ORIGINAL ARTICLE

TOXIKOLOGIE A EKOTOXIKOLOGIE HERBICIDU TRICLOPYRU

Toxicology and environmental toxicology of herbicide triclopyr

Jiří Patočka¹, Zdeněk Hon¹, Petr Procházka², Kamil Kuča³¹Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zdravotně sociální fakulta, katedra radiologie a toxikologie²Univerzita obrany v Hradci Králové, Fakulta vojenského zdravotnictví, katedra toxikologie³Univerzita obrany v Hradci Králové, Fakulta vojenského zdravotnictví, Centrum pokročilých studií

Summary

Triclopyr is a systemic herbicide, which belongs to the group of chlorinated pyridines. Triclopyr is used in the form of ester or amine salt. It is employed for the control of deciduous woody plants, provided that it does not destroy grass and coniferous woody plants. It is used for the control of broad leafed weeds and bushes at different spots along ways, in pastures and meadows, in forests and sport areas including home lawns, where the grass and coniferous woody plants remain intact after this use. Triclopyr is unusually effective against woody plants and is used for the destruction of bushes along railways and defoliation of forest areas. Triclopyr is not stable in surface waters. It has a limited mobility and low capability of the accumulation in the soil. Given its adsorption characteristics and the fact that it is decomposed in many ways, such as photolysis, metabolic conversion in plants and microbial degradation, its ability to penetrate into deeper soil layers and contaminate ground waters is low. Triclopyr is decomposed in soil with a half-life between 30 and 90 days. One of products of its degradation is trichloropyridinol, which can persist in the soil for as long as one year. In decaying vegetation, triclopyr is active for about 3 months. The substance is slightly toxic to birds. It was found to be non-toxic to bees and slightly toxic to fishes. In humans, pure triclopyr exerts a very low toxicity after its oral administration. Technical triclopyr is slightly toxic after its oral administration or transdermal penetration. Humans can be exposed to triclopyr residua in the food.

Key words: triclopyr – herbicide – toxicology – environmental toxicology – risk

Souhrn

Triclopyr je systémový herbicid ze skupiny chlorovaných pyridinů. Triclopyr je používán v podobě esteru nebo aminové soli, ke kontrole listnatých dřevin, aniž by ničil trávy a jehličnany, ke kontrole širokolistých plevelů a křoví na různých místech podél cest, na pastvinách a loukách, v lesích a na závoďích, včetně domácích trávníků, přičemž trávy a jehličnany zůstávají nedotčeny. Triclopyr je neobvykle účinný na dřeviny a je používán k likvidaci křovin kolem tratí a odlišování lesních ploch. Triclopyr není stálý v povrchových vodách. Má omezenou pohyblivost a malou schopnost hromadit se v půdě. Vzhledem k jeho adsorpčním vlastnostem a vzhledem k tomu, že se rozkládá mnoha způsoby, jako jsou fotolýza, metabolizace v rostlinách a mikrobiální degradace, jeho schopnost pronikat do hlubších vrstev půdy a kontaminovat podzemní vody je nízká. Triclopyr se rozkládá v půdě s poločasem mezi 30 a 90 dny. Jedním z produktů jeho degradace je trichlorpyridinol, který

Submitted: 2011-05-06 • Accepted: 2011-05-16 • Published online: 2011-06-20

KONTAKT: 13/2: 242–249 • ISSN 1212-4117 (Print) • ISSN 1804-7122 (Online)

může přetrvávat v půdě až jeden rok. V rozkládající se vegetaci je triclopyr aktivní asi 3 měsíce. Látka je mírně toxická pro ptáky. Bylo zjištěno, že je netoxická pro včely a velmi málo toxická pro ryby. Pro člověka má čistý triclopyr velmi nízkou toxicitu při podání ústy. Technický triclopyr je lehce toxický při podání ústy nebo při průniku kůží. Lidé mohou být exponováni rezidui triclopyru v dietě.

Klíčová slova: triclopyr – herbicid – toxikologie – ekotoxikologie – riziko

ÚVOD

Triclopyr je selektivní systémový herbicid, který hubí dvouděložné plevelné rostliny a náletové křoviny, není však toxický pro jednoděložné traviny ani jehličnaté stromy (resp. také borůvky a brusinky). Jeho herbicidní účinek je velmi selektivní (Lewer, Owen, 1990). Je používán jako postřikový arborocid a herbicid ve formě emulgovatelného koncentrátu k hubení nežádoucích dřevin, pařezů, buřeně a plevelů v lesním hospodářství, k likvidaci pařezové výmladnosti a pařezů dřevin v alejích a ovocných sadech, k hubení náletových dřevin na loukách a pastvinách, k likvidaci nežádoucí vegetace na nezemědělské půdě, k ošetřování svršků železničních tratí a k hubení nežádoucích listnatých dřevin. Patří mezi čtyři totální herbicidy nejčastěji používané při odlesňování půdy (Newton et al., 2008).

V železniční dopravě mají přípravky na bázi triclopyru omezené použití, protože postřikovou kapalinou se nesmí ošetřovat temeno hlavy kolejnic a je zakázáno je používat na železničních mostech a vodních propustích.¹ Triclopyr se vyznačuje výbornou účinností na listnaté

dřeviny, např. bez černý, jeřáb, bříza, olše, jasan, topol, javor, akát, dále ostružiník, maliník, jehličí trnitou aj. Dále hubí: šťovíky, koprivky, hasivku orličí, přesličky, sítiny a další druhy. Naopak nehubí: jehličnany, brusnici borůvku, brusnici brusinku a nepoškozuje trávy. Triclopyr je na seznamu registrovaných přípravků na ochranu rostlin, doporučených k likvidaci invazních druhů, zejména bolševníku velkolepého (*Heracleum mantegazzianum*).²

Chemie

Po stránce chemické je triclopyr pyridinový herbicid (3,5,6-trichlor-2-pyridinyloxy-octová kyselina), CAS Registry Number 55335-06-3, podobný struktuře picloramu (4-amino-3,5,6-trichlor-2-pyridin-karboxylová kyselina) nebo 2,4,5-T (2,4,5-trichlorfenoxi-octová kyselina) (obr. 1). Čistý produkt je jantarově zbarvená kapalina rel. hmotnosti 1,08 g/cm³, s b. v. 149 °C, málo rozpustná ve vodě (440 mg/l), log P (oktanol/voda) = 2,53, pKa volné kyseliny = 3,97. V praxi se jako herbicid používá ve formě aminu nebo esterů (Pompeo et al., 2009).

Obr. 1 Chemické strukturní vzorce triclopyru (3,5,6-trichlor-2-pyridinyloxy-octová kyselina), picloramu (4-amino-3,5,6-trichlor-2-pyridin-karboxylová kyselina) a 2,4,5-T (2,4,5-trichlorfenoxi-octová kyselina)

Mechanismus herbicidního účinku

Mechanismus herbicidního účinku triclopyru pro dvouděložné rostliny je založen na jeho chemické podobnosti s růstovým hormonem auxinem. Bezprostředně po aplikaci proniká do rostlin přes listy, lodyhy i borkou dřevin a jejich kořeny a poté se floémem přenáší do dalších částí rostliny, kde se akumuluje v růstově aktivních rostlinných pletivech (meristémeh). Protože má stejnou hormonální aktivitu jako auxin, ale jeho koncentrace v pletivech je po jeho aplikaci až 1 000krát větší, dojde k rozvratu hormonální rovnováhy a narušení růstu (Sterling, Hall, 1997). Účinek přípravku na plevle a buřeny je patrný již za několik hodin po aplikaci (Vencill, 2002). Dešťové srážky 2 hodiny po ošetření již neovlivní účinek přípravku na plevle.

Absorpce, distribuce, metabolismus a exkrece u necílových organismů

Absorpce triclopyru byla studována na králících a lidských dobrovolnících. U králíka bylo po jednorázové kožní aplikaci 2 000 mg/kg triclopyru nalezeno po 24 hodinách méně než 2 % látky v moči. Při opakované aplikaci Garlonu 4 (ekvivalent triclopyru 125, 250, resp. 500 mg) 5krát týdně po dobu 3 týdnů se množství absorbované látky pohybovalo mezi 8 až 9 %. U všech zvířat bylo pozorováno podráždění kůže v místě aplikace (Dost, 2000). U člověka byl sledován průnik triclopyru na 5 dobrovolnících, kterým bylo na předloktí aplikováno jednorázově 5 mg/kg Garlonu 4. Maximum látky v krvi se objevilo 12 hodin po aplikaci a po 72 hodinách již nebylo možné látku identifikovat. Množství látky vyloučené močí za 96 hodin odpovídalo jen 1,37 % aplikované látky (Carmichael et al., 1989). Absorpce triclopyru kůží je velmi pomalá a pro praktické účely téměř zanedbatelná. To potvrdily i experimenty Hotchkisse et al. (1992) prováděné *in vitro* se vzorky lidské kůže. Zjistili, že po 72 hodinách proniklo přes kožní vzorek pouze 0,7 % značené látky při její koncentraci 15 mg/cm².

Radioaktivně značený triclopyr byl také použit ke sledování jeho toxikinetiky u laboratorního potkana. Potkanům byla radioaktivní látka podávána i. v. v dávkách 1, 5, 20, 50 a 100 mg/kg a orálně v dávce 100 mg/kg. U nižších dávek triclopyru byla téměř veškerá radioaktivita nalezena v ledvinách a 16 hodin po jeho podání

se močí vyloučilo kolem 85 % podané látky. Po 30 hodinách již nebyla v krvi nalezena žádná radioaktivita. U vyšších dávek byla část radioaktivity nalezena i v exkrementech, do nichž se látka dostala žlučí (Dost, 2000). Podobně Timchalk et al. (1990) zjistili, že potkan vyloučí za 72 hodin 94–97 % radioaktivně značeného triclopyru, převážně močí. V exkrementech našli méně než 3 % radioaktivity, méně než 2 % bylo nalezeno ve tkáních a přibližně 0,2 % bylo konvertováno na oxid uhličitý. Obdobná toxikinetika triclopyru byla zjištěna také u psa (Timchalk et al., 1997) a opice (Timchalk, Nolan, 1997). Výsledky experimentů na opicích ukázaly, že obavy z nefrotoxicity triclopyru jsou neoprávněné. Posloužily jako výchozí materiál pro přípravu klinické studie na lidech.

Ta byla realizována na šesti dobrovolnících, kterým bylo jednorázově podáno 0,1, resp. 0,5 mg/kg Garlonu 4. Pět z nich pak bylo v rámci studia dermální toxikinetiky aplikováno na předloktí 5 g (3,7 mg/kg triclopyru) stejného přípravku (Carmichael et al., 1989). Po orální aplikaci byla nejvyšší hladina triclopyru v krvi mezi 2–3 hodinou a na nedetektovatelnou hodnotu se vrátila po 48 hodinách. Většina triclopyru (80 %) se vyloučila močí v nezměněné formě. Toxikinetika orálně podaného triclopyru odpovídala dvou-kompartmentovému modelu, jehož rychlejší fáze měla poločas $t_{0,5} = 1,3$ a pomalejší fáze 5,1 hodin. Toxikinetika dermálně aplikovaného triclopyru odpovídala jedno-kompartmentovému modelu s $t_{0,5} = 16,8$ hodin. Lidskou kůží se triclopyr absorbuje velmi špatně a je rychle z těla eliminován, takže nedochází k jeho kumulaci (Carmichael et al., 1989).

Rychlá eliminace triclopyru z organismu zvířat, která slouží jako potrava lidem, je důležitá pro jejich toxikologickou nezávadnost. Modelové pokusy na hovězím dobytku, kozách a slepicích prokázaly, že rezidua triclopyru v mase a produktech (mléko, vejce) jsou již po 24 hodinách po jeho aplikaci velmi nízká (od 0,1 do 0,7 ppm) a nepředstavují pro člověka žádné riziko (Eckerlin et al., 1987).

Metabolizace triclopyru je pomalá. Naprostá většina triclopyru se vylučuje v nezměněné formě, jen jeho nepatrná část je metabolizována na 3,5,6-trichlor-2-pyridinol, který má podobně nízkou toxicitu jako triclopyr. U člověka je množství tohoto metabolitu nižší než 1 % (Eckerlin et al., 1987).

Akutní toxicita

Triclopyr je považován za bezpečnou látku pro necílové organismy včetně člověka (McMahon, Bush, 1992). Triclopyr a jeho deriváty používané v herbicidních přípravcích jsou jen málo toxické. Páry neředěného technického triclopyru mírně dráždí oči. Přes neporušenou kůži prakticky neproniká do organismu a také se v něm

nekumuluje. Vyvolává jen mírné zarudnutí kůže v místě kontaktu a u citlivých osob způsobuje alergii (Reigart, Roberts, 1999).

Akutní toxicita triclopyru je relativně nízká, hodnota střední smrtné dávky (LD_{50}) pro většinu živočichů se pohybuje ve stovkách mg/kg (tabulka 1).

Tabulka 1 Akutní toxicita triclopyru pro některé živočichy

Živočich	Způsob podání	LD_{50} (mg/kg)
Potkan	orální	630 samice 729 samci
Potkan	dermální	1 100
Králík	orální	550
Králík	dermální	>2 000
Kachna	orální	1 693

Toxicita je vyjádřena velikostí střední smrtné dávky (LD_{50}) při dvou způsobech podání*.

* USEPA; Reregistration Eligibility Decisions (REDs) Database on Triclopyr (55335-06-3). USEPA 738-R-98-011. Available from, as of Oct 8, 2002: <http://www.epa.gov/pesticides/reregistration/status.htm>

Subchronická a chronická toxicita

Standardní 13týdenní orální subchronická toxicitní studie triclopyru na potkanech prokázala jisté rozdíly ve vnímavosti pohlaví. Jak u dávky 100, tak u dávky 250 mg/kg/den byly vnímavější samci. U vyšší dávky byly nalezeny drobné morfologické změny na játrech, zvětšení ledvin a úbytek na váze. V ledvinách některých zvířat byly pozorovány degenerativní změny tubulů. Úbytek na váze lze ovšem také vysvětlit tím, že pelety s přídavkem triclopyru nemusely zvířatům zrovna chutnat. Nejnižší dávka, která ještě nevyvolává žádný pozorovatelný efekt (NOEL), byla stanovena na 5 mg/kg/den (Dost, 2000).

V chronickém toxicitním testu byl psům kmene Beagle po dobu 228 dnů podáván orálně triclopyr v dávkách 5, 10 a 20 mg/kg/den. U všech zvířat byly nalezeny známky toxického poškození jater a ledvin. Nejnižší dávka, která ještě nevyvolává žádný pozorovatelný efekt (NOEL), byla stanovena na 2,5 mg/kg/den. Také roční chronická toxicitní studie na psech vedla ke stejné hodnotě NOEL (Dost, 2000).

Teratogenita a reprodukční toxicita

Teratogenní účinky triclopyru a jeho vliv na reprodukci byly testovány na potkanech a králí-

cích (Hanley et al., 1984). Březí samice potkana kmene Sprague-Dawley dostávaly triclopyr v dávkách 50, 100, resp. 200 mg/kg/den, ale ani u nejvyšší dávky nebyly nalezeny známky teratogenity. Ke stejným závěrům vedla i nedávná studie (Carney et al., 2007), kdy potkanům byly podávány dávky triclopyru 30, 100 a 300 mg/kg/den. Podobně u březích samic bílého novozélandského králíka (dávky triclopyru 10 event. 25 mg/kg/den) nebyly nalezeny žádné známky teratogenity a ještě tři další generace byly zdravé (Breslin, Billington, 1995). Stejně negativní výsledky byly zjištěny i při aplikaci vyšších dávek triclopyru, 10, 25, resp. 75 mg/kg/den (Kirk et al., 1989).

Mutagenicita

Standardní testy mutagenicity triclopyru prováděné *in vitro* pomocí různých modifikací Amesova testu neprokázaly, že by látka byla mutagenní. Také testy *in vivo*, jako např. cytogenetická analýza periferních lymfocytů nebo sledování chromozomálních aberací, byly negativní až do dávek 70 mg/kg, stejně jako dominantní letální test na hlodavcích. Negativní byl rovněž test neplánované syntézy DNA v savcích jaterních buňkách. Všechny až dosud provedené

testy ukazují, že triclopyr nevyvolává genetické poškození nebo mutace na úrovni DNA, chromozomů nebo buněk.

Karcinogenicita

Schopnost triclopyru vyvolat zhoubné bujení byla testována na myších a potkanech. Zvířatům byl po dobu dvou let podáván v dietě triclopyr v dávce 30 mg/kg. Nebyly nalezeny žádné známky karcinogenicity (Triclopyr, 1996).

Ekotoxikologie

Pro půdní mikroorganismy a pro vodní organismy je triclopyr stejně jako pro savce málo toxický. To z něj činí bezpečný herbicidní prostředek s minimálním rizikem jak pro přírodu, tak pro člověka. Střední letální koncentrace (LC_{50}) pro hrotnatku velkou (*Daphnia magna*) je 651 mg/l a pro pstruha duhového (*Oncorhynchus mykiss*) 117 mg/l (Tomlin, 1994). Střední letální dávka (LD_{50}) pro laboratorního potkana při orálním podání je 630 mg/kg, pro morče 310 mg/kg a pro králíka 550 mg/kg (Tomlin, 1994). Přijatelný denní příjem pro člověka (ADI = Acceptable Daily Intake) je 0,03 mg/kg tělesné hmotnosti a den. Látka se nekumuluje v savčím organismu. V lékařské literatuře nejsou popsány případy

intoxikace člověka triclopyrem, údajné intoxikace skotu ve Spojených státech z 90. let minulého století nejsou věrohodně doloženy.

Při studiu embryotoxicity a teratogenicity triclopyru na drápatce vodní (*Xenopus laevis*) bylo zjištěno, že existují významné rozdíly mezi jednotlivými přípravky triclopyru, tedy že na toxicitě látky se může podílet samotná forma triclopyru, stejně jako přídavné látky. Nejvyšší toxicitu vykazoval butoxy-ethylester triclopyru (LC_{50} = 10,0 mg/l), který je součástí přípravku Garlon 4. Isopropylaminová sůl triclopyru, která je součástí přípravku Garlon 3A, byla méně toxická (LC_{50} = 159 mg/l). Triclopyr byl ve všech přípravcích méně toxický než glyfosát, a to až 700krát (Perkins et al., 2000). Hodnota LC_{50} pro triclopyr-butoxy-ethylester je srovnatelná s LC_{50} pro malathion (10,9 mg/l), parathion (14,7 mg/l) (Ahrens, 1994) nebo paraquat (8,1 mg/l) (Linder et al., 1990).

Podobné rozdíly toxicity mezi preparátem Garlon 4 a Garlon 3A byly pozorovány i na jiných druzích vodních živočichů (tabulka 2). Z tohoto srovnání je zřejmé, že Garlon 3A je šetrnějším přípravkem pro likvidaci nežádoucích rostlin kolem vodních toků a ve vodních nádržích než Garlon 4, protože je významným způsobem méně toxický pro necílové organismy.

Tabulka 2 Srovnání toxicity dvou přípravků triclopyru, Garlonu 4 (butoxy-ethylester triclopyru) a Garlonu 3A (isopropylaminová sůl triclopyru) u několika druhů vodních živočichů (Ahrens, 1994)

Živočišný druh	Přípravek s triclopyrem	Toxicitní studie	
		Typ studie	LC_{50}
Slunečnice velkoploutvá (<i>Lepomis macrochirus</i>)	Garlon 4	96-h LC_{50}	0,87 mg/l
Slunečnice velkoploutvá (<i>Lepomis macrochirus</i>)	Garlon 3A	96-h LC_{50}	891 mg/l
Pstruh duhový (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	Garlon 4	96-h LC_{50}	0,74 mg/l
Pstruh duhový (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	Garlon 3A	96-h LC_{50}	552 mg/l
Hrotnatka velká (<i>Daphnia magna</i>)	Garlon 4	48-h LC_{50}	2,2 mg/l
Hrotnatka velká (<i>Daphnia magna</i>)	Garlon 3A	48-h LC_{50}	775–1 170 mg/l

Holmes et al. (1994) studovali toxický vliv triclopyru na ptáky a k pokusu použili páskovce dlouhoocasého (*Poephila guttata* Gould), kterému do krmiva přidávali triclopyr-butyloxy-ethylester tak, aby se jeho denní dávky pohybovaly od 50 do 500 mg/kg. V dávkách od 50 do 150 mg/kg nepozorovali žádné významné změn-

ny ani v chování, ani v tělesné váze. U dávek 500 mg/kg pozorovali pouze mírné snížení pohybové aktivity a svůj výzkum uzavřeli konstatováním, že aplikace triclopyru v lesním terénu v doporučených dávkách představuje pouze nepatrné riziko pro divoce žijící ptáky.

Z pohledu ekotoxikologie je triclopyr bezpečný herbicid. Po vniknutí do půdy je málo mobilní, váže se na půdní částice a je také málo rozpustný ve vodě. Díky tomu jen špatně proniká do vodních zdrojů (Cessna et al., 2002). Jeho rozklad v přírodě bez přístupu světla je sice pomalý, poločas 138 dnů (naproti tomu 2,4-D, látka podobná 2,4,5-T, 21 dnů) (Johnson et al., 1995), ale rozklad je velmi urychlován světlem, takže za normálních okolností je v půdě rychle odbouráván (Cessna et al., 2002). Na slunci se rozkládá účinkem UV paprsků a jeho poločas rozkladu je menší než 1 den. Je také rozkládán půdními mikroorganismy s průměrným poločasem 46 dní na 3,5,6-trichlor-2-pyridinol, který je dále rozkládán na neškodné produkty (Wan et al., 1987). Madsen et al. (2008) zjistili, že při koncentraci triclopyru 0,75 mg/l dochází za 72 hodin k 39% rozkladu, při 1,5 mg/l k 26% a při 2,5 mg/l k 33% rozkladu. Rychlost rozkladu je ale závislá na celé řadě dalších faktorů, především teplotě a také na koncentraci vodíkových iontů (pH). Rezidua triclopyru v životním prostředí jsou obecně nižší než rezidua ostatních herbicidů (Wan et al., 2006). Koncentrace triclopyru v podzemních a povrchových vodách, jakož i v sedimentech a naplaveninách, jsou na většinu

území ČR pod mezí jeho stanovitelnosti (viz <http://hydro.chmi.cz/pasporty/pasport.php?seq=3287800>). Určitým problémem je toxicita triclopyru vůči ektomykorhizním houbám. Ve srovnání s glyfosátem a hexazinonem je toxičtější, a může proto narušovat jejich symbiózu (Chakravarty, Sidhu, 2007).

Jako každá chemická substance obsahující v molekule chlor i triclopyr představuje určité riziko při spalování biomasy s jeho rezidui, protože může vést k produkci dioxinů. Vzhledem k relativně malým dávkám, které se při aplikaci triclopyru užívají, je však toto nebezpečí spíše teoretické.

Degradace v přírodě

Vlastní herbicidně účinnou látkou všech přípravků a triclopyrem je samotný triclopyr, na nějž se rozkládají jak jeho estery (TBEE), tak aminy (TEA). Triclopyr je v rostlinách metabolizován na trichlormethoxypyridin (TMP) a trichlorpyridinol (TCP). Na stejné produkty je rozkládán v půdě za přispění mikroorganismů a ve vodě je hydrolyzován na trichlorpyridinol. Za účinku světla je degradován až na kyselinu oxamovou, oxid uhličitý a další organické látky (obr. 2).

Obr. 2 Degradace triclopyru. Triclopyr-triethylamin (TEA, Garlon 3A), triclopyr-butyloxy-ether (TBEE, Garlon 4), trichlormethoxypyridin (TMP), trichlorpyridinol (TCP)

Riziko pro lidské zdraví

Gosselin et al. (2005) studovali zdravotní riziko u skupiny pracovníků, kteří odstraňovali keře a stromy v provincii Quebec (Kanada) v blízkosti elektrického vedení a používali k tomu přípravek Garlon 4, který obsahuje triclopyr. Sledovali jejich zdravotní stav, v jejich moči stanovovali množství triclopyru a zjišťovali absorbovanou denní dávku. Zjistili, že nejvyšší nalezené hodnoty u lidí dosahovaly maximálně 13,3 % dávky NOEL pro laboratorního potkana (5 mg/kg) a že triclopyr tudíž nepředstavuje pro člověka žádné nebezpečí, jestliže se s ním zacházeno bezpečným způsobem.

ZÁVĚR

Triclopyr je selektivní systémový herbicid, který hubí dvouděložné plevelné rostliny a náletové křoviny, není však toxický pro jednoděložné traviny ani jehličnaté stromy. Z toxikologického pohledu se jedná o bezpečnou látku, šetrnou jak k životnímu prostředí, tak lidskému zdraví (Patočka, 2009). Pokud by se dostal do povrchových vod ve velkém množství, představuje jistě nebezpečí pro vodní živočichy, zejména ryby a bezobratlé. Triclopyr je v přírodě rychle rozkládán a nekumuluje se ani v půdě, vodě nebo v živých organismech. Není mutagenní, kancerogenní a teratogenní. Jeho toxicita pro savce včetně člověka je nízká. Kromě mírně dráždivého účinku na oči a kůži a alergické reakce u některých jedinců nejsou známy žádné další nebezpečné účinky tohoto herbicidu na lidské zdraví.

* Tato práce vznikla za podpory projektu MO0F-VZ0000604.

Vysvětlivky:

1. Směrnice pro hubení plevelů na železničních tratích a pozemcích ČD, s. o., Praha: Příloha věstníku Českých drah č. 8/2001.
2. Metody regulace invazních druhů rostlin (AOPK ČR 2003), viz http://gis.kr-kralovehradecky.cz/assets/GIS/projekty/ziv-prostredi/priloha_4.pdf

LITERATURA

AHRENS, W. H.: *WSSA Herbicide Handbook*, 7th ed. Weed Science Society of America, Champaign, IL, 1994.
BRESLIN, W. J., BILLINGTON, R.: Evaluation of the developmental toxicity of triclopyr triethylamine salts (TEA) and triclopyr butoxyethyl ester (BEE) in rabbits. *Int. Toxicol.* 1995, vol. 7, p. 74.

CARMICHAEL, N. G., NOLAN, R. J., PERKINS, J. M., DAVIES, R., WARRINGTON, S. J.: Oral and dermal pharmacokinetics of triclopyr in human volunteers. *Human Exp. Toxicol.* 1989, vol. 8, p. 431–437.
CARNEY, E. W., BILLINGTON, R., BARLOW, S. M.: Developmental toxicity evaluation of triclopyr butoxyethyl ester and triclopyr triethylamine salt in the CD rat. *Reprod. Toxicol.* 2007, vol. 23, p. 165–174.
CESSNA, A. J., GROVER, R., WAITE, D. T.: Environmental fate of triclopyr. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.* 2002, vol. 274, p. 19–48.
DOST, F. N.: Toxicology and potential health risk of chemicals that may be encountered by workers using forest vegetation management options. Part VI, Risk to workers using triclopyr formulations (Release or Garlon). BC Ministry of Forests, Canada 2000.
ECKERLIN, R. H. et al.: Excretion of triclopyr herbicide in the bovine. *Bull. Envir. Contam. Toxicol.* 1987, vol. 39, p. 443–447.
GOSSELIN, N. H., BRUNET, R. C., CARRIER, G., DOSSO, A.: Worker exposures to triclopyr: risk assessment through measurements in urine samples. *Ann. Occup. Hyg.* 2005, vol. 49, p. 415–422.
HANLEY, T. R., THOMPSON, D. J., PALMER, A. K., BELILES, R. P., SCHWETZ, B. A.: Teratology and reproduction studies with triclopyr in the rat and rabbit. *Toxicol. Sci.* 1984, vol. 4, p. 872–882.
HOLMES, S. B., THOMPSON, D. G., WAINIO-KEIZER, K. L., CAPELL, S. S., STAZNIK, B.: Effects of lethal and sublethal concentrations of the herbicide, triclopyr butoxyethyl ester, in the diet of zebra finches. *J. Wild. Dis.* 1994, vol. 30, p. 319–327.
HOTCHKISS, S. A. M., HEWITT, P., CALDWELL, J., CHEN, W. L., ROWE, R. R.: Percutaneous absorption of nicotinic acid, phenol, benzoic acid and triclopyr butoxyethyl ester through rat and human skin *in vitro*: Further validation of an *in vitro* model by comparison with *in vivo* data. *Food Chem. Toxicol.* 1992, vol. 30, p. 891–899.
CHAKRAVARTY, P., SIDHU, S. S.: Effect of glyphosate, hexazinone and triclopyr on *in vitro* growth of five species of ectomycorrhizal fungi. *Eur. J. Forest Pathol.* 2007, vol. 17, p. 204–210.
JOHNSON, W. G., LAVY, T. L., GBUR, E. E.: Sorption, mobility and degradation of triclopyr and 2,4-D on four soils. *Weed Sci.* 1995, vol. 43, p. 678–684.
KIRK, H. D., HANLEY, T. H., EISENBRANDT, D. L., QUAST, J. F.: Evaluation of the potential developmental effects of triclopyr in the New Zealand White rabbit. *Toxicologist* 1989, vol. 9, p. 223.
LEWER, P., OWEN, W. J.: Selective action of the herbicide triclopyr. *Pest. Biochem. Physiol.* 1990, vol. 36, p. 187–200.
LINDER, G., BARBITTA, J., KWAISER, T.: Short term amphibian toxicity tests and paraquat toxicity assessment. *Aquat. Toxicol. Risk Assess.* 1990, vol. 13, p. 189–198.
MADSEN, J. D., WERSAL, R. M., GETSINGER, K. D., NELSON, L. S.: Sensitivity of wild rice (*Zizania palustris* L.) to the aquatic herbicide triclopyr. *J. Aquat. Plant Manager* 2008, vol. 46, p. 150–154.
McMAHON, C. K., BUSH, P. B.: Forest worker exposure to airborne herbicide residues in smoke from prescribed fires in the southern United States. *Am. Ind. Gyg. Assoc. J.* 1992, vol. 53, p. 265–272.

- NEWTON, M., COLE, E. C., TINSLEY, I. J.: Dissipation of four forest-use herbicides at high latitudes. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 2008, vol. 15, p. 573–583.
- PATOČKA, J.: Triclopyr: toxikologie a ekotoxikologie. Server TOXICOLOGY, 2009. Available at <http://www.toxicology.emtrading.cz/modules.php?name=News&file=article&sid=250>
- PERKINS, P. J., BOERMANS, H. J., STEPHENSON, G. R.: Toxicity of glyphosate and triclopyr using the frog embryo teratogenesis assay – *Xenopus*. *Environ. Toxicol. Chem.* 2000, vol. 19, p. 940–945.
- POMPEO, M. P. et al.: Solventless formulation of triclopyr butoxyethyl ester. US Patent No. 7, 488, 702 B2, Feb. 10, 2009.
- REIGART, J. R., ROBERTS, J. R.: Recognition and management of pesticide poisonings. 5th ed. 1999. EPA Document No. EPA 735-R-98-003. U.S.
- STERLING, T. M., HALL, J. C.: Mechanism of action of natural auxins and the auxinic herbicides. In: ROES, R. M. et al.: (eds.) *Herbicide Activity: Toxicology, Biochemistry and Molecular Biology*. IOS Press, 1997, p. 111–141.
- TIMCHALK, C., DRYZGA, M. D., KASTL, P. E.: Pharmacokinetics and metabolism of triclopyr (3,5,6-trichloro-2-pyridinyloxyacetic acid) in Fischer 344 rats. *Toxicology* 1990, vol. 62, p. 71–87.
- TIMCHALK, C., NOLAN, R. J.: Pharmacokinetics of triclopyr (3,5,6-trichloro-2-pyridinyloxyacetic acid) in the Beagle dog and rhesus monkey: Perspective on the reduced capacity of dogs to excrete this organic acid relative to the rat, monkey and human. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 1997, vol. 144, p. 268–278.
- TIMCHALK, C., FINCO, D. R., QUAST, J. F.: Evaluation of renal function in rhesus monkeys and comparison to Beagle Dogs following oral administration of the organic acid Triclopyr (3,5,6-Trichloro-2-pyridinyloxyacetic acid). *Fund. Appl. Toxicol.* 1997, vol. 36, p. 47–53.
- TOMLIN, C. D. S.: (ed.). *The Pesticide Manual – World Compendium*. 10th ed. Surrey, UK: The British Crop Protection Council, 1994, p. 1017.
- TRICLOPYR. Herbicide Information Profile. US Department of Agriculture. November 1996. Available at <http://www.fs.fed.us/outernet/r6/nr/fid/pubsweb/tri.pdf>
- VENCILL, W. K.: (ed.). *Herbicide Handbook*. 8th Ed. Weed Sci. Soc. Amer., Lawrence, KS. 2002, 493 pp.
- WAN, M. T., MOUL, D. J., WATTS, R. G.: Acute toxicity to juvenile Pacific salmonids of Garlon 3A, Garlon 4, triclopyr, triclopyr ester, and their transformation products: 3,5,6-trichloro-2-pyridinol and 2-methoxy-3,5,6-trichloropyridine. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 1987, vol. 39, p. 721–728.
- WAN, M. T., KUO, J. N., McPHERSON, B., PASTERNAK, J.: Agricultural pesticide residues in farm Ditches of the Lower Fraser Valley, British Columbia, Canada. *J. Environ. Sci. Health, Part B*. 2006, vol. 41, p. 1532–4109.

Jiří Patočka et al.
prof.patočka@gmail.com