhetővé váltak számunkra az NDVI (Normalizált Vegetációs Index) (11.ábra) értékek is. Ennél az értéknél a területen található növényzet zöld színe, tehát pigmenttartalma, ezáltal fotoszintézisének intenzitása a meghatározó, ez alapján következtethetünk akár az állomány N hiányos állapotára is. Itt is szembeűnik a növényzet fejlődése, hiszen a kezdeti képeken a növényzet kis mérete miatt alacsonyabb értékek láthatók, valamint a kukorica sortávolsága nagynak mondható, ezért több időbe telik míg a lombzat záródik. Amíg a talaj látszódik, vagy nagymértékben látható addig ez is befolyásolja az értékeket. Hiszen nem csak a növény zöld színe, hanem a talaj világosabb, sötétebb barna részei is láthatók a műhold számára. A harmadik képen (2023.06.01.) az állomány egy hónapja van fent a területen, mely idő alatt láthatóan a középső része, illetve az északi és déli rész is valószínűleg jobban fejlődött, mint a többi terület. A terepi mérések alapján elmondható, hogy északon a talajnedvesség magas volt ez kedvezhetett a növény nagyléptékű fejlődésének azon a részen. A levélfelület index is nagyjából ezen a területen mutatta a legnagyobb értékeket. A fotoszintézis és a transzspiráció is a középső térségben

volt magasabb. Az utolsó képen a betakarítás előtti nap NDVI értékét láthatjuk, elmondható, hogy ekkora már szép összefüggő, nagy klorofill tartalmú állományunk volt.



11.ábra: A terület NDVI adatai műholdképeken a tábla kontúrájának kiemelésével, illetve a letöltések időpontjának feltüntetésével

forrás: (http20)

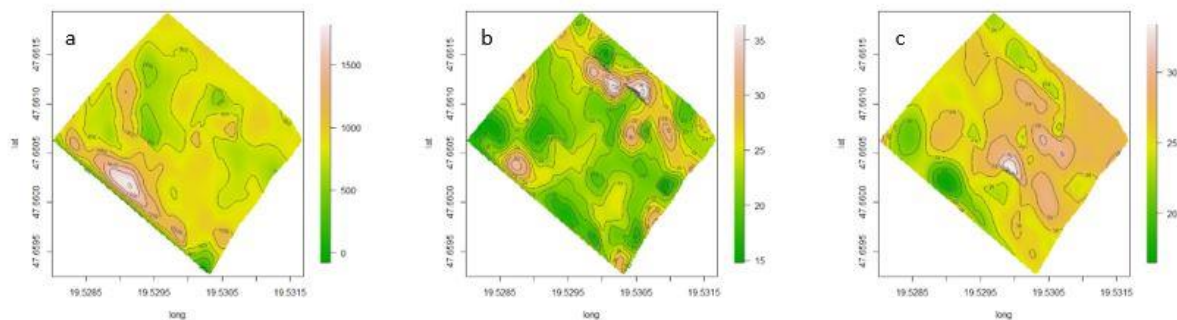
Környezeti hatótényezők a mérési kampány adatai alapján

A mérési adatokat felhasználva jött létre a területre vetített térkép, mely szemlélteti a terület adott pontjain akár a besugárzást, a talajnedvességet, vagy a hőmérsékletet. A mellékelt térképeken (12. ábra) jól látszik, hogy a besugárzás (12a ábra) legalacsonyabb értéke 200, míg a legmagasabb értéke 1600 ($\mu\text{mol foton/m}^2 \text{ s}$) volt. A legalacsonyabb érték a terület legdélibb részén, míg a legmagasabb érték a tábla dél-nyugati felén fordult elő. Az északi, illetve a keleti részen egyaránt 800 körüli érték figyelhető meg, de általánosságban optimális fényviszonyok mellett történtek a mérések.

A talajnedvesség térképe (12b ábra) azt mutatja, hogy jellemzően a vizsgált terület közepén fordultak elő alacsony értékek, míg az észak-keleti oldalon több ponton is kiugró volt az érték, ahol a domborzati adottságok térképe szerint a terület legmélyebb része helyezkedett

el. Középen 18-tól 24-ig terjedő értékek voltak észlelhetők, ezzel szemben az észak-keleti részen több 30 feletti érték is született, a legmagasabb 34-es érték is ezen a részen volt. Meg kell említenünk, hogy a nyugati oldalon is volt egy magasabb 30-as érték.

A hőmérséklet nyár eleji méréshez méltó eredményeket mutatott, hiszen 21 és 30°C között változott a területünkön. A hőmérséklet a keleti, dél-keleti oldalon volt a legalacsonyabb és fokozatos növekedést figyelhetünk meg a nyugati, észak-nyugati irányban, de ez egyszersmind a mérés során a haladási sorrend is, tehát a hőmérséklet a nap folyamán a mérési kampány ideje alatt nőtt. A tábla közepén a hőmérséklet elérte a 26-28°C-ot, majd szépen fokozatosan nyugati irányba haladva a 29-30°C-ot is.



12. ábra: a) A besugárzás, b) a talajnedvesség, c) a lombozat felszíni hőmérsékletének térképei

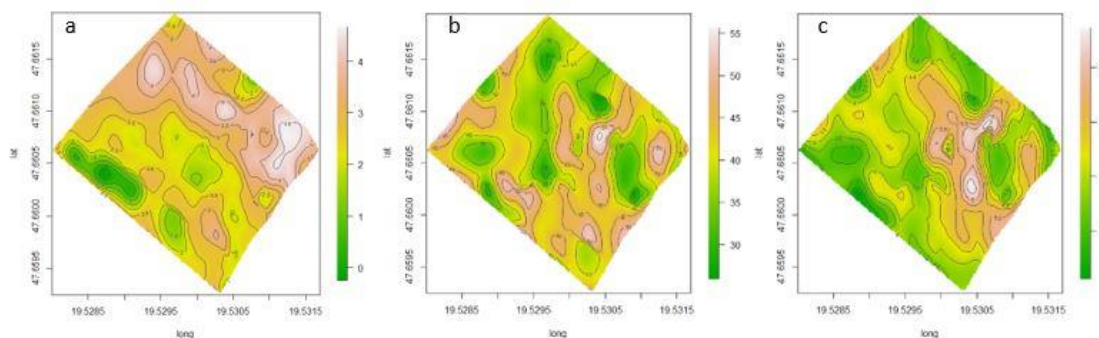
forrás: saját ábra

Az állomány élettani működésének térbeli jellegzetességei

A 13a ábrán a LAI (Leaf Area Index), vagyis a levélfelület index látható. Jól látszik, hogy a legalacsonyabb mért értékek a terület nyugati csücskében fordulnak elő, ahol 0 és 1,5 körüli értékek jelennek meg. Elmondható, hogy az értékek nyugati irányba haladva egyre nagyobbak lesznek, ez a domborzat térképén ismét a mélyebb területeket jelenti. Bár a vizsgálati időszak kiemelkedő csapadékelátottságú volt, a térbeli mérés feltárta a domborzattal, esetleg a talajadottságokkal kapcsolatos eltéréseket.

Az 13b ábrán a fotoszintézis értékeit tüntettük fel. A legalacsonyabb mért adat a 30, a legmagasabb az 50 volt. Ennél a mérésnél nehéz égtájak szerint jellemezni a térbeli eloszlást, vagy kategorizálni a területet, hiszen nagyon változatos adatok születtek, és nincs igazán jellemző érték, mert az ábrára tekintve egy heterogén állományt fedezhetünk fel.

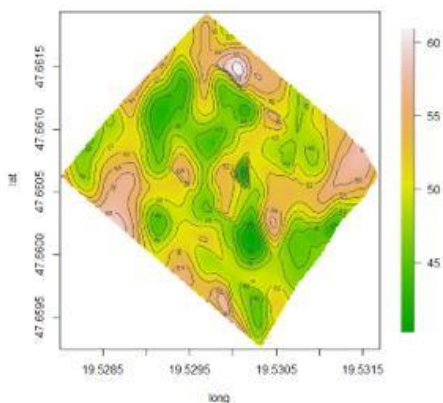
Az 13c ábrán a transzspirációs adatok kerültek feltérképezésre. A legmagasabb mért érték a 6, a legalacsonyabb pedig a 2,5 volt. A terület közepén, illetve a keleti oldalán figyelhetjük meg a magasabb, 5 feletti értékeket, míg a többi részen a jellemző érték 3-3,5 körülnek mutatkozott csupán. Ez az eloszlás a fotoszintézisnél jobban követte a domborzati és talajnedvesség eloszlásokat.



13. ábra: a) A levélfelület index, b) a fotoszintézis, c) a transzpiráció térképei

Forrás: saját ábra

Az 14. ábrán szemléltettük a kukorica kultúra klorofill tartalmát, a SPAD -érték térképezésével. A térképre pillantva elmondható, hogy a terület lombzatának klorofill mennyisége meglehetősen változatos, esetlegesen a középső részén fordul elő nagyobb, egybefüggő alacsonyabb értéket mutató szakasz. A terület nagy részén a középértékek dominálnak, ez azt jelenti, hogy 50 és 55 közötti értékek nagymértékben jelennek meg az állományban. A legmagasabb érték a terület észak-keleti részén található, ahol a klorofill tartalom mértéke az 58-as értéket is eléri, ez azért a kultúra nyugati szegletében is előfordul egyszer. A legkisebb érték a terület közepén található, ahol a mért érték mindösszesen 44 volt. Elmondható, hogy a tábla közepéből kiindulva bármely égtáj felé haladva növekvő értékeket tapasztaltunk.



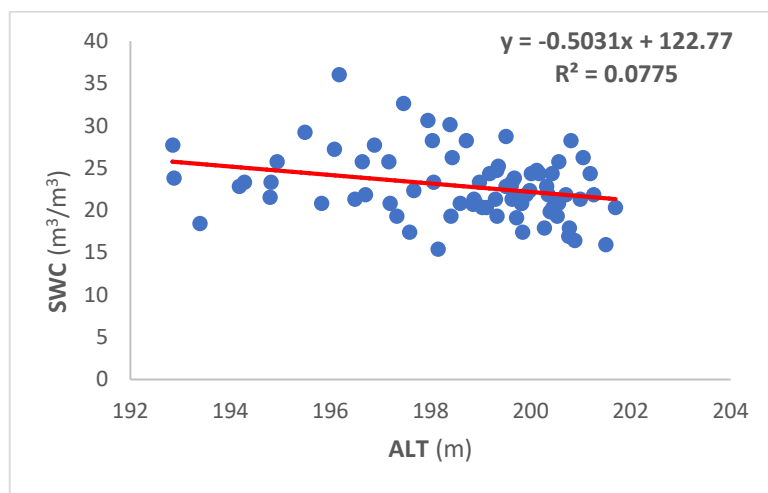
14. ábra: Az állomány lombzatának klorofill mennyiségének térképe
forrás: saját ábra

A mért változók kapcsolatai

Érdekes lehet szemügyre venni a környezeti hatótényezők kapcsolatait, egymásra gyakorolt hatásait, hiszen a környezeti tényezők gyakran mutatnak korrelációt egymással. Az abiotikus tényezők gyakran gyors lefolyású változásokon mennek keresztül, és ez befolyással bírhat a többi tényező alakulásra is. A környezeti hatótényezők változása és egymással való kölcsönhatása emellett kihathat a termesztett növény állapotára, akár stresszt is okozva ezzel.

Az első környezeti hatótényezők, amiket összehasonlítottunk a terület domborzati adottságai, valamint a talaj nedvességtartalma. A talajnedvesség tartalmát és a talaj vízgazdálkodását számtalan faktor befolyásolja, legyen az a növényborítottság, az eróziós lepusztultság, vagy akár a megváltozott éghajlati viszonyok következményei. Itt beszélhetünk a fagyos napok számának visszaeséséről, mely hatással van a talaj vízbefogadó képességére, vagy a gyakori nyári időszakot is említhetnénk, amikor a nedvességtartalom jelentősen lecsökken. Napjainkban egyre gyakrabban fordul elő hirtelen érkező és nagy mennyiségben lehulló csapadék, melynek beszivárgása nehézkes, különösképp akkor, ha a talaj szerkezete túl tömör a különböző taposási, illetve azonos mélységben történő művelés miatt (Ujj et al. 2019). Jellemzően az alacsonyabb részekre folyik a víz, így ott nagyobb értékeket várhatunk, emellett jellemzően itt nagyobb a szervesanyag mennyisége is.

A diagram (15. ábra) y tengelyén láthatók a mért talajnedvesség értékek, míg az x tengelyen a tengerszint feletti magasságot ábrázoltuk. A korreláció meghatározása és a szignifikancia vizsgálat ($P=0,0136$) után kiderült, hogy a különbség statisztikailag szignifikáns. Szemmel látható, hogy a legmagasabb talajnedvesség érték ($36\text{m}^3/\text{m}^3$) egy alacsonyabb fekvésű részen (196m) volt mérhető. Mivel a területünk felszíne majdnem 10m-es szintbeli eltéréssel rendelkezik, jogosan feltételezhetjük, hogy a legnagyobb értékek az alacsonyabb területeken mutatkoznak, hiszen a diagram trendvonala is csökkenést mutat a magasabb területek irányában. A legalacsonyabb érték 198m-nél ($15,4\text{ m}^3/\text{m}^3$) volt, ám ugyanúgy találhatók alacsonyabb értékek 201m-nél ($15,9\text{ m}^3/\text{m}^3$) és 193m-nél ($18,4\text{ m}^3/\text{m}^3$) is.

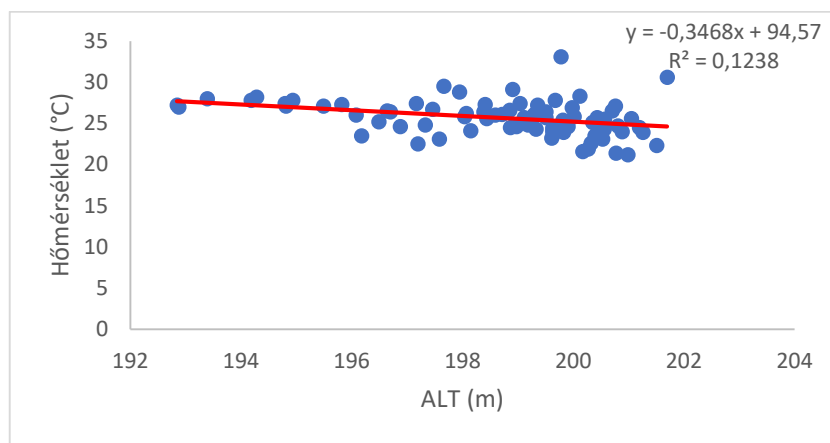


15. ábra: Diagram a talajnedvesség és a domborzat viszonyáról

forrás: saját ábra

A következő ábrán (16. ábra) szeretnénk volna szemléltetni a tengerszint feletti magasságokhoz tartozó lombzaton mért hőmérsékleti értékeket. Az y tengelyen figyelhetők meg a hőmérsékleti értékek, az x tengelyen pedig a felszín magasságának adatai. A mérés délelőtt kezdődött és kora délután ért véget, ez okozhat némi eltérést, hiszen a hőmérséklet az idő előre haladtával folyamatosan emelkedett, vagy olykor nagyobb volt a felhők árnyékolása. Az alacsonyabb (192m-196,5m) részeken $23,5$ és $28,2^\circ\text{C}$ között változnak az

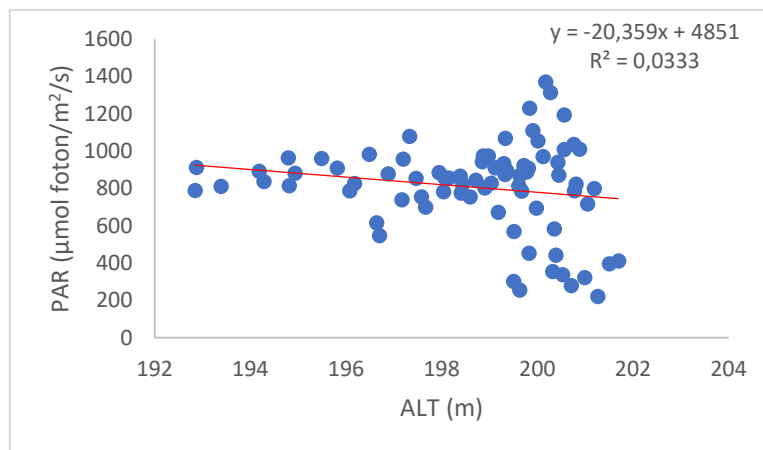
értékek, míg a magasabb (196,5m-201,6m) részeken két kiugróan magas értékkel találkozhatunk, az egyik 30,6°C, a másik 33,1°C. Ezeken kívül a legtöbb magas részen mért adat hozza az alacsony szakasz °C-ban mért értékeit, ám itt találhatjuk a legkisebb mért értéket is (21,2°C). A sík területek valószínűsíthetően könnyebben és egyenletesebben melegedtek fel. A korrelációt figyelembe véve ($P = 0,0016$) az adatok statisztikailag szignifikánsak, ám a kapcsolat valószínűleg inkább a mérés során a melegedést tükrözi, mintsem a domborzati kapcsolatot, hiszen a mélyebb részek felé haladtunk, ahol a nagyobb talajnedvesség és nagyobb LAI mellett intenzívebb párologtatást és így hűtést várnánk.



16. ábra: Diagram a lombzat felszíni hőmérsékletének és a domborzatnak viszonyáról

forrás: saját ábra

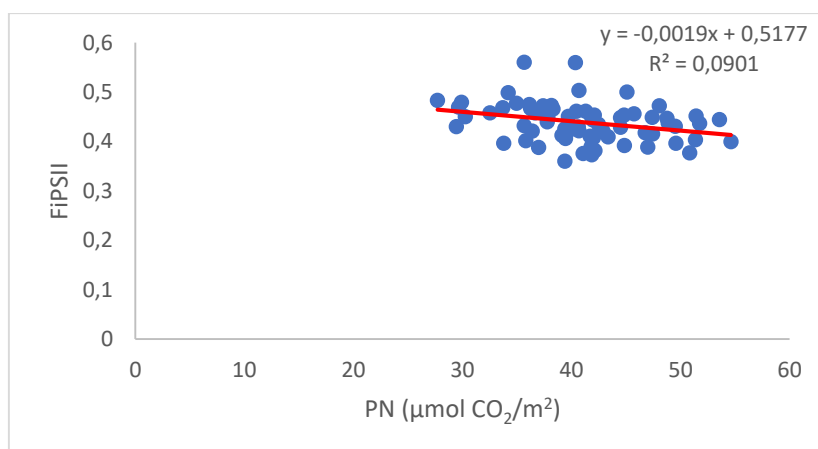
Az következő környezeti hatótényező, amit domborzati adottságokkal összevetettünk a besugárzás mértéke a területen (17.ábra). Az y tengely szemlélteti a besugárzás mértékét, az x tengely a domborzati adottságokat. A besugárzás egy része elnyelődik, míg a másik része visszaverődik, a talaj tulajdonságai, mint az érdesség, a szín, a minőség vagy a borítottság mind befolyásoló tényezőkként vannak jelen. A felszínborítottság jelentősen befolyásolja a az elnyelést, valamint a visszaverést, számít a növény magassága, az állomány zártsága, nedvességforgalma, hiszen ezek mind kihatnak együttesen a mikroklimára (Loksa 2004). A diagramon látható, hogy a terület magasabb részein óriási a szórás a mért változók közt. Míg 201 méteren 221 $\mu\text{mol foton/m}^2 \text{ s}$ -t mértünk, ami mellesleg a legalacsonyabb mért értékünk, addig a legmagasabb besugárzási adat is a magasabb részeken született, ez 200 méteres magasságnál 1315,3 $\mu\text{mol foton/m}^2 \text{ s}$ volt. Az alacsonyabban fekvő szakasznál nem mondható nagy a szórás, hiszen az érték 550 és 1080 $\mu\text{mol foton/m}^2 \text{ s}$ között változott. Ha a kiinduló magasságot vesszük figyelembe, ami 192,842m, akkor a legalacsonyabb ponthoz tartozó érték 790 $\mu\text{mol foton/m}^2 \text{ s}$. A korreláció meghatározás során ($P=0,1098$) kiderült, hogy az összefüggés statisztikailag nem szignifikáns. Hasonlóan a felszínhőmérséklet menetéhez, valószínűleg itt is a mérés ideje alatt tapasztalható fokozott napsütést (melegedést) mutatja az összefüggés, és nem egy tényleges domborzattal való kapcsolatot.



17. ábra: A besugárzás mértékének és a domborzatnak a kapcsolata diagramon szemléltetve

forrás: saját ábra

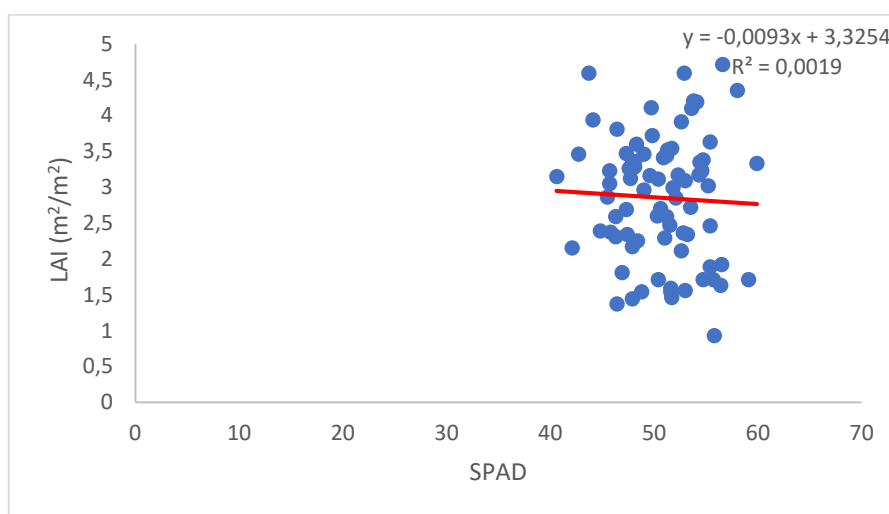
A környezeti hatótényezők után érdemes lehet megfigyelni az összefüggéseket a növény élettani tényezői között, például a fotoszintézis, illetve a fluoresszencia egymással való kapcsolatát (18.ábra). A kettő tényező úgy hat egymásra, hogy egy növény minél inkább hasznosítja az fényből származó energiát a fotoszintézis folyamatára, annál kevésbé használja a fluoresszenciához. A diagram x tengelyén láthatók a fotoszintézishez tartozó értékek, míg az y tengelyen helyezkednek el a fluoresszencia adatai. Jól látható, hogy az alacsonyabb fotoszintézis értékeknél magasabb fluoresszencia mérhető, míg a magasabb fotoszintézisnél alacsonyabb fluoresszencia adatokat kaptunk. A trendvonal is enyhén csökkenő tendenciát mutat. Néhány kiugróan magas értéket észrevehetünk a $35,675 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2$ és a $40,355 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2$ fotoszintézis értékeknél, ahol a fluoresszencia, kiugróan magas 0,560 és 0,559-es fluoresszencia értékeket mutat. A diagram (18. ábra) többi részén viszont érvényesül az, hogy ahol alacsonyabb értékű a fluoresszencia, ott magasabb a fotoszintézis, hiszen a két folyamat versenyzik a fényenergia által szolgáltatott energiáért, az az energia, ami bekerül az egyik folyamatba az a másikban már nem vehet részt. A korrelációt megvizsgálva a különbség statisztikailag is szignifikáns ($P=0,0076$).



18. ábra: A fotoszintézis és a fluoresszencia kapcsolata diagramon ábrázolva

forrás: saját ábra

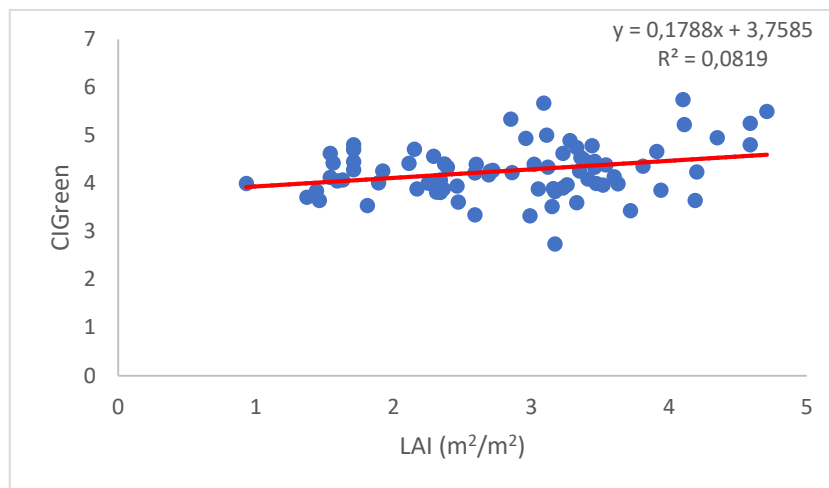
Elmondható, hogy ha egy növénynél szép, nagy vegetatív részeket fedezhetünk fel a fejlődés során, akkor a növény jól érzi magát és a szükségletei ki vannak elégítve. A kis levélfelületet okozhatja a fejlődés eltérő üteme, tápanyaghiány, vagy valamiféle stressz. Azt is megállapíthatjuk, hogy egy egészséges növény levelében, minél több pigment van, annál hatékonyabban képes fotoszintetizálni. A következő ábrán (19. ábra) a növényi pigmentek mennyiségét, valamint a levélfelület indexet vizsgáljuk. Nem biztos, hogy ahol kismértékű a levélborítottság, ott kis mennyiségű pigment található, hiszen a fejlődés különböző szakaszaiban tapasztalt stresszből is származhat a jelenlegi levél index értéke, hiszen, ha a kezdeti fázisban már a csírázáshoz sem voltak megfelelő körülmények, akkor a méréskor már teljesen más értékeket tapasztalunk, mint amit várnák. A diagramon látható, hogy alacsony pigmenttartalomnál ugyanúgy megtalálhatók a magas és az alacsonyabb levélfelület indexek is. A korreláció esetében itt sem beszélhetünk arról, hogy a különbség statisztikailag szignifikáns lenne ($P = 0,7047$).



19. ábra: A pigmenttartalom és a levélfelület index kapcsolata diagramon

forrás: saját ábra

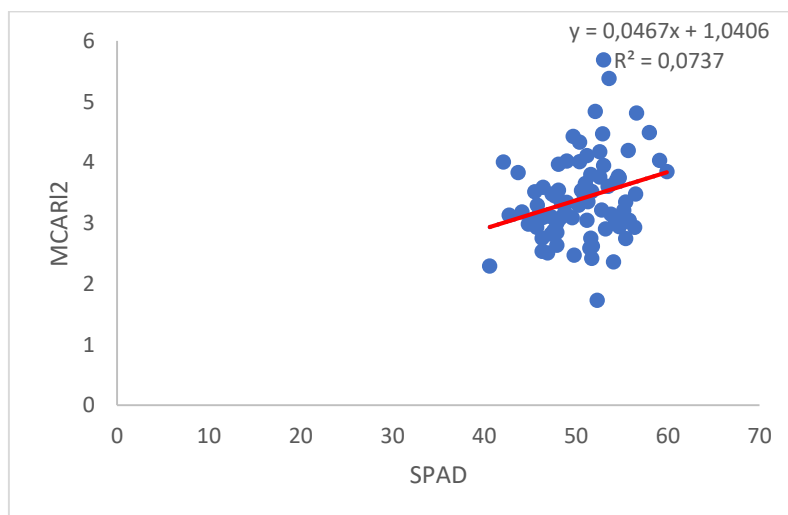
A következő diagramon (20. ábra) a CIGreen vegetációs index által meghatározott növényi zöld pigmentek mennyisége és a LAI kapcsolatát vizsgáljuk. A CIGreen egy klorofill tartalom meghatározáshoz használt index, mely a közeli infravörös sáv segítségével szolgáltat adatokat számunkra. A CIGreen segít a tápanyaghiány azonosításban, N visszapótlás szükségességének meállapításában, vagy a hozamot is előjelezheti, valamint segíthet az állomány fejlődésének nyomon követésében is (<http21>). A diagramra tekintve elmondható, hogy ahol nő a levélfelület, arra növekvő tendenciát mutatva nő a klorofill is. Természetesen nagyobb levélfelületnél is előfordul alacsonyabb érték, hiszen nem törvényszerű, hogy a nagy levélfelület biztosítja a magas klorofill tartalmat, valamint látható az is, hogy az alacsony levélfelület is biztosíthat nagyobb mennyiségű pigmentet. Kimagasló pigmenttartalom viszont a legalább közepes LAI-nál, illetve a magas levélfelület index-szel rendelkező pontokon volt észlelhető. A korrelációt megfigyelve itt fordult elő az egyik legerősebb szignifikáns kapcsolat ($P = 0,0111$).



20. ábra: A klorofill tartalom és a LAI diagramon ábrázolva

forrás: saját ábra

A soron következő diagramon (21. ábra) az MCARI és a SPAD kapcsolatát vizsgáljuk. Az MCARI a klorofill abszorpciót hivatott vizsgálni és érzékenyen reagál annak változásaira. A LAI mértéke jelenhet meg befolyásoló tényezőként, emellett a nem fotoszintetikus színanyagok nem befolyásolják a mérés sikerességét. Ez is egyfajta klorofill indexnek tekinthető, csakúgy, mint a ClGreen. A területről a SPAD-dal együttesen ábrázolt értékeiről elmondható, hogy a legmagasabb értékek magas pigmenttartalomesetében jelennek meg, és egyfajta növekvő tendencia mutatkozik meg a két változó kapcsolatában. A legalacsonyabb klorofill érték közepes SPAD értéknél jelenik meg, a legmagasabb értékek pedig magas SPAD-nál. A korreláció itt is egy erős szignifikáns kapcsolatot jelez ($P=0,0164$).



21. ábra: A SPAD és a MCARI értékek kapcsolata

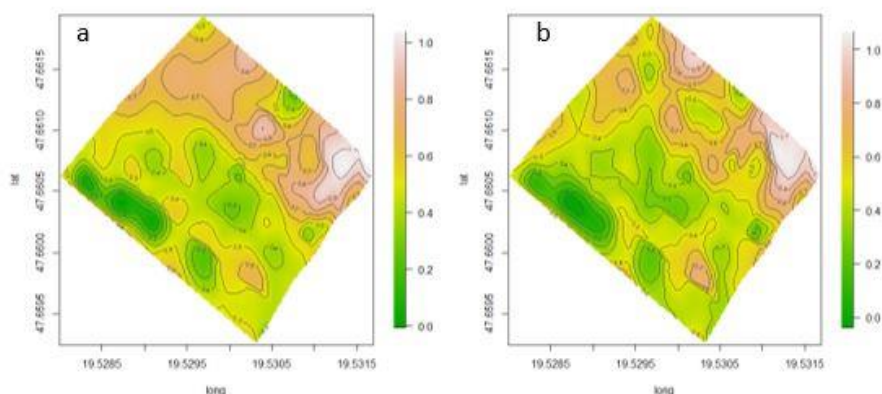
forrás: saját ábra

Stressztérképek

Az ábrán (22. ábra) két stressztérkép szerepel. Az egyik (22a ábra) a levélfelület index és a SPAD egyesített értékei (szorzata) a maximum értékhez viszonyított arányban kifejezve: ahol

az egyesített érték eléri a 1-es értéket, az azt jelenti, hogy a növényi pigment, illetve a levélfelület index a lehető leghatékonyabban alakult a vizsgált tábla esetében. Elmondható, hogy ahol jó értékeket produkál a pigmenttartalom és a levélfelület index ott a növény számára adottak a megfelelő feltételek. Az 1-es értéket, tehát a 100%-os működést, vagy az ahhoz legközelebbi állapotot a tábla északi, illetve észak-keleti részén fedezhetjük fel. Az állomány több, mint fele legalább 50%-os működést produkál. Ha a stressz szintjét itt húzzuk meg, akkor azt állíthatjuk, hogy az állományunk jó feltételek közt működik. A terület leggyengébb értékei a nyugati oldalon jelennek meg.

A 22b ábrán a levélfelület index és a fotoszintézis összesített értékei (szorzata a maximummal osztva) láthatók. A fotoszintézis során használt zöld növényi színanyagok, vagyis a klorofill pigment mennyisége, valamint a levélfelület valamilyen szinten összefüggnek egymással. A levélfelület nagysága természetesen itt is utal a növény megfelelő fejlődésére az állomány szintjén is, valamint kisebb fejlődési szakaszok szintjén is. Az NDVI értékeket szemléltető ábrán (11. ábra) a mérés idején már szép összefüggő, magas értéket mutató állományt láthattunk a táblán. A második stressztérképen a mérési pozíciók nagyobbik részén, az első térképhez hasonlóan a tábla észak-keleti felén figyelhetünk meg legalább 50%-os működést, igaz egy C4-es növény, mint a kukorica jól tűri a magas hőmérsékleteket, viszont a magas hőmérséklet következtében visszaeshet a fotoszintézis mértéke. A legalacsonyabb értékek itt is a keleti oldalon mutatkoznak meg.

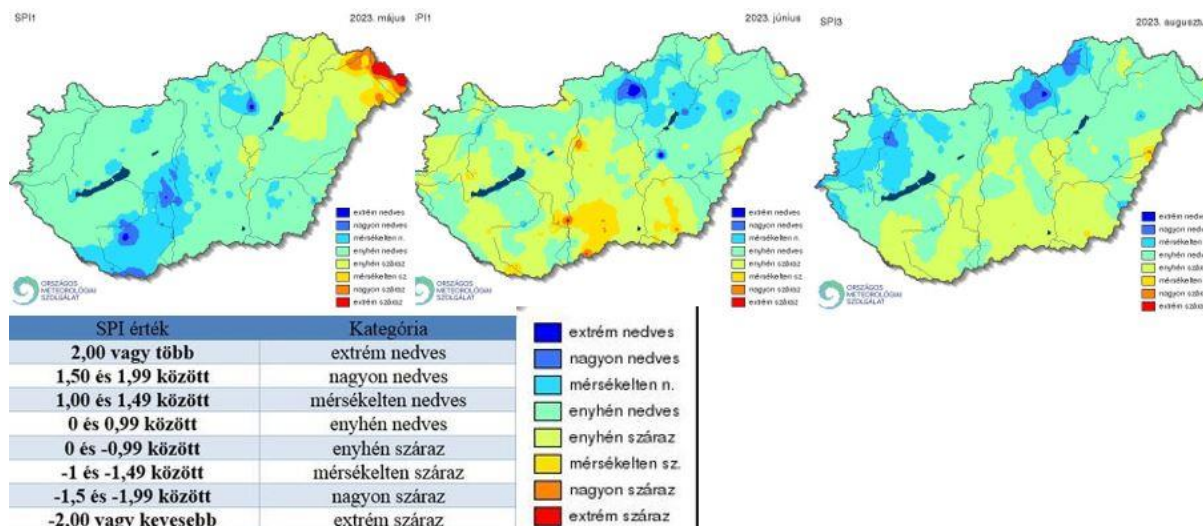


22. ábra: Stressztérképek: a) a LAI és a SPAD , b) a LAI és PN egyesített értéke a maximum arányában kifejezve

forrás: saját ábra

A fent említett forrás (Szentpéteri 2020) alapján szeretnénk volna NDVI értékeket aszálytényezőkkel egybevetni, hogy megfigyelhető-e a térségben valamiféle összefüggés a kettő közt. Az NDVI értékeink (11. ábra) a Sentinel műholdfelvételek segítségével került a birtokunkba, míg az SPI (Standardizált Csapadék Index) a Magyar Meteorológiai Szolgáltató Nonprofit Zrt. 2023-as évről közzétett térképei által (23. ábra). Az SMA (Talajnedvesség Anomália) értékeket jelen esetben a Copernicus Browser nedvességstressz, illetve index adataival (9. és 10. ábra) próbáljuk helyettesíteni. A tenyészidőszakra vonatkozóan három SPI adat volt elérhető (23. ábra: 2023. május: bal oldali ábra, 2023. június: középső ábra és 2023. augusztus: jobb oldali ábra), ahol enyhén és mérsékelten nedves tartományok

jelennek meg, tehát az értékek végig 0 és 1,49 között mozognak (ld. táblázati értékek az ábra alatt). Az NDVI értékeknél július közepére történt egy nagyobb ugrás, ahol az állomány 1 közeli értéket ért el. A nedvesség júliustól szintén növekvő tendenciát mutatott, és a kezdeti száraz állapotot felváltotta a legalább mérsékelt nedves érték. Nagymértékű stresszre tehát az NDVI és az SPI alapján nem következtethetünk.



23.ábra: SPI adatok alakulása a kukorica tenyészideje alatt

forrás: (http22)

A gazdák visszajelzése

A mérnöki gyakorlatom alatt lehetőségem volt megismerkedni és kipróbálni azokat az erőgépeket, melyek automata kormányzással vannak ellátva. A cég telephelye Hévízgyörkön, Pest vármegyében található. Körülbelül 900 ha-on folytatnak növénytermesztést, emellett terménytárolással, értékesítéssel foglalkoznak. A technológia napi szintű felhasználóit kérdeztem a használatról, előnyökről és az esetleges hátrányokról. A három gépkezelő egyetértett azzal, hogy az egyén szintjén jelentkező első szembetűnő változás a kényelem, könnyebb ébernek lenni, hiszen nem fárasztja őket olyan mértékben a munkavégzés, mintha azt kézzel irányított erőgépekkel kellene véghezvinni. Azt mindegyikük jelezte, hogy a termelés szempontjából jelentős többlet területet tudnak megművelni a 8 órás műszak alatt, az egyikük ezt körülbelül 20%-os fejlődésként értelmezte. Abban szintén egyetértenek, hogy nem mondhatjuk, hogy a magasabb termésátlag a technológia érdeme, hiszen rengeteg tényező befolyásolja a növényt, vannak jobb és gyengébb évek, jobb és gyengébb termésátlagok. Az egyik dolgozó fontosnak tartotta megemlíteni, hogy a korszerű technológia miatt gyorsabb a cég reakcióideje, amikor szükség van a gyors munkavégzésre, például a betakarításnál, gyorsabban tudnak haladni, így az időjárás változékonyságától kevésbé kell tartaniuk, mint a fejlesztés előtt. Egyhangú válasz érkezett a művelésköltség visszaszorításáról is, mert a műholdak segítségével végzett munka során csupán kevés ráfedéssel vetnek, műtrágyáznak, vagy permeteznek, ezzel az input anyagok költsége csökken, az üzemanyag használata is visszaesik. Arról minden gépkezelő biztosított, hogy elégedettek a mostani, meglévő rendszerrel, mely 10-15 cm-es pontossággal képes végezni a

munkát. Egyikük próbálta már a pontosabb (1-2cm-es pontosságú) földiadók segítségével működtetett változatot is, de annyira nincs nagy különbség, hogy a mostanit lecserélje.

A dolgozók negatívumot nem tudtak mondani a rendszerről azon kívül, hogy néha nem tudják fogni a műhold jelet, ekkor kénytelenek a kevésbé pontos kézi irányítást alkalmazni, ami tapasztalatukból és helyszínismeretükből adódóan nem jelent problémát. Az utolsó kérdésem minden dolgozóhoz az volt, hogy egy jobb lehetőségeket biztosító (közelebb van a munkás lakhelyéhez, jobb munkabért kínál) cégnél vállalnának-e munkát annak ellenére, hogy ott nincs lehetőség automata kormányval végezni a munkálatokat, mennyire befolyásolná őket ez a döntésben. A két fiatalabb munkatárs azt válaszolta, ha jobbak a feltételek, de nem áll rendelkezésére a műholdas segítség, akkor is elfogadná a másik lehetőséget, hiszen kézi munkavégzéssel is szeretnek dolgozni, az automata rendszer számukra nem fontos annyira. A harmadik dolgozó a cégtől történő távozás után egyáltalán nem helyezkedne el mezőgazdasági gépkezelő pozícióban. Azzal viszont mind egyetértenek, hogy az a gépkezelő, aki korábban automatakormányzás nélküli eszközökön tanulta a szakmát, valószínűleg egy jobb ajánlatot kapva váltana munkahelyet. Szerintük a fiatalabb generáció tagjai, akiknek az életében meghatározóbb volt már a kezdetektől ez a technológia, ők inkább maradnának az egyszerűbb, kényelmes megoldás mellett.

Következtetések és javaslatok

A kísérletek elvégzésével kapott tényezőket összevetve láthatóvá váltak az egymással szignifikáns kapcsolatban álló tényezők. Valamint pontos képet kaphattunk a mérés napjára az állományt érintő hatótényezők állapotáról, viszont ezek gyorsan változhatnak, akár egy-egy esőzés során, akár egy-két forróbb nap következtében, ezzel a méréssel csupán arra az adott pillanatra vonatkozóan kapunk biztos adatokat. Ez a terepi megközelítés nagy energia befektetéssel és rengeteg időt igényel, még akkor is, ha a munkálatokat több ember végzi közösen. A távérzékeléssel végzett vizsgálat kényelmesen használható, csupán néhány percet vesz igénybe, és nagy időbeli távolságokat is áthidalhatunk a segítségével. A műholdas vizsgálat nem mutat olyan pontos adatokat, hiszen a terepi mérésnél jobban szembe tűnnek a határvonalak, a műholdképeknél pedig az állományunk általában egy vizuálisan kisebb felbontású képet ad. Véleményem szerint ennek ellenére érdemes használni a távérzékelést, ugyanis, gyors, egyszerű megoldás, és nagyjából hasonló értékeket kapunk, még akkor is, ha szemre kisebb felbontású kivitelben.

Összegzés

A műholdak alkalmazása a mezőgazdaságban kiváló eredményeket hozhat a jövőben, érdemes alkalmazni őket, hiszen időt spórolhatunk, főleg, ha több egymástól távolabb elhelyezkedő táblát szeretnénk szemmel tartani. Emellett a fizikai munkát elvégző munkások számára már jelenleg is nagy segítséget nyújt, hiszen az automata kormányzás kétségkívül megkönnyíti a munkavégzést. A mérések valószínűleg kevésbé lesznek pontosak műholddal, mint terepi méréssel, de szinte lehetetlen időben elvégezni mindenhol ezeket a vizsgálatokat egy gazdaság esetében. A precíziós megoldások fogják jelenteni a megoldást az elkövetkezendő évek kihívásaira.

Terepi mérésekkel pontosabb eredmények érhetőek el, akár interpoláció segítségével, mely során realisabb és precízebb térképeket kaphatunk. Az NDVI értékek azonban jól szemléltetik a terepi mérések által tapasztaltakat, tehát a területen az eltérő háttérváltozók mentén alakuló változékony levélfelületi indexet, a fotoszintézist és a transzspirációs értékeket is. Fontos azonban hangsúlyozni, hogy a térségben a 2023-as évben 850mm csapadék hullott, ami átlag feletti mennyiség, az időbeli eloszlás kedvező volt, hiszen a tenyészidőszakban minden hónapban volt kellő mennyiségű csapadék, szeptemberben kevés, ami pedig a betakarításnak kedvez. A napsütéses órák száma viszonylag magas volt, ez összefügghet, azzal, hogy helyenként alacsony értékeket mutatott a fotoszintézis, ugyanis a nagyon meleg idő kedvezőtlenül befolyásolhatja a növény gázcsere folyamatait. Emellett megfigyelhetők voltak a környezeti hatótényezők egymásra gyakorolt hatásai és az élettani változókval való kapcsolatai. Megfigyelhettük miként működött az állományunk a terepi mérés során egy ideális állapothoz képest, és ebből vonhattunk le következtetést a stresszt illetően. Az állomány megfelelő működését mi sem szemlélteti jobban, mint a betakarításkor megállapított termésátlag, ami 12,7t/ha-os értékre rúgott.

Irodalomjegyzék

- Allaga, J. és J.Bódis. (2014.) "Növénytan- Növényélettan.", Veszprém, [K.n.]
- Angelopoulou, T., A. Balafoutis, G. Zalidis, és D. Bochtis. (2020.) "From Laboratory to Proximal Sensing Spectroscopy for Soil Organic Carbon Estimation-A Review." *Sustainability (Switzerland)*, 1–24. doi:10.3390/su12020443.
- Balla, K., (2011.) "Az Őszi Kalászosok Hőstressztűrésének Tanulmányozása.", Martonvásár, Magyar Tudományos Akadémia Mezőgazdasági Kutatóintézet, 1-104.
- Balogh, J., K. Pinter, Sz. Foti, G. De Luca, A. Meszaros, M. Bouteldja, M. Insaf, G. Gajda, és Z. Nagy. (2022.) "Carbon Balance of a Cropland Site in Middle-Hungary." *Agrokemia es Talajtan* 71(2): 273–88. doi:10.1556/0088.2022.00125.
- Bratek, Z., F. Fodor, I. Király, P. Nyitrai, I. Parádi, I. Rácz, Sz. Rudnóy, et al. (2013.) "A Növényi Anyagcsere Élettana.", [H.n.], ELTE TTK Biológiai Intézet, 1-501.
- Bräutigam, A., U. Schlüter, M. Eisenhut, és U. Gowik. (2017.) "On the Evolutionary Origin of CAM Photosynthesis." *Plant Physiology*, [H.n.]174(2): 473–77. doi:10.1104/pp.17.00195.
- Cracknell, A. P.(2018.) "The Development of Remote Sensing in the Last 40 Years." *International Journal of Remote Sensing* 39(23): 8387–8427. doi:10.1080/01431161.2018.1550919.
- Daczi, D., P. Vári, és B. Bartóki-Gönczy. (2024.) "Verseny a Műholdas Piacon - Zsúfoltság, Viták És Szűkülő Erőforrások." *KözigazgatásTudomány* 4(1): 19–33. doi:10.54200/kt.v4i1.79.
- Dunkel, Z. - L. Bozó - I. Geresdi. (2018.):"AZ ÉGHAJLATVÁLTOZÁS HATÁSÁRA FELLÉPŐ KÖRNYEZETI VÁLTOZÁSOK És TERMÉSZETI VESZÉLYEK.", *Földrajzi közlemények*, : 261–71., doi: 10.32643/fk.142.4.1
- Farooq, M. - A. Wahid - N. Kobayashi - D. Fujita - S. M. A. Basra. (2009.) "No Plant Drought Stress: Effects, Mechanisms and Management." *Springer Netherlands*,p.: 153-88, doi: 10.1007/978-90-481-2666-8_12
- Fehér, A., J Csiszár, A. Pécsváradi, és Zs. Ördögné Kolbert. (2019.) "NÖVÉNYEK ÉLETE.", Szeged, Szegedi Tudományegyetem,1-278
- Furrer, R., D. Nychka, J. Paige, és S. Sain. (2021.) "Tools for Special Data." <https://github.com/dnychka/fieldsRPackage.>, [H.n.], [K.n]
- Futó, Z. - G. Bencze. (2017.) "Új Lehetőségek a Kukorica (Zea Mays L.) Öntözésében." *Jelenkori Társadalmi és Gazdasági Folyamatok* 12(3): 67–79. doi:10.14232/jtgf.2017.3.67-79.
- Loksa, G. (2004.) "Meteorológia a Tájökológia Szolgálatában." *Tájökológiai L* 2(2): 195–99.
- Gindert-Kele, Á, és Z. Hagymássy. (2011.) "TÁVÉRZÉKELÉS ÉS INFORMATIKA A MEZŐGAZDASÁGBAN.", Debrecen, Multidiszciplináris tudományok, 1.kötet,: 357–62.
- Gyuricza, Cs, és M. Birkás. (2000.) "Effect of Extremes of Rainfall Supplies on Certain Crop Production Factors in Maize Grown on Brown Forest Soil." *Novenytermeles, Gödöllő, Szent István Egyetem*, 49(6): 692–706.
- Herman, E., J. Kádár, K. Martinás, és A. Bezegh. (2013.) "A KUKORICA ALAPÚ BIOETANOL MAGYARORSZÁGI ELŐÁLLÍTÁSÁNAK EXERGIAELEMZÉSE." [H.n.], [K.n.]
- Hiroshi, A. és G. Albrecht. (2022.) "Interpolation of Irregularly and Regularly Spaced Data." <https://cran.r-project.org/package=akima.>, [H.n.], [K.n].

- Horváth, Gy. (2020.) "Szenzorfüziós És Objektumkövető Eljárások Lidar Méréssorozatok Felhasználásával.", [H.n.], [K.n.]
- Khorram, Siamak, Frank H. Koch, Cynthia F. van der Wiele, és Stacy A. C. Nelson. (2012.) *Remote Sensing*. [H.n.], International Space University
- Kotak, S., J. Larkindale, U. Lee, P. von Koskull-Döring, E. Vierling, és K. D. Scharf. (2007.) "Complexity of the Heat Stress Response in Plants." *Current Opinion in Plant Biology*, doi: 10.1016/j.pbi.2007.04.011
- László, V. (2020.) "Előrejelzések 2050-ig a Népességnövekedés És Annak Várható Jövőbeni Következményeiről." *Katonai Logisztika* (1–2): 28–53. doi:10.30583/2020/1-2/028.
- Lepizsán, Á. (2020.) "Szakdolgozat"
- Loksa, G. (2004.) "Meteorológia a Tájökológia Szolgálatában." *Tájökológiai L* 2(2): 195–99.
- Márton, B. (2022.) "History, Types, Application and Control of Drones." *Philosophy and History of the Safety and Security Biztonságfilozófia és-történet* 1(3): 0–2.
https://www.daviddarling.info/encyclopedia/K/Kettering_Bug.html.
- Richter, P. (2009.) "A Levélfelületi Index Mérése És Modellezése.", Budapest
- Skribanek, A., I. Schmidthoffer, és P. Csontos. (2016.) "Szárazságstressz Hatása 22 Árpafajta Csíranövényének Fotoszintetikus Paramétereire.", [H.n.], [K.n.]
- Szalkai, L. I. (2019.) "Pilóta Nélküli Légi Járművek Alkalmazásának Történelmi Pillanatai És Ezekből Levonható Következtetések." *Repüléstudományi Közlemények*: 89–97.
doi:10.32560/rk.2019.3.447.
- Szentes, O. (2023.) "Szárazság Magyarországon 2022-Ben És a Múltban." *Légkör* 68(1): 9–19.
doi:10.56474/legkor.2023.1.2.
- Szentpéteri, Zs. J. (2020.) "Mezőgazdasági Aszály Hatásának Értékelése NDVI Alkalmazásával a Szolnok-Túri-Sík Esetében.", [H.n.], [K.n.]
- Tuba, Z., és Zs. Csintalan. (2009.) "Növényélettani Egyetemi Jegyzet Agrármérnök És Környezetgazdálkodási Agrármérnök Részére.", Gödöllő, Szent István Egyetem
- Ujj, E., G. Lukácsy, S. Molnár, Horel, G. Gelybó, és Z. Bakacsi. (2019.) "Effect of Different Terrain Positions on Soil Moisture Regime in a Vineyard." *Agrokémia és Talajtan* 68(1): 37–55.
doi:10.1556/0088.2019.00038.
- "Http1." <https://space.kormany.hu/ma-65-eve-hogy-a-vilag-also-muholdja-a-szputnyik-1-palyara-allt>.
- "Http2." <https://dataspace.copernicus.eu/explore-data/data-collections/sentinel-data/sentinel-2>.
- "Http3." https://magyarnemzet.hu/gazdasag/2022/02/barki-nezegetheti-az-urbol-magyarorszagot#google_vignette.
- "Http4." <https://www.met.hu/>
- "Http5." <https://www.axial.hu/ndvi>.
- "Http6." <https://www.deere.hu/assets/publications/index.html?id=131cc12d#60>.
- "Http7 Refl." https://sas2.elte.hu/mg/foldkutatas_v3/5spektr4.htm.
- "Http8." <https://www.statista.com/statistics/254292/global-corn-production-by-country/>.
- "Http9." <https://genezispartner.hu/novenykulturak/szantofoldi-novenyek/kukorica-2/>.

"Http10." <https://www.hansatech-instruments.com/about-us/>.

"Http11." <https://www.konicaminolta.eu/eu-en/hardware/measuring-instruments/colour-measurement/chlorophyll-meter/spad-502plus>.

"Http12 ." <https://www.gazdauzlet.hu/talajnedvesseg>.

"Http13." <https://www.specmeters.com/FieldScout-TDR350-Soil-Moisture-Meter>.

"Http14." <https://www.instrumart.com/products/733/raytek-raynger-mx4ni-infrared-thermometer>.

"Http15." <https://ppsystems.com/>.

"Http16." <https://www.r-project.org/>.

"Http17." <http://mateklap.com/aranyok/linearis-interpolacio>.

"Http18." <https://edu.epito.bme.hu/local/coursepublicity/mod/resource/view.php?id=58079>.

"Http19."
https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/eghajlati_visszatekinto/elmult_evek_idojarasa/main.php?ful=4.

"Http20."
<https://browser.dataspace.copernicus.eu/?zoom=15&lat=47.65566&lng=19.53515&themeId=AGRICULTURE&visualizationUrl=U2FsdGVkX18ezN6EaxwdYgMAqg7zgn9%2FK0y1pqSFHG1E%2BbK87qgkxbHg29csnlakWJeLDajoZ4Tk3fE5tvuK%2BN6kwwK%2F0%2BdgMxgtzrdCCry%2B8TqTB1GsXEXwO%2FeYF9s&>.

"Http21." <https://eos.com/make-an-analysis/chlorophyll-index/>.

"Http22." https://www.met.hu/methu/honlap_ujdonsagok/index.php?id=2047

Táblázatok és ábrák jegyzéke

1. ábra-A világ legnagyobb kukorica termesztő országai (10)
2. ábra: A terület domborzati adottságai (16)
3. ábra: Mérés a SPAD-dal (17)
4. ábra: Talajnedvesség méréshez használatos műszer (18)
5. ábra: A lombzat felszíni hőmérsékletének méréséhez használt eszköz (18)
6. ábra: LAI mérése (19)
7. ábra: A fotoszintézis és a transzspiráció meghatározásához használt műszer (20)
8. ábra: Fluoreszcencia mérés (20)
9. ábra: A területre vonatkozó nedvesség stressz a tábla kontúrjának kiemelésével, illetve a letöltések időpontjának feltüntetésével (24)
10. ábra: A területen érzékelhető nedvesség stressz műholdképeken a tábla kontúrjának kiemelésével, illetve a letöltések időpontjának feltüntetésével (25)
11. ábra: A terület NDVI adatai műholdképeken a tábla kontúrjának kiemelésével, illetve a letöltések időpontjának feltüntetésével (26)

12. ábra: a) A besugárzás, b) a talajnedvesség, c) a lombzat felszíni hőmérsékletének térképei (27)
13. ábra: a) A levélfelület index, b) a fotoszintézis, c) a transzspiráció térképei (28)
14. ábra: Az állomány lombzatának klorofill mennyiségének térképe (28)
15. ábra: Diagram a talajnedvesség és a domborzat viszonyáról (29)
16. ábra: Diagram a lombzat felszíni hőmérsékletének és a domborzatnak viszonyáról (30)
17. ábra: A besugárzás mértékének és a domborzatnak a kapcsolata diagramon szemléltetve (31)
18. ábra: A fotoszintézis és a fluoresszencia kapcsolata diagramon ábrázolva (31)
19. ábra: A pigmenttartalom és a levélfelület index kapcsolata diagramon (32)
20. ábra: A klorofill tartalom és a LAI diagramon ábrázolva (33)
21. ábra: A SPAD és a MCARI értékek kapcsolata (33)
22. ábra: Stressztérképek: a) a LAI és a SPAD , b) a LAI és PN egyesített értéke a maximum arányában kifejezve (34)
23. ábra: SPI adatok alakulása a kukorica tenyészideje alatt (35)
1. táblázat: Növényi sorrend a területen (16)
2. táblázat: A napsütéses órák száma, csapadék összegek (22-23)

Hallgatói nyilatkozat

MATE Szervezeti és Működési Szabályzat

III. Hallgatói Követelményrendszer

III.1. Tanulmányi és Vizsgaszabályzat

6.13. sz. függeléke: A MATE egységes szakdolgozat /
diplomadolgozat / záródolgozat / portfólió készítési útmutatója

4.2. sz. melléklete: Nyilatkozat a záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió nyilvános hozzáféréseiről és eredetiségéről

NYILATKOZAT

a záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió¹ nyilvános hozzáféréseiről és
eredetiségéről

A hallgató neve: BRANYÁNSZKI GÉTA
A Hallgató Neptun kódja: NIGGTP
A dolgozat címe: EGY KUKORICA ÁLLOMÁNY TELJESÍTMÉNYÉNEK TÉRBELI
2024 VALTOZÉKONYSÁGA
A megjelenés éve:
A konzulens intézetének neve: NÖVÉNYTERMESZTÉSI - TUDOMÁNYOK INTÉZET
A konzulens tanszékének a neve: NÖVÉNYÉLETTAN ÉS NÖVÉNYKOLÓGIA
TANSZÉK

Kijelentem, hogy az általam benyújtott
záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió² egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi
alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen
megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlant állítottam, tudomásul veszem, hogy a záróvizsga-bizottság a
záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását
engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás
felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkor
szellemi tulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár-
és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitori rendszerébe. Tudomásul veszem, hogy a
megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védelmet követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelté után
nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem könyvtári repozitori rendszerében.

Kelt: 2024. év 10. hó 31. nap


Hallgató aláírása

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törölendő.

² A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törölendő.

Konzulensi nyilatkozat

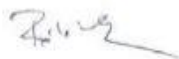
NYILATKOZAT

Bányánszki Gréta (hallgató Neptun azonosítója: N16GFP) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a szakdolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A szakdolgozatot a záróvizsgán történő védeésre javaslom / nem javaslom¹.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem^{*2}

Kelt: 2024. 10. 31.



belső konzulens