

## Глобални статус и еколошке посљедице гајења генетички модификованих биљака

Васкрсија Јањић

**Сажетак.** *Генетички модификовани организми (ГМО) су организми чији је генетички материјал промијењен на начин који се не дешава у природи. Генетички модификована храна је таква храна која потиче или садржи састојке од ГМО. Прва генерација генетички модификованих биљака (ГМБ) су биљке толерантне на хербициде и отпорне на инсекте. ГМБ отпорне на хербициде изазвале су интересовање разних истраживача који се слажу да су једини који имају користи од ових биљака пољопривредници, произвођачи хербицида и сјемена, а не и потрошачи финалних производа. Данас се раде модификације великог број гајених биљака (кукуруз, соја, кромпир, памук, репица, парадајз, шећерна репа, пшеница, пиринач, каранфил, бундева, дукан, цикорија, лан, диња, шећерне трске, папаја и друге биљке), а само четири пољопривредне биљке гаје се на великим површинама – соја, кукуруз, памук и уљана репица. Од самог почетка гајења ГМБ и производња хране од ГМО у научним и другим круговима воде се жестоке расправе о безбједности употребе такве хране, везане за здравствене посљедице по људе и животну средину и потребу за обиљежавању хране добијене од ГМО. Ризици везани за коришћење хране од ГМО још нису у потпуности познати или детаљно разјашњени.*

---

*Цитирање:* Јањић В (2020) Глобални статус и еколошке посљедице гајења генетички модификованих биљака. У: Јањић В, Пржуљ Н (уредници) Ограничења и изазови у биљној производњи. Академија наука и умјетности Републике Српске, Бања Лука, Монографија LXII:485–536

---

*Cite as:* Janjić V (2020) The global status and ecological consequences of cultivation of genetically modified plants. In: Janjić V, Pržulj N (eds) Limitations and challenges in crop production. Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, Banja Luka, Monograph LXII:485–536

Главни ризици заједнички за све ГМО, прије свега, односе се на чињеницу да је процес стварања ГМБ праћен појавом мутација примијењених гена, што ствара могућности да се промјене генома наставе и касније, током периода комерцијалне употребе. Такве промјене могу допринијети стварању нежељених токсина, алергена и других материја које никада нису биле присутне у организму, нити су као такве тестиране. То су, прије свега, промотери, терминатори и генски маркери. Пренос гена од гајених биљака до дивљих сродника је већ присутан проблем. Само 11 од 60 гајених врста у свијету немају дивље сроднике, док је за 12 од 13 водећих гајених биљних врста природна хибридизација са дивљим сродницима доказана.

У овом поглављу разматрају се различити проблеми који настају услед недостатка хране у свијету, као и основе за стварање ГМБ. Указано је на основе и механизме стварања ГМБ биљака, а затим су описане основне генетичке модификације биљака на најважније хербициде. Посебно је указано на предности и ризике који настају у гајењу ГМБ отпорних на хербициде, стварање резистентних коровских биљака на хербициде у току гајења ГМБ, као и глобалне површине и површине у појединим земљама на којима се гаје генетички модификовани усјеви. Предности гајења ГМБ су: једноставније и јефтиније сузбијање корова, ефикасније сузбијање корова који се не могу ефикасно сузбијати хербицидима у конвенционалној производњи, већа флексибилност у примјени хербицида, могућност сузбијања паразитских корова, мањи ризик за животну средину и могућност увођења алтернативних система производње. Затим, наводе се неки од ризика везаних за коришћење ГМБ отпорних на хербициде: трансфер гена из ГМБ отпорних на хербициде у дивље сроднике и корове, ГМБ отпорне на хербициде као самоникле биљке у наредним усјевима, уништавање сјеменске производње најважнијих гајених биљака, повећање ризика од оштећења нециљаних биљака примјеном хербицида широког спектра дјеловања, потенцијални утицај на биодиверзитет и промјене коровске флоре.

Кључне ријечи: Генетички модификоване биљке, стварање генетички модификованих биљака, површине гајења, резистентност, еколошке посљедице

## **9.1. Увод**

Питање исхране, поред питања мира, несумњиво је најважнија преокупација савременог човјечанства. Страшна подјела свијета на трећину која има обиље хране и друге двије трећине које се налазе на рубу глади, проблем је с којим се човјечанство непрекидно суочава и тражи рјешење (FAO 2019). Површине подесне за пољопривредну производњу у свијету веома су мале. У свијету се обрађује свега 10% од укупне површине, од чега је само 3% високо продуктивно. Да би се разумјела ограниченост коришћења земљишта, треба имати у виду чињеницу да се од 13 милијарди хектара само 11% може несметано користити за пољопривредну производњу (FAO 2019). Ваља истаћи да је у већини земаља проширење земљишних површина један од значајних фактора на који се може ослонити експанзија пољопривредне производње. Стручњаци FAO (2010), расправљајући перспективе развоја процијенили су да би се у привредно неразвијеним подручјима свијета могле обрадиве површине повећати за неких 20% (од 740 милиона хектара у 1970. на 890 милиона хектара у 2000. години). То нарочито вриједи за велика подручја Африке и Јужне Америке, гдје се привођење култури постојећих површина може постићи са релативно ниским улагањем.

Проналазак и примјена првог хербицида представљао је праву револуцију у биљној производњи. То се сматрало најкрупнијим проналаском који је имао примјену у пољопривреди. Од тог периода, стално су стварани нови и нови хербициди, разрађивани су нови технолошки поступци, а нови производни процеси постали су све једноставнији и ефикаснији. Тако су створене огромне класе једињења, од фенокси једињења, преко триазина, диазина, карбамата, карбамида, дипиридила, до најновије класе једињења сулфониуреа, имидазолинона и многих других једињења (Јанјић 1994, 2005). И када су пронађена најновија једињења која имају специфичан механизам дјеловања (дјелују на инхибицију синтезе ензима ацетолатат синтетазе, ензима која каталише синтезу три есенцијалне аминокиселине, леуцина, изолеуцина и валина) и који се употребљавају у сто до хиљаду пута мањој количини по јединици површине од класичних хербицида, мислило се да су ријешени сви проблеми у сузбијању корова (Јанјић *i sag.* 2004; Јанјић *i sag.* 2007; Јанјић 2009). Ова почетна истраживања сулфониуреа била су најузбудљивија истраживања у области хербицида, а програм стварања сулфониуреа постао је један од највећих истраживачких програма у историји развоја агрохемикалија. Од тада, па до 1987. године, 14 свјетских агрохемијских компанија патентирало је 230 сулфониуреа као хербицида, од чега је 169 (или 74%) било из Du Pont-a (Јанјић 2002).

Упоредо са изналажењем и синтезом нових хербицида, проучавана су многа њихова својства, физичка, хемијска, токсиколошка и екотоксиколошка, а посебно механизам њиховог дјеловања и механизам стварања резистентности. На основу тих истраживања, обезбијеђене су и научне и финансијске основе за стварање генетички модификованих биљака (ГМБ).

## 9.2. Основе за стварање генетички модификованих биљака отпорних на хербициде

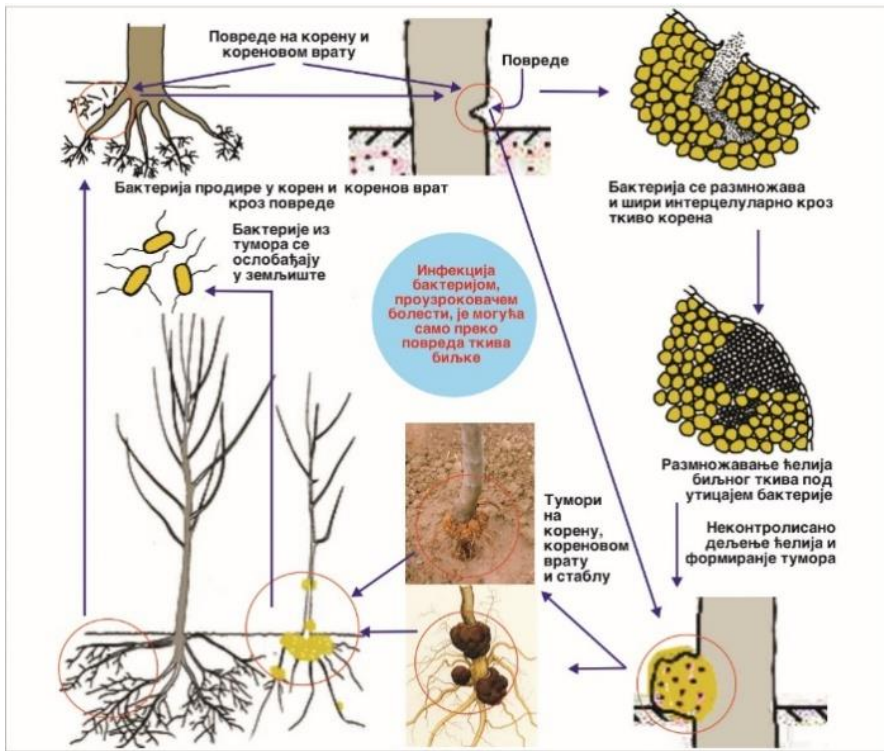
Отпорност на хербициде откривена је тестирањем великог броја органских једињења у усјевима важнијих гајених биљака. Стварање биљака отпорних на хербициде омогућено је захваљујући напретку у познавању механизма дјеловања хербицида и развоју техника генетичког инжењерства (Јанјић 1996, 1997). Стварањем ГМБ отпорних на хербициде, повећава се могућност примјене већ постојећих хербицида и тако се стварају потпуно нови прилази у примјени хербицида. Брише се разлика између тоталних и селективних хербицида и стварају услови да се многи тотални хербициди примјењују као селективни. Ова технологија омогућава и примјену мањих количина хербицида по јединици површине, а рјешавањем многих проблема рационализује се њихова укупна потрошња, што је посебно значајно за заштиту животне средине (Gressel and Rotteveel 2000). У стварању ГМБ толерантних на хербициде коришћена су три механизма:

- уношење гена одговорних за хиперпродукцију ензима на који хербицид дјелује,
- промјена осјетљивости кључног мјеста дјеловања хербицида, и
- уношење гена одговорног за детоксикацију хербицида у биљкама.

Највећи број биљака отпорних на хербициде добијен је измјеном структуре на кључном мјесту дјеловања хербицида, коришћењем индукованих мутација код биљака или микроорганизама, као и уношењем гена из микроорганизама за синтезу ензима који су одговорни за детоксикацију хербицида.

Методe директног трансфера ДНК (сл. 9.1, 9.2, Таб. 9.1) могу се подијелити у пет група:

- генетичка трансформација путем *Agrobacterium tumefaciens*,
- генетички пиштољ – „Gene gun”,
- стимулација ендоцитозе хемијским путем,
- електропорација, и
- микроинјектирање.



Сл. 9.1. Животни циклус *Agrobacterium tumefaciens* (Allen et al. 2009)

Fig. 9.1. Life cycle *Agrobacterium tumefaciens* (Allen et al. 2009)



Сл. 9.2. Поступак добијања генетички модификованих биљака (Ma et al. 2015)

Fig. 9.2. Procedure of getting genetically modified plants (Ma et al. 2015)

Таб. 9.1. Методе стварања биљака толерантних на хербициде  
(модификовано по Burnside 1996)

Table 9.1. Method of creating the plants tolerant of herbicides (modified according to Burnside 1996)

Биљна врста	Хербициди	Метод
Кукуруз	Глуфосинат	PВ
	Имидазолинони	S
	Циклосидим	S
Пшеница	Глуфосинат	PВ
Соја	Глифосат	АТ
	Сулфонилурее	АТ
Шећерна репа	Глуфосинат	АТ
	Сулфонилурее	АТ
Јечам	Глуфосинат	PВ
Дуван	Глуфосинат	АТ
	Глифосат	АТ
	Сулфонилурее	АТ
	2,4-Д	АТ

PВ – генетички пиштољ; S – стимулација ендоцитозом,  
АТ – *Agrobacterium tumefaciens*

Најпознатији примјери генетички модификација биљака дати су у Таб. 9.2, у којој су приказане најчешће гајене биљке и намјене за које су модификоване.

Таб. 9.2. Најпознатији примјери генетичких модификација биљака  
(модификовано по Cantamutto and Poverene 2007)

Table 9.2. The most famous examples of genetically modified plants (Cantamutto and Poverene 2007)

Уљана репица ( <i>Brassica napus</i> L.)	Модификација на висок садржај олеинске киселине
	Толерантност на глифосат
	Толерантност на оксинил
	Толерантност на имидазолиноне
	Толерантност на фосфинотрицин
	Модификација на контролу оплодње
Памук ( <i>Gossypium hirsutum</i> L.)	Фертилност и мушка стерилност
	Толерантност на сулфонилурее
	Толерантност на бромоксинил
	Толерантност на глифосат
	Отпорност на инсекте ( <i>Lepidoptera</i> )

Лан ( <i>Linum usitatissimum</i> L.)	Толерантност на сулфонилурее
Кукуруз ( <i>Zea mays</i> L.)	Отпорност на кукурузни пламенац ( <i>Ostrinia nubilalis</i> ) Толерантност на глифосат (Roundup Ready <sup>®</sup> ) Толерантност на фосфинотрицин (Liberty Link, Hercules) Толерантност на имидазолиноне Толерантност на циклохексаноне Модификација на мушку стерилност
Диња ( <i>Cucumis melo</i> L.)	Модификација на касније зрење
Репица ( <i>Brassica rapa</i> L.)	Толерантност на глифосат (Roundup Ready <sup>™</sup> )
Кромпир ( <i>Solanum tuberosum</i> L.)	Отпорност на кромпирову златицу (Atlantic, Superior Newleaf R, Russet Burbank Newleaf R) Отпорност на Y вирус кромпира (PVY, Y R) Отпорност на B вирус кромпира (PLRV, Russet Burbank Newleaf R Plus)
Пиринач ( <i>Oryza sativa</i> L.)	Толерантност на фосфинотрицин (Glifosinat, Liberty <sup>™</sup> )
Соја ( <i>Glycine max</i> (L.) Merr)	Толерантност на фосфинотрицин Толерантност на глифосат Модификација на висок садржај масних киселина у зрну, нарочито висок садржај олеинске киселине Модификација на низак садржај линолне киселине
Шећерна репа ( <i>Beta vulgaris</i> L.)	Толерантност на фосфинотрицин Толерантност на глифосат
Парадајз ( <i>Lycopersicon esculentum</i> L.)	Модификација на касније сазријевање Отпорност на инсекте ( <i>Lepidoptera</i> )
Дуван ( <i>Nicotina tabacum</i> L.)	Толерантност на оксинил
Пшеница ( <i>Triticum aestivum</i> L.)	Толерантност на имидазолиноне (имазамокс, индукована мутагенеза)

### 9.2.1. Хербициди коришћени за стварање генетички модификованих биљака

Теоретски, могуће је створити отпорне биљке на скоро све хербициде. Међутим, комерцијалну примјену имају економски важније биљке и хербициди повољних особина (глифосат, глуфосинат-амонијум, сулфонилуреа, имидазолинони, циклохександиони, бромксинил и др.).

**Биљке толерантне на глифосат.** Прве комерцијализоване биљке отпорне на глифосат добијене су уношењем гена са измијењеним ензимом (ензим 5-енолпирувил-шикимат-3-фосфат синтетазу, EPSPS) који учествује у биосинтези ароматичних аминокиселина и представља кључно мјесто дјеловања овог хербицида (Јанјић 2005). Ген за EPSPS са мањим афинитетом на глифосат, изолован је из *Agrobacterium* spp., сој CP4. Коришћењем овог гена остварена је отпорност већине значајних биљних врста. Коришћење принципа детоксикације глифосата омогућено је уношењем гена из бактерије *Achromobacter* spp. сој LBAA у биљке, за синтезу ензима глифосат оксидоредуктазе (GOX). Овај ензим каталише цијепање C-N везе у молекулу глифосата до метаболита који немају хербицидну активност.

**Биљке отпорне на глуфосинат-амонијум.** Глуфосинат-амонијум је аминокиселина која је добијена из трипептида биалафос (l-fosfonotricil-l-alanil-l-alanin). Механизам дјеловања овог хербицида је инхибиција ензима глутамин синтетазе, ензима одговорног за синтезу глутаминске киселине (Kuds and Mathiasen 2004). Као резултат те инхибиције долази до нарушавања синтезе протеина, метаболизма азота, пораста концентрације амонијака у биљној ћелији и фитотоксичности. Неке врсте рода *Streptomyces* производе трипептид биалафос, а такође и ензим који штити домаћина од штетног ефекта поменутог сопственог метаболита. Из *Streptomyces hygrosopicus* изолован је тзв. BAR ген, одговоран за толерантност на биалафос. Такође, из *S. viridichromogenes* изолован је ген који кодира синтезу фосфинотрицин ацетил трансферазе (PAT ген) за детоксикацију фосфинотрицина (Vadim et. al 2019). Оба гена кодирају ензим за детоксикацију глуфосинат-амонијума ацетилацијом аминокиселине, а први створени метаболит N-ацетил-глуфосинат нема хербицидну активност. Толерантност биљака на глуфосинат-амонијум остварена је коришћењем BAR или PAT гена. На овом принципу створен је већи број биљних врста толерантних на глуфосинат-амонијум, као што су уљана репица, кукуруз, соја и шећерна репа.

**Биљке отпорне на имидазолиноне и сулфонилуреа.** Већи број биљних врста посједује природну отпорност на хербициде инхибиторе ацетолактат



синтетазе (ALS), зато што је њихов ензиматски систем у могућности да метаболише ове хербициде прије инхибиције циљаног ензима (Bernasconi et al. 1995). Мутагенезом полена добијени су хибриди кукуруза (тзв. *IT*) са измијењеним ALS ензимом, а ово својство контролисано је једним доминантним геном. Добијен је и кукуруз (тзв. *IR*) са високом толерантношћу на имидазолине и укршеном толерантношћу на сулфонилуреа и триазолопиримидине (Bernasconi et al. 1995). Разлика у толерантности ацетолатат синтетазе између осјетљивог и имидазолинон отпорног хибрида кукуруза на инхибицију имазетапиром је 7 пута, док је код имидазолинон резистентног хибрида та разлика 1.000 пута. Кључни ензим код имидазолинон отпорног хибрида кукуруза није толерантан на хлорсулфурон и флуметсулам, док имидазолинон резистентан кукуруз толерише 200 до 2.200 пута веће количине ових хербицида од осјетљивог хибрида (Siyuan et al. 2005). Мутагенезом микроспора добијена је јара уљана репица (*canola*) отпорна на имидазолине, чиме су створене нове могућности сузбијања корова у овој биљној врсти, а нарочито коровских биљака из фамилије *Brassicaceae*. Од водећих гајених биљака, у сунцокрету отпорном на имидазолине постоји могућност примјене хербицида широког спектра дјеловања послје ницања усјева и корова. За оплемењивање сунцокрета отпорног на имидазолине коришћен је дивљи сунцокрет поријеклом из САД, који је развио резистентност послје 7 година узастопне примјене имазетапира и који посједује неколико десетина пута већу отпорност кључног ензима на имидазолине. Malidža i sar. (2000) први су открили у дивљим врстама гене за пољску отпорност према *Phomopsis/Diaphorthe helianthi* (NS-H-45, NS-H-43, NS-H-44, NS-H-111) и уградили их у елитне линије гајеног сунцокрета. Са својим тимом први је у Европи открио гене у једној популацији дивљег сунцокрета *Helianthus annuus* L. за толерантност према групи хербицида имидазолинона и сулфонил уреа и унио ове гене у елитне линије гајеног сунцокрета које не припадају ГМБ.

**Кукуруз отпоран на циклоксидиме и сетоксидиме.** Отпорност кукуруза на сетоксидим, циклоксидим и халоксифоп добијена је селекцијом мутаната у култури ткива промјеном осјетљивости кључног мјеста дјеловања хербицида. Насљеђивање овог својства је парцијална доминација (Vancetovic et al. 2009).

**Памук отпоран на бромоксинил.** Отпорност памука на бромоксинил остварена је уношењем гена из бактерије *Klebsiella ozaenae*, који кодира синтезу ензима бромоксинил нитрилазе, ензима одговорног за детоксикацију бромоксинила (David et al. 1988). Присуство овог гена обезбјеђује биљкама високу отпорност на бромоксинил, толеришући примјену и десетоструко већих количина овог хербицида од практичне.

### 9.3. Предности гајења генетички модификованих биљака отпорних на хербициде

Највеће предности остварене су гајењем биљака отпорних на глифосат и глуфосинат-амонијум, захваљујући широком спектру дјеловања ових хербицида. Такође, биљке отпорне на друге хербициде (имидазолинони, сулфонилуреа, циклоксидим), имају значајно мјесто. Посматрано у цјелини, у наредном тексту истакнуте су особине ГМБ отпорних на хербициде.

**Једноставније и јефтиније сузбијање корова.** Један од основних разлога раста површина под појединим ГМБ отпорним на хербициде, лежи у једноставнијем и јефтинијем сузбијању корова у односу на класичне мјере сузбијања (Јањић и сар. 2002). Коришћењем једног хербицида широког спектра дјеловања у ГМБ отпорним на хербициде, омогућује се сузбијање великог броја коровских врста, без потребе додавања хербицида за проширење спектра дјеловања.

**Ефикасније сузбијање корова који се не могу ефикасно сузбијати хербицидима у конвенционалној производњи.** Увођењем ГМБ отпорних на хербициде омогућује се сузбијање великог броја вишегодишњих корова и корова који су по особинама слични гајеној биљци, а на које нису довољно ефикасни постојећи селективни хербициди. Dewar et al. (2002) истичу велики значај генетички модификоване шећерне репе отпорне на глифосат у којој је могуће ефикасније сузбијање самониклог кромпира уз мање трошкове. У САД је доказано ефикасно сузбијање сирка (*Sorghum halepense*), паламиде (*Cirsium arvense*), циганског перја (*Asclepias syriaca*) и других проблематичних корова у соји толерантној на глифосат.

**Већа флексибилност у примјени хербицида.** Повећана отпорност ГМБ на хербициде омогућава одлагање времена примјене хербицида или њихову примјену у каснијим фазама растења гајене биљке (глифосат, сетоксидим, циклоксидим, глуфосинат-амонијум). На примјер, глифосат у кукурузу отпорном на овај хербицид, може се примијенити најкасније од свих расположивих хербицида (Carpenter et al. 2002).

**Погодност за примјену хербицида после ницања.** Код појединих ГМБ отпорних на хербициде могућа је примјена хербицида у каснијим фазама пораста усјева и корова. Доминантни хербициди у водећим гајеним биљним врстама представници су група триазина, хлорацетамида, карбамида, сулфонилуреа, имидазолинона, арилоксифеноксипро-пионата, циклохександиона, на које је у свијету регистрован велики број резистентних биотипова корова (Malidža i sar. 2005). Глифосат и глуфосинат-амонијум се у прошлости нису користили на значајнијим површинама у производњи

ратарских биљака, што указује да се они могу користити за сузбијање корова резистентних на друге хербициде. У кукурузу и соји значајно је учешће сулфонилуреа хербицида, а увођење ГМБ отпорних на хербициде, уз примјену хербицида на које су ове биљке отпорне, омогућава успоравање развоја резистентности на раније интензивније примјењиване хербициде. Илустративан примјер је могућност сузбијања *Helianthus annuus* резистентног на хербициде инхибиторе ацетолактат синтетазе (Božić i sar. 2019).

**Постизање већих приноса због повећане толерантности гајених биљака на хербициде.** Хербициди у ГМБ отпорним на хербициде и стресне услове спољне средине, не изазивају значајније негативно дејство, као што је то чест случај са многим хербицидима у конвенционалној производњи (Burnside 1996). У случају биљака отпорних на хербициде из група имидазолинона и сулфонилуреа, смањује се ризик од продуженог негативног ефекта перзистентнијих представника ових група на наредне биљке у плодосмјени (примјер уљане репице, кукуруза и сунцокрета отпорних на имидазолиноне, соје отпорне на сулфонилурее и др.).

**Могућност сузбијања паразитских корова.** Паразитски корови из родова *Orobanche* и *Striga* присутни су на преко 100 милиона ха у афричким и медитеранским земљама (van Gressel 2001). Увођењем појединих отпорних биљака и коришћењем глифосата и сулфонилуреа, могу се значајно умањити негативни ефекти поменутих паразитских корова. Преко 100 милиона фармера у Африци просјечно губи половину укупне производње кукуруза од врста из рода *Striga*. Гајењем кукуруза отпорног на имидазолиноне и третирањем сјемена имазапиром, потврђена је могућност сузбијања паразитских корова *Striga hermonthica* и *S. asiatica* и повећање приноса зрна за 3–4 пута (Gordon et al 1988). Такође, увођењем у производњу сунцокрета отпорног на имидазолиноне, омогућиће се сузбијање *Orobanche cernua* (Habimana et al 2014).

**Мањи ризик за животну средину.** Глифосат, глуфосинат-амонијум, имидазолинони, сулфонилурее и циклохександиони имају повољне екотоксиколошке особине, па њихова употреба има мањи ризик за животну средину (Јањић 2005). Замјеном атразина и алахлора, са глифосатом и глуфосинат-амонијумом, увођењем ГМ кукуруза, значајно се смањује ризик од контаминације подземних вода (Scipitalo et al. 2008).

**Могућност увођења алтернативних система производње.** Пољопривредни произвођачи у Сјеверној Америци су масовно прихватили ГМБ отпорне на хербициде због њихове погодности у no-till систему производње (Vonpy 2016). Гајењем соје толерантне на глифосат у no-till систему производње, омогућава се ефикасније сузбијање корова у самом усјеву, у коме је прије

увођења соје отпорне на овај хербицид, глифосат коришћен прије сјетве и ницања усјева у циљу сузбијања присутних корова. У no-till систему производње, кукуруз отпоран на глифосат и глуфосинат-амонијум, не искључује примјену других хербицида, а резултати показују да се најбољи резултати постижу комбиновањем глифосата и земљишних хербицида прије сјетве, уз накнадну примјену хербицида послје ницања (Јањић и Малица 2015).

#### **9.4. Ризици везани за генетички модификоване биљке отпорне на хербициде**

То се, прије свега, односи на чињеницу да је процес стварања ГМБ праћен појавом мутација примијењених гена, што ствара могућности да се промјене генома наставе и касније, током периода комерцијалне употребе. Такве промјене могу допринијети стварању нежељених токсина, алергена и других материја које никада нису биле присутне у организму нити су као такве тестиране (Тркуља и сар. 2015, 2017). Додатни проблем су материје и једињења који се стандардно користе у процесу генетичке трансформације. То су, прије свега, промотери, генски маркери и терминатори. Посебно значајан је 35S промотер због тога што се користи у великом броју генетичких конструкција, а потиче из вируса мозаика карфиола (Sandra et al. 2004). Још 1994. године када је одобрена прва комерцијална употреба генетички модификованог парадајза, поставило се питање сигурности употребе 35S као промотера, јер постоји упозорење да овај промотер може да се рекомбинuje са другим вирусима и да тако настану нови вируси.

**Трансфер гена из ГМБ отпорних на хербициде у дивље сроднике и корове.** Резистентност корова углавном настаје као резултат селекције унутар одређене популације корова у условима виšekратне примјене истог хербицида. Трансфер гена из гајене биљке отпорне на одређени хербицид у дивље сроднике присутан је проблем. Трансфер гена могућ је само између сексуално компатибилних биљних врста. Према Keeler et al. (1996), од 60 гајених врста у свијету, само 11 нема дивље сроднике. За дванаест од тринаест водећих гајених биљних врста, доказана је природна хибридизација са дивљим сродницима (Ellstrand et al. 1999, цит. Wolfenbarger and Phifer 2000). Такође, наводи се да, као резултат трансфера гена, дивљи сродник гајене биљке може попримити особине инвазионе врсте. Дивљи сунцокрет (*Helianthus annuus* L.) послужио је као дозор гена за толерантност на имидазолиноне у оплемењивању гајеног сунцокрета, а овдје је само потврђена могућност спонтаног трансфера гена у супротном правцу. Такође, ген за толерантност пшенице на имидазолиноне (*Clearfield* пшенице) може

се пренијети у коров *Aegilops cylindrica* хибридизацијом у природним условима (Anderson et al. 2004). Hanson et al. (2002) указују да се резистентност *Aegilops cylindrica* у монокултури пшенице отпорне на имидазолине, развила за мање од 10 година без хибридизације са пшеницом, а знатно краће уз хибридизацију са пшеницом (Јањић 2013).

**ГМБ отпорне на хербициде као самоникле биљке у наредним усјевима.**

Гајене биљке као корови у наредним усјевима нису нов проблем, јер он постоји скоро код сваког хербицида који се уводи у производњу. У Алберти (Канада), спонтаним укрштањем, настала је јара уљана репица (*Brassica napus*) која је била истовремено резистентна на глифосат, глуфосинат-амонијум и имидазолине (Hall et al. 2000; Malidža 2003). Овај примјер указује на ризике који могу настати са појавом резистентности на неколико хербицида код компатибилних странооплодних биљака, код којих самоникле биљке представљају проблем у наредном усјеву.

**Уништавање сјеменске производње најважнијих гајених биљака.** Гајење већег броја врста ГМ биљака и на већој површини у потпуности би уништило нашу сјеменску производњу (Јањић и Малица 2015). У таквим условима тешко би било обезбиједити генетичку чистоћу сјемена наших најважнијих биљака због трансфера гена између сродних врста, а ризик је нарочито велики за наше стратегијски значајне гајене биљке. Сопственом производњом сјемена Србија је у досадашњем периоду обезбјеђивала пољопривреду репродукционим материјалом и остваривала значајне приходе сваке године његовим извозом. Одавно је речено да је благо народу који сије оно што треба да једе. Сјеменом се у свијету засије више од 1 милијарде хектара земљишта (Мирић и сар. 2004). Сјеме је егзистенцијално најважнији човјеков производ. Развијено сјеменарство економски мултиплицира вриједност производње по хектару за 1,5–100 пута (Мирић и сар. 2004). Готово да не постоји производња која има такав утицај на развој пољопривреде, а која тако мало кошта. Производња сјемена у многим земљама одвија се на 1–6% обрадивих површина (Мирић и сар. 2004). Имајући у виду ниво производње, број и квалитет створених сората и хибрида различитих гајених биљака, у скоро седамдесетогодишњем селекционом раду у познатим научним институцијама у Србији, свако уништавање или ограничавање ове производње има несагледиве посљедице за развој пољопривреде и земље у цјелини.

**Повећање ризика од оштећења нециљаних биљака примјеном хербицида широког спектра дјеловања.** Значајнијим гајењем ГМБ отпорних на хербициде повећавају се ризици од погрешне примјене хербицида на биљкама које нису отпорне на одређени хербицид. Штете на усјевима, у

случају погрешне примјене хербицида, и примјена хербицида у биљкама које не посједују отпорност су честе, али разлоге за то не треба тражити у повећању површина гајења ГМБ отпорних на хербициде.

**Потенцијални утицај на биодиверзитет.** ГМБ су озбиљна пријетња биодиверзитету. Значајније гајење ових биљака може утицати на смањење разноврсности флоре. У Великој Британији вршена су испитивања везе између гајења ГМ шећерне репе отпорне на глифосат и бројности птица, врсте *Alauda arvensis*. Смањење бројности ове врсте може бити у вези са сузбијањем *Chenopodium album* у ГМБ шећерне репе отпорним на хербициде, чије је сјеме значајан извор хране за ову врсту (Dewar et al. 2003). Соја отпорна на глифосат се већ 2003. године у Аргентини гајила на 98% површине од 13 милиона хектара (James 1996–2019). Значајније гајење соје толерантне на глифосат у Аргентини проузроковало је пад цијена глифосата (3 долара по литри препарата), што је утицало на његову значајнију примјену не само у соји, већ и на непољопривредним површинама. Прекомјерна и вишекратна примјена (чак до 16 л/ха/години) резултирала је потпуним одсуством коровских биљака око поља и у усјеву соје, као и на површинама које су третиране глифосатом, а привремено се не користе за биљну производњу. У 2000. години у Аргентини, преко 100 милиона литара препарата на бази глифосата примијењено је за ове намјене. Претпоставља се да је биодиверзитет значајније угрожен прекомјерном примјеном глифосата на већим површинама (Leguizamón 2001).

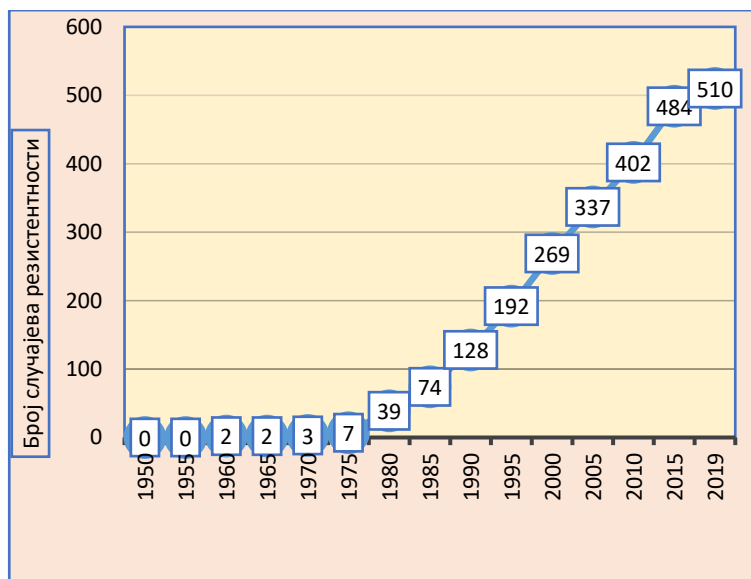
**Промјена коровске флоре.** Уколико се ГМБ не користе као дио система интегралних мјера у сузбијању корова, најчешћа појава је промјена састава коровске флоре и развој резистентних биотипова корова. Иако се код појединих комерцијализованих ГМБ отпорних на хербициде у свијету примјењују хербициди широког спектра дјеловања (глифосат, глуфосинат-амонијум) измјена коровске флоре могућа је фаворизовањем природно отпорнијих корова на ове хербициде и повећањем њиховог учешћа.

## 9.5. Резистентност коровских биљака на хербициде који се користе у гајењу генетички модификованих биљака

Толерантност неких штетних организама и осјетљивост других на исте пестициде обично су условљене морфолошким и физиолошким особеностима индивидуа исте врсте. Међутим, данас се појављује једна сасвим нова појава – резистентност штетних организама према пестицидима. То је појава повећања отпорности појединих врста штетних организама који

су раније били осјетљиви. Према томе, толерантност представља природну и нормалну варијабилност на пестициде и друге агенсе, која егзистира унутар једне врсте, а резистентност представља појаву опадања реакције животињских, биљних врста и патогена на пестициде и друге агенсе као посљедица њихове сталне употребе (Јанјић 2018). Резистентност није појава која се подједнако брзо развија код свих организама. Она зависи од врсте организма, броја генерација, дужине живота, учесталости и дужине примјене, природе једињења, механизма дјеловања и др. Феномен резистентности има огроман биолошки и еволутивни значај. Када не би било резистентности, значи да не би било ни еволуције живог свијета. У многим земљама и многим подручјима резистентност на пестициде регистрована је код многих организама. Преко 500 врста инсеката развило је резистентност на инсектициде (Аноуптос 2007). Други извори процјењују да је 1000 врста инсеката развило резистентност на инсектициде од 1945. године до данас (Miller 2004). До сада је у свијету регистровано укупно 510 случајева резистентности коровских биљака (Граф. 9.1), 262 коровских врста (152 дикотиледоних и 110 монокотиледоних) резистентних на 23 од укупно 26 група хербицида са познатим механизмом дјеловања, односно на 167 различитих хербицида, у 93 гајених биљака и 70 земаља у свијету (Јанјић и Mitrić 2018; Hear 2019).

Интензитет развоја резистентности коровских биљака на поједине хербициде зависи од великог броја фактора, али и од природе активне материје, количине и учесталости примјене, али свакако и од броја активних материја које имају поједине групе хербицида. Из прегледа датих у Граф. 9.2, уочава се да поједине групе хербицида имају различит број активних материја. Он се креће од 12 до 57. Свакако највећи број активних материја, 57, има класа сулфонилуреа. У вријеме њихове појаве сматрало се да ће они изазвати револуцију у пољопривреди, првенствено због употребе малих количина активних материја по јединици површине. И остале групе, као што су инхибитори PPO (*protoporphirinogen oksidaza*), инхибитори синтезе масних киселина дугог ланца, инхибитори фотосинтезе у фотосистему II, синтетички ауксини, инхибитори ацетил CoA, имају 20 до 30 активних материја у групи. Од 12 до 20 материја имају сљедеће групе хербицида: инхибитори синтезе липида, инхибитори формирања микротубула, инхибитори HPPD (*hidroksifenil pirival doksigenaza*) и хербициди непознатог механизма дјеловања. Све остале групе хербицида, а има их свега четири, имају мање од 12 активних материја у групи.

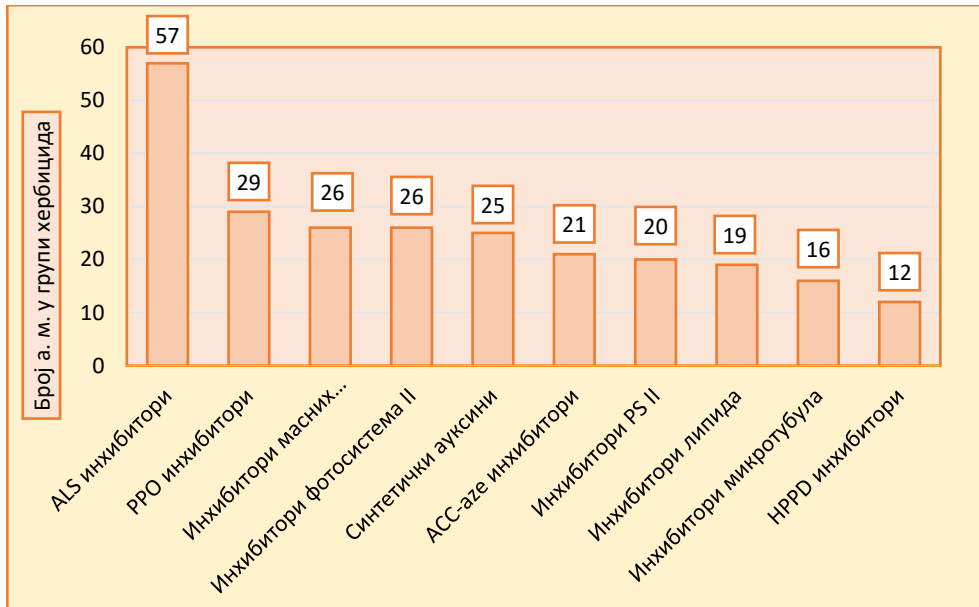


Граф. 9.1. Преглед развоја резистентности коровских биљака на хербициде од 1950 до 2019. године (Heap 2019)

*Graph. 9.1. The review of development of weed plants resistance to herbicides from 1950 to 2019 (Heap 2019)*

Резистентност коровских биљака на хербициде непрекидно се развија и брзо шири. То се нарочито може лако уочити ако се пореде подаци о тој појави од почетка њене констатације до данашњих дана. Резистентност је нарочито развијена на четири најзначајније групе хербицида: ALS инхибиторе, инхибиторе фотосинтезе у фотосистем II, ACC-aze инхибиторе и инхибиторе EPSP синтетазе (Граф. 9.3) (Јанјић и Митрић 2018). На ове четири групе хербицида данас је утврђено да постоји 316 резистентних коровских врста (166 дикотиледоних и 150 монокотиледоних), што представља око 66% од укупног броја резистентних коровских врста биљака (или 64% монокотиледоних и 68% дикотиледоних).

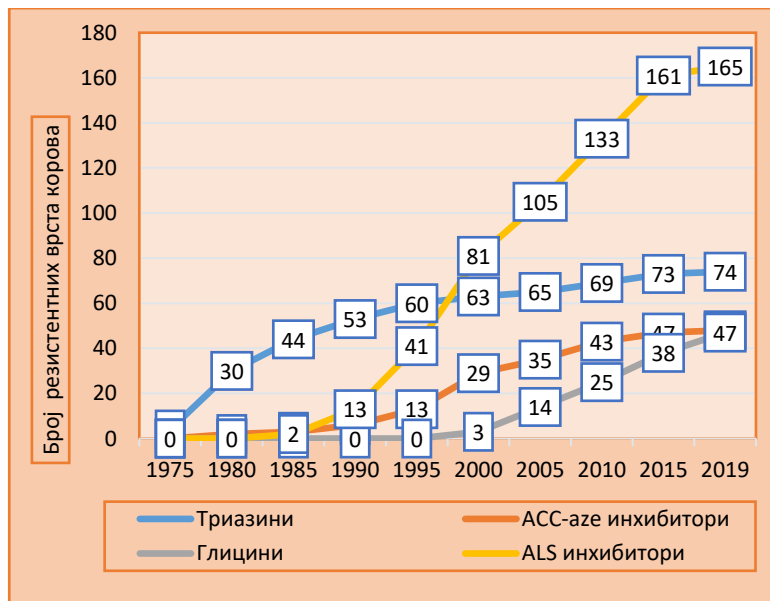




Граф. 9.2. Број активних материја у појединим групама хербицида (Heap 2019)

Graph. 9.2. The number of active substance in certain herbicide groups (Heap 2019)

У класи фосфорних једињења синтетизован је велики број једињења која испуњавају својство пестицида и многи од њих су комерцијализовани и употребљавају се у пољопривреди. Међутим, када су у питању хербициди, мали број је синтетизован и комерцијализован из ове класе за практичну примјену. Свега неколико једињења (глифосат, глуфосинат и фосамин) на бази фосфонске и фосфинске киселине има ширу практичну примјену, не само у нашој земљи, него и у многим другим земљама у свијету. Ова једињења стављена су у промет за посљедњих 50 година (глифосат 1971, фосамин 1974. и глуфосинат 1981). Први патенти из ове класе једињења појавили су се 1964. и 1969. године (Toy and Uhing 1964) у фирмама Stauffer Chemical Co и Monsanto Company. Одмах послје описа својстава првог хербицида из ове класе једињења, у литератури се појавило на хиљаде радова и књига о њему. Главни разлог за тако велико интересовање за хербицид глифосат било је то што је на промету овог хербицида остварено 1986. године милијарду долара у 119 земаља свијета.



Граф. 9.3. Преглед развоја резистентности коровских биљака на поједине групе хербицида од 1975. до 2019. године (Heар 2019)

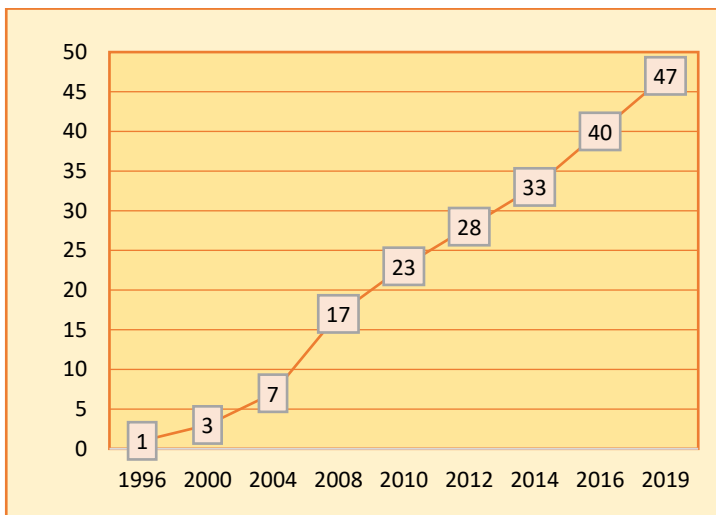
Graph. 9.3. The review of development of weed plants resistance to certain herbicide groups from 1975 to 2019 (Heар 2019)

Глифосат је неселективни хербицид широког спектра, postemergence хербицид, који је регистрован за примјену у више од 50 гајених биљака, а користи се и за тотално уништавање вегетације приликом привођења непољопривредних површина култури. И данас се сматра да овај хербицид вриједносно чини 15–20% у укупном промету пестицида. Послије тродеценијске примјене глифосата, његова употреба се повећава, јер су направљене ГМБ (Roundup-Reddy™) које се у многим земљама свијета гаје на великим површинама (САД, Канада, Бразил, Аргентина и др.) и у којима је могућа примјена овог тоталног хербицида као потпуно селективног у тако створеним трансгеним биљкама (James 1996–2019).

За стварање ГМ соје, иначе осјетљиве гајене биљке, отпорне на хербицид глифосат, односно препарат Raundup, чије дјеловање је засновано на инхибицији ензима 5-енолпирувилшкимат-3-фосфат синтетазе (5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase, EPSPS) унесен је у биљку соје ген за хиперпродукцију EPSPS (Shan et al. 1986). И тако је створена ГМ соја у којој се глифосат примјењује више од 30 година, стално и без промјена у примјени других хербицида у току гајења соје. Међутим, стална и вишегодишња примјена глифосата у току гајења ГМ соје и других модификованих биљка довела је до стварања резистентности коровских биљака. Та појава је данас

развијена до тог степена да представља огроман проблем у гајењу соје, тако да је будућност коришћења ове технологије под великом знаком питања.

Посебно су интересантни подаци о развоју резистентности коровских врста биљака на хербициде који се масовно употребљавају у току гајења ГМБ, а то су глифосат и сулфонилуреа (Граф. 9.4, 9.5). Подаци о појави 47 коровских врста резистентних на глифосат (Неар 2019), од 1996. године до данас, у 19 земаља у свијету, могу бити забрињавајући када је у питању будући статус биљака толерантних на овај хербицид. *Lolium rigidum* и *Eleusine indica* развили су резистентност на глифосат прије увођења ГМБ толерантних на хербициде (Powles et al. 1998). Први резистентан биотип *Conyza canadensis* регистрован је у САД после тригодишње примјене глифосата у соји (van Gressel 2001). У вријеме појаве глифосата као тоталног хербицида, свуда је писано да он не ствара резистентне форме биљака. А данас, када се он употребљава у току гајења ГМБ, дуже вријеме и на истим површинама, појава резистентности на овај хербицид достигла је огромне размјере у многим земљама у свијету.

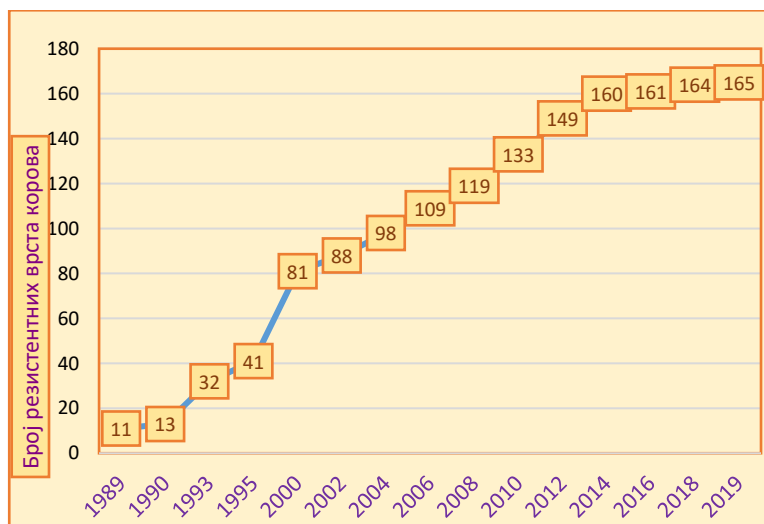


Граф. 9.4. Преглед развоја резистентности коровских биљака на глифосат од 1996. до 2019. године (Неар 2017)

*Graph. 9. 4. The review of development of weed plants resistance to glyphosate from 1996 to 2019 (Heap 2017)*

Убрзана синтеза сулфонилуреа довела је до регистрације и увођења препарата сулфонилуреа у производњу. Само у САД и Аустралији, у периоду 1982–1996. године, призната су 23 једињења из групе сулфонилуреа (Јанјић 2002). Од тог броја, 17 једињења имало је примјену у пшеници, јечму, пиринчу и кукурузу, а 6 једињења у другим гајеним биљкама (овсу, соји,

шећерној репи, уљаној репици, лану, кромпиру, парадајзу, воћним плантажама, шумарству и на пашњацима). Већ је 1994. године у свијету третирано преко 50 милиона хектара жита сулфонилуреама (Јањић 2002). Смањена количина примјене, 50–100 пута по јединици површине, у односу на класичне хербициде, изазвала је већ тих година смањење потрошње хербицида у свијету за 100 милиона килограма и производње за 2–3 милијарде килограма (FAO 1990–2011). Све то унијело је огромне промјене у производњу, транспорт, примјену хербицида и технологију гајења појединих биљака. За сулфонилуреа је карактеристично да испољавају ефикасност у сузбијању корова у веома малим количинама. Примјењују се у количинама 1,8–60 г а.м./ха и испољавају висок степен ефикасности у сузбијању претежно широколисних корова.

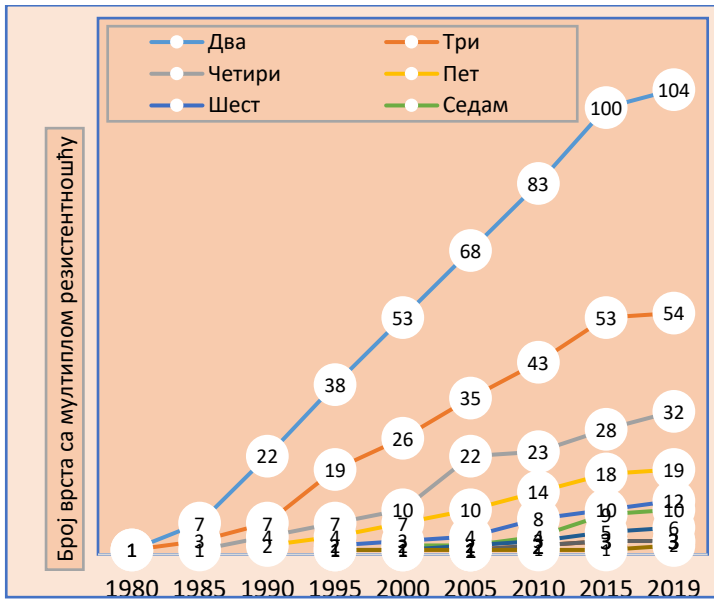


Граф. 9.5. Преглед развоја резистентности коровских биљака на хербициде сулфонилуреа од 1989. до 2019. године (Heap 2019)

Graph. 9.5. The review of development of weed plants resistance to sulphonylurea from 1989 to 2019 (Heap 2019)

Levitt (1977) је са својим сарадницима из Du Pont направио једињења која су у старту имала 100 пута већу активност него конвенционални хербициди. Наставак даљег рада на могућем структуралном варирању сулфонилуреа постаје један од највећих истраживачких програма у историји развоја индустрије агрохемикалија. У октобру 1977, Levitt (1977) је патентирао прву сулфонилуреу. Патентна литература показује да је прошло извјесно вријеме од патентирања до активности агрохемијских компанија на пословима синтезе и тестирања сулфонилуреа. Фирма Ciba-Geigy прелази у вођство апликацијом патената, публикованих у јануару 1982. године (Meyer and Förý

1982). Од тада, па до краја 1985. године, 14 агрохемијских компанија пријавило је своје патенте из области сулфониуреа. До јуна 1987. године патентирано је 230 сулфониуреа као хербицида, од чега је 169 (или 74%) било из Du Pont.



Граф. 9.6. Преглед развоја мултипле резистентности (дјеловања на 2–14 мјеста) коровских биљака на хербициде од 1980. до 2019. године (Heap 2019)

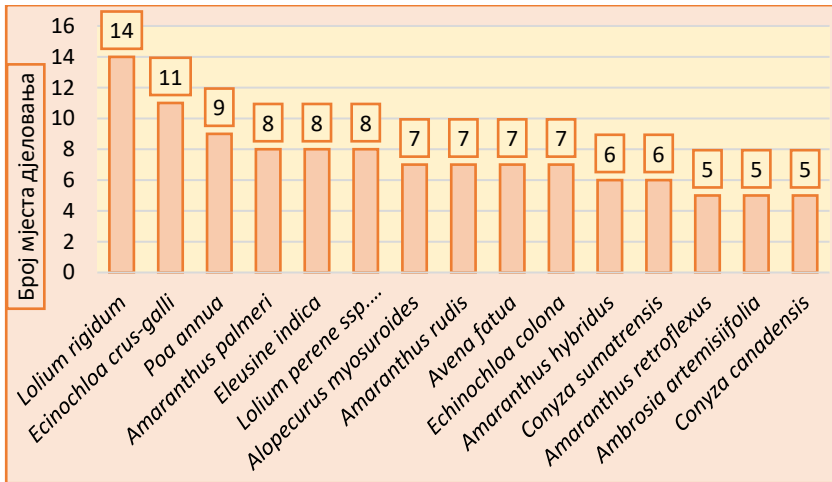
*Graph. 9.6. The review of development of multiple resistance (impact on 2-14 places) of weed plants on herbicides from 1980 to 2019 (Heap 2019)*

Изван свих очекивања, резистентност на сулфониуреа појавила се много брже него на стара и много дуже употребљавана једињења. Код ове групе хербицида резистентност се развила брже и јаче него код старе групе хербицида и тако је та појава изненадила скоро све истраживаче свијета (Граф. 9.3). Тако, данас је утврђено да постоји 165 врста корова резистентних на ову класу хербицида (Граф. 9.5), више него на било коју другу групу хербицида. Брз и велики развој резистентности на ову класу хербицида настао је због структуре њихових молекула, велике и сталне употребе на истим површинама, а дјелимично и због броја активних материја које постоје у овој групи једињења (Граф. 9.5).

И на крају појавила се укрштена и мултипла резистентност коровских биљака. Укрштена резистентност (резистентност на више хербицида са истим

механизмом дјеловања) утврђена је код неких коровских врста (*Datura innoxia* Mill., *Bromus tectorum* L. и *Kochia scoparia* L.) на сулфонилуреа и имидазолиноне (Mallory-Smith et al. 1990; Lowell et al. 1996). За разлику од других хербицида, код хербицида ALS инхибитора, иако се резистентност базира на примарном мјесту дјеловања, она може бити веома различита с обзиром на мјесто гдје се дешавају мутације. Зато различите хемијске групе које инхибирају ALS ензим имају различита примарна мјеста дјеловања, јер постоје разлике у мјесту супституције аминокиселина у молекулу ALS. Saari et al. (1992) указују да је примарно мјесто дјеловања код укрштене резистентности између сулфонилуреа и триазолопиримидина заједничко и односи се на пролин који се налази на 197. мјесту у молекулу. Ово мјесто пролина, чијом замјеном једном од шест сљедећих аминокиселина – аланин, аргинин, глутамин, леуцин, серин и треонин – може доћи до резистентности. Примарно мјесто дјеловања код укрштене резистентности између сулфонилуреа и имидазолинона није утврђено (Zahra et al. 2016).

Мултипла (вишеструка) резистентност је појава резистентности на хербициде различитог механизма дјеловања. Овај облик резистентности је утврђен код *Kochia scoparia* L. на триазине (инхибиторе фотосинтезе) и сулфонилуреа (инхибиторе ALS). Вишегодишња примјена триазина довела је до појаве резистентности љетњег чемпреса (*Kochia scoparia* L.), али је ова врста одмах постала резистентна и на сулфонилуреа. То указује да се код *Kochia scoparia* L. развила мултипла резистентност на двије врсте хербицида различитог механизма дјеловања. Резистентна врста има D<sub>1</sub> неосјетљив протеин на триазинске хербициде усљед супституције глицина са серином на позицији 264 (Joseph 1999). Уз то, измјена леуцина са триптофаном на позицији 570 код ALS ензима довела је до модификације ALS ензима који је тиме постао неосјетљив на хербициде из групе сулфонилуреа и имидазолинона. Постоје и други примјери сличних облика мултипле резистентности који се наводе у литератури, као што је мултипла резистентност *Amaranthus rudis* L. (на триазине и ALS инхибиторе) (Sprague et al. 1997a, 1997b) и *Lolium rigidum* (на ALS инхибиторе и инхибиторе ACC-азе одговорне за биосинтезу липида) (Christopher et al. 1991, 1992). На Граф. 9.6. приказан је број коровских врста које су развиле мултиплу резистентност на хербициде различитог механизма дјеловања, а на Граф. 9.7. број коровских врста резистентних на највећи број група хербицида са различитим механизмом дјеловања.



Граф. 9.7. Број коровских врста резистентних на највећи број група хербицида са различитим механизмом дјеловања (Heap 2019)  
 Graph. 9.7. Number of weed plants resistant to the largest number of herbicides groups with different activity mechanism (Heap 2019)

За сузбијање посебно су проблематични корови који су постигли резистентност на већи број хербицида различитог механизма дјеловања. Данас је у свијету познато преко 15 врста коровских врста биљака које су постале резистентне на пет до 12 група хербицида који имају различит механизам дјеловања (Јањић и Јовановић 2015). Резистентност на тако велики број механизма дјеловања хербицида представља својеврстан проблем, јер је за такве биљке тешко наћи хербицид који је ефикасан у њиховом сузбијању. Већина њих припада фамилији *Poaceae*, а по степену резистентности на већи број хербицида истичу се *Lolium rigidum* (14 хербицида различитог механизма дјеловања), *Echinochloa crus-galli* (11), *Poa annua* (9), *Lolium perenne ssp. multiflorum* (8), *Alopecurus myosuroides* (7), *Amaranthus rudis* (7), *Avena fatua* (7) и *Echinochloa colona* (7). И осталих 5 врста (*Amaranthus hybridus*, *Amaranthus retroflexus*, *Conyza sumatrensis*, *Ambrosia artemisiifolia* и *Conyza canadensis*) постигле су резистентност на 5–6 група хербицида различитог механизма дјеловања (Граф. 9.7). И мултипла резистентност коровских биљака брзо се развијала. Данас у свијету постоји 86 врста коровских биљака које су резистентне на већи број група хербицида, али различитог механизма дјеловања. Око 104 коровских врста резистентно је на два хербицида, 54 на три и 32 коровске биљке резистентне су на четири хербицида различитог механизма дјеловања, односно око 158 коровских врста које су резистентне на 2 и три хербицида различитог механизма дјеловања. И мултипла резистентност се у свијету брзо развијала. На Граф.

9.6. приказано је како се мултипла резистентност развијала од 1980. до 2019. године. Она се од двије коровске врсте, резистентне на два хербицида, за скоро 35 година повећала на 104 коровске врсте. Разумије се да је нешто успорени раст резистентности коровских врста биљака био на већи број механизма дјеловања (Граф. 9.6).

Појава резистентности је раширена, а нарочито у земљама са интензивном примјеном хербицида. На испитивање резистентности данас се троши скоро око 1/3 од укупних средстава која се издвајају за ову област истраживања. Тако се данас у овој области дошло до скоро немогуће ситуације у погледу даљег развоја, искористила се скоро сва могућност стварања нових једињења, а за постојећа једињења појавила се резистентност у огромним размјерама.

Али, детаљна истраживања механизма дјеловања, стварања и развоја резистентности, као и огромна средства остварена прометом хербицида глифосата, створила су основу за стварање ГМБ, које су отпорне баш на овај хербицид. Као изузетно повољан тотални хербицид, он се користио и користи широм свијета за уништавање непожељне вегетације и претварање огромних запуштених пространа (шикаре, макије, шибље, трстици) у пољопривредне површине. Његовим прометом остварена су огромна средства, која су чинила скоро 30% средстава од укупно остварених средстава прометом пестицида у свијету, и тако је створена огромна материјална моћ за истраживање, развој и увођење ГМБ.

Још прије 35 година утврђено је да је ензим ацетолататсинтетаза (ALS) примарно мјесто дјеловања једне нове класе хербицида сулфонилуреа и имидазолинона (Ray 1984). У протеклим годинама учињена су многа истраживања која су допринијела разумијевању овог ензима као циљаног мјеста дјеловања хербицида. Дериватизацијом имидазолинона и сулфонилуреа добијени су нови хербициди из ових класа. Сви ови хербициди необично интереагују са ензимом, а ове интеракције могу бити корисне за објашњење њихове ефикасности. Неочекивано брзо појавила се резистентност неких коровских биљака (*Lactuca serriola* L., *Kochia scoparia* (L.) Schrad.) на ове хербициде (Mallory-Smith et al. 1990; Primiani et al. 1990). Од појаве првих коровских биљака које су развиле резистентност на ALS инхибиторе до данас стално је растао број нових врста резистентних на ове хербициде. И данас тај број превазилази број коровских биљака које су развиле резистентност на старе, дуго и стално употребљаване триазинске хербициде. Према подацима Непар (2019) постоји у читавом свијету 165 врста резистентних на ALS инхибиторе. Са развојем ове појаве развијале су се и различите процедуре ради још бољег разумијевања механизма



резистентности и праћења промјена осјетљивости ензима на дјеловање хербицида (Gerwick et al. 1993). Посебан напредак је учињен развојем метода пречишћавања ALS из кукуруза, као и откриће постојања ензима у мономјерном и олигомјерном стању агрегације. Интеракција ензима са хербицидом зависи и од стања агрегације ензима.

Иницијални радови LaRoss and Schloss (1984) и серија радова ових и других истраживача из Du Ponta (Schloss 1984; Schloss et al. 1985, 1988; Smith et al. 1989) допринијели су карактеризацији молекуларних и генетичких детаља инхибиције ALS у бактеријама. У *Salmonella typhimurium* и *Escherichia coli* нађено је више изоензима ацетолатат синтетаза, од којих је сваки кодиран посебним геном. Међутим, код гљива само један ген кодира ALS. Изоензим II из *Salmonella typhimurium* (La Ross и Schloss 1984) и изоензим III из *Escherichia coli* (LaRoss and Schloss 1984) показују осјетљивост на сулфометурон-метил. Изоензим II је неосјетљив на овај хербицид (LaRoss and Schloss 1984).

ALS из двије широколисне и три травне врсте показује високу осјетљивост на хлорсулфурон.  $I_{50}$  вриједност се креће од 7 до 28 nM (Ray 1984; Chaleff and Mauvais 1984). Иако је пшеница високо толерантна на хлорсулфурон, овај хербицид је јак инхибитор ALS и за ове биљке  $I_{50}$  вриједности су 19–21 nM. Слична ситуација је и са другим сулфонилуреа хербицидима (нпр. метсулфурон-метил, тифенсулфурон-метил, бенсулфурон метил, хлоримурон-етил) у погледу толерантности биљке и осјетљивости ALS. Основа толерантности ових биљака према сулфонилуреама објашњава се њиховом брзом инактивацијом или детоксикацијом у биљкама (Јанјић 1996, 2002, 2009; Јанјић i sar. 2002). Коришћењем из културе ткива регенерисаних мутантних биљака добијена је 1.000 пута већа отпорност на хлорсулфурон. Ове мутантне биљке посједују ALS ензим који је много мање осјетљив на инхибицију изазвану овим хербицидом.

Изолацијом и карактеризацијом неколико мутаната резистентних на сулфурон - метил утврђено је да висок ниво резистентности потиче од *ILV2* гена, који кодира ALS. ALS из високо резистентних мутаната није инхибиран сулфометурон-метилом, у концентрацији већој од 30  $\mu\text{g/ml}$ , док је дивљи тип ALS веома осјетљив и има  $I_{50}$  вредност 45 ng/ml (0,12  $\mu\text{gM}$ ). Генетичка и биохемијска проучавања резистентних ALS мутаната на сулфонилурее показују да је њихова резистентност изазвана једним доминантним геном мутације. Активност ALS ензима повећава се 4–6 пута ако се у осјетљиву гљиву унесе плазмид који садржи дивљи тип *ILV2* ген. ДНК секвенца гљиве *ILV2* гена која кодира ALS утврђена је, како код осјетљивих, тако и код резистентних гљива на сулфонилурее. ALS из резистентне гљиве садржи

једноланчану ДНК са промјеном база G:C у A:T, што је резултирало у супституцији серина са пролином у аминокиселинском распореду. Ова проста супституција аминокиселина је довољна за висок ниво резистентности на сулфометурон-метил. Ове структурне промјене гена биле су прва степеница за генетички инжењеринг и стварање биљака резистентних на сулфонилурее. У циљу лакшег разумијевања, механизме резистентности могуће је груписати на сљедећи начин:

- механизам резистентности лоциран на примарном мјесту дјеловања хербицида,
- механизам резистентности лоциран изван примарног мјеста дјеловања или заснован на метаболизму хербицида,
- механизам резистентности заснован на укрштеној резистентности лоциран на примарном мјесту дјеловања хербицида,
- механизам резистентности заснован на укрштеној резистентности лоциран изван примарног мјеста дјеловања хербицида,
- механизам резистентности заснован на мултиплој (вишеструкој) резистентности.

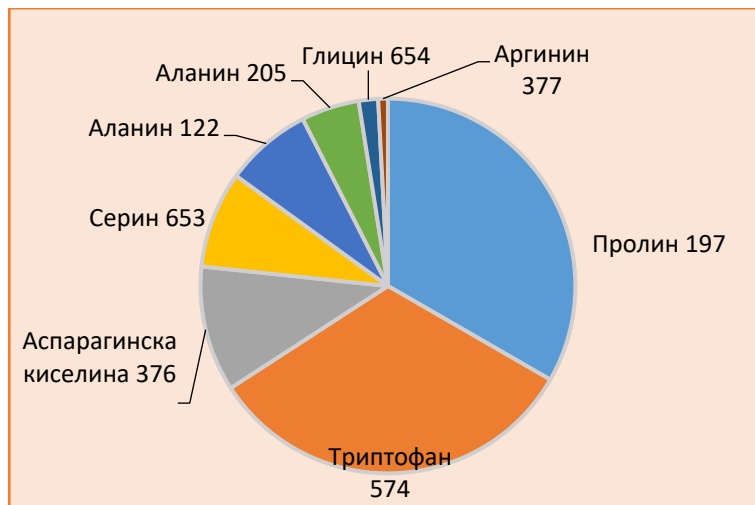
Ацетолактат синтетаза је први заједнички ензим у биосинтези аминокиселина разгранатог ланца (валина, изолеуцина и леуцина), који каталише двије паралелне реакције: кондензацију два молекула пирувата у ацетолактат и једног молекула пирувата са једним молекулом оксибутирата у ацетохидроксибутират. Ацетолактат је прекурсор у синтези валина и леуцина, а ацетохидроксибутират прекурсор у синтези изолеуцина (Eberlein et al. 1997). Хербициди ALS инхибитори спречавају да ензим ALS каталише наведене реакције и на тај начин инхибирају прву степеницу у биосинтези валина, изолеуцина и леуцина. Иначе, инхибиција синтезе аминокиселина релативно је нов механизам дјеловања хербицида. Најмање 5 различитих група хербицида инхибирају ацетолактат синтетазу, а то су: сулфонилурее, имидазолинони, риазолопиримидини, сулфонаминокарбонитриазолинони и пиридиноксibenзоати (Munitch et al. 1987; Shaner et al. 1990; Singh et al. 1990; Stidham and Shaner 1990; Stidham 1991; Powles and Shaner 2001). Иако су ове двије групе хербицида структурално веома различите, оне имају исти механизам дјеловања и инхибирају ацетолактат синтетазу (Munitch et al. 1987).

Инхибиција синтезе аминокиселине валина, леуцина и изолеуцина сигурно изазива смањење синтезе протеина у младим биљним дијеловима (Oaks 1965). Умањење синтезе протеина доводи до инхибиције диобе ћелија, јер је за изградњу нових ћелија неопходан градивни материјал, а посебно су потребни протеини као основни конститутивни материјал нове протоплазме.

Стара ткива имају веће резерве протеина који, у процесу метаболизма и трансаминације, могу у извјесном степену надокнадити потребе у аминокиселинама. Зато се фитотоксични ефекти ових класа хербицида уочавају касније, на старим ткивима и органима биљака.

Према мишљењу Powles и Shaner (2001), свака промјена аминокиселина у молекулу ALS изазива појаву резистентности која је контролисана преко једног, кодираног, гена који је доминантан или има некомплетну доминантност (семидоминантан). На основу истраживања Mazur et al. (1987), Bedbrook et al. (1988), Mazur and Falco (1989) и Wiersma et al. (1989), утврђена је секвенца аминокиселина у молекулу и гени који кодирају структуру овог молекула. Гени који кодирају поједине аминокиселине су патентирани (Bedbrook et al. 1988). Од свих аминокиселина, 24 се могу користити за супституцију аминокиселина у молекулу ALS на 10 различитих мјеста (Граф. 9.8). Овакве промјене у молекулу ALS извори су стварања резистентних форми, као и трансгених биљака (Bedbrook et al. 1988; Haughn et al. 1988; Wiersma et al. 1989; Reed et al. 1989; Bastide and Ortega 1995; Anderson et al. 1998, 2004; Allen et al. 2001; Hashem et al. 2001). На Граф. 9.8. приказан је број коровских врста биљака са промјенама појединих аминокиселина у молекулу ALS. Највећи број коровских биљака има мутације на мјесту пролина 197 (40 коровске врсте), а затим триптофана 574 (39 коровских врста) и аспарагинске киселине 376 (13 коровских врста).

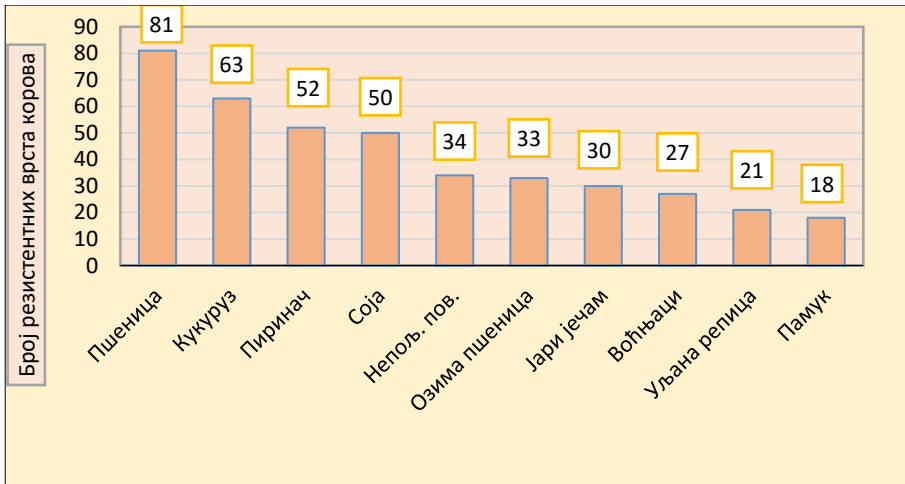
Lowell et al. (1996) тврде да до појаве резистентности могу да доведу мутације на бар пет мјеста на ALS ензиму. Те мутације укључују замјену појединачних нуклеотида које се одражавају на промјене аминокиселина у молекулу ALS и тако изазивају резистентност (Boutsalis and Powles 1995). Многи истраживачи утврдили су да мутације на кодону пролина на мјесту А ALS гена имају основну улогу у развоју резистентности на ALS инхибиторе (Haughn et al. 1998). Код врсте *Lactuca sativa* L. узрок резистентности на ALS инхибиторе је мутација, на примарном мјесту дјеловања у мјесту А ALS гена, која доводи до замјене пролина аминокиселином хистидином (Eberlein et al. 1997). Иста промјена утврђена је и код резистентне дивље салате (*Lactuca serriola* L.). Код неких других резистентних врста, као нпр. *Sysimbrium orientale* L. мутације се дешавају на прва два нуклеотида у кодону пролина која доводе до замјене пролина изолеуцином (Mallory-Smith et al. 1990; Sibony et al. 2001), а резистентност *Aradopsis thaliana* (L.) Heynh на ALS инхибиторе тумачи се замјеном пролина серином (Dyer 1996; Haughn and Somerville 1996).



Граф. 9.8. Број коровских врста са мутацијама на ALS ензиму (Heap 2019)  
*Graph. 9.8. Number of weed species with mutations on ALS enzyme (Heap 2019)*

Хлоримурон-етил се инактивира у соји дехлоровањем у положају 2 триазинског прстена и стварањем конјугата са хомоглутатионом (Brown and Neighboks 1998). Полуживот хлоримурон-етила у листовима соје износи само 2–4 сата, у поређењу са 30 сати у *Ipomea* spp. и *Xanthium* spp. У пиринчу бенсулфурон-метил се метаболише промјеном 6-метокси супституента у R<sub>3</sub> положају триазинског прстена до хидрокси групе. Овај метаболит је отприлике 3.000 пута мање активности као ALS инхибитор, него изворни хербицид. Интересантно је истаћи да индијски пиринач много брже метаболише бенсулфурон-метил него јапански пиринач (Choudhury et al 2016).

Тако је утврђено да су многе гајене и коровске биљке толерантне на ALS инхибиторе (Anderson et al. 1998; Malidža i Janjić 2004; Malidža i sar. 2005, 2006). Природна отпорност (толерантност) објашњава се брзом детоксикацијом молекула хербицида, присуством подесних мјеста за метаболизам у молекулу, кратким животом насталих интермедијера у процесу метаболизма и формирањем конјугата са значајно смањеном хербицидном активношћу (Anderson et al. 1998). Значи, природна толерантност биљака на ALS инхибиторе приписује се метаболизму хербицида, а резистентност осјетљивости ALS ензима на хербициде.

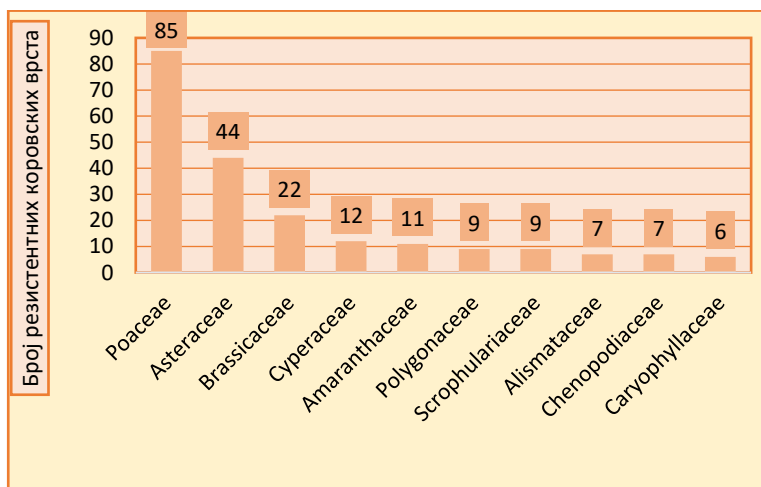


Граф. 9.9. Број резистентних коровских врста биљака у појединим гајеним биљкама (Heap 2019)

Graph. 9.9. Number of resistant weed plants in certain cultivated plants (Heap 2019)

Интересантан је и распоред резистентних коровских биљака у појединим гајеним биљкама. Свако да највећи број резистентних коровских биљака у стратегијски најзначајнијим гајеним биљкама које се у свијету гаје на великим површинама, па је на тако великим површинама примјена хербицида већа него у усјевима који се гаје на малим површинама, гдје су у појединим земљама још увијек присутне и примјењују се друге мјере борбе против корова. Највећи број коровских врста биљака резистентних на хербициде утврђен је у пшеници (81), кукурузу (63), пиринчу (52) и соји (50). Нешто мањи број коровских врста утврђен је у воћњацима, јечму, ливадама и уљаној репици (Граф. 9.9). Свака фамилија биљака има низ својих карактеристика: биолошких, еколошких, физиолошких и биохемијских, а постоје велике разлике у броју родова и врста које њима припадају. Ако се посматра број коровских биљака које су развиле резистентност на хербициде по фамилијама којима припадају онда ће се уочити да највећи број припада фамилији *Poaceae* (85 врсте), *Asteraceae* (44 врста) и *Brassicaceae* (22 врста). Код осталих 7 фамилија утврђено је од 6 до 12 коровских врста које су развиле резистентност на хербициде (Граф. 9.10). Коровске врсте из шест фамилија: *Poaceae*, *Asteraceae*, *Brassicaceae*, *Cyperaceae*, *Amaranthaceae* и *Chenopodiaceae* чине око 63% случајева резистентности на хербициде или од укупног броја које припадају „топ – 10 фамилија“ укључују 75 случајева резистентности, а остале фамилије укључују преосталих 25% случајева. Корови фамилија *Poaceae*, *Asteraceae* и *Brassicaceae* веома су склони развоју

резистентности у поређењу са коровима из других фамилија биљака ( Граф. 9.10; 9.11).

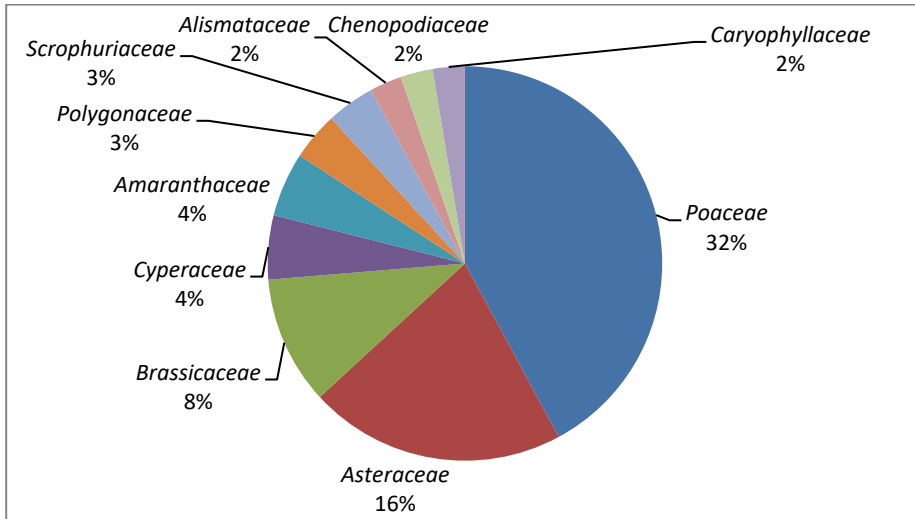


Граф. 9.10. Број резистентних врста корова у појединим фамилијама биљака (Heap 2019)

*Graph. 9.10. Number of resistant weed plants in certain plant families (Heap 2019)*

Ако се посматра резистентност појединих коровских врста биљака на поједине хербициде који припадају различитим групама хербицида, онда се такође могу уочити законитости које су повезане са механизмом дјеловања, интензитетом и дужином примјене, спектром и ширином дјеловања и обимом примјене везаним за површине и врсте гајених биљака у којима су примјењивани. Тако нпр. на добро познати и дуго употребљавани хербицид атразин највећи број коровских врста биљака је резистентан. Према посљедњим подацима, утврђено је да је 66 врста коровских биљака резистентно на овај хербицид (Граф. 9.12). Ако се узму површине само под кукурузом, у којима је овај хербицид деценијама био главни хербицид за сузбијање корова, онда се може уочити шта је из такве примјене хербицида све произашло. Данас, послије много година примјене једног од најпознатијих хербицида, у многим земљама његова употреба је забрањена. И на многе хербициде из групе сулфонилуреа, као што су трибенурон метил, метсулфурон метил, хлорсулфурон, бенсулфурон метил, тифенсулфурон-метил и пирazosулфурон, па и хербициде из сродне групе имазамокс и имазетапир, бројне коровске биљке постале су резистентне. Резистентност на ове активније материје хербицида креће се у опсегу од 25 до 45 коровских врста. На симазин и паракват постигнут је исти степен резистентности

коровских врста биљака. На ова два хербицида резистентна је 31 врста корова.

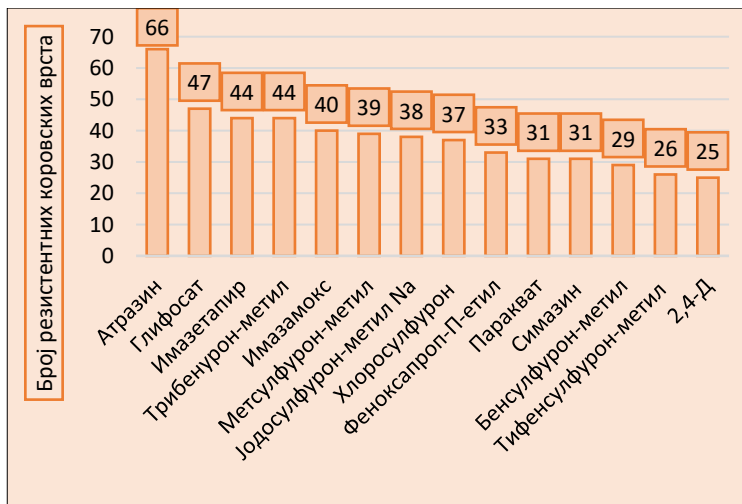


Граф. 9.11. Релативна заступљеност (%) резистентних врста корова у појединим фамилијама биљака (Heар 2019)

Graph. 9.11. Relative presence (%) of resistant weed species of certain plant families (Heар 2019)

Разумљиво је да је највећи број коровских биљака развило резистентност на хербициде који су највише употребљавани (Граф. 9.12). Тако је на атразин, као хербицид који има широку употребу код великог броја гајених биљака, а нарочито кукуруза, 66 коровских врста развило резистентност, а затим на глифосат (47), имазетапир (44), трибенурон (44), имазетапир (44), имазомокс (40), метсулфурон-метил (39), јодосулфурон-метил (38) хлорсулфурон (37) и друге хербициде.

Највећи проблем за гајење ГМБ представља раширена појава резистентности коровских биљака у многим земљама у свијету баш на хербициде за које су направљене ГМБ. Ова појава нарочито је развијена у земљама у којима се ГМБ и хербициди (глифосат и сулфониуреа) користе од самог почетка гајења ових биљака. То је и основни разлог што се гајење ових биљака пребацује у неразвијене земље, гдје је појава резистентности слабије развијена. У најскорије вријеме, у земљама које већ 23 година гаје ове биљке и примјењују хербициде, биће онемогућено гајење ГМБ због изразитог повећања резистентности многих коровских биљака.



Граф. 9.12. Број резистентних коровских врста на појединачне активне материје хербицида (Неар 2019)

Graph. 9.12. Number of resistant weed plants to particular active substances of herbicides (Near 2019)

Највећи број резистентних биотипова корова регистрован је у земљама са најинтензивнијом пољопривредном производњом. Ово потврђује чињеницу да дужина, учесталост и обим примјене хербицида има пресудан утицај на настанак и развој појаве резистентности корова на дејство хербицида. Далеко највећи број резистентних коровских врста биљака утврђен је у САД, а затим у Канади и Аустралији (Јанјић и Митрић 2018). Од укупног броја резистентних коровских биљака, у ове три земље налази се 308 случајева резистентности коровских врста биљака или 64%. Или, у десет земаља у свијету (САД, Аустралија, Канада, Француска, Бразил, Кина, Шпанија, Израел, Јапан и Немачка) имају 548 случајева резистентних коровских врста, од којих се неке понављају, па је зато број већи од укупно констатованих резистентних врста (Неар 2019).

## 9.6. Површине на којима се гаје генетички модификоване биљке у свијету

Данас је познат већи број ГМ гајених биљака. То су луцерка (*Medicago sativa* L.), уљана репица (*Brassica napus* L.), пасуљ (*Phaseolus vulgaris* L.), каранфил (*Dianthus caryophyllus* L.), цикорија (*Cichorium intybus* L.), памук (*Gossypium hirsutum* L.), росуља (*Agrostis stolonifera* L.), лан (*Linum usitatissimum* L.),



кукуруз (*Zea mays* L.), тиква (*Cucurbita pepo* L.), папаја (*Carica papaya* L.), петунија (*Petunia hybrida* Juss.), шљива (*Prunus domestica* L.), пољска репа (*Brassica rapa* L.), топола (*Populus* sp.), кромпир (*Solanum tuberosum* L.), пиринач (*Oryza sativa* L.), ружа (*Rosa hybrida* L.), соја (*Glycine max* L.), шећерна репа (*Beta vulgaris* L.), паприка (*Capsicum annuum* L.), дуван (*Nicotiana tabacum* L.), парадајз (*Lycopersicon esculentum* L.) и пшеница (*Triticum aestivum* L.).

Производња ГМ усјева сведена је углавном на четири главне врсте – кукуруз, соју, памук и уљану репицу – што значи да је велики дио обрадивих површина на свијету сведен на врло уску генетичку базу. Биотехнолошка компанија Monsanto у овој области патентирала је највећи дио ових ГМ усјева: 91% соје, 97% кукуруза, 63% памука и 59% уљане репице. За гајење ових усјева неопходан је и њихов главни хербицид препарат Roundup, који садржи глифосат као активну материју на коју су ови ГМ усјеви отпорни. Како су корови у усјеву соје сваке године постали отпорнији на овај хербицид, у САД доза глифосата увећана је за 2,5 пута у периоду од 1994. до 2006. године. Од 2002. до 2005. године, употреба глифосата хербицида повећана је за 37% и за ГМ кукуруз.

Одмах послје стварања ГМБ, организовани су огледи у пољу са њима у цијелом свијету. У Таб. 9.3. дати су подаци о броју огледа са ГМБ у свијету у периоду 1986–1995. Из ових података се види да је у овом периоду организовано 3.647 огледа у цијелом свијету. Највећи број огледа изведен је у Канади и Америци, 2.438 огледа. Изузетно мали број огледа изведен је у овом периоду у другим земљама, а поготово у земљама у развоју. У земљама у развоју организован је и изведен свега 291 оглед са ГМБ.

Таб. 9.3. Број огледа са генетички модификованим биљкама у свијету 1986–1995. године (James 1996-2018)

Table 9.3. Number of experiments with genetically modified plants in the world in the period 1986-1995 (James 1996-2018)

Земља	Број огледа
Канада и Америка	2.438
Западна Европа	796
Азија	86
Африка	25
Азија	62
Латинска Америка	204
Источна Европа и Русија	36
Индустријски развијене земље	3.320
Земље у развоју	291
Укупно у свијету:	3.647

Таб. 9.4. Прва комерцијализована производња генетички модификованих биљака у свијету (James 1996-2018)

Table 9.4. The first commercialized production of genetically modified plants in the world (James 1996-2018)

Земља	Гајена биљка	Основа	Површина (ха)	Компанија
Аргентина	Соја	Толерантна на глифосат	152.000	Monsanto, 1996.
Канада	Уљ. репица	Толерантна на глуфосинат	81.000	AgrEvo, 1995.
Кина	Дуван	Резистентан на вирус	810.000	н/а,1992.
САД	Кукуруз	Бт -резистентан на инсекте	190.350	Ciba-Geigy,1995.
САД	Памук	БТ-резистентан на инсекте	810.000	Monsanto, 995.
САД	Памук	Толерантан на глифосат	10.125	Monsanto,1996.
САД	Соја	Толерантна на глифосат	405.000	Monsanto,1995.
САД	Парадајз	Одложено дозријевање	4.050	Calgenne,1994.

Иза тог периода почела је и комерцијална производња ГМБ у неким земљама у свијету. ГМ дуван резистентан на вирусе гајен је у Кини 1992. године на површини од 810.000 ха, а двије године касније у САД организована је производња модификованог парадајза на површини од 4.050 ха (Таб. 9.4).

У Канади је 1995. године гајена модификована уљана репица на 81.000 ха, а исте године кукуруз, памук и соја у САД. Годину дана касније гајена је соја у Аргентини на површини од 152.000 ха и памук толерантан на глифосат хербицид у САД на 10.125 ха. Ову производњу су организовале познате свјетске компаније које су се бавиле производњом и прометом пестицида, као што су Monsanto, Ciba-Geigy, AgrEvo и Calgenne. Од 1996. године, површине на којима су се гајиле различите ГМБ стално су се, из године у годину, повећавале као што се то може видјети из Таб. 9.5. У првих 10 година, од 1996. до 2004, површине под овим биљкама у свијету повећане су на 90 милиона ха, или скоро за 53 пута. За ових 10 година ГМБ су гајене на површини од 474,6 милиона ха у цијелом свијету, а просјечно годишње повећање површина, ако се изузму прве двије године, износило је 14,7%. У наредних седам година, 2006–2012, ГМБ су гајене на површини од 953 милиона ха или у овом периоду су повећане за 47 пута или просјечно годишње за 12,03%. У 2012. ГМБ у цијелом свијету су гајене на површини од 170 милиона ха. Ово је повећање од 100 пута у односу на почетне површине. За седамнаестогодишњи период, 1996–2012, ГМБ су гајене на површини од 1 милијарде и 427,6 милиона ха или једнако ораничној површини у свијету. За 23 године гајења модификованих биљака, од 1996. до 2018, површина на којима су оне гајене је повећана за 113 пута, а укупна површина на којима су

до сада гајене ГМБ износи 2 милијарде и 530 хиљада хектара. Оне се данас гаје у 26 земаља у свијету, у 19 земаља у развоју и 5 развијених земаља (James 1996–2019). Десет земаља у којима се највише гаје ГМБ, узгајају их на 98% од укупних површина на којима се ове биљке гаје. У свијету је данас укључено око 17 милиона фармера који раде на производњи ГМБ. У Таб. 9.5. дати су подаци о динамици повећања површина под генетичким модификованим биљкама у појединим земљама у свијету, у периоду 1996–2018. Исто тако, дате су слике 9.12–16 ГМБ.

Таб. 9.5. Површине под генетички модификованим биљкама у свијету у периоду 1996–2018. (James 1996-2019)

Table 9.5. Areas under genetically modified plants in the world in the period 1996-2018 (James 1996-2019)

Година	Површина (милиона ха)	Ланчани индекс	Повећање, број пута
1996	1,7	100	1,00
1997	11,0	647	6,47
1998	27,8	396	16,35
1999	39,9	144	23,47
2000	44,2	111	26,00
2001	52,6	119	30,94
2002	58,7	112	34,53
2003	67,7	115	39,82
2004	81,0	120	47,65
2005	90,0	111	52,94
2006	102,0	113	60,00
2007	114,0	112	67,06
2008	125,0	110	73,53
2009	134,0	107	78,82
2010	148,0	110	87,06
2011	160,0	108	94,12
2012	170,0	106	100,00
2013	175,2	103	103,06
2014	181,5	104	106,76
2015	179,7	99	105,71
2016	185,1	103	108,88
2017	189,8	103	111,65
2018	191,7	101	112,76
Укупно	2.530,6	4,90*	-

\*Просјечно годишње повећање у периоду 1996–2018.

Данас се ГМБ комерцијализовано гаје у преко 30 земаља у свијету. Највећи произвођачи ГМБ у свијету су: САД (75,0 милиона ха), Бразил (51,3),

Аргентина (23,9), Канада (12,7), Индија (11,6), Парагвај (3,0), Пакистан (3,0), Кина (2,8), Ј. Африка (2,7) и Боливија (1,3). Ових десет земаља у свијету производе ГМБ на површини од 186,1 милиона хектара, што чини 98% од 189,8 милиона хектара, колико су се ове биљке гајиле у 2019. години (James 1996–2019).

У Бразилу гајење ГМБ почело је од 2004. године, а у Индији од 2001, док се ГМБ гаје у САД, Аргентини и Канади од саме њихове појаве. У овом периоду, 1996–2012, ГМБ у САД гајене су на површини од 748,1 милиона ха (52%), у Бразилу 170,4 (12%), у Аргентини 244,9 (17%), Канади 96,8 (7%) и Индији 58,8 (4%) милиона хектара. Од 170 милиона хектара на којима су у 2012. гајене ГМБ у свијету, у САД су гајене на површини 69,5 (41%), у Бразилу 36,6 (21%), у Аргентини 23,9 (14%), у Канади 11,6 (7%) и Индији 10,8 (4%) милиона ха.



Сл. 9.12. Генетички модификована соја (Smith 2010)  
*Fig. 9.12. Genetically modified soybean (Smith 2010)*



Сл. 9.13. Генетички модификован памук (Deccan Chronicle 2020)  
*Fig. 9.13. Genetically modified cotton (Deccan Chronicle 2020)*



Сл. 9.14. Генетички модификована уљана репица (Wikipedia 2020)  
*Fig. 9.14. Genetically modified rapeseed (Wikipedia 2000)*



Сл. 9.15. Генетички модификована уљана репица и уље од уљане репице (Wikipedia 2020)  
*Fig. 9.15. Genetically modified rapeseed and rapeseed oil (Wikipedia 2020)*



Сл. 9.16. Генетички модификован златни пиринач (Chow 2016)

Fig. 9.16. Genetically modified golden rice (Chow 2016)

Таб. 9.6. Глобалне површине под генетички модификованим биљкама у појединим земљама у свијету (милиона ха) (2008–2018) (James 1996–2019)

Table 9.6. Global areas of genetically modified plants in some countries of the world (millions of ha) (2008-2018) (James 1996-2019)

Земља	2008		2010	2012	2016	2017		2018
	ха	%	ха	ха	ха	ха	%	ха
САД	62,5	50	66,8	69,5	72,9	75,0	40	75,0
Бразил	15,8	13	25,4	36,6	49,1	50,2	26	51,3
Аргентина	21,0	17	22,9	23,9	23,8	23,6	12	23,9
Канада	7,6	6	8,8	11,6	11,1	13,1	7	12,7
Индија	7,6	6	9,4	10,8	10,8	11,4	6	11,6
Парагвај	2,7	2	2,6	3,4	3,6	3,0	2	3,8
Кина	3,8	3	3,5	4,0	2,8	2,8	1	2,9
Пакистан	-	-	2,4	2,8	2,9	3,0	2	2,8
Ј. Африка	1,8	1	2,2	2,9	2,7	2,7	1	2,7
Уругвај	0,4	<1	1,1	1,4	1,3	1,1	1	1,3
Боливија	0,6	<1	0,9	1,0	1,2	1,3	1	1,3
Аустралија	0,2	<1	0,7	0,7	0,9	0,9	<1	0,8
Филипини	0,4	<1	0,5	0,8	0,8	0,6	<1	0,6
Мианмар	-	-	0,3	0,3	0,3	0,3	<1	0,3
Б. Фасо	<0,1	<1	0,3	0,3	-	-	-	-
Мексико	0,1	<1	0,1	0,2	0,1	0,1	<1	0,2
Шпанија	0,1	<1	0,1	0,1	0,1	0,1	<1	0,1
Чиле	<0,1	<1	<0,1	<0,1	0,1	0,1	<1	0,1
Колумбија	<0,1	<1	<0,1	<0,1	0,1	0,1	<1	0,1
Хондурас	<0,1	<1	<0,1	<0,1	0,1	0,1	<1	<0,1
Чешка Р.	<0,1	<1	<0,1	<0,1	-	-	-	-

Португалија	< 0,1	< 1	< 0,1	< 0,1	0,1	0,1	< 1	< 0,1
Румунија	< 0,1	< 1	< 0,1	< 0,1	-	-	-	-
Пољска	< 0,1	< 1	< 0,1	< 0,1	-	-	-	-
Костарика	-	-	-	-	0,1	0,1	< 1	
Египат	< 0,1	< 1	< 0,1	< 0,1	-	-	-	-
Словачка	< 0,1	< 1	< 0,1	< 0,1	0,1	0,1	< 1	
Шведска	-	-	< 0,1	< 0,1	-	-	-	-
Њемачка	-	-	< 0,1	< 0,1	-	-	-	-
Укупно	125,0	100	148,0	170,3	185,1	189,8	100	191,7

Таб. 9.7. Површине (милиона ха) најзаступљенијих генетички модификованих биљака у свијету у периоду 1996–2019. (James 1996–2019)

Table 9.7. Area (millions of ha) of the most common genetically modified plants in the world for period 1996-2019 (James 1996–2019)

Година	Соја		Кукуруз		Памук		Уљана репица		Укупно
	ха	%*	ха	%*	ха	%*	ха	%*	
1996	0,5	18	0,3	10	0,8	27	0,1	5	1,7
1997	5,1	40	3,2	25	1,4	11	1,2	10	11,0
1998	14,5	52	8,3	30	2,5	9	2,4	9	27,8
1999	21,6	54	11,1	28	3,7	9	3,4	9	39,9
2000	25,8	58	10,3	23	5,3	12	2,8	7	44,2
2001	33,3	63	9,8	19	6,8	13	2,7	5	52,6
2002	36,5	62	12,4	21	6,8	12	3,0	5	58,7
2003	41,4	61	15,5	23	7,2	11	3,6	5	67,7
2004	48,4	60	19,3	23	9,0	11	4,3	6	81,0
2005	54,5	60	21,2	24	9,8	11	4,6	5	90,0
2006	58,6	57	25,2	25	13,4	13	4,3	5	102,0
2007	58,6	51	35,2	31	15,0	13	5,5	5	114,0
2008	65,8	53	37,3	30	15,5	12	5,9	5	125,0
2009	69,2	52	41,7	31	16,1	12	6,4	5	134,0
2010	73,3	50	46,0	31	21,0	14	7,0	5	148,0
2011	75,0	75	51,0	32	25,0	82	8,1	26	160,0
2012	81,0	81	56,0	35	24,0	81	9,3	30	170,3
2016	91,4	71	60,6	33	22,3	12	8,6	5	185,1
2017	94,1	76	59,7	31	24,1	13	10,2	5	189,8
2018	95,9	50	58,9	30,7	24,8	13	10,1	5,3	191,7
Укупно	763,1	53	403,8	28	183,3	13	74,6	5	1.427,6

\* % од укупно засијаних површина

Четири ГМБ – соја, кукуруз, памук и уљана репица, гаје се на највећим површинама у свијету (Таб. 9.7). Памук се гаји у највећем броју земаља (у 15 земаља), а кукуруз соја и уљана репица у нешто мањем броју земаља (14, 10 и 3). У 1996. години соја је гајена само на пола милиона хектара, или на 18% од укупних површина на којима се ова биљка гајила у свијету. Од тог периода, површине под ГМ сојом су повећаване тако да је соја у 2018. години гајена на површини од 95,9 милиона ха. У периоду од 1996. до 2012. Године, соја је у свијету гајена на површини од 763,1 милиона ха или она је чинила 53% од укупних површина на којима су гајене ГМБ. Кукуруз се гаји на нешто мањим површинама. Од 0,3 милиона хектара у 1996. години, његова производња је у 2012. години повећана на 56,0 милиона ха, тако да је ГМ кукуруз у овој години гајен на 35% површина на којима се кукуруз гаји у свијету или он је за 17 година гајен на површини од 403,8 милиона ха, што је чинило 28% површина под ГМБ у свијету. У 2018. години кукуруз је у свијету гајен на површини од 58,8 милиона ха. Површине на којима се гаји ГМ памук знатно су мање од површина под кукурузом и сојом. У 2018. години ГМ памук је гајен на површини од 24,8 милиона ха или за цијели овај период он је гајен на површини од 183,3 милиона ха. Од укупних површина на којима се гаји памук, 81% површина су под ГМ памуком. У структури засијаних површина под ГМБ, памук заузима 13% површина. Уљана репица је четврта гајена модификована биљка по површинама на којима се гаји у свијету. У 2018. години ова биљка је гајена у свијету на површини од 10,1 милиона ха или 30% од укупних површина у свијету у којима се ова биљка гаји. За 23 године гајења ГМ, уљана репица је гајена на површини од 74,6 милиона ха. Ова површина чини 5% од површина на којима су гајене ГМБ.

У САД и другим земљама гаје се на малим површинама ГМ бундева (позната *zucchini*), луцерка, кромпир, папаја и друге биљке. Као посљедица легалних конфликта, површине под ГМ луцерком смањене су, са 80.000 (2006. године), на 20.000 ха (2007. године). У Кини се такође гаји ГМ парадајз, дуван, слатка паприка и топола.

ГМБ толерантне на хербициде су у 2003. години биле заступљене на 73% од укупних површина под ГМБ, а затим су незнатно опале у 2012. години (61%). Најзаступљеније ГМБ толерантне на хербициде су соја, уљана репица, кукуруз и памук (Таб. 9.8). Све до 2006. године гајене су модификоване биљке које су отпорне на различите штетне биолошке агенсе, а од тог периода и друге ГМБ, модификоване за неке друге намјене. У 1996. години ГМ хибриди кукуруза у САД гајени су на 300.000 ха. Врло брзо дошло је до повећања површина ГМ кукуруза, тако да су у 2001. години укупне површине у свијету достигле 10 милиона ха, а 2002. године 12,4, 2008. године 37,3 (23%) и 2009. године 42,0 (26%) милиона ха (James 1996–2012). Први ГМ хибриди кукуруза

појавили су се у слободној продаји 1995. године. Данас је, широм свијета, 88,7 милиона ха под ГМ кукурузом, са уграђеном толерантношћу на хербициде или 189,7 милиона ха односе се на ГМБ у заштити биља (Таб. 9.8).

Таб. 9. 8. Глобалне површине генетички модификованих биљака 1996–2017. година отпорне на хербициде (милиона ха) (James 1996-2017)  
 Table 9.8. Global areas of genetically modified plants 1996-2017 resistant to herbicides (millions of ha) (James 1996-2017)

Година	HT	%	IR(Bt)	%	IR/H	УЗЗ	% од ГМ	Укупно
1996	0,6	23	1,1	30	-	1,7	100,0	1,7
1997	6,9	63	4,0	36	<0,1	11,0	100,0	11,0
1998	19,8	71	7,7	28	0,3	27,9	100,0	27,8
1999	28,1	71	8,9	22	2,9	39,9	100,0	39,9
2000	32,7	74	8,3	19	3,2	44,2	100,0	44,2
2001	40,6	75	7,8	15	4,2	52,6	100,0	52,6
2002	44,2	73	10,1	17	4,4	58,7	100,0	58,7
2003	49,7	72	12,2	18	5,8	67,7	100,0	67,7
2004	58,6	71	15,6	19	6,8	81,0	100,0	81,0
2005	63,7	71	16,2	18	10,0	90,0	100,0	90,0
2006	69,9	68	19,0	19	13,1	102,0	100,0	102,0
2007	72,2	63	20,3	18	-	92,6	81,0	114,3
2008	79,0	63	19,1	15	-	98,2	78,6	125,0
2009	83,6	62	21,7	16	-	105,4	78,7	123,0
2010	89,3	61	26,3	17	-	117,5	79,4	148,0
2016	86,6	47	23,1	12	75,4	185,1	100,0	185,1
2017	88,7	47	23,3	12	77,7	189,7	99,1	189,8

HT – Толерантност на хербициде (Herbicide tolerance )

IR – Резистентност на инсекте (Insect resistance, mostly Bt)

VR – Резистентност на вирусе (Resistance to virus diseases)

УЗЗ – Укупно заштита биља

По засијаним површинама, водећа ГМБ у свијету је соја толерантна на глифосат (Roundup Ready Soybeans) (Carpenter 2002). Комерцијална примјена почела је 1996. године, а 2003. је гајена на 41,4 милиона ха, заузимајући 61% од укупне површине под ГМБ. У сезони 2001–2002. у свијету је 5,5 милиона произвођача посијало ГМ гајеним биљкама 56,2 милиона ха. Тада су, по први пут, површине под ГМ сојом прешле 50% од укупних свјетских површина (72,0 милиона ха). Повећањем површина на 58,7 милиона ха засијаних генетички модификованим усјевима наставило се и у сезони 2002–2003. Већ 2008. године, ГМ соја је била у свијету засијана на 65,8, (72%), а 2012. године на 81 (81%) милиона ха, а данас на 95,9 милиона ха.



У самом почетку комерцијалног гајења модификованих биљака оне су на преко 90% површина гајене у САД и другим развијеним земљама. Али ситуација се мијењала у овом двадесеттворогодишњем периоду. Први пут (2012) земље у развоју гајиле су на већим површинама ГМ усјеве него индустријске земље, и то 52% земље у развоју, а 48% индустријске земље, а данас у овим земљама ГМБ се гаје на 53% површина у свијету (Таб. 9.9). У свијету 28 земаља гајило је 2012. године ГМБ, и то 20 земаља у развоју и 8 индустријских земаља. Двије нове земље, Судан (Бт памук) и Куба (Бт-кукуруз), први пут су 2012. гајиле ГМ усјеве. У 2019, овом производњом бавило се рекордних 18 милиона фармера или преко 15 милиона малих сиромашних фармера у земљама у развоју. У 2012. години, 7,2 милиона малих фармера у Кини и 7,2 милиона у Индији гајили су преко 15 милиона хектара Бт-памук. У Филипинима, у 2012, једна трећина од милион фармера гајила је модификован кукуруз.

Таб. 9.9. Глобалне површине под генетички модификованим усјевима у индустријским земљама и земљама у развоју од 1997. до 2017. (James 1996–2018)

Table 9.9. Global areas of genetically modified crops in the industrial and developing countries from 1997 to 2017 (James 1996-2018)

Година	Индустријске земље		Земље у развоју		Укупно
	Милиона ха	%	Милиона ха	%	
1997	9,5	86	1,5	14	11,0
1998	23,4	84	4,4	16	27,8
1999	32,8	82	7,1	18	39,9
2000	33,5	76	10,7	24	44,2
2001	39,1	74	13,5	26	52,6
2002	42,7	73	16,0	23	58,7
2003	47,3	70	20,4	30	67,7
2004	53,4	66	27,6	34	81,0
2005	56,1	62	33,9	38	90,0
2006	61,1	60	40,9	40	102,0
2007	64,9	57	49,4	43	114,3
2008	70,5	56	54,5	44	125,0
2009	72,5	54	61,5	46	134,0
2010	76,3	52	71,7	48	137,8
2011	80,2	50	79,8	50	160,0
2012	81,6	48	88,4	52	170,3
2016	85,5	46	99,6	54	185,1
2017	89,2	47	100,6	53	189,8

Сузбијање корова један је од критичних елемената у биљној производњи. Улога коју хербициди имају у модерној пољопривредној производњи не смије се занемарити, јер само у САД хербициди чине 85% укупно коришћених пестицида чијом примјеном се у значајном степену штеди енергија и учешће мануелног рада у пољопривредној производњи (Burnside 1996). Данашњи критеријуми за развој и регистрацију нових хербицида значајно су строжији него раније. Према Mullner et al. (цит. Rudelsheim 1993), особине које треба да има добар хербицид су: висок ниво толерантности за гајену биљку, широк спектар дјеловања и висока ефикасност у сузбијању корова, висока флексибилност у начину примјене (по могућности примјена након ницања), повољне екотоксиколошке особине, једноставна примјена, брза разградња, мали утицај на стварање резистентних корова, погодност за примјену у no-till систему (систему без обраде) и повољна цијена.

Педесетих година прошлог вијека, просјечно од 2.000 тестираних једињења, комерцијализован је један хербицид, седамдесетих година регистрован је у просјеку један хербицид од 7.000 тестираних, док је осамдесетих регистрован једва један хербицид од тестираних 20.000 једињења (Mazur and Falco 1989). Компанији BASF је данас, од просјечно 50.000 једињења, до комерцијализације једног пестицида потребан временски период 8–10 година, са укупним трошковима 100–150 милиона евра. Сматра се да је данас потребно девет година истраживања да се добије један пестицид, испитује се 140.000 једињења, а трошкови износе 180 милиона долара (Matolcsy and Nadasy 1989; Fred et al. 2006).

## **9.7. Закључак**

Прва генерација ГМБ, која се почела гајити у ширим размјерама у свијету, биле су биљке отпорне на хербициде. Све до 2007. године, ГМБ отпорне на хербициде заузимале су 100% површине на којима су ове биљке гајене. Од тог периода до 2016. године, око 20% површина заузимају биљке које су модификоване за друге намјене. ГМБ отпорне на хербициде побудиле су интересовање разних истраживача који се слажу у мишљењу да корист од ових биљака имају само фармери, произвођачи хербицида и сјемена, а да никакву корист немају потрошачи финалних производа.

Од самог почетка гајења ГМБ и производње хране од генетички модификованих организама (ГМО), води се научна и друга дебата о безбједности употребе, здравственим посљедицама за људе и на животну средину и неопходности обиљежавања хране добијене од ГМО. Ризици везани за гајење и употребу хране од ГМО нису у потпуности познати и до

детаља разјашњени. Основни ризици заједнички за све ГМО односе се на чињеницу да је процес њиховог настанка праћен мутацијом уношених гена из других организама, што ствара могућности да се промјене генома наставе и касније током периода комерцијалне употребе. Такве појаве могу изазвати промјене у животној средини и живим организмима. Трансфер гена из гајених биљака у дивље сроднике је већ присутан проблем. Од 60 гајених врста биљака у свијету само 11 врста нема дивље сроднике, а за 12 од 13 водећих гајених биљних врста доказана је природна хибридизација са дивљим сродницима.

Код ГМБ отпорних на хербициде појављује се један огроман проблем, а то је масовна и раширена појава стварања резистентних коровских биљака на хербициде који се користе у гајењу ГМБ отпорних на хербициде. Већ је данас утврђено да је 47 коровских биљака резистентно на глифосат, а 165 биљке на сулфонилуреа, као главне хербициде који се користе у току гајења ГМБ. Таква масовна и убрзана појава резистентности коровских биљака у многим земљама у свијету, уз појаву мултипле резистентности и других проблема које прати гајење ГМБ, ставља ову технологију на најозбиљније преиспитивање за даљу примјену. Имајући у виду прогнозе о судбини ове биотехнологије, када су у питању корови и хербициди, не би је требало уводити у нашу земљу, јер ће се у најскорије вријеме појавити нерјешиви проблеми са резистентношћу многих коровских биљака на хербициде који се употребљавају у току гајења ГМБ, али и других хербицида, у многим земљама и свијету у цјелини.

## Литература

- Allen C, Bent A, Charkowski A (2009) Underexplored niches in research on plant pathogenic bacteria. *Plant Physiol* 150:1631–1637
- Allen JR, Johnson WG, Smeda RJ, Wiebold WJ, Massey RE (2001) Management of Acetolactate Synthase (ALS)-Resistant Common Sunflower (*Helianthus annuus* L.) in Soybean (*Glycine max*). *Weed Technology* 15(3):571–575
- Anderson DD, Nissen SJ, Martin AR, Roeth FW (1998) Mechanism of primisulfuron resistance in shattercane (*Sorghum bicolor*) biotype. *Weed Sci* 46:158–162
- Anderson JA, Matthiesen L, Hegstad J (2004) Resistance to an imidazolinone herbicide is conferred by a gene on chromosome 6DL in the wheat line cv. 9804. *Weed Sci* 52(1):83–90
- Anonymous (2007) Grapes. msu. edu. How pesticide resistance develops. Except from: Larry Gut, Annemiek Schilder, Rufus Isaacs and Patricia McManus.

- Fruit Crop Ecology and Management, Chapter 2: "Managing the Community of Pests and Beneficials." Retrieved on September 15, 2007
- Bastide J, Ortega F (1995) Inhibition of Acetolactate Synthase by Sulfonylureas: Reversibility, Inhibitor Biding and Mechanisms. *Pestic Sci* 43:253–255
- Bedbrook J, Chaleff RS, Falco SC, Mazur BJ, Yadav N (1988) Nucleic acid Fragment Herbicide Resistant Plant Acetolactate Synthase Eur Patent Appl 0257 993
- Bernasconi P, Woodworth A, Rosen B, Subramanian MV, Siehl DL (1995) A Naturally Occuring Point Mutation Confers Broad Range Tolerance to Herbicides that Target Acetolactat Synthase *Journal of Biological Chemistry* 270:17381–7385
- Božić D, Sarić-Krsmanović M, Matković A, Vranješ F, Jarić S. and Vrbničanin S (2019) The response of weedy sunflower (*Helianthus annuus* L.) to nicosulfuron: an examination of vegetative parameters and acetolactate synthase activity. *Arch Biol Sci* 71(2):305–313
- Bonny S (2016) Genetically Modified Herbicide – Tolerant Crops, Weeds, and Herbicides: Overview and Impact. *Enviromental Management* 57(1):31–48
- Boutsalis P, Powles SB (1995) Resistance of dicot weeds to acetolactate synthase (ALS) – inhibiting herbicides in Australia. *Weed Res* 35:149–155
- Brown HM, Neighboks SM (1998) Soybean metabolism of chlorimuron ethyl: physiological basis for soybean selectivity. *Pestic Biochem Physiol* 29:112–120
- Burnside OC (1996) An agriculturalists viewpoint of risks and benefits of herbicide – resistant cultivars. In: Duke SO (ed) *Herbicide Resistant Crops* CRC Press, Inc Boca Raton, Florida, pp 391–406
- Vadim GL, Konstantin VK, and Konstantin AS (2019) Effect of Phosphinothricin on Transgenic Downy Birch (*Betula pubescens* Ehrh.) Containing bar or GS1 Genes, *Forests* 10(12):1067
- van Gressel MJ (2001) Glyphosate – resistant horseweed from Delaware. *Weed Sci* 49(6):03–705
- Vancetović J, Vidaković M, Babić M, Branković Radojčić D, Božnović S, Stevanović M. (2009) The effect of cycloxydim tolerant mayze (CTM) alleles on grain yield and agronomic traits of mayze single cross hybrid. *Maydica* 54:91–95
- Gerwick BC, Mireles LC, Eilers RJ (1993) Rapid diagnosis of ALS/AHAS-Resistant Weeds. *Weed Technol* 7:519–524
- Gordon OA, Terry E, Robert EE, Fred KK, Joel KR, and Jonathan G (1998) Control of Parasitic Witchweeds (*Striga spp.*) on Corn (*Zea mays*) Resistant to Acetolactate Synthase Inhibitors. *Weed Science* 46(4):459–466
- Gressel J, Rotteveel T (2000) Genetic and ecological risks from biotechnologically derived herbicide – resistant crops: Decision trees for risk assessment. *Plant Breed Rev* 18:251–303
- David MS, Kevin EM, Lorraine DM (1988) Herbicide Resistance in Transgenic Plants Expressing a Bacterial Detoxification Gene. *Science* 242(4877):419–423

- Deccan Chronicle (2020) Monsanto drops plan to launch next generation GM cotton seed in India. <https://www.deccanchronicle.com/nation/in-other-news/250816/monsanto-drops-plan-to-launch-next-generation-gm-cotton-seed-in-india.html>. Updated Aug 25, 2016
- Dewar AM, May M, Pidgeon JD (2002) Management of GM herbicide-tolerant sugar beet for potential environmental benefit to farmland birds. In: Bolton S (ed) IACR Annual Report 2001-2002, pp 44–47
- Dewar AM, May M, Woiwod I, Haylock L, Champion G, Garner BH, Sands RJN, Qi A, Pidgeon J (2003) A novel approach to the use of genetically modified herbicide tolerant crops for environmental benefit. *Proc R Soc Lond B* 270:335–340
- Dyer WE (1996) Techniques for producing herbicide-resistant crops. In: Duke SO (ed) *Herbicide Resistant Crops*, CRC Press Inc pp 37–51
- Zahra MH, Javid G, Antonia MR-D, Maria DO, Ricardo A, Pablo F, Hamid RS, Rafael DP (2016) Multiple Mechanisms Increase Levels of Resistance in *Rapistrum rugosum* to ALS Herbicides. *Plant Science* 7:169–176
- Eberlein CV, Guttieri MJ, Mallory–Smith CA, Thill DC, Baerg RJ (1997) Altered acetolactate synthase activity in ALS – inhibitor resistant prickly lettuce (*Lactuca serriola*). *Weed Sci* 45:212–217
- James C (1996–2018) Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops. 1996–2018. ISAAA Briefs No 1–54, ISAAA, Ithaca, New York
- Janjić V (1994) Hormonski herbicidi. Izdavačko preduzeće „Nauka” i Institut za istraživanja u poljoprivredi „Srbija”, Beograd, str 278
- Janjić V (1996) Triazinski herbicidi. Institut za istraživanja u poljoprivredi „Srbija” i Dizajn DB studio, Beograd, str 476
- Janjić V (1997) Savremene tendencije u istraživanju prirode i delovanja herbicida. U: Kojić M, Janjić V (ur) *Savremeni problemi herbologije*. Herbološko društvo Srbije, Beograd, str 107–152
- Janjić V (2002) Sulfoniluree. Institut za istraživanja u poljoprivredi „Srbija”, Beograd i Akademija nauka i umjetnosti Republike Srpske, Banja Luka, str 172
- Janjić V, Jovanović Lj, Blanuša T, Milošević D (2002) Sulfonylurea herbicides – Mode of action. In: Quarrie S, Krstić B, Janjić V (eds) *Plant Physiology in the New Millenium Yugoslav Society of Plant Physiology and Agricultural Research Institute „Serbia”, Belgrade*, pp 101–108
- Janjić V, Radivojević Lj, Mitrić S, Malidža G (2004) Genetičko-biohemijske osnove rezistentnosti korovskih biljaka prema herbicidima inhibitorima acetolaktat sintetaze (ALS). *Acta herbologica* 13(2):319–332
- Janjić V (2005) Fitofarmacija. Društvo za zaštitu bilja Srbije, Institut za istraživanja u poljoprivredi „Srbija”, Beograd i Poljoprivredni fakultet, Banja Luka, str 1229
- Janjić V, Đalović I, Milošević D, Týr Š (2007) Weed resistance to herbicides – Mechanisms and molecular basis. *Acta herbologica* 16(2):63–83

- Janjić V (2009) Mehanizam delovanja pesticida. Društvo za zaštitu bilja Srbije Beograd i Akademija nauka i umjetnosti Republike Srpske, Banja Luka, str 427
- Јањић В (2013) Нове биотехнологије у биљној производњи – глобални проблеми и изазови. Зборник радова са Округлог стола Претпоставке и могућности унапређења конкурентности привреде Републике Српске. Академија наука и умјетности Републике Српске, Бања Лука, стр 109–139
- Јањић В, Јовановић В (2015) Садашње стање, глобални статус и еколошке последице гајења генетички модификованих биљака. Зборник радова са Округлог стола Генетички модификовани организми (ГМО) - Научни и етички аспекти, производња и коришћење. Академија наука и умјетности Републике Српске, Бања Лука, стр 15–69
- Јањић В, Малица Г (2015) Генетички модификоване биљке отпорне на хербициде. Зборник радова Генетички модификована организми, чињенице и изазови. Српска академија наука и умјетности, Београд, стр 67–78
- Janjić V (2018) Osnovni pojmovi, značaj i razvoj rezistentnosti korovskih biljaka na herbicide. Zbornik radova Rezistentni korovi i tolerantni usevi na herbicide: stanje i perspektive. Herbološko društvo Srbije, N Sad, str 9–20
- Janjić V, Mitrić S (2018) Rezistentnost korovskih biljaka na herbicide. Akademija nauka i umjetnosti Republike Srpske, Banja Luka, str 393
- Joseph GM (1999) A serine-to-threonine mutation in linuron-resistant *Portulaca oleracea*. *Weed Science* 47(4):393–400
- Keeler KH, Turner CE, Bolick MR (1996) Movement of crop transgenes into wild plants. In: Duke SO (ed) *Herbicide resistant crops: Agricultural, environmental, economic, regulatory, and technical aspects*. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp 303–330
- Kuds P, Mathiassen SK (2004) Joint action of amino acid biosynthesis-inhibitor. *Weed Research* 44:313–322
- LaRoss RA, Schloss JV (1984) The Sulfonylurea Herbicide Sulfometuron Methyl is an Extremely Potent and Selective Inhibitor of Acetolactate Synthase in *Salmonella typhimurium*. *J Biol Chem* 14:8753–8757
- Leguizamon E (2001) Transgenic plants in Argentina: present status and implications. *AgBiotechNet* 3:1–4
- Levitt G (1977). Belgian Pat. 853, 374
- Lowell ST, Wax LM, Horak MJ, Peterson DE (1996) Imidazolinone and Sulfonylurea Resistance in a Biotype of Common Waterhemp (*Amaranthus rudis*). *Weed Sci* 44:789–794
- Ma S, Liao Y-C, Jevnikar AM (2015) Induction of Oral Tolerance with Transgenic Plants Expressing Antigens for Prevention/Treatment of Autoimmune, Allergic and Inflammatory Diseases. *Curr Pharm Biotechnol* 16(11):1002–1011

- Mazur BJ, Chui CF, Smith JK (1987) Isolation and characterization of plants genes for cetolactate synthase the target enzyme for two classes of herbicides. *Plant Physiol* 85:1110–1117
- Mazur BJ, Falco C (1989) The development of herbicide resistant crops. *Ann Rev Plant Physiol Plant Mol Biol* 40:441–470
- Malidža G, Škorić D, Jocić S. (2000) Imidazolinone-resistant sunflower (*H. annuus* L.) inheritance of resistance and response towards selected sulfonylurea herbicides. *Proceedings of the 15<sup>th</sup> International Sunflower Conference, Toulouse – Paris : International Sunflower Association* 2:42–48
- Malidža G (2003) Suzbijanje korova u kukuruзу tolerantnom prema glufosinat-amonijumu. *Acta herbologica* 12(1-2):67–76
- Malidža G, Janjić V (2004) Genetički modifikovane biljke tolerantne prema herbicidima: herbološki aspekt. *Acta herbologica* 13(2):289–308
- Malidža G, Janjić V, Đalović I (2005) Genetički modifikovane biljke tolerantne prema herbicidima. *Zbornik radova X savetovanja o biotehnologiji, Čačak, str 96–110*
- Malidža G, Janjić V, Đalović I (2006) Genetically modified herbicide-tolerant crop – state and perspectives. *Herbologia* 7(1):67–93
- Mallory–Smith CA, Thill DC, Dial MJ, Zemetra RS (1990) Inheritance of Sulfonylurea Herbicide Resistance in *Lactuca* spp. *Weed Technol* 4:787–790
- Matolcsy Gy, Nadasy MA (1989) *Pesticide Chemistry*, Elsevier. Amsterdam, Oslo, New York, Tokio
- Meyer W, Fory W (1982) South African Pat Appl 81/4874
- Miller GT (2004) *Sustaining the Earth*, 6<sup>th</sup> edition. Thompson Learning, Inc. Pacific Grove, California. Chapter 9:211–216
- Мирић М, Лекић С, Петровић Р, Дражић С, Станчић И (2004) Технологија производње семена. Друштво селекционара и семенара Републике Србије, Београд
- Muhitch MJ, Shaner DL, Stidham MA (1987) Imidazolinones and acetohydroxyacid synthase from higher plants. *Plant Physiol* 83:451–456
- Oaks A (1965) The synthesis of leucine in maize embryos. *Biochim. Biophys Acta* 111:79–89
- Powles SB, Lorraine–Colwill DF, Dellow JJ, Preston C (1998) Evolved resistance to glyphosate in rigid ryegrass (*Lolium rigidum*) in Australia. *Weed Sci* 46(5):604–607
- Powles SB, Shaner DL (2001) *Herbicide Resistance and World Grains*. CRC Press, Boca Raton, Florida
- Primiani MM, Cotterman JC, Saari LL (1990) Resistance of *Kochia (Kochia scoparia)* to Sulfonylurea and Imidazolinone Herbicides. *Weed Technol* 4:169–172
- Ray TB (1984) Site of action chlorsulfuron. *Plant Physiol* 75: 827–831

- Reed WT, Saladini JL, Cotterman JC, Primiani MM, Saari L (1989) Resistance in weeds to sulfonylurea herbicides. Proc Bright Crop Protect Conference-Weeds pp 295–300
- Rudelsheim P (1993) Engineering crops for tolerance to specific herbicides: a valid alternative. The Brighton Crop Protection Conference–Weeds, Brighton pp 265–272
- Saari LL, Cotterman JS, Smith WF, Primiani MM (1992) Sulfonylurea Herbicide Resistance in Common Chickweed, Perennial Ryegrass and Russian Thistle. Pestic Biochem Physiol 42:110–118
- Sandra P, Helen MR, Gang Ch, Xiaoyuan H, Thomas H (2004) The Cauliflower Mosaic Virus 35S Promoter Extends into the Transcribed Region J Virol 78(22):12120-12128
- Sibony M, Michel A, Haas HU, Rubin B, Hurlle K (2001) Sulfometuron- resistant *Amaranthus retroflexus*: cross-resistance and molecular basis for resistance to acetolactate synthase-inhibiting herbicides. Weed Res 41:509–522
- Singh BK, Newhouse KE, Stidham MA, Shaner DL (1990) Acetohydroxyacid synthase-imidazolinone interaction. In: Barak A, Schloss JV, Chipman M (eds) The Biosynthesis of Branched-chain Amino Acids. WCH publishers
- Siyuan T, Richard RE, Mark LD, Bijay KS, Dale LS (2005) Imidazolinone-tolerant crops: history, current status and future. Pest Management Science 61(3):246–257
- Smith JK, Schloss JV, Mazur BJ (1989) Functional expression of plant acetolactate synthase genes in *Echerichia coli*. Proc Natl Acad Sci USA 86:4179–4183
- Smith J (2010) Genetically Modified Soy Linked to Sterility, Infant Mortality in Hamsters. <https://laudyms.files.wordpress.com/2010/04/soybeanfield.jpg>, April 20, 2010
- Sprague CL, Stoller EW, Wax LM (1997a) Response of acetolactate synthase (ALS)-resistant biotype of *Amaranthus rudis* to selected ALS-inhibiting and alternative herbicides. Weed Res 37:93–101
- Sprague CL, Stoller EW, Wax LM, Horak MJ (1997b) Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) and common waterhemp (*Amaranthus rudis*) resistance to selected ALS-inhibiting herbicides. Weed Science 45:192–197
- Stidham MA (1991) Herbicides that Inhibit Acetohydroxyacid Synthase. Weed Sci 39:428–434
- Stidham MA, Shaner DL (1990) Imidazolinone inhibition of acetohydroxyacid synthase in vitro and in vivo. Pest Sci 29:335–340
- Shan DM, Horsh RB, Klee HJ, Kishorer GM, Winter JA, Tumer NE, Hironoka CM, Sanders PR, Gasser CS, Aykent S, Siegel NR, Rogers SG, Fraley RT (1986) Engineering herbicide tolerance in transgenic plants. Science 233:478–481



- Shaner DL, Singh BK, Stidham MA (1990) Interaction of imidazolinone with plant acetohydroxy acid synthase: Evidence for in vivo binding and competition with sulfometuron methyl. *J Agric Food Chem* 38:1279–1282
- Scipitalo MJ, Malone RW, Owens LB. (2008) Impact of glyphosate-tolerant soybean and glufosinate-tolerant corn production on herbicide losses in surface runoff. *J Environ Qual* 37(2):401–408
- Schloss JV (1984) Interaction of the herbicide sulfometuron methyl with acetolactate synthase: a slow binding inhibitor. In: Bray RS, Engel PC, Mayhew (eds) *Flavins and Flavoproteins*. Walter de Gruyter & Co Berlin
- Schloss JV, Van Dyk DE, Vasta JF, Kutny RM (1985) Purification and properties of *Salmonella typhimurium* acetolactate synthase isozyme II from *Escherichia coli* HB 101/pDU9. *Biochemistry* 24:4952–4959
- Schloss JV, Ciskanik LM, Van Dyk DE (1988) Origin of the herbicide binding site of acetolactate synthase. *Nature* 331:360–362
- Toy DF, Uhing EH (1964) Aminomethylenephosphinic acids, salts thereof, and process for their production. United States Patent Office, patent 3,160,632
- Тркуља В, Радановић С, Михаић-Салапура Ј (2015) Пројена ризика од генетички модификованих организама. Академија наука и умјетности Републике Српске, Одељење природно-математичких и техничких наука. Научни скуп Генетички модификовани организми (ГМО) – научни и етички аспекти, производња и коришћење. Књига 26:185–201
- Тркуља В, Михаић-Салапура Ј, Ковачић-Јошић Д, Ђурковић Б, Вуковић Б, Васић Ј, Бабић Г (2017) Резултати анализа узорака хране и хране за животиње на присуство генетички модификованих организама (ГМО) током 2015. и 2016. године. The Fif<sup>th</sup> International Academic Conference “Science and Practice of Business Studies” Бања Лука, Collection of Papers, 1:442–449
- FAO (1990-2011) Faostat. Food and Agriculture Organization of United Nations
- FAO (2019) <http://www.fao.org/faostat/en/#data/RL>
- Fred W, David P, Frank B, Greg H, Bill J, David B, Arlen B (2006) *The Pesticide Marketplace*. University Purdue, Media Release, Wilmington, Delaware, Base, pp 71
- Habimana SA., Nduwumuremyi A, Chinama RJD (2014) Management of orobanche in field crops-A review *J Soil Sci Plant Nutr* 14, 1: versión On-line ISSN 0718-9516
- Hall L, Topinka K, Huffman J, Davis L, Good A (2000) Pollen flow between herbicide-resistant *Brassica napus* is the cause of multiple-resistant *B. napus* volunteers. *Weed Sci* 48(6):688–694
- Hanson DE, Ball DA, Mallory-Smith CA (2002) Herbicide Resistance in Jointed Goatgrass (*Aegilops cylindrica*): Simulated Responses to Agronomic Practices. *Weed Technol* 16(1):156–163

- Hashem A, Bowran D, Piper T, Dhammu H (2001) Resistance of Wild Radish (*Raphanus raphanistrum*) to Acetolactate Synthase-Inhibiting Herbicides in the Western Australia Wheat Belt. *Weed Technol* 15:68–74
- Haughn G, Somerville C (1996) Sulfonylurea-resistant mutants of *Arabidopsis thaliana*. *Mol Genet* 204:430–434
- Haughn GW, Smith J, Mazur B, Somerville C (1988) Transformation with a mutant *Arabidopsis* acetolactate synthase gene renders tobacco resistant to sulfonylurea herbicides. *Mol Gen Genet* 211:266–271
- Heap IM (2017) The International Survey of herbicide resistant weeds Online internet. Accessed on 17 february 2020 Available [www.weedscience.com](http://www.weedscience.com)
- Heap IM (2019) The International Survey of Herbicide Resistant Weeds. Online. Internet. Monday, January 6, 2020 Available [www.weedscience.org](http://www.weedscience.org)
- Cantamutto M, Poverene M (2007) Genetically modified sunflower release: Opportunities and risks. *Field Crops Research* 101:133–144
- Carpenter J, Felsot A, Goode T, Hammig M, Onstad D, Sankula S (2002) Comparative environmental impacts of biotechnology-derived and traditional soybean, corn and cotton crops. Council for Agricultural Science and Technology, Ames, Iowa
- Chaleff RS, Mauvais CV (1984) Acetolactate-synthase is the site of action of two sulfonylurea herbicides in higher plants. *Science* 224:1443–1445
- Choudhury PP, Singh R, Ghosh D, Sharma AR (2016) Herbicide Use in Indian Agriculture. ICAR - Directorate of Weed Research, Jabalpur, Madhya Pradesh, pp 110
- Chow L (2016) Greenpeace to Nobel Laureates: It's Not Our Fault Golden Rice Has 'Failed as a Solution. <https://www.ecowatch.com/greenpeace-to-nobel-laureates-its-not-our-fault-golden-rice-has-failed-1896697050.html>. Jun. 30, 2016 12:03PM EST
- Christopher JT, Powless SB, Liljegrán DR, Holtum AM (1991) Cross-Resistance to Herbicide in Annual ryegrass (*Lolium rigidum*). *Plant Physiol* 95:1036–1043
- Christopher JT, Powle SD, Holtum JAM (1992) Resistance to Acetolactate Synthase-Inhibiting Herbicides in Annual Ryegrass (*Lolium rigidum*) Involves at Least Two Mechanisms. *Plant Physiol* 100:1909–1913
- Wiersma PA, Schmiemann MG, Condie JA, Crosby WL, Moloney MM (1989) Isolation expression and phylogenetic inheritance of an acetolactate synthase gene from *Brassica napus*. *Mol Gen Genet* 219:413–420
- Wikipedia (2020) Canola oil. [https://en.wikipedia.org/wiki/Canola\\_oil#/media/File:Canola\\_field\\_temora\\_nsw.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Canola_oil#/media/File:Canola_field_temora_nsw.jpg) This page was last edited on 19 March 2020, at 14:12 (UTC)
- Wolfenbarger LL, Phifer PR (2000) The ecological risks and benefits of genetically engineered plants. *Science* 290, 5499:2088–2093

## **The global status and ecological consequences of cultivation of genetically modified plants**

Vaskrsija Janjić

### **Summary**

The latest accomplishments in molecular genetics, biochemistry and physiology enabled creation of genetically modified organisms (GMO) with changed properties. A genetically modified organism is an organism whose genetic material has been changed in a way that does not happen in nature by crossbreeding and/or recombining, while genetically modified food is such food that is derived from or that contains the ingredients from genetically modified organisms. The first generation of genetically modified plants is plants tolerant to herbicides and resistant to insects. Genetically modified plants tolerant to herbicides raised interest by various researchers who agree that the only ones who benefit from these plants are farmers, producers of herbicides and seeds, and not the consumers of final products. Today a big number of genetically modified cultivated plants are being created (corn, soya, potato, cotton, rape, tomato, sugar beet, wheat, rice, carnation, pumpkin, tobacco, chicory, flax, melon, sugar cane, papaya and other plants. Only 4 agricultural plants are cultivated on large surfaces: soya, corn, cotton and rape.

Since the very beginning of cultivation of genetically modified plants and production of food from genetically modified organisms, scientific and other debates have been going on regarding the safety of use, health-related consequences for the people and the environment and the necessity of marking the food obtained from genetically modified organisms. The risks related to cultivation and the use of food from genetically modified organisms are not yet fully known or clarified in detail. The main risks common for all genetically modified organisms relate to the fact that the process of their formation is accompanied with the mutation by inserting the genes homologous and heterologous evolution organisms which creates a possibility for genome changes to continue later during the period of commercial use. Such occurrences may cause changes both to the environment and the living organisms. Transfer of genes from cultivated plants to wild relatives is an already present problem. Only 11 of 60 cultivated varieties of plants in the world do not have wild relatives, while for 12 of 13 leading cultivated plant varieties natural hybridization with wild relatives has been proved.

This paper discusses the various problems that exist in the creation and cultivation of genetically modified plants resistant to herbicide. The basic genetic modification of plants resistant to the most important herbicides is described. The advantages, such as easier and cheaper weed control, more effective weed control that cannot be effectively suppressed with herbicides in conventional production, greater flexibility in the application of herbicides, the ability to suppress parasitic weeds, less risk the environment and the possibility of alternative production systems, that evolves from the cultivation of genetically modified plants resistant to herbicides are also pointed out. In this paper some of the risks related to the use of genetically modified crops resistant to herbicides are discussed: the emergence of applied gene mutation, which creates opportunities to change the genome of teaching and later, an additional problem substances and preparations which are standard throughout the process of genetic transformation, gene transfer to wild relatives and weeds, genetically modified plants resistant to herbicide as wild plants in the following crops, increasing the risk of damage to non-target plants herbicide broad spectrum of activity, the potential impact on biodiversity and changes of weed flora.

*Key words:* Genetically modified plants, herbicides, resistance, growing area, environmental consequences, soya, corn, cotton and rape