

A klímaváltozás hatása a növények életfolyamataira és a termesztett növények termésére

1. Bevezető

A klímaváltozás a XXI. század legnagyobb ökológiai kihívása. Hatásának enyhítéséhez globális nemzetközi együttműködésre van szükség. A nemzetközi klímaváltozási egyezményt Párizsban fogadták el 2015-ben az ENSZ Éghajlatváltozási Keretegyezményének (UNFCCC) részeként. Ebben definiálják a klímaváltozás negatív hatásainak megakadályozására irányuló globális akciótervet, a cél a globális évi átlaghőmérséklet emelkedésének 2 fok alatt tartása. Eddig a világ 127 országa vállalta a kötelezettséget, hogy érvényesíti a Párizsi Egyezményt. Ezekben az országokban az üvegházhatású gázok kibocsátása a globális kibocsátás mintegy 80%-át teszi ki. Az egyezményt aláíró országok között szerepelnek az üvegházhatású gázok legnagyobb kibocsátói, Kína, Japán, India, Brazília, az EU tagállamai. Az Európai Unió vállalta a kötelezettséget, hogy 2020-ig 20%-kal, 2050-ig pedig 80–90%-kal csökkenti az üvegházhatású gázok kibocsátását. Az egyezményt aláíró országoknak a kibocsátás csökkentésére irányuló jelenlegi felajánlásai lehetővé teszik, hogy a hőmérséklet emelkedése 2,7–3°C-on állapodjon meg, ami jóval magasabb a megbeszélte szintnél. Abban az esetben, ha a Párizsi Egyezmény eredményes lesz és a hőmérséklet-emelkedést sikerül megállítani két fokon, a továbbiakban biztonságban élhetünk a bolygón, amely a mainál egy fokkal melegebb lesz, mivel a jelenlegi hőmérséklete egy fokkal magasabb az iparosodás előtti értékhez képest. Vannak azonban országok, amelyekben továbbra is növekszik a káros gázok kibocsátása.

Számos kutatás eredményei figyelmeztetnek arra, hogy a klímaváltozással növekszik bizonyos szélsőséges jelenségek előfordulásának veszélye, amelyek közé tartoznak például a hóhullámok, áradással kísért szélsőségesen kiadós csapadék, szárazság, a jégtömegek olvadása és

* *Kastori Rudolf akadémikus, nyugalmazott egyetemi tanár, Újvidéki Egyetem, Mezőgazdasági Kar, a Magyar Tudományos Akadémia külső tagja, Újvidék*

egyéb, ami közvetve vagy közvetlenül károsan hat a természet egyensúlyára és ezáltal az emberiség gazdasági és társadalmi fejlődésére is. Egyes tudósok ciklikus jelenségnek tartják a klímaváltozást, nem pedig az emberi tevékenység következményének.

Széles körben elfogadott vélemény, miszerint a globális klímaváltozásért a Földön nagymértékben felelős a fosszilis tüzelőanyagok égésekor felszabaduló gázok okozta légkörszennyezés, amiben része van a Dél-Amerikában és Ázsiában található nagy erdőkomplexumok felégetésének is. Elsősorban a szén-dioxid (CO_2), de más gázok koncentrációjának a növekedése is üvegházhatást gyakorol az éghajlatra és emeli a hőmérsékletet, ami megakadályozza, hogy a reflektált hősugárzás kiszabaduljon a Föld burkából a világűrbe. Az erdőirtás többszörösen káros, tekintettel arra, hogy az erdei vegetáció fontos szerepet játszik a szén körforgásában a természetben, felveszi a CO_2 jelentős mennyiségét és ily módon csökkenti annak koncentrációját a levegőben. Azonosítottak több folyamatot, amelyek dominóeffektust válthatnak ki és a visszacsatolás elve alapján működhetnek, aminek következtében a hőmérséklet emelkedése többé nem csak az emberi tevékenység okozta szén-dioxid-kibocsátástól fog függni. A jégolvadással nagy mennyiségű metán szabadul fel, amely sokkal nagyobb mértékben járul hozzá az üvegházhatás jelenségéhez. A levegő hőmérsékletének növekedésével több CO_2 szabadul fel a tengervízből, ami tovább növeli annak koncentrációját a levegőben. A korom részecskéi közvetlenül abszorbeálják a napsugarakat és ezáltal szintén hatással vannak a Föld légkörének energiamérlegére. Ezeknek a részecskéknak a missziója a légkörbe csaknem 8 millió tonnát tesz ki (Gelencsér, 2014).

A talajból is jelentős mennyiségű CO_2 szabadul fel. A talaj agroökoszisz-témái a biogén szén legnagyobb természetes tartalékai és forrásai közé tartoznak (Silva-Olaya et al., 2013). A talajban csaknem kétszer több a szén (1400-1500 Gt C), mint az atmoszférában, és általános vélemény szerint a természetes légköri CO_2 mintegy 90%-át a talajból felszabadult CO_2 teszi ki. A talaj lélegzésének is nevezett CO_2 -emisszió a benne található szerves anyagok mikrobiológiai bomlásának és a növényi gyökérszövet lélegzésének az eredménye. A talaj CO_2 -kibocsátása számos tényezőtől függ: biogén jellegétől, a hőmérsékletétől, nedvességétől, felhasználásának módjától, a szerves anyagok arányától stb. (Jensen, 2008). Sanardžić és Tembo (2015) kutatásai szerint a különböző öko-

szisztémájú talajok különböző mennyiségű CO₂-t bocsátanak ki. A legtöbbet az erdei ökoszisztéma talaja 39,5 g CO₂/m²/nap, majd a sztyepp 26,3 és a legelő 25,7, a legkevesebbet pedig az ugar 8,1 értékkel.

A globális klímaváltozás terjedése ellen foganatosított intézkedések túlnyomó részét eddig a CO₂-re összpontosították, amely az üvegházhatású gázok 70%-át teszi ki. A metán a második legfontosabb az üvegházhatású gázok között. Noha 20%-kal járul hozzá a felmelegedéshez, erősebb a hatása a globális felmelegedésre, mint a CO₂-nek, annak ellenére, hogy kb. 10 évig marad meg a levegőben. Több metánforrás létezik, részben természetes forrásból is ered. A kutatási eredmények szerint emissziójának 60%-a emberi tevékenységhez köthető, ebből 30% a mezőgazdasághoz, elsősorban azokhoz a gázokhoz, amelyeket emésztés közben bocsátanak ki a szarvasmarhák és más kérődző állatok, valamint különböző hulladékok feldolgozásához.

A külső tényezők, és azok keretében egyes éghajlati elemek, egyértelműen hatással vannak nemcsak a növények életfolyamataira és ezáltal a termékenységre, de az elterjedtségükre és a biodiverzításra is. Emiatt az utóbbi időben erőfeszítések történnek annak érdekében, hogy megállapítsák, milyen hatással van a növényvilágra a globális klímaváltozás, elsősorban a hőmérséklet-emelkedés (Cox et al., 2000, Hansen et al., 2000, Benlloch-Gonzales et al., 2014), a CO₂ koncentrációja (Amthor, 2001, Novak et al., 2004, Ainsworth i Long, 2005) és a szárazság (Dai, 2011). Ezek az eredmények nagyon fontosak a várható klímaváltozáshoz alkalmazkodó természetfajok genotípusának a létrehozása, a megfelelő agrotechnika és vetésforgó alkalmazása, és általában a növénytermesztés átfogó koncepciója szempontjából. A klímaváltozás tehát új feladatok elé állítja a növénytermesztést (Kastori, 1995).

2. A széndioxid megnövekedett koncentrációjának a hatása

A fosszilis tüzelőanyagokon alapuló energiatermelés jelentős mértékben hozzájárult a CO₂ koncentrációjának növeléséhez a Föld atmoszférájában. A légkör CO₂-vel való szennyezettsége szorosan összefügg az urbanizálódás szintjével és a lakosság életszínvonalával is. A gazdaságilag fejletlen országokban sokszorosan kevesebb a lakosonkénti CO₂-kibocsátás, mint a magas életszínvonallal rendelkező fejlett országokban. A szakirodalomban különböző adatokat találunk a levegő CO₂-tartalmáról egyes időszakokra és az előrejelzésekre vonatkozóan. Viszont

minden adat arra figyelmeztet, hogy az jelentős mértékben megnövekedett az elmúlt időszakban. A Föld keletkezésének folyamatában (5–6 milliárd évvel ezelőtt) a CO₂ mennyisége a légkörben körülbelül 200.000-szer nagyobb volt a mainál. A CO₂ ilyen óriási mennyiségét idővel megkötötte a tengerek és óceánok vize. 1750 óta a légkörben a CO₂ mennyisége 280-ról 370 ppm-re növekedett és az évszázad végéig elérheti a 600–1000 ppm-t (Cox et al., 2000), amivel hozzájárulhat a várható 1,0–3,7 °C-os globális hőmérséklet-emelkedéshez (Pachauri i Meyer, 2014). Adatok szerint a múlt század derekán 290 ppm volt a CO₂ koncentrációja a légkörben, 1970-ben 320 ppm, 2000-ben pedig 368 ppm. Az 1860-as évhez viszonyítva a CO₂ koncentrációja a légkörben ma mintegy 25%-kal nagyobb. A gázok, köztük a CO₂ is, amelyek ipari üzemekből, szénrel működő hőerőművekből, hőtelepekről, kokszyárakból, autókból, olajfinomítókából, háztartásokból stb. szabadulnak fel, a 2 km magasságig terjedő légrétegben koncentrálnak. Ezeknek a gázoknak a legnagyobb mennyisége a valamivel 50 m feletti rétegben helyezkedik el (kb. 60%), 35% pedig a 200 m-es magasságig. A gázok ilyen elhelyezkedése arra mutat, hogy elsősorban a légkör földközeli rétegeiben maradnak.

A széndioxid fontos a növények számára, mert elsődleges szubsztrátuma a fotoszintézisnek. A szennyezetlen légkörben található mennyisége nem elegendő, ezért korlátozza a fotoszintézis produktivitását. Számos vizsgálat megerősítette, hogy a CO₂ koncentrációjának növekedésével növekszik a szén fotoszintézis általi asszimilációja és ezáltal a növények termékenysége is, ha optimális a többi ökológiai feltétel. Nem minden növényfaj reagál azonban egyformán a CO₂ koncentrációjának növekedésére. Ez sokban függ a fotoszintézis típusától (Ainsworth i Long, 2005). A C₃-as növények (a CO₂-fixáció elsődleges terméke a 3 szénatomos sav), amelyekhez a mérsékelt égöv természetű növényeinek többsége tartozik, a CO₂-koncentráció növekedésekor jelentős mértékben növelik a nettó fotoszintézist és a szárazanyag-termelést, különösen akkor, ha kedvezőek az egyéb ökológiai feltételek: fényviszonyok, a növények nedvességgel, hőmérséklettel és ásványi anyagokkal való ellátottsága. A C₃-as növények kedvező reagálása a levegő megnövekedett CO₂-tartalmára különösen a növények intenzív növekedésének a periódusában várható. A C₃-as növényeknél a CO₂-koncentráció növekedése alkalmával átlagosan 20%-kal megnövekszik a biomassza föld feletti rész (Ainsworth i Long, 2005).

A C₃-as növényektől eltérően a C₄-es növények, mint például a cirok, a cukornád, a kukorica és mások, nem növelik, vagy csak sokkal

kisebb mértékben, a fotoszintézis intenzitását, amikor a levegőben megnövekszik a CO₂ koncentrációja (Bowes, 1993). Ennek messzemenő következményei lehetnek a fitocenózis összetételére nézve. Várható ugyanis, hogy emiatt a C₃-as és a C₄-es növények között a CO₂ megnövekedett mennyiségének körülményeiben konkurencia jelentkezik, aminek következtében megváltozhat a természetes növényi közösségek összetétele. A szakirodalomban találhatóak eredmények, amelyek a C₃-as és a C₄-es növények hasonló reakciójára utalnak megnövekedett CO₂-koncentráció esetében. Wand et al. (1999) hasonló növekedést tapasztalt a szén asszimilációjának képességében C₃-as és C₄-es füveknél a *Poaceae* fajnál 33 és 25%-ban. Amikor alacsonyabb a CO₂ koncentrációja, a C₄-es növények nagyobb fotoszintetikus tevékenységet mutatnak, mint a C₃-as növények.

A CO₂ azon koncentrációját, amely felett a fotoszintézis intenzitása már nem növekszik, szaturációs vagy telítési koncentrációnak nevezik (CO₂ kompenzációs pont), mert telíti a fotoszintetikus apparátust. Ez általában jóval nagyobb, mint normális körülmények között a CO₂ légköri koncentrációja. A fotoszintézis szaturációja az esetek többségében a CO₂ 0,18–0,35%-os koncentrációjakor következik be, azzal a feltétellel, ha a többi tényező, elsősorban a megvilágítás intenzitása nem korlátozza. A CO₂ koncentrációjának további növekedése az esetek többségében többé már nem hat a fotoszintézisre, noha a szakirodalomban néha nagyobb értékeket emlegetnek, egészen 2–5%-ig.

A CO₂ koncentrációja jelentős mértékben hat a transzspiráció intenzitására is. Mennyiségének növekedésével csökken a víz távozása a sztómákon keresztül. A vízleadás csökkenése és ugyanakkor a CO₂ asszimilációjának növekedése a víz hatékonyabb felhasználásához vezet, ami rendkívül fontos, különösen olyan térségekben, ahol a vízhiány korlátozza a termés nagyságát (1. táblázat). A CO₂ koncentrációja nemcsak a sztómák zárósejtjeinek a mozgására, és ezáltal a transzspirációra, hanem a sztómák fejlődésének szabályozására is hatással van (Xu et al., 2016).

Megállapítást nyert, hogy a CO₂ koncentrációjának növekedése növeli a mezőgazdasági és erdei fajok gyökerének biomasszáját, növekszik a gyökérszár hossza, szerteágazása és vastagsága is (Madhu i Hatfield, 2013). Több szerző kutatási eredményeire hivatkozva Gray és Brady (2016) azt állítja, hogy a szójánál a CO₂ koncentrációjának növekedése kedvezően hat a gyökér hosszára, a gyökérgümők számára, a levelek nagyságára, lassítja a reproduktív fejlődést és növeli a termést.

Mutatók	Növényfajok		
	<i>Festuca repicula</i>	<i>Salvia nemorosa</i>	<i>Filipendula vulgaris</i>
nettó fotoszintézis	+40	+120	+110
transzspiráció	-26	-18	-15
vízhasznosítási hatékonyság	+64	+97	-87

1. táblázat

A CO₂ koncentráció-növekedésének (700 ppm) hatása a nettó fotoszintézisre, a transzspirációra és a vízhasznosítás hatékonyságára egyes legelői növényekre / Relatív értékek a 340 ppm-es kontrollhoz viszonyítva (Tuba et al., 1993)

A fentiek alapján levonhatjuk a következtetést, hogy a globális klímaváltozás keretében a CO₂ koncentrációjának növekedése a légkörben kedvező hatással lesz a növények szerves produkciójára, azzal a feltétellel, ha a többi ökológiai feltétel lehetővé teszi ezt.

3. A növekvő hőmérséklet hatása

Az üvegházhatású gázok, elsősorban a CO₂ légköri koncentrációjának növekedése maga után vonja bolygónk hőmérsékletének az emelkedését. Knight (2005) szerint a légkör hőmérséklete globális viszonylatban az utóbbi 150 évben egy évszázad alatt megközelítőleg 0,6°C fokkal emelkedett, és a további fejlemények függvényében 2100-ig a hőmérséklet további 1,4–5,8°C fokos emelkedése várható. Faragó és Bartholy (2014) szerint 1901-től 2012-ig 0,9°C volt a globális hőmérséklet-emelkedés. Nagy bizonyossággal (>95%) állítható, hogy a XX. század derekától a hőmérséklet-emelkedést elsősorban antropogén tényezők okozták. A Napból származó sugárzás mindössze <0,1°C fokkal járult hozzá a hőmérséklet emelkedéséhez. Nem valószínű, hogy bolygónk minden részén egyformán folyik majd a hőmérséklet-emelkedés. A Nyugat-Balkánon 1961 óta 1,2°C fokkal emelkedett a hőmérséklet. A felmelegedés Szerbia központi részében a legnagyobb, a csapadék pedig május felé tolódik. Ezzel a tempóval a XXI. század végéig Szerbiában 5°C fokkal is megemelkedhet a hőmérséklet. A szakértők véleménye szerint Európában a Kárpát-medencében várható a hőmérséklet nagyobb mértékű emelkedése.

A hőmérséklet 1°C fokkal való emelkedése 200–300 km-rel északabbra fogja tolni egyes fajok természetének a határát, aminek következtében Észak-Európában tömegesebben fognak természeteni egyes Dél-

Európára jellemző növényfajokat, Közép-Európában pedig egyes déli növényfajokat. Egyes vélemények szerint 2080-ig Közép-Európában minden ötödik növényfaj el fogja veszíteni az élethelyét. Az adott térségben nem honos növényfajok fognak megjelenni és kiszorítják az addig jelenlévő fajokat. Ez azért lesz lehetséges, mert a klímaváltozás egyes növényfajok számára kedvező lehet, míg másoknak káros. Feltételezhető, hogy Közép-Európában a klímaváltozás hatására egyre inkább fognak terjedni azok a növényfajok, amelyeknek kedvez a magasabb hőmérséklet, és csökken a jelenléte azoknak, amelyeknek az alacsonyabb hőmérséklet felel meg. A vegetáció összetételének a klímaváltozás hatására történő módosulása kihat majd az állatvilág összetételére is, mivel az harmonikus egészet alkot a növényvilággal.

A hőmérséklet-emelkedés, az enyhe telek kedveznek a kártékony rovarok túlélésének és felgyorsítják azok fejlődését. Ennek következtében egyre többen vannak és több rovarölő szert kell használni. Ezzel kapcsolatban a számítások szerint 1990-hez viszonyítva 2090-ig megduplázódik a rovarölő szerek használata. A klímaváltozás hatása különböző lesz a kártékony rovarok populációjára nemcsak a száma, de Európa egyes részeiben az összetétele szempontjából is. Előrejelzések szerint Spanyolország, Franciaország és Olaszország lesz kitéve a legnagyobb veszélynek. Változások történnek nemcsak a kártékony rovarok megjelenésében, de új növényi betegségek megjelenésében és intenzitásában is.

Egyes vélemények szerint az erdők irtása és eltűnése bolygónk hőmérsékletének a csökkenéséhez vezet. Az erdőtakaró csökkenése által a Föld „fényesebbé” válik, aminek következtében jobban visszaveri majd a napsugarakat. A következmény az átlaghőmérséklet csökkenése lehet. Az erdei növényzet az említetteken kívül jelentős mennyiségű szén-dioxidot vesz fel, ami befolyásolhatja az üvegházhatás jelenségét. A fentiekből következik, hogy meghatározott jelenségek a Földön a hőmérséklet emelkedésére (üvegházhatás), mások pedig, amilyen az erdőirtás, a csökkenésére vannak hatással. Nehéz bizonyossággal kiszámítani, mely irányban fog változni a Föld éghajlata, milyen mértékben az egyes térségekben és mennyi idő alatt.

A hőmérséklet hatása a növényvilágra igen összetett. Az egyes növényfajok növekedésének és fejlődésének különböző az optimális hőmérséklete. A rizs vegetatív szerveinek létrejöttéhez például körülbelül 35°C az optimális hőmérséklet, a szem kialakulásának pedig a >25°C kedvez. A hőmérséklet optimális értékig történő növelésével számos termesztett faj gyorsabban megy át a vegetatívól a reprodukzív fázisba. Az

optimális hőmérséklet átlépése lassítja az említett folyamatokat, de meg is állíthatja őket (Hatfield et al., 2011). Ezzel kapcsolatban újabban egyes növényfajoknál felfigyeltek arra, hogy korábban érnek be. Egyes növényfajoknak a tél folyamán alacsony hőmérsékletre van szükségük ahhoz, hogy optimálisan nőjenek és fejlődjenek. A klímaváltozással gyakran járó enyhe telek nem felelnek meg ezeknek a növényfajoknak.

Egyes biokémiai és fiziológiai folyamatoknak, szerveknek és a részeiknek szintén különböző hőmérsékletre van szükségük (Kastori, 2006). A termés kialakulásában kulcsfontosságú folyamat a fotoszintézis. Az egyes növényfajoknál különböző a fotoszintézishez szükséges optimális hőmérséklet. A C₃-as növényeknél körülbelül 25°C, a C₄-es növényeknél körülbelül 35°C, egyeseknél pedig akár >40°C is lehet. Ami azt jelenti, hogy a klímaváltozás okozta hőmérséklet-emelkedés hatása különbözik az egyes növényfajok szerves termelésének szempontjából. A hőmérséklet-emelkedés közvetve is hatással van a fotoszintézisre. A hőmérséklet-emelkedés serkenti a vízleadást, a növények transzspirációját, aminek következtében a sztómák becsukódnak és ezáltal csökken a CO₂ külső környezetből való felvétele, s azzal együtt a fotoszintézis is.

A klímaváltozás nemcsak az átlaghőmérséklet emelkedésével jár, hanem szélsőséges hőmérséklettel is, amelynek stresszhatása jelentős mértékben csökkentheti a növények termését. Gray és Brady (2016) több szerző kutatási eredményeinek alapján állítja, hogy a hőstressz felgyorsítja a virágzást, növeli azok elhalását, csökkenti a pollen vitalitását, felgyorsítja a tapétum sejtjeinek elhalását, csökkenti a porzószal növekedését, a pollenszemekben és pollentömlőben növeli a hőszokkproteinek expresszióját, csökkenti a magkezdemények számát és felgyorsítja az elhalásukat. A fentiek alapján megállapíthatjuk, hogy a hőstressz a virágképzés, megtermékenyítés és termésképződés fázisában előidézi a mobilizálható szerves vegyületeknek a kialakuló termésbe való transzlokálódását és ezáltal jelentős mértékben csökkentheti a termést.

4. A szárazság hatása

A klímaváltozás száraz periódusok megjelenésével jár, amelyeknek különböző lehet a tartama. Ezek egyes térségekben természeti katasztrófa méreteit is ölthetik, ami rendkívüli állapot kihirdetését követeli meg. A világ egyes térségeiben új sivatagok keletkezhetnek. A magas hőmérséklettel járó szárazság tűzvészt idézhet elő, amely a természetes vegetációt, elsősorban az erdőket, ritkábban azonban a vetést is pusztítja. A

XX. század derekától megnövekedtek a szárazság sújtotta területek (Dai, 2011). A szárazság növényekre gyakorolt kedvezőtlen hatását növeli a levegő magas hőmérséklete és alacsony viszonylagos páratartalma, mert általuk növekszik a növények vízleadása. Egyes növényfajok és azokon belül a genotípusok különböznek annak tekintetében, hogy mennyi vízre van szükségük és milyen a szárazsággal szembeni tűrőképességük. A búza és a cukorrépa például egy kg szárazanyag képzéséhez 250–750 kg vizet ad le, a kukorica 200–400, a napraforgó pedig 300–700 kg-t.

A különböző növényi szervek és szövetek különböző mértékben érzékenyek a szárazságra. A szaporítófolyamatok érzékenyebbek a szárazságra a vegetatívaknál, és a női szaporítószervek a férfi szaporítószerveknél (Saini i Westgate, 1999). A szárazság csökkenti a virágok számát, növeli az abszcizinsav szintéziséért felelős gének expresszióját és a dehidratációt, akadályozza a korai virágzást, csökkenti a pollen vitalitását és növeli a magkezdemények elhalását. Ha a szárazság a termés fejlődésének és érésének fázisában jelentkezik, csökken a szemek telődése és felgyorsul a termés leválása. Ha a talaj elégtelen nedvességtartalmával egyidejűleg alacsony a levegő viszonylagos páratartalma és/vagy száraz a szél, a generatív szervek fejlődése számára kedvezőtlen feltételek miatt jelentős mértékű lehet a terméseszkökenés.

A sejtosztódás és -növekedés csökkenésének következtében a szárazság feltételeiben kisebbek lesznek a levelek. A föld feletti szervektől eltérően, a szárazság gyakran nincs hatással a gyökerek fejlődésére, sőt serkentheti is azt, ami kihat a tömegük arányára, a gyökérszövet javára. A szárazság hatással van a gyökér felépítésére, szárazsággal a főgyökér a talaj mélyebb rétegeibe hatol, s ugyanakkor csökken az oldalgyökerek fejlődése.

A vízhiány kihat a sejthártya szerkezetére is, megváltoztatja az áteresztő képességét. Vízhiány körülményei között felgyorsulnak a hidrolitikus folyamatok, a szintetikusak pedig lassulnak, és jelentős mértékben csökken a proteinek szintézise. Megállapítást nyert, hogy vízhiány esetén az inhibítorhatás kifejezettebb a fotoszintézis intenzitásában, mint a légzésnél.

Mivel a klímaváltozás keretében fellépő száraz időszakok gyakran kihatnak a termés korlátozására, a növénynevelők arra törekcszenek, hogy a szárazságot jobban bíró genotípusokat fejlesszenek ki. Ugyanakkor erőfeszítéseket tesznek annak érdekében, hogy megtalálják a szárazsággal szemben nagyobb tűrőképességet mutató fajokat és bevonják őket a vetéscsörgóba, továbbá olyan termesztési technológiákat fejlesszenek ki,

amelyek lehetővé teszik a talaj nedvességtartalmának racionálisabb felhasználását és megőrzését. Ebből a szempontból kiemelt jelentősége van annak, hogy kidolgozzák és alkalmazzák a talajművelés megfelelő eszközeit és eljárásait. Annál is inkább, mert a mezőgazdasági termelésben jelentős mennyiségű vizet használnak fel. Az Európai Környezetvédelmi Ügynökség adatai szerint ugyanis az EU összes vízfelhasználásának 24%-a a mezőgazdaságban történik.

A klímaváltozás következményeként egyes térségekben hosszantartó kiadós csapadék alakulhat ki. Ez nagy áradásokhoz, földcsuszamlásokhoz vezethet, különösen lejtőkön, és belvív megjelenéséhez. Mindez rongálja a talajt és részben vagy teljesen megsemmisítheti a vetést. A belvív különösen gyakori jelenség az őszi vetésnél mikrodepressziókban, nehéz agyagos talajon, magas talajvízes terepen, hosszantartó csapadék és a hótakaró olvadása után. A belvív károsíthatja, de tönkre is teheti a vetést. Abban az esetben, ha a talaj túltelített vízzel, megnehezül a gázcsere és a gyökérszövet lélegzése. Ha ez az állapot hosszabb ideig tart, lelassul a növekedés, de a növények el is pusztulhatnak. A különböző növényfajok különbözőképpen tűrik a vízzel túltelített talajt. Különösen a búza és a kukorica érzékeny, míg a rizsnek megfelelnek az ilyen körülmények.

Az előrejelzések szerint a klímaváltozás a világ különböző részein különbözőképpen fog hatni az egyes termesztett fajok elterjedtségére és termésére (2. táblázat). Egyes területeken terjedni fog meghatározott fajok termesztése és növekedni azok termése, míg másutt csökkenni fog a jelenlétük és a termésük. Várható, hogy a klímaváltozás hatással lesz a növényi termékek kémiai összetételére és ezáltal tápértékükre és biológiai értékükre is.

Növény-faj	Tendenciák
kukorica	Észak-Amerikában kisebb termésnövekedés, több hőegységgel, Kanadában expanzió. Európában termésnövekedés és terjedés a kontinens északnyugati részében.
búza	Észak-Amerikában és Európában átlagosan termésnövekedés, amelyet délen szárazság okoz. Termésnövekedés Észak-Európában és Kanadában, a vetésterület kiterjedése észak felé.
cukorrépa	Észak-Amerikában jelentős termésnövekedés, terjedés Kanadában. Európa délnyugati részében termésnövekedés a szárazság következtében, növekedés az északnyugati részen
burgonya	Termésnövekedés Észak-Amerikában, növekedés Kanadában. Termésnövekedés Európa északi, keleti és nyugati részében. A vetésterület terjedése észak felé.

repece	Marginális változások Észak-Amerikában. Európában termésnövekedés az északnyugati és a központi térségekben.
---------------	--

1. táblázat

A klímaváltozás hatásának tendenciái egyes fajok termesztésére és termésére a világ egyes térségeiben (Knight, 2005)

5. Összegzés

A klímaváltozást mindenekelőtt a CO₂ légköri koncentrációjának növekedése idézi elő. Ennek következménye a légkör hőmérsékletének globális emelkedése. Egyenkénti és közös hatásuk a növények életfolyamataira összetett.

A CO₂ koncentrációjának növekedése kedvezően hat a növények szerves produkciójára, ha a többi ökológiai feltétel optimális értékeket mutat, különösen a C₃-as növényeknél.

A hőmérséklet-emelkedés egy bizonyos határig szintén kedvezően hat, míg a szélsőségesen magas hőmérséklet és szárazság jelentős mértékben csökkenti a termést, különösen a generatív szervek kialakulásának és fejlődésének fázisában.

A hőmérséklet-emelkedés kihat egyes növényfajok, köztük termesztettek, elterjedtségére is, továbbá a flóra és a fauna biodiverzitására és a növényi betegségek és kártevők megjelenésére.

A klímaváltozás kísérő jelenségeként egyes térségekben szélsőségesen száraz időszakok léphetnek fel vagy tartósan csökkenhet a csapadék mennyisége. A vízhiány kedvezőtlen hatással van a növények életfolyamataira és nagymértékben csökkentheti a termésüket, valamint elterjedtségüket.

A klímaváltozás különböző mértékben fog hatni a világ különböző részeiben a termesztett fajok termésére és elterjedtségére. Egyes térségekben terjedni fog meghatározott fajok termesztése és növekedni a termésük, míg másutt csökkenni fog a jelenlétük és a termésük.

A növénytermesztésben a klímaváltozás kedvezőtlen hatását enyhíteni lehet genotípusok létrehozásával és a végbement változásokhoz alkalmazkodó fajok és technológiai eljárások alkalmazásával.

Globálisan szemlélve a klímaváltozás-probléma megoldásának kulcsa a természeti javak fenntartható fejlesztésében és fenntartható fogasztásában rejlik. Kollektív emberi akcióra van szükség, amely a bioszféra irányítását is magában foglalja. Igen nagy a veszélye annak, hogy

a Földön olyan feltételek alakulnak ki, amelyeket az éghajlatkutatók „üvegház Föld”-nek neveznek.

Felhasznált irodalom:

- AINSWORTH E.A. – LONG S.P. (2005): Tansley review: what have we learned from 15 years of free-air CO₂ enrichment (FACE)? A meta-analytic review of the responses of photosynthesis, canopy properties and plant production to rising CO₂, *New Phytol*, 165. sz. 351-371.
- AMTHOR, J.S. (2001): Effect of atmospheric CO₂ concentration on wheat yield: review of results from experiments using various approaches to control CO₂ concentration, *Field Crops Research*, 73. sz. 1-34.
- BENLLOCH-GONZALES M. – BOCHICCHIO R. – BERGER I. – BRAMLEY H. – PALTA, J.A. (2014): High temperature reduces the positive effect of elevated CO₂ on wheat root system growth, *Field Crop Res*, 165 sz. 71-79.
- BOWES G. (1993): Facing the inevitable: plants and increasing atmospheric CO₂, *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 44. sz. 309-332.
- COX P.M. – BETTS R.A. – JONES C.D. – SPALL – TOTTERDELL I.J. (2000): Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model, *Nature*, 408. sz. 184-187.
- DAI A. (2011): Drought under global warming: a review, *Advanced Review* 2. sz. 45-65.
- FARAGÓ T. – BARTHOLY J. (2014): Egy hathatós globális éghajlatvédelmi megállapodás szükségessége és akadályai, *Magyar Tudomány* 5. sz. 595-602.
- GELENCSÉR A. (2014): Koromrészecskék a légkörben a kipufogócsőtől az éghajlat-módosításig, *Magyar Tudomány*, 11. sz. 1366-1373.
- GRAY S.B. – BRADY S.M. (2016): Plant development responses to climate change, *Development Biology*, 419. sz. 64-76.
- HANSEN K. – SATO M. – RUEDY R. – LACIS A. – OINAS V. (2000): Global warming in the twenty-first century: an alternative scenario, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 97. sz. 9875-9880.
- HATFIELD J.L. – BOOTE K.J. – KIMBALL B.A. – ZISKA L.H. – IZAURRALDE R.C. – ORT D. – THOMSON A.M. – WOLFE D. (2011): Climate impact on agriculture: implications for crop production, *Agron. J.*, 103. sz. 351-370.
- JENSEN E. (2008): The effect of land use, temperature and water level fluctuation on the emission of nitrous oxide (N₂O), carbon dioxide (CO₂) and methane (CH₄) from organic soil cores in Iceland, *M. Sc. thesis in Environmental and Resources, Reykjavik*
- KASTORI R. (1995): *Zaštita agroekosistema* [Az agroökoszisztéma védelme], Feljton, Novi Sad

- KASTORI R. (2006): *Fiziologija biljaka* [A növények fiziológiája], Naučni institut za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad
- KNIGHT B. (2005): Climate change – How will it affect how and where we grow our crops?, *New AG International*, 32-39.
- MADHU M. – HATFIELD J.L. (2013): Dynamics of plant root growth under increased atmospheric carbon dioxide, *Agron. J.*, 105. sz. 657-669.
- NOVAK R.S. – ELLSWORTH D.S. – SMIT S.D. (2004): Functional responses of plants to elevated atmospheric CO₂- do photosynthetic and productivity data from FACE experiments support early predictions, *New Phytologist*, 162. sz. 253-280.
- PACHAURI R.K. – MAYER L.A., eds. (2014): *Climate Change 2014. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC Geneva Switzerland, 151.
- SAINI H.S. – WESTGATE M.E. (1999): Reproductive development in grain crops during drought, *Adv. Agron*, 68 sz. 59-96.
- SAMARDŽIĆ M. – TEMBO A. (2015): Osnovni faktori koji utiču na emisiju ugljen-dioksida iz zemljišta na primeru različitih ekosistema černozema kurske oblasti rusije. In: Ninkov, J. (ed.) *Održivo korišćenje zemljišta*. <http://soil2015nsseme>
- SILVA-OLAYA A.M. – CERRI, C.E.P. – LA SCALA JR. N. – DIAS C.T.T. – CERRI C.C. (2013): Carbon dioxide emissions under different soil tillage systems in mechanically harvested sugarcane, *Environ. Res. Lett.*, 8. sz. 015014.
- TUBA Z. – SZENTE Z. – NAGY Z. – CSINTALAN – ZS. – KOCH J. – KEMÉNY G. – LAITAR E. – MASARICOVA E. – TAKÁCS Z. (1993): The response of Hungarian loess grassland species to long term elevated CO₂ (Ecophysiological Responses to the first 9.5 months exposure), *Hungarian Agricultural Research*, III. sz. 37-40.
- WAND S.J.E. – MIDGLEY G.F. – JONES M.H. – CURTIS P.S. (1999): Responses of wild C₄ and C₃ grass (Poaceae) species to elevated atmospheric CO₂ concentration a meta-analytic test of current theories and perceptions, *Global Change Biology*, 5 sz. 723-741.
- XU Z. – JIANG Y. – JIA B. – ZHOU G. (2016): Elevated-CO₂ response of stomata and its dependence on environmental factors, *Front. Plant Sci.*, 7 sz. 657-666.