

CO₂ - H₂O - TÁJ LAND OF CO₂ - H₂O

SZÉKES
MŰKÖZTETÉSI ZHÁVAY

MINDEN, ami körülöttünk él vagy élt, javarészen szén-dioxidból lett - mi magunk is -, és idő múltán minden szerves anyag bomlással, égéssel ismét CO₂ lesz. Szakkönyveinkből azt tanultuk, hogy a növények vízben oldottan a talajból veszik fel tápanyagukat. Ez téves, mert például az erdei fenyő fájának több mint ötven százaléka szén, közel negyven százalék oxigén, mintegy hat százalék vízből származó hidrogén és fél százalék sincs - a talajból felvett - nitrogén, illetve ásványi anyag. Döbbenetesnek tűnhet, fából készült eszközeink, bútoraink, de ruházatunk, élelmiszerünk elemi anyagának döntő többsége közvetlenül, közvetve a levegőből származik. A növények a napfény energiájának átlagosan mindössze egy százalékát alakítják fotoszintézissel vegyi energiává, a fénysugárzás többsége a levélzetben hőenergiává alakul, amely molekuláris mozgásintenzitásként a fotokémiai folyamatok feltétele. Amennyiben a testhőmérséklet a levélzetben túl magasra válik, és ha a növények a talajból felvett víz párologtatásával ezt nem tudják megfelelő szinten tartani, az asszimiláció lassul, leáll, majd a disszimiláció jelentős mennyiségű szerves anyagot bont a korábban termeltből. Előnyös ökológiai adottságoknál egy m² C₃-as típusú (az asszimiláció első lépéseként három szénatomos molekulát képző) növény levélfelülete óránként két-három g CO₂-ot vesz fel. Feltételezve, hogy egy m² talaj felett a levélfelület öt m² (termesztett növények, de erdők esetében is átlagosan ilyen a LAI, a levélfelület index arány), a fotoszintézis optimális szakaszában az egy m²-nyi talajon élő növény 20-25 m³ légtér teljes CO₂ mennyiségét egy óra alatt szintetizálja.

Az üvegházi növénytermesztők régen rájöttek arra, hogy a szén-dioxidot szellőztetéssel folyamatosan pótolni kell. A szellőztetés télen hővesztéssel jár, ezért sokan mesterségesen adagolták a CO₂-ot. Közben rájöttek arra is, hogy a természetesnél magasabb szén-dioxid koncentráció - a légtrágyázás - a biológiai produktum növekedésével jár. A természetesnek akár százszorosára emelt CO₂ arány a C₃-as növények esetében - ha nem is lineárisan -, de még növeli a hozamot.

A szárazföldi növények CO₂ igényének jelentős hányada a talajból kerül a légterükbe. A talajok szén-dioxid termelése a talajélettől függően naponta 2-15 g/m². A természetben élő növényekre vonatkozóan ez változóban van, mert a szántóföldekre egyre kevesebb szerves trágya kerül és ennek következtében a CO₂-ot „termelő” talajélet vesztően szegényedik. A fejlődési stádiumban lévő búzaállomány alsó szintjében a múlt század harmincas éveiben - amikor a légkör CO₂ koncentrációja 300 ppm volt - 80 ppm-es értéket mértek, noha akkor még bőven jutott istállótrágya a földekre. Hazánkban hetven évvel ezelőtt a fogatos földművelés, a belterjes istálló állattartás korában a szántók, rétek, legelők minden növényi terméke hasznosult. A terményeknek ember, állat által emészthetetlen szerves hányada visszakerült a talajba és tápanyagként, CO₂ forrásként szolgált az újabb terméshez. A talajerőnek, a szén-dioxidnak ez az évezredek természetes körforgása Európában ma szinte mindenütt változóban, megszűnőben van. Igavonó lovak már nincsenek, a hízó-, tejelő állatok ürülékének többsége olyan hígtrágya, amely a természetes körforgásban alig hasznosul. A gabonafélék szalmája - az almózáznak, az istállótrágyának szerves alkotója, a művelt

földeknek ezzel erőben tartója - erőművek tüzelőanyagaként „megújuló erőforrás” lett, nagy mennyiségű CO₂-ot közvetlenül a levegőbe juttatva. A trágyából, a talajból a vegetációs időszakban felszabadult szén-dioxidot a növények állományukon belül használták fel, ezért ebből nem jutott a felszínük - a besugárzás-kisugárzás aktív szintje - feletti légtérbe.

Malthus 1798-ban adta ki a népesedés törvényéről írt tanulmányát, amelyben megállapította, hogy az élelmiszertermelés legfeljebb számtani sor szerint növelhető, míg a népesség mértani sor szerint nő. Malthus prognózisa nem vált be. Az ipari forradalom második szakaszában, úgy 1850-től kezdődően a széntüzelés nyersanyagfelhasználása mintegy 1920-ig kerekítve évi ezermillió tonnára nőtt. A kőolaj ki-termelés ekkor vált jelentőssé. 1950-ben a kettő együtt elérte az évi kétezer millió tonnás felhasználást. 1950 körül vált tekintélyessé a földgáz ki-termelés, 2000-ben a háromféle fosszilis energia-hordozóból már hatezerötzszázmillió tonnát használtak fel.

Malthus korában az élelmiszer mennyiségét - a 0,027 %-ra becsült légköri CO₂ tartalom mellett - csak erdőirtással, lecsapolással nyert természetű felületekkel lehetett növelni. Az ökológiai, főként a mezo- és helyi-klimatikus adottságokat rontó termőterület szerző tevékenység nem járt kellő eredménnyel, egységnyi terület hozama az 1900-as évekig jelentősen nem nőtt, de a táj folyamatosan szegényedett.

A középkori parlagos gazdálkodás idején a művelt és a parlagon hagyott terület együttes gabonahozama átlagosan egy-két mázsa volt hektáronként. Az ugaros gazdálkodással négy-hat

mázsára növelték a hektáronkénti termést. Az első világháború előtt vetésforgatással tíz-tizenöt mázsás hozamot lehetett elérni. Az 1970-es években Magyarországon ötven-hatvan mázsára, a nyolcvanas években kivételesen már száz mázsára növelték a hektáronkénti szemtermést. A vonatkozó adatok szerint a fosszilis energiafelhasználás ekkor mintegy évi ötezer millió tonna volt.

Mivel a szemtermések elemi anyagának mintegy 85%-a CO_2 , Európa földművelői Malthus kora óta a természetett növényeiket szelektálással, nemesítéssel - az agrotechnika párhuzamos fejlesztésével - alkalmassá tették a növekedő légtrágya hasznosítására. Egységnyi területen a természetők ma százszor több szén-dioxidot alakítatnak növényeikkel szerves anyaggá, mint kétszáz évvel ezelőtt.

Szelektáláskor, keresztezéses nemesítéskor, újabban a géntechnológia alkalmazásakor az a cél, hogy a természetett növények emberi táplálékot - keményítőt, fehérjét, olajat - adó hánnyada jelentősen növekedjék az emészthetetlenhez viszonyítva, és hogy a növények betegségekkel szemben ellenállóvá váljanak.

Azok a növények, amelyek rövidebb vegetációs idő alatt naponként hosszabb ideig asszimilálnak, termelékenyebbek, mint azok, amelyek napközben túlmelegedve hosszú órákon át csak vegetálnak. Folyamatos fotoszintézisre azok a növények képesek, amelyek magasabb környezeti- és testhőmérsékleten is termelékenyek, illetve amelyek testhőmérsékletüket párologtatással tartósan csökkenthetik. Amikor a transzspirációhoz szükséges víz elfogy a talajból, és már a harmat sem segít, a növények szerves anyagaik lebontásával

nyert energiával védekeznek, szélsőséges esetben elhervadnak. A természetők egyrészt kapálással, másrészt a vegetáció korai szakaszában zárt állományt képző növényfajtákkal igyekeztek, igyekeznek a talajpárologást a minimálisra csökkenteni. A múlt század harmincas éveiben a kukoricát négyzetesen vetették, hogy földjét hosszában, keresztben ló vontatta eke-kapával lehesen lazítani, a kapilláris vízemelést, a párologást akadályozni, az éjszakai talajvízgőzt a lehűlt felszín laza talajrétegében harmatként megfogni.

Azok a növények, amelyek a vegetációs idő viszonylag korai szakaszában zárt állományt képeznek, így a mai kukoricafajták, főként párologtatással, fiziológiailag szabályozottan gazdálkodnak a talajban lévő vízzel.

A legnagyobb légterű növényállományokat az erdők képezik. Az avar akadályozza a csapadék, az olvadt hó elfolyását, az állományon belül képződött vízpára adott esetben harmatként újlag részt vesz a léghőmérséklet csökkentésben, sajátos állományklíma képzésében. Az erdők közjóléti hatása, a helyi klíma javítása részint ebben a jelenségrendben rejlik.

Annak ellenére, hogy C_3 -as tölgyeseink, bükköseink igen hatékonyan hasznosítják a területükre jutó csapadékot, vegetációs idejükben lényegesen kevesebb CO_2 -ot kötnek meg azonos területen, mint a C_4 -es (szubtrópusi ökológiai adottságok mellett létrejött, az első fázisban négy szénatomos molekulát képző) növények, így a cukornád vagy a kukorica.

A C_3 -as és a C_4 -es növények főbb jellemzői között igen sok az eltérés. A nettó fotoszintézis hőmérsékleti optimuma a C_3 -asoknál $15-25^\circ\text{C}$, a C_4 -

eseknel $30-45^\circ\text{C}$, az 1 g szárazanyag termeléséhez elpárologtatott vízmennyiség a C_3 -asoknál 500-1000 g, a C_4 -eseknél mindössze 250-400 g. A nettó fotoszintézis termék a C_3 -asok növekedési fázisában 200, a C_4 -eseknél 400-800 mg szárazanyag dm^2 nap. A C_3 -as növények primer CO_2 kötő enzimeje, a Rubisco alacsony szén-dioxid koncentráció esetén C helyett O-t „fog be”, ezért a fénylégzés következtében a már asszimilált szerves anyagnak akár negyven százaléká is bomolhat. A PEPC, a C_4 -esek enzimeje nem kelt fénylégzést.

Lényeges különbség a két típus között továbbá az, hogy a C_3 -asok növekedő szén-dioxid koncentráció hatására jelentősen növelik fotoszintézisük hatásfokát, míg a C_4 -esek csekélyebb mértékben. Mivel a Földön, a szárazföldi biomaszájának több mint hetven százalékát a C_3 'utas' növények termelik, a CO_2 -os légtrágyázás nagy jelentőségű. Az előzőekből egyértelműen megállapítható, hogy a C_3 -as növények 1 g szárazanyag termeléséhez - testhőmérsékletük optimumon tartásához - adott esetben ötször annyi vizet párologtatnak, mint a C_4 -esek. Feltehető, hogy az átlagosnál magasabb testhőmérsékleten is asszimiláló C_3 -asok kevesebb vizet transzspirálnak „igényesebb” fajtabelijeiknél.

MÚLT század nyolcvanas éveinek végén Hollandia földművelési minisztere arra kérte az IFLA (Tájépítészek Nemzetközi Szövetsége) vezetőségét, rendezzenek konferenciát, adjanak tanácsot az élelmszer túltermeléssel keletkezett gondok megoldására, a természetből kieső tízezer hektárnyi művelt terület hasznosításának mikéntjére.

A szakemberek azt tanácsolták, létesüljenek nagy vízfelületek, erdők a helyi klíma, az üdülés, üdültetés feltételeinek javítására.

Az ilyen vagy hasonló tervek megvalósítása azonban szinte lehetetlen, mert a gazdasági, egyben ökológiai célú tájalakítás szempontjából szóba jöhető területeken földművelők élnek, akiknek földjét meg kellene vásárolni, akiket el kellene költöztetni, akiknek új megélhetési lehetőségeket kellene találni. (A „szocialista” államokban ez a probléma a Tsz szervezéssel részint megoldódott, de a tulajdonviszonyok heterogenitása ma sem teszi egyszerűvé az összefüggő területű erdőtelepítést, nagyobb vízfelületek létesítését.)

Az élelmiszer túlermelésnek, a korábinál lényegesen több szén-dioxid szerves anyaggá alakításának sokrétűek a következményei. Indiában, Kínában a termelésnövekedés áldás, az Európai Közöség országainak többségében átok.

A légrágya hatásának csökkentésére – a túlermesztő államokban – több módszer, eljárás alakult. A legegyszerűbb, egyben leghatékonyabb megoldás az, ha rá lehet bírni a földtulajdonosokat, hogy ne termeljenek élelmiszert, hagyják parlagon szántóikat, vagy azoknak egy részét. Sok országban pénzbeli támogatást kapnak azok, akik így tesznek. A vegyszer nélküli termesztés több munkával, kisebb CO₂ megkötéssel jár, így ezzel a módszerrel is csökkenthető a túlermelés. Európában a középkortól kezdődően nagyjából a XIX. század utolsó negyedéig a cél a természet felületek hővítése volt, ezután közel egy évszázadon át az egységnyi területen elérhető termék növelése, s mintegy negyven év óta pedig ennek csökkentése. Az eszközöket tekintve eltérő – adott esetben ellentétes – törekvések, tevékenységek eközben jelentősen változtatták a táj szerkezetét, növényi borítottságát, arculatát. Korunkban, hazánkban, ahol a laksűrűség alapján közel háromszor akkora terület jut egy lakosra, mint a negyven éve túlermelő Hollandiában, egyre több korábbi szántóföld marad parlagon. Ezekkel előbb-utóbb valamit kezdeni kell.

A magánerőből (80 %-os EU támogatással) történő erdősítés részint a tulajdonviszonyok, részint a gazdasági gondok, de főként bürokratikus huzavonák miatt késik, és táji vonatkozásban területi összefüggés nélküli – mozaikszerűen szórt – heterogén borítottság alakul.

A 'megújuló' energiát adó növények termesztése a parlag mizéria szempontjából kétféleképpen hasznos: nem képez élelmiszerfelesleget és munkát ad a földből élőknek. A kiutkeresés okán természetesen „energia-füvekből” nyerhető energia azonban drágább és összesítetten lényegesen több szén-dioxid kibocsátással jár, mint az azonos energiamentiség nyereséhez szükséges fosszilis szénhidrogén-használat. Az igen nagy anyagi ráfordítással épített, növényekből dízelolajat helyettesítő üzemanyagot gyártó létesítmények többségét leállították, leállítják. Energia etanolt azonban még készítenek.



HAZÁNKBAN, ha kukoricából készítenek etanolt, a termesztéssel kezdődő folyamat szinte kizárólag gépi munka, azaz CO₂ termelés. (Már a művelő gépek előállítására is az volt.) A keményítő hidrolizálása, azaz felfőzéssel cukorra alakítása széndioxid termeléssel jár. Az alkoholos erjedés során egy mól cukorból két mól CO₂ és két mól etanol keletkezik. A mintegy tizenhárom százalékos alkohol-víz oldatot desztillálni kell, a vizet – jelentős szén-dioxid termelés árán – el kell párologtatni, a desztillátumban maradt négy százaléknyi vizet újabb CO₂ termelés árán kell eltávolítani. A kész termék motorban elégetve CO₂-dá alakul. Braziliában gazdaságosabb cukornádából etanolt készíteni, mint Európában keményítőből, mert kisik a hidrolizálás, mert a C₄-es cukornád egységnyi területen négyszer, ötször annyi CO₂-ot asszimilál, mint példaként hazánkban a cukorrépa. Itt érdemes megjegyezni, hogy a C₃-as esőerdők helyére telepített C₄-es cukornádültetvények, mivel a trópusi ökológiai adottságok mellett igen intenzív a szárazanyag termelésük, lényegesen több

oxigént juttatnak a levegőbe mint amazok, de hiányzik belőlük az élők sokasága, szegényítik Földünk e részének sokszínűségét.

Hazánkban a megújuló energiaként szóba jövő anyagok közül leghatékonyabban – mintegy harminc százalékosan – a fa hasznosítható. A szénportüzelésre épített erőművekben azonban csak akkor égethető, ha előzetesen korpa finomságvá őrlik.

A mérések szerint Földünk légkörének hőmérséklete emelkedik, a múlt század harmadik negyedében végbement hidegperiódus átlagához viszonyítva mérhető mértékben. Sokak szerint ez a változás földtörténeti ciklikus jelenség, mások, a jelenleg többségben lévők szerint, a „globális felmelegedés” az üvegházhatás növekedésének következménye. A mintegy egy évszázad óta elfogadott vélemény szerint az üvegházhatást a levegőben lévő vízpára, a szén-dioxid és más gázok okozzák. A CO₂ a jelenlegi mérések szerint 0,036 %-nyi a levegőben, a többi üvegház gáz aránya ehhez viszonyítva csekély. A vízpára, illetve a felhőkben lévő víz, jég a légkörnek 0,5-4 %-nyi hányada, ez adott esetben, adott helyen százszor több mint az ún. üvegház gázoké. Amennyiben a légkör víztartalmát átlagértékként egy százalékosnak tekintjük, úgy ez huszonöt-ször több az üvegház gázokénál. Nyilvánvaló, hogy az évenkénti CO₂ növekmény ezért nem okozhat jelentős melegedést.

A földtörténet ciklikus jelenségrendjének melegedési periódusaiban a légkörbe több vízpára jut, és mivel az üvegházhatás szempontjából a vízpára a meghatározó, a koncentráció növekedése növelheti a léghőmérsékletet. A gleccserek rövidülése, az Arktisz úszó jégének olvadása azt jelzi, hogy ilyen időszakban élünk. A média azzal riaszt, hogy a jégolvadás tengerszint emelkedéséhez, az alacsony fekvésű szárazföldek elöntéséhez vezet.

A jég térfogatsúlya kisebb a víznél, ezért úszik, s ha az úszó jéghegy elolvad, a víz szintje nem emelkedik. Amennyiben Grönland vagy az

Antarktika jége, azaz a szárazföldön fekvő jég olvadna, a tengerek szintje az olvadás mértékében emelkedne. A műholdmérések szerint a szárazföldön fekvő – akár két-három ezer méter vastag – jég szintje egyelőre nem apad, az Antarktikán emelkedik. A délsarki kontinens rendkívül nagy nyomás alatti jégtömegéből azonban időnként sok köbkilométeres tömbök válnak le ún. borjadzással.

A média másik kedvelt témája a Golf-áramlat, illetve annak Wadham által jósolt szűnése. Az északi jégmezők jelenségeivel foglalkozó professzor szerint a Golf-áramlat észak-atlanti ága azért szűnhet meg, mert az Északi-tengerben a hideg víz lesüllyedése, az így keletkező hidegvízű Labrador-áramlat tömegének – vele mintegy „pumpa” hatásának – csökkenése, a Golf-áramlat észak-atlanti ágának lassulásához, leállásához vezethet. Ebből a nyilatkozatból úgy tűnik, mintha a melegáramlást főként a hideg vizek süllyedésének szívó hatása tartaná mozgásban. A Berget (1909) szerint a Golf-áramlat a passzát szelek hatására keletkezik, a Mexikói-öbölben felmelegedett víztömeg kitorlódik a nyílt óceánba, és a környezeténél melegebb, sósabb, kékebb áramlat egyik ága Európa partjai mellett az Északi-tengerig jut, ahol eloszlik, majd fokozatosan lehül. (Wadham a Golf-áramlat jövőjére vonatkozó nyilatkozatával párhuzamosan arról is szólt, hogy partnereivel a további kutatásokhoz az EU-tól 16 millió Euro-t kaptak.) A Golf-áramlat leállásáról szóló jóslatok a múlt század kilencvenes éveiben jelentek meg, a tapasztalatok azóta nem jeleznek változást, lassulást, hűlést. Wadham szerint Grönland jége is elolvadhat, de az olvadás legalább kétezer évig tartana.

Azok, akik a médián át, a közleményekben kolportált vész hírek alapján hazánk természeti adottságainak jövőbeni alakulását pesszimiztikusan értelmezik, és kontinentális klímánk melegedésével számolva joggal aszálytól, szárazságtól tartanak, nem számolnak a Dunával, Tiszával. A két folyón évente több víz távozik az országból, mint amennyi csapadék a területére hull. (Amennyiben

Izrael területén dunányi víz folyna át, a teljes Negev sivatag helyén dús növényzet zöldellne.) A világ sok félsivatag jellegű területén – az USA-tól Ausztráliáig – körjárási öntöző berendezésekkel természetesen kukoricát. Feltehetően hazánkban is kifizetődne. Ehhez a Dunán, a Tiszán gátakkal olyan emelt vízszintű tározókat kellene létesíteni, amelyekből az ország sík területeire gravitáción keresztül jutna el az öntözővíz. Amennyiben ez megvalósulna, ha a Dunát akár két csatorna kötné össze a Tiszával, nem kellene az aszály káros következményeitől tartani, az öntözött C₄-s kukorica az 1-2 °C-nál magasabb hőmérsékleten a jelenleginél jóval nagyobb termést hozna. Az EU előírásai szerint a többlettermésből etanolt szabadna gyártani.

Huszonöt évvel ezelőtt a média, a tudományos közlemények sora a savas esővel riogatott. A bulvársajtó az Észak-Csehországi erdők lokális kén-dioxid kibocsátás okozta pusztulását ismertette, mutatva világvégéről írt. A levegőben lévő víz oldja az ott lévő gázokat, azok a csapadékkal a növényzetre jutva pusztíthatják azt.

A CO₂ is jól oldódik vízben. Jó példa erre az olyan pince, amelyből az erjedő must szén-dioxidja – nehezebb lévén a levegőnél – nem tud kifolyani. Gyakran okozott halált, de mivel többsége viszonylag rövid időn belül feloldódik a nedves pince vizében, a pincelátogatóra nézve veszélytelené válik.

Földünk felszínéről – a vonatkozó közlemények szerint – évente 500 ezer km³ víz jut páráként a levegőbe, és ugyanennyi hull le csapadékként. Emberi tevékenység következtében évente 25 km³ víz tömegének megfelelő mennyiségű szén-dioxid jut a levegőbe. (25 milliárd tonna.) A nap energiája – előzők szerint – húszszerszer több vizet párologtat el azonos idő alatt, azaz naponta közel ötvenöt-ször annyi víz jut a légkörbe, mint „ember termelte” CO₂ éventenként. (A Balaton víztömege mintegy két és fél km³, három és fél év alatt elpárologna, ha nem volna utánpótlása.)

Tízezrek kutatnak, közölnek, utaznak, tárgyalnak, költenek százmilliókat a CO₂ „fantom” bűvöletében. Vajon miért? Netán azért, hogy az átokkal együtt csökkenjen az áldás? Ezzel összefüggésben felmerül egy kérdés: hogyan alakul a táj ötven év múlva, ha fűziós reaktorok szolgáltatják az energiát, ha fokozatosan csökken a CO₂ kibocsátás és ezzel a légtrágyázás?