

Glyfosátové herbicidy – sleva, která není zadarmo

Zhruba před 30 lety se zemědělství v USA vydalo cestou jednoho herbicidu – glyfosátu Roundup. Současně se omezovala do té doby běžná klasická orba a zavedly se geneticky modifikované plodiny odolné vůči glyfosátům, označované RR (Roundup Ready). Tím se otevřel prostor pro velký objem a rozsah užívání glyfosátů i přechod odvětví rostlinné výroby ke strategii jednoho herbicidu. Následující text přináší informace k této problematice čerpající z vědeckých poznatků publikovaných v posledních letech v *European Journal of Agronomy* a v dalších odborných časopisech; jde o překlad článku Dona M. Hubera z Purdue University v USA (2010).

Vliv glyfosátu na výživu rostlin a na jejich choroby se dlouho přehlížel, ale nyní je každým rokem vzhledem k účinkům jeho reziduí stále zřejmější. Široké používání glyfosátu i rychlé zavedení geneticky modifikovaných plodin odolných vůči tomuto herbicidu (sója, kukuřice, bavlna, cukrová třtina, cukrová řepa nebo vojtěška) nesmírně zvýšilo jeho spotřebu na zjednodušenou kontrolu plevelů, a tím také zvýšilo deficity některých základních živin a řady stopových prvků. To přináší nutnost jejich průběžného doplňování.

Abychom mohli učinit opatření nutná ke zmírnění negativních účinků tohoto systému, potřebujeme rozumět tomu, jak glyfosát působí a jak funguje RR gen zodpovědný za odolnost rostlin. V tomto směru rozhoduje uvážlivé užívání glyfosátu. Škody způsobené glyfosátem se často připisují vlivu jiných faktorů, např. suchu nebo kolísání vlhkosti, mrazu nebo naopak vysokým teplotám, hluboké setbě, zbytkům po předchozí plodině apod. Shrnutí známých mechanismů působení glyfosátu a jeho reziduí na plodiny uvádí tab. 1.

Glyfosát jako herbicid

Glyfosát neboli N-fosfomonometylglycin byl patentován v r. 1964. Chelátory kovů (látky, které na sebe aktivně vážou ionty) se v zemědělství užívají ke zvýšení rozpustnosti a příjmu stopových prvků (mikroživin) nezbytných pro fyziologické procesy rostlin. Používají se také jako herbicidy a další biocidy (k potlačení nitrifikačních bakterií, jako fungicidy, regulátory růstu organismů atd.). Navazují na sebe kovy (měď, železo, mangan, nikl, zinek) nezbytné pro aktivitu enzymů. Na rozdíl od některých látek, jež vyvazují jeden či pouze několik kovů, glyfosát váže široké spektrum prvků ze skupiny makro- i mikroživin (vápník, hořčík, měď, železo, mangan, nikl, zinek). Právě tato schopnost způsobuje, že glyfosát představuje širokospektrý herbicid a je silným antimikrobiálním činidlem, neboť ovlivňuje funkci velkého počtu základních enzymů.

Herbicidní působení glyfosátu spočívá ve vyvazování manganu, čímž ho činí nedostupným pro řadu enzymů vyžadujících tento prvek pro svou aktivitu – v první řadě jde o 5-enolpyruvylšikimát-3-fosfát syntázu (EPSPS), která se uplatňuje hned na počátku šikimátové cesty tvorby sekundárních metabolitů (viz dále). Podobně může ovlivnit další enzymy zapojené do primárního i sekundárního metabolismu a vyžadující jiné kovy (kobalt, měď, železo, hořčík, nikl, zinek). I některé z těchto enzymů se účastní šikimátové cesty, jež se podílí na reakci rostlin na stres a na jejich obraně proti patogenům produkcí látek s antimikrobiálními účinky (fytoalexiny, flavonoidy aj.), aminokyselin a peptidů s inhibičním působením na patogeny, hormonů účastnících se procesu zajizvení (fyzického oddělení patogenů), tvorby kalusu a mecha-

nismů, pomocí nichž se rostlina vyhýbá chorobám. Jsou-li blokovány enzymy šikimátové cesty, stává se rostlina vysoce náchylnou k působení různých půdních patogenů (*Fusarium*, *Pythium*, *Phytophthora*, *Rhizoctonia* aj.), jež jsou navíc glyfosátem stimulovány – zvyšuje se jejich virulence (např. Levesque a Rahe 1992, Johal a Huber 2009). Je to právě aktivita těchto patogenů, která rostlinu ve skutečnosti zabíjí. Nedostane-li se glyfosát nějakým „nedopatřením“ do kořenů, může nadzemní část zakrtnout, ale rostlina přežije. Je velice obtížné usmrtit rostlinu ve sterilní půdě pouhým vyražením šikimátové metabolické dráhy, pokud nejsou současně přítomny půdní patogeny. Genetické modifikace rostlin cílené na toleranci vůči glyfosátu šikimátovou dráhu částečně obnovují, což pak umožňuje selektivní působení herbicidu.

Glyfosát se jako chemická látka pohybuje ve floému (vodivých drahách rostliny), hromadí se v dělivých, meristematických pletivech (v kořenech, vzrostných vrcholech nebo reprodukčních orgánech, také v hlízkách bobovitých rostlin – *Fabaceae*) a dostává se zpět do půdy vylučováním kořeny (z RR i ostatních plodin) nebo rozkladem zbytků ošetřených rostlin.

Rozklad glyfosátu ve většině půd je pomalý nebo žádný, a pokud k odbourávání dochází, jde o vedlejší metabolismus mikrobů. Může se tedy dlouhodobě hromadit – v půdách i ve vytrvalých rostlinách. Omezený rozklad však může představovat „bezpečnostní prvek“, protože většina degradačních produktů glyfosátu působí velice toxicky, i na RR rostliny. Fosforečná hnojiva mohou uvolnit glyfosát vázaný na půdu a může dojít ke škodám na následných plodinách. Některé z pozorovaných účinků glyfosátu a jeho reziduí uvádí tab. 1.

Rostliny s geny Roundup Ready (RR)

Rostliny geneticky upravené k toleranci glyfosátu obsahují jeden nebo více genů Roundup Ready poskytujících alternativní cestu EPSPS (EPSPS-II), jež není glyfosátem blokována. Jakmile se geny dostanou do rostliny, přetrvávají v ní stále. Důvodem vkládání těchto genů je zajištění selektivity herbicidu, aby se glyfosát dal na rost-

Tab. 1 Dosud známé skutečnosti o vlivu glyfosátu na výživu a choroby rostlin

1. Glyfosát je silný chelátor kovů (Ca, Co, Cu, Fe, Mn, Mg, Ni, Zn) – v postřikových směsích, v půdě i v rostlinách.
2. Je rychle přijímán kořeny, stonky i listy, pohybuje se celou rostlinou (i u Roundup Ready – RR plodin).
3. Hromadí se v dělivých pletivech (i u RR plodin).
4. Inhibuje mnoho životně důležitých enzymů (enzymy šikimátové dráhy, především EPSPS).
5. Zvyšuje náchylnost rostlin k suchu a chorobám.
6. Vykazuje nespecifické herbicidní působení (šírokospektrá kontrola plevelů).
7. Část glyfosátu rostliny vylučují svými kořeny do půdy – exudace.
8. V půdě je imobilizován vazbou na půdní kationty (Ca, Co, Cu, Fe, Mg, Mn, Ni, Zn) – chelace.
9. Vytrvává a hromadí se v půdě i v rostlinách po celé roky – ale díky chelaci se rychle imobilizuje.
10. Z vazeb na půdní částice je uvolňován fosforem, a tak zpřístupňován rostlinám.
11. Je toxický pro půdní organismy, jež zvyšují dostupnost živin a jejich příjem rostlinami.
12. Inhibuje příjem a transport Fe, Mn a Zn rostlinou při velice nízkých koncentracích, kdy se ještě neprojevuje herbicidní účinek.
13. Stimuluje půdní patogeny a jiné mikroorganismy, což vede ke snížení dostupnosti živin.
14. Snižuje tvorbu sekundární stěny a ligninu (i u RR rostlin).
15. Inhibuje fixaci dusíku vyvázáním niklu potřebného při syntéze ureidů – je toxický pro bakterie rodu *Rhizobium*.
16. Snižuje fyziologickou dostupnost a koncentrace Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn a Zn v pletivech rostlin i v jejich semenech.
17. Rezidua glyfosátu v půdě mohou poškozovat rostliny, které je přijímají kořeny.
18. Rezidua zvyšují hladinu mykotoxinů ve stoncích, slámě, zru a v plodech.
19. Snižuje fotosyntézu (fixaci CO₂).
20. Způsobuje opadávání pupenů a plodů, má i další hormonální účinky.
21. Rezidua se hromadí v plodinách i krmivech a vstupují do potravních sítí, což vyvolává otázky bezpečnosti potravin.



1 Ve Spojených státech amerických se Roundup Ready kukuřice již běžně pěstuje – její pokryvnost půdy je nízká, proto poskytuje prostor plevelům, proti nimž se používají herbicidy.

2 Pšenice se pro RR systém připravuje. U ní však nehrozí takové ztráty od plevelů kvůli odnožování. Snímky M. Kovářové



liny aplikovat přímo a nebyl omezen na použití před vzejitím plodiny. Jelikož jde o náhradní fyziologický mechanismus, vyžaduje aktivita této duplicitní cesty od rostliny energii, jež by byla jinak využita na tvorbu výnosu. K expresi genů RR nedochází v meristematických pletivech, v nichž se glyfosát hromadí, takže tato rychle metabolizující pletiva vyžadující vyšší dostupnost esenciálních mikroživin nutných k buněčnému dělení a růstu nemají alternativní EPSPS cestu. Geny RR se přenášejí pylm na dceřině rostliny a také z rozkládajícího se pletiva do půdních mikroorganismů.

Zbytkový glyfosát v pletivech RR rostlin může imobilizovat železo, mangan, zinek a další živiny aplikované na list po dobu 8–35 dní. To snižuje dostupnost látek potřebných k fotosyntéze, odolnost vůči chorobám a další zásadní fyziologické funkce. Přítomnost RR genů snižuje příjem živin (u bakterií fixaci dusíku) a jejich fyziologickou účinnost a může být částečnou příčinou nižšího výnosu a také nižšího obsahu živin v semenech u RR plodin v porovnání s nemodifikovanými liniemi, z nichž byly odvozeny. Dále se projevuje nižší účinností využívání vody a zvýšeným stresem zapříčiněným suchem.

Glyfosát a výživa rostlin

Glyfosát snižuje dostupnost základních živin jejich vyvázáním (chelací, viz výše) po dodání, neboť je v rostlině několika násobně více volného glyfosátu než všech nevázaných kationtů. Po aplikaci herbicidu je proto často pozorováno zesvětlení či žloutnutí, jež přetrvává tak dlouho, než rostlina dokáže chybějící živiny doplnit příjmem z půdy. Odeznění tohoto symptomu ukazuje na obnovení fyziologických procesů, to ale neznamená, že by živiny byly přítomny v dostatečném množství;

nedostatek mikroživin se často nazývá „skrytý hlad“. Příjem i transport železa, manganu a zinku rostlinami se drasticky snižuje (až o 80 %) již při koncentracích glyfosátu běžných jako „pozadí“ (méně než 1/40 dávky herbicidu). Siderofory – sloučeniny, které vážou železo s vysokou účinností (vylučované bakteriemi, houbami či travami), a reduktázy železa v kořenových exudátech jsou v podmínkách živinového stresu glyfosátem inhibovány, což ještě prohlubuje stres z nedostatku živin v chudých půdách.

Jak již bylo uvedeno, glyfosáty jsou v půdě obtížně degradovány a pravděpodobně se v ní po celá léta hromadí, navázané na půdní kationty. Produkty rozkladu poškozují RR plodiny stejně jako plodiny ostatní. Ukládání a hromadění glyfosátu ve vytrvalých rostlinách, v půdě a kořenových meristémtech může významně omezit růst kořenů a tvorbu pletiv přijímajících živiny. Glyfosát také snižuje příjem živin z půdy nepřímo svým toxickým působením na mnoho půdních mikroorganismů, které zpřístupňují živiny mineralizací organických látek, redukčními procesy, symbiózou apod.

Degradace rostlinných pletiv během růstu, nekrózy nebo rozklad reziduí uvolňují glyfosát z meristematických pletiv v koncentracích, jež jsou pro rostliny toxické. Např. pšenici hrozí největší poškození dva týdny po postřiku plevelného jílku, kdy se nahromaděný glyfosát uvolňuje z jeho odumírajících pletiv. Po pravidelném ošetření plevelů je proto třeba oddálit výsev ozimé pšenice o 2–3 týdny, aby se mohl glyfosát z kořenových exudátů navázat na půdní kationty, kdy není přístupný pro příjem rostlinami (tj. dochází k jeho imobilizaci). Vazba na půdní kationty nastává i při samotném postřiku glyfosátem.

Jednou z výhod střídání plodin je zvýšená dostupnost živin pro následnou plodinu. Vysoká hladina dostupného manganu (130 mg/kg), jež se vyskytuje po pěstování běžné kukuřice, však nebyla pozorována po RR kukuřici ošetřené glyfosátem. Nižší dostupnost mikroživin po určitých RR plodinách je nutné vyrovnat jejich aplikací – pro optimalizaci výnosu a snížení výskytu chorob u následných plodin.

Účinky glyfosátu na půdní organismy ovlivňující příjem živin rostlinami

Glyfosát je toxický pro žížaly, symbiotické mykorrhizní houby (příjem fosforu a zinku), omezuje mikroby, jež převádějí nerozpustné půdní oxidy manganu a železa na formy dostupné pro rostliny (zástupci rodů *Pseudomonas*, *Bacillus* apod.), fixátory dusíku (*Bradyrhizobium*, *Rhizobium*) i organismy podílející se na přirozené, biologické kontrole nemocí rostlin způsobovaných půdními mikroorganismy, které snižují příjem živin kořeny. Při použití glyfosátu na ornou půdu je jeho kontakt s těmito organismy omezen v důsledku rychlého vázání a imobilizace. Glyfosát z kořenových exudátů a z rozkládajících se pletiv plevelů nebo RR plodin zasahuje tyto organismy v nejbližším okolí kořenů – rhizosféře. Deficity mědi, železa, hořčíku, manganu, niklu a zinku včetně jejich stále silnějších projevů nejsou nikterak výjimečné ani v půdách, které kdysi tyto živiny poskytovaly v dostatečném množství. Přidání daných mikroživin škodlivé účinky glyfosátu omezilo a také zvýšilo výnosy.

I přes svou toxicitu vůči mikroorganismům stimuluje glyfosát patogenní půdní mikroby, jež omezují dostupnost živin jejich oxidací nebo vyvázáním ve svých buňkách (např. draslík). Jde o běžné se vyskytující bakterie a houby způsobující hnilobu kořenů i nadzemních částí rostlin, kolonizátory kořenů, jejichž množství snižují a tak narušují transport živin a způsobují chřadnutí a odumírání hostitele.

Mezi rostlinné patogeny stimulované glyfosátem patří mimo jiné: *Botryosphaeria dothidea*, *Corynespora cassiicola* (suchá skvrnitost listů), síťoploka travní (*Gaeumannomyces graminis*), řada zástupců rodu *Fusarium*, *Clavibacter michiganensis* subsp. *nebraskensis* (Goss' wilt – odumření horních listů kukuřice), *Magnaporthe grisea* (viz dále), *Myrothecium verrucaria*, *Phaeomonilla chlamydozpora*, zástupci rodů *Phytophthora* a *Pythium*, *Thielaviopsis bassicola* nebo *Xylella fastidiosa*.

Glyfosát a choroby rostlin

Mikroživiny jsou regulátory, aktivátory a inhibitory rostlinných obranných mechanismů zajišťujících odolnost vůči stresu a chorobám. Navázání těchto živin glyfosátem narušuje obranyschopnost rostlin a naopak podporuje mechanismy vedoucí k rozvoji chorob. To zesiluje účinek řady abiotických vlivů (praskání kůry, deficity živin) stejně jako infekcí u RR i u normálních rostlin. O mnoha těchto chorobách se uvádí, že se „náhle vyskytly“ nebo „znovu objevily“, neboť v minulosti buď nezpůsobovaly ekonomické ztráty, nebo byly účinně kontrolovány zemědělskými metodami a postupy.

● Choroby neinfekčního původu (zapříčiněné abiotickými vlivy)

Výzkum prováděný na Univerzitě státu Ohio ukázal, že praskání kůry, spaleny od slunce nebo mrazu a vymrzání stromů a okrasných trvalek jsou způsobeny glyfosátem použitým ke kontrole plevelů v přízemním patru porostu a že se glyfosát může ve vytrvalých rostlinách hromadit po dobu 8–10 let. Herbicid se do nich dostává přes kůru – z postřiku rozptýleného ve vzduchu, nebo z kořenových exudátů

plevelů přijatých kořeny stromů. Ještě několik let po skácení infikovaných jedinců docházelo k silnému poškození stromů sousedících s jejich pařezy ošetřenými glyfosátem proto, aby se zamezilo obrůstání z pařezové obnovy (např. v boji s chorobou působící žloutnutí citrusů).

● Infekční choroby

Více než 20 let byla u obilí po předchozí aplikaci glyfosátu pozorována vyšší infektivita sífoplodky travní, houby způsobující hnilobu (černání pat) stébel, a patogenní houby rodu *Phytophthora*, původce krčkové hniloby. Černání stébel se opět objevuje v mnoha obilnářských oblastech světa, kde se užívá glyfosát ke kontrole plevelů před výsevem. Podobnou chorobu, která celosvětově napadá i rýži, působí *Magnaporthe grisea* rozmáhající se v Brazílii především tam, kde se po RR rostlinách vysévá pšenice. Tři uvedené houbové patogeny zasahují kořeny ječmene i pšenice.

Druhy rodu *Fusarium* jsou velmi rozšířenými patogeny obilnin, způsobujícími fuzariózu klasu. Vyvolávají vážné choroby pšenice a ječmene pouze v mírném pásu USA. Díky extenzivnímu používání glyfosátu však dosáhly epidemického rozsahu, takže ve většině obilnářských oblastí Severní Ameriky dnes převažují nad chorobami jinými. Kanadský výzkum ukázal, že jedna a více aplikací glyfosátu tři roky před výsevem pšenice zvýšily výskyt fuzariózy o 75 % u všech plodin a o 122 % u plodin s minimalizovanou orbou, kde se užívá glyfosátu více. Nejsilnější výskyt fuzariózy je tam, kde se v jedné sezoně vysévá pšenice po RR plodinách. Glyfosát mění fyziologii rostlin (metabolismus uhlíku a dusíku), zvyšuje náchylnost pšenice a ječmene k fuzariózám a zvyšuje produkci toxinů, což souvisí s přechodnou tolerancí pšenice a sóji ke rzím. Glyfosátem stimulovaný výskyt fuzarióz s sebou nese dramatické zvýšení hladiny toxinů (deoxynivalenol, nivalenol, „vomitoxiny“) a estrogenních mykotoxinů (zeralenol) v obilkách a dále nárůst výskytu černání stébel i krčkové hniloby. K produkci mykotoxinů dochází v pletivech kořenů a bází stébel, pak se přesouvají do stonků, plev a obilek. Objevily se obavy z používání slámy a plev jako podestýlky pro prasata a dobytek, hladiny mykotoxinů totiž značně převyšovaly klinicky významná množství ovlivňující neplodnost a jevící toxicitu. To vzbuzuje také obavy o zdraví a bezpečnost obilí vstupujícího do potravního řetězce. Pěstitelé a patologové si uvědomují vztah příčiny a důsledku, takže seznam chorob ovlivněných glyfosátem narůstá.

System kontrol plevelů glyfosátem a účinek na výživu rostlin

Máme-li zmírnit dopad nedostatku živin v programu, který s užíváním glyfosátu počítá, potřebujeme vědět, jaké jsou jeho účinky na dostupnost živin a jejich funkci a jaký vliv mají geny RR na využívání živin. Z těchto znalostí vyplývají čtyři důvody, proč v prostředí s glyfosátem přihnojovat – všechny ukazují na to, že součástí procesu obnovy musí být uvážlivé užívání glyfosátu.

● Zajištění dostatku živin

Extenzivní výzkum ukázal, že zvýšení půdní koncentrace a dostupnosti mikro-

živin (zvláště manganu a zinku, ale i mědi, železa a niklu) pomocí přihnojení může kompenzovat sníženou dostupnost prvků i jejich nižší fyziologickou účinnost u RR plodin. Na vysoce úrodných půdách se nemusí potřeba dodání živin projevit několik let po přechodu ke glyfosátu. Má-li se zabránit nezvratným ztrátám na výnosech i kvalitě, je načasování doplnění mikroživin zásadnější u obilnin (ječmen, kukuřice, pšenice) než u luštěnin.

Množství živin, určené na základě analýzy půdy a rostlinných pletiv jako dostatečné pro geneticky neupravené plodiny, bude zřejmě nutné u RR plodin navýšit, aby pokrylo veškeré jejich fyziologické potřeby. Vzhledem k tomu, že volný reziduální glyfosát u RR rostlin může na 8–15 dní vyvázat většinu mikroživin dodaných s postřikem na list, je asi nejlepší dodat mikroživiny 1–2 týdnů po ošetření RR plodin glyfosátem. Náklady na postřik na list však často od tohoto opatření odrazují. Nově existují přípravky obsahující směs glyfosátu s mikroživinami (živinové fosfity), jež udržují dostupnost těchto látek, aniž by narušily herbicidní aktivitu glyfosátu. Rostliny na tyto směsi reagují dobře, přípravky se tak mohou stát účinným prostředkem k překonání deficitů na půdách s nízkou zásobou živin, nebo zmírnění zhoršené fyziologické účinnosti živin.

Výběr semen s vysokým obsahem živin nebo ošetření semen mikroživinami pomohou zajistit v podmínkách silného deficitu jejich dostatek v raných růstových fázích, podpoří rozvoj kořenového systému a napomohou růstu životaschopných semenáčů, jež budou více tolerovat později aplikovaný glyfosát. Mikroživiny jako např. mangan nejsou účinné při aplikaci na půdu, neboť je mikroby oxidují na nedostupnou formu, ale mohou se aplikovat přímo na semeno či list.

● Detoxikace zbytkového glyfosátu

Pro detoxikaci meristematických a jiných pletiv, kořenových exudátů i půdy se přidávají látky vhodné k navázání zbytkového glyfosátu. Některé živiny (vápník, mangan) se v rostlinných pletivech téměř nepohybují, takže bývá prospěšnější mikroživiny kombinovat než dodat jednotlivě, aby se vázaly na zbytkový glyfosát v meristematických i trvalých pletivech. Např. aplikace manganu na list spolu s pohyblivějším zinkem může řešit vyvázání manganu glyfosátem a zároveň pomocí zinku zajistit detoxikaci glyfosátu v meristematických pletivech. Síran vápenatý (dihydrát – sádra) pomáhá odstraňovat glyfosát z kořenových exudátů jeho vyvázáním na vápník (do postřiků s tvrdou vodou se doporučuje síran amonný mimo jiné proto, aby zabránil reakci s vápníkem a hořčíkem, jež by aktivitu herbicidu blokovaly).

I když bioremediace (dekontaminace půdy s využitím rostlin nebo mikroorganismů) glyfosátu hromadícího se v půdě může být v budoucnu možná, první produkty jeho rozpadu jsou toxické pro normální i RR rostliny. Tato problematika vyžaduje větší pozornost, neboť použitím fosforečných hnojiv dochází k uvolnění vázaného glyfosátu, který je pak pro rostliny přístupný (a toxický). Zmíněné ošetření semen mikroživinami může přispět i k určité detoxikaci glyfosátu během klíčení.

● Biologická opatření k nápravě

Přihnojování je důležité také proto, aby se obnovila aktivita mikrobů inhibovaných zbytků glyfosátu v půdě a z kořenových exudátů a zlepšila se dostupnost živin, jejich zásoba i rovnováha. Výběr takových odrůd, které mají vyšší účinnost v příjmu a využívání živin, a jejich úprava na toleranci ke glyfosátu napomohla u některých RR plodin k vyšším výnosům. V této oblasti lze ještě mnohé zlepšit. Podpora aktivity půdních mikrobů s cílem zvýšit příjem živin rostlinami se provádí pomocí inokulace semen, úpravami prostředí podporujícími určité skupiny organismů a zaváděním různých pěstebních postupů. Existuje mnoho organismů používaných na podporu růstu rostlin, z nichž nejznámější jsou hlízkové bakterie bobovitých (rody *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*). Pokračující užívání glyfosátu při rotování obilnin a bobovitých výrazně snížilo populace těchto mikroorganismů v půdě, takže se často doporučuje jimi semena bobovitých plodin každoročně naočkovat.

Biologické opatření, které by kompenzovalo účinek glyfosátu na půdní organismy podléjící se významně na koloběhu živin, je použitelné, pokud nový organismus také toleruje glyfosát a je schopný překonat přirozenou biologickou pufrací kapacitu půdy a získat z ní potřebné živiny. Tato podmínka je zvláště důležitá v případě bakterií vázajících dusík, mykorhizních hub a organismů redukcujících minerály. Také modifikace půdního prostředí orbou, střídáním plodin a dalšími praktikami může představovat rozumnou cestu, jak žádoucí biologickou aktivitu půdy podpořit.

● Zvyšování odolnosti rostlin

proti stresu a půdním patogenům

Základním požadavkem pro udržení výnosu a kvality úrody je zachovat plodiny zdravé. Tolerance rostlin na stres a různé patogeny napadající kořeny závisí na dostatku mikroživin, které udržují fyziologické obranné mechanismy založené na šikimátové dráze, syntéze aminokyselin a dalších cestách, jež jsou v prostředí glyfosátu narušovány. Postupná aplikace určitých mikroživin, zvláště vápníku, mědi, železa, manganu a zinku, která kompenzuje prvky ztracené vazbou na glyfosát, proto vede ke zvýšení odolnosti rostlin proti patogenům i opakovanému výskytu chorob. Důležitou roli bude mít šlechtění plodin na lepší schopnost využívání živin a odolnost vůči chorobám.

Plné znění článku: <http://www.greenpasture.org/utility/showArticle/?objectID=7213> [Proceedings Fluid Fertilizer Forum, February 14–16, 2010. Vol. 27. Fluid Fertilizer Foundation, Manhattan]