

Βιοτεχνολογία:

Μια πολύ παλιά και πολύ σύγχρονη τεχνολογία αιχμής

του Βασίλη Ι. Μακρή

1. Εισαγωγή

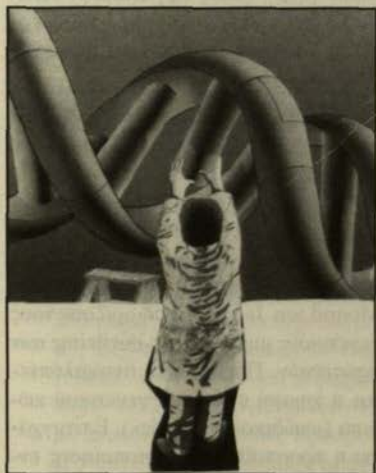
Η Βιοτεχνολογία, η Μικροηλεκτρονική και η Πληροφορική μαζί με την Τεχνολογία των Υλικών, θεωρούνται σήμερα ως οι τεχνολογίες αιχμής. Η πρώτη από αυτές είναι η πιο παλιά. Είναι τόσο παλιά όσο η ιστορία του σκεπτόμενου ανθρώπου. Είναι όμως και τόσο σύγχρονη όσο οι τελευταίες επιστημονικές ανακαλύψεις. Αποτελεί μια διεπιστημονική δραστηριότητα που της έχουν δοθεί πολλοί ορισμοί. Ο πλέον ίσως επιτυχής ορίζει τη Βιοτεχνολογία ως την εφαρμογή των βιολογικών οργανισμών, συστημάτων και διαδικασιών στις βιομηχανίες παραγωγής αγαθών και υπηρεσιών (1). Ο ορισμός αυτός δείχνει ότι η τεχνολογία αυτή, έχει σαφώς εφηρμοσμένους στόχους με κύριους άξονες τη Μοριακή Βιολογία, Μικροβιολογία, Βιοχημεία και Χημική Μηχανική, περιλαμβάνει δε διεργασίες που πραγματοποιούνται από μικροβιακά, ζωικά ή φυτικά κύτταρα, υποκυτταρικά οργανίδια και ενεργά βιομόρια.

Ο κεντρικός στόχος της βιοτεχνολογίας είναι η επέμβαση στα βιολογικά

συστήματα με σκοπό τον έλεγχο της λειτουργίας τους προς επιθυμητές παραγωγικές κατευθύνσεις. Πέρα από τις φιλοσοφικές, ηθικές, θρησκευτικές, και κοινωνικές επιπτώσεις που μπορεί να έχει μια τέτοια επέμβαση, το βιολογικό κύτταρο θεωρείται ότι είναι, από καθαρά μηχανιστική άποψη, μια εκπληκτική «μικροσκοπική μηχανή», ένας θαυμαστός «μικροσκοπικός αντιδραστήρας» που λειτουργεί με ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας, ενώ παρουσιάζει τεράστια εξειδίκευση στη σύνθεση και μετατροπή πολύπλοκων χημικών προϊόντων και ενώσεων. Ενώσεων, που είναι αδύνατο να συντεθούν με τις σημερινές γνώσεις στο χημικό εργαστήριο και προϊόντων, πολλά από τα οποία είναι ευρύτατης κατανάλωσης και μερικά υψηλής προστιθέμενης αξίας. Αλλωστε, το μισό περίπου της παγδόσματος παραγωγής αγαθών έχει κυτταρική προέλευση ενώ το βιολογικό κύτταρο παίζει πρωταγωνιστικό ρόλο στην περιβαλλοντική και οικολογική ισορροπία μέσα από τους διάφορους «κύκλους βιομετατροπών», με αποτέλεσμα να βιοαποικοδομούνται επικίνδυνες τοξικές και επιβλαβείς ουσίες. Και σαν τέτοια τουλάχιστον «μηχανή» ενδιαφέρει πρώτιστα το Χημικό Μηχανικό.

2. Ιστορική εξέλιξη της βιοτεχνολογίας

Η διαχρονική επιστημονική ταυτότητα της βιοτεχνολογίας δείχνει πάντοτε και αποκλειστικά, προσπάθειες για προγραμματισμένους τεχνολογικούς χειρισμούς των βιολογικών συστημάτων. Οι χειρισμοί αυτοί, καθώς και έννοιες όπως ο ορισμός και η προέλευση των συστημάτων αυτών, αποτέλεσαν και συνεχίζουν να αποτελούν πεδία συζήτησεων και αντιπαραθέσεων. Αντιπαραθέσεων, που δεν περιορίζονται μόνο στα πλαίσια της επιστημονικής κοινότητας αλλά μεταφέρονται και σε



Ο Β. Ι. Μακρής είναι καθηγητής στο Τμ. Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π.

φιλοσοφικούς, κοινωνικούς και πολιτικούς χώρους. Και αυτό γιατί οι κατά καιρούς βιολογικές θεωρίες για την προέλευση και εξέλιξη της ζωής καθώς και την κληρονομικότητα, παρήγαγαν άμεσα κοινωνιολογικές ιδεολογίες. Δεν είναι τυχαίο το γεγονός ότι αντικείμενο έντονων συζητήσεων της επιστημονικής κοινότητας, αποτέλεσε και συνεχίζει να αποτελεί η τεχνολογία που παρήγαγε η σύγχρονη επιστημονική σκέψη και που αναφέρεται στην επέμβαση στο κληρονομικό υλικό των βιολογικών οργανισμών. Οι σπουδαιότερες ιστορικές στιγμές στην εξέλιξη της βιοτεχνολογίας, πολλές από τις οποίες αποτέλεσαν σταθμούς (2) που τιμήθηκαν με πάνω από 30 βραβεία Nobel, είναι οι ακόλουθες :

6000 - 1 π. Χ. Αλκοολική και οξική ζύμωση αμυλούχων καρπών και χυμών φρούτων. Ζυμωμένα τρόφιμα.

1 - 1830. Βιομηχανική παραγωγή αλκοολούχων ποτών από οίνο. Ανακάλυψη των κυττάρων από τον Leeuwenhoek και των πρωτεϊνών από τον Muller.

1830 - 1900. Ο Pasteur ανακαλύπτει τη γαλακτική ζύμωση. Ο Buchner θεμελιώνει τη Βιοχημεία και ανακαλύπτει τα ένζυμα της αλκοολικής ζύμωσης. Πρώτες βιομηχανικές εγκαταστάσεις καθαρισμού αποβλήτων πόλεων.

1900 - 1953. Βιομηχανική παραγωγή χημικών ουσιών με μικροβιακή ζύμωση. Ο Morgan προτείνει τη χρωμοσωματική θεωρία της κληρονομικότητας. Ανακάλυψη της πενικιλίνης από τον Fleming. Καλλιέργεια ζώικών και φυτικών ιστών εκτός οργανισμού. Ανάπτυξη διεργασίας βυθισμένης καλλιέργειας μικροοργανισμών για βιομηχανική παραγωγή ουσιών

1953 - 1970. Τεράστια σημασία ανακάλυψη της δομής του DNA από τους Watson και Crick. Ανακάλυψη σταθμός για τη σύγχρονη Βιοτεχνολογία. Ραγδαίες εξελίξεις στο πεδίο της Μοριακής Βιολογίας. Ανακάλυψη των μηχανισμών σύνθεσης DNA, RNA. Οι Monod και Jacob προσδιορίζουν τους γενετικούς μηχανισμούς σύνθεσης των πρωτεϊνών. Παράλληλα, ανακαλύπτεται η χημική φύση του γενετικού κώδικα («κώδικας της ζωής»). Επιτυγχάνει η προσπάθεια αινητοποίησης ενζύμων.

1970 - Σήμερα. Ανακάλυψη των περιοριστικών ενζύμων και σύνθεση για πρώτη φορά ολόκληρου γονιδίου. Ανάπτυξη τεχνικών ανασυνδυασμού DNA. Βιομηχανική εφαρμογή αινητοποιημένων κυττάρων και ενζύμων. Υβριδισμός και σύγκριση DNA ανθρώπου με εκείνων του γορίλα και χιμπατζή (μόνο 1% διαφορά κατά τη διάρκεια της εξέλιξης). Επιτυχής κλωνοποίηση γονιδίων από ένα είδος κυττάρου σε άλλο. Έκφραση των γονιδίων παραγωγής της ορμόνης σωματοτροπίνης που μεταφέρθηκαν από κύτταρα θλαστικών σε βακτήρια. Παραγωγή ανθρώπινης ινσουλίνης με μεθόδους Γενετικής Μηχανικής από μικροοργανισμούς. Κατασκευή συσκευής σύνθεσης τεχνητών γονιδίων. Βιομηχανική παραγωγή των πρώτων ενεργών βιομορίων (εμβόλια ορμόνες) με μεθόδους Γενετικής Μηχανικής. Σημαντικές βελτιώσεις των τεχνικών παραγωγής (βιοαντιδραστήρες) και ανάκτησης βιομορίων. Δημοουργία Τραπεζών Πληροφοριών γονιδιακής σύνθεσης βιολογικών οργανισμών. Κλωνοποίηση DNA από Αιγυπτιακή μύμη. Πολυσημαντική διεθνής δραστηριότητα σε εφαρμοσμένους τομείς της Βιοτεχνολογίας (γονιδιακή θεραπεία ασθενειών, σχεδιασμός ειδικών ενεργών βιομορίων και φαρμάκων, βελτίωση της ποσότητας και ποιότητας τροφίμων, βιομηχανική παραγωγή ειδικών ουσιών, βιοκαταλυτών και βιοκαυσίμων, βελτίωση της γεωργικής και κτηνοτροφικής παραγωγής, βιοαποικοδόμηση τοξικών και επιβλαβών ουσιών, βελτίωση της οικολογικής ισορροπίας).

3. Κλασική και νέα βιοτεχνολογία

Οι ραγδαίες εξελίξεις που συνέβησαν και συμβαίνουν στη βιολογία κατά το δεύτερο ήμισυ του αιώνα που διανύουμε (3) είχαν, για λόγους ιστορικούς αλλά και επιστημονικούς, ως αποτέλεσμα, το διαχωρισμό της βιοτεχνολογίας σε κλασική και νέα.

3α. Κλασική βιοτεχνολογία

Η αρχή της χάνεται στα βάθη του ιστορικού χρόνου. Στόχοι της είναι η δημιουργία και εφαρμογή επιστημονικής γνώσης σε επίπεδο βιομορίου, κυτ-

τάρου, οργανισμού για τη βελτίωση της ποσότητας και ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων και υπηρεσιών. Κύτταρα (μικροβιακά, φυτικά, ζώικά) υφίστανται τυχαίες αλλαγές (μεταλλάξεις) στο γενετικό τους υλικό (DNA) και επιλέγονται εκείνα τα κύτταρα ή οργανισμοί που εμφανίζουν τις επιθυμητές ιδιότητες. Με τον τρόπο αυτό και μέσα από τους αιώνες, δημιουργήθηκε η κολοσσιαία γνώση της κλασικής βιοτεχνολογίας που άρχισε με την παραγωγή ζυμωμένων τροφίμων (ψωμί, τυρί, ζυμωμένα λαχανικά, κλπ.) και ποτών (κρασί, μπίρα, αλκοολούχα ποτά, κλπ.), συνεχίστηκε με την παραγωγή διαφόρων φαρμάκων (αντιβιοτικά, ορμόνες, βιταμίνες, κλπ.), χημικών ουσιών ευρείας κατανάλωσης (αιθανόλη, ακετόνη, κλπ.), βιοκαταλυτών (ενζύμων) και έφθασε μέχρι το βιολογικό καθαρισμό των αστικών και βιομηχανικών αποβλήτων, τη διευκόλυνση παραλαβής μετάλλων και τη βελτίωση της οικολογικής ισορροπίας (αναγέννηση μολυσμένων εδαφών, ελάττωση του φορτίου του περιβάλλοντος από τοξικές ουσίες).

3β. Νέα βιοτεχνολογία

Η ειδοποιός διαφορά μεταξύ κλασικής και νέας βιοτεχνολογίας, έγκειται στο γεγονός ότι τα προϊόντα της δεύτερης είναι αποτέλεσμα προγραμματισμένων αλλαγών στο κληρονομικό υλικό, το οποίο μπορούμε σήμερα, σε μεγάλο βαθμό να «διαβάσουμε» και να χειριστούμε κατάλληλα. Τα κυριότερα επιτεύγματα πάνω στα οποία στηρίχτηκε η νέα αυτή τεχνολογία, είναι :

- Βασικές ανακαλύψεις, σχετικές με την αποκωδικοποίηση του φαινομένου της κληρονομικότητας μέσα από τη δομή του γενετικού υλικού.
- Αλματώδης ανάπτυξη των τεχνικών χειρισμού του γενετικού υλικού (γενετική μηχανική) και τροποποίησης πολύπλοκων βιομορίων όπως πρωτεΐνες (πρωτεϊνική μηχανική).
- Σημαντική βελτίωση των τεχνικών επίλυσης και ανάπτυξης κυττάρων υπό ελεγχόμενες συνθήκες (βιοαντιδραστήρες) και ανάκτησης των πολύπλοκων προϊόντων τους.
- Εντυπωσιακή βελτίωση της μετάδοσης επιστημονικών πληροφοριών και πρόσβασης στις τελευταίες (τράπεζες πληροφοριών) με τη βοήθεια της πληροφορικής.

Αξίζει τον κόπο να δώσουμε μερικές απλές έννοιες για να εκτιμηθεί κατάλληλα το μέγεθος των δυνατοτήτων και οι προοπτικές που διαγράφονται στον τομέα αυτό. Όλοι οι βιολογικοί οργανισμοί αποτελούνται από μικροσκοπικά κύτταρα. Οι *ιοί*, αν και μικρότεροι από τα κύτταρα, θεωρούνται μάλλον κρύσταλλοι που αναπαράγονται μόνο μέσα στα κύτταρα. Με τη βοήθεια της γενετικής μηχανικής είναι δυνατή η αλλαγή του κληρονομικού υλικού με στόχο το σχεδιασμό βιολογικών κυττάρων ή οργανισμών με επιθυμητά χαρακτηριστικά. Το κληρονομικό υλικό, ως γνωστό, μεταφέρει τις ιδιότητες από γενεά σε γενεά. Αποτελείται από DNA (δεοξυ-ριβόζο-νουκλεϊκό οξύ), ένα πολύπλοκο και τεράστιο μόριο που έχει τη μορφή διπλής έλικας (Σχ. 1). Τα δομικά στοιχεία του μορίου αυτού που ενδιαφέρουν περισσότερο, είναι τέσσερις οργανικές βάσεις, η αδενίνη (Α), η γουανίνη (Γ), η κυτοσίνη (C) και η θυμίνη (Τ), που ενώνονται σε δύο ζεύγη υπό μορφή γέφυρας (Α-Τ, Γ-C) μεταξύ των δύο ελίκων του DNA, πάντα με τον ίδιο τρόπο. Τμήματα DNA ορισμένου μήκους αποτελούν τα *γονίδια*. Ένα γονίδιο καθορίζει τη δομή μίας πρωτεΐνης. Οι πρωτεΐνες παίζουν πρωτεύοντα ρόλο στη δομή, λειτουργία και συμπεριφορά, τόσο του κυττάρου όσο και ολόκληρου του οργανισμού.

Με μεθόδους γενετικής μηχανικής είναι δυνατή η μεταφορά γονιδίων από το κύτταρο ενός οργανισμού (δότης) στο κύτταρο άλλου (δέκτης), με αποτέλεσμα ο δεύτερος οργανισμός να αποκτήσει καινούργιες ιδιότητες. Τις νέες αυτές ιδιότητες μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για τη μαζική παραγωγή προϊόντων από το δέκτη. Για να εκτιμηθεί το μέγεθος και η σημασία αυτής της δυνατότητας, στο Σχήμα 2 απεικονίζεται συνοπτικά η διαδικασία μαζικής παραγωγής ανθρώπινης ινσουλίνης, της ορμόνης που λείπει από τους διαβητικούς, από μικροβιακά κύτταρα σε βιοαντιδραστήρες. Τα τελευταία κύτταρα απόκτησαν τη μοναδική αυτή ιδιότητα με τη μεταφορά του σχετικού γονιδίου από κύτταρα παγκρέατος του ανθρώπου.

4. Προοπτικές

Η ανάπτυξη της νέας βιοτεχνολογίας αποτέλεσε το κίνητρο για την πραγματοποίηση της λεγόμενης *βιο-βιομηχανικής* (εμβιο-βιομηχανικής) επανάστασης. Η ιδιομορφία των *βιο-βιομηχανιών* (εμβιο-βιομηχανιών), έγκειται στο γεγονός ότι στηρίζονται περισσότερο στην επένδυση γνώσης και λιγότερο κεφαλαίων και εργασίας. Με τον τρόπο αυτό η νέα βιοτεχνολογία έχει αναπτυχθεί στις χώρες που έχουν μακρά ερευνητική παράδοση και ξοδεύουν σημαντικά ποσά για έρευνα. Στις ΗΠΑ δεκάδες μικρές, κυρίως εταιρίες, έχουν δημιουργηθεί αντλώντας κεφάλαια από το κράτος και ιδιώτες. Στην Ιαπωνία, το κράτος υιοθετείται έντονα την ανάπτυξη τέτοιων εταιριών, οι οποίες στο πεδίο της ενζυμικής και μικροβιακής τεχνολογίας έχουν το προβάδισμα διεθνώς. Η Ευρώπη έχει ισχυρή παράδοση στη βιολογική έρευνα, η οποία βρίσκει εφαρμογή μέσα από τη δημιουργία μικρών εθνικών και πολυεθνικών εταιριών στα πλαίσια της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Πρόσφατα, στη Λευκή Βίβλο του Delors υπογραμμίζεται η προτεραιότητα που δίδεται στη νέα βιοτεχνολογία (4).

Η βιοτεχνολογία, λόγω της πολυπλοκότητας του αντικειμένου της, το οποίο, εκτός των επιστημονικών και τεχνολογικών δυσκολιών, έχει σοβαρές

ΠΙΝΑΚΑΣ 1:
Προϊόντα της «Νέας Βιοτεχνολογίας»

ΠΡΟΪΟΝ	ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΔΕΓΡΑ ΤΟ 2000 (ΔΙΣ. ΔΟΛΛΑΡΙΑ)
ΕΝΕΡΓΕΙΑ	17
ΤΡΟΦΙΜΑ	17
ΦΑΡΜΑΚΕΥΤΙΚΑ	11
ΧΗΜΙΚΑ	13
ΔΙΑΦΟΡΑ (περιβάλλον, βιοαποικοδομησιμα υλικά, κλπ.)	22
ΣΥΝΟΛΟ	80

κοινωνικές επιπτώσεις (π.χ. η άδεια κυκλοφορίας ενός τροφίμου ή φαρμάκου που παρήχθη με μεθόδους γενετικής μηχανικής, χρειάζεται μακροχρόνια και πολυέξοδη αποδεικτική διαδικασία ότι είναι ασφαλές), δεν γνώρισε τη γρήγορη οικονομική ανάπτυξη των άλλων τεχνολογιών αιχμής. Παρ' όλα αυτά, οι προοπτικές διαγρά-

φονται λαμπρές (3), όπως φαίνεται στον Πίνακα 1.

Συνοπτικά, οι προοπτικές της βιοτεχνολογίας γενικά, και της νέας βιοτεχνολογίας ειδικότερα, στους διάφορους τομείς εφαρμογής της (3), είναι οι εξής:

4α. Φάρμακα - Ιατρική

Η κλασική βιοτεχνολογία δημιούργησε μεγάλης σημασίας φάρμακα, όπως τα αντιβιοτικά. Υπολογίζεται ότι πάνω από επτά εκατομμύρια ανθρώπινες ζωές σώθηκαν από τα αντιβιοτικά κατά το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο. Η νέα βιοτεχνολογία, ανοίγει πολύ σημαντικούς ορίζοντες στον τομέα των φαρμάκων και της ιατρικής.

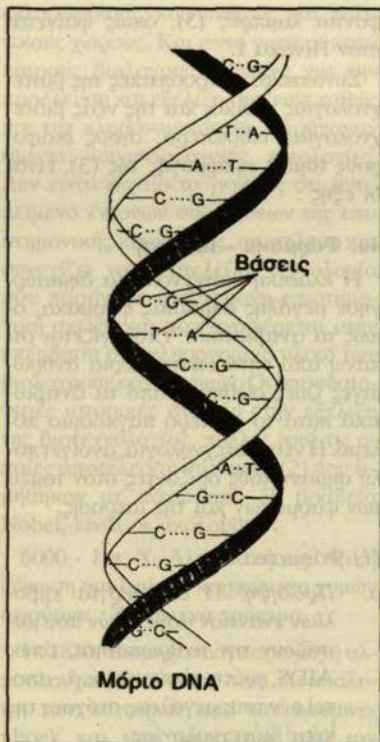
(1) Φάρμακα

α. *Πρόληψη*: Η δημιουργία εμβολίων εναντίον ασθενειών που μαστιάζουν την ανθρωπότητα, όπως AIDS, γρίπη, ελονοσία, κ.ά., αποτελούν τους μεγαλύτερους στόχους της νέας βιοτεχνολογίας.

β. *Θεραπεία*: Καινούργιοι δρόμοι έχουν ανοιχτεί με πολύ ευοίωνες προοπτικές. Ορμόνες όπως η σωματοτροπίνη, η ινσουλίνη, η ορμόνη ανάπτυξης κ.α., των οποίων η μαζική παραγωγή αποτελούσε τεράστιο πρόβλημα, παράγονται σήμερα από μικροοργανισμούς που τροποποιήθηκαν με γενετική μηχανική. Ειδικά φάρμακα που δρουν επιλεκτικά στο αίτιο της ασθένειας (π.χ. καρκινικά κύτταρα) όπως τα μονοκλωνικά αντισώματα (Σχ. 3), αποτελούν σταθμούς στη φαρμακολογία.

(2) Ιατρική

α. *Πρόληψη*: Οι προοπτικές πρόληψης ασθενειών είναι εξαιρετικά ευοίωνες. Τα αντισώματα ή ακόμα και το ίδιο το DNA, αποτελούν ισχυρά εργαλεία σύγχρονων μεθόδων διάγνωσης ασθενειών και πρόληψής τους. Πληθώρα διαγνωστικών παρασκευασμάτων που παράγονται με βιοτεχνολογικές μεθόδους, χρησιμοποιούνται ευρέως στην πρόγνωση σοβαρότατων ασθενειών (AIDS, νεογνά με μεσογειακή αναιμία, προσβολές από ιούς, κληρονομικές ασθένειες, κ.ά.), στις ανάλυσεις ρου-



τίνας (εγκυμοσύνη, ζάχαρο, χοληστερίνη, ουρία, κ.ά.) κ.λ.π.

- β. **Θεραπεία:** Η θεραπεία σοβαρών ασθενειών, στηρίζει πολλές ελπίδες στη νέα βιοτεχνολογία. Ο καρκίνος και οι καρδιακές παθήσεις, όπως το έμφραγμα, αποτελούν τα αίτια θανάτου του μισού και πλέον πληθυσμού των αναπτυγμένων χωρών. Τα μονοκλωνικά αντισώματα και η ιντερφερόνη στην πρώτη πάθηση, και ειδικά φάρμακα που αποφοράζουν τα αγγεία στη δεύτερη, αμφότερα παραγόμενα με γενετική μηχανική, αποτελούν θετικές θεραπευτικές προοπτικές. Ειδικά ένζυμα που λείπουν από πάσχοντες από κληρονομικές ασθένειες παράγονται με τη νέα βιοτεχνολογία. Εξαιρετικά αποτελέσματα σε περιπτώσεις αναμίας έδωσε η χρήση μιας ερυθροπροτεΐνης που παράγεται στο σπλήνα και ελέγχει τη δημιουργία ερυθρών αιμοσφαιρίων. Η ουσία αυτή λείπει από αναμιακούς και είναι δυνατόν να παραχθεί με γενετική μηχανική. Εξάλλου, οι νέες αντιλήψεις εμφύτευσης ανθρωπίνων ιστών, καλλιεργούμενων εκτός οργανι-

σμού σε βιοαντιδραστήρες με βιοτεχνολογική μεθοδολογία, αποτελεί νέα προσέγγιση στον τομέα μεταμόσχευσης ανθρωπίνων οργάνων.

- γ. **Κληρονομικές ασθένειες.** Στον τομέα των κληρονομικών ασθενειών, των οποίων ο αριθμός υπερβαίνει τις 2.800 και ένας στους δέκα ανθρώπους έχει ή θα αναπτύξει κάποια από τις ασθένειες αυτές, η γενετική μηχανική δημιουργεί πολλές ελπίδες. Από ένα αστρονομικό αριθμό γενετικών πληροφοριών στο ανθρώπινο κύτταρο (περίπου έξι δισεκατομμύρια ζεύγη βάσεων στο DNA περιέχουν όλες τις κληρονομικές πληροφορίες) ο καθένας μας κουβαλά τουλάχιστον μια ντουζίνα μεταλλαγμένων (λανθασμένων) βάσεων σε διάφορα γονίδια. Η σημασία αυτής της διαπίστωσης μπορεί να εκτιμηθεί καλύτερα από το γεγονός ότι μια τέτοια αλλαγή σε ζωτικής σημασίας γονίδια, όπως εκείνο στο οποίο είναι κωδικοποιημένη η γενετική πληροφορία της αιμοσφαιρίνης, προκαλεί μεσογειακή αναιμία. Για τους λόγους αυτούς, έχει αναληφθεί πρόσφατα μια γιγαντιαία διεθνής προσπάθεια, να «διαβαστούν» και να χαρτογραφηθούν όλες αυτές οι πληροφορίες. Η προσπάθεια αυτή, που υπολογίζεται να τελειώσει το 2005, στοχεύει στην βαθύτερη γνώση της λειτουργίας του ανθρώπινου οργανισμού και του φαινομένου της ζωής και χρησιμοποιεί υπερσύγχρονες βιοχημικές αναλυτικές τεχνικές και μεγάλα ηλεκτρονικά υπολογιστικά και ρομποτικά συστήματα. Η γνώση αυτή θα κάνει ένα όνειρο πραγματικότητα, δηλαδή τη ριζική θεραπεία κληρονομικών ασθενειών με αντικατάσταση «λανθασμένων» από σωστά γονίδια (γονιδιακή θεραπεία). Αρκεί βέβαια η προσπάθεια αυτή να κινείται αυστηρά στα πλαίσια των νόμων και της ηθικής, σεβόμενη την ανθρώπινη αξιοπρέπεια και ελευθερία.

4β. Γεωργία - Τρόφιμα

Σε έναν κόσμο όπου τα 2/3 του πληθυσμού του υποσιτίζονται, η βιοτεχνολογία έχει να επιτελέσει τεράστιο έργο στην :

- (1) **Πρωτογενή γεωργική παραγωγή**
- α. **Νέες ποικιλίες φυτών.** Η κλασική μεθοδολογία δημιουργίας νέων ποικιλιών φυτών με επιθυμητές ιδιότητες, βασίζεται στη γενετική μηχανική ένα εξαιρετικά ισχυρό εργαλείο. Φυτά με πρωτόγνωρες ιδιότητες είναι δυνατόν να δημιουργηθούν όπως ποικιλίες εγκλιματιζόμενες σε αντίξοες κλιματολογικές συνθήκες, σε άγονα εδάφη μέσω αυτολίπανσης, ανθεκτικές στις ασθένειες και στην έλλειψη επαρκούς νερού, με υψηλές αποδόσεις, κ.λ.π.
- β. **Νέες φυλές ζώων.** Παραγωγικά ζώα είναι δυνατόν να βελτιωθούν από άποψη ποσοτικής και ποιοτικής παραγωγής κτηνοτροφικών προϊόντων (γάλα, κρέας, κλπ), ενώ είναι εφικτή η δημιουργία φυλών ανθεκτικών στις ασθένειες, επιδημικές και μη.
- (2) **Τρόφιμα**
- α. **Βελτίωση ποιότητας.** Επιλεκτική μεταφορά γονιδίων και προγραμματισμένη επέμβαση στο γενετικό υλικό παραγωγικών φυτών και ζώων είναι δυνατόν να μεταβάλλουν δραματικά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των τροφίμων που παράγονται από αυτά. Είναι δυνατή η δημιουργία ποικιλιών φυτών με επιθυμητές ιδιότητες καρπών (π.χ. σιτηρά με ορισμένη σχέση αμύλου και αμυλοπηκτίνης, φρούτα με αυξημένη περιεκτικότητα βιταμινών και λιγότερο ευαίσθητα στη σήψη). Επίσης, ζωικά τρόφιμα με καθορισμένη σύσταση (π.χ. αγελαδινό γάλα όμοιο με το ανθρώπινο μητρικό, κ.λ.π.), δεν αποτελούν πλέον ανέφικτη πραγματικότητα.
- β. **Τρόφιμα του μέλλοντος.** Βρώσιμα είδη μικροοργανισμών υψηλής θρεπτικής αξίας, αποτελούν εφικτούς στόχους της βιοτεχνολογίας. Τα μανιτάρια είναι ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα. Οι μικροοργανισμοί, ως γνωστόν, αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της

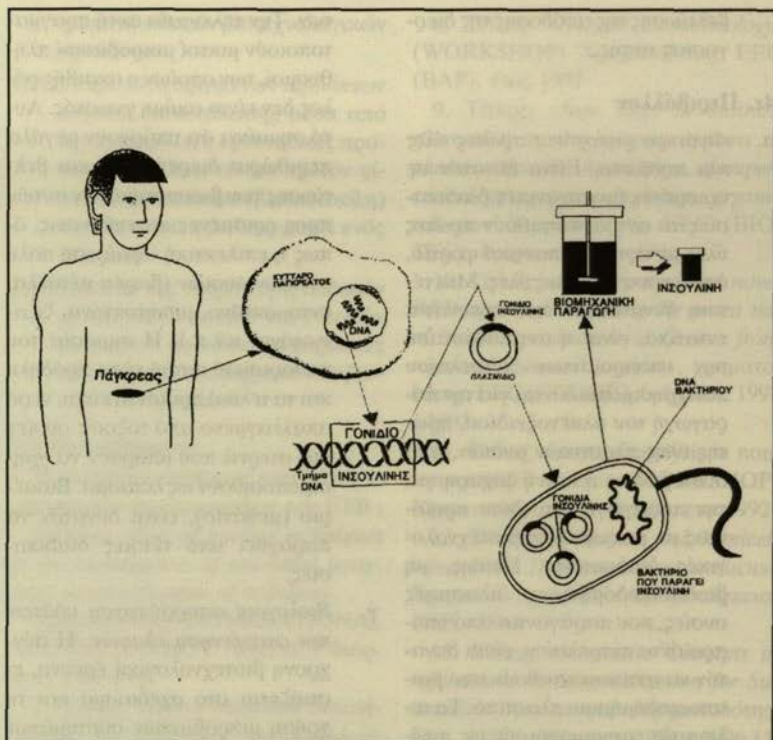
ανθρώπινης διατροφής, αφού σ' αυτούς οφείλεται η δημιουργία πολλών τροφίμων (ψωμί, τυρί, γιαούρτι, κρασί, μπίρα, κλπ). Γενετικά τροποποιημένοι μικροοργανισμοί με καινούργιες ζυμωτικές ικανότητες, είναι δυνατόν να μετατρέψουν σε τρόφιμα αγροτικά και βιομηχανικά υποπροϊόντα ή ακόμη και απόβλητα.

4γ. Ειδικά Προϊόντα και Χρήσεις

α. **Χημικά.** Οργανικά χημικά προϊόντα, όπως αιθανόλη, κιτρικό οξύ, γαλακτικό οξύ κ.ά., παράγονται σε μεγάλη βιομηχανική κλίμακα διεθνώς με μικροβιακές ζυμώσεις. Ειδικές βιομετατροπές, αναμένεται να αντικαταστήσουν ορισμένες χημικές διαδικασίες με ενζυμικές, κυρίως στην οργανική σύνθεση. Πετροχημικά προϊόντα είναι δυνατόν να αντικατασταθούν από άλλα παραγόμενα με βιοτεχνολογικές διαδικασίες. Νέα μικροβιακά στελέχη δημιουργούνται με τη βοήθεια της γενετικής μηχανικής, αναμένεται να δώσουν νέα ποιοτική και οικονομική ώθηση στις βιομηχανίες αυτές.

β. **Βιοχημικά.** Ολο και περισσότερα βιοχημικά προϊόντα μπαίνουν στον κατάλογο των βιομηχανικών προϊόντων. Αμινοξέα (λυσίνη, γλουταμινικό οξύ, κ.ά.), ένζυμα (αμυλάσες, πρωτεάσες, κυτταρινάσες, κ.ά), αντιβιοτικά (πενικιλίνη, στρεπτομυκίνη, τετρακυκλίνη, κ.ά), ορμόνες (ινσουλίνη), κ.ά, χρησιμοποιούνται σήμερα στις βιομηχανίες τροφίμων και ποτών, απορρυπαντικών, φαρμακευτικών και χημικών προϊόντων. Επίσης, βιοπολυμερή υψηλής προστιθέμενης αξίας, όπως μετάξι, είναι δυνατόν να παραχθούν. Όλα αυτά είναι προϊόντα μικροοργανισμών, των οποίων η βελτίωση με γενετική μηχανική, αποτελεί εφικτή πραγματικότητα.

γ. **Ειδικές χρήσεις.** Ειδικοί μικροοργανισμοί (θειοβακτήρια, κ.ά.) και προϊόντα τους (κιτρικό οξύ, οξαλικό οξύ), βρίσκουν ή μπορούν να βρουν εφαρμογή στην απελευθέρωση μετάλλων (χαλκός, ουράνιο, αλουμίνιο) από ορυκτά. Στη διευ-



κόλυνση άντλησης πετρελαίου, χρησιμοποιούνται ειδικά βιοπολυμερή (Ξανθάνη) παραγόμενα από βακτήρια. Μία περιοχή στην οποία αναμένεται ένταση των ερευνητικών δραστηριοτήτων είναι η βιοηλεκτρονική και συγκεκριμένα ο τομέας της μοριακής ηλεκτρονικής και τεχνολογίας των βιομικροκυκλωμάτων.

4δ. Ενέργεια

α. **Βιοκαύσιμα.** Παράγονται από φυτική βιομάζα με βιοτεχνολογικές διαδικασίες. Η βιομάζα αυτή είναι ανανεώσιμη και ανακυκλώνεται στη φύση δίδοντας διοξείδιο του άνθρακα που στη συνέχεια μέσα από τη φωτοσύνθεση των φυτών, μετατρέπεται πάλι σε βιομάζα. Η τελευταία αυτή παράγεται στο πλανήτη μας σε τόσο μεγάλες ποσότητες, που μπορεί, αν βρεθεί τρόπος, να μετατραπεί όλη σε ενέργεια, να ικανοποιήσει περίπου δεκαεπτάδες ενεργειακές ανάγκες από αυτές που έχουμε σήμερα. Το ρόλο αυτό έρχεται να παίξει η βιοτεχνολογία, αναπτύσσοντας μικροβιακά συστήματα που μετατρέπουν σε βιοκαύσιμα

τα περισσότερα συστατικά της βιομάζας. Η βιοαιθανόλη, το κοινό οινόπνευμα, είναι το σπουδαιότερο βιοκαύσιμο που παράγεται με βιοτεχνολογική διαδικασία. Μπορεί επιτυχώς και με πολύ λιγότερη περιβαλλοντική ρύπανση, να αντικαταστήσει τη βενζίνη. Στη Βραζιλία χρησιμοποιούν τη βιοαιθανόλη σχεδόν εξ' ολοκλήρου για να κινήσουν αυτοκίνητα.

β. **Βιοαέριο.** Καύσιμη ύλη από γεωργικά και βιομηχανικά απόβλητα υπό μορφή βιοαερίου (μεθάνιο) χρησιμοποιώντας μικτούς μικροβιακούς πληθυσμούς, αποτελεί γεγονός εδώ και πολλά χρόνια. Δίδει πολύτιμη ενεργειακή βοήθεια υπό μορφή θέρμανσης, φωτισμού και μηχανικής ενέργειας και αναβαθμίζει τα απόβλητα σε προϊόντα που δεν ρυπαίνουν το περιβάλλον. Η διεργασία αυτή χρησιμοποιείται σε μικρές (αγροτικές) και μεγαλύτερες (βιομηχανικές) κλίμακες. Είναι ένα φαινόμενο καθαρά βιοτεχνολογικό και παρά την πολυπλοκότητα της μικτής μικροβιακής καλλιέργειας, υπάρχουν περιθώρια περαιτέρω

βελτίωσης της απόδοσης της διεργασίας αυτής.

4ε. Περιβάλλον

α. *Λιγότερο ρυπαρόνες πρώτες ύλες και προϊόντα.* Είναι δυνατόν σε ορισμένες βιομηχανικές διαδικασίες να αντικατασταθούν πρώτες ύλες με υψηλό ρυπαντικό φορτίο, από φυσικές πρώτες ύλες. Μια τέτοια δυνατότητα, που ερευνάται εντατικά, είναι η αντικατάσταση των υποπροϊόντων πετρελαίου που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή του αλκενοξειδίου, πρώτης ύλης πλαστικών ουσιών, από ουσίες όπως η κοινή ζάχαρη για την παραγωγή του ίδιου προϊόντος με μικροβιακές βιοτεχνολογικές διαδικασίες. Επίσης, μη βιοαποικοδομήσιμες πλαστικές ουσίες, που παράγονται από υποπροϊόντα πετρελαίου, είναι δυνατόν να αντικατασταθούν από βιοαποικοδομήσιμα πλαστικά. Τα τελευταία, χρησιμοποιούν ως πρώτες ύλες, βιοτεχνολογικές ουσίες όπως το γαλακτικό οξύ. Η σημασία της δυνατότητας αυτής στην οικολογική ισορροπία είναι προδήλη.

β. *Βιολογικός καθαρισμός αποβλήτων.* Αποτελεί τη μεγαλύτερη, από άποψη μεγέθους βιοαντιδραστήρων, βιοτεχνολογική εφαρμογή, που αποβλέπει στην ελάττωση του ρυπαντικού φορτίου των αποβλή-

των. Την τελευταία αυτή πραγματοποιούν μικτοί μικροβιακοί πληθυσμοί, των οποίων ο ακριβής ρόλος δεν είναι ακόμη γνωστός. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχουν μεγάλα περιθώρια διερεύνησης και βελτίωσης των βιοσυστημάτων αυτών προς ορισμένες κατευθύνσεις, όπως η επιλεκτική αφαίρεση πολύ τοξικών ουσιών (βαρέα μέταλλα, εντομοκτόνα, μυκητοκτόνα, ζιζανιοκτόνα, κ.λ.π.). Η σημασία του καθαρισμού αυτού είναι προδήλη και τα τελικά προϊόντα είναι, νερό απαλλαγμένο από τοξικές ουσίες και στερεά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως λίπασμα. Βιοαέριο (μεθάνιο), είναι δυνατόν να παραχθεί από τέτοιες διαδικασίες.

γ. *Βιολογική απορρύπανση υδάτων και αναγέννηση εδαφών.* Η σύγχρονη βιοτεχνολογική έρευνα, εστιάζεται στο σχεδιασμό και τη χρήση μικροβιακών συστημάτων που απορρυπαίνουν μεγάλες υδάτινες επιφάνειες (θάλασσες, λίμνες) από απόβλητα και ειδικά πετρέλαιο. Επίσης, μολυσμένα εδάφη είναι δυνατόν να αναγεννηθούν με μικροβιακά συστήματα, τα οποία διασπούν τοξικές ουσίες και τα αποδίδουν κατάλληλα προς καλλιέργεια.

δ. *Παραγωγή χρήσιμων προϊόντων.* Οργανικά λιπάσματα παράγονται

σε μεγάλη κλίμακα από μικροβιακές δράσεις σε οργανικά υποπροϊόντα και απόβλητα, με αποτέλεσμα τη ελάττωση του ρυπαντικού φορτίου και την παραγωγή χρήσιμων προϊόντων.

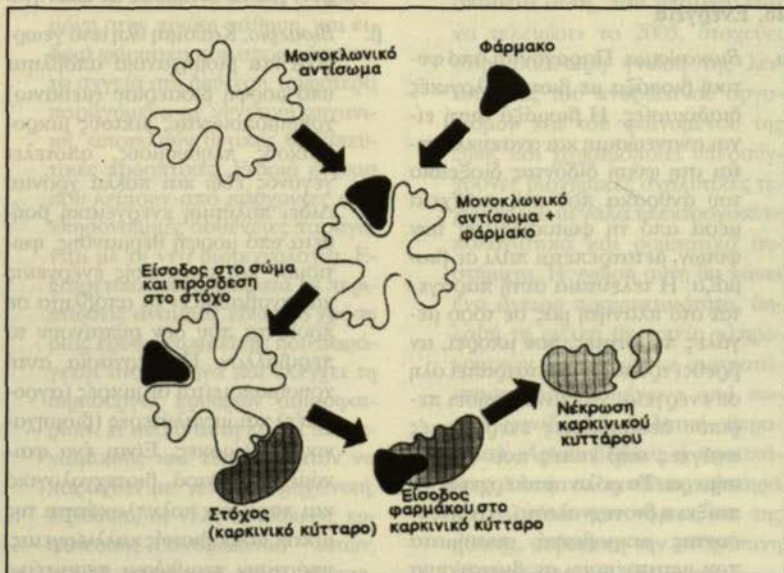
4στ. Ασφάλεια βιοτεχνολογικών διαδικασιών και προϊόντων

Η πρακτική εφαρμογή της βιοτεχνολογίας, και ειδικά της νέας, δεν είναι άμοιρη προβλημάτων. Στα πρώτα δειλά βήματά της στη δεκαετία του '70, η γενετική μηχανική συνάντησε έντονη αντίδραση λόγω των ηθικών και κοινωνικών επιπτώσεων που έχει το αντικείμενό της. Αυστηροί νόμοι και πρωτόκολλα ασφαλείας θεσπίστηκαν, η εφαρμογή των οποίων αρχίζει από τα εργαστήρια όπου δημιουργούνται οι αλλαγές στο γενετικό υλικό του κυττάρου και επεκτείνεται μέχρι την παραγωγή του τελικού προϊόντος. Το τελευταίο πριν βγει στην αγορά, υφίσταται μακροχρόνιο και σχολαστικό έλεγχο. Αν είναι τρόφιμο ή φάρμακο, θα πρέπει να αποδειχτεί ότι δεν είναι τοξικό, δεν προκαλεί καρκινογένεση, τερατογένεση, κ.λ.π. Για το σκοπό αυτό, χρειάζονται μακροχρόνιες και πολυέξοδες δοκιμές σε σειρά πειραματόζωων.

Σαν επίλογος, η εικοσάχρονη εμπειρία της νέας βιοτεχνολογίας έδειξε ότι τα μέτρα αυτά είναι σωστά να λαμβάνονται, ανεξάρτητα από το γεγονός ότι κανένα μέχρι σήμερα πρόβλημα δε δημιουργήθηκε κατά την εφαρμογή της. Τουναντίον, πρόσφατες έρευνες απέδειξαν ότι αυτό που ο άνθρωπος χειριέται να κάνει με τη γενετική μηχανική, δηλαδή να μεταφέρει γενετικό υλικό από ένα βιολογικό είδος σε άλλο, το κάνει η φύση σε σημαντική κλίμακα σε ορισμένα περιβάλλοντα (5), όπως το έδαφος, όπου υπάρχει τεράστιος αριθμός μικροβιακών κυττάρων που εξελίσσεται με τον τρόπο αυτό μέσα από μακροχρόνιες διαδικασίες.

5. Εργαστήριο τεχνολογίας βιοσυστημάτων

Στο Τμήμα Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ και στον Τομέα IV, λειτουργεί τα τελευταία 6 χρόνια το Εργαστήριο Τεχνολογίας Βιοσυστημάτων (ΕΤΒ), το οποίο δεν έχει ακόμη αποκτήσει νομική υπόσταση. Οι δραστηριότητές του,



εντάσσονται στην κατεύθυνση **ΤΡΟΦΙΜΑ ΚΑΙ ΒΙΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ**.

Το ΔΕΠ του Εργαστηρίου αποτελείται από τον υπογραφόμενο και δύο επίκουρους καθηγητές, τους Δρ. *Α. Κέκο* και *Φ. Κολίση*. Πέντε μεταπτυχιακοί σπουδαστές προετοιμάζουν τη διδακτορική τους διατριβή και περίπου 15 προπτυχιακοί την ερευνητική διπλωματική εργασία τους κάθε χρόνο.

Το Εργαστήριο έχει αναπτύξει πλέγμα ερευνητικών συνεργασιών με άλλα Τμήματα (Μεταλλειολόγοι) και Τομείς του ΕΜΠ, με Πανεπιστήμια και Ιδρύματα του εσωτερικού, της Ευρώπης, των ΗΠΑ, της Ασίας (Κίνα) και της Αφρικής (Νιγηρία).

Ειδικότερα το φάσμα των δραστηριοτήτων του ΕΤΒ στον τομέα της εκπαίδευσης και έρευνας στο ΕΜΠ περιλαμβάνει :

5α. Εκπαίδευση

Μαθήματα διδάσκονται στο :

6ο εξάμηνο : Αρχές βιοτεχνολογίας
8ο εξάμηνο : Βασική βιοτεχνολογία και Εργαστήριο

9ο εξάμηνο : Εφαρμοσμένη βιοτεχνολογία και Εργαστήριο Βιοχημική μηχανική και Εργαστήριο

5β. Έρευνα

(1) Στόχοι

Τα ερευνητικά ενδιαφέροντα του Εργαστηρίου, στοχεύουν στη δημιουργία βιοτεχνολογικής γνώσης, που εστιάζεται στη :

(I). Διερεύνηση των συνθηκών παραγωγής βιοκαταλυτών (ενζύμων) βιομηχανικού κυρίως ενδιαφέροντος. Μελετάται η ολοκληρωμένη θεώρηση της διαδικασίας από το επίπεδο του κυττάρου μέχρι του τελικού προϊόντος μέσα από την κλιμάκωση των εμπλεκόμενων διεργασιών.

(II). Μελέτη της συμπεριφοράς των βιοσυστημάτων σε διάφορα περιβάλλοντα ανάπτυξης και δράσης (π.χ. βιοκατάλυση υπό μη συμβατικές συνθήκες), με στόχο την πα-

ραγωγή ειδικών βιοτεχνολογικών προϊόντων.

(III). Παραγωγή ορισμένων προϊόντων ευρείας κατανάλωσης μέσα από πρωτοποριακές ερευνητικές προσεγγίσεις. Ένα τέτοιο προϊόν είναι τα βιοκαύσιμα (βιοαιθανόλη) από κνυταρίνη με διεργασία ενός βήματος.

(IV). Μελέτη της παραγωγής ειδικών μεταβολικών ουσιών και ενεργών βιομορίων με ειδικές εφαρμογές στη φαρμακοβιομηχανία και βιομηχανία τροφίμων.

(2) Προγράμματα

Παρατίθεται σύντομος κατάλογος ερευνητικών προγραμμάτων του ΕΤΒ :

1. Τίτλος: «*Use of nuclear techniques in the investigation of microbial (enzymic) saccharification of cellulose*»,

Χρηματοδότης INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY διάρκεια 1985-1987

2. Τίτλος: «*Direct microbial bioconversion of pre-treated lignocellulosic materials to fuel ethanol*»,

Χρηματοδότης EEC (BIOENERGY) διάρκεια 1986 - 1989

3. Τίτλος: «*Bioconversion of hydrophobic and hydrophilic compounds by enzymic systems*»

Χρηματοδότης EEC (BAP), διάρκεια 1986 - 1989

4. Τίτλος: «*Enzyme Technology*» (WORKSHOP), Χρηματοδότης EEC (BAP), έτος 1989

5. Οργάνωση Διεθνών Σεμιναρίων, Χρηματοδότης EEC (COMMET), έτος 1991

6. Τίτλος: «*Application of biotechnological methods aiming at the production of high added value products (enzymes) from agricultural and agroindustrial by-products*», Χρηματοδότης EEC και Υπουργείο Γεωργίας (ΜΟΠ), διάρκεια 1988 - 1993

7. Τίτλος: «*The application of oxidoreductases to food preservation*» Χρηματοδότης EEC (FLAIR), διάρκεια 1990 - 1994

8. Τίτλος: «*Enzyme Biotechnology*» (WORKSHOP) Χρηματοδότης EEC (BAP), έτος 1991

9. Τίτλος: «*New ways in biotransformation in non-aqueous systems of pharmaceuticals. Application of supercritical gases, microemulsions, organic solvents*» Χρηματοδότης EEC (BIOTEC), διάρκεια 1991 - 1994

10. Τίτλος: «*An integrated and novel R&D approach exploring the potential of bio-fuel production in Greece from renewable biomass sources*», χρηματοδότης: EEC (STRIDE), διάρκεια: 1992 - 1993

11. Τίτλος «*enzyme catalysis in non-conventional media*» (WORKSHOP) Χρηματοδότης EEC (BAP), έτος 1992

12. Τίτλος: «*Cellulase and hemicellulase from *Thermoascus aurantiacus**» Χρηματοδότης: EEC (AIR), διάρκεια: 1993 - 1996

13. Τίτλος: «*Innovative Concepts in Agricultural Residue Utilization for Sustainable Development*» Χρηματοδότης: EEC (STD), διάρκεια: 1994 - 1996 14.

14. Τίτλος: «*Extremophilic Microorganisms*» (WORKSHOP), Χρηματοδότης EEC (BAP), έτος 1994

Βιβλιογραφία

1. M. D. Trevan, S. Boffey, K.H. Goulding, P. Stanbury. *Biotechnology. The Biological Principles*. Open University Press. 1986. Σελίς 3
2. E. Antebi, D. Fishlock. *Biotechnology. Strategies for Life* The MIT Press. 1986. Σελίς 225
3. J. Katz, D. B. Sattelle. *Biotechnology for All*. Hobsons Publishing. 1991. Σελίς 8
4. D. Butter. *Delors White Paper Puts Research Firmly on Europe's Political Map*. Nature, vol. 366, 599 (1993)
5. W. Arber. *Gene Pools and Biodiversity*. 6th European Congress on Biotechnology. Firenze, 13-17 June, 1993. Τομ. 2. Σελίς TUL01.