

8.9. Sérülési stressz

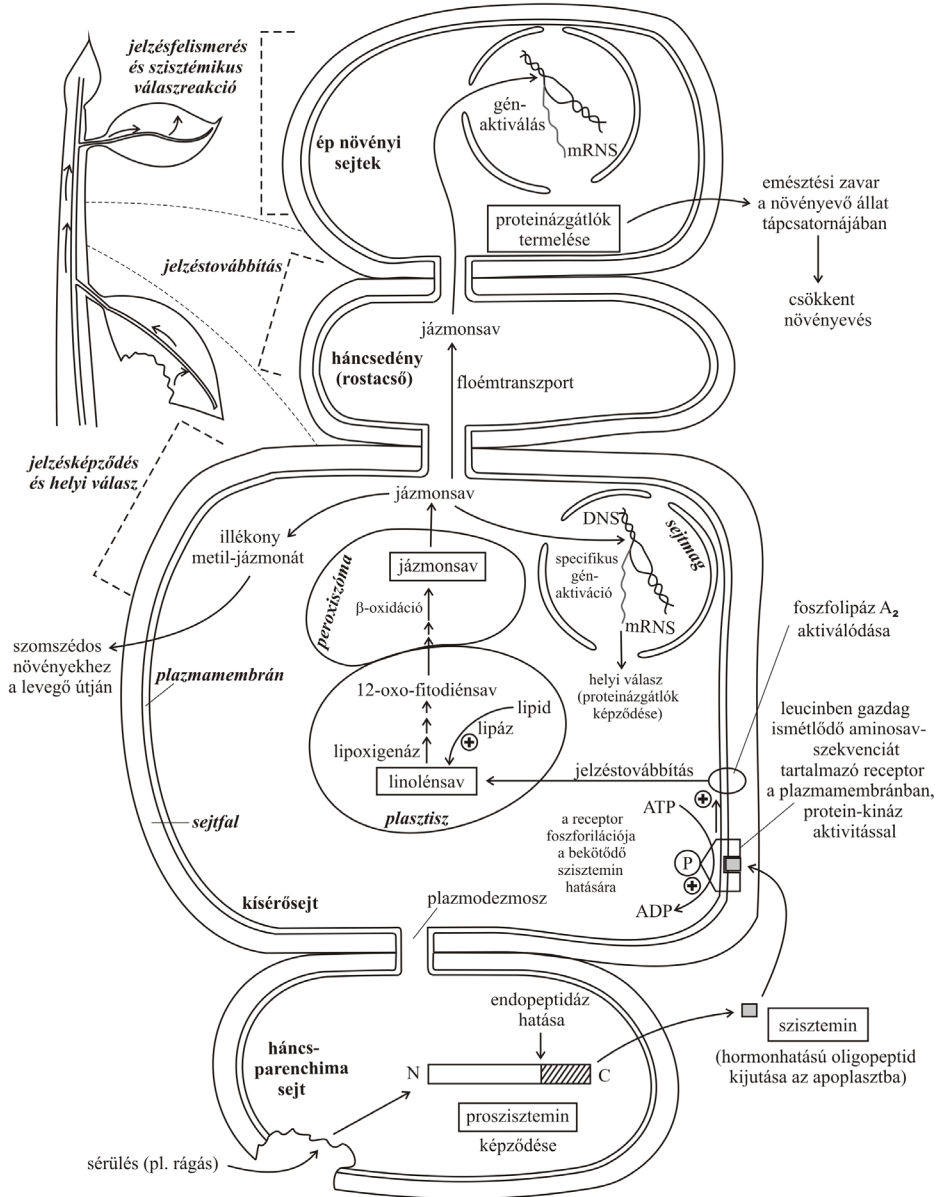
A sebzés, melyet növényevő általi rágás, letaposás, kórokozó mikroorganizmus behatolása stb. okozhat, jellegzetes vészreakciót vált ki a növényekben, amely során sajátos kémiai jelzések védekezési és kijavítási választ indukálnak. Sebzés hatására burgonyafélékben a sérült sejtfalakból **szisztemin** szabadul fel. Ez 200 aminosavas prosziszteminből keletkező, 18 aminosavból álló kis peptidlánc, mely a sérülés helyéről a háncs útján elszállítódik a növény testének minden részébe és egy általános, szisztémikus védekezési reakciót indít be, aminek segítségével a növény sikeresebben ellenáll a következő sebzések kedvezőtlen hatásainak. Ezzel egyidőben a sérült sejtfalakból pektinázok és oligoszacharinok (például oligogalakturonsav) is felszabadulnak. Ez utóbbiak, akár a háncs útján terjedő sziszteminnek is, kötődnek a plazmamembránban levő receptoraikhoz, ami által sajátos protein-kinázok (szerin/treonin kinázok) és lipázok aktiválódnak a sejten belül, beindítva az intracelluláris jelzéstovábbítást. A szisztemin receptora azonos a növényvilágban általánosan elterjedt brassinoszteroidok receptorával, ami általános jelzéstovábbító szerepére utal.

Az aktiválódó lipáz hatására linolénsav szabadul fel a sérült sejt membránszakaszaiból, ez pedig **jázmonsav** képződésére használódik fel, ami helyi szabályozóanyag. A jázmonsav hatására aktiválódnak a proteinázgátló fehérjemolekulák génjei, így a sérülés helyén az állati fehérjeemésztő enzimek (a tripszin és a kimotripszin) működését leállító növényi gátlóanyagok keletkeznek, amelyek emésztési zavart okoznak a növényevőben. Hüvelyesekben a proteinázgátlók mellett α -amilázt gátló védőfehérje is képződik, ami a növényi táplálékban levő keményítő emésztését akadályozza meg. Továbbá, a lektinek is, cukorláncot tartalmazó fehérjékre kifejtett denaturáló hatásuk mellett, a növényevők tápcsatornájában a hámsejtek általi tápanyagfelvételt is gátolják.

Ezekkel párhuzamosan a jázmonsav egy részéből illékony metil-jázmónát keletkezik, amely a levegő útján átjut a szomszédos növényekbe. Így, a légtéren keresztüli vegyi kommunikációval a sérült növény riasztja szomszédait, hogy ezek idejében felkészülhessenek egy esetleges támadásra. A jázmonsav közvetítésével megvalósuló lokális jelzés főleg patogén mikroorganizmusok és apró gerinctelenek általi sebzés során, a szisztemin segítségével kialakuló szisztémikus jel pedig főleg nagyobb növényevő állatok támadása során hatékony (**90. ábra**).

Károsító környezeti tényezők hatására specifikus külső jelzések által beindított, induktív módon szabályozott változások következhetnek be olyan metabolikus utakban, melyek megvalósulásához több sejtorganelum közreműködése szükséges. Általában a primer cukor-, aminosav- és zsírsav-anyagszere útjaiból ágaznak ki azok a metabolikus folyamatok, melyek sajátos védőanyagokat állítanak elő a sikeres védekezés számára. Továbbá, a növények és fogyasztóik koevolúciójának eredményeként, a növényi és állati anyagszere egyes reakcióinak az integrációja is

meztörténhet. Például, a kártevő rovarok nyálában levő elicitor hatására a növények által termelt linolénsavból és linolsavból a rovar emésztőnedvében egy enzim konjugátumot (zsírsav-amidot) alakít ki a rovar által bioszintetizált aminosavval (pl. glutaminnal).



90. ábra. Szisztemin képződése növényevés általi sérülés hatására paradicsomnövényben és a szisztémikus védekezés kialakulása proteinázgátló anyag termelődésével (Taiz és Zeiger 2006 után módosítva)

A konjugátumban a növényi zsírsav hidroxilálódik, és így jön létre a **volicitin**, mely illékony induktoranyagok termelődéséhez és elterjedéséhez vezet, ezúton a rovar által megtámadott növény elkezd védőanyagokat termelni. A rovar nyálában levő elicitor hatására a károsított növényi testrészt sejteiben a kloroplasztiszok és a peroxiszómák együttműködésével a zsírsav-anyagcserének egy sajátos útja indul be, amit **oktadekanoid útnak** nevezünk, és jázmonsav képződéséhez vezet. A kloroplasztiszban a linolénsav lipoxigenáz hatására 13-hidroperoxi-linolénsavvá alakul, majd ebből az allénoxid-szintáz és az allénoxid-cikláz hatására 12-oxo-fitodiénsav lesz. Ez átjut a kloroplasztiszból a peroxiszómába, ahol redukció és háromszoros β -oxidáció során jázmonsavvá alakul, mely kijut a citoszolba és kiváltja a védekezési reakciót. Ezzel párhuzamosan, a növényevés az etilén, a szalicilsav és a metil-szalicilát (illékony jelmolekula) felgyűlését is kiváltja a megtámadott növényi sejtekben. Ugyanakkor burgonyafélékben a szisztemin nevű védőfehérje, a többi hajtásos növényben pedig az ezt helyettesítő brassinoszteroidok képződése fokozódik. Ezek együttes hatása jelentősen növeli a kártevők elleni védekezés sikerét.

A védő szerepű szekunder metabolitok összehangolt, integrált anyagcseréjét jól szemlélteti a zöld **levelek szerves illóanyagainak** induktív előállítás is. Mechanikai károsodás hatására a hajtásos növények levelei a lipidanyagcsere módosulásával 6 szénatomos aldehidek, alkoholok és észterek keverékét termelik, melyek illékony jelzőanyagok növényevők általi károsítás alkalmával. Egyes ilyen illóanyagok a növényhez csalogatják a kártevő rovar ragadozóit (fogyasztóit) vagy parazitáit, mások megakadályozzák a peterakást a leveleken vagy riasztóanyagokként (táplálkozási repellensekként) védik a növényt a kártevőktől.

Endoparazita hengerférgek váladékanyagainak hatására a megtámadott gyökerekben az apró féreg körül számos parenchimasejt összeolvad egy nagy, szinciciális tápláló szerkezetté, vagy pedig endomitózissal és DNS endoreduplikációval óriássejtek alakulnak ki, melyekből a hánccsedények által szállított asszimilátumokat a hánccs-parenchima transzfer sejteinek közvetítésével a hengerférgek elszívják. Hengerférgek hatására a növényekben aktiválódik mind a szerzett szisztémikus rezisztencia útja (a szalicilsav és a patogenezis-függő védőfehérjék segítségével), mind a proteáz-inhibitorok képződésének útja (jázmonsav és stresszetilén segítségével), vagyis társulnak egymással a fertőzésre és a növényevésre adott védőmechanizmusok.

A biotikus stresszhatások alapjainak megismerésével jelenleg a növénytermesztési biotechnológiák egyik fő irányvonala a fertőző mikroorganizmusokkal, vírusokkal és állati kártevőkkel szemben ellenálló transzgénikus növények előállítása a termésveszteségek mérséklése céljából.