

CONSIDERATIONS REGARDING THE MECHANISMS INVOLVED IN REGULATING PLANT IMMUNITY TO PATHOGEN ATTACK

Daniela-Georgiana CIOBANU*, Nicoleta IANOVICI

West University of Timisoara, Faculty of Chemistry, Biology, Geography, Department of Biology-Chemistry, Pestalozzi 16, Timișoara

*Corresponding author e-mail: daniela.ciobanu98@e-uvt.ro

Received 15 December 2018; accepted 28 December 2018

ABSTRACT

Plants are the main source of food on Terra. Meanwhile the population of Earth is increasing, the role played by the plants becomes essential. Like other living organisms, the vegetal organisms can be the subject of continuous and destructive action of the pathogens. To ensure the good food status of population is necessary to study and understand the natural mechanisms of fighting pathogens. The subject of this article is the immunity of plants. It will be presented further the ways that the host plant recognize the pathogens, PAMP-triggered immunity, gene-to-gene interaction, some classes of fitohormones and substances which have a role in the modulation of gene expression so as to determinate a defensive response from the attacked plant. By understanding the way of the immune system of plants is working we can prevent the loss of plant cultures in the future, fact which attracts with it the providing of food security.

KEY WORDS: *plant immunity, PAMP/MAMP (pathogen associated molecular patterns/microbe associated molecular patterns), DAMP (damage associated molecular patterns), gene-to-gene interactions, plant pathogens, PRR (pattern recognition receptors), ABA (abscisic acid), PTI (PAMP-triggered immunity), ETI (effector triggered immunity), SAR (systemic acquired resistance), plant stress, volatile terpenoids, cytokinins, food security*

INTRODUCERE

Populația Terrei este în continuă creștere. Planeta noastră susține în prezent aproximativ 7,3 miliarde de oameni. Se preconizează că în anul 2030 numărul va ajunge la 8,5 miliarde de oameni, în 2050 vor exista 9,7 miliarde de oameni, iar în anul 2100 se va ajunge la 11,2 miliarde de oameni (conform Departamentului de Economie și Probleme Sociale al Națiunilor Unite, 2015). Climatul de pe Terra este în continuă schimbare, securitatea alimentară, în acest caz, pune destul de multe probleme, cererea de hrană fiind din ce în ce mai mare pe zi ce trece.

Rolul plantelor devine, în acest context, prioritar, iar imunitatea plantelor face subiectul acestui articol. Plantele reprezintă singurele organisme de pe Pământ capabile să sintetizeze substanțe organice din substanțe anorganice, sub influența luminii, acest proces numindu-se fotosinteză. La fel

ca toate organisme vii, și plantele sunt constant supuse la acțiunea negativă a patogenilor și la modificarea factorilor de mediu. Încă de la începuturile civilizației, bolile plantelor au avut efecte catastrofale asupra recoltelor și implicit un impact negativ în starea de bine a oamenilor. În continuare, îmbolnăvirea plantelor duce la efecte negative atât în ceea ce privește nivelul calității vieții oamenilor cât și în sensul stabilității economiei (Ianovici et al, 2012; Grudnicki & Ianovici, 2014; Baker et al. 2017).

Patogenii plantelor pot fi clasificați, privind în ansamblu, în două mari categorii: necrotrofi și biotrofi (Dangl & Jones, 2001). În cazul infecției cu patogeni necrotrofi, rezultatul este moartea plantei deoarece acești indivizi se hrănesc cu conținutul organismelor vegetale moarte. În cazul infecției cu patogeni biotrofi, organismele vegetale nu sunt omorâte, deoarece acești patogeni necesită planta vie pentru a-și desăvârși ciclul de viață, însă este afectată foarte mult calitatea vieții plantelor (intensitatea fotosintezei, procese metabolice etc.) (Ianovici et al, 2010).

Un organism sănătos presupune un sistem imunitar puternic. Imunitatea plantelor poate fi simplu definită ca fiind capacitatea unei plante de a preveni sau de a rezista la atacul biologic al patogenilor (Ianovici, 2010; Miller et al. 2017). Se vor prezenta în continuare principalele mecanisme și substanțe ce intervin în reglarea imunității plantelor.

Conform lui Miller et al. (2017), concepțiile actuale iau în considerare două ramuri interconectate ale sistemului imunitar al plantelor cu privire la recunoașterea moleculelor patogenilor de către plantele gazdă. Pe de-o parte în determinarea răspunsului defensiv al plantelor intervine imunitatea mediată prin modele moleculare asociate cu patogenii (*PTI*), iar pe de altă parte intervine interacțiunea *genă-la-genă*.

Imunitatea mediată prin PAMP-uri. În acest caz, este vorba despre interacțiunea dintre receptorii membranari ai celulei gazdă (PRR) și PAMP/MAMP. Adesea, în locul PAMP/MAMP pot interveni DAMP, care sunt molecule proprii celulei gazdă dar care în urma infecției au suferit transformări fizice și mutații genetice și care pot fi recunoscute mai departe de receptorii celulari ca fiind improprii (*non-self*) celulei gazdă, și deci pot iniția un răspuns imun. După ce a avut loc interacțiunea între PAMP sau DAMP și PRR are loc inducerea efectivă a răspunsului imun prin mecanisme imunologice mediate de PTI. Are loc fenomenul complex de semnalizare intracitoplasmatică și modificarea expresiei genetice ca rezultat al pătrunderii patogenului în celula gazdă (Miller et al. 2017).

Interacțiunea genă-la-genă presupune existența a două gene: o genă a patogenului, numită și genă *Avr* și o genă a plantei gazdă, gena *R*, numită genă de rezistență. O genă *Avr* îi dă patogenului un anumit fenotip pe o

anumită gazdă, aceasta din urmă posedând o genă *R*, de rezistență, anume pentru acea genă *Avr* a patogenului (Brian et al. 1995). Practic, când gena *R* și respectiv gena *Avr* sunt prezente în gazdă și în patogenul ce infectează gazda, rezultatul este rezistența la boală (Dangl, 2001). În ecosistemele naturale, datorită coevoluției de milioane de ani dintre plante și patogeni, îmbolnăvirile masive sunt destul de rare, și atunci când apar, sunt în general destul de restrânse din punct de vedere geografic. Dacă luăm în considerare practicile agricole moderne, și în special pe cele legate de monoculturi, susceptibilitatea în dezvoltarea bolilor prin acțiunea negativă a patogenilor crește mult, fapt tradus de multe ori prin pierderea culturilor în masă. În ultimii ani, odată cu dezvoltarea ingineriei genetice, s-a încercat introducerea genelor de rezistență de la specii sălbatice la specii comerciale înrudite, în vederea inducerii unui răspuns imun amplu. Numărul speciilor comerciale ce conțin aceste gene de rezistență rămâne totuși limitat.

Spre deosebire de vertebrate care au anticorpii răspândiți în tot corpul, răspunsul defensiv al plantelor este în general localizat și presupune necroza rapidă a celulelor în vecinătatea zonei de invadare a patogenului. Genele *R* au o caracteristică importantă, determină atât recunoașterea specifică a moleculelor proprii patogenului („*elicitors*”, molecule ce determină apariția răspunsului imun și care pot fi comparate cu antigenele de la animale), cât și activarea reacției de hipersensibilitate (Keen, 1990).

Genele *Avr* au suferit mutații în scop evolutiv și determină codificarea unor proteine efectorie (*Avr proteins*). Aceste proteine pot determina supresia PTI și instalarea bolii în acest moment, când sistemul imunitar este compromis. Ca răspuns, plantele au dezvoltat receptori proteici de rezistență pentru a recunoaște proteinele *Avr* și pentru a determina activarea imunității mediată prin efectori (*ETI*). ETI spre deosebire de PTI dă un răspuns imun ce include reacții de hipersensibilitate și chiar moartea celulelor infectate, limitând astfel avansarea infecției (Miller et al. 2017). Spre deosebire de animale, în cazul plantelor, fiecare celulă este capabilă să inducă un răspuns imun în vederea apărării individuale (Brian et al. 1995). Reacțiile de hipersensibilitate (*HR*) se traduc prin moartea celulară sau tisulară în zona infectată, motiv prin care se limitează activitatea patogenică. Acest răspuns local determină adesea un răspuns imun sistemic (*SAR*). SAR oferă rezistență pentru un spectru mare de patogeni timp de câteva zile (Baker et al. 1997).

Citokininele sunt fitohormoni, derivați ai adeninei, substituiți la N^6 . Inițial au fost descoperite ca fiind implicate în reglarea diviziunii celulare la plante. Ulterior s-a constatat că citokininele intervin în toleranța la stres a plantelor. Concentrațiile mari de citokinine determină o susceptibilitate scăzută la infecții, în timp ce concentrații scăzute de citokinine determină creșterea

capacității de dezvoltare a patogenilor. Citokininele acționează printr-un mecanism ce implică activarea genelor ce determină un răspuns imun dependent de acidul salicilic (SA). Există o relație de *cross-talk* între citokinine și SA. De fapt, citokininele nu pot determina un răspuns imun fără acumularea în prealabil a acidului salicilic. SA reglează negativ semnalizarea prin citokinine, ceea ce înseamnă că SA ajustează de fapt întreg procesul imun (Argueso et al. 2012). Pe lângă SA, producerea de citokinine este afectată și de alți factori. De exemplu, nivelul de azot din plante reglează cantitatea endogenă de citokinine. Plantele crescute la concentrații mici de azot prezintă un nivel redus de citokinine. Ortofosfații (*Pi*) intervin în producerea citokinelor, așa încât la niveluri scăzute de *Pi* există niveluri scăzute de citokinine. Și sulful acționează indirect în producerea de citokinine, în sensul că acționează ca și cofactor, fiind esențial pentru formarea metabolitoilor secundari implicați în răspunsul imun (Argueso et al. 2009).

Acidul abscisic (ABA). Pe lângă factorii biotici, asupra plantelor acționează și factorii abiotici. Răspunsul plantelor la stresul abiotic este influențat de severitatea stresului și de statutul metabolic al plantei. Acidul abscisic este un fitohormon cu rol extrem de important în creșterea și dezvoltarea plantelor dar intervine și în controlul factorilor de stres. Plantele reglează constant nivelul acidului abscisic în funcție de factorii de mediu. Principalele condiții de stres abiotic la care sunt supuse plantele sunt: concentrații mari de sare (salinitate), temperaturi extreme (arșiță, îngheț), deficitul de apă (secetă, deshidratare). Cel mai sever factor dintre aceștia este *salinitatea*. Plantele răspund la stresul abiotic prin procese adaptative controlate de acidul abscisic. Cum mulți factori de stres induc formarea de acid abscisic, acesta este supranumit și *hormonul stresului*. ABA joacă roluri multiple în plantă: intervine în germinarea semințelor, avansarea închiderii aparatului stomatic, morfogeneza embrionară, sintetizarea proteinelor de rezervă și a lipidelor, senescență, apărare. Aplicarea de acid abscisic plantelor mimează condiții de stres. Nivelul de acid abscisic scade procesul de imbibitiție al semințelor, ceea ce determină germinarea. Dacă în condiții de stres nivelul de ABA rămâne crescut, semințele nu pot germina, deci stresul influențează negativ viața plantei (Tutenja, 2017). Denumirea de „acid abscisic” provine de la ideea că, în trecut, se credea că acest fitohormon intervine în abscizia (căderea) fructelor. Ulterior s-a demonstrat că ABA este implicat în senescența plantelor, fenomen ce precedă abscizia (Sah, 2016).

Terpenele volatile sunt molecule cu masa moleculară mică, derivate din izopentenil difosfat (*IPP*) și joacă un rol foarte important în apărarea directă și indirectă, fiind folosite și ca semnal pentru plantele învecinate (Miller et al 2017). Plantele secretă constant cantități reduse de terpene volatile dar în

anumite cazuri, de exemplu atacul insectelor ierbivore, terpenele sunt secretate în cantități mai mari ca răspuns la acțiunea negativă a factorilor biotici. Terpenele sunt o sursă importantă de compuși olefinici (alchene) care sunt implicați în formarea produșilor fitotoxici. Terpenele volatile se combină cu oxizii de azot și formează foto-oxidanți de tipul ozonului, crescând astfel stresul din jurul plantei. Sinteza terpenelor este foarte consumatoare de energie, în esență costul producerii terpenelor volatile este mai mare decât al oricărui metabolit primar sau secundar (Pare & Tumlinson, 1999). Terpenele sunt în general acumulate în plante la nivelul unor structuri secretorii specializate: peri glandulari (*Lamiaceae*, *Asteraceae*), buzunare și cavități secretoare (*Fabaceae*, *Rutaceae*), canale secretoare (*Pinaceae*, *Apiaceae*), laticifere (*Euphorbiaceae*, *Asteraceae*), idioblaste (*Magnoliaceae*, *Lauraceae*). Atât sinteza efectivă a terpenelor volatile cât și formarea acestor structuri specializate în acumularea lor sunt foarte costisitoare pentru organisme (Gershenzon, 1994). Terpenele servesc ca și semnale ce pot induce răspunsuri defensive sistemice, în zonele neatacate ale plantei dar de asemenea, prin intermediul aerului, pot ajunge și la plantele din vecinătate unde pot induce răspunsuri de apărare la eventuale atacuri. Tocmai natura volatilă a terpenelor le conferă abilitatea de a se comporta ca molecule de semnalizare foarte eficiente (Sharma et al. 2017).

CONCLUZII

Plantele necesită o atenție sporită în vederea completării și definitivării studiilor cu privire la imunitate, deoarece acționând la acest nivel se poate asigura necesarul de hrană al populației de pe Terra. Probabil că înaintarea lentă în studiul imunității plantelor poate fi pusă pe seama imposibilității cunoașterii mecanismelor la nivel celular datorită lipsei de tehnologie care să permită acest lucru. În ultimii ani știința și tehnologia au avansat aproape simultan, fapt ce ne redă speranța că poate în următorii ani hrana necesară pentru populația planetei noastre va putea fi asigurată. Suportul nutritiv trebuie să asigure toate necesarele dezvoltării umane, atât *cantitativ* cât și *calitativ* și acest lucru pune probleme destul de serioase. Totuși, prin faptul că avem date clare despre unele mecanisme imune ale plantelor și prin aceea că la anumite niveluri s-a reușit manipularea plantelor în vederea reducerii activității patogenilor, putem spera că în viitor bolile plantelor nu vor mai reprezenta o catastrofă economică.

BIBLIOGRAFIE

- Argueso C.T., Ferreira F.J., Epple P., To J.P.C., Hutchison C.E., Schaller G.E., Dangl J.L., Kieber J.J. 2012. Two-Component Elements Mediate Interactions between Cytokinin and Salicylic Acid in Plant Immunity. PLOS Genetics. 8.

CIOBANU & IANOVICI: Considerations regarding the mechanisms involved in regulating plant immunity to pathogen attack

- Argueso C.T., Ferreira F.J., Kieber J.J., 2009. Environmental perception avenues: the interaction of cytokinin and environmental response pathways. *Plant, Cell and Environment*. 32:1147-1160.
- Baker B., Zambryski P., Staskanicz B., Dinesh-Kumar S.P. 1997. Signaling in Plant-Microbe Interactions. *Science*. 276:726-733.
- Dangl J.L., Jones J.D. 2001. Plant pathogens and integrated defence responses to infection. *Nature*. 411:826-833.
- Gershenzon S. 1994. Metabolic Costs of terpenoid accumulation in higher plants. *Journal of Chemical Ecology*. 20:1281-1327.
- Grudnicki M., Ianovici N. 2014. *Noțiuni teoretice și practice de Fiziologie vegetală*, Ed. Mirton, Timișoara, 289 p.
- Ianovici N. 2010. Some preliminary data about vesicular – arbuscular mycorrhizas at different species of *Plantago*, *Annals of West University of Timișoara*, ser. Biology, 13: 129-134
- Ianovici N., Ciocan G.V., Matica A., Scurtu M., Șesan T.E. 2012. Study on the infestation by *Cameraria ohridella* on *Aesculus hippocastanum* foliage from Timișoara, Romania, *Annals of West University of Timișoara*, ser. Biology, XV (1): 67-80
- Ianovici N., Matica A., Scurtu M. 2010. Contribution to the knowledge of leaf galls from Western Romania, *Annals of West University of Timișoara*, ser. Biology, 13: 135-144
- Keen N.T. 1990. Gene-for-gene complementarity in plant-pathogen interactions. *Annual Review of Genetics*, 24:447-463.
- Miller R. N. G., Alves G.S.C., Van Sluys M. 2017. Plant immunity: unravelling the complexity of plant responses to biotic stresses. *Annals of Botany*. 119:681-687.
- Pare P.W., Tumilson J.H. 1999. Plant Volatiles as a Defense against Insect Herbivores. 121:325-331.
- Sah S. K., Reddy K.R., Li J. 2016. Abscisic Acid and Abiotic Stress Tolerance in Crop Plants. *Frontiers in Plant Science*. 7:571.
- Sharma E., Anand G., Kapoor R. 2007. Terpenoids in plant and arbuscular mycorrhiza-reinforced defence against herbivorous insects. *Annals of Botany*. 119:791-801.
- Tutenja N. 2007. Abscisic Acid and Abiotic Stress Signaling. *Plant Signaling and Behavior*. 2:3, 135-138.