

Székács András

A növényvédő szerek kockázatai

Javitott-e a környezetünkkel fenntartott egyensúlyon a tudomány?

A francia felvilágosodás egyik legkiemelkedőbb gondolkodója, *Jean-Jacques Rousseau*, a Dijoni Akadémia körkérdésére, „Javitott-e az erkölcsökön a tudományok és a művészetek újraéledése?“, fogalmazta meg a XVIII. század derekán — a tudományoknak az emberi faj haladására gyakorolt hatásáról nem éppen kedvező — véleményét. Bár értekezése elsősorban a társadalomtudományok és a politika megítélésére összpontosít, s egyben korábbra datálódik, semminthogy a tudományos megismerés bizonyította volna önnön gyakorlati teremtő erejét, filozófiájának „vissza a természethez” gondolata mindinkább összecseng a napjainkban mutatkozó, gyakorta tudományellenes társadalmi visszhanggal. Majd’ 250 esztendő elteltével legyen szabad az ő kérdését átfogalmaznom napjaink egyik problémájára vonatkoztatva. Javitott-e a környezetünkkel fenntartott egyensúlyon a tudomány? Szűkebb értelemben: hogyan maradhatunk egyensúlyban a természettel, melynek termékenységét (esetünkben mezőgazdasági termékenységét) mind fokozottabb mértékben próbáljuk kiaknázni. És mi a növényvédő szerek szerepe e problémában? Csodaszerek, melyek hatására megsokszorozódik a betakarítható termés, és valamennyi éhes szájba jut élelem? Vagy környezetpusztító mérgek, melyekkel az emberi faj tönkreteszi a Földet, de legalábbis gondoskodik önnön kipusztításáról? A probléma nem annyira a moralitásra irányul, mint Rousseau kérdése (legalábbis nem a hagyományos társadalmi morálra, hanem egyfajta globális etikára), de mélyen filozófiai, s korántsem pusztán gyakorlati kérdés.

Növényvédő szerek és környezet

A modern kémiai növényvédelem mintegy hetvenéves múltra tekinthet vissza, mióta az ember készítette mesterséges vegyületek általános alkalmazást nyertek a mezőgazdasági gyakorlatban. Az igen rövid idő alatt hatalmas karriert befutó növényvédő szer készítmények bevezetésének és alkalmazásának érvrendszere hagyományosan az alábbi indoklásra vezethető vissza:

- a mezőgazdasági termelékenység növelése, közéletmezés,
- emberi munka kiváltása a mezőgazdasági termelésben,
- profit.

A fenti érvek (közegészségügyi szempontokkal kiegészítve), valamint a mind hatékonyabb és szelektívebb hatóanyagok kifejlesztése nemhogy indokoltá, de igen rövid idő leforgása alatt elengedhetetlenné tették a növényvédő szerek alkalmazását az iparszerű mezőgazdaságban. Am két évtized sem telt el, s számos olyan riasztó tünetre derült fény, melyek egyértelműen jelezték, hogy e vegyianyagok használata jelentős, nemritkán súlyos mértékben zavarja a környezeti egyensúlyt, és ezáltal közvetett vagy akár közvetlen módon az emberi egészséget, életet is.

A figyelmeztetések:

- Rovarellenállóság kialakulása a rovarellenes szerekkel szemben. (1970 és 1980 között csaknem megkétszereződött a növényvédő szerekre rezisztens rovarpopulációk mérete.)
- A gyomok és a mezőgazdasági kártevőnek tekintett gombák között is erőteljesen nőtt a rezisztencia az elmúlt 2,5 évtizedben. A probléma öngerjesztő: az ellenállóság miatt mind nagyobb mennyiségű növényvédő szert kell alkalmazni, ami — kémiai szelekciós tényezőként hatva — meggyorsítja a rezisztens egyedek kiválasztódását.
- Új mezőgazdasági kártevők megjelenése a természetes ellenségek pusztítása következtében (főként a rovarkártevők körében).
- Egyes szerves klórvegyület (endoszulfán) és szerves foszforvegyület (inszekticidok (klórpirifosz), valamint számos piretroid (bioresmetrin) toxicitása halakra. A klórpirifosz emellett számos más állatfajra is toxikus, melyek között az Egyesült Államok Környezetvédelmi hivatala (EPA) kimutatása szerint több mint 100 kipusztulással veszélyeztetett faj is megtalálható.
- Növekvő mortalitás a természetes madárállományban (23 madárfajban, melyek között költöző és nem költöző, vízi- és énekesmadarak egyaránt megtalálhatók) a klórozott szénhidrogén inszekticidok (DDT, dieldrin) és egyes szerves foszforvegyületek (diazinon) alkalmazása nyomán.
- A DDT és metabolitjai kimutathatók a Déli-sarkvidékről, illetve egyéb nem kezelt területekről származó állatok szervezetében.
- Emberi hatások (kétséget neuropátia, rákbetegségek, hormonszint-rendellenességek).
- Agrokémiai szempontok, például a talajok elszegényedése tápanyagokban a fokozott természet, illetve kiegyensúlyozatlan utánpótlás (trágyázás, műtrágyázás) miatt.

Szemben a korai növényvédő szer hatóanyagokkal, elsősorban a rovarellenes vegyületekkel (inszekticidokkal), melyek gyakorta nem csupán a rovarokra, de a magasabb rendű szervezetek idegrendszerére is ható, általános mérgek voltak, a mai hatóanyagok lényegesen célzottabb hatásúak (szelektívebbek), s összehasonlíthatatlanul szigorúbb toxikológiai követelményeket támasztó vizsgálatokon esnek át az engedélyeztetési eljárás során. Ennek ellenére az a tény, hogy e vegyületek, ha mégoly környezetkimélők is, befolyásolják, megváltoztatják környezetünk állapotát, korántsem meglepő. Mielőtt tehát konkrétan áttekinthetnénk a növényvédő szerekkel kapcsolatban az elmúlt bő évtizedben felmerült legfontosabb toxikológiai aggályokat, vessünk egy pillantást a helyzetre általánosságban, modell szinten.

Az ökológiai és ökonómiai modellek

Az iparosodás, nagyüzemi mezőgazdasági gyakorlat megjelentével az ember lényegében természetidegen elemeket vezetett be a környezetben. Ezen elemek legdöntőbbike a nagyparcellás, monokultúrás természet, mely szöges ellentétben áll a háborítatlan természeti közegekben tapasztalható és az ökológiai egyensúly alapját képező fajgazdagsággal, diverzitással. A termelékenység és a gépesíthetőség érdekében olyan rendszert vezetünk be, amely ellentmond a természetes kiválasztódásnak, s egyben — afféle terített asztalként — célpontul is szolgál a kártevők számára. E potenciálisan megnövekedett kártétel visszaszorítására hivatottak a növényvédő szerek, illetve tágabb értelemben a növényvédelmi technológiák. A rendszer jellegzetesen nem-egyensúlyi, hiszen ha magára hagynánk, a természet maga gondoskodna arról, hogy visszaálljon a fajgazdagság.

Megbontjuk tehát az „ember nélküli” egyensúlyt, csak az a kérdés, milyen mértékben. Az első hangok legerősebbike, amely arra figyelmeztetett, hogy a növényvédő szerek súlyos és helyrehozhatatlan következményekkel járhatnak az ökológiai rendszerekben, *Rachel Carson* könyve, a Néma tavasz volt [1]. Ezt követően az élettudományok különféle területein dolgozó szerzők, kezdetben szűk, majd egyre bővülő számban majd’ négy évtized óta hívják fel a figyelmet egy lehetséges ökológiai katasztrófa veszélyére, ám az ipari és mezőgazdasági érdekcsoportok viszonylag lassan, csak jelentős kezdeti ellenállás után fogadták el e figyelmeztetéseket. Túl azon, hogy a Néma tavasz nemzetközi botránykó lett, nem csupán a növényvédőszeripar — érthetően elfogult — haragját vivta ki, de az általános tudományos közélet kezdeti közömbösségébe, sőt elítélésébe kellett ütköznie. S azokat a szakembereket, akik a természet állapotáért aggódva a növényvédő szerek alkalmazásának mérséklését, egyes szerek betiltását sürgették, nemritkán hisztérikus öko-megszállottaknak, rosszabb esetben szenzációhajász szélhámosoknak nevezték. A Nobel-díjas *Norman Borlaug* az FAO 1971-es római konferenciájának diszeloadásában még így fogalmazott [2]: „A *természettel való egyensúly* kliséje, melyet modern világunk környezetvédői oly gyakorta emlegetnek, nagyon félrevezető. Arra utal, mintha létezne egy kedvezményezett *természeti egyensúly*, amely biztosíthatná kultúrnövényeink védelmét, ha az ember nem zavarta volna meg a *természeti egyensúlyt*. Ez természetesen nem igaz, mint ahogy nem létezik egyetlen a természettel nem egyensúlyban levő ökoszisztéma sem.”

Borlaug mindkét állítása igaz, már amennyiben az emberi tevékenységet is a természeti egyensúly részének fogjuk fel. Ha azonban úgy tekintjük, hogy az ember valami olyat kíván meg a természettől, amelyet az magától nem, vagy nem ilyen mértékben adna meg, a természettel való viszony korántsem egyensúlyi, hiszen éppen ez a nem-egyensúlyi állapot az, amely fenntartásához folyamatos emberi beavatkozást igényel. S az is igaz ugyan, hogy az „ember nélküli” egyensúlyban sem nyerhetnének *per se* védelmet a természetű növények, ám a fokozott termelékenység mellett a potenciális kártétel mértéke is fokozódik. Az életközösségek rendszere nem merev, nagyon is rugalmas rendszer, amely dinamikusan válaszol a külső tényezőkre, s idővel — ha nem is szükségképpen, de lehetőségképpen — kialakulnak azon kártevőfajok, amelyek képesek is lesznek a védekezés ellenében is a fokozott pusztításra. Ugyanez

igaz a növényvédő szerek többi környezeti hatásaira is: a természetes egyensúly mérhetetlenül sok életfolyamat évmilliók alatt egymásra épült rendszere, így aligha várható, hogy az emberi beavatkozás — ha mégoly célzott is — kizárólag a kívánt helyen fejtsse ki hatását.

A helyzetet tovább bonyolítja a kémiai növényvédelem közgazdasági megítélése. A gazdasági modell anomáliáira, nevezetesen a természeti értékek közgazdasági értelmezésének hiányosságaira hívta fel a figyelmet egyebek között *Robert Repetto*, a Nemzetközi Erőforrások Intézetének (World Resources Institute) vezetője 1992-es tanulmányában [3], melyet az ENSZ Rio de Janeiro-i Környezetvédelmi és Fejlesztési konferencia felhívásaként tett közzé. A közgazdaságtan értelmezése szerint a jövedelem három forrásból származhat: (a) természeti erőforrásokból, (b) emberi erőforrásokból és (c) befektetett tőkéből. A korai, klasszikus közgazdászok a természeti erőforrások szerepét jószerivel teljesen kihagyták a modelljükből (ezek nagy fölöslegben való hozzáférhetősége miatt közgazdasági értékük matematikailag is elhanyagolható volt), s kizárólag a munkára és a befektetett tőkére összpontosítottak. Amikor pedig a II. világháborút követő időszakban ezeket az elméleteket a harmadik világ fejlődésére kezdték alkalmazni, a „munkaerőfölösleg” miatt már az emberi erőforrások is kimaradtak a számításból, és a fejlődést kizárólag a nyereség és a befektetett tőke aránya szerint értelmezték.

A természeti erőforrások figyelembevétele ugyanakkor nem csupán a befektetés, de még az állóeszközök szintjén sem valósul meg. Az épületek, berendezések, és az egyéb gyárilag előállított termelőeszközök jövedelemtermelő állótőkének minősülnek, s értékcsökkenésüket a termelési költségek részének tekintjük. (Ez a matematikai modell annak a felismerésnek a tükröződése, hogy a fogyasztás nem tartható fenn folyamatosan, ha nem gondoskodunk az elhasználódott állóeszközök pótlásáról.) Az elhasznált természeti erőforrások viszont nem pusztán a befektetési költségek között, de az amortizációs költségek között sem szerepelnek. Jelenleg a természeti kincsek fogyása még akkor sem jelenik meg a költségek összesítésében, ha egyértelmű, hogy ez a jövőben a termelés súlyos visszaesését okozhatja. Ez vezethetett egyes — főként fejlődő — országok erőteljes környezeti elszegényítéséhez, és a növényvédő szerek állami szubvenciója nyomán növekvő hatóanyagbevitelhez és környezeti terheléshez [4]. Bár az ún. fenntartható gazdálkodási modellek [5] a természeti értékek változását is bevonják a gazdaságossági vizsgálatok tárgykörébe, még várat magára, hogy e szemlélet a mindennapok mezőgazdasági termelésének gyakorlatában is megjelenjen. Addig pedig a növényvédő szerek is könnyen beleszorulnak a „szükséges rossz” kategóriájába, melyek használata gazdasági értelemben is nehezen tartható összhangban a globális környezeti egyensúllyal, s amelyek így szükségképpen kedvezőtlen természeti hatásokat is kifejtenek.

Környezettoxikológiai problémák és hatóanyag-fejlesztés

A növényvédő szerek fejlődése tehát egyre újabb szerek bevetésének, majd a nem kívánt mellékhatások megjelenése miatti kivonásának története. Minden újabb készítménnyel újabb lehetséges környezetszennyező, toxikus vagy ökológiailag káros mellékhatások megjelenését kockáztatjuk, s ezen mellékhatások rendre meg is jelennek. A mind újabb szerek és módszerek mind kifinomul-

tabbak, hiszen kifejlesztésükkor már tekintetbe vették a korábbi készítmények kapcsán felmerült problémákat is. Ezzel párhuzamosan azonban számos olyan mellékhatást is felismertünk, amelyekre korábban nem is gondolt a hatóanyag-fejlesztő. Lássuk hát e történet főbb epizódjait a tekintetben, ahogy fény derült a növényvédő szerek egyes környezeti kockázati tényezőire.

1962	A néma tavasz <i>The Silent Spring</i> (Rachel Carson) [1]	1970-es évek	Integrált növényvédelem (IPM) [7]
1978	A növényvédőszer-összeesküvés <i>The Pesticide Conspiracy</i> (Robert van der Bosch) [6]		
1979 és később	növényvédő szerek mint rákkeltő anyagok (Ames-teszt)	1997	Szennyezés, növényvédő szerek és a rák: téveszmék <i>Pollution, Pesticides and Cancer: Misconceptions</i> (Bruce Ames és Lois S. Gold) [10]
1987	Növényvédő szer figyelmeztető <i>The Pesticide Alert</i> (Lawry Mott és Karen Snyder) [8]	1980-as évek	Organikus mezőgazdaság, biotermesztés
1996	A növényvédő szerek és az immunrendszer <i>Pesticides and the Immune System</i> (Robert Repetto és Sanjay Baliga) [11]	1990-es évek	Fenntartható mezőgazdaság <i>Sustainable Agriculture</i> [5]
1996	Ellopott jövőnk <i>Our Stolen Future</i> (Theo Colborn, Dianne Dumanoski és John Peterson Myers) [12]		

Toxikológiai aggályok (*bal oldali oszlop*) és válaszok (*jobb oldali oszlop*) a növényvédő szerekkel kapcsolatban

Ökotoxikológiai problémák és a biodiverzitás zavarai a növényvédő szerek alkalmazása kapcsán

A hatvanas évek első figyelmeztető kiáltása, a Néma tavasz az ún. hagyományos vagy első generációs növényvédő szerek toxikus hatásaira s a bonyolult életközösségekben megjósolhatatlanul szerteágazó következményeire hívta fel a figyelmet [1]. Legfőbb célpontjai az idegműködés megzavarása révén ható rovarellenes szerek voltak. A könyv jószereivel egy évtizedig pozitív válasz nélkül maradt tudományos körökben — legfeljebb cáfolni próbálták érveit. Riasztó következtetéseiben valóban némileg túlzónak bizonyult, ebben azonban komoly szerepe volt annak, hogy érvrendszerét fokozatosan elfogadta a mezőgazdasági kutatás, s így a megjósolt katasztrófa elmaradt. Emellett a könyv érdeme, hogy nagyban hozzájárult a DDT és más klórozott szénhidrogén inszekticidek

forgalmának korlátozásához, egyes országokban e szerek betiltásához. Carson és követői számlájára kell írunk azonban azt a tény is, hogy teret nyitottak a kemofóbiának, a növényvédőszer-ellenes hangulatnak a közvéleményben. Jó-szerivel a Néma tavasz indította meg azt a folyamatot, amelyben a II. világháború után mezőgazdasági és közegészségügyi csodaszernek tekintett növényvédő szerek, melyek emberéletek millióit mentették meg, fokozatosan mérgekké lettek a közvélemény előtt, amelyekkel a vegyipari növényvédőszer-gyártók mérgeznek bennünket önnön profitjuk érdekében. S ilyen végletes hangokat nem csupán a laikus közvélemény szájából hallhatunk: *Robert van der Bosch*, a Kaliforniai Egyetem Berkeley campusának professzora 1978-ban kiadott könyvében, melynek címe *Növényvédőszer-összeesküvés*, a növényvédőszer-gyártó és -forgalmazó cégeket érdekszövetségbe tömörülő maffiaként írja le, amely behálózza az Egyesült Államok mezőgazdaságát, a jogalkotó és szabályozó állami testületeket, s a tudományos kutatást is [6].

A Néma tavasz és a hasonló hangú kiadványok erőteljes nyomása, az öko-toxikológiai és bioakkumulációs problémák, valamint a mezőgazdasági kártevők mind szélesebb körében mutatózó növényvédőszer-ellenállóság együttes hatására 1985-ig összeállították a betiltásra kerülő szerek listáját. Az ezen szereplő „piszkos tizenkettő” később tizennyolc hatóanyagra bővült. Ezzel párhuzamosan alternatív mezőgazdasági gyakorlatként kialakították az ún. integrált növényvédelem (Integrated Pest Management, IPM) módszertanát, mely döntően az alábbi elvekre épül [7,8]:

- Nem törekszik a kártevő-populáció teljes kipusztítására, csupán a kártétel szempontjából kritikus egyedszám alá igyekszik szorítani azt. A védekezést csupán bizonyos kártétel-szint felett indítja meg, egyben kártevőnként, klimatikus területenként és növénykultúránként definiálja e kritikus szinteket.
- Tekintetbe veszi a kártevők populációdinamikáját, melyet rendszeresen követ, monitoroz.
- A növényvédő szerek alkalmazását biológiai módszerekkel (pl. természetes ellenségek) kombinálja.
- Nem használ bioakkumulálódó (pl. a zsírszövetekben felhalmozódó) növényvédő szereket, kerüli az általános hatású növényvédő szerek (totál-herbicidek, idegméreg inszekticidek) alkalmazását, s a szelektív (pl. hormonális) hatású, célzott hatáshelyű növényvédő szer hatóanyagokat részesíti előnyben.
- Kerüli a széles körű permetezést, s a növényvédő szereket célzottan a kártétel helyére juttatja ki.

Az IPM gyakorlatnak köszönhetően visszaszorultak a durva környezet-szennyezési, illetve toxikológiai problémát okozó esetek, s az új növényvédő szerek fejlesztése egyértelműen a környezetkímélő hatóanyagok felé toldott el. Mindazonáltal korántsem jelentette azt, hogy megszűntek volna a növényvédő szerek káros mellékhatásai. Kijuttatásuk folytán a növényvédő szerek és maradékaik továbbra is bekerülnek a felszíni és ivóvizekbe, az élelmiszerekbe, tágabb értelemben a környezetbe. Bár a DDT, klordán, heptaklór, aldrin és dieldrin 1972—78 óta betiltott szerek az Amerikai Egyesült Államokban, egy 1983-as vizsgálat szerint szinte minden USA-állampolgárban ott található maradékai, és ez Magyarországon sincsen másképpen. (Annak ellenére, hogy

a DDT-t a világon elsőként Magyarország vonta ki a forgalomból 1968-ban, az Országos Élelmezés- és Táplálkozástudományi Intézet vizsgálatai 1976 és 1986 között szoptatós anyák anyatejében, illetve budapesti lakosok emberi zsírszövetében is kimutatta e hatóanyagot és metabolitjait.) A rendszeresen közzétett amerikai vizsgálat sorozat keretében 1987-ben legalább 20 káros mellékhatású növényvédő szert találtak talajvizekben, s e szermaradékok száma és mértéke annál nagyobb, minél erőteljesebb a mezőgazdaság (kémiai növényvédelem) az adott államban. S az is tény, hogy a világ inszekticid-felhasználásában mind a mai napig jelentős szerepet töltenek be a kolinerg rendszerek gátlásán alapuló készítmények (pl. *N*-metil-karbamátok), melyek — bár hatásukat fokozottan a rovarokra fejtik ki — potenciálisan minden idegrendszerrel bíró élőlényre hatással lehetnek.

Az IPM gyakorlattal párhuzamosan egy másik, erőteljesebben növényvédőszer-ellenes ágazat is létrejött, melyet az Egyesült Államokban szerencsétlen névvel organikus természetűnek neveztek el. Az organikus szó itt nem a szerves kémiai vegyületekre utal, hanem arra, hogy a módszer a természettel fenntartott szerves egyensúlyra törekszik, s a mesterséges növényvédő szereket számuhi eszköztárából. (A metódika másik elnevezése, a biotermesztés nem kevésbé szerencsétlen terminológia, hiszen növénytermesztésről lévén szó, aligha képzelhető el abiotikus természetű.) Az organikus természetű pozitív aspektusa, hogy kísérletet tesz a „természetidegen” természetű eszközök visszaszorítására, ugyanakkor belső ellentmondásai közé tartozik, hogy úgy tekinti, mintha a természetes eredet biztosíték lenne a káros mellékhatások kiküszöbölésére, különbséget tesz adott természetes vegyület és annak mesterségesen előállított természetazonos változata között, és — nem utolsósorban — mezőgazdasági módszerként nehezen megvalósítható.

A növényvédő szerek rákkeltő hatásai

A következő súlyos aggály a növényvédőszer-maradékok karcinogén, rákkeltő hatásaival kapcsolatban merült fel. Ez volt a másik súlyos aggodalom, amelyet a Néma tavasz is felvetett. Míg az élelmiszerek növényvédőszer-tartalma általános egészségügyi veszélyforrást jelent, e hatás még erőteljesebb a növényvédő szerekkel dolgozó, növényvédő szereknek fokozottan kitett mezőgazdasági munkások között. A krónikus, széles körű és kis dózisú növényvédő szereknek való többszörös kitettség kumulatív hatásait csak részben ismerjük. Az Egyesült Államok Országos Rákkutató Intézete (National Cancer Institute) 1987-es kimutatása szerint a herbicideknek kitett farmerek kockázati tényezője bizonyos rákbetegségekre (lymfóma és lágyszöveti szarkóma) a hatszorosa a normál populációénak. Hasonló hatás tapasztalható a leukémia és az általános rák-mortalitás terén is. Még ijesztőbbek egy szintén 1987-es vizsgálat eredményei, melyek szerint a gyermekkori leukémia kialakulási esélye hétszer nagyobb volt olyan gyermekek között, akik háztartási és kerti növényvédő szereket alkalmazó háztartásban nőttek fel, a növényvédő szereket nem alkalmazó háztartásokban nevelkedő gyermekekhez képest.

A karcinogén hatások kockázatbecslése nem csupán orvosi statisztikai értékelésekre épül, az ez irányú kutatásoknak nagy lökést adott egy *in vitro* vizsgálati módszer, az ún. Ames-teszt kifejlesztése 1973-ban. E bakteriális teszt

lényegében a kérdéses vegyület *mutagén* hatását vizsgálja, azzal a kiegészítéssel, hogy máj-homogenizátumot, így az emlős metabolizmus kulcsenzimeit is tartalmazza, vagyis miniatűr metabolikus rendszer. Az Ames-tesztben több száz ismert karcinogén vegyületet vizsgálva szoros korrelációt találtak a karcinogén és mutagén hatás között, így a továbbiakban minden új vegyület feketelistára került, ha az Ames-tesztben pozitívnak bizonyult [9]. Maga Ames igen szigorú szabályozást javasolt a mutagén vegyületek tekintetében: minden olyan anyag tiltását javasolta, amely bármilyen szervezetben mutagénnek bizonyult, s egyben ezen vegyület teljes betiltását is, hiszen egyetlen mutagén molekula is képes a mutáció beindítására. A figyelem újfent az ipari környezetszennyezők, s ezen belül is a növényvédőszer-maradékok felé fordult.

Amint a Néma tavasz esetében, úgy itt is erősen túlzónak bizonyultak a kezdeti riadalmak. A későbbiekben mélyrehatóbban sikerült megismerni a szervezet lehetséges védekező mechanizmusait a karcinogén vegyületekkel szemben, s egyes antikarcinogén vegyületeket (például A-vitamin, retinoidok, antioxidánsok), amelyek a metabolizmus megváltoztatása, az aktív karcinogén molekulagyökök befogása vagy azok kötődésének kompetitív gátlása révén biztosíthatnak védőhatást. Emellett fokozódó bizonytalanság mutatkozik az állati tesztekben észlelt karcinogén hatásoknak az emberre való vonatkoztatása terén is. A döntő hatást azonban, amely mintegy megfordította a mutagén vegyületek „hivatalos” megítélését, az jelentette, hogy egyes természetes vegyületek (például pszoraleének, brasszinooldok, kumarinok stb.), melyeket természetes étrendünkben nagyságrendekkel nagyobb mennyiségben fogyasztunk, mint a szervezetünkbe bejutó növényvédőszer-maradékok, erősebb mutagén hatást mutattak az Ames-tesztben az említett szermaradékoknál. Másfél évtized elteltével „Szennyezés, növényvédő szerek és a rák: téveszmék” c. dolgozatukban [10] Bruce Ames és Lois Gold rehabilitálják a növényvédő szereket, leszögezve, hogy „sem epidemiológiai, sem toxikológiai adatok nem támasztják alá azt a feltevést, hogy a szintetikus ipari vegyületek jelentős tényezők lennének az emberi rákbetegségben. [...] Bár egyes epidemiológiai vizsgálatok összefüggést találtak a rák és bizonyos kis dózisu ipari szennyezőanyagok között, ezen összefüggések rendszerint gyengék, az eredmények többnyire ellentmondóak, és e vizsgálatok nem alkalmasak táplálkozásban nagy mennyiségben jelen levő egyéb faktorok figyelembevételére. Emellett az e szintetikus szennyezőkkel való expozíció igen kicsiny, és aligha lehet hihető oksági faktor a rágcsőkon karcinogéneknek talált természetes vegyületek mellett.” Értékelésükben külön kitérnek a növényvédő szerek alkalmazásának kockázatára, és a szintetikus növényvédő szerekekkel kapcsolatos aggályokat túlzottnak ítélik. Mi több, úgy látják, a növényvédőszer-maradékok szintjének további csökkentése egyenesen káros a rákbetegség szempontjából: a növényvédőszer-mentesség feleslegesen megdrágítja a zöldségeket és gyümölcsöket, így a társadalom széles rétegei csak kisebb mennyiségben fogyaszthatják azokat, márpedig a zöldségekben és a gyümölcsökben juttatunk szervezetünkbe a legnagyobb mennyiségben antikarcinogén védővegyületeket. A DDT bioakkumulációjával kapcsolatos aggályokra is kitérve megjegyzi, hogy a DDT és metabolitja toxicitási és karcinogenitási tulajdonságaikra nézve ártalmatlanok, s a szer alkalmazása lényegesen több életet mentett meg annál, semhogy kételkedhetnénk az egykori alkalmazás ésszerűségében. S ha mindez nem elegendő érv, leszögezük, hogy a rákbeteg-

ségek elsődleges okai nem a növényvédő szerek és ipari környezetszennyezők, hanem (sorrendben) (1) a dohányzás, (2) a kiegyensúlyozatlan étrend (kevés zöldség és gyümölcs), (3) krónikus fertőzések (többnyire a fejlődő országokban) és (4) az életvitelből adódó hormonális tényezők.

Immunmoduláns hatású növényvédő szerek

Am alig látszik elülni a karcinogén-vita, a növényvédő szerek máris újabb viták kereszttüzeiben találják magukat. A korábban említett Robert Repetto, valamint *Sanjay Baliga* arra hívják fel a figyelmet, hogy egyes növényvédő szerek (melyek többnyire mára betiltott készítmények, de napjainkban is használatos szereket is találunk közöttük) károsan befolyásolják az állati és emberi immunrendszert [11]. Széles körű irodalmi áttekintésükben kimutatják, hogy különféle célzott immunológiai vizsgálatok száznál is több növényvédő szer hatóanyaggal kapcsolatban jeleztek indukált immunpatológiai, humorális, sejtszintű és nem-specifikus immunitási változásokat, zavarokat. Ennek alapján sürgetik, hogy az immuntoxikológiai tesztek fokozottan bekerüljenek a növényvédőszer-engedélyezési eljárásokban megkövetelt vizsgálatok körébe, s leszögezik, hogy ennek ügyében a Nemzetközi Erőforrások Intézete erőteljes lépésekre készül. Érvelésükben arra is figyelmeztetnek, hogy a fejlett országokban régóta korlátozott vagy betiltott növényvédő szereket a világ más területein — elsősorban a fejlődő országokban és a volt Szovjetunió utódállamaiban — napjainkban is alkalmaznak.

A következő fenyegetés: endogén zavarkelő hatások

1996-ban közzétett tanulmányukban, az *Ellopott jövőnk* c. könyvben [12] *Theo Colborn, Dianne Dumanoski és John Peterson Myers* azt állítják, hogy természeti esettanulmányok, laboratóriumi tesztek és humán vizsgálatok egyaránt alátámasztják, hogy egyes, az ember által előállított és kijuttatott mesterséges vegyületek, így bizonyos növényvédő szerek, nagyszámú állatfajban és az emberben is szexuális fejlődési és reprodukciós rendellenességeket okoznak. Ezen, a belső hormonháztartást befolyásoló (endocrine disrupting chemicals — EDC) vegyületek többnyire nem az expozíciónak kitett egyedekre, hanem embrionális korokban az utódokra fejtik ki hatásukat, mely hatások csupán később, azok kifejlett korában manifesztálódnak. Az EDC vegyületek — definíció szerint — azon szintetikus vagy természetesen előforduló anyagok, amelyek befolyásolják az állati és az emberi szervezetek normál hormonális működését. Hatástípusuktól függően ösztrogén, illetve androgén modulátorok osztályába csoportosítjuk őket, vagyis az ösztrogén és az androgén nemi hormonok hatását fejtik ki a szervezetre, vagy éppen fordítva, gátolják ezen hormonok működését.

A legelső szintetikus EDC vegyületek egyike a dietil-sztilbesztról volt, melyet 1948 és 1972 között terhes nők gyógyszeres terápiájában alkalmaztak a vetélések megelőzése céljából. A gyógyszerről később kiderült, hogy az utódokban rákos elváltozásokat, illetve genitális rendellenességeket okoztak. Hasonló hatásokat növényi eredetű természetes vegyületekről, így fitoszterolokról és izo-flavonoidokról is kimutattak. Hamarosan egy harmadik vegyületcsoport, az ún. környezeti endokrin faktorok csoportja is az ez irányú vizsgálatok közép-

pontjába került. Ezen EED vegyületek (Environmental Endocrine Disruptors) közé azon környezetszennyezőnek tekintett szintetikus vegyületeket soroljuk, melyek megzavarják a természetes hormonháztartást. Colborn és mtsai eredeti közleménye mintegy 50 feltételezett EED anyagot sorol fel, mely „hivatalos” lista 1996 óta 67 vegyületet ölel fel [13]. A mezőgazdaság, ezen belül a kémiai növényvédelem szempontjából ijesztő tény, hogy az említett 67 vegyület közül 47 növényvédő szer, illetve a növényvédő szerekkel kapcsolatos metabolit vagy elsődleges intermedier, és csupán kisebb hányad tartozik az általános szerves vegyületek, nehézfémek, illetve poliaromás szénhidrogének közé. E lista természetesen esetleges, mind a feltételezett hatások, mind pedig a vizsgálatok tárgykörébe vont vegyülettípusok tekintetében (mely utóbbi ez idáig korántsem kedvez a növényvédő szereknek, és egyben erősen terhelt az általános növényvédőszer-ellenes közvélemény politikai hatásaival). Minthogy napjainkban közel 600 engedélyezett növényvédő szert és több mint 80 ezer ipari vegyületet ismerünk, az EED vegyületek listája tovább fog bővülni, s így várható, hogy az agrokemikáliák megítélése is valamelyest realisabb keretek közé jut.

Az EED vegyületek vizsgálatának jelentős része ezen anyagoknak a természetes állatállományra kifejtett hatásaira, így egyes növényvédő szerek, poliklórozott bifenilek és poliklór-dibenzo-dioxinok által okozott születési rendellenességekre összpontosít, s az ez irányú vizsgálatokat vonatkoztatja az emberi szervezetre is, hangsúlyozva, hogy a táplálkozási láncon keresztül az ember (elsősorban is a csecsemők) az állatállományhoz képest akár tíz-hússzoros expozíciónak lehet kitéve. Bár e hatás így is a 4–12 ppt (part per trillion), vagyis igen alacsony koncentrációtartományba esik, a hatást fokozhatja a bioakkumuláció, illetve biomagnifikáció jelensége, vagyis a kérdéses vegyületek felhalmozódása egyes szervezetekben: az egyszer bekerült perzisztens anyagok hosszú időtartamokra ezen szervezetek szöveteiben (elsősorban zsírszöveteiben) raktározódhatnak, mielőtt lebomlanának. A hormonális hatások erőssége nagy mértékben függ az (emberi vagy állati) alany fajtától, életkorától és nemétől, s e tekintetben az embriók, illetve a csecsemők fokozott károsodást szenvedhetnek. A korai életszakaszokban kifejtett hormonális hatások pedig visszafordíthatatlan következményekkel járhatnak.

A kimutatások szerint a legjelentősebb expozíció a szennyezett halfélék fogyasztásából adódik. S ne felejtjük el, hogy mindez az anya esetében a terhességet megelőző teljes életében a szervezetébe jutott szennyezőkre vonatkozik. Az ösztrogén agonisták, illetve androgén antagonisták hatásának emellett természetesen az apák (illetve him állategyedek) is ki vannak téve.

A környezetszennyező vegyületek endokrin zavaró hatásait öt csoportra osztják:

- Bizonyos környezetszennyező vegyületek kellőképpen hasonlóak egyes hormonokhoz ahhoz, hogy kölcsönhatásba lépjenek a természetes hormonok sejt szintű receptoraival.
- Más vegyületek gátló hatást fejtenek ki ugyanezen sejtreceptorokon.
- Egyes vegyületek számfeletti, abnormális hormonreceptorok kialakulását indukálják a sejtekben.
- Bizonyos szennyezőanyagok közvetlen vagy közvetett (nem receptor szintű) úton befolyásolják a természetes hormonok hatásait.
- Megint más anyagok megzavarhatják a természetes hormon-bioszintézist, így abnormális hormonegyensúlyt kiváltva.

Emellett nem elhanyagolható a környezetszennyező vegyületek által az enzimegyensúlyra (elsősorban a többfunkciós oxidáz enzimekre) kifejtett hatás sem, mely a hormonok természetes lebontásában játszik szerepet.

Meg kell jegyezni, hogy hasonló hím sterilítási, illetve reprodukciós rendellenességeket nem csupán bizonyos növényvédő szerek és ipari környezetszennyezők, de egyes gombás eredetű toxinokról (mikotoxinokról) is kimutattak, amely hatás nem elsősorban humán toxikológiai zavarokat vetett fel, de jelentős problémákat okozott az állattartásban és -tenyésztésben. S a kérdést tovább súlyosbitja, hogy egyes szexuális hormonhatásokat rákkeltő hatásokkal (nem meglepő módon az emlőrákkal), immunrendellenességekkel, illetve a belső elválasztású (főként a tiroid hormonokat termelő) mirigyek működésével is összefüggésbe hoztak.

Erősen vélelmezhető, hogy az endokrin zavaró vegyületekkel kapcsolatos aggályok is túlzóak — ám nem hagyhatók figyelmen kívül. Ames és Gold korábban említett tanulmányában [10] szintén úgy vélekedik, hogy feltehetőleg az endokrin zavaró vegyületek válnak az ezredforduló legjelentősebb környezeti problémájává, s véleményük szerint a helyzetet tovább súlyosbitja, hogy a hormonális tényezők a rákbetegség kialakulásában is jelentős szerepet kaphatnak. Ugyanakkor — a rákkeltő hatások kockázatbecslésével kapcsolatos érvelésükhöz hasonlóan — rámutatnak, hogy normál étrendünkben nagyszámú olyan természetes vegyületet fogyasztunk, amelyeknek ösztrogénhatása több milliószorosa az EED növényvédő szerekének. Bár a fent említett hatások zöme a legtöbb, az EED vegyületek adatbázisában szereplő kémiai anyagok esetében csupán feltételezett hatásként szerepel, a jövőben várhatólag súlyt kap majd a növényvédő szerek toxikológiai és közvélemény-szintű megítélésében, s akár az engedélyezési eljárásokban is.

Az Amerikai Egyesült Államokban — a teszt szabványosítását meg sem várva — az EDC vizsgálatokat máris bevezették a növényvédőszer-hatóanyagok engedélyeztetési eljárásában. Az Európai Unió tagországai várhatóan 2000-ben teszik kötelezővé e teszteket.

Epilógus

Amint láthattuk tehát, a növényvédő szerek környezeti kockázatainak megítélése újabb s újabb mellékhatások felbukkanásának, az ezzel kapcsolatos fokozott aggodalmak, majd szabályozási módosítások folyamatos története. Fejlődés ez vagy egyre fokozódó pusztítás? A kérdés nehezen ítélnél meg elfogultság nélkül. A kutatás igyekszik lépést tartani a feltárt ökotoxikológiai problémákkal, azonban nem képes megelőzni azokat, és egyetlen növényvédő szer sem született, melynek káros mellékhatásaira számított volna a tudomány, s az eredeti alkalmazás környezeti és emberi kockázatainak mérlegelésekor a mellékhatásokat eleve tekintetbe vehette volna. A hatóanyag-fejlesztés tehát defenzív: nem képes arra, hogy előre meglássa a toxikológiai problémákat, de válaszol rájuk, ha azok fellépnek.

Mi hát a válasz a Rousseau-tól kölcsönzött, aktualizált kérdésre? Ökotoxikológiai értelemben romlik-e vagy javul a növényvédő szerek alkalmazása folytán kialakuló helyzet? Egyrészt egyértelműen javul, hiszen kétségbevonhatatlan tény, hogy a mind újabb növényvédő szer hatóanyagok mind környezetkimélőbb hatásúak: a fejlesztés rostáján egyre kevesebb hatóanyag-jelölt marad fent,

hiszen egyre fokozódó elvárásoknak kell eleget tenniük. Ijesztő azonban arra gondolni, hogy az újonnan feltárt toxikológiai problémák egyre összetettebbek, egyre mélyebb gyökerűek, s így a potenciális környezet-, illetve egészségkárosítások nyomán — ha fellépnek — egyre nehezebben állítható vissza a „háborítatlan” állapot.

Személyes véleményemben mindazonáltal egyértelműen az igenlő válaszra hajlom: *igen, a tudomány eredményei javítják a környezettel fenntartott viszonyunkat*. A legfőbb érv emellett az, hogy a tudomány e kérdéskörben nem a probléma forrása, hanem eszköz a megoldáshoz. A növényvédő szereket nem alapvetően tudományos, hanem gazdasági cézzal alkalmazzuk, s így gazdasági tényezők alapján mérlegeljük alkalmazásuk hasznos vagy haszontalan voltát is. A tudományos fejlesztés eredménye, hogy a növényvédő szerek (így kedvező hatásaik is) létrejöhetnek, s a tudomány feladata az is, hogy a káros hatásokat elfogulatlanul feltárja. Ezek ismeretében pedig a gazdaság, illetve a közigazgatás feladata, hogy a károsnak bizonyuló anyagokat — szigorú következettséggel, s az elmaradt haszon miatt el nem bizonyítalanodva — forgalmukban korlátozza vagy szükség esetén betiltsa.

A helyzet teret ad a polarizálódásnak, és annak, hogy az érzelmek belopóddzanak a tudományos megítélésbe is. Márpedig a tudományos megismerés legnagyobb ereje éppen önnön objektivitása, elfogulatlansága kell, hogy legyen. Ennek fenntartása mindannyiunk fokozott felelőssége, hogy munkánk szerepét ne rousseau-i borúlátással ítélje meg a társadalom.

„Mennyi veszély, mennyi tévút keresztezi a tudományos vizsgálódást! Mennyi tévedésen kell átvágni magunkat, míg az igazsághoz eljutunk! És mind ezerszer veszedelmesebb, mint amennyire hasznos az igazság.”[14]

Köszönetnyilvánítás

A szerző megköszöni *Darvas Béla* értékes és inspiráló megjegyzéseit a kézirattal kapcsolatban, valamint az EC INCO-Copernicus kutatási projekt (ERBIC15CT960802) pénzügyi támogatását.

IRODALOM:

- 1 Carson, R., *The Silent Spring* (Houghton Mifflin Co, Boston, 1962)
- 2 Borlaug, N.E., *Mankind and Civilization at Another Crossroad* (FAO, 1971)
- 3 Repetto, R., *Accounting for environmental assets*, *Sci. Amer.*, 266, 94—101, (1992)
- 4 Repetto, R., *Paying the Price: Pesticide Subsidies in Developing Countries* (World Resources Institute, Washington DC, 1985)
- 5 Francis, C.A., *Flora, C.B.* and *King, L.D.*, *Sustainable Agriculture in Temperature Zones* (J. Wiley and Sons, Inc, New York, 1990)
- 6 van der Bosch, R., *The Pesticide Conspiracy* (Doubleday Co, New York, 1978)
- 7 *US National Academy of Sciences*, *Insect-pest Management and Control*, *Principles of Plant and Animal Pest Control* (National Academy of Sciences, Washington DC, 1969)
- 8 Mott, L. and Snyder, K., *Pesticide Alert* (Natural Resources Defense Council, San Francisco, 1987)
- 9 Efron, E., *The Apocalypitics: How Environmental Politics Controls What We Know About Cancer* (Simon & Schuster, 1984)
- 10 Ames, B. and Gold, L.S., *Pollution, Pesticides and Cancer: Misconceptions* (US Senate, 1997)
- 11 Repetto, R. and Baliga, S., *Pesticides and the Immune System* (World Resources Institute, Washington DC, 1996)
- 12 Colborn, T., Dumanoski, D. and Peterson Myers, J., *Our Stolen Future* (Dutton, New York, 1996)
- 13 Keith, L.H., *Environmental Endocrine Disruptors* (Wiley, New York, 1997)
- 14 Rousseau, J.J., *Javitott-e az erkölcsökön a tudományok és a művészetek újraéledése? Értekezések és filozófiai levelek*, 24. o. (ford. Kis János, Magyar Helikon, 1978)