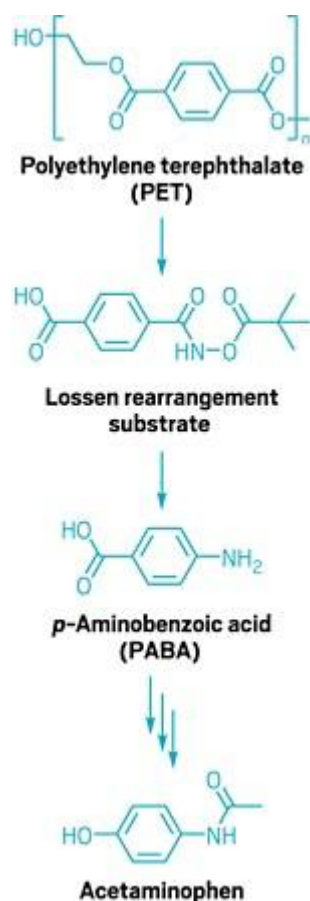


Ερευνητές μετατρέπουν το πλαστικό σε παρακεταμόλη - Μια επανάσταση στην φαρμακευτική παραγωγή

Δρ Σπύρος Κιτσινέλης

Η αυξανόμενη περιβαλλοντική επιβάρυνση από τα πλαστικά απόβλητα και η ανάγκη για βιώσιμες μεθόδους παραγωγής φαρμάκων οδήγησαν μια ομάδα ερευνητών του Πανεπιστημίου του Εδιμβούργου σε μια καινοτόμο λύση. Μετά από επιτυχημένη βιοτεχνολογική παρέμβαση, ανέπτυξαν ένα μεταλλαγμένο στέλεχος του βακτηρίου *Escherichia coli* που επιβιώνει αξιοποιώντας μικρά μόρια από αποσυντιθέμενα πλαστικά μπουκάλια PET (πολυαιθυλενοτερεφθαλικό), μετατρέποντάς τα με σχεδόν 100% απόδοση στην παρακεταμόλη (ακεταμινοφαίνη) – το πιο κοινό παυσίπονο παγκοσμίως, γνωστό και ως παρακεταμόλη.



Η συμβατική φαρμακευτική βιομηχανία χαρακτηρίζεται από τεράστιο αποτύπωμα άνθρακα, με εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα κατά 55% υψηλότερες από τον κλάδο της αυτοκινητοβιομηχανίας. Η νέα αυτή μέθοδος, όμως, χαρακτηρίζεται από σχεδόν

μηδενικές εκπομπές, προσφέροντας μια εξαιρετικά φιλική προς το περιβάλλον εναλλακτική. Επιπλέον, η αξιοποίηση των πλαστικών αποβλήτων ως πρώτη ύλη μπορεί να μετατρέψει ένα από τα πιο σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα σε πηγή πρώτων υλών για φαρμακευτικά προϊόντα.

Η έρευνα ηγήθηκε από τον Stephen Wallace, ερευνητή στη χημική βιοτεχνολογία, ο οποίος καινοτόμησε συνδυάζοντας την κλασική χημική αντίδραση της μετατροπής Lossen με τα φυσικά μεταβολικά συστήματα του βακτηρίου *E. coli*. Η αντιδραστική αυτή διαδικασία, γνωστή από το 1872, δεν βασίζεται σε ένζυμα και μετατρέπει εστέρες υδροξαμικού οξέος σε ισοκυανικά και αμίνες. Στη συγκεκριμένη μελέτη, ο σχεδιασμός αφορούσε ένα υπόστρωμα Ο-ακυλο-υδροξαμικού οξέος που παράγει το ρ-αμινοβενζοϊκό οξύ (PABA), απαραίτητο θρεπτικό συστατικό για την ανάπτυξη των βακτηρίων.

Κατά τις πειραματικές διαδικασίες, διαπιστώθηκε ότι το *E. coli* αναπτύσσεται ακόμα και χωρίς την παρουσία μεταλλικών καταλυτών, καθώς το υπόστρωμα μετατρέπεται σε PABA μέσω της δράσης του φωσφορικού στο θρεπτικό υλικό. Αυτή η αντίδραση συμβαίνει σε ήπιες θερμοκρασίες και συνθήκες, χωρίς να βλάπτει τα βακτήρια ή να διαταράσσει τη φυσική τους λειτουργία. Αυτό την καθιστά ιδιαίτερα ελκυστική για βιοσυμβατές χημικές μετατροπές.

Η μεγαλύτερη καινοτομία της μελέτης ήταν η αξιοποίηση της αποσύνθεσης του PET πλαστικού σε τερεφθαλικό οξύ, το οποίο τροποποιήθηκε ώστε να παράγει ένα υπόστρωμα, το PET-1, κατάλληλο για τη σύνθεση του PABA και τελικά της παρακεταμόλης. Η διαδικασία ξεκινά με τη μετατροπή του PET-1 σε PABA μέσω της μετατροπής Lossen σε θερμοκρασία 50 °C, ακολουθούμενη από καλλιέργεια των μη παραγωγικών PABA *E. coli* κυττάρων στους 37 °C, τα οποία εκφράζουν τα ένζυμα PANAT και ABH60. Αυτά τα ένζυμα καταλύουν τη σύνθεση της παρακεταμόλης από το PABA.

Τα αποτελέσματα ήταν εντυπωσιακά: η απόδοση παραγωγής παρακεταμόλης από το PET-1 έφτασε στο 83%, ενώ με επιπλέον βελτιώσεις στις συνθήκες έκφρασης των ενζύμων, η απόδοση αυξήθηκε στο 92%. Αυτά τα ποσοστά απόδοσης αποτελούν σημαντικό επίτευγμα, καθώς δείχνουν ότι η βιοτεχνολογία μπορεί να συνδυαστεί αποτελεσματικά με συνθετικές χημικές αντιδράσεις προς όφελος της βιώσιμης παραγωγής φαρμάκων.

Η αντίδραση Lossen, σε αυτή τη βιοσυνθετική εφαρμογή, δείχνει πώς η συνδυαστική χρήση συνθετικών καταλυτών και βιολογικών συστημάτων μπορεί να δημιουργήσει ένα ευέλικτο πλαίσιο για την παραγωγή πολύπλοκων χημικών ενώσεων σε κυτταρικά περιβάλλοντα. Όπως επισημαίνει ο Mikael Elias, βιοχημικός από το Πανεπιστήμιο του Μινεσότα, που δεν συμμετείχε στη μελέτη, η προσέγγιση αυτή ανοίγει τον δρόμο για την επέκταση των δυνατοτήτων της βιολογίας στην παραγωγή χημικών με επεμβάσεις σε επίπεδο καταλυτών, συνενζύμων και μη φυσικών αμινοξέων.

Παρότι η βιομηχανική εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας ενδέχεται να συναντήσει προκλήσεις, όπως πολύπλοκες ρυθμιστικές διαδικασίες, η προσέγγιση υπόσχεται να

ενοποιηθεί με υπάρχουσες τεχνολογίες αποπολυμερισμού PET. Αυτό θα δημιουργήσει ολοκληρωμένες και κυκλικές πλατφόρμες μετατροπής αποβλήτων σε φαρμακευτικά προϊόντα, συμβάλλοντας σημαντικά στην αειφόρο ανάπτυξη και την καταπολέμηση της περιβαλλοντικής ρύπανσης.

Συνολικά, η νέα αυτή τεχνολογία αποτελεί σημαντικό βήμα προς την κατεύθυνση της οικολογικής φαρμακοβιομηχανίας, με τα πλαστικά απόβλητα να παίζουν πλέον έναν πρωτοποριακό ρόλο στην παραγωγή πολύτιμων φαρμάκων.

Πηγές

1. **Nature Chemistry (2025).** Researchers turn plastic into paracetamol. DOI: 10.1038/s41557-025-01845-5.
<https://www.nature.com/articles/s41557-025-01845-5>
2. **Wallace, S. et al. (2025).** Engineering Escherichia coli for sustainable acetaminophen production from PET plastic. *Nature Chemistry*. DOI: 10.1038/s41557-025-01845-5.