



UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Nejc RUTAR

**INDUCIRANA ODPORNOST RASTLIN ZA
OBRAMBO PRED PATOGENI**

DIPLOMSKI PROJEKT

Univerzitetni študij- 1.stopnja

Ljubljana, 2012

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Nejc RUTAR

**INDUCIRANA ODPORNOST RASTLIN ZA OBRAMBO PRED
PATOGENI**

DIPLOMSKI PROJEKT
Univerzitetni študij - 1. stopnja

INDUCED RESISTANCE FOR PLANT DEFENCE

B. SC. THESIS
Academic Study Programmes

Ljubljana, 2012

Diplomski projekt je zaključek Univerzitetnega študija Kmetijstvo – agronomija – 1. stopnja. Delo je bilo opravljeno na Katedri za fitomedicino, kmetijsko tehniko, poljedelstvo, travništvo in pašništvo.

Študijska komisija Oddelka za agronomijo je za mentorja diplomskega dela imenovalaizr. prof. dr. Francija Aco Celarja.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: prof. dr. Marina PINTAR
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, oddelek za agronomijo

Član: prof. dr. Franci ACO CELAR
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, oddelek za agronomijo

Član: prof. dr. Dominik VODNIK
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, oddelek za agronomijo

Datum zagovora: 28.9.2012

Diplomski projekt je rezultat lastnega dela. Podpisani se strinjam z objavo svojega diplomskega projekta na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je delo, ki sem ga oddal v elektronski obliki, identično tiskani verziji.

Nejc Rutar

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

- ŠD Du1
- DK UDK 632.3:631.524.86(043.2)
- KG aktivni obrambni mehanizmi rastlin/ inducirana odpornost/ ASR/ISR/produkti
- AV RUTAR, Nejc
- SA CELAR, Franci Aco (mentor)
- KZ SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
- ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo
- LI 2012
- IN INDUCIRANA ODPORNOST RASTLIN ZA OBRAMBO PRED PATOGENI
- TD Diplomski projekt (Univerzitetni študij - 1. stopnja)
- OP VI, 13 str., 3 pregl., 4 sl., 15 vir.
- IJ sl
- JI sl/en
- AI Odpornost patogenov na konvencionalna fitofarmaceutvska sredstva (FFS) je problem, zato je potreben neprestan razvoj novih učinkovin za varstvo rastlin. Mehanizmi inducirane odpornosti to izboljšujejo s svojim širokim spektrom varstva, za katero izkoriščajo rastlini lasten obrambni odziv. Do danes sta potrjeni dve različni signalni poti, SAR in ISR. Prva je odvisna od signalizacije z salicilno kislino, druga pa od jasmonske kisline in etilena. Poznanih je veliko signalnih snovi (elicitorjev), ki nespecifično inducirajo odpornost različnih vrst rastlin. Nekateri delujejo aditivno pri souporabi s FFS, kjer je posledica zmanjšanje teh sredstev za enak rezultat in zmanjševanje možnosti za odpornost patogena. Zaradi svojih lastnosti je inducirana odpornost idealna za trajnostni razvoj kmetijstva, saj zmanjšuje vnos kemikalij v okolje, in prek pridelkov, v človeka.

KEY WORDS DOCUMENTATION

- ND Du1
- DC UDC 632.3:631.524.86(043.2)
- CX active plant defence/ induced resistance/ ASR/ISR/products
- AU RUTAR, Nejc
- AA CELAR, Franci Aco (supervisor)
- PP SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
- PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Agronomy
- PY 2012
- TY INDUCED RESISTANCE FOR PLANT DEFENCE
- DT B. Sc. Thesis (Academic Study Programmes)
- NO VI, 13 p., 3 tab., 4 fig., 15 ref.
- LA sl
- Al sl/en
- AB Pathogen resistance on conventional plant pharmaceuticals is a problem, therefore a constant development of new substances is needed. Mechanisms of induced resistance exploit plants own defence against a broad spectrum of pathogens. There are two different signalling paths recognised today, SAR and ISR. First is dependant of salysilic acid and latter of jasmonic acid and ethylene pathway. Many elicitors are known, which non-specifically induce resistance in taxonomically diverse plants. Additive effect is known to occur, when using certain elicitors with conventional substances as they reduce the chance of pathogen resistance because of complex systemic regulation. Induced resistance is a sustainable approach to crop protection, with smaller amount of chemicals being used for the same effect making it safer for the enviroment and humans.

	KAZALO VSEBINE	Str.
	KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	II
	KEY WORDS DOCUMENTATION	III
	KAZALO VSEBINE	IV
	KAZALO PREGLEDNIC	V
	KAZALO SLIK	V
	OKRAJŠAVE IN SIMBOLI	VI
1	UVOD	1
1.1	POJEM INDUCIRANE ODPORNOSTI	1
2	VRSTE INDUCIRANE ODPORNOSTI	2
2.1	PRIDOBLEJENA SISTEMSKA ODPORNOST (SAR)	3
2.2	SPROŽENA SISTEMSKA ODPORNOST (ISR)	3
2.3	PRENEŠENA ODPORNOST	3
3	MEHANIZMI INDUCIRANE ODPORNOSTI	5
3.1	SAR	5
3.2	ISR	6
4	SNOVI, KI INDUCIRAJO ODPORNOST	8
4.1	VZAJEMNO DELOVANJE	8
5	KOMERCIALNI PRODUKTI	9
5.1	RAZVOJ SPROŽILCEV INDUCIRANE ODPORNOSTI	9
5.2	UMEŠČANJE PRODUKTOV NA TRG	10
6	SKLEPI	11
7	VIRI	12
	ZAHVALA	

KAZALO SLIK

Slika 1: Primerjava poteka bolezni pri rastlini, kjer smo inducirali odpornost in tisti brez tega posega (Conrath, 2009).....	2
Slika 2: Sistemski in hlapni signali odpornosti v rastlinah (Dickinson, 2003).....	4
Slika 3: Primerjava SAR in ISR (Vallad in Goodman, 2004).....	7
Slika 4: Formule nekaterih pomembnejših sprožilcev (Edreva, 2004).....	9

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Družine SAR genov in njihove lastnosti (Strange, 2003).....	6
Preglednica 2: Snovi in družine snovi, ki inducirajo odpornost pri rastlinah (Walters in sod., 2007).....	8
Preglednica 3: Produkti na trgu (Walters in sod., 2007).....	10

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

BTH = benzotiadiazol

INA = izonikotinska kislina

OK = očetna kislina

VP = vodikov peroksid

SK = salicilna kislina

PRP = pathogenesis related proteins (z boleznijo povezani proteini)

MAPK = MAP kinaze

ISR = induced systemic resistance (inducirana sistemska odpornost)

SAR = systemic acquired resistance (pridobljena sistemska odpornost)

TMV = tobacco mosaic virus

P. putida = *Pseudomonas putida*

F. oxysporum = *Fusarium oxysporum*

A. brassicicola = *Alternaria Brassicicola*

B. cinerea = *Botrytis cinerea*

M. grisea = *Magnaporthe grisea*

FFS = fitofarmaceutsko sredstvo

DMI = inhibitorji demetilacije sterola

1 UVOD

Danes je preskrba Slovenije s hrano eden glavnih problemov politike, saj samooskrba pada. Stopnja samooskrbe z zelenjavo je bila v letu 2010 pod 40 odstotkov in pšenice okoli 50 odstotkov (Gale, 2011), še večji izziv pa bo to predstavljalo v prihodnosti, zaradi naraščajočega števila prebivalstva, tako na lokalni, kot na svetovni ravni. Kmetijstvo vsakoletno pestijo vremenske nepravilnosti (letos huda suša), ki zmanjšujejo izplen pridelkov poljščin, k temu pa dodatno prispevajo še rastlinske bolezni in škodljivci. Na vreme (še) ne moremo vplivati, na preventivo in kurativo na polju pa lahko, vendar ti ukrepi predstavljajo izdaten strošek za kmete. Ocenjuje se, da naj bi okoli 12 odstotkov pridelkov na globalni ravni bilo izgubljenih zaradi bolezni (FAO, 2009).

Potreba po novih sredstvih FFS je velika, saj se patogeni hitro prilagajajo in postajajo nanje odporni. Znanstveniki zato usmerjajo svoje moči v razvoj novih snovi z drugačnimi mehanizmi delovanja, ki bodo omogočala človeku, da ostane vsaj en korak pred boleznimi. Problema se lotevajo iz več smeri, enega od njih vam bom predstavil v nadaljevanju.

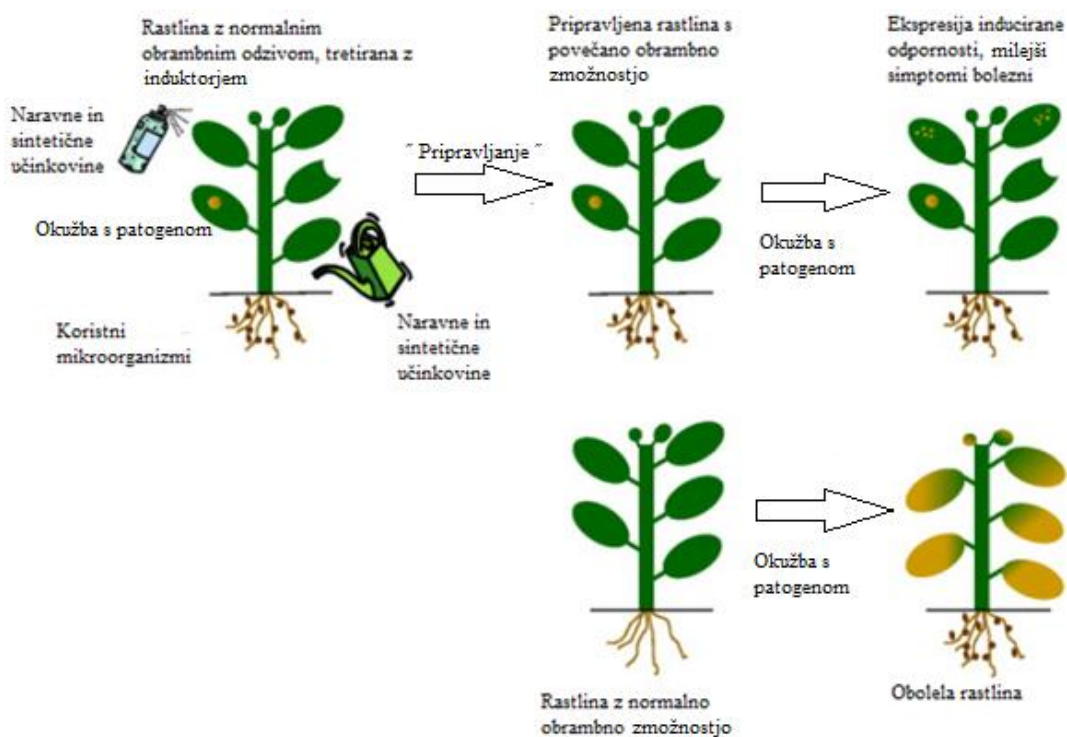
1.1 POJEM INDUCIRANE ODPORNOSTI

Že dolgo je znano (prva opazovanja na začetku dvajsetega stoletja), da rastline posedujejo obrambne mehanizme za obrambo pred patogeni, vendar pa se šele v zadnjih letih znanstveniki bolj intenzivno ukvarjajo s pojavom inducirane odpornosti rastlin, ki bi v prihodnosti lahko predstavljala trajnost, bolj ekološki pristop k varstvu gojenih rastlin. Tu je mišljeno predvsem to, da se nadgradi lastni imunski sistem rastline z minimalnimi posledicami za naravo, v nasprotju s kemikalijami, ki se konvencionalno uporabljajo v škropivih, ki delujejo tarčno na patogene (Walters in sod., 2007).

Najboljši učinki pri varstvu rastlin v praksi so se sicer pokazali pri kombinirani uporabi konvencionalnih in induciranih sredstev, znanih kot rastlinski aktivatorji/ojačevalci. Razumevanje biokemičnih sprememb, ki povzročajo odpornost, bi v prihodnosti lahko vodilo do razvoja gensko spremenjenih rastlin s povečano odpornostjo proti boleznim ali pa novih FFS pripravkov, ki delujejo stimulatивно na rastlinske odpornostne mehanizme (Walters in sod., 2007).

2 VRSTE INDUCIRANE ODPORNOSTI

V grobem se inducirana odpornost rastlin za obrambo pred patogeni deli na dva glavna trenutno znana mehanizma, SAR (Systemic Acquired Resistance) in ISR (Induced Systemic Resistance), po slovensko pridobljena sistemska odpornost ter sprožena sistemska odpornost. Oba delujeta tako, da povzročita širok spekter odpornosti v rastlini, razlikujeta pa se po mehanizmih delovanja (Walters in sod., 2007). Poznamo pasivno in aktivno obrambo pred patogeni. Inducirana odpornost rastlin spada pod aktivno obrambo. Pasivna odpornost je odvisna od obrambe, ki je že izražena v rastlini, medtem ko se aktivna odpornost opira na obrambne mehanizme, ki se sprožijo po okužbi ali napadu škodljivcev.



Slika 1: Primerjava poteka bolezni pri rastlini, kjer smo inducirali odpornost in tisti brez tega posega (Conrath, 2009)

2.1 PRIDOBLJENA SISTEMSKA ODPORNOST (SAR)

Pridobljena sistemska odpornost je oblika inducirane odpornosti, ki je aktivirana preko cele rastline in ima določene lastnosti, ki so podobne živalskim imunskim odzivom, kot je dolgo delovanje in dvigovanje odpornosti z zaporednimi infekcijami. Vendar pa je v nasprotju z živalskim imunskim sistemom lahko učinkovita tudi proti organizmom, ki niso bili vpleteni v prvotni odziv, kar potrjuje odpornost širokega spektra. Glavne značilnosti so lokalna nekroza tkiva, odvisnost od signalizacije s salicilno kislino (SK) ter sistemska ekspresija s patogenezo povezanih proteinov (PRP) (Strange, 2003).

PRP so definirani kot rastlinski proteini, ki so inducirani v tkivu okuženem s patogeni in so povezani z razvojem SAR. SAR je bila demonstrirana v mnogih rastlinskih vrstah, vključno s fižolom, paradižnikom, bučami in navadnim repnjakovcem (*Arabidopsis thaliana*) po okužbi z bakterijskimi, glivnimi in virusnimi patogeni. Primer pri kumarah: inokulacija z glivo *Colletotrichum lagenarium* inducira odpornost proti glivnim, bakterijskim in virusnim patogenom. Čas razvoja SAR je odvisen od rastline in primarnega inokuluma, od nekaj ur pa do 2-3 tednov (Strange, 2003). Spekter odpornosti proti patogenom, proti katerim je SAR učinkovita, je značilen za vsako rastlinsko vrsto neodvisno od narave patogena, vendar pa ta spekter variira med vrstami (Walters in sod., 2007).

2.2 SPROŽENA SISTEMSKA ODPORNOST (ISR)

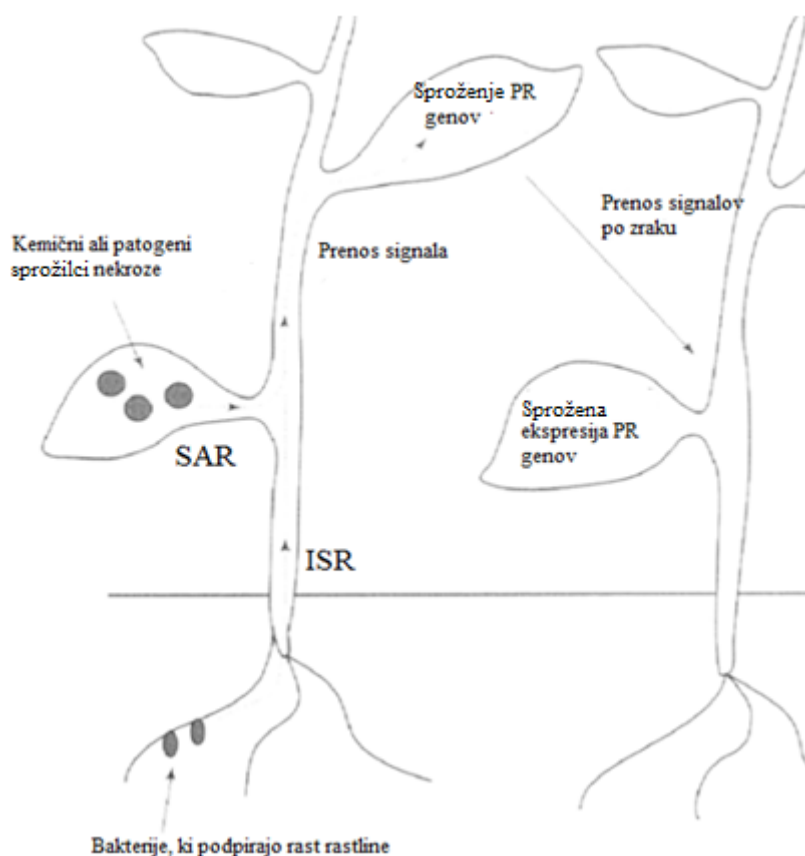
ISR je inducirana z nekaterimi vrstami simbiotskih rizobakterij, ki vzpodbujajo rast rastlin. V nasprotju z SAR se ne izraža s tvorbo nekrotičnega tkiva in ni povezana z ekspresijo z boleznijo povezanih proteinov (PRP) ter je neodvisna od signalne poti SK, povezana pa je z akumulacijo etilena (ET) in jasmonske kisline (JK) (Van Loon in sod., 1998).

Modelna rastlina za ISR je *Arabidopsis thaliana*. ISR je poznana tudi pri fižolu, kumarah, tobaku, radiču, paradižniku idr. Pri *A. thaliana* so opazovali od SK neodvisno signalno kaskado, ki je bila sprožena z nepatogeno rizobakterijo *Pseudomonas fluorescens*, izolat WCS471R, ki je inducirala odpornost proti različnim vrstam bakterij, ki okužujejo liste (npr. *Xanthomonas campestris*), glivam, ki okužujejo korenine (npr. *Fusarium oxysporum* f. sp. *raphani*) in glivam, ki okužujejo liste (npr. *Alternaria brassicicola* in *Botrytis cinerea*) (Walters in sod., 2007). Prav tako kot SAR tudi ISR povzroča odpornost širokega spektra.

2.3 PRENEŠENA ODPORNOST

Poleg systemskega signaliziranja znotraj rastlin in posledičnega induciranja odpornosti, so študije pokazale, da lahko rastline komunicirajo z sosednimi rastlinami in aktivirajo obrambne gene tudi v njih. Hlapne signalne molekule, kot so metil jasmonat in metil salicilat se tvorijo v rastlinah, okuženih z insekti in patogeni. V laboratorijskih razmerah se

je pokazalo, da izzovejo ekspresijo obrambnih genov. Primer: Z insekti napadena rastlina *Artemisia tridentata* (veliki pelin) je izločala metil jasmonate in s tem inducirala produkcijo inhibitorjev proteinaz v sosednjih paradižnikih ter tako zmanjšala število hranečih se insektov (Dickinson, 2003).



Slika 2: Sistemski in hlapni signali za povečanje odpornosti v rastlinah (Dickinson, 2003)

3 MEHANIZMI INDUCIRANE ODPORNOSTI

3.1 SAR

Ekspresijo SAR tvorijo kaskade molekularnih in biokemičnih dogodkov. Začne se z zaznavo sprožilcev (patogeni ali kemikalije), nadaljuje s tvorbo signalnih molekul, ki se prenesejo po celi rastlini, te pa sprožijo obrambni odgovor. Zaznavanje sprožilcev poteka z receptorji, ki se nahajajo v celičnih stenah ali membranah. Salicilna kislina je splošno znana kot signalna molekula oziroma kot prvi pogoj za tvorbo signala pri SAR. Raziskave še potekajo, vendar je znano, da naj bi SK vstopila v signalne kaskade z MAP kinazami. Nato sledi interakcija s promotorji genov ali drugimi sprožilci regulatornih faktorjev, kar se odrazi v ekspresiji SAR genov. SAR geni predstavljajo družino štirinajstih genov, katerih ekspresija je povezana s SAR (Edreva, 2004).

Preučevanje tobakovega mozaika (TMV) je pomembno prispevalo k razumevanju SAR (Carr, 2004). Za s TMV okuženi tobak sledijo imena za SAR gene : PR-1 proteini, (PR-2) glukanaza, (PR-3) hitinaza, (PR-4) heveinu podoben protein, (PR-5) osmotinu in thaumatinu podobni proteini, osnovni razred 3 hitinaz in razred kisljih 3 hitinaz ter PR-Q. Vpletenost PRP v SAR bi lahko bila povezana z njihovo funkcijo. Tako nekateri delujejo hidrolitično (glukanaza, hitinaza), iz česar se sklepa, da imajo litični efekt na celične stene patogenov. Družina PR-5 proteinov ima membransko-permeabilno aktivnost zaradi interakcije s komponentami membran, kar povzroči spremembo pH membranskega gradienta in nastanek por v membranah. Sistemski indukcija lipoksigenaze HRGP (hydroxyprolin rich glycoproteins) in kaloze v neokuženih listih bi lahko kazala na pomembno vlogo derivatov maščobnih kislin in strukturnih komponent celične stene, sorodnih strukturnih komponent SAR. Peroksidaza, ki je prav tako sistemsko inducirana, je pomembna za povezovanje in ojačanje celičnih sten, katere so marker za vzbujeno, inducirano stanje. Oksidativni izbruh naj bi posredoval ekspresijo SAR. Iz napisanega se da sklepati, da se s SAR povezanimi dogodki rastlina hitreje in učinkoviteje odzove na okužbo s patogenom (Edreva, 2004).

Preglednica 1 : Družine SAR genov in njihove lastnosti (Strange, 2003)

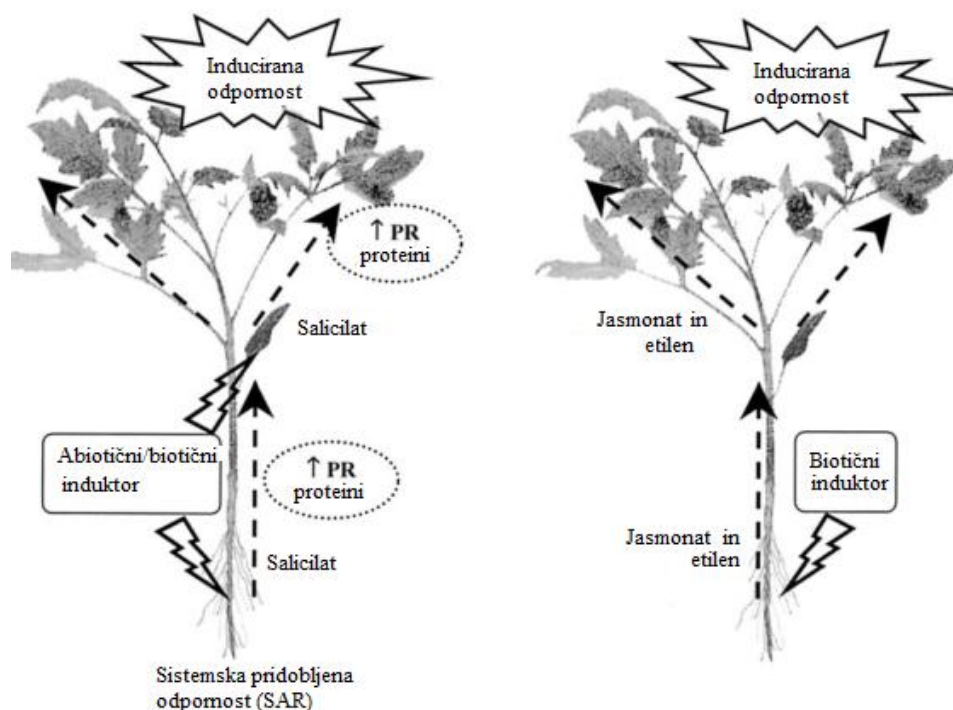
Družina	Tip gena	Lastnosti	Simboli genov
PR-1	Tobak PR-1a	Neznano	Ypr1
PR-2	Tobak PR-2	B-1,3- glukanaza	Ypr2, [Gns2 (Gilb)]
PR-3	Tobak P-Q	Hitinaze I, II, III, IV, V, VI, VII	Ypr3, Chi
PR-4	Tobak R	Hitinaze I, II	Ypr4, Chid
PR-5	Tobak S	Podoben taumatinu	Ypr5
PR-6	Paradižnik inhibitor I	Inhibitor proteinaz	Ypr6, Pis ("Pin")
PR-7	Paradižnik P69	Endoproteinaza	Ypr7
PR-8	Kumarična hitinaza	Hitinaza III	Ypr8, chib
PR-9	Tobačna lignin- izgradnajoča peroksidaza	Peroksidaza	Ypr9, prx
PR-10	Peteršilj PR-1	Podoben ribonukleazi	Ypr10
PR-11	Tobakova razred V hitinaza	Hitinaza I	Ypr11, Chic
PR-12	Redkev Rs-AFP3	Defenzin	Ypr12
PR-13	<i>Arabidopsis</i> THI2.1	Thionin	Ypr13, Thi
PR-14	Ječmen LTP4	Proteinski prenašalec lipidov	Ypr14, Ltp

3.2 ISR

Fenotipsko je ISR podobna SAR, vendar pri njej v nasprotju s SAR, v signalni poti ne sodeljuje SK, pač pa jasmonska kislina (JK) in etilen (ET).

Za odkritje signalne poti pri z rizobakterijami povzročeni ISR je bil razvit sistem, v katerem je bil uporabljen navadni repnjakovec in nepatogena bakterija *Pseudomonas fluorescens* WCS417r kot inducirajoči element, vendar se je kasneje izkazalo, da obstaja odvisnost v odnosu bakterija/gostiteljska rastlina. Walters in sod., (2007) kot primer navajajo, da *P. fluorescens* lahko povzroči ISR v redkvi, ne pa tudi v rastlini *Arabidopsis* sp. Ta se odziva na inokulacijo s *Pseudomonas putida* WCS358r, katera pa obratno ne povzroči odziva ISR pri redkvi. Poleg razlik v indukciji ISR med vrstami bakterij, so razlike tudi znotraj vrste. Z uporabo različnih mutantov *Arabidopsis* sp., ki so bili neodzivni na ET in/ali JK, je bilo ugotovljeno, da je potrebna odzivnost na oba ET in JK skupaj. V *Arabidopsis* sp. tako ET kot JK aktivirata specifičen set obrambnih genov. Dokazano je bilo, da je pomembna povečana občutljivost na ta dva hormona in ne povečanje njune količine (Pieterse, 2000, cit. po Walter in sod., 2007; Hase, 2003, cit. po Walters in sod., 2007).

Z genskim monitoringom 8000 genov navadnega repnjakovca je bilo ugotovljeno, da 81 genov kaže vzorce ekspresije v ISR izraznih listih, v nasprotju z navadnimi listi po inokulaciji z bakterijo Pst DC3000. Večina teh genov je regulirana s signalizacijo JK in/ali ET. V različnih primerih je bil opažen dvig količine fitoaleksinov v ISR izražajočih rastlinah ter spremembe v celični steni korenin po inokulaciji s *F. oxysporum*, ki so preprečile vdor glive. Skupna lastnost pri ISR je rizobakterijski priming, s čimer se poveča obrambni odziv rastline s posledično bolj potentno ekspresijo obrambnih genov (Walters in sod., 2007).



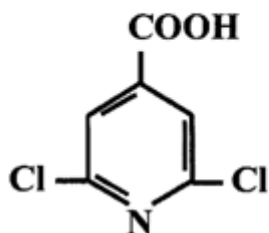
Slika 3: Primerjava SAR in ISR (Vallad in Goodman, 2004)

4 SNOVI, KI POVZROČAJO INDUCIRANO ODPORNOST

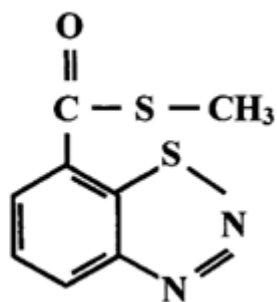
Inducirana odpornost je nespecifična oblika rastlinske odpornosti, ki deluje proti mnogim patogenom in kot taka je aktivirana z nespecifičnimi sprožilci. Ti spodbudijo široko odpornost rastlin učinkovito proti vrsti patogenov različne taksonomske pripadnosti. Nekateri delujejo sistemsko, s tem ko izražajo odpornost stran od mesta aplikacije, drugi pa delujejo lokalno, na mestu aplikacije. Med sabo se kemijsko zelo razlikujejo, kot tudi po učinkovitosti indukcije inducirane odpornosti. Spodaj je naštetih nekaj snovi, ki dokazano inducirajo neko stopnjo odpornosti.

Preglednica 2 : Snovi in družine snovi, ki inducirajo odpornost (Walters in sod., 2007)

Glivni, bakterijski in rizobakterijski produkti	Rastlinski ekstrakti in produkti	Ogljikovi hidrati
Antibiotiki	Brasinolidi	Hitosan
Hitin	Jasmonidi in sorodne snovi	Saharin
Ergosterol	Oligogalakturonidi	Glukani morskih trav
Glivni glukani	Oksalat	-
Lipopolisaharidi	Rastlinski ekstrakti	-
Proteini in peptidi	Spermin	-
Salicilna kislina	Hlapne organske spojine	-
Sfingolipidi	Etilen	-
Hlapne organske spojine	-	-



2,6 Dikloroizonikotinska kislina (INA)



Benzotiadiazol (BTH)

Slika 4: Formule nekaterih pomembnejših sprožilcev (Edreva, 2004)

4.1 VZAJEMNO DELOVANJE SPROŽILCEV IN FUNGICIDOV

Aplikacija sprožilca benzotiadiazola (BTH) v kombinaciji s fungicidi je pokazala sinergistični efekt pri odpornosti na patogen na primeru *Arabidopsis* sp. Kako snovi sodelujejo med sabo in katere lahko uporabljamo skupaj za doseganje aditivnega učinka še ni znano (Molina, 1998, cit. po Walters in sod., 2007).

5 PRODUKTI

Glavni cilj pridelave hrane je trajnostna pridelava zdravih pridelkov in konstantni visoki donosi, ki pa so vsako leto ogroženi zaradi pojavov novih bolezni in prilagoditev patogenov na fitofarmacevtska sredstva. Industrija je dokaj uspešna pri proizvodnji fungicidov (fenilamidi, DMI, strobilurini), ni pa tako uspešna pri produkciji sredstev, s katerimi bi dobro in varno nadzirali bakterijske in virusne patogene. Razvoj in proizvodnja novih sredstev ni poceni, ker ne zadostuje samo, da je snov učinkovita in varna za rastline, temveč mora biti tudi varna za človeka in okolje. Raziskava je pokazala, da je za razvoj novega konvencionalnega sredstva v povprečju potrebno 9,1 let in 184 milijonov dolarjev (Walters in sod., 2007).

5.1 RAZVOJ SPROŽILCEV INDUCIRANE ODPORNOSTI

V primeru inducirane odpornosti, kot novega biotičnega koncepta, je do odkritja prve sistemsko aktivne snovi prišlo po naključju. Probenazol je bil vpeljan kot fungicid za varstvo riža leta 1977, nakar je minilo mnogo let preden so ugotovili, da deluje tudi proti bakterijskim boleznim riža leta 1998 (Watanabe, 1977, cit. po Walters in sod., 2007; Yamagouchi, 1998, cit. po Walters in sod., 2007). S poglobljenim razumevanjem mehanizmov inducirane odpornosti so bili v zadnjih 20 letih s screening odkriti še derivati izonikotinske kisline (INA) in benzotiadiazoli (BTH). Z raziskavami o patogenosti rastlinskih bakterij so odkrili in kasneje izolirali harpin protein, ki je odgovoren za patogenost na gostiteljskih rastlinah in za nekrozo na negostiteljskih rastlinah. Ta izzove odpornost na boleznimi preko foliarne aplikacije brez vidnih nekrotičnih znamenj in celo poveča rast rastlin. Harpin protein so uporabili v komercialnem produktu Messenger (Jones, 2001). Seznam nekaterih produktov na trgu se nahaja v Preglednici 3.

5.2 UMEŠČANJE PRODUKTA NA TRG

Produkti, ki izkoriščajo inducirano odpornost za obrambo rastlin, se obravnavajo drugače kot konvencionalni FFS produkti in imajo določene prednosti. Spodbujajo naravne rastlinske mehanizme odpornosti v nasprotju s konvencionalnimi pripravki, zaradi česar so končni pridelki varnejši za človeka in okolje ter nekateri delujejo že v majhnih koncentracijah, kar jih naredi ekonomsko ugodne za uporabnike. S stališča odpornosti je naravni mehanizem zelo kompleksen in imajo patogeni zato malo možnosti, da postanejo imuni nanj. V primeru probenazola se ni razvil noben odporen patogen sev, kjub 30 letni komercialni uporabi (Walters in sod., 2007). V ZDA so tovrstni produkti registrirani kot rastlinski aktivatorji, v EU pa so uvrščeni v kategorijo rastlinski ojačevalci oziroma sredstva za krepitev rastlin, ki pa spadajo pod konvencionalne FFS produkte zaradi zakonodaje, ki drugačne obravnave še ne omogoča.

Preglednica 3: Produkti na trgu (Walters in sod., 2007)

Tržno ime	Kemijsko ime	Način delovanja	Ključne biološke lastnosti
BION, ACTIGARD	Acibenzolar-S-Metil	Posnema SK v naravnem SAR	Širok spekter odpornosti na mnogih poljščinah
MESSENGER, ProAct	Harpin protein	Posnema lokalno poškodbo v naravnem SAR (odvisno od produkcije SK)	Povečana rast, večji pridelek in njegova kvaliteta, zmanjšana tvorba jajčec pri nematodah
V-GET	Tiadinil	Posnema SK	Kontrola glive <i>M. grisea</i> na rižu
ORYZEMATE	Probenazol	Inducira različne PR proteine in lipide v rižu	Zaščita pred glivami ter bakterijami na rižu in nekaterih vrtninah
OXYCOM A in B	Reaktivni kisik in rastlinski stimulant (OK, VP, gnojila, stabilizatorji in SK)	Stimulacija različnih obrambnih genov preko MAPK poti	Povečana trdnost celične stene in izboljšano zdravje korenin
ELEXA 4	Hitosan	Neznan (mogoče potrebna SK)	Protiglivna zaščita sadnih vrst, vrtnin, okrasnih rastlin, žit in riža
IODUS 40	B-1,3-Glukan	Stimulacija inducirane odpornosti (poti SK in JA)	Glivične bolezni pri različnih kmetijsko pomembnih rastlinah

6 SKLEPI

Fenomen inducirane odpornosti še ni povsem razjasnjen, kljub temu, da so produkti, ki ga izkoriščajo že nekaj let na trgu. Potencial je velik, zlasti pri kombinirani uporabi konvencionalnih fitofarmaceutskih pripravkov in tako imenovanih rastlinskih aktivatorjev oziroma ojačevalcev. Slednji pripomorejo tudi k daljši rabi konvencionalnega sredstva, ki je drugače samo po sebi dovzetno, da patogen postane nanj odporen.

Zaradi kompleksnega naravnega sistema rastlinske obrambe je možnost, da patogen postane zaradi mutacije odporen, zelo majhna, kar dokazujejo primeri dolgoletne uporabe rastlinskega aktivatorja probenazola na rižu. Pozitivno je tudi iz denarnega stališča, ker se bo vložek za razvoj tovrstnih sredstev dalj časa vračal, kar pomeni, da bodo podjetja vlagala več v razumevanje mehanizmov inducirane odpornosti.

Sprožilci sicer delujejo precej specifično glede na rastlinsko vrsto, vendar po drugi strani omogočajo širok spekter odpornosti, ki pogosto vključuje glive, bakterije in viruse. Ta lastnost bo pripeljala do razvoja specifičnih snovi, ki bodo delovale na specifično rastlino in tako do razvoja raznolikih produktov.

V prihodnosti bo z novimi dognanji možno bolj učinkovito uporabljati sredstva za varstvo rastlin ter z zmanjševanjem potrebne količine konvencionalnih sredstev v kombinaciji z inducirano odpornostjo doseči enak učinek ter tako prispevati k manjšemu onesnaževanju narave in ljudi. K temu prispevamo tudi sami kot potrošniki, ko zahtevamo bolj zdrave proizvode in tako posredno pomagamo zmanjševati vnos kemikalij v hrano in okolje.

7 VIRI

- Carr J.P. 2004. Tobacco mosaic virus. V: Plant– pathogen interactions. Talbot N.J. (ed.). Oxford, Blackwell Publishing Ltd: 27-68
- Conrath U. 2009. Priming of induced plant defense responses. *Advances in Botanical Research*, 51: 362-384
- Dickinson M. 2003. *Molecular plant pathology*. 1. izd. London, Bios Scientific Publishers: 291 str.
- Edreva A. 2004. A novel strategy for plant protection: Induced resistance. *Journal of Cell and Molecular Biology*, 3: 61-69
- FAO. 2009. Crop prospects and food situation. <http://www.fao.org/giews/> (24.9.2012)
- Gale Š. 2011. Svetovni dan hrane. Statistični urad Republike Slovenije. http://www.stat.si/novica_prikazi.aspx?id=4258 (24.9.2012)
- Heil M., Bostock R.M. 2002. Induced systemic resistance (ISR) against pathogens in the context of induced plant defences. *Annals of Botany*, 89: 503-512
- Jones J. 2001. Harpin. *Pesticide Outlook*, 12: 134-135
- Ryals J.A., Neuenschwander U.H., Willits M.G., Molina A., Steiner H.Y., Hunt M.D. 1996. Systemic acquired resistance. *The Plant Cell*, 8: 1809-1819
- Strange R.N. 2003. *Introduction to plant pathology*. West Sussex, John Wiley & Sons Ltd: 497 str.
- Van Loon L.C. 1997. Induced resistance in plants and the role of pathogenesis-related proteins. *European Journal of Plant Pathology*, 103: 753-765
- Van Loon L.C., Bakker P.A.H.M., Pieterse C.M.J. 1998. Systemic resistance induced by rhizosphere bacteria. *Phytopathology by Annual Reviews*, 36: 453- 483
- Vallad G.E., Goodman R.M. 2004. Systemic acquired resistance and induced systemic resistance in conventional agriculture. *Crop Science Society of America*, 44: 1920-1934
- Walters D., Newton A., Lyon G. 2007. *Induced resistance in plant defence : A sustainable approach to crop protection*. 1. izd. Oxford, Blackwell Publishing Ltd: 272 str.
- Zeng R. 2006. Disease resistance in plants through mycorrhizal fungi induced allelochemicals. *Disease Management of Fruits and Vegetables*, 2: 181-193

ZAHVALA

Za pomoč in vodstvo pri izdelavi diplomskega projekta se zahvaljujem mentorju prof. dr. Franciju Aco Celarju in prof. dr. Dominiku Vodniku za recenzijo.

Zahvaljujem se tudi družini za podporo.