



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΑΕΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΚΑΙΡΟΠΟΙΗΣΗ ΓΝΩΣΕΩΝ ΑΠΟΦΟΙΤΩΝ ΑΕΙ (ΠΕΓΑ)

«Οι σύγχρονες τεχνικές βιο-ανάλυσης στην υγεία, τη γεωργία, το περιβάλλον και τη διατροφή»

ΓΕΝΕΤΙΚΑ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟΙ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΙ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΤΗ ΔΙΑΤΡΟΦΗ

Διδάσκων: Ζήσης Μαμούρης

Στόχος της διάλεξης είναι η εισαγωγή των διδασκομένων στους γενετικά τροποποιημένους οργανισμούς μέσα από τις εξής επιμέρους ενότητες

Εισαγωγή – Ορισμοί - Ιστορική Ανασκόπηση

Η επιχειρηματολογία για τη δημιουργία των διάφορων ΓΤΟ

Ενδεχόμενα οφέλη και ενδεχόμενοι κίνδυνοι από τη δημιουργία και τη χρήση των ΓΤΟ

Δημιουργία Γενετικά Τροποποιημένων Οργανισμών

Στόχοι και εφαρμογές της Βιοτεχνολογίας Φυτών

Ανίχνευση ΓΤΟ στη φύση- Ευρωπαϊκό Δίκτυο Εργαστηρίων ελέγχου ΓΤΟ (European Network of GMO Laboratories)

Δημιουργία Γενετικά Τροποποιημένων Ζώων

Γενετικά Τροποποιημένοι Οργανισμοί και Ανθρώπινη Υγεία



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ ΑΕΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΚΑΙΡΟΠΟΙΗΣΗ ΓΝΩΣΕΩΝ ΑΠΟΦΟΙΤΩΝ ΑΕΙ (ΠΕΓΑ)

«Οι σύγχρονες τεχνικές βιο-ανάλυσης στην υγεία, τη γεωργία, το περιβάλλον και τη διατροφή»

ΓΕΝΕΤΙΚΑ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟΙ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΙ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΤΗ ΔΙΑΤΡΟΦΗ

Ένας γενετικά τροποποιημένος οργανισμός (ΓΤΟ) είναι ένας οργανισμός, του οποίου το γενετικό υλικό έχει τροποποιηθεί με χρήση τεχνικών γενετικής μηχανικής. Οργανισμοί που έχουν τροποποιηθεί γενετικά περιλαμβάνουν μικροοργανισμούς, όπως βακτήρια και ζυμομύκητες, έντομα, φυτά, ψάρια και θηλαστικά. Οι ΓΤΟ είναι η πηγή των γενετικά τροποποιημένων τροφίμων και επίσης χρησιμοποιούνται ευρέως στην επιστημονική έρευνα και την παραγωγή αγαθών εκτός των τροφίμων. Ο όρος ΓΤΟ είναι πολύ κοντά στο τεχνικό νομικό όρο, «ζωντανός τροποποιημένος οργανισμός», σύμφωνα με το Πρωτόκολλο της Καρθαγένης για τη βιοασφάλεια, το οποίο ρυθμίζει το διεθνές εμπόριο των ΓΤΟ (συγκεκριμένα, "κάθε ζωντανός οργανισμός που διαθέτει καινούριο συνδυασμό γενετικού υλικού που έχει ληφθεί μέσω της χρήσης της σύγχρονης βιοτεχνολογίας»).

Δημιουργία ΓΤΟ

Η γενετική τροποποίηση περιλαμβάνει τη μετάλλαξη, την εισαγωγή ή τη διαγραφή των γονιδίων. Τα εισαγόμενα γονίδια συνήθως προέρχονται από ένα διαφορετικό είδος και η διαδικασία έχει τη μορφή οριζόντιας μεταφοράς γονιδίων. Στη φύση, αυτό μπορεί να συμβεί όταν εξωγενές DNA διαπερνά την κυτταρική μεμβράνη για οποιοδήποτε λόγο. Για να γίνει αυτό τεχνητά απαιτείται: προσάρτηση των γονιδίων σε ένα «τεχνητό DNA» και φυσική εισαγωγή του ξένου DNA στον πυρήνα του επιλεγμένου ξενιστή με διάφορους τρόπους:

- με έγχυση με μία πολύ μικρή σύριγγα
- με τη χρήση ηλεκτροπόρωσης (δηλαδή, την εισαγωγή DNA μέσα στο κύτταρο με τη χρήση ενός ηλεκτρικού παλμού)
- με πολύ μικρά σωματίδια που τροφοδοτούνται από ένα όπλο γονιδίου (Sanford et al. 1987, Klein et al. 1987)

Άλλες μέθοδοι εκμεταλλεύονται τις φυσικές μορφές της μεταφοράς γονιδίων, όπως είναι η ικανότητα του *Agrobacterium* να μεταφέρει γενετικό υλικό σε φυτά (Lee & Gelvin 2008) ή την ικανότητα των λεντινοϊών για την μεταφορά γονιδίων σε ζωικά κύτταρα (Park 2007).

Ιστορικό

Η γενική αρχή της παραγωγής ενός ΓΤΟ είναι η τροποποίηση του γενετικού υλικού του γονιδιώματος ενός οργανισμού. Η γενετική τροποποίηση, που προκαλείται από την ανθρώπινη δραστηριότητα, σε ζωντανούς οργανισμούς δεν είναι κάτι νέο. Ανάγεται στην εποχή που οι άνθρωποι άρχισαν να εξημερώνουν και να εκτρέφουν ζώα περίπου το 12.000 π.Χ. (Root 2007) και να καλλιεργούν φυτά γύρω στο 10.000 π.Χ. (Zohary, Hopf &

Weiss 2012). Η εφαρμογή της γενετικής μηχανικής, δηλαδή η άμεση μεταφορά του DNA από έναν οργανισμό σε άλλο, ως μέσο γενετικής τροποποίησης, εφαρμόστηκε για πρώτη φορά με επιτυχία από τους Boyer και Cohen το 1973. Οι μετέπειτα τεχνολογικές πρόοδοι επέτρεψαν στους επιστήμονες να χειριστούν και να προσθέσουν γονίδια σε μια ποικιλία διαφορετικών οργανισμών και να επάγουν μια σειρά από διαφορετικά αποτελέσματα. Από το 1976 η τεχνολογία έχει εμπορευματοποιηθεί, κυρίως από εταιρείες που παράγουν και πωλούν τα γενετικά τροποποιημένα τρόφιμα και φάρμακα, τα οποία προκύπτουν από τη μετάλλαξη, διαγραφή ή προσθήκη γενετικού υλικού. Όταν το γενετικό υλικό από ένα διαφορετικό είδος προστίθεται για να δημιουργηθεί ένα «χμμαιρικό» DNA, το DNA που προκύπτει ονομάζεται ανασυνδυασμένο DNA και ο οργανισμός καλείται διαγονιδιακός οργανισμός. Τα πρώτα μόρια ανασυνδυασμένου DNA παρήχθησαν από τον Paul Berg το 1972 (Jackson et al. 1972, Sateesh 2008).

Χρησιμότητα

Οι ΓΤΟ χρησιμοποιούνται στη βιολογική και ιατρική έρευνα, την παραγωγή φαρμακευτικών προϊόντων, την πειραματική ιατρική (π.χ. γονιδιακή θεραπεία) και τη γεωργία (π.χ. χρυσό ρύζι, ή ανθεκτικότητα στα ζιζανιοκτόνα). Ο όρος «γενετικά τροποποιημένος οργανισμός» δεν σημαίνει πάντα, αλλά μπορεί να περιλαμβάνει, στοχευμένες παρεμβολές γονιδίων ενός είδους σε ένα άλλο. Για παράδειγμα, ένα γονίδιο από μια μέδουσα, που κωδικοποιεί μια φθορίζουσα πρωτεΐνη που ονομάζεται GFP, μπορεί να εισαχθεί και έτσι να συν-εκφράζεται με γονίδια θηλαστικών για να προσδιορίσει τη θέση της πρωτεΐνης, που κωδικοποιείται από το γονίδιο, το οποίο σημάνθηκε με την GFP, στο κύτταρο του θηλαστικού. Τέτοιες μέθοδοι είναι χρήσιμα εργαλεία για τους βιολόγους σε πολλούς τομείς της έρευνας, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που μελετούν τους μηχανισμούς των ανθρώπινων και άλλων νοσημάτων ή θεμελιώδεις βιολογικές διεργασίες σε ευκαρυωτικά ή προκαρυωτικά κύτταρα.

Γενετικά τροποποιημένοι μικροοργανισμοί

Τα βακτήρια ήταν οι πρώτοι οργανισμοί που τροποποιήθηκαν στο εργαστήριο και αυτό οφείλεται στην σχετικά απλή γενετική τους (Melo et al. 2007). Συνεχίζουν να αποτελούν σημαντικό μοντέλο οργανισμών για πειράματα στον τομέα της γενετικής μηχανικής. Στον τομέα της συνθετικής βιολογίας, έχουν χρησιμοποιηθεί για να δοκιμαστούν διάφορες συνθετικές προσεγγίσεις, από την σύνθεση γονιδιωμάτων έως τη δημιουργία νέων νουκλεοτιδίων (Argino et al. 2013, Pollack 2014, Malyshev et al. 2014). Γενετικά τροποποιημένα βακτήρια τώρα χρησιμοποιούνται για διάφορους σκοπούς και είναι ιδιαίτερα σημαντικά στην παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων καθαρών ανθρώπινων πρωτεϊνών για χρήση στην ιατρική (Leader 2008), όπως π.χ. γενετικά τροποποιημένα βακτήρια, που χρησιμοποιούνται για να παράγουν την πρωτεΐνη ινσουλίνη για τη θεραπεία του διαβήτη (Walsh 2005), παράγοντες πήξης για τη θεραπεία αιμοφιλίας (Piper 2008) και την ανθρώπινη αυξητική ορμόνη για τη θεραπεία διαφόρων μορφών

νανισμού (Bryant et al. 2007, Baxter et al. 2007). Τροποποιημένα βακτήρια έχουν χρησιμοποιηθεί επίσης για την παραγωγή βιοκαυσίμων (Summers 2013).

Επιπλέον, διάφοροι γενετικά τροποποιημένοι μικροοργανισμοί χρησιμοποιούνται συνήθως ως πηγές ενζύμων για την παρασκευή μιας ποικιλίας επεξεργασμένων τροφίμων. Αυτές περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, την άλφα-αμυλάση από βακτήρια, η οποία μετατρέπει το άμυλο σε απλά σάκχαρα, την πρωτεΐνη χυμοσίνη από βακτήρια ή μύκητες, η οποία πήζει το γάλα για την παραγωγή τυριού, και την εστεράση της πηκτίνης από μύκητες, η οποία βελτιώνει την καθαρότητα του χυμού φρούτων (Panesar et al. 2010).

Διαγονιδιακά φυτά

Διαγονιδιακά φυτά έχουν σχεδιαστεί με σκοπό να προάγουν την επιστημονική έρευνα, και να δημιουργήσουν νέα χαρακτηριστικά σε καλλωπιστικά και καλλιεργούμενα φυτά. Για τους σκοπούς της έρευνας, τα φυτά σχεδιάστηκαν για να βοηθήσουν στην ανακάλυψη ή την επιβεβαίωση διαφόρων λειτουργιών ορισμένων γονιδίων. Ένας τρόπος για να επιτευχθεί αυτό είναι η αφαίρεση του γονιδίου στόχου, ώστε να δούμε τι φαινότυπος αναπτύσσεται. Μια άλλη στρατηγική είναι να συνδεθεί το γονίδιο σε έναν ισχυρό υποκινητή (τμήμα του DNA που προάγει την έκφραση του γονιδίου) και να δούμε τι συμβαίνει όταν το γονίδιο υπερεκφράζεται. Μια κοινή τεχνική, που χρησιμοποιείται για να διαπιστωθεί η θέση όπου το γονίδιο εκφράζεται, είναι να συνδεθεί με ένα γονίδιο αναφοράς που επιτρέπει τον εντοπισμό της θέσης (Jefferson et al. 1987).

Μετά από δεκατρία χρόνια συνεργατικής έρευνας, μια αυστραλιανή εταιρεία, η Florigene, και μια ιαπωνική εταιρεία, η Suntory, δημιούργησαν, το 2004, ένα μπλε τριαντάφυλλο (στην πραγματικότητα λεβάντα ή μωβ) (Nosowitz 2011). Στη γενετική τροποποίηση του γονιδιώματος για την παραγωγή του εμπλέκονται τρεις βασικές αλλαγές: η πρόσθεση δύο γονιδίων και η παρεμβολή τους από ένα τρίτο. Ένα από τα επιπλέον γονίδια ήταν το αυτό που δημιουργούσε την μπλε χρωστική δελφινιδίνης, που κλωνοποιήθηκε από τον πανσέ (Phys.Org website 2005). Έχουν επίσης δημιουργηθεί και πωλούνται γαρίφαλα χρώματος λεβάντας, τα οποία έχουν τροποποιηθεί γενετικά με παρόμοιο τρόπο (Phys.Org website 2005).

Απλά φυτά και φυτικά κύτταρα έχουν τροποποιηθεί γενετικά για την παραγωγή βιοφαρμακευτικών προϊόντων σε βιοαντιδραστήρες, σε αντίθεση με την καλλιέργεια φυτών σε αγρούς. Οι μελετέτες έχουν πραγματοποιηθεί με το είδος *Lemna minor* (Gasdaska et al. 2003), τα φύκια *Chlamydomonas reinhardtii* (PhysOrg 2013) και τα βρύα *Physcomitrella patens* (Büttner-Mainik et al. 2011, Baur et al. 2005). Μια ισραηλινή εταιρεία, η Protalix, έχει αναπτύξει μια μέθοδο για την παραγωγή θεραπευτικών προϊόντων σε καλλιέργειες διαγονιδιακών κυττάρων καρότου και καπνού. Η Protalix και ο εταίρος της, Pfizer, έλαβαν, το 2012, την έγκριση από την η αμερικανική Υπηρεσία

Τροφίμων και Φαρμάκων (FDA) για την πώληση του φαρμάκου Elvelyo, για την θεραπεία της νόσου του Gaucher.

Γενετικά τροποποιημένα καλλιεργούμενα φυτά

Στον τομέα της γεωργίας, στην αγορά σήμερα βρίσκονται γενετικά τροποποιημένα φυτά που διαθέτουν χαρακτηριστικά όπως ανθεκτικότητα στα παράσιτα και στα ζιζανιοκτόνα, αυξημένη θρεπτική αξία, ή εμπλέκονται στην παραγωγή πολύτιμων αγαθών όπως τα φάρμακα (pharming). Προϊόντα υπό ανάπτυξη περιλαμβάνουν καλλιέργειες, που μπορούν να ευδοκιμήσουν σε περιβαλλοντικές συνθήκες, οι οποίες βρίσκονται εκτός των ορίων του φάσματος που συνήθως τα ειδή αναπτύσσονται ή σε μεταβαλλόμενα οριακά περιβάλλοντα (π.χ. ξηρασία ή αντίσταση στην αλατότητα). Προϊόντα που δημιουργήθηκαν και έχουν ήδη αποσυρθεί περιλαμβάνουν εκείνα με παρατεταμένη διάρκεια ζωής του προϊόντος, όπως η ντομάτα Flavr Savr.

Από την πρώτη εμπορική καλλιέργεια των γενετικά τροποποιημένων φυτών το 1996, διάφορα φυτά έχουν τροποποιηθεί ώστε να είναι ανθεκτικά στα ζιζανιοκτόνα glufosinate και glyphosate, ανθεκτικά σε επιθέσεις ιών (όπως η γενετικά τροποποιημένη παπάγια που καλλιεργείται στη Χαβάη και είναι ανθεκτική στον ιό Ringspot) και να παράγουν την Bt τοξίνη, ένα εντομοκτόνο που έχει αποδειχθεί ότι δεν είναι τοξικό για τα θηλαστικά. Φυτά, μεταξύ των άλλων φύκια, καλαμπόκι και λεύκες, έχουν τροποποιηθεί γενετικά για χρήση στην παραγωγή των καυσίμων, που είναι γνωστά και ως βιοκαύσιμα.

Δεύτερης και τρίτης γενιάς γενετικά τροποποιημένες καλλιέργειες βρίσκονται ήδη στο εμπόριο ή είναι υπό ανάπτυξη και διαθέτουν βελτιωμένα διατροφικά προφίλ και αυξημένες αποδόσεις ή ικανότητα να αναπτύσσονται σε δύσκολα περιβάλλοντα. ΓΤ καλλιέργειες ελαιούχων σπόρων που βρίσκονται σήμερα στο εμπόριο προσφέρουν βελτιωμένα προφίλ του ελαίων για επεξεργασία ή υγιεινότερα βρώσιμα έλαια. Άλλα παραδείγματα τροποποιημένων φυτών περιλαμβάνουν :

- Ένα γενετικά τροποποιημένο είδος κασάβα με χαμηλότερη περιεκτικότητα σε κυανιούχους γλυκοζίτες και ενισχυμένο σε πρωτεΐνες και άλλα θρεπτικά συστατικά (Sayre et al. 2011).
- Το Χρυσό Ρύζι, το οποίο αναπτύχθηκε από το Διεθνές Ινστιτούτο Ερευνών Ρυζιού και έχει προταθεί ως πιθανή λύση-θεραπεία για την ανεπάρκεια σε βιταμίνη Α, κυρίως σε παιδιά των χωρών του τρίτου κόσμου (International Rice Research Institute).
- Μια ποικιλία καλαμποκιού εμπλουτισμένη με βιταμίνες που προέρχεται από ποικιλία λευκού καλαμποκιού της Νότια Αφρικής (Shaista et al. 2009).
- Τροποποιημένα φυτά του είδους *Camelina sativa* που συσσωρεύουν υψηλά επίπεδα ελαίων, τα οποία θεωρούνται ανάλογης ποιότητας με τα ιχθυέλαια (Ruiz-Lopez et al. 2013).

Ενδογονιδιακά Φυτά

Για την κατάταξη των γενετικά τροποποιημένων οργανισμών μια ποικιλία συστημάτων ταξινόμησης έχει προταθεί (Nielsen 2003), η οποία τους κατατάσσει με βάση τη φύση των προκαλούμενων γενετικών αλλαγών, παρά με βάση τη διαδικασία τροποποίησης μέσω της γενετικής μηχανικής. Τα ενδογονιδιακά φυτά αποτελούν μια κατηγορία γενετικά τροποποιημένων φυτών.

Ενώ ορισμένα γενετικά τροποποιημένα φυτά δημιουργούνται με την εισαγωγή, στο γονιδίωμα του ξενιστή, ενός γονιδίου, που προέρχεται από μακρινά, σεξουαλικά ασύμβατα είδη, τα ενδογονιδιακά φυτά περιέχουν γονίδια που έχουν απομονωθεί είτε άμεσα από το ίδιο είδος του ξενιστή ή από φυλετικώς συμβατά είδη. Τα νέα γονίδια εισάγονται χρησιμοποιώντας μεθόδους ανασυνδυασμένου DNA και γονιδιακής μεταφοράς. Ορισμένοι επιστήμονες ελπίζουν ότι η διαδικασία έγκρισης και τα επίπεδα αποδοχής των ενδογονιδιακών φυτών μπορεί να είναι απλούστερες από εκείνες των πραγματικά διαγονιδιακών φυτών (Schouten et al. 2006), αλλά αυτό μένει να αποδειχθεί (Prins & Kok 2010).

Θηλαστικά

Τα γενετικά τροποποιημένα θηλαστικά αποτελούν μια σημαντική κατηγορία των γενετικά τροποποιημένων οργανισμών (EFSA 2012). Οι Brinster και Palmiter, στις αρχές του 1980, ανέπτυξαν τις τεχνικές, οι οποίες αποτέλεσαν τη βάση για τη δημιουργία διαγονιδιακών ποντικών, αρουραίων, κουνελιών, προβάτων, χοίρων και καθιέρωσαν πολλά από τα πρώτα διαγονιδιακά μοντέλα μελέτης ανθρώπινων ασθενειών, συμπεριλαμβανομένου και του πρώτου καρκινώματος που προκαλείται από διαγονίδιο. Η διαδικασία της γενετικής μηχανικής ζώων είναι μια αργή, επίπονη και δαπανηρή διαδικασία. Ωστόσο, οι νέες τεχνολογίες κάνουν τις γενετικές τροποποιήσεις ευκολότερες και ακριβέστερες.

Τα πρώτα διαγονιδιακά (γενετικά τροποποιημένα) ζώα δημιουργήθηκαν με την έγχυση DNA σε έμβρυα ποντικού και στη συνέχεια με εμφύτευση των εμβρύων σε θηλυκά ποντίκια (Jaenisch & Mintz 1974).

Γενετικά τροποποιημένα ζώα που έχουν ήδη δημιουργηθεί ή βρίσκονται στο στάδιο της υλοποίησης μπορούν να ομαδοποιηθούν σε έξι διαφορετικές γενικές κατηγορίες με βάση τον επιδιωκόμενο σκοπό της γενετικής τροποποίησης:

1. για την έρευνα ασθενειών του ανθρώπου (για παράδειγμα, την ανάπτυξη ζωικών μοντέλων για αυτές τις ασθένειες)
2. για την παραγωγή βιομηχανικών και καταναλωτικών προϊόντων (ίνες για πολλαπλές χρήσεις)
3. για την παραγωγή προϊόντων που προορίζονται για ανθρώπινη θεραπευτική χρήση (φαρμακευτικά προϊόντα ή ιστοί για εμφύτευση)
4. για να εμπλουτίσουν ή να ενισχύσουν τις αλληλεπιδράσεις των ζώων με τον άνθρωπο (υποαλλεργικά κατοικίδια ζώα)

5. για την ενίσχυση της παραγωγής ή της ποιότητας διαφόρων χαρακτηριστικών των τροφίμων (ταχύτερα αναπτυσσόμενα ψάρια, χοίρους που αφομοιώνουν τα τρόφιμα πιο αποτελεσματικά)
6. για τη βελτίωση της υγείας των ζώων (αντοχή στις ασθένειες)

Ερευνητική χρήση

Τα διαγονιδιακά ζώα χρησιμοποιούνται ως πειραματικά μοντέλα για τη μελέτη φαινοτυπικών χαρακτηριστικών, καθώς και για πειράματα στη βιοϊατρική έρευνα (Sathasivam et al. 1999).

Τα γενετικά τροποποιημένα ζώα γίνονται όλο και πιο ζωτικής σημασίας για την ανακάλυψη και ανάπτυξη θεραπειών και θεραπευτικών πρωτοκόλλων για πολλές σοβαρές ασθένειες. Τροποποιώντας το DNA ή με τη μεταφορά του DNA σε ένα ζώο, μπορούμε να αναπτύξουμε ορισμένες πρωτεΐνες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην ιατρική θεραπεία. Σταθερές εκφράσεις ανθρώπινων πρωτεϊνών έχουν επιτευχθεί σε αρκετά ζώα, συμπεριλαμβανομένων των προβάτων, των χοίρων και των αρουραίων. Ανθρώπινη αλφα-1-αντιτρυψίνη (Spencer et al. 2005), που έχει δημιουργηθεί σε πρόβατα χρησιμοποιείται στη θεραπεία ανθρώπων με ανεπάρκεια στο συγκεκριμένο ένζυμο, επίσης έχουν δημιουργηθεί διαγονιδιακοί χοίροι με ανθρώπινη ιστοσυμβατότητα με την ελπίδα ότι τα όργανα τους θα είναι κατάλληλα για μεταμόσχευση σε ανθρώπους με λιγότερες πιθανότητες απόρριψης.

Οι επιστήμονες έχουν τροποποιήσει γενετικά αρκετούς οργανισμούς, συμπεριλαμβανομένων και ορισμένων θηλαστικών, ώστε να ενσωματώσουν πράσινη φθορίζουσα πρωτεΐνη (GFP) για ερευνητικούς σκοπούς στην ιατρική. Για παράδειγμα, φθορίζοντες χοίροι δημιουργήθηκαν στις ΗΠΑ το 2000 (Cabot et al. 2001), στην Κορέα το 2002 (Lai et al. 2002), στην Ταϊβάν το 2006, στην Κίνα το 2008 και στην Ιαπωνία το 2009 (Kawarasaki et al 2009). Αυτοί οι χοίροι εκτρέφονται για τη μελέτη μεταμοσχεύσεων ανθρώπινων οργάνων, της αναγέννησης οφθαλμικών κυττάρων φωτοϋποδοχέων, νευρωνικών κυττάρων στον εγκέφαλο (Randall et al. 2008), της αναγεννητικής ιατρικής μέσω βλαστικών κυττάρων, της μηχανικής ιστών (Kawarasaki et al 2009) και άλλων ασθενειών. Το 2011 μία ιαπωνικό-αμερικανική ομάδα δημιούργησε πράσινες φθορίζουσες γάτες, ώστε να μελετηθούν θεραπείες για τον ιό HIV/AIDS και άλλων ασθενειών (Wongsrikeao 2011), καθώς ο ιός ανοσοανεπάρκειας αιλουροειδών (FIV) σχετίζεται με τον ιό HIV (National Institute of Allergy and Infectious Diseases).

Το 2009, επιστήμονες στην Ιαπωνία ανακοίνωσαν τη μεταφορά με επιτυχία ενός γονιδίου σε ένα είδος πρωτευόντων (μάρμοζετ, *Callithrix jacchus*) και την παραγωγή, για πρώτη φορά, μια σταθερής γραμμής εκτρεφόμενων διαγονιδιακών πρωτευόντων (Sasaki et al. 2009, Schatten & Mitalipov 2009). Ο πρωταρχικός ερευνητικός τους στόχος ήταν η νόσος του Parkinson, αλλά επίσης μελετήθηκαν και άλλες ασθένειες, όπως η νόσος του Huntington (Cyranoski 2009).

Παραγωγή ανθρώπινων θεραπευτικών προϊόντων

Στο πεδίο αυτό, που είναι γνωστό και ως pharming, εντατική έρευνα έχει διεξαχθεί για την ανάπτυξη διαγονιδιακών ζώων που παράγουν βιοθεραπευτικά (Houdebine 2009). Το 2009, η αμερικανική Υπηρεσία Τροφίμων και Φαρμάκων (FDA) ενέκρινε το πρώτο ανθρώπινο βιολογικό φάρμακο που παράγεται από ένα τέτοιο ζώο, μια κατσίκια. Το φάρμακο, το ATryn, είναι ένα αντιπηκτικό που μειώνει την πιθανότητα θρόμβωσης του αίματος κατά τη διάρκεια της χειρουργικής επέμβασης ή του τοκετού. Η ουσία κωδικοποιείται από το ανθρώπινο γονίδιο και στη συνέχεια εξάγεται και απομονώνεται από το γάλα της κατσίκας.

Ενίσχυση της παραγωγής ή της ποιότητας χαρακτηριστικών των τροφίμων

Η Enviropig ήταν μία γενετικά ενισχυμένη σειρά χοίρων Yorkshire που δημιουργήθηκε στον Καναδά με ικανότητα πέψης του φυτικού φωσφόρου πιο αποτελεσματικά από τους συμβατικούς χοίρους Yorkshire. Το πρόγραμμα ολοκληρώθηκε το 2012. Οι χοίροι παρήγαγαν το ένζυμο φυτάση, το οποίο διασπά τον δύσπεπτο φώσφορο, στο σάλιο τους. Το DNA του ενζύμου εισήχθη στα χρωμοσώματα του χοίρου με προπυρηνική μικροέγχυση. Με το ένζυμο αυτό, τα ζώα είναι σε θέση να αφομοιώσουν φώσφορο από κόκκους δημητριακών. Η χρησιμοποίηση αυτών των χοίρων θα μείωνε την ενδεχόμενη ρύπανση των υδάτων, δεδομένου ότι τα διαγονιδιακά ζώα εκκρίνουν 30 έως 70,7 % λιγότερο φώσφορο στην κοπριά τους ανάλογα με την ηλικία και τη διατροφή (<http://www.uoguelph.ca/enviropig/environmental>). Οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις φωσφόρου στην επιφανειακή απορροή μειώνει την ανάπτυξη φυκιών, γιατί ο φώσφορος είναι το περιοριστικό θρεπτικό στοιχείο για τα φύκια. Επειδή τα φύκια καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες οξυγόνου, αυτό μπορεί να οδηγήσει σε νεκρές ζώνες για τα ψάρια.

Το 2011, Κινέζοι επιστήμονες δημιούργησαν αγελάδες γαλακτοπαραγωγής γενετικά τροποποιημένες με γονίδια ανθρώπου, για την παραγωγή γάλακτος που θα είναι το ίδιο με το ανθρώπινο μητρικό γάλα (Stevenson 2011). Αυτό θα μπορούσε ενδεχομένως να ωφελήσει μητέρες που δεν μπορούν να παράγουν μητρικό γάλα, αλλά θέλουν τα παιδιά τους να πάρουν μητρικό και όχι τυποποιημένο γάλα. Εκτός από την παραγωγή γάλακτος, οι ερευνητές ισχυρίζονται ότι αυτές οι διαγονιδιακές αγελάδες είναι πανομοιότυπες με τις κοινές αγελάδες (<http://www.classicalmedicinejournal.com/the-classical-medicine-journal/2011/4/13/genetically-modified-cows-producing-human-milk.html>). Δύο μήνες αργότερα, επιστήμονες από την Αργεντινή παρουσίασαν τη Rosita, μια διαγονιδιακή αγελάδα με ενσωματωμένα δύο ανθρώπινα γονίδια, για παραγωγή γάλακτος με παρόμοιες ιδιότητες με το ανθρώπινο μητρικό γάλα. Το 2012, ερευνητές από τη Νέα Ζηλανδία δημιούργησαν επίσης μια γενετικά τροποποιημένη αγελάδα που παράγει υποαλλεργικό γάλα (Jabed et al. 2012).

Το 2006, τροποποιήθηκαν χοίροι για να παράγουν ωμέγα-3 λιπαρά οξέα μέσω της έκφρασης ενός γονιδίου ενός είδους σκουληκιού (Lai et al. 2006).

Κατσίκες έχουν τροποποιηθεί γενετικά ώστε να παράγουν γάλα με πολύ ανθεκτικές πρωτεΐνες μεταξιού στο γάλα τους, όπως αυτές του ιστού της αράχνης (<http://phys.org/news194539934.html/>).

Γενετικά τροποποιημένα ψάρια έχουν αναπτυχθεί με υποκινητές που προάγουν την υπερ-έκφραση της αυξητικής ορμόνης για χρήση στις υδατοκαλλιέργειες, προκειμένου να αυξηθεί η ταχύτητα της ανάπτυξης των εκτρεφόμενων ψαριών. Η AquaBounty, μια εταιρεία βιοτεχνολογίας με σκοπό την εμπορευματοποίηση γενετικά τροποποιημένων σολομών, ισχυρίζεται ότι οι ΓΤ σολομοί της μπορούν να ωριμάσουν στο μισό του χρόνου που χρειάζεται ένας μη ΓΤ σολομός και γίνονται διπλάσιοι σε μέγεθος. Η AquaBounty έχει υποβάλει αίτηση για την έγκριση του ΓΤ σολομού στις ΗΠΑ, η οποία από το 2012, εξακολουθεί να εκκρεμεί (http://www.nytimes.com/2012/05/22/business/kakha-bendukidze-holds-fate-of-gene-engineered-salmon.html?pagewanted=all&_r=0). Το 2013 ο Καναδάς ενέκρινε την παραγωγή σε εμπορική κλίμακα και την εξαγωγή ΓΤ αυγών σολομού, αλλά δεν έχουν εγκριθεί για κατανάλωση στον Καναδά (<http://www.theguardian.com/environment/2013/nov/25/canada-genetically-modified-salmon-commercial>).

Γονιδιακή θεραπεία

Στη γονιδιακή θεραπεία, χρησιμοποιούνται γενετικά τροποποιημένοι ιοί για να παραχθούν τα γονίδια που μπορεί να θεραπεύσουν ασθένειες στον άνθρωπο. Παρά το γεγονός ότι η γονιδιακή θεραπεία εξακολουθεί να είναι σχετικά νέο πεδίο, έχει να επιδείξει ορισμένες επιτυχίες. Έχει χρησιμοποιηθεί για τη θεραπεία γενετικών διαταραχών όπως η σοβαρή συνδυασμένη ανοσοανεπάρκεια (Cavazzana-Calvo & Fischer 2007). Θεραπείες αναπτύσσονται επίσης για μια σειρά άλλων ασθενειών, που σήμερα είναι ανίατες, όπως η κυστική ίνωση (Rosenecke et al. 2006), η δρεπανοκυτταρική αναιμία (Persons & Nienhuis 2003), η νόσος του Parkinson (Lewitt et al. 2011), ο καρκίνος (<http://www.united-academics.org/magazine/health-medicine/killing-liver-cancer-with-a-genetically-engineered-virus/>, Coghlan 2013), ο διαβήτης (http://www.newscientist.com/article/mg21729044.800-gene-therapy-cures-diabetic-dogs.html#.U4Gavfl_uT8), η καρδιακή νόσος (<http://www.bhf.org.uk/>) και η μυϊκή δυστροφία (Foster et al. 2006). Η τρέχουσα τεχνολογία γονιδιακής θεραπείας στοχεύει μόνο σε μη αναπαραγωγικά κύτταρα, που σημαίνει ότι οποιεσδήποτε αλλαγές εισάγονται με τη θεραπεία, δεν μπορούν να κληροδοτηθούν στην επόμενη γενιά. Η γονιδιακή θεραπεία που στοχεύει σε αναπαραγωγικά κύτταρα είναι πολύ αμφιλεγόμενη και είναι απίθανο να αναπτυχθεί στο άμεσο μέλλον.

Έντομα

Στη βιολογική έρευνα, διαγονιδιακές φρουτόμυγες (*Drosophila melanogaster*), είναι το πιο διαδεδομένο μοντέλο οργανισμού που χρησιμοποιείται για τη μελέτη των επιπτώσεων των γενετικών αλλαγών στην ανάπτυξη (<http://www.genome.gov/25520307>). Η προτίμηση της *Drosophila*, σε σχέση με άλλα

ζώα, οφείλεται στο σύντομο κύκλο ζωής της, στις χαμηλές απαιτήσεις συντήρησης και στη σχετικά απλή δομή του γονιδιώματος, σε σύγκριση με πολλά σπονδυλωτά.

Το 2010, οι επιστήμονες δημιούργησαν στο εργαστήριο «ανθεκτικά κουνούπια στην ελονοσία» (Corby-Harris et al. 2010, Windbichler et al. 2011). Σύμφωνα με εκτιμήσεις του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας η ελονοσία αποτέλεσε την αιτία θανάτου για σχεδόν 1.000.000 ανθρώπους το 2008 (<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs094/en/>). Γενετικά τροποποιημένα αρσενικά κουνούπια, που περιέχουν ένα θανατηφόρο γονίδιο, έχουν δημιουργηθεί με σκοπό την καταπολέμηση της εξάπλωσης του δάγκειου πυρετού (Wise De Valdez et al. 2011). Κουνούπια του είδους *Aedes aegypti*, του πιο σημαντικού φορέα του δάγκειου πυρετού, μειώθηκαν κατά 80% το 2010, μετά από δοκιμαστική χρήση αυτών των γενετικά τροποποιημένων κουνουπιών στα Cayman Islands (Harris et al. 2011). Περίπου 50 έως 100 εκατομμύρια άνθρωποι επηρεάζονται από Δάγκειο πυρετό κάθε χρόνο και 40.000 άνθρωποι πεθαίνουν από αυτόν.

Υδρόβιοι οργανισμοί

Κνιδόζωα όπως η Ύδρα και η θαλάσσια ανεμώνη, *Nematostella vectensis*, έχουν γίνει ελκυστικοί οργανισμοί μοντέλα για τη μελέτη της εξέλιξης της ανοσίας, καθώς και για ορισμένες άλλες αναπτυξιακές διαδικασίες. Ένα σημαντικό τεχνικό επίτευγμα ήταν η ανάπτυξη των διαδικασιών για τη δημιουργία σταθερών διαγονιδιακών Υδρών και θαλάσσιων ανεμώνων με μικροένεση εμβρύου (Wittlieb et al. 2006).

Γενετικά τροποποιημένα ψάρια χρησιμοποιούνται για την επιστημονική έρευνα και ως κατοικίδια ζώα, ενώ έχει διερευνηθεί η χρήση τους ως τροφή και ως υδάτινοι αισθητήρες ρύπανσης.

Γενετικά τροποποιημένα ψάρια χρησιμοποιούνται ευρέως στη βασική έρευνα της γενετικής και της ανάπτυξης. Δύο είδη ψαριών, τα zebrafish και medaka, είναι τα πιο συχνά γενετικά τροποποιημένα επειδή έχουν οπτικά σαφή χόρια, ταχεία ανάπτυξη, και το μονοκύτταρο έμβρυο είναι εύκολα ορατό για μικροέγχυση με διαγονιδιακό DNA (Hackett et al. 2004).

Το GloFish είναι ένα εμπορικά κατοχυρωμένο με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας (<http://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2000049150>) zebrafish τροποποιημένο γενετικά να φθορίζει με έντονο κόκκινο, πράσινο και πορτοκαλί χρώμα. Αν και δεν αναπτύχθηκε αρχικά για να είναι διακοσμητικό, έγινε το πρώτο γενετικά τροποποιημένο ζώο διαθέσιμο στο κοινό ως κατοικίδιο, όταν εισήχθη προς πώληση το 2003 (<http://www.isb.vt.edu/articles/jun0405.htm>).

Όπως είδαμε και πιο πάνω, γενετικά τροποποιημένα ψάρια έχουν δημιουργηθεί με υπερ-έκφραση της αυξητικής ορμόνης για χρήση στον κλάδο της υδατοκαλλιέργειας. Αυτό έχει οδηγήσει σε δραματική αύξηση της ανάπτυξης σε αρκετά είδη, όπως ο σολομός (Shao et al. 1992), η πέστροφα (Devlin et al. 2001) και η τιλάπια (Rahman et al. 2001).

Πολλές πανεπιστημιακές ομάδες έχουν αναπτύξει ΓΤ zebrafish για την ανίχνευση της ρύπανσης των υδάτων. Το εργαστήριο από όπου προήλθε το GloFish, που συζητήθηκε παραπάνω, αρχικά δημιουργήθηκε για να αλλάζει χρώμα με την παρουσία των ρύπων, προκειμένου να χρησιμοποιηθεί ως περιβαλλοντικός αισθητήρας (<http://r2m.nus.edu.sg/cos/o.x?c=/r2m/pagetree&func=view&rid=5858>, <http://web.archive.org/web/20011109034604/http://nus.edu.sg/corporate/research/gallery/research12.htm>). Εργαστήρια στα Πανεπιστήμια των Cincinnati και Tulane έχουν αναπτύξει ΓΤ zebrafish για τον ίδιο σκοπό (Carvan et al. 2000, Nebert et al. 2002, Mattingly et al. 2001).

Ρυθμιστικοί κανονισμοί των γενετικά τροποποιημένων οργανισμών

Η ρύθμιση των ΓΤΟ αφορά στις προσεγγίσεις και στη μέριμνα, που λαμβάνεται από τις κυβερνήσεις, για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων, οι οποίοι συνδέονται με τη χρήση της τεχνολογίας της γενετικής μηχανικής και την ανάπτυξη και απελευθέρωση των ΓΤΟ, συμπεριλαμβανομένων των γενετικά τροποποιημένων καλλιεργειών και ψαριών. Υπάρχουν διαφορές στη ρύθμιση των ΓΤΟ μεταξύ των χωρών, οι σημαντικότερες από τις οποίες προκύπτουν μεταξύ των ΗΠΑ και της Ευρώπης (Gaskell et al. 1999). Οι κανονισμοί ποικίλλουν σε μια δεδομένη χώρα, ανάλογα με την προβλεπόμενη χρήση των προϊόντων της γενετικής μηχανικής. Για παράδειγμα, μια καλλιέργεια που δεν προορίζεται για διατροφική χρήση γενικά δεν αξιολογείται από αρχές που είναι υπεύθυνες για την ασφάλεια των τροφίμων (<http://www.potatopro.com/news/2010/history-and-future-gm-potatoes>). Στην Ευρωπαϊκή Ένωση γίνεται διάκριση μεταξύ έγκρισης για καλλιέργεια στην ΕΕ και στην έγκριση για εισαγωγή και επεξεργασία. Παρά το γεγονός ότι λίγοι μόνο ΓΤΟ έχουν εγκριθεί για καλλιέργεια στην ΕΕ μια σειρά από ΓΤΟ έχουν εγκριθεί για εισαγωγή και επεξεργασία (Wesseler & Kalaitzandonakes 2011). Η καλλιέργεια των ΓΤΟ έχει προκαλέσει διαμάχες σχετικά με τη συνύπαρξη των γενετικά τροποποιημένων και μη ΓΤ καλλιεργειών. Ανάλογα με τους κανονισμούς της συνύπαρξης, τα κίνητρα για την καλλιέργεια των ΓΤ καλλιεργειών διαφέρουν (Beckmann, Soregaroli, Wesseler 2011).

Οι αντιδράσεις στους Γενετικά Τροποποιημένους Οργανισμούς

Υπάρχει μια έντονη διαμάχη σχετικά με τους ΓΤΟ, ιδίως όσον αφορά στη χρήση τους στην παραγωγή τροφίμων. Η διαφορά αφορά και εμπλέκει τους καταναλωτές, τις εταιρείες βιοτεχνολογίας, κυβερνητικές ρυθμιστικές αρχές, μη κυβερνητικές οργανώσεις και επιστήμονες. Τα βασικά θέματα της διαμάχης, που σχετίζονται με τα ΓΤ τρόφιμα, αφορούν στο κατά πόσον τα ΓΤ τρόφιμα θα πρέπει να σημαίνονται, το ρόλο των κυβερνητικών ρυθμιστικών αρχών, την επίδραση των ΓΤ καλλιεργειών στην υγεία και το περιβάλλον, την επίδραση στην ανθεκτικότητα στα φυτοφάρμακα, τις επιπτώσεις των ΓΤ καλλιεργειών στην αγροτική οικονομία, και τον ρόλο των ΓΤ καλλιεργειών στη σίτιση του παγκόσμιου πληθυσμού.

Υπάρχει επιστημονική συναίνεση στο ότι τα τρόφιμα που προέρχονται από ΓΤ καλλιέργειες δεν δημιουργούν κανένα μεγαλύτερο κίνδυνο από ότι τα συμβατικά τρόφιμα (AAAS 2012, http://ec.europa.eu/research/biosociety/pdf/a_decade_of_eu-funded_gmo_research.pdf, Ronald 2011). Δεν υπάρχουν αναφορές για αποδεδειγμένα αρνητικές επιδράσεις στον ανθρώπινο πληθυσμό από την κατανάλωση των ΓΤ τροφίμων (American Medical Association 2012, United States Institute of Medicine and National Research Council 2004, Key et al. 2008). Παρά το γεγονός ότι η σήμανση των ΓΤ προϊόντων στην αγορά είναι απαραίτητη σε πολλές χώρες, δεν απαιτείται στις Ηνωμένες Πολιτείες και δεν γίνεται διάκριση στην αγορά μεταξύ μη ΓΤ και ΓΤ τροφίμων που αναγνωρίζονται από το FDA των ΗΠΑ.

Οι πολέμιοι των γενετικά τροποποιημένων τροφίμων ισχυρίζονται ότι οι κίνδυνοι δεν έχουν επαρκώς προσδιοριστεί και ότι γίνεται ελλιπής διαχείριση και έχουν θέσει υπό αμφισβήτηση την αντικειμενικότητα των ρυθμιστικών αρχών. Ορισμένες ομάδες υποστηρίζουν ότι υπάρχουν αναπάντητα ερωτήματα σχετικά με την ύπαρξη μακροπρόθεσμων επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία από τρόφιμα που προέρχονται από ΓΤΟ και έχουν προτείνει την υποχρεωτική σήμανση (British Medical Association 2004, Public Health Association of Australia 2007) ή ένα μορατόριουμ για τα προϊόντα αυτά (Canadian Association of Physicians for the Environment 2013, <http://ideaireland.org/library/idea-position-on-genetically-modified-foods/>, <http://www.prnewswire.co.uk/news-releases/genetically-modified-maize-doctors-chamber-warns-of-unpredictable-results-to-humans-231410601.html>). Οι ανησυχίες περιλαμβάνουν και τη μόλυνση των μη ΓΤ τροφίμων (http://www.cieh.org/uploadedFiles/Core/Policy/CIEH_consultation_responses/Response_GM_final.pdf), τις επιπτώσεις των ΓΤΟ στο περιβάλλον και τη φύση (Canadian Association of Physicians for the Environment 2013, <http://www.prnewswire.co.uk/news-releases/genetically-modified-maize-doctors-chamber-warns-of-unpredictable-results-to-humans-231410601.html>), την αυστηρότητα της κανονιστικής διαδικασίας (<http://ideaireland.org/library/idea-position-on-genetically-modified-foods/>) και την εδραίωση του ελέγχου των τροφίμων σε εταιρείες που συσκευάζουν και πωλούν ΓΤΟ (Canadian Association of Physicians for the Environment 2013).

Κατανάλωση «ξένου» DNA

Μία από τις τυπικές ανησυχίες που εκφράζουν οι καταναλωτές είναι η παρουσία DNA που προέρχεται από «ξένα» είδη (ιούς και βακτήρια) και βρίσκεται στο γονιδίωμα των διατροφικών φυτών. Ωστόσο, η πρόσληψη τέτοιου «ξένου» DNA συμβαίνει κάθε φορά που τρώμε επειδή βακτήρια και ιοί είναι πάντα παρόντες στην τροφή μας. Επιπλέον, επειδή όλα τα DNA είναι και χημικές ουσίες, ο όποιος κίνδυνος συνδέεται με την κατανάλωση DNA ίσως δεν εξαρτάται από το είδος από το οποίο προέρχεται, αλλά μόνο από τις αλληλουχίες του.

Μία από τις αλληλουχίες DNA για την οποία υπήρξαν κάποια προβλήματα είναι ο 35S προαγωγέας της μωσαϊκής του ιού του κουνουπιδιού. (CaMV35Spro). Ο CaMV35Spro

ήταν ένας από τους πρώτους φυτικούς προαγωγείς που χρησιμοποιήθηκε εντατικά για να προάγει την έκφραση ξένων γονιδίων σε πολλά ΓΤ φυτά. Ενδελεχείς έρευνες απέδειξαν την ύπαρξη μιας παλίνδρομης αλληλουχίας 19 ζευγών βάσεων στον συγκεκριμένο προαγωγέα, η οποία μπορεί να λειτουργήσει ως σημείο ανασυνδυασμού μεταξύ των γονιδιωμάτων των ΓΤ φυτών και ιών που είναι εδώ και χιλιάδες χρόνια ενσωματωμένοι στο γονιδίωμα των φυτών, αλλά ανενεργοί. Θα ήταν δυνατόν οι ανασυνδυασμοί αυτοί να ενεργοποιήσουν τους ιούς και να τους καταστήσουν επικίνδυνους για τους καταναλωτές των ΓΤ φυτών. Ωστόσο, πολλοί από τους ιούς αυτούς περιέχουν θανατηφόρες μεταλλάξεις που εμποδίζουν τον πολλαπλασιασμό τους. Επιπλέον, ο ρετροϊός CaMV, και κατά συνέπεια ο προαγωγέας του, προσλαμβάνεται φυσικά από ανθρώπους και ζώα, σε μικρές αλλά συνεχόμενες δόσεις, εδώ και δεκαετίες, λόγω του ότι βρίσκεται στο 10% των λάχανων και των κουνουπιδιών. Επομένως, αν και όντως υπάρχει ο κίνδυνος της ενεργοποίησης κάποιων ανεπιθύμητων μικροοργανισμών, αυτό δεν φαίνεται να δημιουργεί ουσιαστικό πρόβλημα για οργανισμούς που εκτίθενται σε ΓΤ φυτά.

Απρόσμενες αλλοιώσεις στη διατροφική σύσταση

Επειδή η βελτιωμένη διατροφική ποιότητα αποτελεί ένα από τα δυνητικά οφέλη της γενετικής τροποποίησης των φυτών, ένα κρίσιμο ερώτημα είναι το κατά πόσο αυτές οι τροποποιήσεις μπορούν να προκαλέσουν απρόσμενες ή/και ανεπιθύμητες αλλοιώσεις στη διατροφική σύσταση του τελικού προϊόντος. Αν και το ενδιαφέρον στράφηκε κυρίως στα προϊόντα ΓΤ φυτών είναι εξίσου ενδιαφέρον να διερευνηθεί το ίδιο ερώτημα και για τα προϊόντα συμβατικών φυτών. Το κυριότερο συμπέρασμα που προέκυψε μετά από εντατικές συγκριτικές έρευνες ήταν ότι τα ποσοστά περιεκτικότητας των ωφέλιμων συστατικών των διαφόρων φυτικών ποικιλιών, συμβατικών ή τροποποιημένων, ποικίλουν σημαντικά και επηρεάζονται πολύ από τις περιβαλλοντικές συνθήκες όπως ο καιρός και η σύσταση του εδάφους. Επιπλέον, διάφορες μελέτες ως προς τη διατροφική αξία φυτικών προϊόντων (για ανθρώπους ή ζώα) απέδειξαν ότι τα διατροφικά και βιοχημικά χαρακτηριστικά των ΓΤ ποικιλιών δεν διαφέρουν σημαντικά από τα προϊόντα των μη-ΓΤ φυτών.

Πρόκληση αλλεργιών και τοξικότητα

Ένα άλλο θέμα για την ασφάλεια των προϊόντων των ΓΤ φυτών είναι εάν τα εισαγόμενα γονίδια μπορούν να αντιπροσωπεύουν αλλεργιογόνα ή/και τοξίνες ή θα μπορούσαν να έχουν απρόσμενες επιδράσεις στο μεταβολισμό του φυτού που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε έκφραση αλλεργιογόνων ή/και τοξινών. Στη συντριπτική τους πλειοψηφία τα πειραματικά δεδομένα είναι αντιφατικά ως προς την τοξικότητα, αλλά και τις δόσεις που την επιφέρουν. Παρόλα αυτά, επειδή οι περισσότερες εμπορευματοποιημένες ΓΤ τροφές προκύπτουν από την εισαγωγή γονιδίων, τα οποία προέρχονται από πηγές με άγνωστο αλλεργιογόνο δυναμικό τα βασικά ερωτήματα αφορούν την πρόκληση

αλλεργιών. Μέχρι σήμερα, μετά από χρόνια ελέγχων νέων ΓΤ τροφών, που έχουν εισαχθεί στην αγορά, πρόβλημα αλλεργίας ανακοινώθηκε μόνο σε δύο περιπτώσεις. Η πρώτη αφορά ένα προϊόν της Pioneer, την ΓΤ ποικιλία σόγιας Hi-Bred και η δεύτερη ένα προϊόν της Aventis, την ΓΤ ποικιλία καλαμποκιού Starlink. Ωστόσο, μέχρι τώρα δεν υπάρχουν πειραματικά δεδομένα που να υποστηρίζουν ότι, εγκεκριμένα ΓΤ φυτικά προϊόντα, είναι περισσότερο αλλεργιογόνα συγκρινόμενα με τα αντίστοιχα μη ΓΤ.

Οριζόντια μεταφορά γονιδίων

Μπορούν οι μικροοργανισμοί να πάρουν γενετικό υλικό από τα φυτά και να το ενσωματώσουν στο γονιδίωμά τους; Θα μπορούσε να είναι αυτός ένας τρόπος να διαδοθούν γονίδια από ΓΤ φυτά στο περιβάλλον;

Η μεταφορά γενετικού υλικού μεταξύ μη συγγενικών ειδών είναι γνωστή ως οριζόντια γονιδιακή μεταφορά. Είναι ένα φαινόμενο που συμβαίνει στα βακτήρια. Ένας τρόπος με τον οποίο θα μπορούσε να επιτευχθεί είναι η άμεση ενσωμάτωση ελεύθερου DNA από βακτηριακά κύτταρα. Αυτή η άμεση μορφή γονιδιακής μεταφοράς, για παράδειγμα στο έδαφος ή στον πεπτικό σωλήνα των ζώων, είναι το πιο κοινό προβλεπόμενο σενάριο μεταφοράς γονιδίων από φυτά. Μέχρι τώρα, οριζόντια μεταφορά γονιδίων έχει επιτευχθεί μόνο κάτω από βέλτιστες εργαστηριακές συνθήκες. Έχει επίσης αποδειχθεί ότι μεταφορά γονιδίων από φυτά σε βακτήρια είναι εξαιρετικά σπάνια και επομένως δύσκολο να αποδειχθεί. Συνεχιζόμενες έρευνες ασφάλειας ώστε να διαπιστωθεί αν γονιδιακή μεταφορά από διαγονιδιακά φυτά σε μικροοργανισμούς είναι εφικτή, αφορούν γονίδια που προσδίδουν ανθεκτικότητα σε αντιβιοτικά. Τέτοια γονίδια χρησιμοποιούνται ως δείκτες για την ανάπτυξη ΓΤ φυτών, βοηθώντας τους ερευνητές να εξακριβώσουν ποια κύτταρα ενσωμάτωσαν το ενδιαφέρον γονίδιο. ΓΤ φυτά που αναπτύσσονται με συστήματα που αφαιρούν το γονίδιο-δείκτη είναι μια σχετικά πρόσφατη εξέλιξη. Ωστόσο αποδεικνύεται ότι τέτοια συστήματα δεν είναι απαραίτητα, εφόσον η οριζόντια μεταφορά είναι μάλλον ανέφικτη σε συνθήκες καλλιέργειας. Τέλος η ανάπτυξη ΓΤ φυτών χωρίς παρόμοιους δείκτες απλά θα εξάλειφε τον κίνδυνο.

ΓΤ φυτά και βιοποικιλότητα

Η παραγωγή ΓΤ φυτών από τη φύση της συνεπάγεται την εξάλειψη των άγριων ποικιλιών από τις καλλιέργειες. Υπάρχουν πολλές διαχειριστικές στρατηγικές που χρησιμοποιούνται από τους αγρότες για να μειώσουν την ανάπτυξη άγριων φυτών, προκειμένου να μην ανταγωνίζονται τα καλλιεργούμενα ως προς τους διατροφικούς και περιβαλλοντικούς πόρους, γεγονός που θα είχε αρνητικές επιπτώσεις στην παραγωγικότητα. Όμως μικρή παρουσία άγριων φυτών στους αγρούς μπορεί να είναι χρήσιμη, εφόσον τα άγρια φυτά δημιουργούν ένα πιο ελκυστικό περιβάλλον για ζώα που καταναλώνουν τα ζιζάνια. Η χρήση ΓΤ φυτών θα πρέπει να σεβαστεί την ισορροπία αυτή. Εδώ και καιρό η έρευνα έχει στραφεί στη διερεύνηση των τρόπων μέσω των οποίων

χαρακτηριστικά των ΓΤ φυτών μπορούν να έχουν αρνητική επίπτωση στη βιοποικιλότητα.

Θεωρητικά υπάρχουν μερικοί τρόποι μέσω των οποίων η βιοποικιλότητα θα μπορούσε να κινδυνεύσει:

Εάν ΓΤ φυτά μεταβιβάσουν τα νέα χαρακτηριστικά στους άγριους συγγενείς τους, οι συγγενείς αυτοί θα μπορούσαν να αλλάξουν με τρόπο ώστε να διαδραματίσουν έναν διαφορετικό οικολογικό ρόλο.

Πρακτικές καλλιέργειας: ΓΤ φυτά για αντοχή σε ζιζανιοκτόνα έχουν διερευνηθεί ώστε να αποδειχθεί το πώς μπορούν να επηρεάσουν τα άγρια φυτά.

Επιτυχής καλλιέργεια ΓΤ φυτών με πλεονεκτήματα θα μπορούσε να οδηγήσει σε εκτεταμένη καλλιέργεια μόνο αυτών των ποικιλιών με άμεση επίπτωση την απώλεια της καλλιεργήσιμης βιοποικιλότητας. Η απώλεια αυτή θα μπορούσε να οδηγήσει σε γνωστά προβλήματα μονοκαλλιεργειών όπως σε μαζική καταστροφή καλλιεργειών σε περίπτωση εμφάνισης ασθενειών και ζιζανίων. Η στρατηγική θα ήταν η εισαγωγή των επιθυμητών χαρακτηριστικών σε μεγαλύτερο εύρος ποικιλιών του φυτού.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

American Association for the Advancement of Science (AAAS), Board of Directors (2012) Legally Mandating GM Food Labels Could Mislead and Falsely Alarm Consumers.

American Medical Association (2012) Report 2 of the Council on Science and Public Health: Labeling of Bioengineered Foods "Bioengineered foods have been consumed for close to 20 years, and during that time, no overt consequences on human health have been reported and/or substantiated in the peer-reviewed literature".

Arpino JA *et al.* (2013) Tuning the dials of Synthetic Biology. *Microbiology* **159**:1236-53. PMID 23704788

Baur A, Reski R, Gorr G (2005) Enhanced recovery of a secreted recombinant human growth factor using stabilizing additives and by co-expression of human serum albumin in the moss *Physcomitrella patens*. *Plant Biotech. J.* **3**: 331–340.

Baxter L, Bryant J, Cave CB, Milne R (2007) Recombinant growth hormone for children and adolescents with Turner syndrome. In Bryant, Jackie. *Cochrane Database Syst Rev* (1): CD003887.doi:10.1002/14651858.CD003887.pub2. PMID 17253498.

Beckmann V, Soregaroli C, Wesseler J (2011) Coexistence of genetically modified (GM) and non-modified (non GM) crops: Are the two main property rights regimes equivalent with respect to the coexistence value?" In *Genetically modified food and global welfare* edited by Colin Carter, GianCarlo Moschini and Ian Sheldon, pp 201–224. Volume 10 in Frontiers of Economics and Globalization Series. Bingley, UK: Emerald Group Publishing.

- British Medical Association Board of Science and Education (2004) Genetically modified food and health: A second interim statement.
- Bryant J *et al.* (2007) Recombinant growth hormone for idiopathic short stature in children and adolescents. In Bryant, Jackie. *Cochrane Database Syst Rev* (3): CD004440. doi:10.1002/14651858.CD004440.pub2. PMID 17636758.
- Büttner-Mainik A *et al.* (2011) Production of biologically active recombinant human factor H in *Physcomitrella*. *Plant Biotechnology Journal* **9**: 373–383.
- Cabot RA *et al.* (2001) Transgenic Pigs Produced Using in Vitro Matured Oocytes Infected with a Retroviral Vector. *Animal Biotechnology* **12**: 205–214. doi:10.1081/ABIO-100108347. PMID 11808636.
- Canadian Association of Physicians for the Environment (2013) Statement on Genetically Modified Organisms in the Environment and the Marketplace.
- Carvan MJ *et al.* (2000) Transgenic zebrafish as sentinels for aquatic pollution. *Ann N Y Acad Sci.* **919**: 133–47.
- Cavazzana-Calvo M & Fischer A (2007) Gene therapy for severe combined immunodeficiency: are we there yet? *J. Clin. Invest.* **117**: 1456–65. doi:10.1172/JCI30953. PMC 1878528. PMID 17549248.
- Coghlan A. (2013) Gene therapy cures leukaemia in eight days *The New Scientist*.
- Corby-Harris V *et al.* (2010) Activation of Akt Signaling Reduces the Prevalence and Intensity of Malaria Parasite Infection and Lifespan in *Anopheles stephensi* Mosquitoes. In Vernick, Kenneth D. *PLoS Pathogens* **6**: e1001003. doi:10.1371/journal.ppat.1001003. PMC 2904800. PMID 20664791.
- Cyranoski D. (2009) Marmoset model takes centre stage. *Nature* **459**: 492–492. doi:10.1038/459492a. PMID 19478751.
- Devlin RF *et al.* (2001) Growth of domesticated transgenic fish. *Nature* **409**: 781–782.
- EFSA (2012) Genetically modified animals. Europe: EFSA. <http://www.efsa.europa.eu/en/topics/topic/gmanimals.htm>.
- Foster K, Foster H, Dickson JG (2006). Gene therapy progress and prospects: Duchenne muscular dystrophy. *Gene Ther.* **13**: 1677–85. doi:10.1038/sj.gt.3302877. PMID 17066097.
- Gasdaska JR *et al.* (2003) Advantages of Therapeutic Protein Production in the Aquatic Plant *Lemna*. *BioProcessing Journal* Mar/Apr p.49–56.
- Gaskell G, Bauer MW, Durant J, Allum NC (1999) Worlds Apart? The Reception of Genetically Modified Foods in Europe and the U.S. *Science* **285**: 384–387. doi:10.1126/science.285.5426.384. PMID 10411496.
- Hackett PB, Ekker SE, Essner JJ (2004) *Applications of transposable elements in fish for transgenesis and functional genomics. Fish Development and Genetics* (Z. Gong and V. Korzh, eds.) World Scientific, Inc., Chapter 16, 532–580.

- Harris AF *et al.* (2011). Field performance of engineered male mosquitoes. *Nature Biotechnology* **29** : 1034–1037. doi:10.1038/nbt.2019.PMID 22037376.
- Houdebine L-M (2009) Production of Pharmaceutical by transgenic animals. *Comparative Immunology, Microbiology & Infectious Diseases* **32**: 107–121.
- Klein TM *et al.* (1987) High-velocity microprojectiles for delivering nucleic acids into living cells. *Nature* **327**: 70-73.
- International Rice Research Institute “About Golden Rice”.
- Jackson DA, Symons RH, Berg P (1972). Biochemical Method for Inserting New Genetic Information into DNA of Simian Virus 40: Circular SV40 DNA Molecules Containing Lambda Phage Genes and the Galactose Operon of *Escherichia coli*. *PNAS* **69**: 2904–2909. doi:10.1073/pnas.69.10.2904.PMC 389671. PMID 4342968.
- Jabed A, Wagner S, McCracken J, Wells DN, Laible G (2012) Targeted microRNA expression in dairy cattle directs production of -lactoglobulin-free, high-casein milk. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. doi:10.1073/pnas.1210057109.
- Jaenisch R & Mintz B (1974) Simian virus 40 DNA sequences in DNA of healthy adult mice derived from preimplantation blastocysts injected with viral DNA. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **71**: 1250–1254. Bibcode:1974PNAS...71.1250J. doi:10.1073/pnas.71.4.1250. PMC 388203. PMID 4364530.
- Jefferson RA, Kavanagh TA, Bevan MW (1987) GUS fusions: beta-glucuronidase as a sensitive and versatile gene fusion marker in higher plants. *The EMBO Journal* **6**: 3901–3907. ISSN 0261-4189. PMC 553867. PMID 3327686.
- Kawarasaki T *et al.* (2009) Profile of new green fluorescent protein transgenic Jinhua pigs as an imaging source. *Journal of Biomedical Optics* **14**: 054017. doi:10.1117/1.3241985. PMID 19895119.
- Key S, Ma JK, Drake PM (2008). Genetically modified plants and human health. *J R Soc Med* **101**: 290–8. doi:10.1258/jrsm.2008.070372. PMC 2408621. PMID 18515776.
- Kyodo (2011) Suntory to sell blue roses overseas *The Japan Times*.
- Lai L *et al.* (2002) Transgenic pig expressing the enhanced green fluorescent protein produced by nuclear transfer using colchicine-treated fibroblasts as donor cells. *Molecular Reproduction and Development* **62** (3): 300–306. doi:10.1002/mrd.10146. PMID 12112592.
- Lai L *et al.* (2006) Generation of cloned transgenic pigs rich in omega-3 fatty acids. *Nature Biotechnology* **24**: 435–436. doi:10.1038/nbt1198. PMC 2976610. PMID 16565727.
- Leader B *et al.* (2008) Protein therapeutics: a summary and pharmacological classification. *Nature Reviews Drug Discovery*. A guide to drug discovery **7**: 21–39. doi:10.1038/nrd2399. PMID 18097458.
- Lee LY, Gelvin SB (2008) T-DNA binary vectors and systems. *Plant Physiol.* **146**: 325–332. doi:10.1104/pp.107.113001. OCLC 1642351. PMC 2245830.PMID 18250230.

- Lewitt PA *et al.* (2011) AAV2-GAD gene therapy for advanced Parkinson's disease: A double-blind, sham-surgery controlled, randomised trial. *The Lancet Neurology* **10**: 309–319. doi:10.1016/S1474-4422(11)70039-4. PMID 21419704.
- Malyshev DA *et al.* (2014). A semi-synthetic organism with an expanded genetic alphabet. *Nature*. doi:10.1038/nature13314.
- Mattingly CJ *et al.* (2001) Green fluorescent protein (GFP) as a marker of aryl hydrocarbon receptor (AhR) function in developing zebrafish (*Danio rerio*). *Environ Health Perspect.* **109**: 845–9.
- Melo EO, Canavessi AMO, Franco MM, Rumpf R(2007) Animal transgenesis: state of the art and applications. *J. Appl. Genet.* **48** (1): 47–61. doi:10.1007/BF03194657. PMID 17272861.
- Nebert DW *et al.* (2002) Use of Reporter Genes and Vertebrate DNA Motifs in Transgenic Zebrafish as Sentinels for Assessing Aquatic Pollution. *Environmental Health Perspectives* **110**: A15.
- Nielsen KM (2003) Transgenic organisms—time for conceptual diversification? *Nature Biotechnology* **21**: 227–228. doi:10.1038/nbt0303-227. PMID 12610561.
- Nosowitz D (2011) Suntory Creates Mythical Blue (Or, Um, Lavender-ish) Rose. *Popular Science*.
- Panesar P *et al.* (2010) *Enzymes in Food Processing: Fundamentals and Potential Applications*, Chapter 10, I K International Publishing House, ISBN 978-93-80026-33-6.
- Park F (2007) Lentiviral vectors: are they the future of animal transgenesis? *Physiol. Genomics* **31**: 159–173. doi:10.1152/physiolgenomics.00069.2007. OCLC 37367250. PMID 17684037.
- Persons DA, Nienhuis AW (July 2003). "Gene therapy for the hemoglobin disorders". *Curr. Hematol. Rep.* **2**: 348–55. PMID 12901333.
- Phys.Org website (2005) Plant gene replacement results in the world's only blue rose.
- PhysOrg website (2012) "Engineering algae to make complex anti-cancer 'designer' drug
- Pipe SW (2008) Recombinant clotting factors. *Thromb. Haemost.* **99**: 840–850. doi:10.1160/TH07-10-0593. PMID 18449413.
- Prins TW & Kok EJ (2010) Food and feed safety aspects of cisgenic crop plant varieties *Report 2010.001, Project number: 120.72.667.01, RIKILT – Institute of Food Safety, Netherlands.*
- Public Health Association of Australia (2007) Genetically Modified Foods PHAA AGM 2007
- Rahman MA *et al.* (2001) Growth and nutritional trials on transgenic Nile tilapia containing an exogenous fish growth hormone gene. *Journal of Fish Biology* **59**: 62–78.
- Randall S *et al.* (2008) Genetically Modified Pigs for Medicine and Agriculture. *Biotechnology and Genetic Engineering Reviews* **25**: 245–266.

- Ronald P (2011) Plant Genetics, Sustainable Agriculture and Global Food Security". *Genetics* **188** (1): 11–20. doi:10.1534/genetics.111.128553.
- Root C (2007) *Domestication*. Greenwood Publishing Groups.
- Rosenecker J, Huth S, Rudolph C (2006) Gene therapy for cystic fibrosis lung disease: current status and future perspectives. *Current Opinion in Molecular Therapeutics* **8** (5): 439–45. PMID 17078386.
- Ruiz-Lopez, Noemi *et al.* (2013) Successful high-level accumulation of fish oil omega-3 long chain polyunsaturated fatty acids in a transgenic oilseed crop, *The Plant Journal*, doi:10.1111/tpj.12378.
- Sanford JC *et al.* (1987) Delivery of substances into cells and tissues using a particle bombardment process. *Journal of Particulate Science and Technology* **5**: 27-37.
- Sasaki E *et al.* (2009) Generation of transgenic non-human primates with germline transmission. *Nature* **459**: 523–527. PMID 19478777.
- Sateesh MK (2008) *Bioethics And Biosafety*. I. K. International Pvt Ltd. pp. 456–. ISBN 978-81-906757-0-3.
- Sathasivam K, Hobbs C, Mangiarini L *et al.* (1999) Transgenic models of Huntington's disease. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* **354**: 963–9. doi:10.1098/rstb.1999.0447. PMC 1692600. PMID 10434294.
- Sayre R *et al.* (2011) The BioCassava Plus Program: Biofortification of Cassava for Sub-Saharan Africa. *Annual Review of Plant Biology* **62**: 251–272. doi:10.1146/annurev-arplant-042110-103751. PMID 21526968.
- Schatten G & Mitalipov S (2009) Developmental biology: Transgenic primate offspring. *Nature* **459**: 515–516. doi:10.1038/459515a.PMC 2777739. PMID 19478771.
- Schouten H, Kren F, Jacobsen E (2006) Cisgenic plants are similar to traditionally bred plants: international regulations for genetically modified organisms should be altered to exempt cisgenesis. *EMBO Reports* **7**: 750–753. doi:10.1038/sj.embor.7400769. PMC 1525145. PMID 16880817.
- Shaista N *et al.* (2009) Transgenic multivitamin corn through biofortification of endosperm with three vitamins representing three distinct metabolic pathways *PNAS* **27**, doi: 10.1073/pnas.0901412106.
- Shao JD *et al.* (1992) Growth Enhancement in Transgenic Atlantic Salmon by the Use of an 'All Fish' Chimeric Growth Hormone Gene Construct. *Nature Biotechnology* **10**: 176–181.
- Spencer L, Humphries J, Brantly M, (2005) Antibody Response to Aerosolized Transgenic Human Alpha1-Antitrypsin. *New England Journal of Medicine* **352**: 2030-2031.
- Summers R (2013) Bacteria churn out first ever petrol-like biofuel. *New Scientist*.

- United States Institute of Medicine and National Research Council (2004) Safety of Genetically Engineered Foods: Approaches to Assessing Unintended Health Effects. National Academies Press. Free full-text. National Academies Press. pp R9-10:
- Walsh G (2005) Therapeutic insulins and their large-scale manufacture. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **67**: 151–159. doi:10.1007/s00253-004-1809-x. PMID 15580495.
- Wesseler J & Kalaitzandonakes N (2011: Present and Future EU GMO policy". In Arie Oskam, Gerrit Meesters and Huib Silvis (eds.), *EU Policy for Agriculture, Food and Rural Areas*. Second Edition, pp. 23–323 – 23-332. Wageningen: Wageningen Academic Publishers
- Windbichler N *et al.* (2011). "A synthetic homing endonuclease-based gene drive system in the human malaria mosquito". *Nature* **473**: 212–215. doi:10.1038/nature09937. PMC 3093433. PMID 21508956.
- Wise De Valdez MR *et al.* (2011) Genetic elimination of dengue vector mosquitoes. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **108**: 4772. doi:10.1073/pnas.1019295108.
- Wittlieb J, Khalturin K, Lohmann JU, Anton-Erxleben F, Bosch TCG (2006) Transgenic Hydra allow in vivo tracking of individual stem cells during morphogenesis. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* **103**: 6208–6211. doi:10.1073/pnas.0510163103. PMC 1458856. PMID 16556723.
- Wongsrikeao P, Saenz D, Rinkoski T, Otoi T, Poeschla E (2011) Antiviral restriction factor transgenesis in the domestic cat. *Nature Methods* **8** (10): 853–9. doi:10.1038/nmeth.1703. PMID 21909101.
- Zohary D, Hopf M, Weiss E (2012) *Domestication of Plants in the Old World: The origin and spread of plants in the old world*. Oxford University Press.