

Διαγονιδιακά Φυτά σε Καλλιέργεια και στο Εμπόριο

Figure: The pipeline of GM crops from early R&D to commercialization

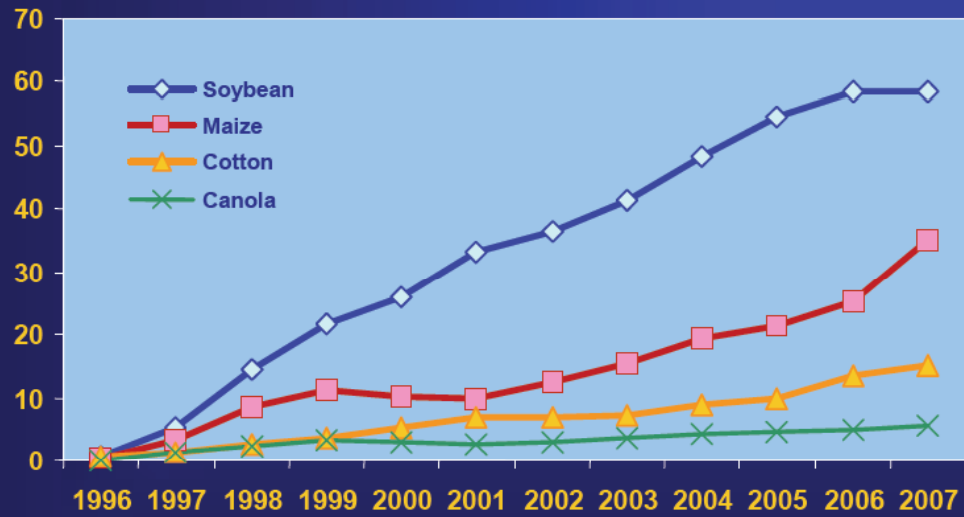


🌻 Φυτά: Αραβόσιτος, Σογια, Βαμβάκι, Ελαιοκράμβη

🌻 Αγρονομικά Χαρακτηριστικά

- Ανθεκτικότητα σε ζιζανιοκτόνα
- Ανθεκτικότητα σε έντομα

Global Area of Biotech Crops, 1996 to 2007: By Crop (Million Hectares)



Source: Clive James, 2008

BIOTECH SEED MARKET BY CROP

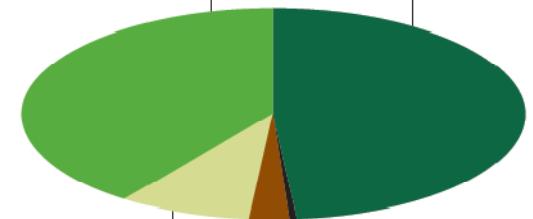
Maize 48.4%

Soybeans 40.0%

Cotton 8.5%

Canola 2.6%

Others 0.5%

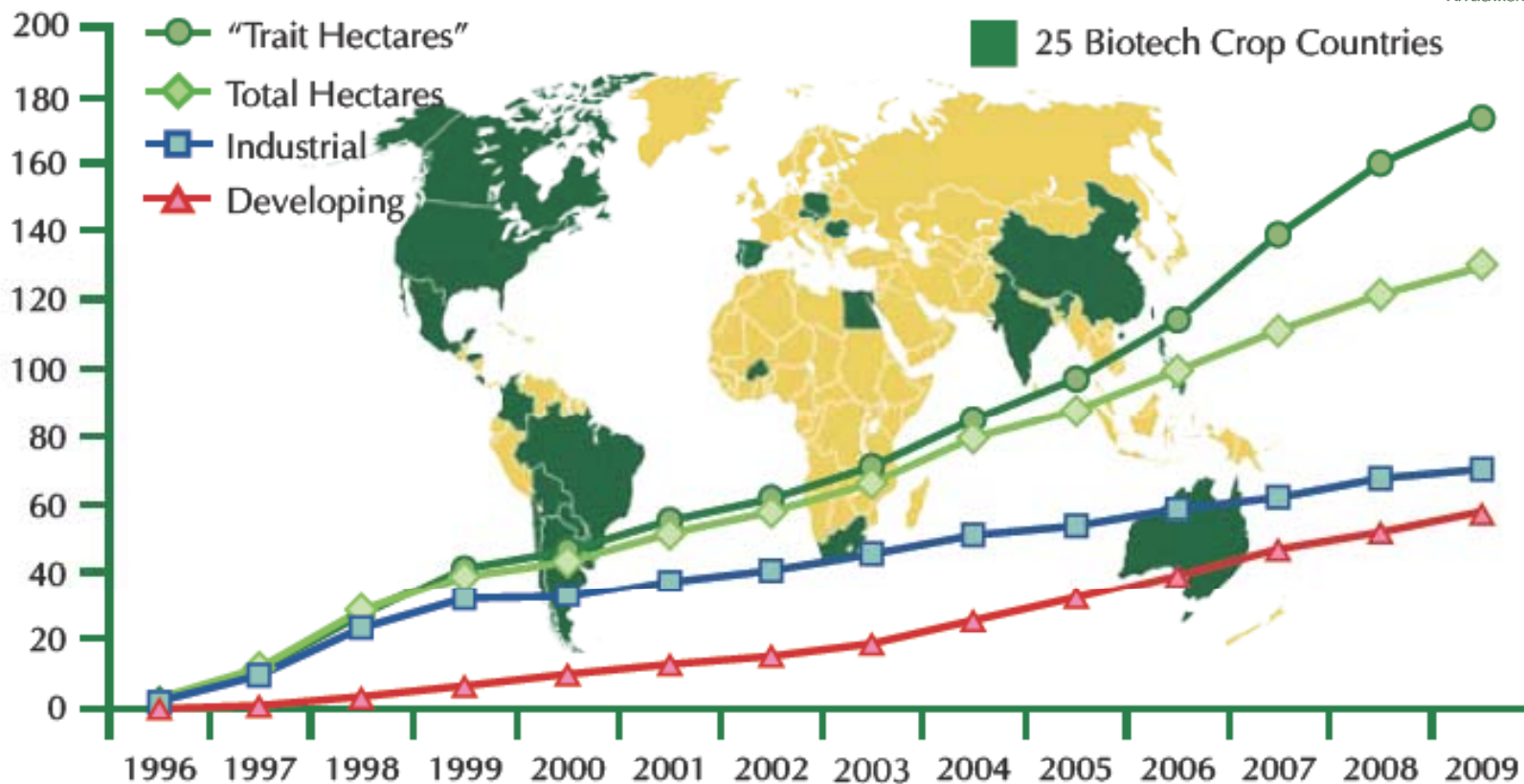


TOTAL = \$9,150 million

GLOBAL AREA OF BIOTECH CROPS Million Hectares (1996-2009)



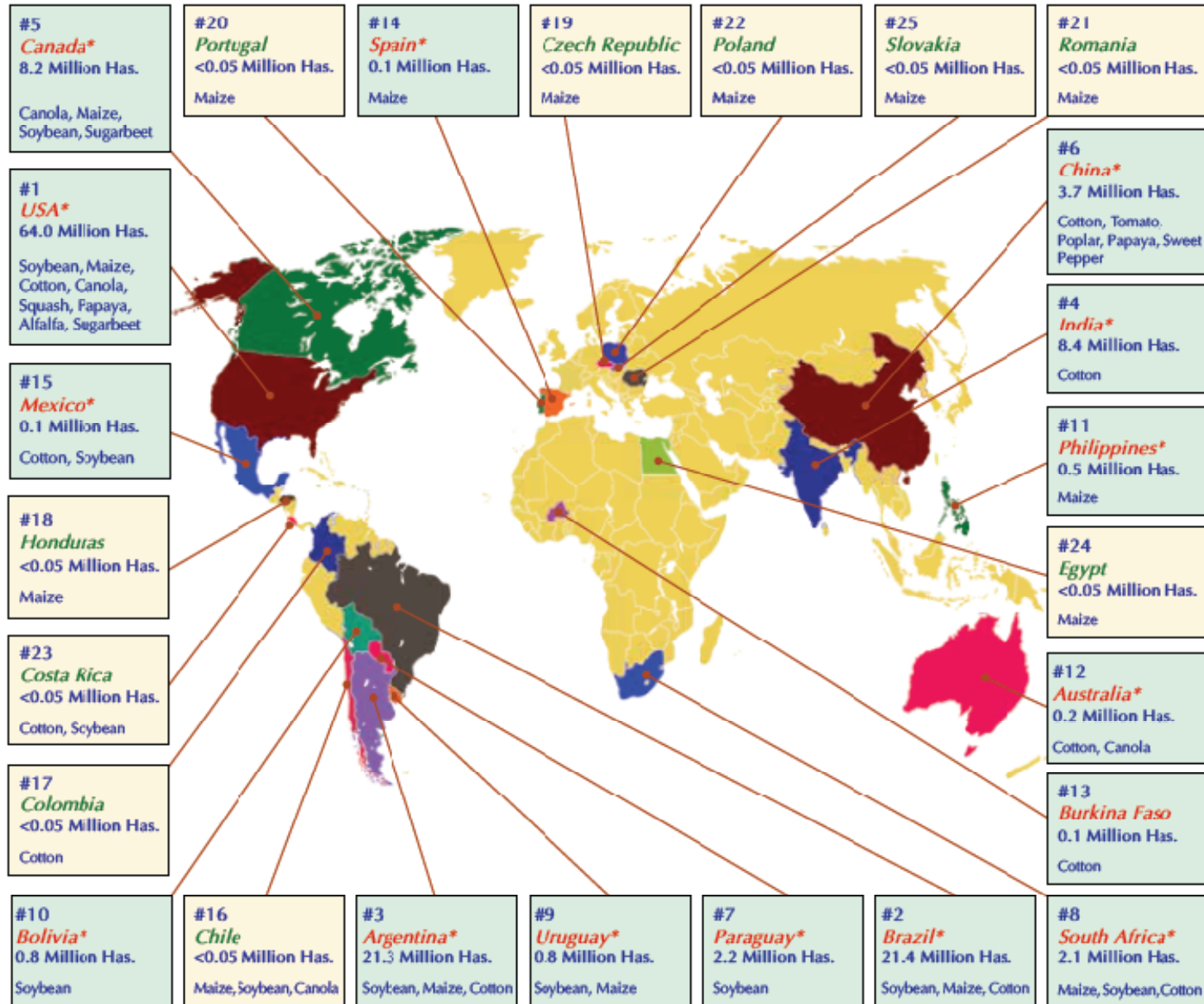
ISAAA
INTERNATIONAL SERVICE
FOR THE ACQUISITION
OF AGRIBIOTECH
APPLICATIONS



A record 14 million farmers, in 25 countries, planted 134 million hectares (330 million acres) in 2009, a significant increase of 7% or 9 million hectares (22 million acres) over 2008.

Source: Clive James, 2009.

Biotech Crop Countries and Mega-Countries*, 2009



■ * 15 biotech mega-countries growing 50,000 hectares, or more, of biotech crops.

Source: Clive James, 2009.



- Total area under GM cultivation (1,000 ha)
- Total area under non-GM cultivation

Καλλιεργούμενη έκταση



- Total area under GM cultivation (1,000 ha)B
- Total area under non-GM cultivation

Γεωργική Γη

Βιοτεχνολογικές εφαρμογές- Α

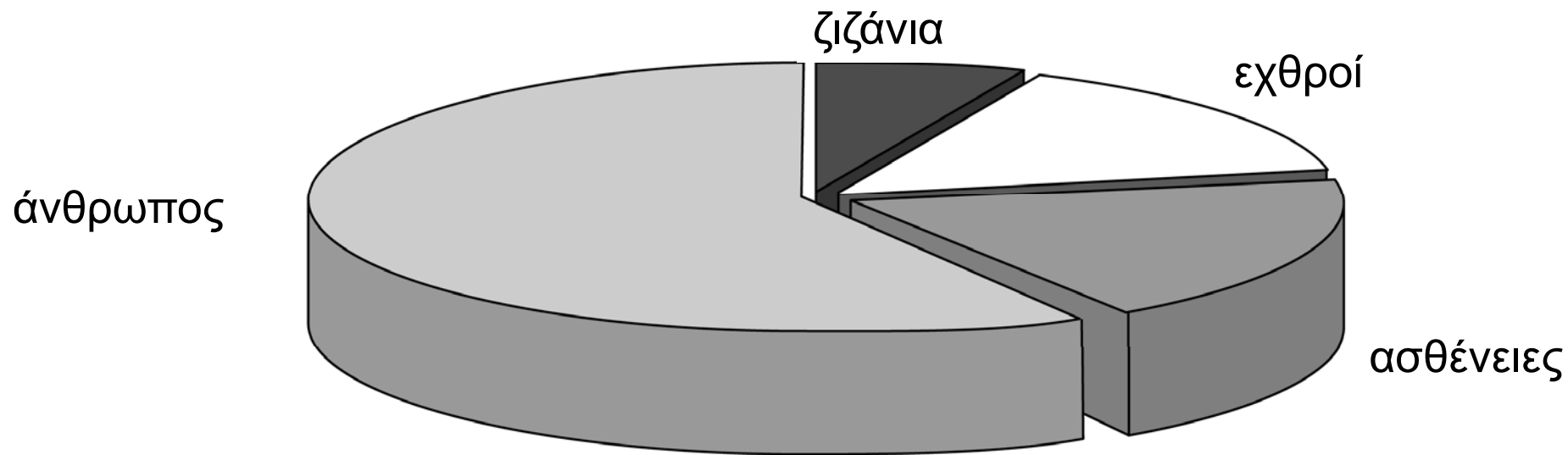
Διαγονιδιακά Φυτά με βελτιωμένα αγρονομικά χαρακτηριστικά

- ✓ Ανθεκτικότητα σε ζιζανιοκτόνα
- ✓ Ανθεκτικότητα σε έντομα
- ✓ Ανθεκτικότητα σε ασθένειες (βακτήρια, μύκητες, ιοί)
- ✓ Αντοχή σε περιβαλλοντικές καταπονήσεις

Διαγονιδιακά φυτά με ανθεκτικότητα σε ζιζανιοκτόνα

Γιατί αυτά;

- ✓ ο μηχανισμός δράσης συγκεκριμένων ζιζανιοκτόνων και τα μεταβολικά μονοπάτια που επηρέαζαν ήταν γνωστά (ετερογενής ομάδα ενώσεων)
- ✓ τα βιολογικά "εργαλεία" για την επιτυχία της ανθεκτικότητας υπήρχαν: ανθεκτικά βακτήρια, ποικιλίες με αντοχή επιλεγμένες σε ιστοκαλλιέργειες, ανθεκτικές καλλιέργειες και ζιζάνια στον αγρό
- ✓ η ανθεκτικότητα ήταν δυνατή με τη μεσολάβηση ενός μοναδιαίου γονιδίου, το οποίο χρησιμοποιείται και ως δείκτης επιλογής
- ✓ εμπορικοί λόγοι



Στρατηγικές

1. Αποτοξικοποίηση ζιζανιοκτόνου με εισαγωγή γονιδίων βακτηριακής (κυρίως) ή φυτικής προέλευσης

απαραίτητες ιδιότητες γονιδίων

- απόλυτη εξειδίκευση
- μονογονιδιακός χαρακτήρας
- να μην απαιτεί πολύπλοκα συνένζυμα
- καλή ενζυμική κινητική
- απουσία τοξικότητας του προϊόντος αντίδρασης

Δεν είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε τον τρόπο δράσης

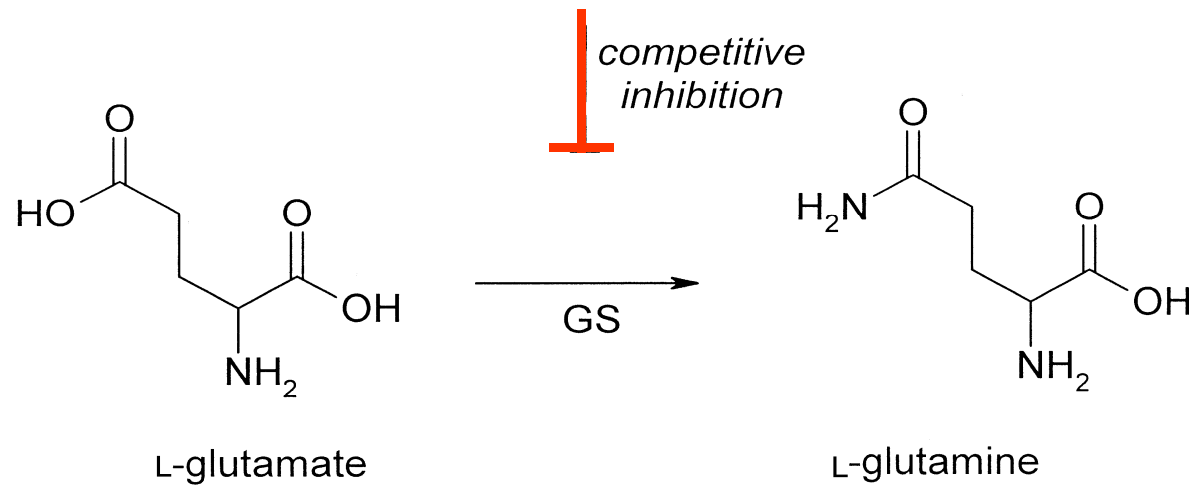
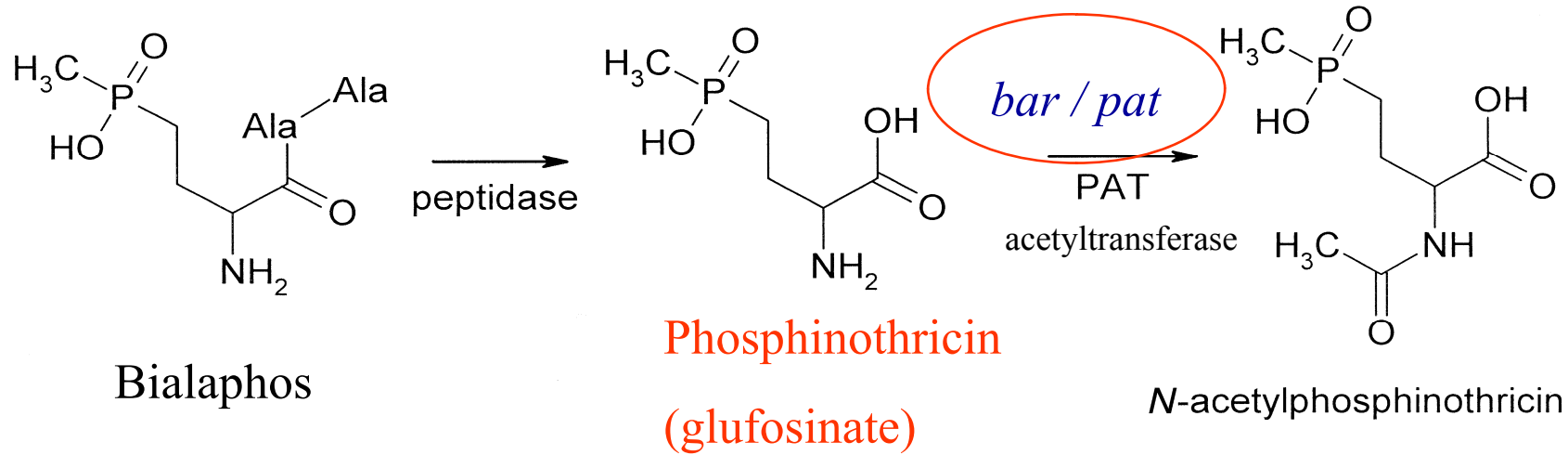
2. Υπερπαραγωγή της φυσιολογικής, μη-τροποποιημένης πρωτεΐνης-στόχου

3. Τροποποίηση της πρωτεΐνης-στόχου

- γνωστή η βιοχημική θέση δράσης
- δυνατότητα στη μοριακή μηχανική τροποποίησης?
- εντοπισμός σε υποκυτταρικά διαμερίσματα
- πολυμερή ένζυμα

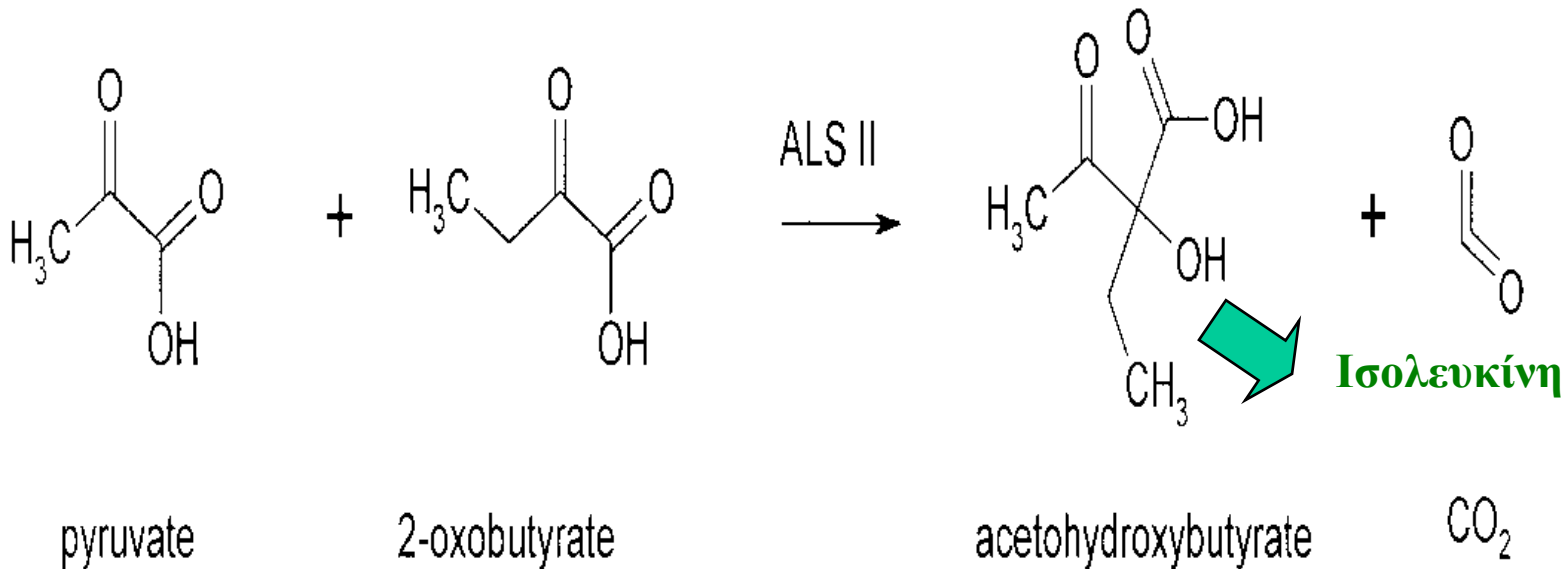
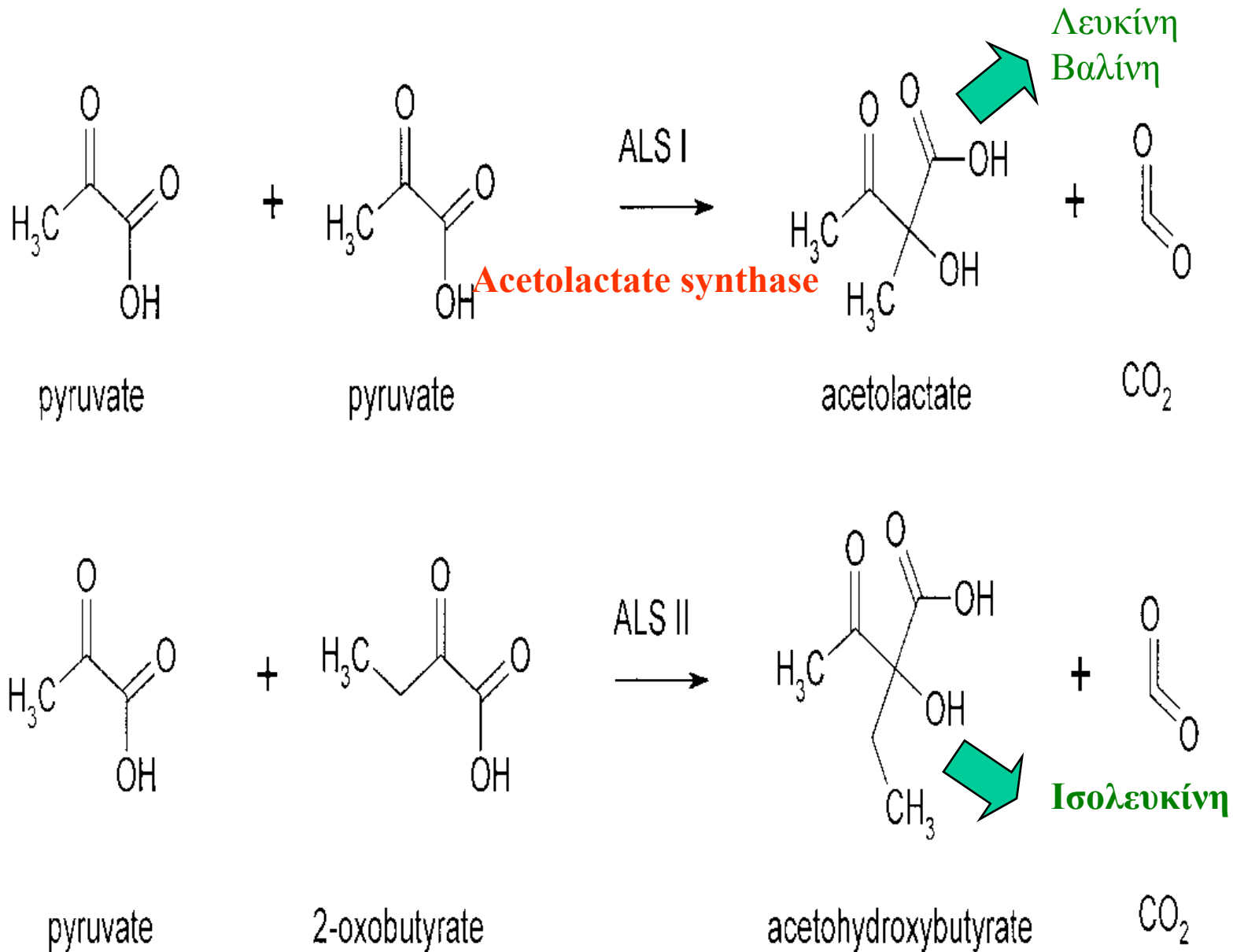
4. Ενίσχυση της αποτοξικοποίησης από ενδογενείς μηχανισμούς του φυτού (κυτοχρωμα P450, μεταφοράση S της γλουταθειόνης, GST)

Ανθεκτικότητα στο glufosinate (phosphinothricin)- BASTA



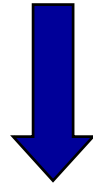
στρατηγική 1: εισαγωγή γονιδίων αποτοξικοποίησης
βακτηριακής προέλευσης

Ανθεκτικότητα σε sulphonylureas/ imidazolinones



Ανθεκτικότητα σε sulphonylureas/ imidazolinones

στρατηγική 1: εισαγωγή γονιδίων από βακτήρια, ζύμες και φυτά

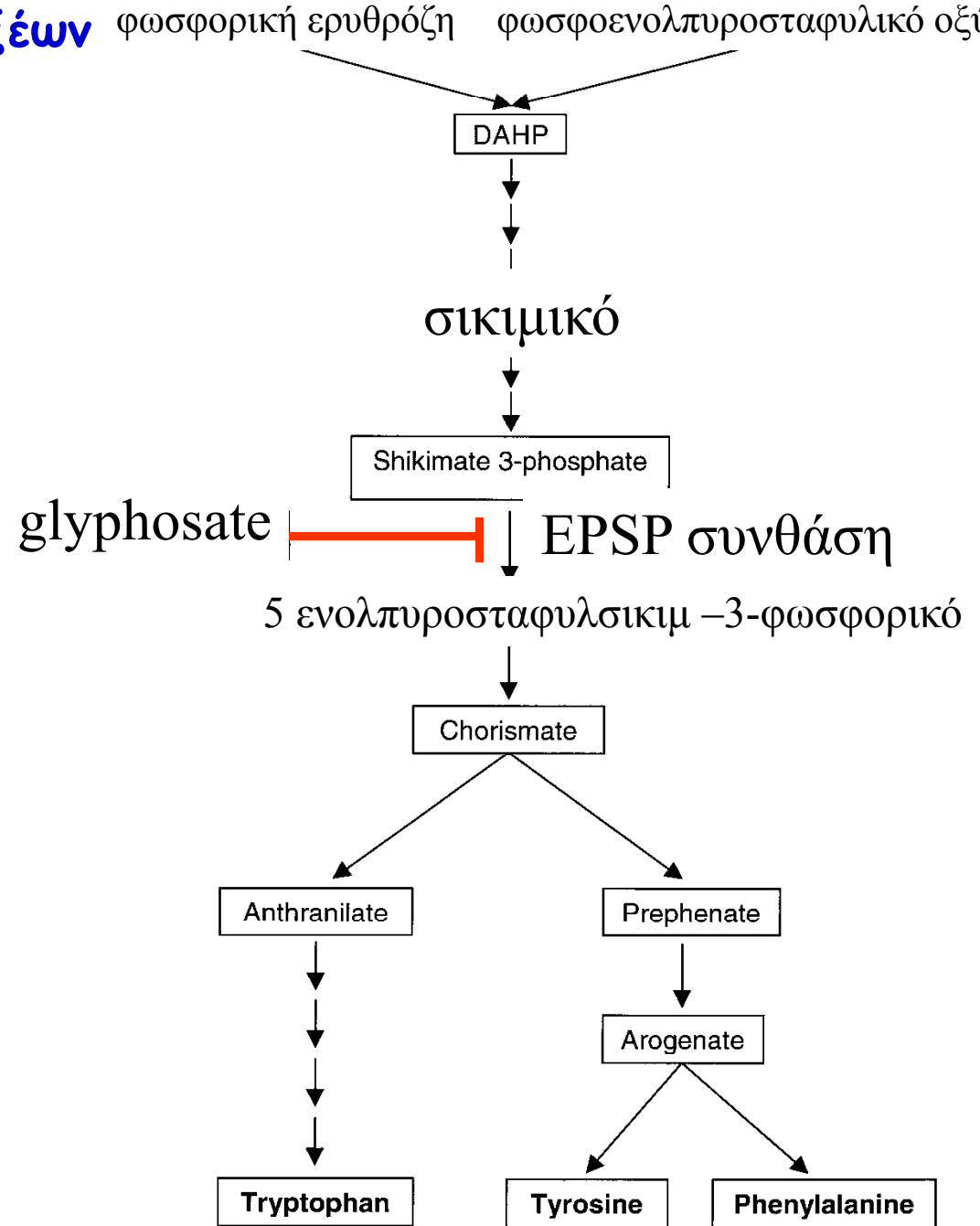


στρατηγική 3: τροποποίηση πρωτεΐνης - στόχου

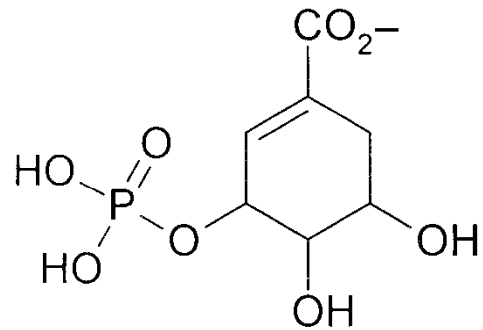
Ser621 → Asn621

Zhu et al, 1999: Targeted manipulation of maize genes *in vivo* using chimeric RNA/DNA oligonucleotides. PNAS, 96, 8786-73

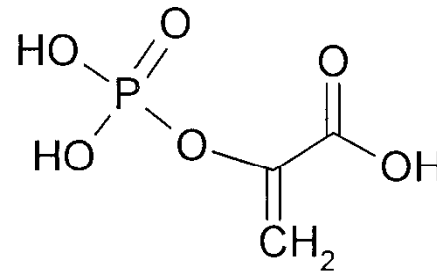
Βιοσύνθεση αρωματικών αμινοξέων



Ανθεκτικότητα στο glyphosate (Roundup)



3 φωσφο -σικιμικό οξύ



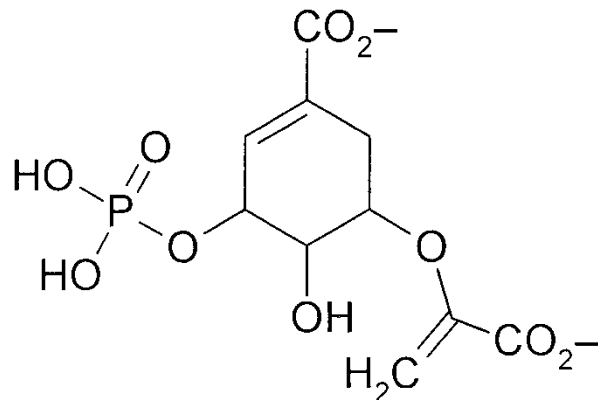
φωσφοενολπυροσταφυλικό οξύ

EPSPS

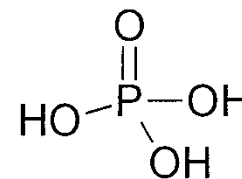
παρεμπόδιση



glyphosate



5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate



inorganic phosphate

Ανθεκτικότητα στο glyphosate

στρατηγική 2: υπερέκφραση μη τροποποιημένου φυτικού γονιδίου

| | | | |
|----------|---------|----------------------------|--------|
| CaMV 35S | Pet CTP | Petunia EPSP synthase cDNA | 3' nos |
|----------|---------|----------------------------|--------|

στρατηγική 3: υπερέκφραση τροποποιημένης πρωτεΐνης-στόχου

✓

| | | | | |
|----------|---------|-------|-----------------------------|--------|
| CaMV 35S | Pet CTP | Pet N | <i>E. coli</i> mutant EPSPS | 3' nos |
|----------|---------|-------|-----------------------------|--------|

✓

| | | | |
|-----------|-------|--|--------|
| CaMV E35S | CTP 4 | ^{Gly96Ala/ Pro101Ala} <i>A. tumefaciens</i> CP4 mutant EPSPS | 3' nos |
|-----------|-------|--|--------|

| | | | |
|-------------------|-----------|---------------------------------|--------|
| Rice <i>actin</i> | Maize CTP | Maize mutant EPSPS T102I/ P106S | 3' nos |
|-------------------|-----------|---------------------------------|--------|

αλλά και στρατηγική 3 σε συνδυασμό με καταβολισμό του
glyphosate

(GOX: οξειδάση του glyphosate → αμινομεθυλφωσφονικό οξύ + γλυοξυλικό οξύ)



the Genuity® Roundup Ready 2 Yield® gene is situated in one of high-yield DNA regions identified through extensive gene mapping to help deliver high-yield potential.



Διαγονιδιακά φυτά με ανθεκτικότητα σε έντομα

Κύριες κατηγορίες εντόμων-εχθρών:

Lepidoptera

Diptera

Orthoptera

Homoptera

Coleoptera

Ανθεκτικότητα σε έντομα



εισαγωγή γονιδίων βακτηριακής προέλευσης

B. thuringiensis:

***cry* γονίδια - insecticidal crystal protein**

(ICP/ Cry/ Bt/ δ-ενδοτοξίνη)

Στρατηγικές

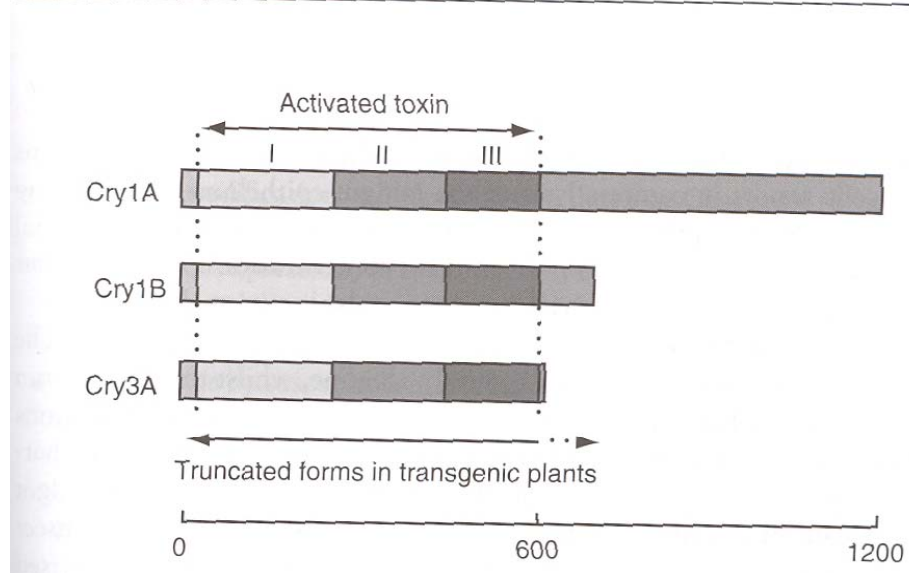
εισαγωγή γονιδίων βακτηριακής προέλευσης



- προκαλούν ωσμωτική λύση επιθηλιακών κυττάρων του εντερικού σωλήνα των εντόμων
Καμία επίπτωση σε άλλους οργανισμούς
- τουλάχιστον 40 διαφορετικές οικογένειες γονιδίων

Table 6.3 The range of insecticidal crystal proteins in individual *Bacillus thuringiensis* strains

| <i>B.t.</i> subpecies and strains | Crystal protein |
|-----------------------------------|--|
| <i>aizawai</i> | Cry1Aa, Cry1Ab, Cry1Ad, Cry1Ca, Cry1Da, Cry1Eb, Cry1Fa, Cry9Ea, Cry39Aa, Cry40Aa |
| <i>entomocidus</i> | Cry1Aa, Cry1Ba, Cry1Ca, Cry1Ib |
| <i>galleriae</i> | Cry1Ab, Cry1Ac, Cry1Da, Cry1Cb, Cry7Aa, Cry8Da, Cry9Aa, Cry9Ba |
| <i>israelensis</i> | Cry10Aa, Cry11Aa |
| <i>japonensis</i> | Cry8Ca, Cry9Da |
| <i>jegathesan</i> | Cry11Ba, Cry19Aa, Cry24Aa, Cry25Aa |
| <i>kenyae</i> | Cry2Aa, Cry1Ea, Cry1Ac |
| <i>kumamotoensis</i> | Cry7Ab, Cry8Aa, Cry8Ba |
| <i>kurstaki</i> HD-1 | Cry1Aa, Cry1Ab, Cry1Ac, Cry1Ia, Cry2Aa, Cry2Ab |
| <i>kurstaki</i> HD-73 | Cry1Ac |
| <i>kurstaki</i> NRD-12 | Cry1Aa, Cry1Ab, Cry1Ac |
| <i>morrisoni</i> | Cry1Bc, Cry1Fb, Cry1Hb, Cry1Ka, Cry3Aa |
| <i>tenebrionis</i> | Cry3Aa |
| <i>tolworthi</i> | Cry3Ba, Cry9Ca |
| <i>wuhanensis</i> | Cry1Bd, Cry1Ga, Cry1Gb |



Ανάπτυξη εμπορικών σειρών

- Ποιότητα του επιθυμητού χαρακτηριστικού
- Αριθμός και σταθερότητα ενθέσεων του διαγονιδίου
- Σταθερότητα, επιπεδο και "σχέδιο" της έκφρασης

| Εταιρεία | Trade name | Bt πρωτεΐνη | Καλλιέργεια | Εντομο-εχθρός |
|---------------------------------|---|--|-------------|--|
| Monsanto | New-Leaf | Cry3A | πατάτα | Colorado beetle |
| Monsanto | Bollgard | Cry1Ac | βαμβάκι | Tobacco budworm cotton bollworm pink booworm |
| Monsanto Novartis Mycogen | YieldGard Knockout NaturGard | Cry1Ab _(Mon810) (Bt11) (Bt176) | καλαμπόκι | European corn borer |
| Dekalb | Bt-Xtra | Cry1Ac | καλαμπόκι | European corn borer |
| Aventis | StarLink | Cry9C | καλαμπόκι | European corn borer |
| Mycogen | HerculexI | Cry1F | καλαμπόκι | European corn borer |
| Pioneer Monsanto | | Cry3Bb | καλαμπόκι | Corn rootworm larvae |

<http://www.pewagbiotech.org/search/starlink/starlink.pdf>

Ανάπτυξη ανθεκτικότητας απο τα έντομα στις Βt και στρατηγικές αντιμετώπισης

- “πυραμίδα” γονιδίων με διασταύρωση διαφορετικών διαγονιδιακών σειρών
- δημιουργία χειμαρικών πρωτεϊνών με γενετική μηχανική
- Integrated Pest Management (IPM) και σχέδια διαχείρισης ανθεκτικότητας π.χ. “στρατηγική καταφυγίου”

Στρατηγικές

“Copy nature”

- Αναγνώριση ανθεκτικών φυτών (βιβλιογραφία, συλλογές, παρατήρηση φυσικών πληθυσμών)
- Απομόνωση πρωτεϊνών με εντομοκτόνες ιδιότητες και των αντιστοίχων γονιδίων
- Bioassays (τεχνητές δίαιτες οργανισμών-στόχων)
- Τεστ τοξικότητας θηλαστικών
- Δημιουργία διαγονιδιακών φυτών με χρήση ιστοειδικών προαγωγέων (π.χ. *Tryptophan synthase a:* , *perc:* πράσινοι ιστοί) ή προαγωγέων απόκρισης στον τραυματισμό (π.χ. *Proteinase inhibitor II*)
- Επιλογή και μελέτες επικινδυνότητας

Παραδείγματα:

Protease inhibitor genes targetting:

Serine protease

Trypsin

Cysteine protease

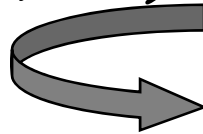
Proteinase

Carbohydrate inhibitor genes targetting:

Lectins (Homoptera-μυζητικά)

Agglutinins

α- amylase



{ *Galanthus nivalis* Agglutinin-
Pusztai affair

Others:

Chitinase

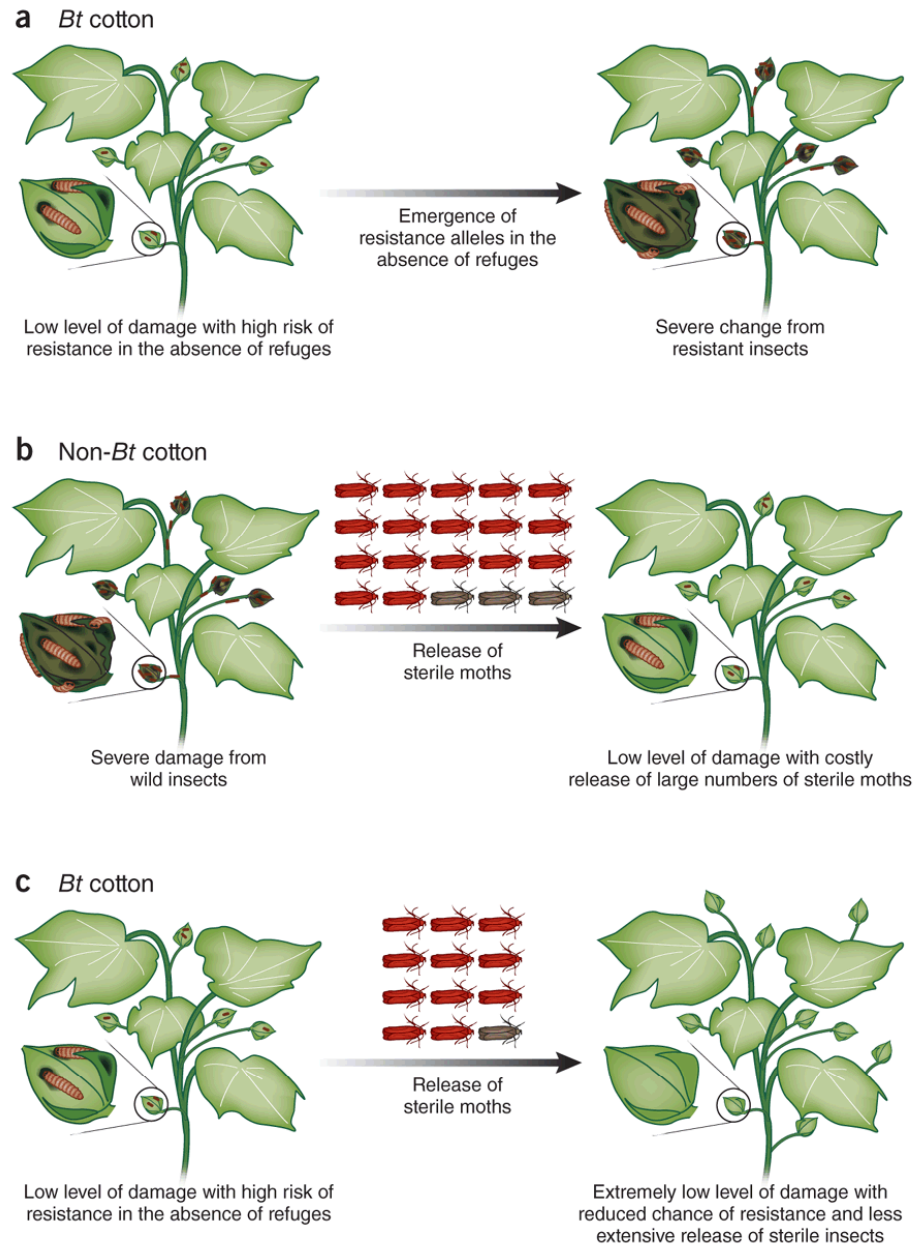
Anionic peroxidase

Tryptophan decarboxylase (tryptamine)

<http://www.royalsoc.ac.uk> }

Επίδραση στο περιβάλλον

- Ανάπτυξη ανθεκτικότητας από τα έντομα-στόχους
- Επίδραση σε οργανισμούς μη-στόχους:
 - ✓ έντομα με ευαισθησία σε Βt
 - ✓ έντομα χωρίς ευαισθησία (Homoptera, Thysanoptera)
 - ✓ έντομα επικονιαστές
 - ✓ έντομα-φυσικούς εχθρούς εντόμων



Use of the SIT together with transgenic cotton expressing the *Bt* transgene suppresses the growth of the pink bollworm population and facilitates management of resistance to *Bt* toxin.

Αλλά και γενετική μηχανική σε

- predators
- Εντομοπαθογόνους μύκητες
- Εντομοπαθογόνους νηματώδεις
- Baculovirus
- Διαγονιδιακά έντομα-εχθρούς

Διαγονιδιακά φυτά 2ης γενιάς



**Συσωρευμένα χαρακτηριστικά ανθεκτικότητας
σε ζιζανιοκτόνα και έντομα**

- **SmartStax™ αραβόσιτος** (MON 89034 x TC1507 x MON 88017x DAS-59122-7)

- **RReady2Yield™ σόγια**



**Εξάλειψη γονιδίων επιλογής (ανθεκτικότητας σε
αντιβιοτικά)**



“Εθνικά” προϊόντα


Π.χ. Bt Huahui-1 και Bt Shanyou Shanyou-63 ρύζι, Huazhong Agricultural
University, Κίνα

Bt βαμβάκι και Bt brinjal (eggplant) , Ινδία

THUMBS-UP TO TRANSGENIC

Some of the 28 no-objection certificates, the companies that have obtained them, and the special traits they have promised for their genetically modified crops (list not exhaustive):

CROP



Wheat

COMPANY
Maharashtra Hybrid Seeds, Mumbai

PROMISED TRAIT
Herbicide tolerance

CROP



Rice

COMPANY
Bayer Bio Science, Haryana

PROMISED TRAIT
Insect resistance and herbicide tolerance

CROP



Cotton

COMPANY
Monsanto India

PROMISED TRAIT
Insect resistance and herbicide tolerance

CROP



Maize

COMPANY
Dow Agro Sciences India

PROMISED TRAIT
Insect resistance and herbicide tolerance

CROP



Brinjal

COMPANY
Ankur Seeds

PROMISED TRAIT
Insect resistance

CROP



Maize

COMPANY
Pioneer Overseas Corporation

PROMISED TRAIT
Insect resistance and herbicide tolerance

CROP



Maize

COMPANY
Syngenta Bio Sciences, Pune

PROMISED TRAIT
Insect tolerance

Ανθεκτικότητα σε ασθένειες (βακτήρια, μύκητες, ιοί)

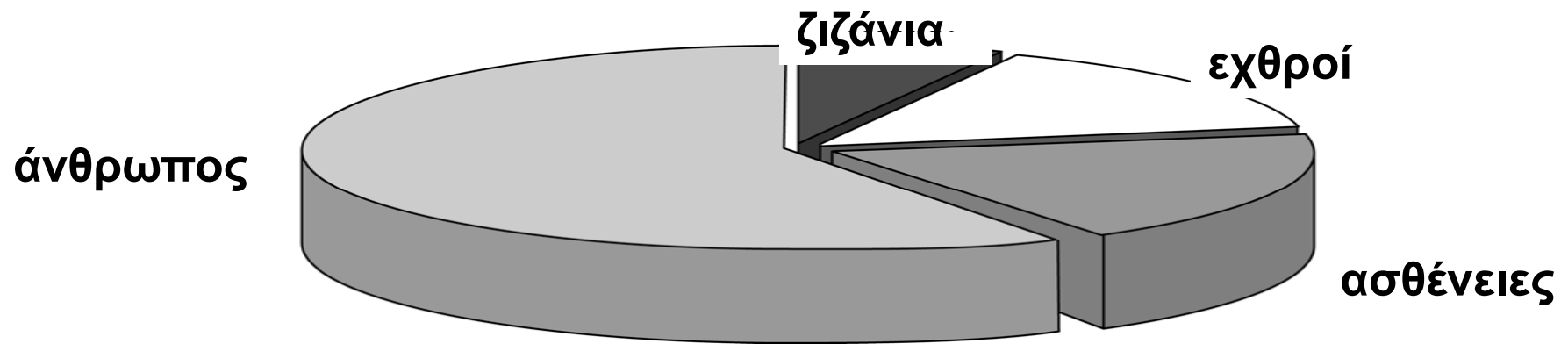
Αλληλεπιδράσεις φυτών-μικροοργανισμών

- Συμβιωτικές σχέσεις (ριζόβια, μυκόρριζες)
- Ο μικροοργανισμός είναι παθογόνος (βιότροφοι, νεκρότροφοι)
- Το φυτό-ξενιστής είναι ανθεκτικό και δεν αναπτύσσεται ασθένεια
- Το φυτό εμφανίζει αντοχή στην μόλυνση και τα συμπτώματα της ασθένειας είναι περιορισμένα

Στοχοι της βιοτεχνολογίας φυτών σήμερα “food, feed, fiber”

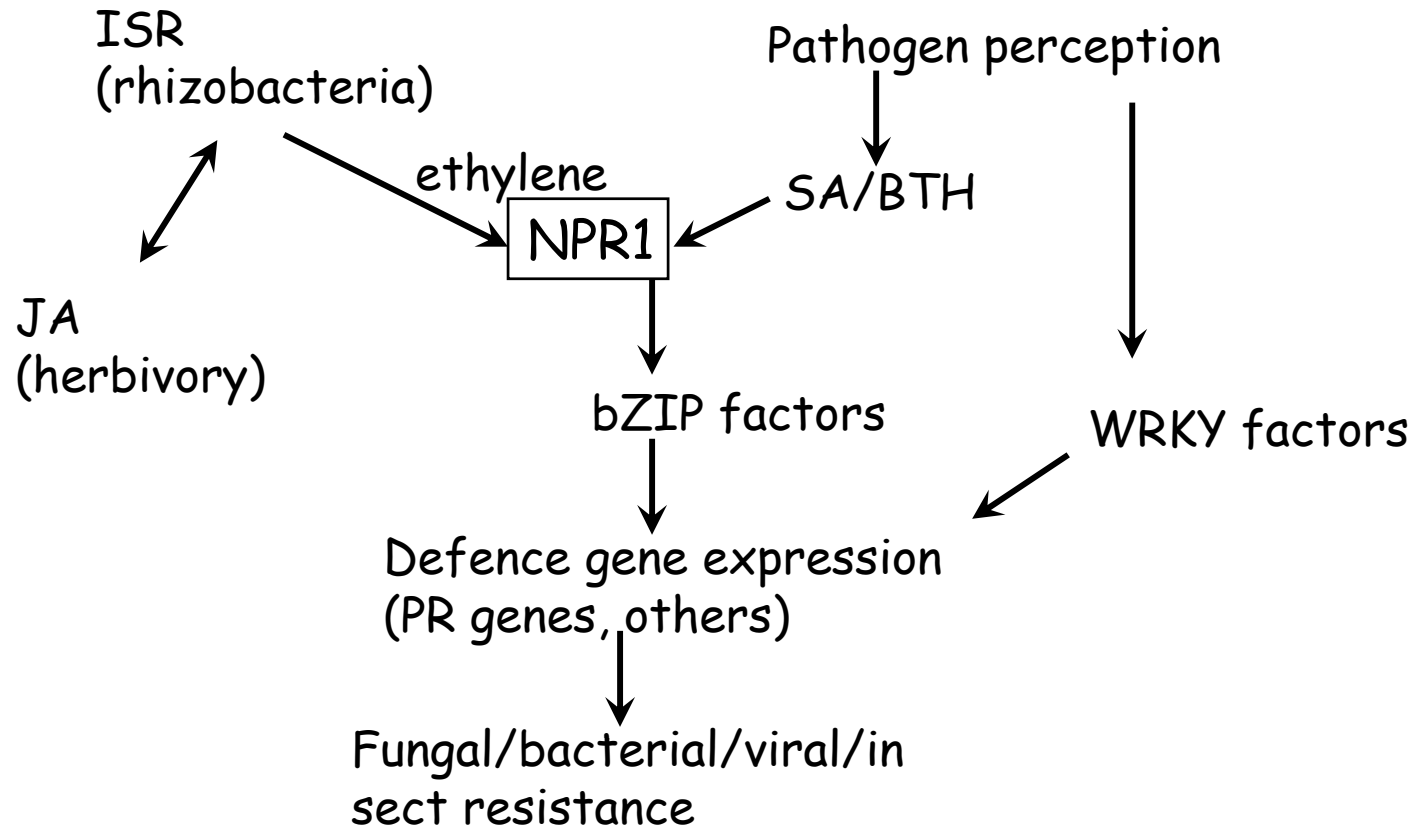


Αγρονομικά χαρακτηριστικά:
ανθεκτικότητα σε ασθένειες (μύκητες, βακτήρια, ιοί)



Διασυστηματική αντοχή

- Systemic acquired resistance (SAR)
- Induced systemic resistance (ISR)



Φυσική άμυνα φυτών

- Ανατομικά χαρακτηριστικά (φελλοί, κηροί κ.τ.λ.)
- Προσχηματισμένοι μεταβολίτες και χημική προστασία (αντιμικροβιακές πρωτεΐνες, π.χ. defensins, δευτερογενείς μεταβολίτες, φυτοαντισιπίνες και φυτοαλεξίνες)
- Επαγώμενα συστήματα
- Διασυστηματική αντοχή

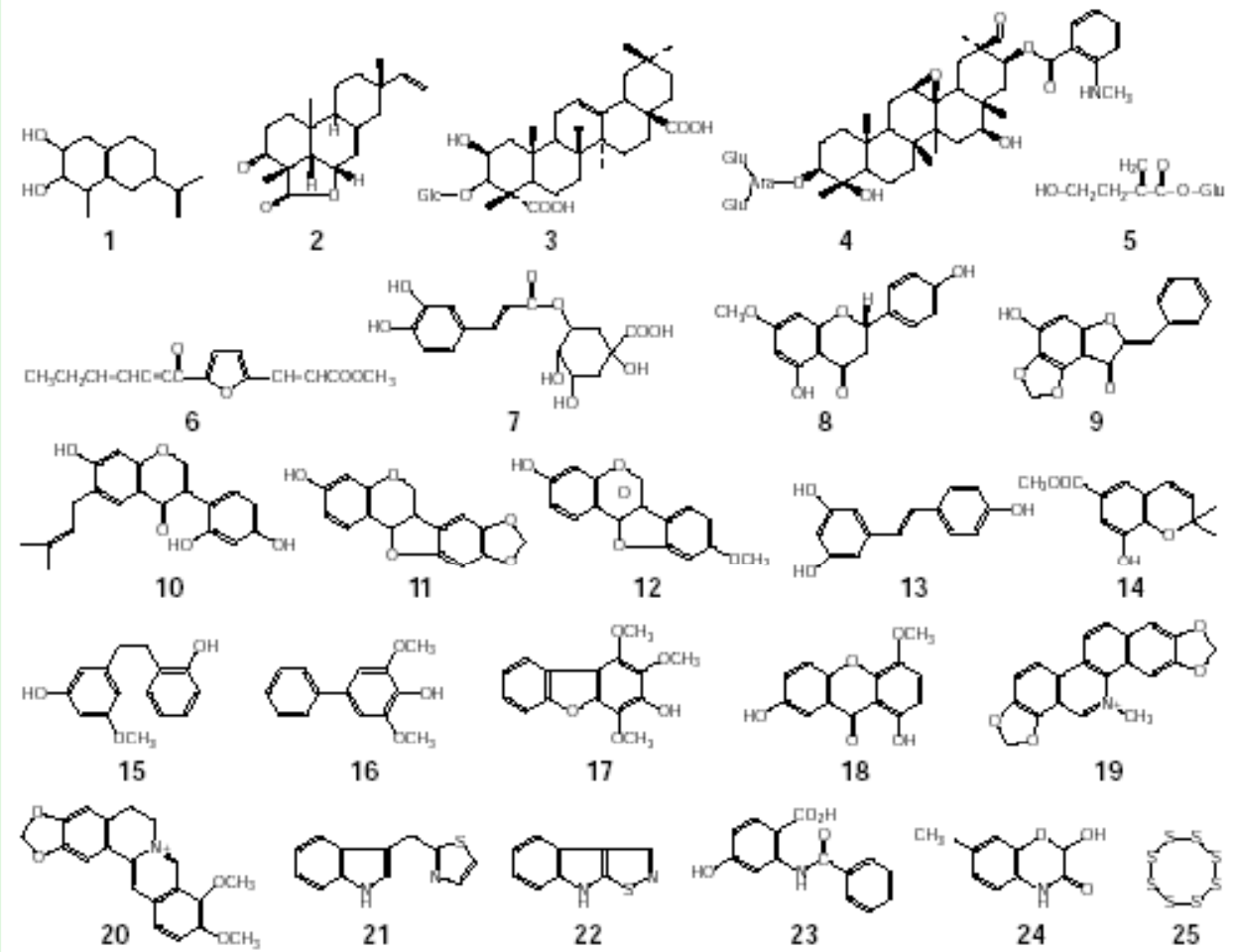
Figure 1 Chemical diversity of constitutive and inducible antimicrobial plant natural products. The chemical class of the compound is followed in parentheses by the trivial name (if available), a selected species of origin, and an indication as to whether the compound is produced constitutively (C) or is inducible (I). **Terpenoids:**

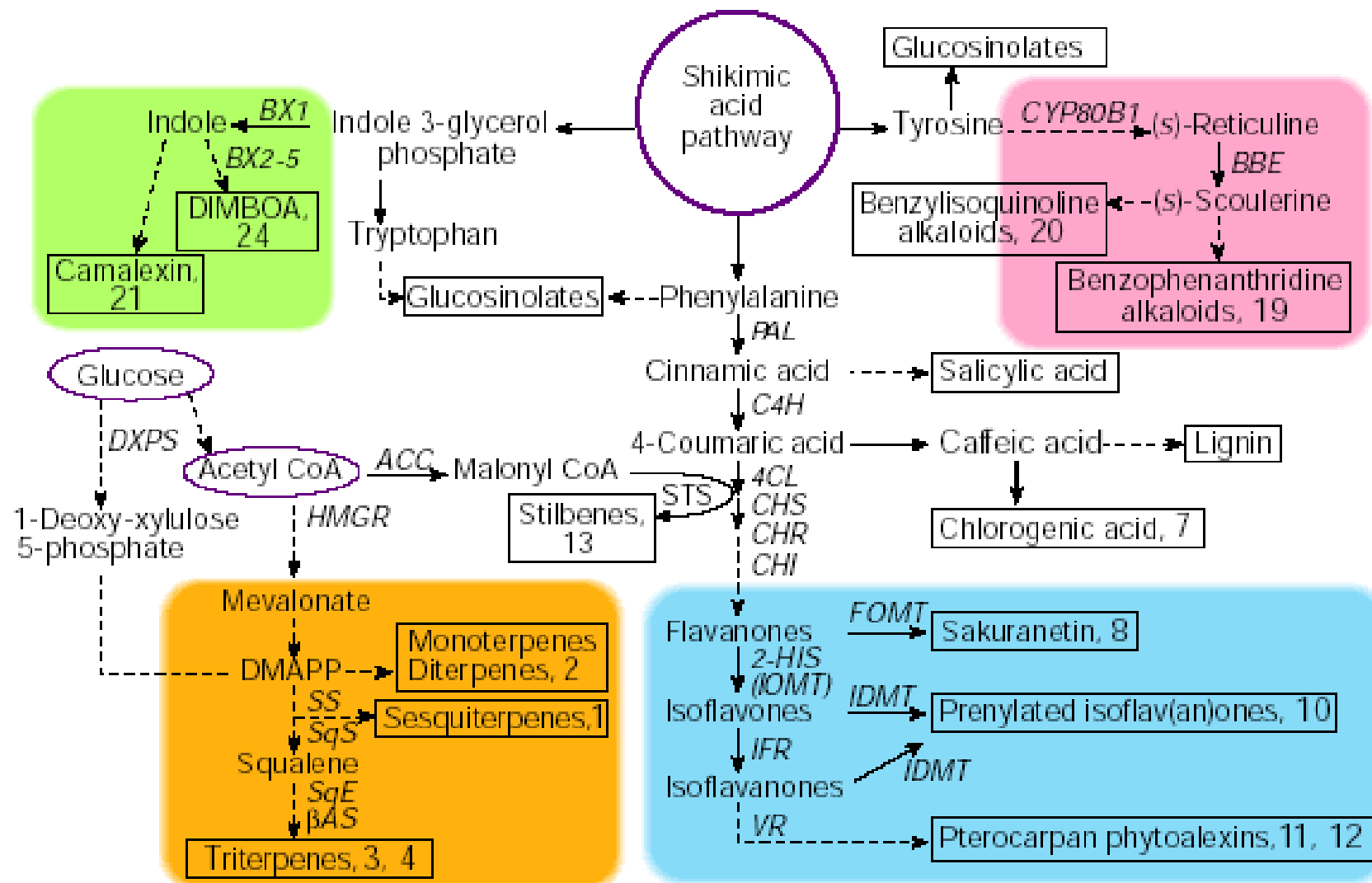
1, sesquiterpene (rishitin, *Nicotiana tabacum*, I); **2**, diterpene (momilactone A, *Oryza sativa*, I); **3**, saponin (medicagenic acid 3-O-glucoside, *Dolichos killimandscharicus*, C); **4**, saponin (avenacin A, *Avena sativa*, C).

Aliphatic acid derivatives: **5**, butyrolactone precursor (tuliposide A, *Tulipa* spp., C); **6**, furanoacetylene (wyenne, *Vicia faba*, I).

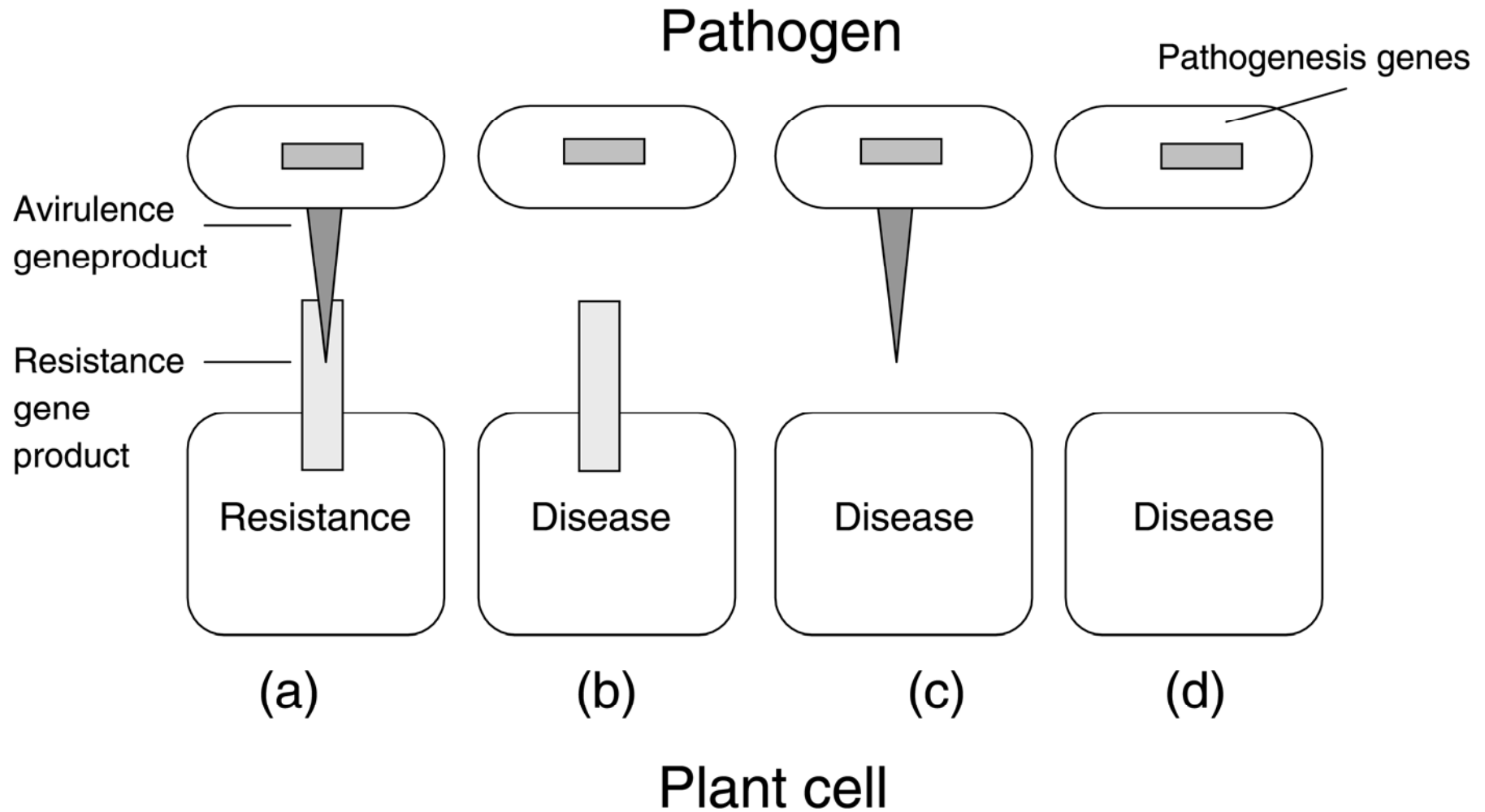
Phenolics and phenylpropanoids: **7**, hydroxycinnamic acid ester (chlorogenic acid, *Nicotiana tabacum*, C); **8**, flavanone (sakuranetin, *Ribes nigrum*, C; *Oryza sativa*, I); **9**, aurone (*Cephalocereus senilis*, I); **10**, isoflavone (luteone, *Lupinus albus*, C); **11**, pterocarpan (maackiain, *Cicer arietinum*, I); **12**, pterocarpan (medicarpin, *Medicago sativa*, I); **13**, stilbene (resveratrol, *Vitis vinifera*, I); **14**, chromene (*Piper aduncum*, C); **15**, bibenzyl (batatasin IV, *Dioscorea batatas*, C); **16**, biphenyl (aucuparin, *Malus pumila*, I); **17**, benzofuran (*Cotoneaster* spp., I); **18**, xanthone (*Polygala nykensis*, C).

Nitrogen- and/or sulphur-containing compounds: **19**, benzophenanthridine alkaloid (sanguinarine, *Papaver bracteatum*, I); **20**, benzylisoquinoline alkaloid (berberine, *Berberis* spp., I); **21**, indole (camalexin, *Arabidopsis thaliana*, I); **22**, indole (brassicalexin, *Brassica* spp., I); **23**, anthranilamide (*Dianthus caryophyllus*, I); **24**, benzoxazinone (DIMBOA, *Zea mays*, C); **25**, elemental sulphur (*Theobroma cacao*, I).



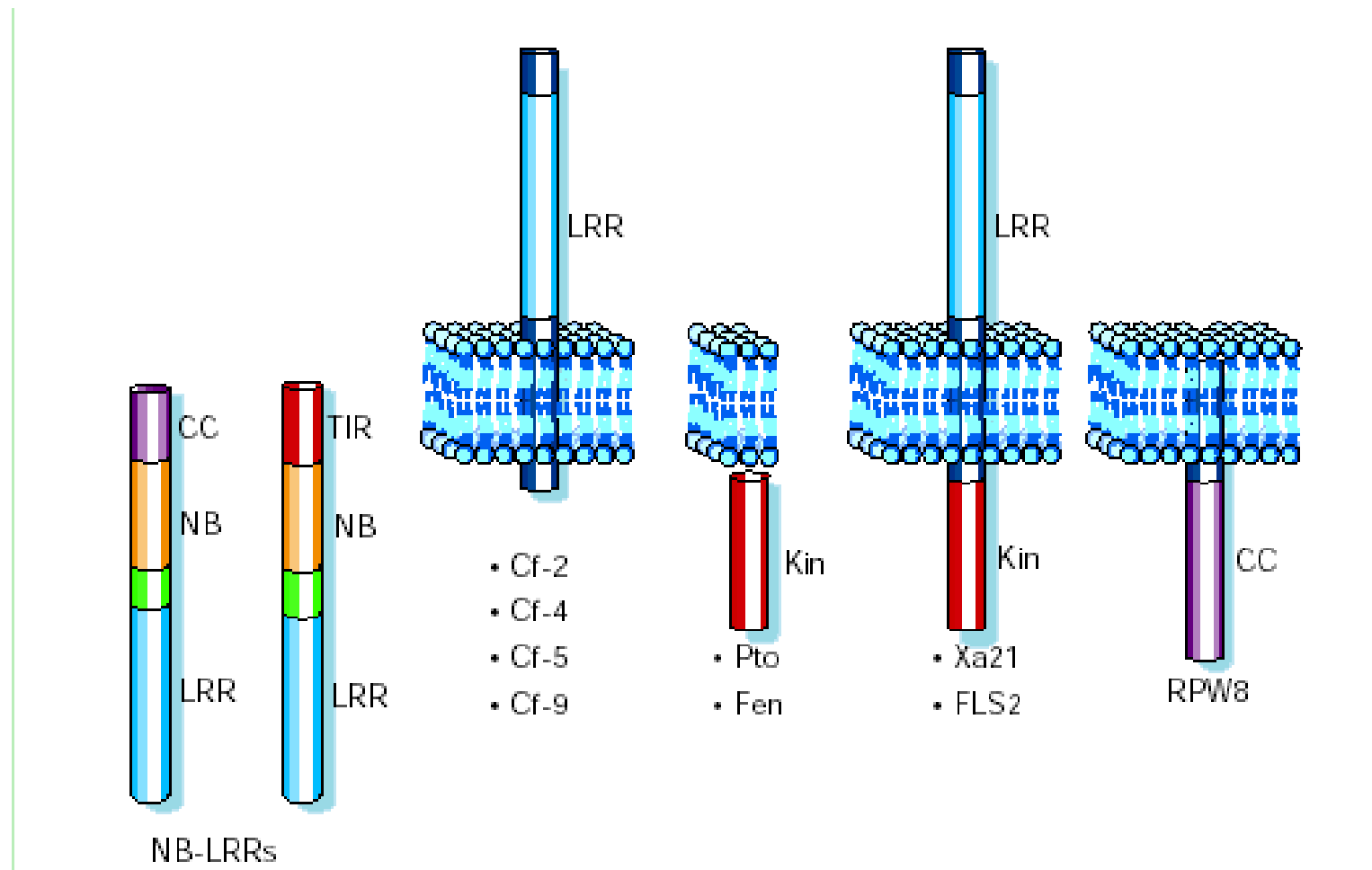


Γονίδια ανθεκτικότητας R και αντίδραση υπερευαισθησίας HR



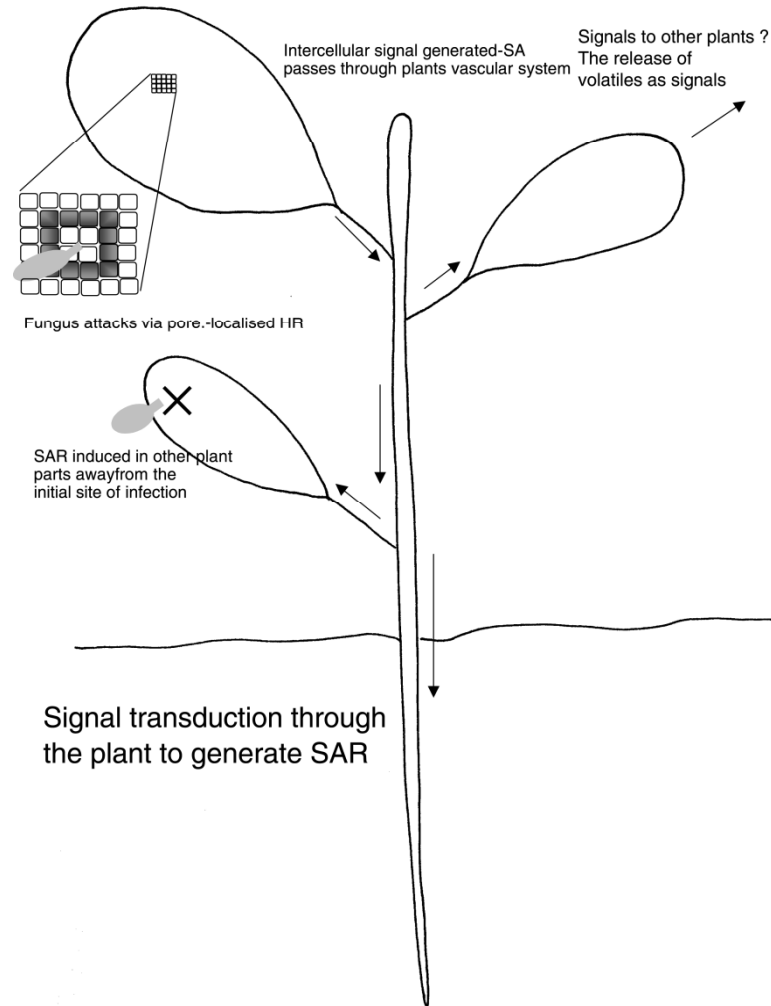
Γονίδια ανθεκτικότητας R και αντίδραση υπερευαισθησίας HR

HR: τοπική νέκρωση ιστών (NADPH-dependent oxidative burst/ phenolics and nitric oxide release)



Διασυστηματική αντοχή

- Systemic acquired resistance (SAR)
- Induced systemic resistance (ISR)



Στρατηγικές για “διαρκή” ανθεκτικότητα

- “πυραμίδα” R γονιδίων (marker-assisted selection)

π.χ. *Oryza sativa* - *Xanthomonas oryzae* pv *oryzae*, Υπερέχοντα γονίδια *Χα21*, *Χα4* και υποτελή *χα5*, *χα13*

- στόχος συντηρημένοι avirulence loci

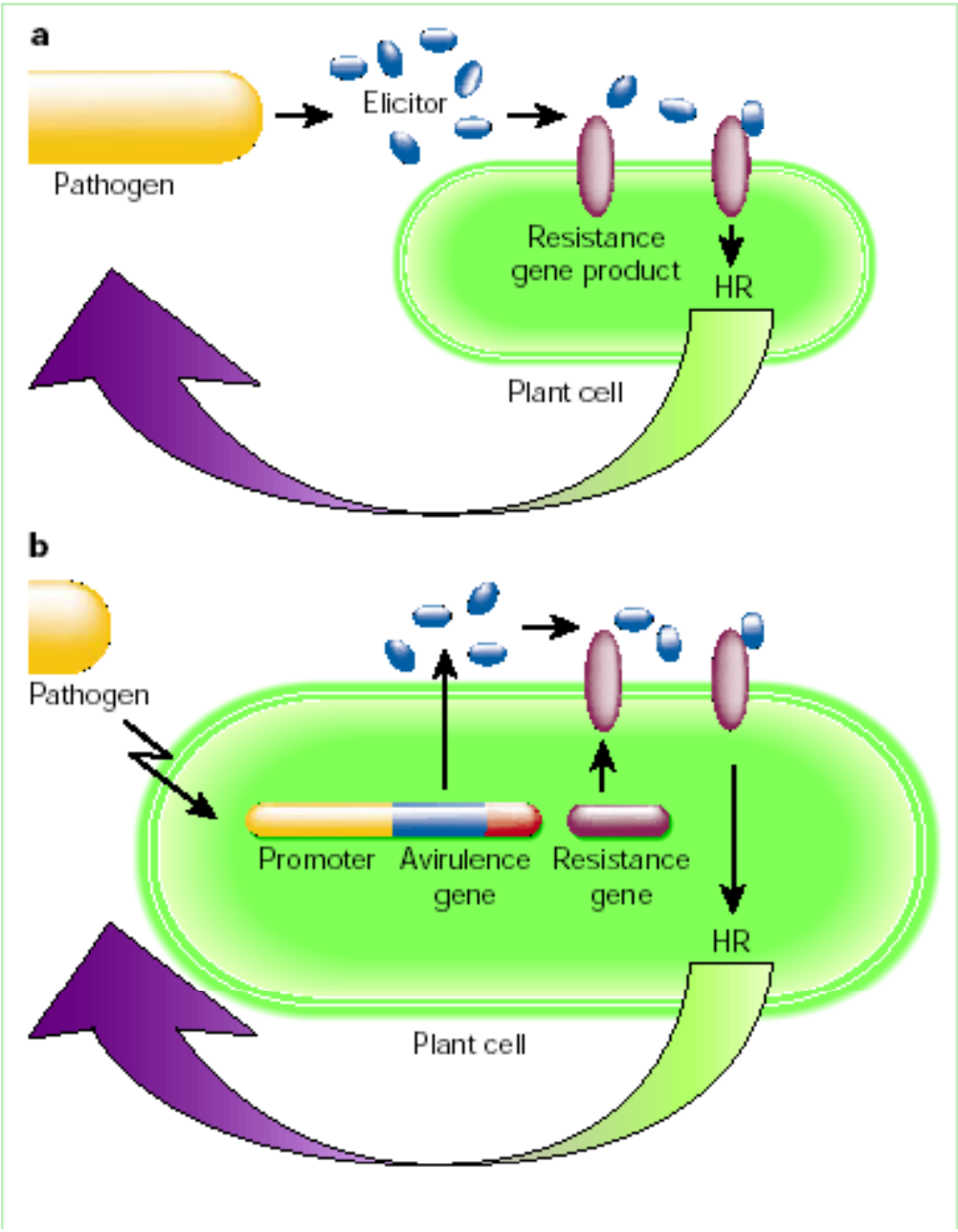
π.χ. *Bs2-avrBs2*, πιπεριά-*Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria*

Βιοτεχνολογικές εφαρμογές

Επαγωγή HR και SAR:

Διαγονιδιακά φυτά με υπερέκφραση

- Defensins και άλλες πρωτεΐνες με αντιμικροβιακές ιδιότητες, π.χ. Thionins, cecropin και melittin από έντομα, lactoferrin
- PR πρωτεϊνών (χιτινάσες, γλουκανάσες, ribosome inactivating proteins -RIP)
- Ρυθμιστικές πρωτεΐνες π.χ. NPR1

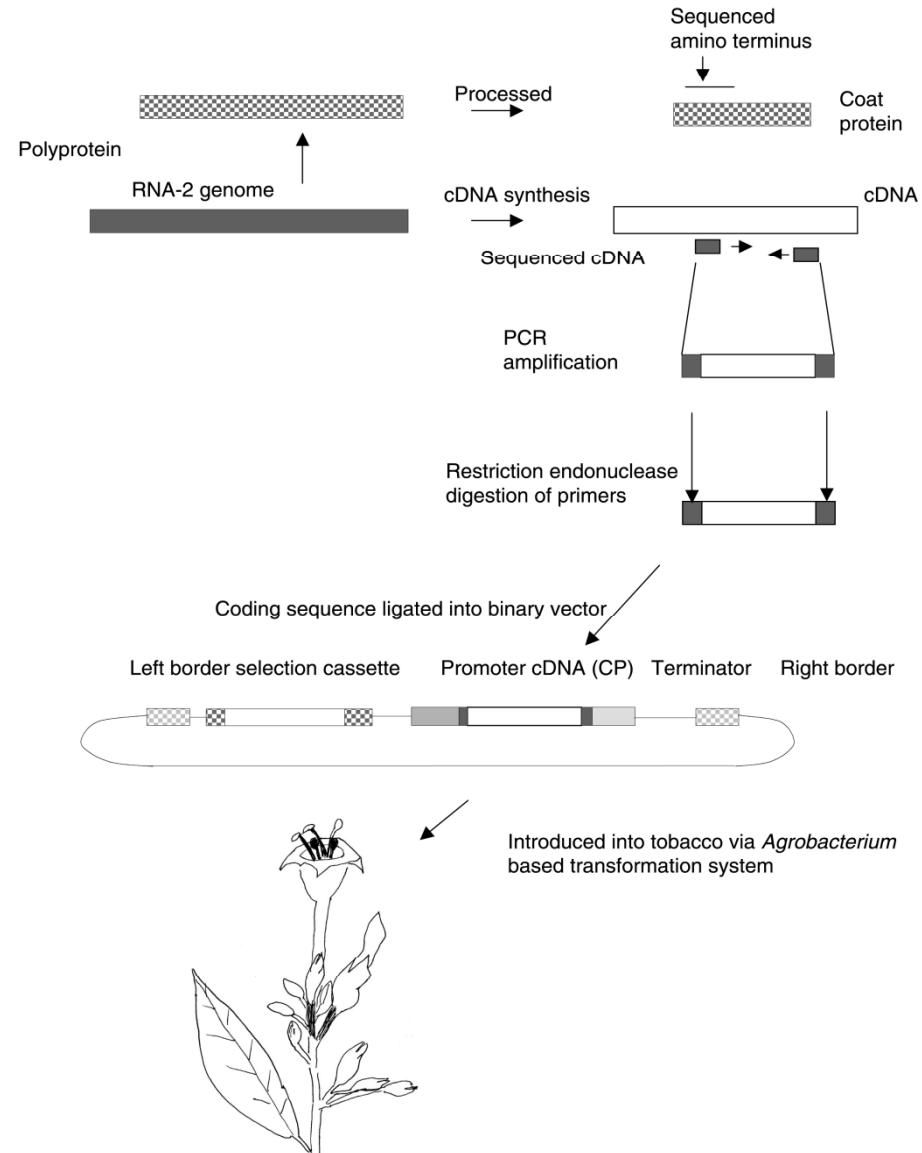


Ανθεκτικότητα σε ιούς

- Με υπερέκφραση των CP (coat protein) σε διαγονιδιακά φυτά
- Anti-sense RNA/ Ribozymes
- Gene silencing

Ανθεκτικότητα σε ιούς

Με υπερέκφραση των CP (coat protein) σε διαγονιδιακά φυτά



Εμπορικές σειρές (CPMR)

| | | |
|--------|--------------|--|
| Asgrow | Independence | zucchini yellow mosaic <i>potyvirus</i> ZYMV |
| | Liberator | watermelon mosaic 2 <i>potyvirus</i> WMV-2 |
| | Freedom | cucumber mosaic <i>cucumovirus</i> CMV |
| | Destiny | |
| Cornel | | papaya ringspot <i>potyvirus</i> PRSV |

ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ

- Ανασυνδυασμός ανάμεσα σε RNA μόρια από διαφορετικούς ιούς

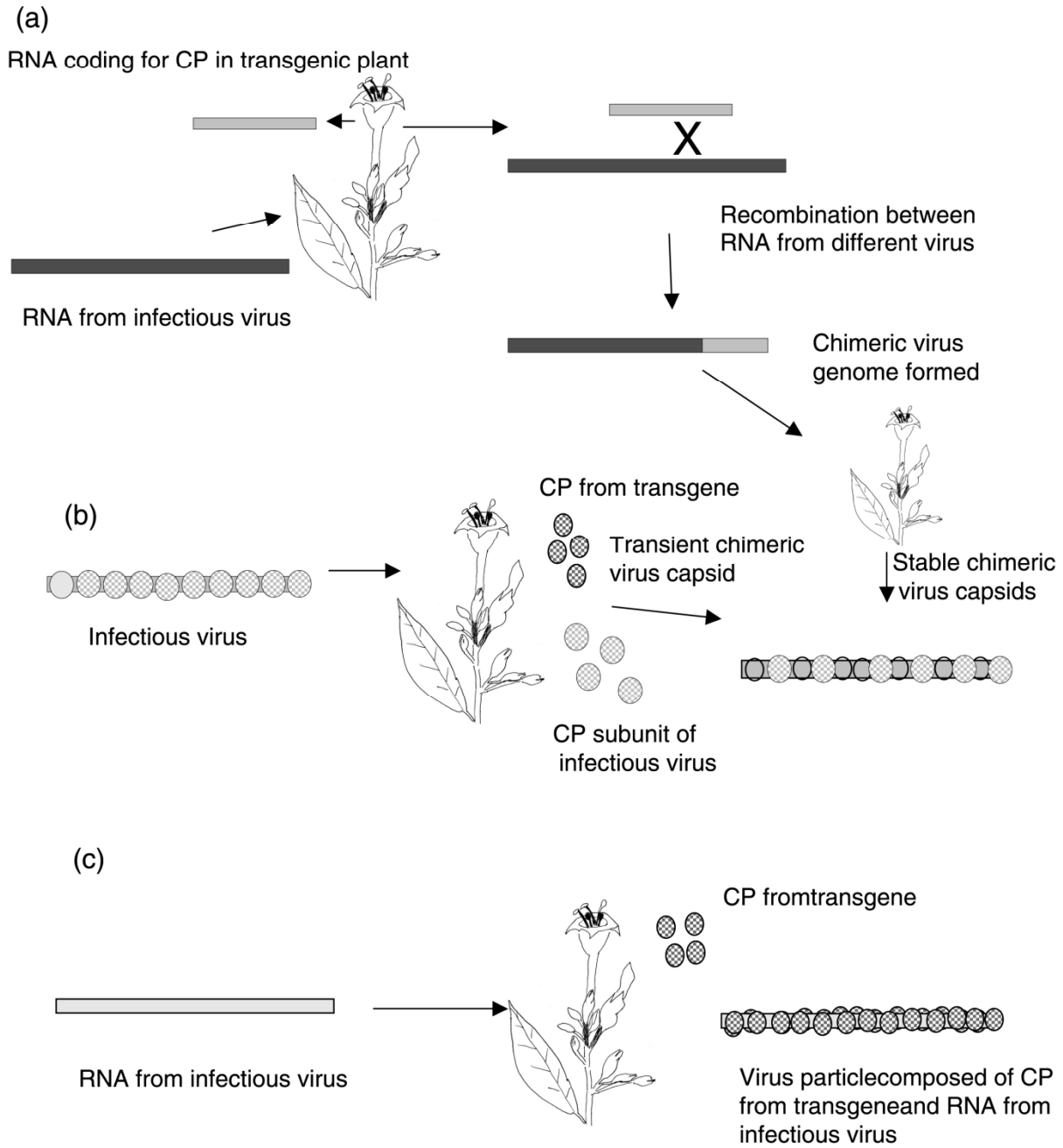
- Transcapsidation (heterologous encapsidation/genome masking)

Π.χ. PVY-O / PVY-N (phenotypic mixing)


AIMV / CMV

aphid-transmissible plum pox potyvirus PPV / non-aphid

transmissible ZYMV **



Στοχοι της βιοτεχνολογίας φυτών σήμερα “food, feed, fiber”

 Φυτά με ανθεκτικότητα σε αβιοτικές καταπονήσεις: ξηρασία / αλατότητα / έλλειψη θρεπτικών στοιχείων – κυρίως N / P

 Βιοκαύσιμα

 Φυτοαπορρύπανση/ Φυτοαποκατάσταση

Περιβάλλον και Δειφορική Γεωργία

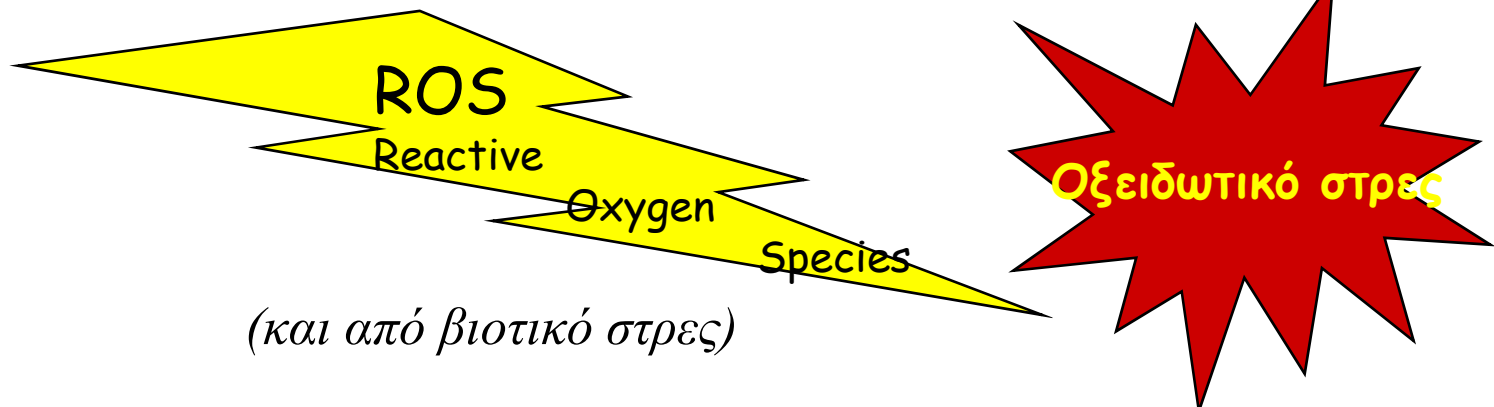
Διαγονιδιακά φυτά με αντοχή σε συνθήκες καταπόνησης (abiotic stress)

Έντονο φως
Ζιζανιοκτόνα
Οζον

Θερμότητα }
Κρύο } **Θερμικό**
Πάγος } **στρες**
Ξηρασία
Αλατότητα

Στρες έλλειψης νερού

Πλημμύρες
Βαρέα Μέταλλα

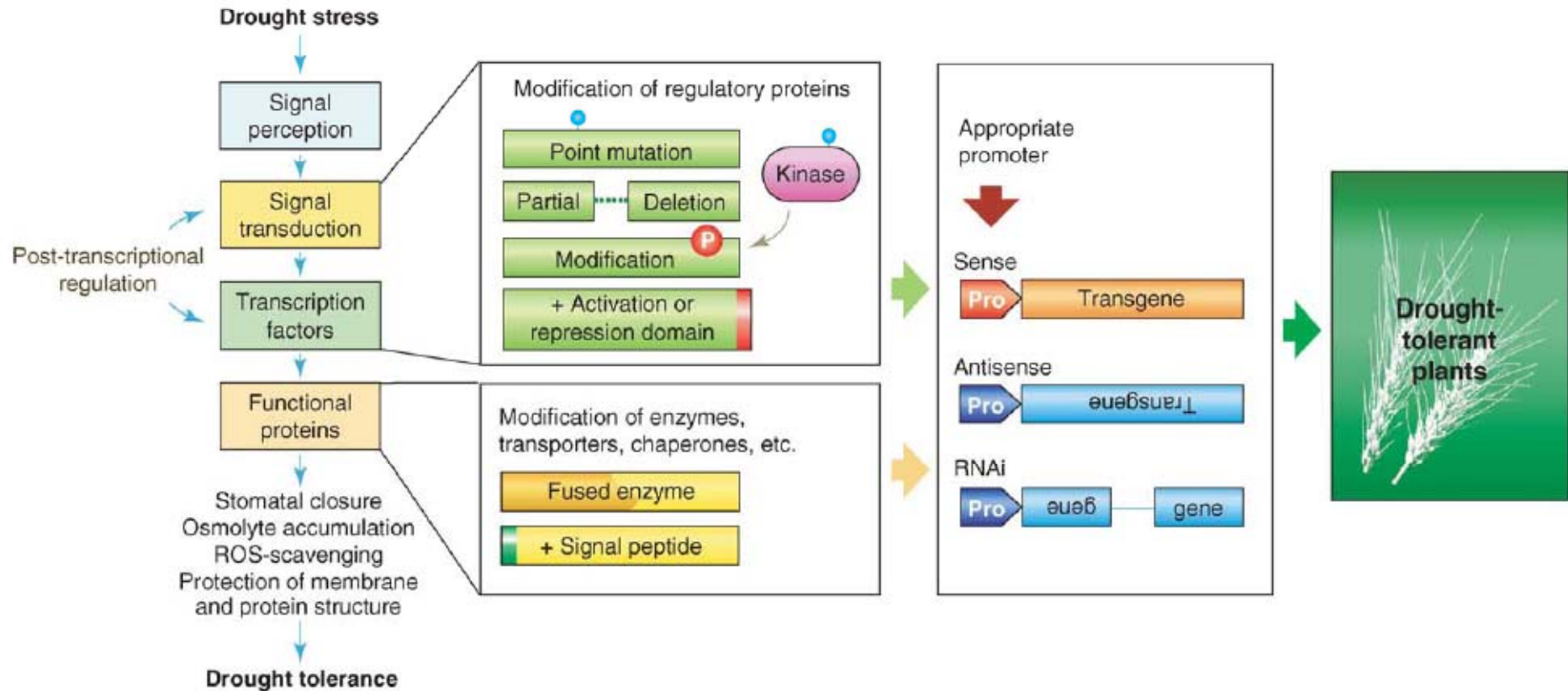


Gene discovery in the stress response

Genes used for engineering

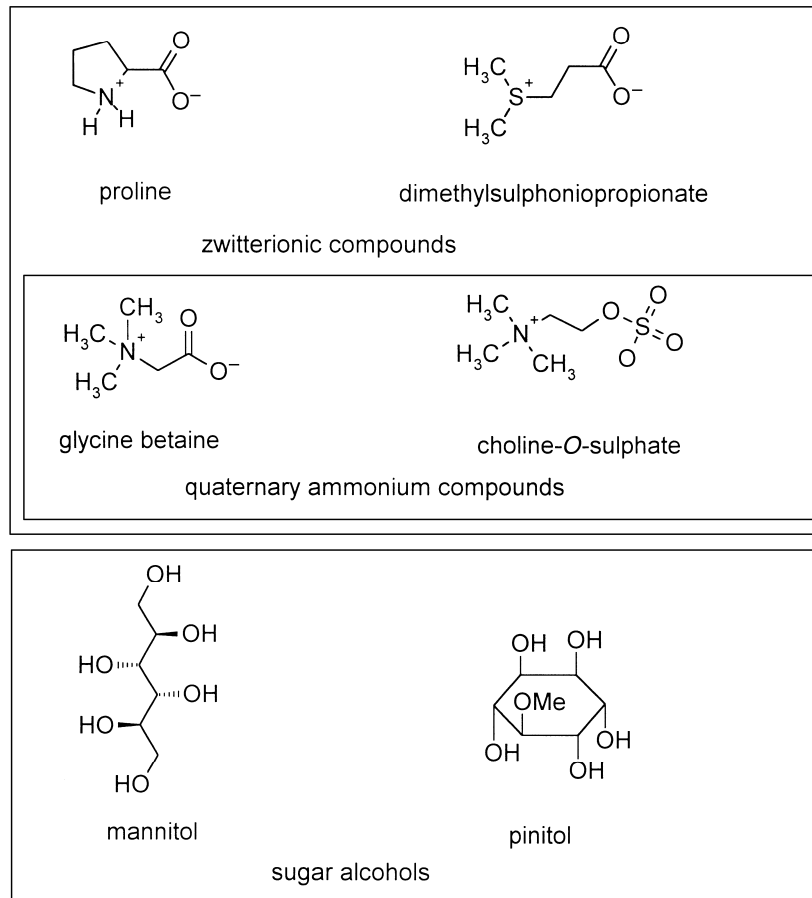
Construction of transgenes

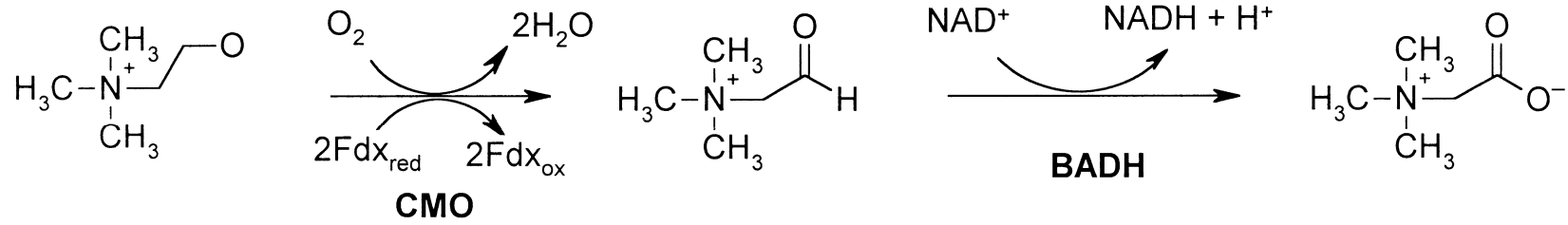
Genetic engineering



Στρες έλλειψης νερού

- Ωσμωπροστατευτικά (ωσμωλύτες)
- ✓ Χαμηλού μοριακού βάρους
- ✓ Σάκχαρα/αλκοόλες (μανιτόλη, σορβιτόλη, τρεχαλόζη, φρουκτάνες) και Προλίνη, ενώσεις τεταρτοσθενούς αμμωνίας (μπεταΐνη)



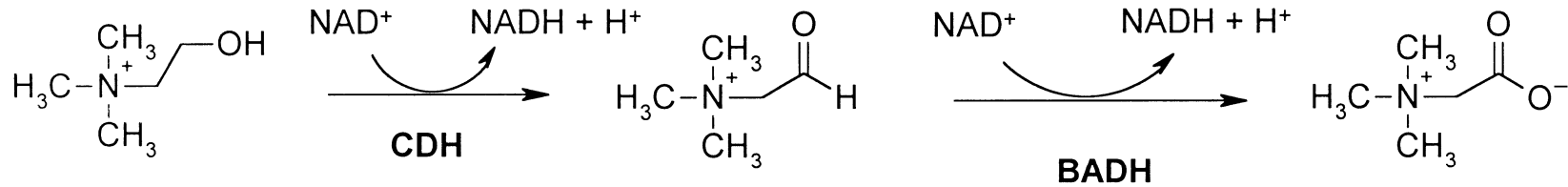


choline

betaine aldehyde

glycine betaine

1. Plants

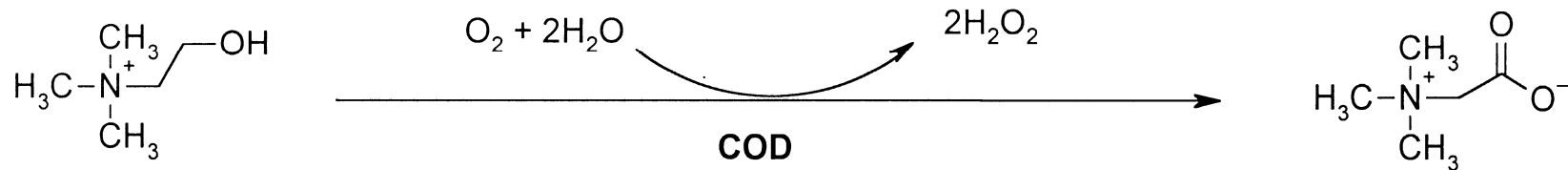


choline

betaine aldehyde

glycine betaine

2. *E. coli*



choline

glycine betaine

3. *Arthrobacter globiformis*

Στρες έλλειψης νερού και αντιμετώπισή του σε διαγονιδιακά φυτά

- Ωσμωπροστατευτικά (ωσμωλύτες)

- ✓ Χαμηλού μοριακού βάρους

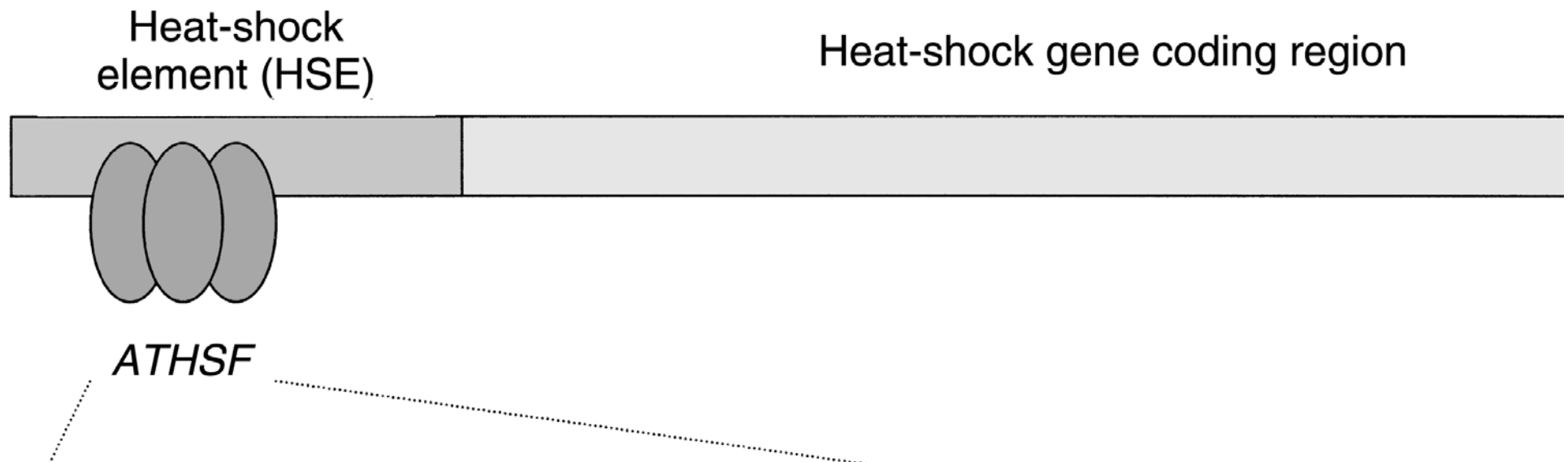
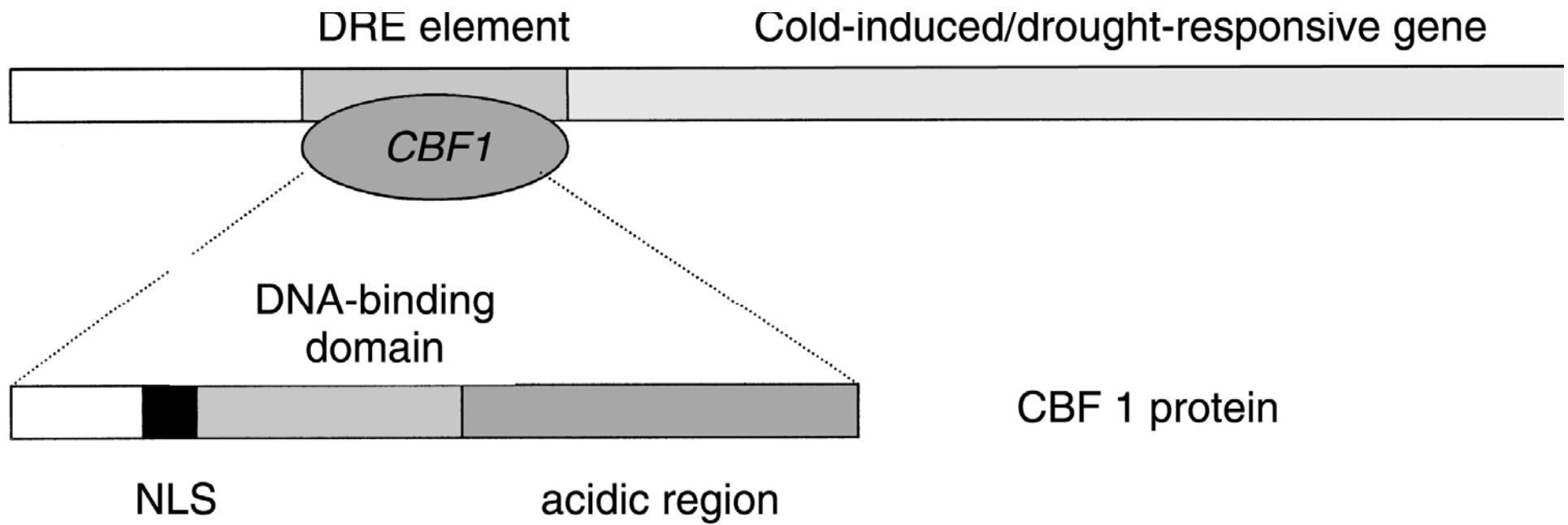
- ✓ Σάκχαρα/αλκοόλες (μανιτόλη, σορβιτόλη, τρεχαλόζη, φρουκτάνες) και Προλίνη, ενώσεις τεταρτοσθενούς αμμωνίας (μπεταΐνη)

- Na/H αντιport πρωτεΐνες του χυμοτοπίου

Π.χ. AtNHX1 (πρωτεΐνη μεταφοράς) / AVP1 (πυροφωσφατάση /αντλία H⁺)

- Ρυθμιστικά στοιχεία και μεταγραφικοί παράγοντες

Π.χ. COR ρεγουλόνιο: CRT/LTRE/DRE στοιχείο και CBF 1-3/DREB1A
HSE ρεγουλόνιο



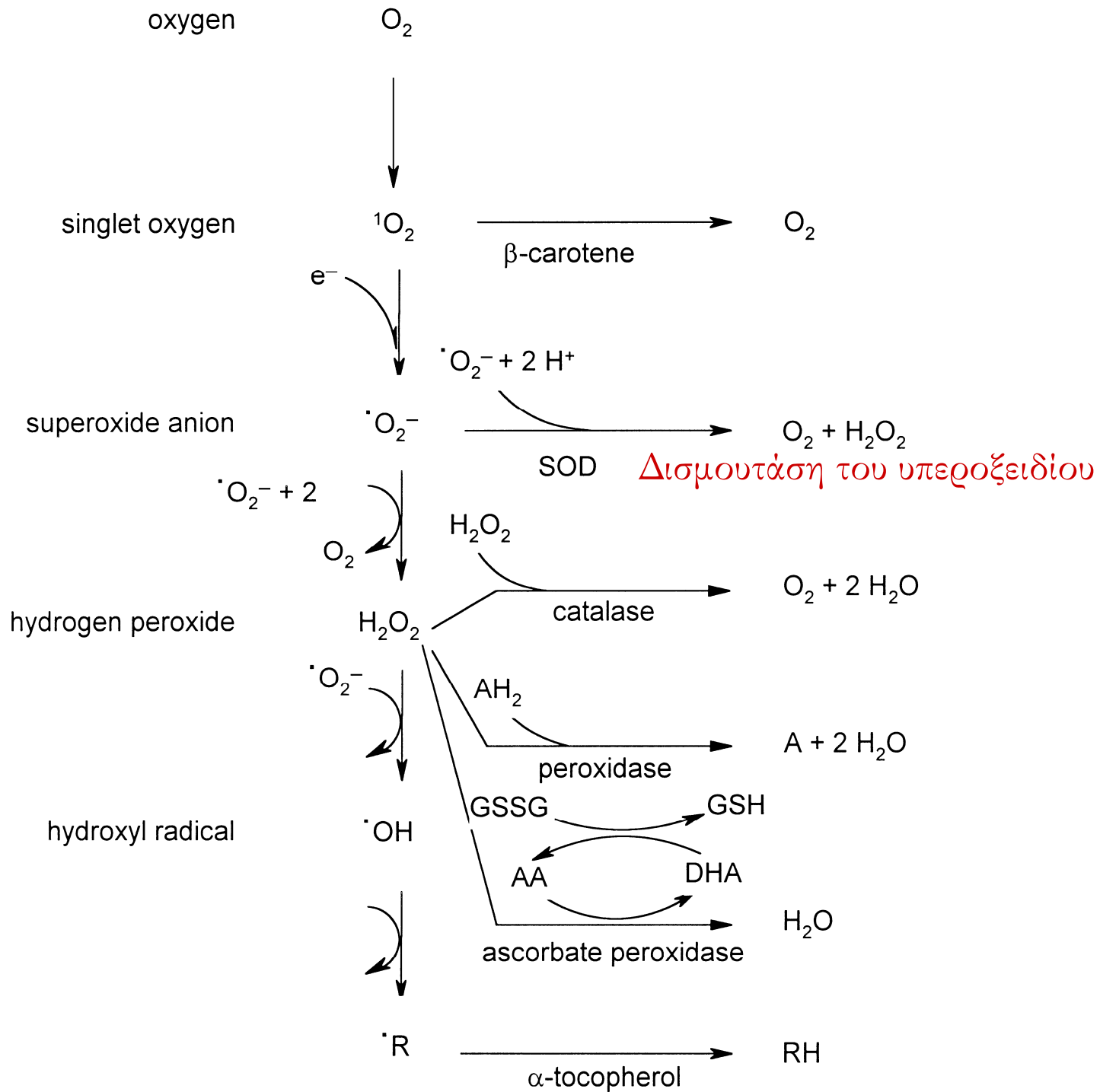
Οξειδωτικό στρες

Προκαλείται από δραστικές μορφές οξυγόνου (reactive oxygen species-ROS)

- οξείδωση ξενοβιοτικών, πολυμερισμος λιγνίνης
- εκταταμένες βλάβες στα κύτταρα: οξείδωση λιπιδίων, τροποποιήσεις αμινοξέων και πολυπεπτιδικών αλυσίδων, αλλαγές ηλεκτρικών φορτίων, πρωτεόλυση, αποδόμηση DNA κτλ.

Αντιοξειδωτικά στα φυτά

- Ασκορβικό οξύ (βιταμίνη C)
- Γλουταθειόνη (Glu-Cys-Gly)
- α-τοκοφερόλη (βιταμίνη E)
- καροτενοειδή (C40 ισοπρενοειδή- καροτένια και ξανθοφύλλες)



Οξειδωτικό στρες και αντιμετώπισή του σε διαγονιδιακά φυτά

- Υπερέκφραση ενζύμων που συμμετέχουν στις αντιδράσεις αποτοξίνωσης από ROS

Π.χ. Δισμουτάση του υπεροξειδίου (Mn-, Cu-, Fe-)

- Υπερπαραγωγή αντιοξειδωτικών

Π.χ. Υπεροξειδάση του ασκορβικού, υπεροξειδάση της γλουταθειόνης και αναγωγάση της γλουταθειόνης

Figure: The pipeline of GM crops from early R&D to commercialization

| Trait category ^a | Commercial in 2008 | Commercial pipeline | Regulatory pipeline | Advanced development | Total by 2015 ^b |
|------------------------------|--------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------------|
| Insect resistance | 21 | 2 | 11 | 25 | 59 |
| Herbicide tolerance | 11 | 5 | 4 | 13 | 33 |
| Product quality ^c | 2 | 1 | 5 | 12 | 20 |
| Virus resistance | 5 | 0 | 2 | 3 | 10 |
| Abiotic stress tolerance | 0 | 0 | 1 | 6 | 7 |
| Other | 0 | 0 | 2 | 11 | 13 |

Αραβόσιτος, περιεχόμενο σε λυσίνη

Αραβόσιτος, ανθεκτικότητα σε ξηρασία (*cspB*, *Bacillus subtilis*)

- Ρυζι, ανθεκτικότητα σε μύκητες / ιούς / ξηρασία/ αλατοτητα
- Αραβόσιτος, αμυλάση/ φυτάση
- Πατάτα, αμυλοπηκτίνη/ PYV ανθεκτικότητα

- Σογια, τροποποιημένα λιπαρά (ελαϊκό / στεαριδονικό – ω-3-) ανθεκτικότητα σε νηματώδεις
- Πατάτα ανθεκτικότητα σε μύκητες/ τροποποιημένο άμυλο
- Golden Rice

