

Nagy Rudolf¹ 

Szerves foszforsavészter-alapú idegmérgek a növényvédelemben

Organic Phosphoric Acid Ester Based Neurotoxins in Plant Protection

A vegyi fegyverek és a növényvédőszeresek kapcsolata évezredekre nyúlik vissza. A halászó és vadászó elődeink is alkalmazták már a természetes növényi mérgeket, amelyeket a növények a kártevőkkel szembeni védelemre termelnek. A kémiai tudományok fejlődésével a modern értelemben vett és szintetikus előállított növényvédőszeresek is többnyire ezeknek az anyagoknak a hatásmechanizmusát kívánták lemásolni. Az e célból végzett kísérletek eredményei vezettek el a mérgező harcanyagok egyik legtoxikusabb válfajának, a szerves foszforsavészter-típusú idegmérgek katonai arzenálban való megjelenéséhez. Mára már az e kategóriába sorolt növényvédőszer-készítményeknek nemcsak a kémiai biztonság vagy a közegészségügy oldaláról kell figyelmet szentelni, de a közbiztonságra gyakorolt veszélyességük is felmerül. E cikkben a szerző a rovarirtó szerként a mezőgazdaságban is csak korlátozottan alkalmazható ezen idegmérgek felhasználásának biztonságát érintő részleteket ismerteti.

Kulcsszavak: idegméreg, szerves foszforsavészter, kockázat, veszély, biztonság

The relationship between chemical weapons and pesticides dates back thousands of years. Our fishing and hunting ancestors have already used natural plant poisons, which are actually produced in plant organisms to protect them from pests. With the development of chemistry, plant protection products in the modern sense and synthetically produced pesticides have mostly wanted to replicate the mechanism of action of these substances. The results of the experiments led to the appearance of one of the most toxic chemical warfare agents, organophosphoric acid ester type neurotoxins in the military arsenal. Today, plant protection products in this category not only need to be considered from a chemical safety or public health perspective, but also from

¹ Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, e-mail: nagy.rudolf@uni-obuda.hu

a public safety aspect. In this article, the author describes details concerning the safety of the use of these neurotoxins, which have limited use as insecticides in agriculture.

Keywords: nerve agent, organophosphorus ester, risk, hazard, safety

1. Bevezetés

A növényvédő szerek iránti igény egyidős a mezőgazdaság megjelenésével. Az ókori növénytermesztés időszakából már vannak feljegyzések, amelyben például a rovarok elleni küzdelemhez a dalmát krizantém (*Chrysanthemum cinerariaefolium*) virágának porát javasolják használni. Az abban található piretrin természetes eredetű rovarirtó szer. Biológiai hatékonyságukat kontaktméregként fejtik ki. A szerves foszforsavészterhez (SZFÉ) hasonlóan a rovar idegrendszerének működésében idéz elő zavart. Gátolja az ingerületvezetést, az ideg–izom kapcsolatokban megakadályozza a jelátvitelt, és így a mérgezett egyed mozgásképtelenné válik.²

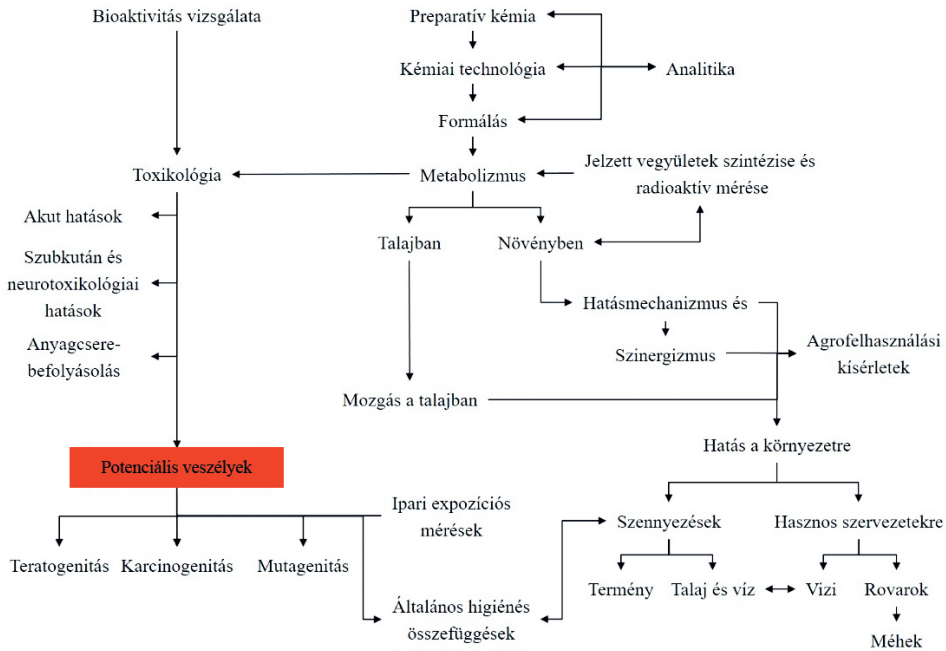
A kemizáció megjelenésével a természetes hatóanyagok mellett a kezdeti véletleneknek köszönhetően felfedezett új vegyületek megjelenését a már tudatosan megtervezett fejlesztések követték. A peszticidkutatás eredményeként állították elő a biológiailag aktív inszekticideket. A modern kémiai növényvédelem számára mesterségesen szintetizált vegyületek mára széles körű alkalmazást nyertek a mezőgazdaságban. Emellett viszont sok olyan problémára derült fény, amely jelezte, hogy ezen anyagok alkalmazása a környezeti egyensúlyt és az emberi egészséget, életet is súlyosan veszélyeztetheti. Az említett érvek, valamint a mind hatékonyabb vegyületek indokoltá tették a növényvédő szerek hatásának alaposabb vizsgálatát. A mai hatóanyagok lényegesen célzottabb hatásúak, ezért biztonságosabbak. Ennek igazolása során a hatóanyagok szigorú követelményeket felvonultató vizsgálatokon mennek át. Ez a folyamat több tudományág összehangolt erőfeszítéseit igényli, amelynek részeként már a vegyület fejlesztésének megtervezése során be kell építeni az alkalmazás lehetséges veszélyeinek feltérképezését szolgáló vizsgálatokat, mint ahogyan azt az 1. ábra is szemlélteti.³

A vizsgálatok eredményével összhangban az engedélyezési eljárás során megállapítják a növényvédő szer hatásaival szemben hatékony védelmet garantáló egyéni védőeszközöket (EVE) is. E hatások mellett figyelmet kell fordítani a mezőgazdasági növényvédelmi munkák során meghatározó módon jelentkező, a viselő és a környezet közti hőcsere okozta hatásokra is, mivel az EVE hőszigeteléssel és párazárással akadályozza azt. Ilyenkor a hőigénybevétel minimalizálása érdekében az ergonómiai elveknek megfelelően kell a védőeszköz használati időtartamát és a környezeti tényezőket figyelembe venni.⁴

² В. А. Зинченко: *Химическая защита растений, средства, технология и экологическая безопасность, учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений*. Москва, КолосС, 2012. 5.

³ György Matolcsy et al.: *Pesticide Chemistry*. Budapest, Akadémiai Kiadó, 1988. 2.

⁴ Szabó Gyula: *A fizikai munkavégzés ergonómiája*. Budapest, Óbudai Egyetem, 2012. 137.



1. ábra: Egy peszticidkutatás folyamatábrája

Forrás: Bánki László et al: Egy peszticid kifejlesztése mint komplex tudományos feladat – A Budapesti Vegyiművek BUVINOL herbicidjével kapcsolatos kutatások. Budapest, Medicina Könyvkiadó, 1976. 28.

2. A foszforsavészter típusú rovarölő szerek jellemzése és hatásmechanizmusa

2.1. Alapvetések

A vegyi anyagok alkalmazása több tekintetben is hordozhat magában kockázatokat. Jelenthetnek veszélyt a környezetre, előidézhetnek tűz- és robbanásveszélyt, illetőleg egészségkárosító hatásúak is lehetnek. Mindezek egy-egy kémiai anyag kapcsán akár egyidejűleg is jelentkezhetnek.⁵

A mezőgazdaságban alkalmazott anyagok igen széles spektrumát fogják át a kémiai vegyületeknek, amelyek anyagi jellemzői között a kémiai biztonság szempontjából veszélyesnek minősítendő tulajdonságok ugyancsak jelen lehetnek. Így például a növényi szervezetek által vízdoldható formában felvehető szervesetlen vegyületeket a talajjavítás céljait szolgáló műtrágyák képviselik, ezek egyike a robbanásveszélyes ammónium-nitrát (NH_4NO_3).

⁵ Bellovicz Gyula: *Munkavédelem*. Egyetemi jegyzet. Győr, Széchenyi István Egyetem, 2014. 65.

Az előzőkénél összetettebb kémiai vegyületcsoportokhoz tartozó szerves vegyületeket főként a kártevők, azaz a nemkívánatos mikroorganizmusok, növények és állatok ellen folytatott küzdelemben peszticidekként használják fel.⁶ Az agrotechnikában alkalmazott vegyszeres növényvédelemben a kultúrnövényeket károsító kártevők, kórokozók és terméshozam-csökkenést eredményező gyomnövények ellen különféle növényvédő szereket⁷ használnak fel.⁸

A növényvédő szerek célszervezetek alapján való felosztása szerint megkülönböztethetünk vírusellenes (*virucid*), baktériumölő (*baktericid*), gombaölő (*fungicid*), gyomirtó (*herbicid*) és az állati kártevők elleni (*zoocid*), valamint riasztó (*repelens*) és csalogató (*attraktáns*) szereket.⁹

Az állati kártevők elleni védekezésre szolgáló szerek sorában atkaölőket (*akaricid*), rovarölőket (*inszekticid*), rágcsálóirtókat (*rodenticid*) stb. találunk. A növényvédelemben használt szerek hatékonysága sok tényezőtől tevődik össze. Az egyik meghatározó, a kártételt előidéző szervezetre kémiaiilag hatásos komponens a hatóanyag.¹⁰ A szerek hatóanyagait képező vegyületek kémiaiilag is igen sokfélék.

2.2. A kémiai hatóanyag azonosítása

A növényvédő szerek hatóanyagainak jellemzésére egy-egy a vegyületben található funkciócsoport vagy kémiai elem szolgál, amelyek a teljesség igénye nélkül a következők lehetnek:

- karbamátok;
- tiokarbamátok;
- fenoxi-ecetsav származékok;
- piretroidok;
- piridilszármazékok;
- triazinszármazékok;
- klór-nitrofenol származékok;
- szerves klórvegyületek;
- szerves higanyvegyületek;
- szerves ónvegyületek;
- szerves foszforvegyületek stb.¹¹

⁶ *Химическая Энциклопедия, в пяти томах.* (1995), 8 (т. 3) 994.

⁷ Növényvédő szer minden olyan anyag vagy anyagkeverék, amelyet bármely kártevő megelőzésére, elpusztítására, elriasztására vagy populációjának visszaszorítására szánunk, valamint minden olyan anyag vagy anyagkeverék, amely a növények életfolyamatainak szabályozására alkalmas. Robert I. Krieger et al: *Assessing Exposures and Reducing Risks to People from the Use of Pesticides.* Washington, DC, American Chemical Society, 2007. 2.

⁸ Walz Géza (szerk.): *Munkavédelem a mezőgazdaságban, az erdőgazdaságban, a faiparban és az élelmiszeriparban.* Budapest, Mezőgazdasági Kiadó, 1979. 395.

⁹ Горица Цвијановић – Слађана Савић: *Заштита екосистема и биоремедијација.* Београд, Институт за Економику Пољопривреде, 2016. 45.

¹⁰ Shirley A. Briggs: *Basic Guide to Pesticides. Their Characteristics and Hazards.* Washington, DC, Taylor & Francis, 2017. 3.

¹¹ Fökl Rezső (szerk.): *Munkaegészségügyi és Munkavédelmi Enciklopédia.* 2. kötet. Budapest, Országos Műszaki Információs Központ, 1987. 2022.

Utóbbiak legismertebb képviselői a szerves foszforsavból származtatható vegyületek, amelyek aktív biológiai hatására kiterjedt katonai kutatások során derült fény. Innen eredően a jelen tanulmány tekintetében, tehát mint nagy hatékonyságú vegyületek, elsődleges figyelmet érdemlők a növényvédelmi célokra alkalmazás oldaláról is. Köszönhetően ennek, a továbbiakban részletes vizsgálat alá vesszük növényvédelmi alkalmazásuk sajátosságait.

E vegyi anyagok csoportjának megjelenése szorosan összefonódik a Leverkuseni I. G. Farbenindustrie németországi konzern központi tudományos kutatólaboratóriumát 1934-ben vezető G. Schröder nevével. Effektív inszekticidek keresése közben egyes foszfortartalmú vegyületek magas toxicitását fedezte fel. A vizsgálatok során rendkívül toxikusnak mutatkoztak a foszforsav fluoranhidridjei. G. Schröder erőfeszítéseit kizárólag a szerves foszforvegyületek kutatására összpontosította. A II. világháború elejére G. Schröder laboratóriumának munkatársai több mint 2000 új szerves foszfor- és foszfortartalmú vegyületet állítottak elő, amelyek közül jó néhányat vizsgáltak részletesen. Az 1950-es években folytatódó kutatások során a brit Imperial Chemical Industries konzern és a német Bayern A. G. cég laboratóriumaiban ezeket tovább fejlesztve foszforil-kolinoknak és foszforil-tiokolinoknak elnevezett szerves foszforvegyületeket szintetizáltak a növényvédelem céljaira.¹²

A vegyszeres növényvédelem szabályrendszerében a szerves foszforsavészterek felhasználásához kötődő kezelési előírások meghatározó szerepet töltenek be. Ezt igazolják fizikai és kémiai tulajdonságaik és biokémiai reakcióik.

2.3. Fizikai tulajdonságok

A mezőgazdaságban alkalmazott szerves foszforsavészter típusú vegyületek fizikai tulajdonságaikat tekintve meglehetősen változatosak. Azonban a bennük gyakran megtalálható oxigén, nitrogén, kén és halogén atomok, valamint viszonylag gyakran hosszabb szénláncú vagy aromás gyűrűt tartalmazó szerves csoportok jelenléte miatt, molekulatömegük meglehetősen nagy a szerves vegyületekhez képest. Ebből adódik, hogy szobahőmérsékleten képviselői 300 °C alatti tartományba eső forráspontú folyadékok vagy alacsony olvadáspontú szilárd, kristályos halmazállapotú anyagok. A forráspontjukra melegítve gyakran szenvednek részleges hőbomlást. Illékonyaságuk gyakran komoly veszélyt jelent alkalmazásuk során. Sűrűségük nagyságrendileg a vízhez közelítő a 2,0 mg/cm³-hez közel eső értékekig változik.¹³

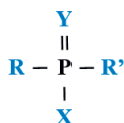
Oldékonyságukat tekintve e vegyületekben fellelhető parciális töltések mértékétől és a funkciócsoportok méretétől függően a vízzel képesek lehetnek korlátozottan elegyedni, de többségük csak szerves oldószerekben oldódik jól. Az alkilmerkaptó-csoportot tartalmazók jellegzetes, kellemetlen szagú vegyületek. Porózus, különösen szerves anyagokon, így szöveteken, szőrzeten, farostban jól abszorbeálódnak. Némelyek festett felületekben és gumi termékekben vagy a bőrön keresztül felszívódhatnak.

¹² Graham A. Matthews: *A History of Pesticides*. Boston, CABI, 2018. 12.

¹³ Leo M. L. Nollet – Hamir S. Rathore: *Handbook of Pesticides: Methods of Pesticide Residues Analysis*. Boca Raton, CRC Press, 2010. 412.

2.4. Általános kémiai jellemzés

Az inszekticidok jelen tanulmányban vizsgált csoportjába soroljuk az alábbi általános képlettel (2. ábra) rendelkező vegyületeket.



2. ábra: Foszfon és foszforsavészterek általános szerkezeti képlete

Forrás: Timothy C. Marrs – Bryan Ballantyne (szerk.): *Pesticide Toxicology and International Regulation*. Hoboken, John Wiley & Sons, 2004. 98.

ahol:

R – alkil-, alkiloxi- vagy alkilmerkaptó- funkciós csoport stb.;

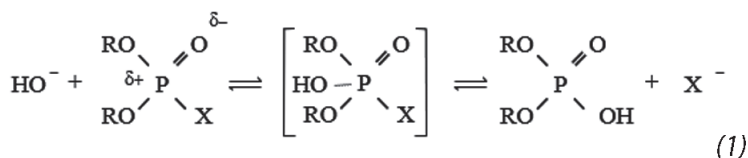
R' – alkil-, alkiloxi- vagy aminocsoport nitrogénjén helyettesített alkilcsoport stb.;

X – lehetnek aciloxi-, dialkilamino-, alkilmerkaptó-, nitrofenoxi-csoportok, helyettesített foszforsavmaradék, halogénezett aromás, illetve heterociklikus stb.;

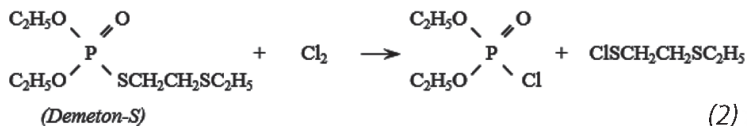
Y – O, S.

2.5. Kémiai reakciók

Annak ellenére, hogy több reakcióképes centrummal is rendelkeznek, ezek a vegyületek kémiailag stabilak. A szerkezeti szempontból központi elemnek tekinthető foszforatom elektronszegény sajátossága lehetőséget biztosít e vegyületeknek kölcsönhatásba lépni negatívan polarizált reagensekkel, mint azt az (1) reakcióegyenlet¹⁴ is példázza.



A legkevésbé erős a molekulán belül a gyakorta megtalálható merkaptokapcsolatot képező foszfor–kén, illetve az oxigénnel létesített észterkötés. Ezért a foszforsavészterek reakciói alapvetően e kötések felhasadásával mennek végbe, ahogyan az az alábbi (2) egyenlet szerinti, a szerves oldószeres közegben lezajló klórral való kölcsönhatásból is kitéjük.¹⁵

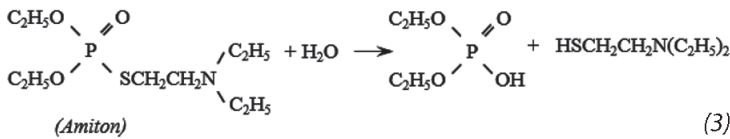


¹⁴ Patrick J. Murphy (szerk.): *Organophosphorus Reagents. A Practical Approach in Chemistry*. Oxford, Oxford University Press, 2004. 173.

¹⁵ Halász László – Nagy Károly: *Mérgező anyagok kémiája*. Egyetemi jegyzet. Budapest, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, 2000. 51.

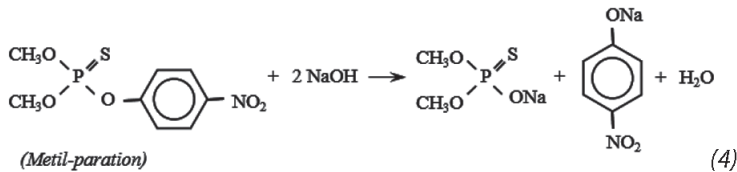
2.5.1. Hidrolízis

A hidrolízis az egyik olyan reakció, amelynek fontos szerepe van a szerves foszforsavészterek természetes úton való lebomlásában a metabolizmus mellett. A nem vízdékony – jellemzően nagy molekulatömegű szerves funkciócsoportokat tartalmazó – válfajai nagyon ellenállóak a víz hatását tekintve. Környezeti hőmérsékleten a hidrolízis megindulását csak órák elteltével konstatálhatjuk. Néhány vízzel jól elegyedő változatnál ellenben a bomlási reakció semleges közegben is viszonylag gyorsan végbemegy nem mérgező termékek keletkezése közben. A hidrolízist főképpen az elektrofil centrumot tartalmazó funkciócsoport lehasadása kíséri.



Erősen lúgos közegben (pH > 10) már lehetséges az észterkötések hasadása is.¹⁶

Savas közegben a lúgos pH-hoz viszonyítva lassabb hidrolízis tapasztalható. Ezt jelzi a Demeton-S felezési idejét mutató 1. táblázat.



1. táblázat: A Demeton-S hidrolízise felezési idejének és a közeg pH-jának összefüggése

Felezési idő	pH				
	1	3	5	7	9
$t_{1/2}$ (óra)	28	10	10	8,5	4,2

Forrás: Halász–Nagy (2000): i. m. 55.

Azonban a savas közeg az egyéb degradációt eredményező folyamatok, mint például a szerves foszforsavészterek fotolízisének felgyorsulását is eredményezhetik, ahogyan azt a huminsav¹⁷ és vegyületeinek organofoszfátokra gyakorolt hatásainak vizsgálatával foglalkozó kutatások is kimutatták.¹⁸ A Tammelin¹⁹-észterek esetében azonban savas közegben (pH 2-3) önmagában is gyorsabban zajlik le a hidrolízis, bár ez is csak napokban mérhető. A jelenség magyarázatának

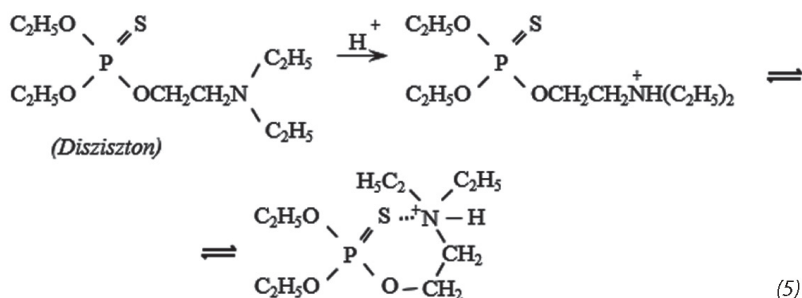
¹⁶ Vásárhelyi Györgyi – Földi László: Vegyifegyver megsemmisítési technológiák. *Hadmérnök*, 2. (2007), 4. 55.

¹⁷ Elhalt növényi és állati szervezetek lebomlása és termőtalajjá alakulása során képződő bonyolult összetételű szerves sav. *Химическая Энциклопедия, в пяти томах*. Москва, Издательства Большая Российская Энциклопедия 1988. т. 1, 1212.

¹⁸ Mamoru Kamiya – Katsura Kameyama: Photochemical Effects of Humic Substances on the Degradation of Organophosphorus Pesticides. *Chemosphere*, 36. (1998), 10. 2337–2344.

¹⁹ Tammelin svéd vegyész vezette kutatócsoport által az ötvenes években előállított tercier aminokat tartalmazó vegyületek elnevezése.

tartják, hogy az aminocsoportban található pozitív töltésű ágens magához vonzza a foszforil oxigén, illetve a foszfortioát kénatomjának elektronjait, amely maga után vonja a foszfor részleges pozitív töltésének növekedését, ahogyan azt az (5) egyenlet szemlélteti.²⁰

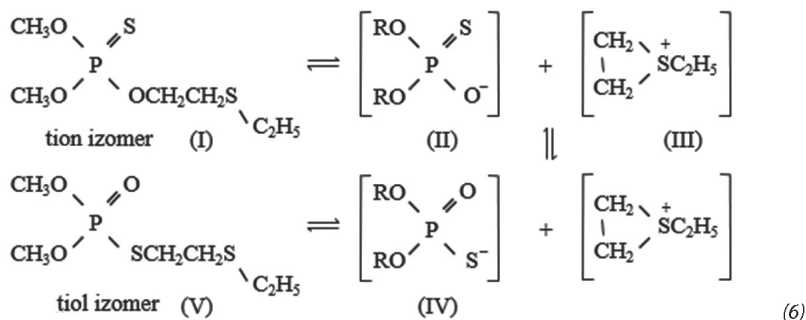


2.5.2. Izomerizáció

A szerves foszforsavészterek izomériája több aspektusból is lényeges tényező, amely nemcsak az adott vegyületek fizikai tulajdonságaira van kihatással, hanem nem egy esetben kémiai is új sajátosságokkal ruházta fel a kölcsönhatásban reakciópartnerként jelen lévő molekulákat. Ezek egyes esetekben csak reakciókinetikai módosulásokat jelentenek, míg máskor eredményezhetnek teljesen eltérő termékekhez vezető vegyi folyamatokat is.

Szerkezeti izoméria

Némely szerves foszforsavészterek belső strukturális felépítésüknek köszönhetően képesek spontán szerkezeti átrendeződésre, ahogyan azt a (6) Demeton-S reakcióegyenletéből is láthatjuk.



Bizonyos tényezők a szerkezeti átrendeződést elősegíthetik. Így például a tárolás vagy reakció-tér közegeként szolgáló oldószerek is közrehatnak ebben, amint azt a 2. táblázat is mutatja. Ez lényeges lehet a vizsgált növényvédőszer termékként való forgalmazása során alkalmazott elegyek komponenseinek kiválasztásánál.

²⁰ В. Н. Александров – В. И. Емельянов: *Отравляющие вещества*. Москва, Военное издательство, 1990. 103.

2. táblázat: A tiolváltozat izomerizációs foka 39 nap elteltével

Oldószer	Izomer aránya (%)
benzol	4,1
etilacetát	4,3
dioxán	4,8
oldószer nélkül	6,0
metil-etilbeton	8,6
kloroform	23,5
etanol	56

Forrás: T. Roy Fukuto – R. L. Metcalf: Isomerization of β -Ethylmercaptoethyl Diethyl Thionophosphate (Systox). *Journal of the American Chemical Society*, 76. (1954), 20. 5103–5106.

Optikai izoméria

A foszfor egy másik sajátos tulajdonsága, hogy viszonylag jelentős számú vegyértékelektronjainak köszönhetően képes több atommal is kötést létesíteni vegyületeiben. Köszönhetően ennek, a szerves foszforsavészterek tekintetében a kapcsolódó 4 ligandum elhelyezkedése egy tetraéder jellegű szerkezetet ad, amelynek súlypontjában helyezkedik el a központi foszfortom. Ennek következtében a kialakuló kémiai kötésekben az atomok egymáshoz viszonyított elrendeződése okozta szimmetriatengelyeinek térbeli geometriáját figyelembe véve a szénvegyületeknél jól ismert izomerek képződhetnek. Így az anyaggal kölcsönhatásba lépő fény polarizációs síkja is megváltozik.

Ezek az öt vegyértékű szerves foszforsavészter típusú növényvédő szerek molekuláinak esetében csakúgy, mint az élő szervezetekben található más hasonló szerkezetű szerves foszfortartalmú molekulák vonatkozásában jelentős biológiai aktivitásbeli eltéréseket generálnak, amint azt a kutatások²¹ is alátámasztják.

2.5.3. Fotolízis²²

A kémiai vegyületek fényvel való kölcsönhatásának képessége régóta ismert. Mint azt a növényi fotoszintézissel kapcsolatos tanulmányainkból elsajátíthattuk, e biokémiai folyamat egyszerű szerves vegyületekből képes szerves makromolekulákat létrehozni. Az átalakulás folyamatában a növényi sejten belül megtalálható szerves vegyületek és a fénysugárzás elemi összetevői, a fotonok kölcsönhatásának eredményeként valósulhat meg. Minthogy a spektrumban megtalálható egyes, például az UV-tartományba tartozó fotonok akár jelentős energiát is képviselhetnek, ezért az egyes, az SZFÉ-kben lévő atomok közötti kötések átrendeződését is kiválthatják. Az ilyen formán bekövetkező direkt fotolízis természetesen a szerves foszforsavészterek esetében is megvalósulhat, amelyek így stabil kémiai állapotukból magasabb

²¹ Herbert S. Aaron et al.: The Stereochemistry of Asymmetric Phosphorus Compounds. 11. Stereospecificity in the Irreversible Inactivation of Cholinesterases by the Enantiomorphs of an Organophosphorus Inhibitor. *Journal of the American Chemical Society*, 1958. 456.

²² A fotolízis a kémiai kötések felbomlását jelenti a fotonmolekulában való elnyelődésének hatására. *Химическая Энциклопедия в пяти томах* (1998): i. m. (т. 5) 333.

energiaállapotba kerülve részleges bomlást szenvedhetnek. Az így megvalósuló degradáció a mezőgazdasági növényvédelemben alkalmazott organofoszfát növényvédő szerek teljes lebomlásához nem elegendő.

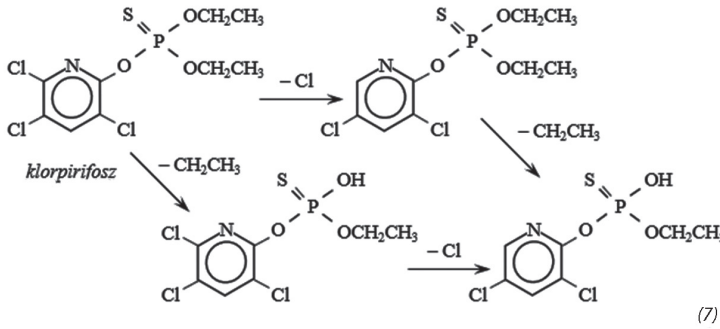
A fotolízis általában csak az anyag primer degradációját eredményezi. Bár aszerint, hogy az SZFÉ-k milyen szerkezeti eltéréseket mutatnak, az esődleges bomlási folyamataikban kialakuló kémiai struktúrák tekintetében ugyancsak eltérő primer bomlástermékekhez vezetnek. Az így kialakuló vegyületek eltéréseit nagyban befolyásolják, hogy a környezeti elemek mely tényezőivel kölcsönhatásban jönnek létre. Alapvető különbséget generál a bomlási folyamatok kezdeti szakaszában, hogy a folyamatot kiváltó kezdeti lépés a szabad természetben jelen lévő szervesetlen molekulák idézik elő, vagy az élő szervezetben lezajló biológiai katalizátorok, enzimek segítségével történik az egyes szubsztituensek lehasítása a szerves molekuláról. Az élettelen környezeti folyamatokban jellemzően az oxigén és a víz játszik a fő szerepet, és az általuk képzett gyökök váltják ki a kezdeti szerkezeti változásokat, amelyek végső soron a CO_2 és H_2O , S_2O stb. az SZFÉ-ket alkotó atomjait tartalmazó szervesetlen molekulákká való teljes lebomlásához vezetnek el. Ugyanakkor az SZFÉ-k metabolizmusát és a szervezetből való kiürülésüket lehetővé tevő enzimek a már korábbiakban ismertetett mechanizmus révén lazítják az SZFÉ-ben lévő kötéseket. Így biztosítanak alacsonyabb energiaszinten bekövetkezhető, jellemzően hidrolízis okozta bomlást, amelyek vízoldható alapvegyületekké alakítva, de még mindig összetett szerves vegyületekként ürülnek ki a szervezetből. Többnyire foszforsav formájában távoznak az élő szervezetekből. Meg kell említeni, hogy a lebontás mechanizmusában eltérés mutatkozik az emlősök és a rovarok között, ezért is tapasztalunk eltéréseket a toxikológiai hatások tekintetében. Az emlősök esetében a májban, valamint az emésztőrendszerben található enzimek biztosítják a méregtelenítést, míg a kiürülés a veséken keresztül zajlik le.

A másik lehetőségként bekövetkezhető fotolitikus folyamat, amely a vegyületeknek kémiai átalakulását eredményezheti. A környezetben jelen lévő kémiai anyagokból a fény fotonjának elnyelődése eredményeként létrejövő gyökökkel való kölcsönhatás lehet, amikor a fény által létrehozott szabad gyökök (O_3^\cdot , OH^\cdot stb.) kölcsönhatásba lépve a molekula aktív központjaival változást idéznek elő az adott vegyület kémiai szerkezetében.²³ A szerves foszforsavészterek tipikus fotolitikus reakciói magukban foglalják az izomerizációt, dealkilizést, oxidációt, dehalogénezést, észterhasítást, ciklizálást vagy a kén oxidációját. A klorpirifosz (7) reakcióegyenlet szerinti lehetséges fotolitikus lebomlási folyamatai is jól szemléltetik az említetteket.²⁴

A fotolitikus átalakulások időbeni lezajlásának jellemzésére a kiindulási vegyület teljes mennyisége 50%-os lebontásának időtartamát, azaz a szakterminológia szerinti megfogalmazásban a felezési időt használják.

²³ Randhavane Shrikant – A. K. Khambete: Photolysis: Case Studies for Organophosphate Pesticides Treatment. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 2. (2014), 3. 1597.

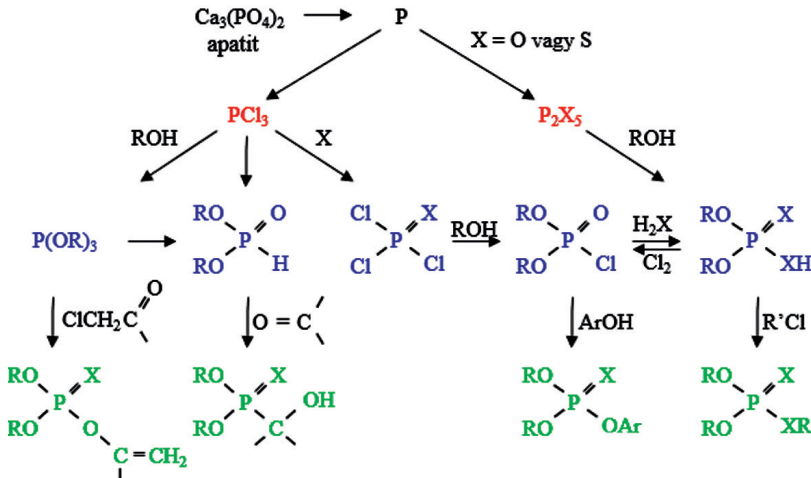
²⁴ Attila Kiss – Diána Virág: Photostability and Photodegradation Pathways of Distinctive Pesticides. *Journal of Environmental Quality*, 38. (2009), 1. 159.



2.6. Előállításuk

Az előállítás során fázisonként alakítják ki a foszfortomhoz kapcsolódó funkciós csoportokat szubsztitúciós reakciók és kondenzációs lépések sorozatában. A szerves foszforsavészter növényvédő szerek bonyolult, több funkciós csoporttal rendelkező szerves vegyületek, ezért az előállítás alapanyagára és a reakciókörülményekre vonatkozólag nagyszámú változat állítható fel, amelyet jól szemléltet a 3. ábra.

„Az apatitból az ívfény hőmérsékletén redukcióval (szén és kvarchomok jelenlétében) sárga foszfort nyernek.” A foszfor halogénezésével juthatunk foszfor-trikloridhoz, illetve ezt követő oxidáció révén foszfor-pentoxid állítható elő. Alkilező szerekkel reagáltatva a köztes terméket dialkil-foszfitokat kaphatunk. A folyamat következő szakaszában alakítják ki ennek észtereit, amelyeken további szubsztituensek helyezhetők el a kívánt végső kémiai szerkezet-hez igazodva.²⁵



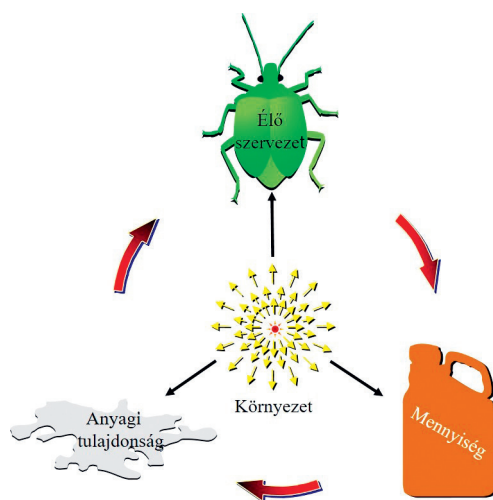
3. ábra: Foszforszter inszekticidek előállításának alternatívái

Forrás: Bakó–Fogarassy–Keglevich (2011): i. m. 67.

²⁵ Bakó Péter – Fogarassy Elemér – Keglevich György: *Szerves vegyipari technológiák*. Egyetemi jegyzet. Budapest, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 2011. 67.

2.7. Toxikus tulajdonságok

Mivel a peszticidek és köztük is a rovarirtó szerek toxicitása a növényvédő szerek és az élő szervezetek interakciójában nyilvánul meg, az ezen kölcsönhatást befolyásoló legfontosabb toxicitást meghatározó tényezők e két komponens sajátosságaiból tevődnek össze. Egyik oldalról tehát a mennyiségi mutatókon felül ide tartoznak a mérgező anyag fizikai-kémiai tulajdonságai. Másik oldalról pedig a célszervezet vagy az egyéb vizsgált szervezet biológiai jellemzői, amelyhez azonban szorosan köthető a szervezetbe jutás módja is, hisz a mérgező anyagnak a biológiai egyed szervezete által ezeknek védelme érdekében felépített barriereken kell áttörnie a mérgezés kiváltásához. Ebben a folyamatban természetesen közrejátszanak még az előbb említett tényezők mindegyikére kihatással lévő abiotikus környezeti feltételek, mint azt a 4. ábra is mutatja.²⁶



4. ábra: A peszticidek toxicitását meghatározó tényezők

Forrás: a szerző szerkesztése

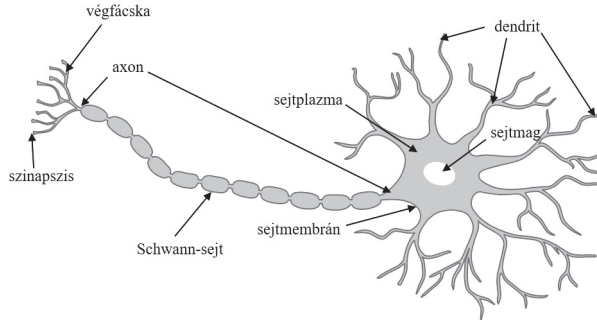
2.8. Az ingerület terjedése az idegsejtekben

A szerves foszforsavészter típusú peszticidek a szervezetbe kerülve a külső környezeti hatásoktól mentes körülmények között fejtik ki hatásukat. Különleges fiziológiai jellemzőjük a különböző biokémiai reakciókat katalizáló enzimek kémiai megkötése és inaktíválása. Ebben fontos szerepet játszik a szervezetben több helyütt megtalálható kolinészteráz fehérje blokkolása, amelynek fő funkciója az idegi impulzusok továbbításának irányítása.

A jelenség magyarázatául szolgál az idegrendszer strukturális egységén, az idegsejten (neuronon) áthaladó ingerület terjedésének befolyásolása. Az idegsejt teste, ahogyan

²⁶ Зинченко (2012): i. m. 16.

az az 5. ábrán is megfigyelhető, néhány rövid (dendrit) nyúlványból és egy a végén elágazó, támaszsejtek által létrehozott velőshüvellyel körülvett hosszú axon képezte idegrostból áll.²⁷



5. ábra: Az idegsejt felépítése

Forrás: <https://pngimage.net/wp-content/uploads/2018/06/nervios-png-2.png>

Az olyan külső és belső ingereket, mint a fény, hang, mechanikai behatások, a közeg összetételének és állapotának megváltozása stb. a dendritek fogadják és továbbítják a sejttestnek. Az axon viszont a sejtől az ingerelt szerv receptoraihoz vagy más neuronok dendritjeihez vezeti az idegi impulzusokat.

Az idegrendszer elemi láncolata több egymás után elhelyezkedő idegsejtből áll. Az egyik neuron axonja egy másik neuron teste vagy dendritje közelében helyezkedik el. Ugyanakkor közöttük nincs közvetlen kontaktus, ezeket egy 20–50 nm szélességű tér (szinaptikus rés) és az azt kitöltő, áramot rosszul vezető folyadék választja el. A neuronok közötti kontaktusnak e helyeit szinapszisoknak nevezzük. Úgyszintén léteznek ideg–izom szinapszisok, amikor az idegsejt axonja az izomban elhelyezkedő izomrost membránján végződik, valamint ideg–receptor szinapszisok, amelyeken keresztül az ingerület az axontól a kiválasztó mirigyek receptoraihoz jut.

Az idegi impulzus (ingerület) ezen a láncolaton kombinált módon terjed elektromos és kémiai úton. Az axonban a vezetés elektromos természetű, vagyis első megközelítésben az elektromos áram vezetébéli terjedésével analóg.

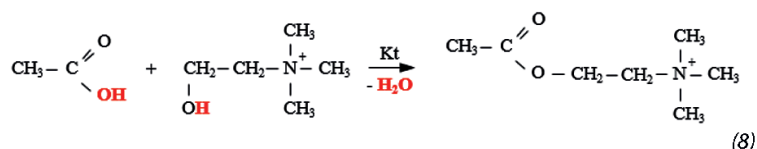
2.9. Az ingerületvezetés biokémiai folyamatai

Az interneuron, ideg–izom és az ideg–receptor szinapszisokban az idegrendszer láncolatának elkülönülő tagjai között vegyi anyagok – idegi impulzusvezetők vagy mediátorok – segítségével jön létre az ingerület továbbítása. A mediátorok az idegrostok végződésének helyén speciális hólyagocskákban (úgynevezett vezikulákban) találhatóak. Az axonban terjedő impulzus hatására a neurotranszmitterek a preszinaptikus membránon, azaz a szinaptikus rés előtti membránon keresztül a szinaptikus résbe ürülnek, ingerlik a következő idegsejt dendritjének vagy recepto-

²⁷ Kiss István – Kováts Nóra: *Egészségvédelem*. Veszprém, Pannon Egyetem – Környezetmérnöki Intézet, 2011. 161.

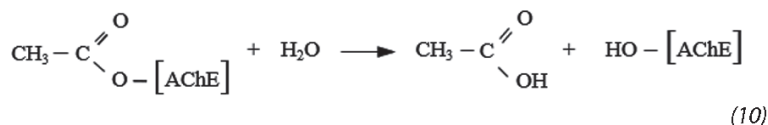
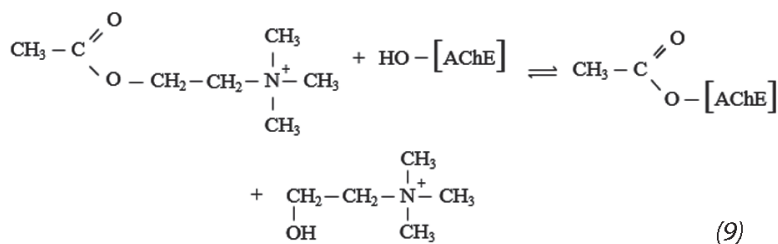
rának posztszinaptikus membránját, ilyen módon biztosítva az idegi impulzus tovaterjedését az ingerületvezetés következő eleméhez.²⁸

A különböző szövetekben és szervekben több mint 10 kémiai ingerületátvivő funkcionál. A harántcsíkolt izomszövet ingerlő mozgató idegrendszerében, a verejtékmirigyeket ingerlő szinaptikus idegrostokban és az idegrendszer néhány más területén, ilyen ingerületátvivő az acetil-kolin, amely a biológiai katalizátor, acetil-kolin-transzferáz jelenlétében a (8) reakciógyanlet szerinti folyamatban kolinból és ecetsavból képződő összetett észter.



Mindaddig, amíg mediátor van a szinapszisban, nevezetesen acetil-kolin, addig az idegi ingerület 1000 impulzus/s frekvenciával halad keresztül azon. Az impulzus áthaladását követően azonnal szükséges a mediátor elbontása, az idegrendszer működésének normalizálásához. Általában így is történik: amint az acetil-kolin kifejti hatását a szinapszisban, azonnal kémiai reakcióba lép vele az acetilkolin-észteráz (AChE) enzim. A (9) reakció eredményeként amin-alkohol (kolin) és acetilezett kolinészteráz keletkezik.

Az utóbbi instabil és víz hatására gyorsan elbomlik a (10) reakciónak megfelelően az ecetsav és a kiindulási kolinészteráz regenerálódása közben.



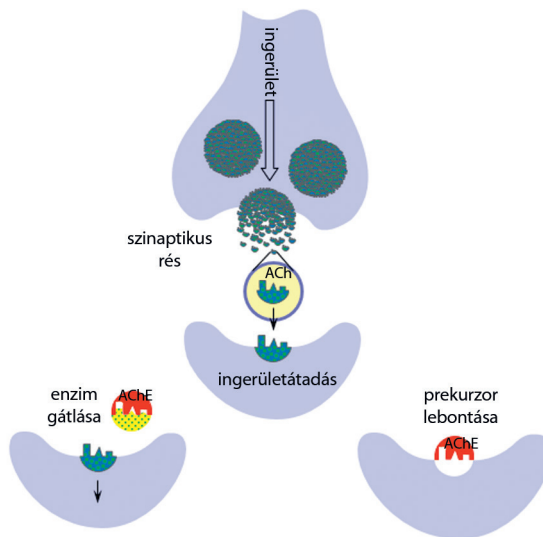
A folyamat sebessége kolosszális. Az idegi impulzusok az ember szervezetében körülbelül 120 m/s sebességgel terjednek, köszönhetően annak, hogy minden egyes kolinészteráz

²⁸ Jiri Bajgar: *Nerve Agents Poisoning and its Treatment in Schematic Figures and Tables*. (h. n.), Elsevier, 2012. 7.

molekula 1 s alatt mintegy 25 ezer molekula acetil-kolint képes elbontani, ezzel szemben az acetil-kolin hidrolízise enzim nélkül órákig is eltart.²⁹

2.10. Foszforsavészterek hatásmechanizmusa

A szervesfoszfor-vegyületek akut szisztémás toxicitást keltenek azért, hogy gátolják az AChE enzimeket a foszforiláció folyamatán keresztül. A peszticidek kötődnek a kolinészterázhoz és megakadályozzák az acetil-kolin és az ecetsav hidrolízisét a szinaptikus résben azért, hogy a létrejött nagy stabilitású peszticid-AChE komplex a folyamat katalizálásáért felelős enzimet tartósan lekötí (inaktiválja). Ezáltal az acetil-kolin felhalmozódik a szinapszisban és folyamatos idegi válaszra készíti a szervezetet.³⁰



6. ábra: Az ingerületátvitel és gátlásának sémája a szinapszisban

Forrás: a szerző szerkesztése Kiss–Kováts (2011): i. m. 162. alapján

Ez például az izomszövetben folyamatos összehúzódást vált ki, vagyis görcsös állapot lép fel az izomzat elernyedési fázisának kimaradásával. Az expozíció utáni enzimgátlás sok esetben visszafordíthatatlan.

²⁹ Александров–мельянов (1990): i. m.

³⁰ Kiss–Kováts (2011): i. m.

3. A növényvédelem szabályozási környezete

Az organofoszfát növényvédő szerek Magyarországon bármely célból folyó kezelésének jelenleg hatályos rendelkezéseit jogszabályi szinten többségében növényvédelmet közvetlenül érintő és az irodalomforrások sorában megjelölt jogszabályok rögzítik. Emellett azonban nem egy, a kémiai biztonság egyéb részterületeinek szabályozási körében megjelenő más jogi aktus is tartalmaz követendő előírásokat az e kategóriába sorolt veszélyes anyagok okozta kockázatok csökkentése érdekében. Mindezek terjedelmes tartalmának ismertetése a jelen tanulmány szabta keretek miatt a teljesség igénye nélkül és csak kivonatossan lehetséges.

3.1. Nemzetközi szabályozás

Nemzetközi és hazai szinten a növényvédő szerek emberi egészségre és környezetre jelentett kockázatainak és kifejtett hatásainak csökkentésére egyre intenzívebbé váló szabályozási folyamat indult el, amelyet a nemzeti szabályozások is részben vagy egészben lekövettek. Ennek mértéke az adott ország mezőgazdasági fejlettségétől is jelentős mértékben függ.³¹

A kérdéskörrel közvetlenül vagy közvetve foglalkozó első, a magyar jogalkotásba is implementált szabályok az ENSZ szakosított szervei az Egészségügyi Világszervezet, az Élelmiszezésügyi és Mezőgazdasági Szervezet, illetve az Európai Gazdasági Bizottság és a Nemzetközi Munkaügyi Szervezet, valamint a Gazdasági Együttműködési és Fejlesztési Szervezet égisze alatt születtek meg.

Az említett nemzetközi szervezetek által tető alá hozott, a környezetre veszélyes növényvédő szerek vonatkozásában is kiemelt jelentőségű egyezmények:

- bázeli egyezmény (1989) a veszélyes hulladékok országhatárokat átlépő szállításának ellenőrzéséről és ártalmatlanításáról;
- stockholmi egyezmény (2004) a környezetben tartósan fennmaradó szerves szennyező anyagok kibocsátásának csökkentéséről;
- rotterdami egyezmény a nemzetközi kereskedelemben forgalmazott egyes veszélyes anyagok és növényvédő szerek előzetes tájékoztatáson alapuló jóváhagyási eljárásról.³²

3.1.1. Rotterdami konvenció

Az 1998-ban napvilágot látott rotterdami egyezmény, amely a nemzetközi kereskedelemben forgalmazott egyes veszélyes vegyi anyagok és növényvédő szerek előzetes tájékoztatáson alapuló jóváhagyási eljárásáról szól.

A rendelet I. mellékletének 1. része a kiviteli bejelentés alá tartozó vegyi anyagokat tartalmazza. A 2. részében találjuk azokat a vegyi anyagokat, amelyek kivitelük esetén előzetes

³¹ Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal: *Nemzeti Növényvédelmi Cselekvési Terv, 2019–2023*. Agrárminisztérium (é. n.).

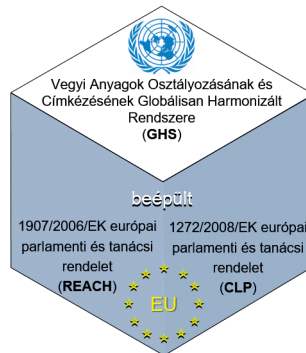
³² Tompa Anna (szerk.): *Kémiai biztonság és toxikológia*. Budapest, Medicina Könyvkiadó, 2005.

értéstitést is igényelnek, mivel ezen anyagok kivitele az EU-ban, de legalább annak egyik tagállamában tilalom vagy szigorú korlátozás alá esik.

Az abban szereplők beépültek a közösségi jogba is a veszélyes vegyi anyagok kiviteléről és behozataláról szóló 649/2012/EU európai parlamenti és tanácsi rendelet útján. E rendelet rendszeres felülvizsgálat eredményeként kihirdetett uniós szabályozás által módosuló mellékletei ugyancsak tartalmazzák a korlátozásokkal és eljárásjogi szabályok hatálya alá eső, a növényvédőszerekben megtalálható vegyi anyagokat. Így kapcsolódik a rotterdami egyezmény megvalósításához.

3.1.2. Egyéb kapcsolódó ENSZ-szabályozások

A mérgezések számának visszaszorulásában meghatározó szerepe volt a WHO erőteljes fellépésének, amelyet követően sok országban szigorították az SZFÉ-k kereskedelmének szabályait. Az ezt lehetővé tevő szabályozások sorában komoly jelentősége van a veszélyek jellemzését, megfelelő azonosíthatóságát, felhasználásuk biztonságát garantáló, és az ahhoz kapcsolódó információkat jól közvetítő nemzetközi előírásrendszernek, amelynek elsődleges szabályozási rendszerét hazánk vonatkozásában a 7. ábra illusztrálja.



7. ábra: Vegyi anyagok nemzetközi szabályozásának elsődleges rendszere

Forrás: a szerző szerkesztése

3.2. Vegyi anyagok globális rendszere

A vegyi anyagok osztályozásának és címkézésének globálisan harmonizált rendszere (GHS) egy az ENSZ szintjén kidolgozott dokumentum, a veszélyes anyagok szisztematikusan felépített besorolási rendszere. A GHS-dokumentum, az úgynevezett „lila könyv” nem szabály, sem szabvány, hanem globális megállapodás a vegyi anyagok harmonizált osztályozásáról, a veszélyek közléséről és alkalmazásuk magyarázatáról. A GHS-elemek olyan mechanizmust biztosítanak, amely kielégíti a veszély kommunikációs folyamatának alapvető feltételeit, azaz eldönti, hogy a vegyi anyag veszélyes, majd feladata a címke és a biztonsági adatlap elkészítése. A GHS-megállapodás vagy annak rendelkezései nem vonatkoznak közvetlenül, de szükséges, hogy az államok saját szabályaik elfogadásával és saját szabályozási eljárásuk révén hajtsák

vége a harmonizált feltételeket és kritériumokat. A GHS-t rendszeresen felülvizsgálják és igazítják. A hetedik módosított GHS-kiadás 2017-ben jelent meg.

3.2.1. A kémiai biztonság szabályozásának alappillére az Unióban

Az EU tagállamaiban a vegyi anyagok jelentősen megnövekedett gyártása és alkalmazása szükségessé tette a kemizáció megfelelő felügyelet alatt tartásával kapcsolatos széttagolt szabályozás egységesítését, ami a *vegyi anyagok regisztrálásáról, értékeléséről, engedélyezéséről és korlátozásáról szóló 1907/2006/EK rendelet* (REACH) megalkotásában öltött testet. A REACH előírásait Magyarországon közvetlenül kell alkalmazni. A REACH által delegált felelősségi rendszerben a vegyi anyagokat előállító iparra helyezi a kémiai anyagok biztonságának értékelésével, illetve a kockázatcsökkentési intézkedésekkel kapcsolatos kötelezettséget. A REACH által előírtak egyebek mellett érintik a regisztrációt, adatszolgáltatást, tájékoztatást, engedélyezési eljárást, illetve a korlátozásokat. A REACH által a jogalanyokra kirótt kötelezettségek teljesítésében az uniós és tagállami szinteken létrehozott Európai Vegyianyag Ügynökség, illetve az illetékes nemzeti hatóságok nyújtanak támogatást. A regisztrációköteles anyag évi legalább 10 t mennyiségben gyártott vagy importált, volumene esetében a REACH kémiai biztonsági értékelés és jelentés készítését írja elő az emberi egészség és környezet tekintetében fennálló veszély minősítése céljából.

A növényvédő szerek engedéllyel való forgalomba hozatalát a REACH a növényvédő szer hatóanyagának regisztrációjához kötöten teszi csak lehetővé. A REACH másik kémiai biztonságot érintő kapcsolódását mint a veszélyes anyagoké a munkavédelmi szabályozás területén azonosíthatjuk. Mivel a növényvédő szerekkel való, egészséget nem veszélyeztető és biztonságos munkavégzés előírásrendszerében kitételként rögzített a munkavédelem törvényi szabályozásának való megfelelés, és nemcsak a vegyi üzemekben történő előállítás folyamatai során, de a mezőgazdasági felhasználás területén is.

3.2.2. Az európai irányelv a veszélyes anyagok és készítmények osztályozásáról

A kémiai biztonság másik uniós elemeként az Európai Unió átvittette a GHS-t az Európai Parlament és a Tanács 1272/2008/EK rendeletébe (CLP). A növényvédő szerek kereskedelmének szabályozása tekintetében a CLP lényegi elemei a címkézés és csomagolás előírásai. Már a csomagolás tervezésekor be kell tartani az alábbi főbb kritériumokat:

- gátolja meg az anyag kiszóródását, kiszivárgását, kiömlését;
- a zárórendszer ismételt zárást követően is akadályozza meg az anyag kijutását;
- a csomagolóeszköz sérülés nélkül viselje el az anyagmozgatás behatásait, és feleljen meg a felhasználás során jelentkező igénybevételnek stb.

A CLP-szabályozást a magyar jogrendbe a kémiai biztonságról szóló 2000. évi XXV. törvénnyel (Kbtv.) implementálták. A növényvédő szerek viszont közvetlenül nem tartoznak a Kbtv. hatálya alá, azonban mint veszélyes anyagokra a címkézésére vonatkozó rendelkezéseket a növényvédő szerekre is alkalmazni kell, amint azt a 8. ábrán látható példa is illusztrálja.



8. ábra: Veszélypiktogramok SZFÉ-hatóanyagú növényvédő szer címkéjén

Forrás: <https://archiwum.allegro.pl/oferta/danadim-400-ec-5l-owadobojczy-zboze-burak-dimeto-at-i9089591844.html>

Magyarországon a vonatkozó biztonsági szabályokat a 44/2000. EüM rendeletben szereplő mondatokat, specifikus szabványmondatokkal egészíti ki a növényvédő szerek forgalomba hozatalának és felhasználásának engedélyezéséről, valamint a növényvédő szerek csomagolásáról, jelöléséről, tárolásáról és szállításáról a 89/2004. FVM rendelet (FVM r.) 4. és 5. melléklete. A növényvédő szerek címkézése alapján a felhasználónak el kell tudnia dönteni, hogy a szer hol, mikor és milyen körülmények között alkalmazható.³³

Ezért a peszticidek címkéin elhelyezett, az adott növényvédő szer fizikai, környezeti és egészségügyi veszélyeit illusztráló piktogramok közvetítik a felhasználó felé az alkalmazás jelentette kockázatok fő típusait. A növényvédő szerek címkéin is fellelhető CLP-rendelet szerinti veszélypiktogramokat a „B” melléklet ismerteti. A veszélyek képi megjelenítésén túl betűk és számjegyek kombinációjából álló azonosítóval rendelkező szabványmondatok adnak útmutatást a biztonságos használathoz. Az P betűvel kezdődő jelkombinációkhoz rendelt információk a peszticid biztonságos használatára, míg az úgynevezett H-mondatok a lehetséges veszélyekre hívják fel a figyelmet.

Az európai uniós engedélyezés az Európai Parlament és a Tanács 1107/2009/EK rendelete (Rendelet) alapján történik. Jelenleg a Magyarországon engedélyezett készítmények hatóanyagainak listájában már csak a 3. táblázatban szereplő foszforsavészterek találhatók meg.³⁴

³³ 43/2010. (IV. 23.) FVM rendelet a növényvédelmi tevékenységről.

³⁴ 89/2004. (V. 15.) FVM rendelet a növényvédő szerek forgalomba hozatalának és felhasználásának engedélyezéséről, valamint a növényvédő szerek csomagolásáról, jelöléséről, tárolásáról és szállításáról.

3. táblázat: Jelenleg felhasználási engedéllyel rendelkező foszforsavészterek

Ssz.	Hatóanyag	Kémiai	
		Elnevezés	Szerkezeti képlet
1.	fosztiazat (talajfertőtlenítő szer, 2026. 02. 28-ig)	S-(sec-butil)-O-etil-(2-oxo-1,3-tiazolidin-3-il)-tiofoszfonát	
2.	pirimifosz (rovarölő szer, 2024. 09. 30-ig)	O-[2-(diethyl-amino)-6-metil-4-pirimidinil]-O,O-dimetil-foszfortioát	

Forrás: Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal: Növényvédő szerek adatbázisa. Lásd: <https://novenyvedoszer.nebih.gov.hu/Engedelykereso/kereso>

3.3. Növényvédőszer-használat hazai előírásrendszere

Az EU más tagországaihoz hasonlóan hazánkban is kizárólag engedélykivarral rendelkező hatóanyaggal, illetve készítménnyel szabad növényvédelmi tevékenységet folytatni. A magyar hatósági eljárás köszönhetően a Rendelet implementációjának minden tekintetben az EU-ban kialakult, az integrált növényvédelem követelményeit figyelembe vevő előírásokat követi. Az engedélyezés jelenlegi magyarországi szabályrendszere az *élelmiszerláncról és hatósági felügyeletéről szóló 2008. évi XLVI. törvénynek* (Törvény), illetve a hozzá kapcsolódó végrehajtási rendeleteknek köszönhetően alakult ki.³⁵

A növényvédő szerek engedélyezési eljárásának alapvető részletszabályait a következő jogszabályok rögzítik:

- a Törvény,
- valamint az FVM rendelet.

A növényvédő szerek engedélyezési folyamatának célja ellenőrizni:

- a kultúrnövény kártevő elleni védelmére való alkalmasságát,
- a szükséges ökotoxikológiai követelmények teljesülését, valamint
- a felhasználás biztonságát szolgáló információk megjelenítését a csomagoláson.³⁶

³⁵ Pethő Ágnes (szerk.) (NÉBIH, 2015. január): 3–4. háttéranyag, Növényvédő szer felhasználás Magyarországon, 5.2 melléklet. A KÖRNYEZETBEN TARTÓSAN MEGMARADÓ SZERVES SZENNYEZŐ (POP) NÖVÉNYVÉDŐ SZEREK HAZAI FELHASZNÁLÁSA 1950–2010 KÖZÖTT, Pethő Ágnes (szerk.) et al. (OKKP, 2013. április): ATRAZIN-TARTALMÚ NÖVÉNYVÉDŐSZEREK HAZAI FELHASZNÁLÁSA 1960–2007, Módszertani Gyűjtemény tervezetek: A környezetben várható koncentrációk előre jelzett értékeinek kiszámítása és felhasználása a kockázatbecslésben (2014. május), Kockázatbecslés a nem cél-szervezetekre – ökotoxikológia (2014. január).

³⁶ Ungváry György – Morvai Veronika (szerk.): *Munkaegészségtan*. Budapest, Medicina Könyvkiadó, 2010. 507.

Az elmondottakból következik, hogy a foszforészter típusú növényvédő szerek is akárcsak más hatóanyagú készítmények Magyarországon csak úgy hozhatók forgalomba és használhatók fel, ha azt az engedélyező hatóság jóváhagyta. A növényvédő szerek nemzeti engedélyezésében teljes hatáskörrel rendelkező hatóságként a Nemzeti Élelmiszer-biztonsági Hivatal jár el mint engedélyező hatóság.

Az engedélyezés hatástani vizsgálatokon alapul, amelyeket jogszabály ír elő. A hatóság az engedélyezési eljárásban döntését megalapozandó vizsgálja a növényvédő szer:

- hatékonyságát;
- a védendő növények vagy növényi termékek esetleges károsodását;
- a célszervezetként megjelölt gerinceseknek okozható szenvedést és fájdalmat;
- az emberek és állatok egészségére hatást vagy a talajvízen keresztül jelentkező ártalmakat;
- a növényvédő szer környezeti viselkedésével összefüggésbe hozható környezetkárosító hatásokat;
- a hatóanyagok és összetevők, illetve egyéb szennyezők koncentrációját és anyagi minőségét;
- az engedélyezett használatból eredő és toxikológiai vagy környezeti szempontból jelentős növényvédőszer-maradékokat;
- a növényvédő szer fizikai és kémiai tulajdonságainak a megjelölt használatra, valamint tárolásra való alkalmasságát, megfelelőségét;
- a növényi kultúrákban a szermaradék-határértékek megtarthatóságát.

A mindezek alapján hozott döntésének eredményeként kiállított engedély érvényességi ideje legfeljebb 15 év időtartamban állapítható meg.³⁷

4. Az SZFÉ inszekticidek felhasználásának kockázatai

A növényvédelmi hatósági engedélyezési eljárások kémiai biztonságot érintő kihatásai igen sokrétűek, kezdve a forgalomba hozattalól egészen a kezelt növényi kultúrák fogyasztásához kapcsolódó élelmiszer-biztonságig bezárólag. Azonban a közegészségügy, az élelmiszer-biztonság vagy a munkaegészségügy bármely szegmenséről is legyen szó, a biztonság garanciái a felhasználás szabályainak betartásából fakadnak, amelyek lehetővé teszik a kockázatok kivédését.

4.1. SZFÉ növényvédő szerek alkalmazásának kockázati tényezői

A mezőgazdasági növényvédelemben megjelenő kockázatoknak az általánosan vizsgált munkabiztonsági kockázatoktól némely tekintetben szűkebb, más vonatkozásokban viszont szélesebb tartalmuk van. Alapvetően olyan kérdésköröket kell vizsgálni, mint:

³⁷ Tőkés Gábor (szerk.): *Növényvédő szerek engedélyezése Magyarországon és az Európai Unióban*. Mezőgazdasági Szakigazgatási Hivatal, Növény-, Talaj- és Agrárkörnyezet-védelmi Igazgatóság, 2011. 15.

- a veszélyes anyagok szállítása, tárolása;
- a növényvédelmi technológia kiválasztása;
- a kezelés alatt álló termőterület használata;
- a készítményekkel kapcsolatos anyagmozgatás;
- a növényvédelmi munkaeszközök és járművek üzemeltetése;
- a karbantartás és tisztítás elvégzése;
- a keletkező veszélyes hulladékok kezelése.

A peszticidek szintézise során a vegyipari munkásoknál az SZFÉ-nek való kitettsége jelentősen alulmúlja a formulált peszticidek előkészítését és adagolását végző munkavállalókéét, mivel a gyártási folyamatának fázisait szinte teljes egészében zárt technológiában hajtják végre. Azonban a termőföldek növényvédő szeres kezelésével kapcsolatos munkát végzőknél jelentős szennyeződést okozhat. A növényvédelmi célú munkavégzés kockázatértékelésének összetettségét az anyagok egészségkárosító hatásának és a környezeti tényezők kölcsönhatásának változatossága tovább fokozza.

Az SZFÉ-k kockázatértékelése alapvetően nem különbözik lényegesen a hagyományosan vett, a kémiai biztonságot érintő módszerektől. A meteorológiai viszonyok és a növényzet, illetve a talaj, valamint az alkalmazott munkagépek technikai jellemzőinek expozíciót módosító hatása a kockázatértékelés módszertanában azonban alapvető eltéréseket idéz elő.

4.2. SZFÉ növényvédő szerek környezeti hatásai

Az SZFÉ növényvédő szerek által okozott környezetszennyezés többnyire a mezőgazdasági és közegészségügyi felhasználásukból eredeztethető. A korszerű növényvédő szerek akárcsak más széles körben alkalmazott kemikáliák, főként a technológiai fegyelem be nem tartásával való felhasználás eredményeként vagy baleseti események bekövetkezésével veszélyeztetik az ökológiai rendszereket. A felhasználási előírások figyelmen kívül hagyásának következtében környezeti károkat kiváltó folyamatok elsődlegesen a talajban, a kezelni nem kívánt növényzetre kiüledve és az élővizekben is közvetlenül éreztethetik hatásukat. A levegőben való terjedésük a technológiák és az ahhoz igazodva megválasztott receptúrák, valamint munkaeszközök kialakításának köszönhetően igen kis valószínűséggel válhatnak ki jelentős közvetlen hatást.

4.2.1. Növényvédő szerekkel dolgozókat érintő veszélyek

Az SZFÉ-kal folytatott szántóföldi vagy egyéb mezőgazdasági termelési formákhoz kapcsolódóan végzett növényvédelem által érintett területen a tevékenységet végzők a készítmény magyar nyelvű biztonsági adatlapjának birtokában kell hogy végezzék a feladataikat. A növényvédő szert forgalmazó, csak a gyártó vagy az importáló által elkészített, biztonsági adatlap kíséretében értékesítheti az engedélyezett hatóanyag-tartalmú készítményt. Az abban lefektetett biztonságos kezelésre vonatkozó előírások segítik a mezőgazdasági tevékenységet végzők számára a munkahelyi egészség és biztonság, illetőleg a környezetvédelem érdekében

szükséges intézkedések megtételét a növényvédelmi munkák során. Ennek egyik feltétele, hogy az megtalálható legyen a munkahelyen.

4.2.2. A készítmény összetétele jelentette veszélyek

A növényvédelemben a kémiai kóroki tényezők jelentette veszélyek tekintetében elsődlegessége van a hatóanyagnak. Ennek megfelelően a növényvédő szereket I-től III-ig terjedő kategóriákba sorolják veszélyességük csökkenő mértéke alapján. A SZFÉ-t tartalmazó készítmények többsége az I. kategóriába sorolt volt. Köszönhetően a jelentős toxikus veszélynek, a növényvédő szert szállító járművel csak úgy volt engedélyezett a szállítás, ha a veszélyes anyagok közötti szállítására vonatkozó előírások vonatkozó, 6.1 kategóriájának megfelelő jelzésekkel vesz részt a forgalomban.

A bennük található aktív hatóanyag mellett egyéb, a felhasználás hatékonyságát javító komponenst is tartalmaz, például oldószereket, abszorpciót elősegítő anyagokat stb. Ezek a növényvédelmi kezelések hatékonyságát növelik, ilyenek lehetnek a tapadásfokozók, nedvesítőszer, továbbá habzsgátlók, diszperziót befolyásoló készítmények is. Az említett komponensek is hordoznak magukban kémiai kockázatokat, amelyekre ugyancsak figyelemmel kell lenni az alkalmazás során. Hiszen akár az egyik, jellemzően ide értendő oldószerek tűzveszélye is jelentősen befolyásolja a növényvédelmi munkák biztonságát.

Túl ezen, a növényvédelmi munka nem csak a közvetlen kontaktus révén való esetleges bőrön át felszívódással vagy egyéb más módon történő közvetlen expozícióval veszélyezteti a munkát végzőket. Ugyanis a kezelt területen kiszórt vegyszermaradványok is okozhatnak akár súlyos mérgezést. Különösen igaz ez az olyan a szervezetben kumulálódó vegyületekre, mint az SZFÉ-k. Mivel a szervezet méregtelenítő biokémiai folyamatai lassúbbak, mint az esetlegesen napi rendszerességgel ismétlődő expozícióval a szervezetbe jutó mennyiség, így egyre növekvő dózis mérgezi a szervezetet. Ennek a megelőzésére állapítják meg az úgynevezett munkaegészségügyi várakozási időt, amely időtartam kiváráásával megakadályozható a fokozott expozíció bekövetkezése.

Hasonló, de a fogyasztók védelmét szolgáló indokkal alkalmazzák az élelmezés-egészségügyi várakozási időt, amelynek el kell telnie a legutolsó növényvédelmi kezeléstől számítva. Ezt megelőzően nem történhet meg a növényi termék felhasználása, forgalomba hozatala, fogyasztása.

4.2.3. Veszélyazonosítás

A jelentkező veszélyek azonosítása során figyelemmel kell lenni a permetezés előkészítésére használt technológia, eszközök, valamint a felhasználás során alkalmazott mezőgazdasági gépek megfelelőségére. Az ilyen munkavédelmi szempontú szemlék végrehajtásának sora a szezonális munkák megkezdését megelőző gépszemlékkel veszik kezdetüket. A műszaki állapot megfelelőségének megítéléséhez az üzemeltetés helyszínén megtalálható módon szükségesek a gépkönyvek, az üzemeltetési naplójukkal együtt, a növényvédő szer szabályszerű kezelését rögzítő dokumentumokat is ideértve persze.

A SZFÉ növényvédő szert kezelők biztonságát veszélyeztető tényezők vizsgálata során a következő lehetséges veszélyforrások azonosíthatók:

- anyag kifolyása a sérült csomagolásból;
- védőfelszerelés hiánya;
- a bekeverő tartály tömlőcsatlakozóinak tömítetlensége;
- vegyszer bekeverésekor az anyag kiömlése;
- vegyszerező gép nem megfelelő műszaki állapota;
- vegyszerező tartály kifolyással járó sérülése;
- vegyszerező szállítócsöveinek sérülése;
- szórófejek eltömődése miatti túlnyomás kialakulása;
- a mezőgazdasági vontató kabinjában a túlnyomás megszűnése;
- mezőgazdasági vontató fülkeszűrőjének meghibásodása;
- szivattyú tömítetlensége;
- zárócsapok szivárgása;
- ruházat szennyezettsége az öltözőben;
- személyes higiénia elhanyagolása;
- hulladékok szabálytalan kezelése.

4.2.4. Kockázatcsökkentő intézkedések

A kémiai biztonság terén megfogalmazható alapvetésként adódik az SZFÉ-hatóanyagú készítmények alacsonyabb veszélyességi kategóriába sorolt vegyületekkel való helyettesítése. A kockázatcsökkentés ezen elvének megfelelően mára már csak a II. forgalmi kategóriába sorolt SZFÉ-hatóanyagú készítmények tartoznak az engedélyezett sorába.

Az anyag megválasztása mellett jelentős súllyal esik latba az alkalmazott technológia biztonsága. A vegyszerezés levezénylésében kiemelt szerep hárul a feladat kijelölt vezetőjére és a növényvédelmi munkát végzőkre. A szántóföldi vegyszerezést megbeszéléssel kell kezdeni, amelyen részt vesznek a növényvédelemért felelős vezető, valamint a növényvédelmi munkákat végző permetező és a gépek technikai kiszolgálását végzők. Az egyeztetés eredményeként a biztonsági adatlapok alapján a megfelelő EVE-ket kiválasztva a munkát végzők az öltözőben fel kell vegyék az EVE-ket. Használatukkal összefüggésben figyelemmel kell lenni a szükséges EVE-k rendszeres tisztítására, karbantartására, illetve pótlására, de tudatosítani szükséges a munkavállalókkal a velük munkavédelmi oktatás keretében megismertetett használati szabályok betartását. Különösen igaz ez a védelmi képességét elveszített, sérült eszközök használatának tilalmára.

Az egyéni védelmen túl különösen fontos a dohányzás és a szennyezett környezetben való étkezés tilalmának betartása és betartatása. Ez minden veszélyes anyaggal folytatott munka esetében jelentősen csökkenti a mérgeanyagok szervezetbe jutását a tápcsatornán keresztül.

Az SZFÉ-k jelentette esetleges veszélyekkel a közvetlen növényvédelmi munkákon túl az egyéb kiszolgáló tevékenységeknek helyet adó munkahelyeken találkozhatunk. Jellemzően ezek a mezőgazdasági tevékenységet folytató vállalkozások telephelyein találhatók. Kiemelten pedig az ideiglenes tároló-, raktár- és karbantartó helyek ezek.

A mennyiségi mutatókat illetően a növényvédő szerek göngyölegek telephelyi tárolása jelentős súllyal esik latba, amikor az esetleges szennyezésekkel és az ezekből eredeztethető expozíciókkal kell számolnunk. A kezelés biztonságának megalapozása raktárak működtetésének technológiájához és a ki- és beszállítások szigorúan dokumentált nyomon követéséhez kapcsolódik. A raktározás, megrendelés és vegyszerkiadás felelős végzése csak hozzáértő növényvédelmi szakember felügyeletével biztosítható. Amennyiben azonban a tárolási fegyelem nem kielégítő, súlyos gondok adódhatnak. Jellemzően azonban ez a hulladékok és a kiürített, szennyezett göngyölegeknél, valamint felhalmozódó szennyvíz esetében eredményezhet haváriákat. Egy ilyen veszélyes hulladék raktározásához köthető az az esemény, amely a Rajna folyó környezetszennyezését is okozta. A vegyszerek általában a tárolóhelyiségben nem töltenek sok időt. A tárolás átmeneti, mert mindig csak annyi vegyszert tárolnak be, amennyi az adott kultúrához, kezelendő területhez és károsító szervezet elleni védekezéshez szükséges. Ez a jelenlegi magas árak mellett gazdasági megfontolások alapján is indokolt. A raktárépületnek tisztíthatónak kell lennie, valamint teljesen zártnak, aminek érdekében a bejáratát biztonsági zárral kell ellátni. A raktárajtón a „Növényvédő szer raktár” táblát kell elhelyezni veszélyt jelző piktogramok kíséretében. A raktári rend tekintetében a tárolás egyéb vegyszerektől elkülönítve, rendezetten kell történni. A raktárban csak a növényvédő szerrel kapcsolatos logisztikai munkák végezhetőek. Azaz bekeverés, hígítás csak a már említett kezelendő területen.

Növényvédő szer bekeverése mindig az adott területen zajlik. Amennyiben olyan hiba merül fel, amely a helyszínen orvosolható, akkor helyben megoldják, ha ez nem megvalósítható, akkor a telephelyre visszaszállítva végzik el a szükséges javítást. A tartályban bekevert permetezőszert külön szállítótartályba kell elhelyezni, bármely más anyagtól elkülönítve. A vegyszerezés időtartama napi 8 óra. A vegyszerezés 5 és 25 °C között, 10 km/h szélsősebesség alatt, száraz időben történik. Az I. forgalmi osztályba tartozó SZFÉ-hatóanyagú szerekkel való vegyszerezés nem hajtható végre légi kiszórással az elsodródás fokozott veszélye miatt.

A vegyszerezés munkafázisát csak az arra kijelölt és felkészült munkavállalók végezhetik. Munkájukat a szakirányító felügyeli. A növényvédelmi tevékenység a munkavédelmi szabályozás szerint a II. Veszélyességi osztályba, 01 Növénytermesztés, állattenyésztés, vadgazdálkodás és kapcsolódó szolgáltatások, kategóriába sorolandó az 5/1993 MÜM rendelet alapján. Így a növényvédelemben dolgozó munkavállalók a „B” foglalkozás-egészségügyi osztályba sorolandók a 89/1995. (VII. 14.) Korm. rendelet a foglalkozás-egészségügyi szolgálatról szóló rendelet alapján. A munkavállalóknak rendelkezniük kell a szükséges végzettségekkel. A növényvédelmi munkák elvégzéséhez a szakirányító számára felsőfokú, a vegyszerezőnek középfokú (technikusi), míg a vízszállítónak betanított növényvédelmi szakképesítés az előírt.

Az ez irányú szakellátás első fázisa a munkába állást megelőző alkalmassági vizsgálattal veszi kezdetét. Minden tavasszal és ősszel a vegyszerezési munkák előtt és után el kell végezni a foglalkozás-egészségügyi vizsgálatokat. Az SZFÉ-vel végzendő munkára való alkalmasság minősítéséhez az 5/2020. (II. 6.) ITM rendelet 3. melléklet 3 táblázata 5. sorában nevesített biológiai hatásmutató vizsgálata szükséges, amely bázisát képezi a későbbi kontrollvizsgálá-

toknak mint összehasonlítási alap, akárcsak a soron kívüli munkaalkalmassági vizsgálatoknál fokozott expozíció gyanújának felmerülésekor.³⁸

Legalább ilyen a munkahigiénével összefüggő és a nem tervezett expozíció kivédését hatékonyan szolgáló tényező a higiénés feltételek munkavállalók részére való biztosítása. Ugyanakkor a növényvédelmi munka végeztével szükséges is megkövetelni a rendszeres tisztálkodást, mivel az esetlegesen szennyezett ruházatról ugyanúgy felszívódhatnak az SZFÉ-k, mint más szennyezett tárgyakkal való érintkezéskor. Kialakításában az úgynevezett fekete-fehér öltöző rendszerben működő tisztálkodási feltételeket kell kiépíteni a növényvédő szerrel dolgozók számára.

4.3. Hulladékok kezelése

A hulladékkezelés központi kérdése a kiürült, vegyszerek maradványaival szennyezett csomagolóeszközök szabályozott begyűjtése és előírászerű veszélyes hulladékként kezelése.

Másik fontos megoldandó probléma, hogy a telephelyek szabadtéri részein időről időre telephelyrendezést szerveznek a munkafolyamotokhoz kapcsolódóan az esetlegesen felhalmozódó hulladékok szabályozott kezelését biztosítandó.

Ezektől az egyéb hulladékoktól elkülönülten kezelendők a növényvédő szerek után visszamaradt csomagolóeszközök. Ezek göngyöleg formájában érkeznek és távoznak a telephelyről. A csomagolóeszközöket a vegyszer felhasználása után tisztítani kell. A tisztítás után ezek a hulladékok a technológiai átfutásukhoz igazodó kisebb-nagyobb átfutási idővel bekerülnek a vegyszerraktárba egy külön erre a célra kialakított részre, a 103/2003. (IX. 11.) FVM rendelet a növényvédő szerrel szennyezett csomagolóeszköz-hulladékok kezeléséről szóló rendelet alapján.

Ezeket addig tárolják, amíg megfelelő mennyiségben fel nem halmozódik a gazdaságos, egyszeri szállítmányban való elszállításához. Az elszállítást a forgalmazó kell végezze. A csomagolóeszközök mellett az elhasználandó EVE-k is hulladéknak minősülnek. Megsemmisítésre való elszállításuk az illetéktelenek hozzáféréseit kizáró módon, elzártan kell tárolni az erre a célra alkalmas biztonságosan lezárt zsákokban összegyűjtve.

4.4. Szennyvízkezelés

Másik szennyezés veszélyét jelentő hulladék a különféle tisztítási műveletekből származó SZFÉ-kel szennyezett víz. A legnagyobb mennyiségben ez a vegyszerezés során használt mezőgazdasági munkagépek tisztításakor, illetve karbantartásakor keletkezik. A környezeti károk elkerülése érdekében ezt a feladatot az erre a célra kialakított és a szennyezett mosóvíz felfogására szolgáló zárt ciszternával rendelkező járműmosón kell elvégezni.

³⁸ Nagy Rudolf – Sütő Norbert: Pesticidok veszélyei a szerves foszforsav-észter alapú rovarirtó szerek tükrében. *Védelem Tudomány*, 7. (2022), 2. 109–144.

5. Összegzés

Az agrokemikáliák esetében nemcsak a felhasználás mennyiségi tényezői tekintetében különösen jelentős az időszakos felülvizsgálatok szerepe, hanem a késői hatások értékelése tekintetében is, ahogyan azt például az emberiség a saját kárára a DDT példáján is megtapasztalhatta. Emellett a növényvédő szerek mint veszélyes anyagok tekintetében ugyancsak érvényesíthető az a kémiai biztonságot érintő alapelv, hogy ahol az lehetséges, helyettesítsük azokat a felhasználás során jelentkező kockázatok tekintetében kevésbé veszélyesekkel. Felvetődhet, hogy ezen anyagok alkalmazásának háttérbe szorításával csökkentjük a kockázatokat. Azonban az élelmiszer-termelés hatékonyságának fokozása a Föld egyes régióiban jelentkező túlnépesedés, illetőleg a térségünkben is nap nap után mutatkozó éghajlatváltozás miatt bekövetkező invazív kártevők előretörése kapcsán mind inkább kivitelezhetetlennek tűnik.

A foszforsavészter típusú rovarirtó szerek mint hatóanyagok tekintetében is a veszélyeséget érintő toxikológiai szempontok előtérbe kerülése nyomán jól érzékelhető tendencia mutatkozik ezeknek a hatóanyagoknak a kivezetésére irányuló törekvésekre, amit az engedélyezett hatóanyagok egyre szűkülő palettája is jól jelez. A növényvédelemben azonban a célszervezetek, azaz a kártevőkkel szembeni küzdelem továbbra is megköveteli, hogy kellő hatékonyságú szerek álljanak az emberiség rendelkezésére, amelyek kiválthatják az e cikkben vizsgált vegyi anyagokat. Ehhez a megfelelő feltételeket a biztonsági szempontok előtérbe helyezése teremti meg, köztük az olyan korszerű mezőgazdasági technológiák, mint például a növényvédelmi drónok és más, a készítmények felhasználását csökkenteni képes intelligens IT-megoldások. Azonban még jelentős a lemaradás a megfelelő szabályozási környezet megteremtésében, mivel több hatóság koordinált munkáját követeli meg a biztonságos alkalmazás lehetővé tétele. Így egyelőre még várni kell ennek kiterjedt bevezetésére a növényvédelemben.

Másik alternatív fejlesztési területként mutatkozik a génmódosított növények termesztése, amelyek különösen a rezisztens károsító szervezetekkel szemben mutatnak megfelelő ellenállást. Magyarországon jelenleg azonban a több tekintetben felvetődő aggályok miatt nem engedélyezett a génmódosított növények termesztése, ahogyan az a géntechnológiai tevékenységről szóló 1998. évi XXVII. törvény utóbbi évtizedekben bekövetkezett módosításaiból is kiténik.

A másik utat az ökológiai mezőgazdaság jelentheti. A biogazdaságokban előállítható termékek volumene azonban messze elmarad az elvárt szükségletektől, egyebek mellett a magasabb minőségi követelmények okozta termelési nehézségekből adódóan.

Felhasznált irodalom

- Aaron, Herbert S. – Harry O. Michel – Benjamin Witten – Jacob I. Miller: The Stereochemistry of Asymmetric Phosphorus Compounds. 11. Stereospecificity in the Irreversible Inactivation of Cholinesterases by the Enantiomorphs of an Organophosphorus Inhibitor. *Journal of the American Chemical Society*, 1958. Online: <https://doi.org/10.1021/ja01535a052>
- Александров, В. Н. – В. И. Емельянов: *Отравляющие вещества*. Москва, Военное издательство, 1990.

- Bajgar, Jiri: *Nerve Agents Poisoning and its Treatment in Schematic Figures and Tables*. (h. n.), Elsevier, 2012. Online: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-416047-7.00006-2>
- Bakó Péter – Fogarassy Elemér – Keglevich György: *Szerves vegyipari technológiák*. Egyetemi jegyzet. Budapest, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 2011.
- Bánki László et al: *Egy peszticid kifejlesztése mint komplex tudományos feladat – A Budapesti Vegyiművek BUVINOL herbicidjével kapcsolatos kutatások*. Medicina Könyvkiadó, Budapest, 1976.
- Bellovicz Gyula: *Munkavédelem*. Egyetemi jegyzet. Győr, Széchenyi István Egyetem, 2014.
- Briggs, Shirley A.: *Basic Guide to Pesticides. Their Characteristics and Hazards*. Washington, DC, Taylor & Francis, 2017.
- Fökl Rezső (szerk.): *Munkaegészségügyi és Munkavédelmi Enciklopédia*. 2. kötet. Budapest, Országos Műszaki Információs Központ, 1987.
- Fukuto, T. Roy – R. L. Metcalf: Isomerization of β -Ethylmercaptoethyl Diethyl Thionophosphate (Systox). *Journal of the American Chemical Society*, 76. (1954), 20. 5103–5106. Online: <https://doi.org/10.1021/ja01649a028>
- Halász László – Nagy Károly: *Mérgező anyagok kémiája*. Egyetemi jegyzet. Budapest, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, 2000.
- Kamiya, Mamoru – Katsura Kameyama: Photochemical Effects of Humic Substances on the Degradation of Organophosphorus Pesticides. *Chemosphere*, 36. (1998), 10. 2337–2344. Online: [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(97\)10202-8](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(97)10202-8)
- Химическая Энциклопедия, в пяти томах*. Москва, Издательства «Большая Российская Энциклопедия», 1988.
- Химическая Энциклопедия в пяти томах*. Москва, Издательства «Большая Российская Энциклопедия» 1995.
- Химическая Энциклопедия, в пяти томах*. Москва, Издательства «Большая Российская Энциклопедия», 1998.
- Kiss, Attila – Diána Virág: Photostability and Photodegradation Pathways of Distinctive Pesticides. *Journal of Environmental Quality*, 38. (2009), 1. 157–163. Online: <https://doi.org/10.2134/jeq2007.0504>
- Kiss István – Kováts Nóra: *Egészségvédelem*. Veszprém, Pannon Egyetem – Környezetmérnöki Intézet, 2011. Online: <https://tudastar.mk.uni-pannon.hu/anyagok/04-Egeszsegvedelem.pdf>
- Krieger, Robert I. – Nancy Ragsdale – James N. Seiber: *Assessing Exposures and Reducing Risks to People from the Use of Pesticides*. Washington, DC, American Chemical Society, 2007. Online: <https://doi.org/10.1021/bk-2007-0951>
- Marrs, Timothy C. – Bryan Ballantyne: *Pesticide Toxicology and International Regulation*. Hoboken, John Wiley & Sons, 2004. Online: <https://doi.org/10.1002/0470091673>
- Matolcsy, György – Miklós Nádasdy – Viktor Andriská – Sándor Terényi: *Pesticide Chemistry*. Budapest, Akadémiai Kiadó, 1988.
- Matthews, Graham A.: *A History of Pesticides*. Boston, CABI, 2018. Online: <https://doi.org/10.1079/9781786394873.0000>
- Murphy, Patrick J. (szerk.): *Organophosphorus Reagents. A Practical Approach in Chemistry*. Oxford, Oxford University Press, 2004.
- Nagy Rudolf – Sütő Norbert: Peszticidok veszélyei a szerves foszforsav-észter alapú rovarirtó szerek tükrében. *Védelem Tudomány*, 7. (2022), 2. 109–144. www.vedelemtudomany.hu/articles/VII/2/2022-0406-nagy-suto.pdf,
- Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal: *Nemzeti Növényvédelmi Cselekvési Terv, 2019–2023*. Agrárminisztérium, (é. n.). Online: https://portal.nebih.gov.hu/documents/10182/998660/NCST_+2019.pdf/dc1dd23c-f47a-318c-d623-31d44683247c
- Nollet, Leo M. L. – Hamir S. Rathore: *Handbook of Pesticides: Methods of Pesticide Residues Analysis*. Boca Raton, CRC Press, 2010.

- Pethő Ágnes (szerk.) (NÉBIH, 2015. január): 3–4. háttéranyag, Növényvédő szer felhasználás Magyarországon, 5.2 melléklet. A KÖRNYEZETBEN TARTÓSAN MEGMARADÓ SZERVES SZENNYEZŐ (POP) NÖVÉNYVÉDŐ SZEREK HAZAI FELHASZNÁLÁSA 1950–2010 KÖZÖTT, Dr. Pethő Ágnes (szerk.) et al. (OKKP, 2013. április): ATRAZIN-TARTALMÚ NÖVÉNYVÉDŐSZEREK HAZAI FELHASZNÁLÁSA 1960–2007, Módszertani Gyűjtemény tervezetek: A környezetben várható koncentrációk előre jelzett értékeinek kiszámítása és felhasználása a kockázatbecslésben (2014. május), Kockázatbecslés a nem cél-szervezetekre – ökotoxikológia (2014. január). Online: www.kornyezetvedok.hu/vgt/vgt2/orszagos/3_4_hatteranyag_Novenyvedoszer_felhasznalas_Magyarorszagon_.pdf?pi
- Shrikant, Randhavane – A. K. Khambete: Photolysis: Case Studies for Organophosphate Pesticides Treatment. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 2. (2014), 3. 1596–1599. Online: <https://irjet.net/archives/V2/i3/Irjet-v2i3247.pdf>
- Szabó Gyula: *A fizikai munkavégzés ergonómiája*. Budapest, Óbudai Egyetem, 2012.
- Tompai Anna (szerk.): *Kémiai biztonság és toxikológia*. Budapest, Medicina Könyvkiadó, 2005.
- Tőkés Gábor (szerk.): *Növényvédő szerek engedélyezése Magyarországon és az Európai Unióban*. Budapest, Mezőgazdasági Szakigazgatási Hivatal, Növény-, Talaj- és Agrárkörnyezet-védelmi Igazgatóság, 2011. Online: https://portal.nebih.gov.hu/documents/10182/21468/Novenyvedo_szerek_engedelyezese.doc/29de8dfd-5184-43be-996d-2e1ec19bfae1
- Цвијановић, Горица – Слађана Савић: *Заштита екосистема и биоремедијација*. Београд, Институт за Економику Пољопривреде, 2016.
- Ungváry György – Morvai Veronika (szerk.): *Munkaegészségtan*. Budapest, Medicina Könyvkiadó, 2010.
- Vásárhelyi Györgyi – Földi László: Vegyifegyver megsemmisítési technológiák. *Hadmérnök*, 2. (2007), 4. 46–59. Online: www.hadmernok.hu/archivum/2007/4/2007_4_vasarhelyi.pdf
- Walg Géza (szerk.): *Munkavédelem a mezőgazdaságban, az erdőgazdaságban, a faiparban és az élelmiszeriparban*. Debrecen, Mezőgazdasági Kiadó, 1979.
- Зинченко, В. А.: *Химическая защита растений, средства, технология и экологическая безопасность, учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений*. Москва, КолосС, 2012.

Jogi források

1998. évi XXVII. törvény a géntechnológiai tevékenységről
- 387/2021. (VI. 30.) Korm. rendelet A Veszélyes Áruk Nemzetközi Közúti Szállításáról szóló Európai Megállapodás „A” és „B” Melléklete kihirdetéséről, valamint a belföldi alkalmazásának egyes kérdéseiről
- 103/2003. (IX. 11.) FVM rendelet a növényvédő szerrel szennyezett csomagolóeszköz-hulladékok kezeléséről
- 89/2004. (V. 15.) FVM Rendelet a növényvédő szerek forgalomba hozatalának és felhasználásának engedélyezéséről, valamint a növényvédő szerek csomagolásáról, jelöléséről, tárolásáról és szállításáról
- 43/2010. (IV. 23.) FVM rendelet a növényvédelmi tevékenységről
- 5/2020. (II. 6.) ITM rendelet a kémiai kóroki tényezők hatásának kitett munkavállalók egészségének és biztonságának védelméről
- 5/1993. (XII. 26.) MüM rendelet a munkavédelemről szóló 1993. évi XCIII. törvény egyes rendelkezéseinek végrehajtásáról