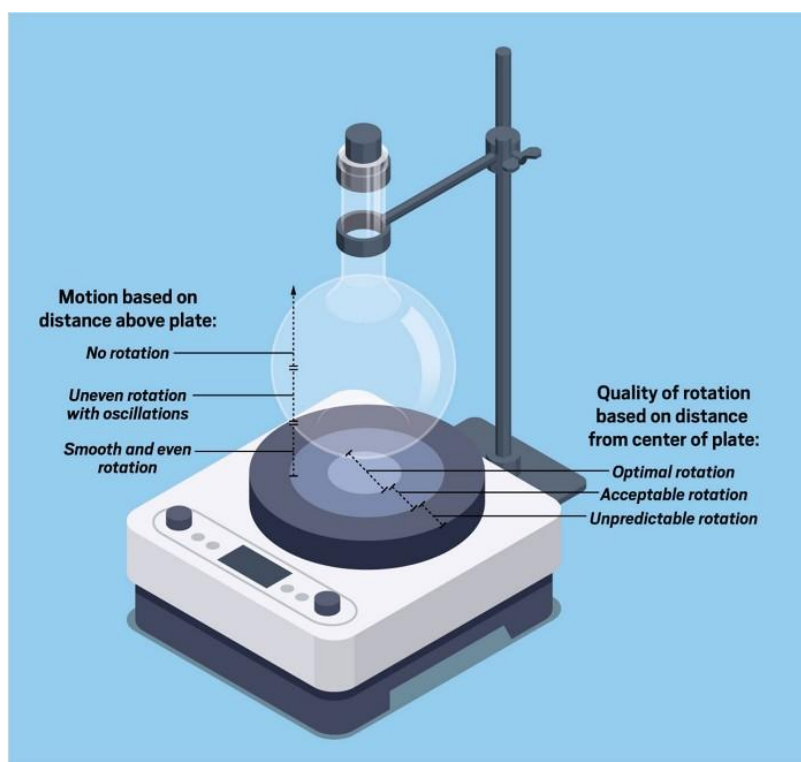


Επίδραση της θέσης αντιδραστηρίων σε μαγνητικούς αναδευτήρες στην επαναληψιμότητα χημικών αντιδράσεων και αποτελεσμάτων

Δρ Σπύρος Κιτσινέλης

Οι μαγνητικοί αναδευτήρες αποτελούν αναπόσπαστο εργαλείο στα σύγχρονα χημικά εργαστήρια, καθώς εξασφαλίζουν την ομοιόμορφη ανάδευση αντιδραστηρίων σε ποικίλες πειραματικές συνθήκες. Ωστόσο, πρόσφατη μελέτη του εργαστηρίου του Valentine P. Ananikov στο Zelinsky Institute of Organic Chemistry, που δημοσιεύτηκε στο *JACS Au* (2025, DOI: 10.1021/jacsau.5c00412), αποκαλύπτει ότι η θέση τοποθέτησης των αντιδραστηρίων επί της πλάκας αναδευτήρα επηρεάζει σημαντικά τη συμπεριφορά της μαγνητικής ράβδου, προκαλώντας μεταβλητότητα στα πειραματικά αποτελέσματα και δυσχεραίνοντας την αναπαραγωγιμότητα των αντιδράσεων.



Το πρόβλημα έγινε εμφανές όταν η ομάδα του Ananikov παρατήρησε διαφορετικά μεγέθη νανοσωματιδίων παλλαδίου κατά τη σύνθεσή τους σε χλωροφόρμιο. Παρά τη συνεπή χρήση καθαρών διαλυτών, αντιδραστηρίων και την αυστηρή τήρηση των πειραματικών συνθηκών, η επανάληψη των αντιδράσεων παρήγαγε σημαντικές αποκλίσεις στην καταλυτική απόδοση των παραγόμενων νανοσωματιδίων. Η ταυτόχρονη εκτέλεση πολλαπλών αντιδράσεων, τοποθετημένων σε διαφορετικές θέσεις της ίδιας πλάκας αναδευτήρα, απέδειξε ότι η θέση επί της πλάκας σχετίζεται άμεσα με τις αποκλίσεις στο μέγεθος και την κατανομή των νανοσωματιδίων.

Η ομάδα πραγματοποίησε συστηματική ανάλυση πολλαπλών αντιδράσεων τοποθετώντας τα δείγματα σε διαφορετικές θέσεις και ύψη επάνω σε διάφορα μοντέλα μαγνητικών αναδευτήρων. Χρησιμοποιώντας ρινίσματα νικελίου για χαρτογράφηση των μαγνητικών πεδίων, διαπίστωσαν ότι η ένταση και η ομοιομορφία του μαγνητικού πεδίου ποικίλλουν, επηρεάζοντας την κίνηση της μαγνητικής ράβδου (stir bar). Σε βέλτιστες θέσεις, κυρίως στο κέντρο της πλάκας, η ράβδος περιστρέφεται ομαλά, ενώ εκτός αυτής μπορεί να περιστρέφεται ακανόνιστα ή ακόμα να ακινητοποιείται. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα διακυμάνσεις στη μηχανική ανάδευση, η οποία επηρεάζει το μίγμα, τον ρυθμό διάχυσης και κατά συνέπεια την πορεία και την απόδοση της αντίδρασης.

Σε αντιδράσεις παρασκευής παλλαδίου σε άνθρακα, η ομάδα διαπίστωσε ότι οι νανοσωματιδιακές διαστάσεις κυμαίνονταν από 1–2 nm σε κεντρικές θέσεις έως και 2–9 nm σε περιφερειακές. Παράλληλα, σε αντιδράσεις Suzuki-Miyaura cross-coupling η απόδοση παρουσίασε μεταβλητότητα της τάξης 15–20% ανάλογα με τη θέση τοποθέτησης. Η ανακάλυψη αυτή φέρνει στην επιφάνεια έναν υποτιμημένο παράγοντα που επηρεάζει την αναπαραγωγικότητα των πειραμάτων: τη θέση τοποθέτησης στον μαγνητικό αναδευτήρα. Η τυποποίηση των πειραματικών διαδικασιών θα πρέπει να περιλαμβάνει την ακριβή τεκμηρίωση της θέσης του δοχείου και των παραμέτρων ανάδευσης, ώστε να περιορίζονται οι αποκλίσεις και να βελτιώνεται η ακρίβεια των πειραμάτων.

Η ομάδα του Ananikov προτείνει την υποχρεωτική αναφορά στις δημοσιεύσεις της θέσης τοποθέτησης του δείγματος και της ταχύτητας ανάδευσης, καθώς και τη δημοσιοποίηση οπτικού υλικού (βίντεο) των πειραμάτων για την καλύτερη κατανόηση και αναπαραγωγή τους. Σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε διαδικτυακά με συμμετοχή περίπου 200 χημικών, περίπου το 50% των ερωτηθέντων δήλωσε ότι οι αποκλίσεις των αποτελεσμάτων είναι σύνηθες φαινόμενο, ενώ ο Ananikov τόνισε πως αποκλίσεις μεγαλύτερες του 5% δεν είναι αποδεκτές για μια ακριβή επιστήμη όπως η χημεία.

Η μελέτη αναδεικνύει τη σημασία του παράγοντα «θέση τοποθέτησης στο μαγνητικό αναδευτήρα» ως πηγή σημαντικής μεταβλητότητας στα χημικά πειράματα. Η επίγνωση και ο έλεγχος αυτής της παραμέτρου θα συμβάλουν ουσιαστικά στην αύξηση της αξιοπιστίας και της επαναληψιμότητας των χημικών ερευνών, απαραίτητη προϋπόθεση για την πρόοδο της επιστήμης.

Πηγή

Ananikov, V. P., et al. "Magnetic Stirrer Position Affects Reaction Outcomes: Implications for Reproducibility in Catalysis." *JACS Au*, 2025. DOI: 10.1021/jacsau.5c00412