

Ελληνικό Ινστιτούτο Συσκευασίας για την Ποιότητα και την Ασφάλεια στην Αγροδιατροφή

Εκτύπωση ευφών αισθητήρων καταγραφής φυσικών παραμέτρων και
ανίχνευσης δεικτών ποιότητας προϊόντος

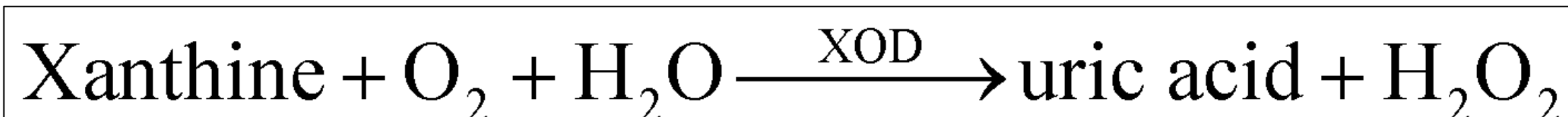
Σχεδιασμός ενζυμικού αισθητήρα αλλοίωσης πουλερικών.

Ενζυμικός βιοαισθητήρας οξειδάσης ξανθίνης

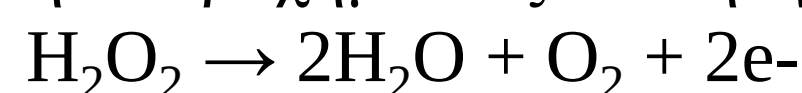
Στο πλαίσιο αξιολόγησης της ποιότητας και ασφάλειας των τροφίμων έχουν αναπτυχθεί ευφείς αισθητήρες που μπορούν να ενσωματωθούν στις συσκευασίες των τροφίμων για τον χρονικά και οικονομικά αποδοτικότερο έλεγχο προϊόντων (Mustafa & Andreescu, 2018). Η έξυπνη συσκευασία είναι ένα νέο επίτευγμα της τεχνολογίας, όπου στρατολογούνται ειδικοί αισθητήρες για την παροχή πληροφοριών αναφορικά με την ποιότητα των τροφίμων καθ' όλο το μήκος της τροφικής αλυσίδας.

Σε τρόφιμα ζωικής προέλευσης απαιτούνται γρήγορες και αξιόπιστες αναλυτικές μέθοδοι για την ανίχνευση των προϊόντων που σχηματίζονται από την αποικοδόμησή τους (Agüí et al., 2006). Τα νουκλεοτίδια, όπως το ATP επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από την αποικοδόμηση, επάγοντας τον γρήγορο σχηματισμό ινositίνης, η οποία μετατρέπεται σε υποξανθίνη (Hypoxanthine, Hx). Στη συνέχεια, η Hx οξειδώνεται σε ξανθίνη και τέλος σε ουρικό οξύ μέσω της οξειδάσης της ξανθίνης (XOD). Η XOD από τις βιοχημικές διεργασίες των μικροοργανισμών είναι χαμηλή και η Hx συσσωρεύεται κυρίως στον ζωικό μυ, επομένως τα επίπεδα Hx, αλλά και ξανθίνης, χρησιμοποιούνται ως δείκτες φρεσκάδας των ψαριών και του κρέατος στη βιομηχανία τροφίμων. (Agüí et al., 2006; Dervisevic et al., 2016; Garg & Verma, 2020; Sadeghi et al., 2014).

Η συνολική αντίδραση που περιλαμβάνει ξανθίνη, οξειδάση ξανθίνης και την παραγωγή H₂O₂ μπορεί να αναπαρασταθεί ως εξής:



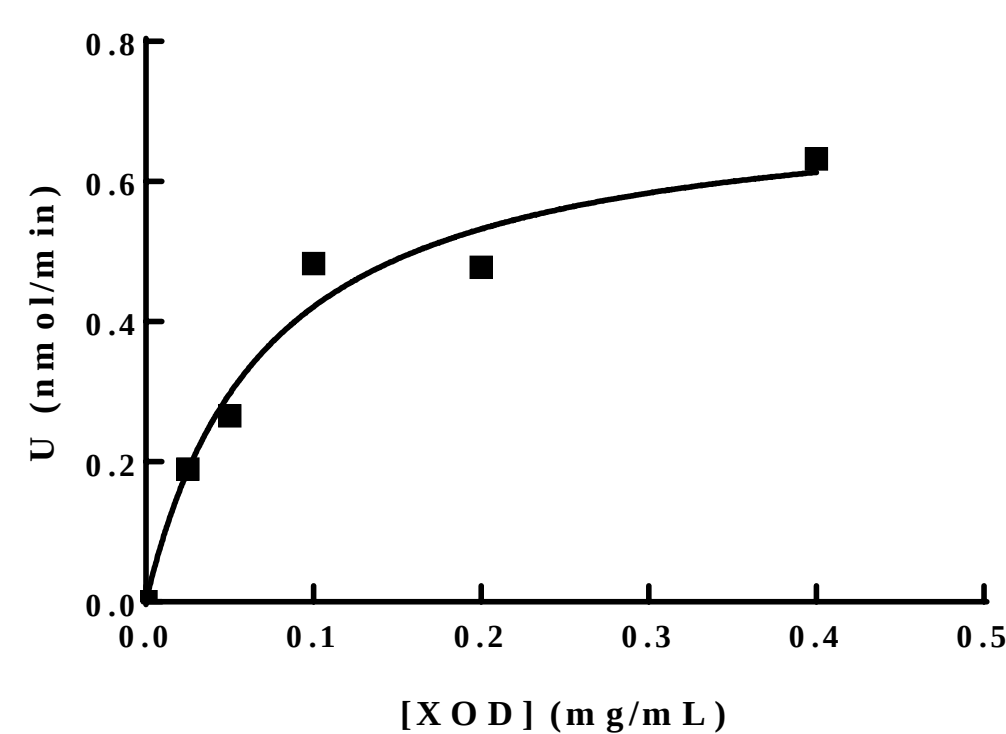
Το υπεροξείδιο του υδρογόνου (H₂O₂) διαθέτει ηλεκτρικές ιδιότητες και η παραγωγή ή η συγκέντρωσή του μπορεί να μετρηθεί χρησιμοποιώντας ηλεκτροχημικούς αισθητήρες.



Το H₂O₂ μπορεί να οξειδωθεί στο ηλεκτρόδιο εργασίας και να αναχθεί σε νερό (H₂O) απελευθερώνοντας ηλεκτρόνια που συμβάλλουν σε ηλεκτρική τάση.

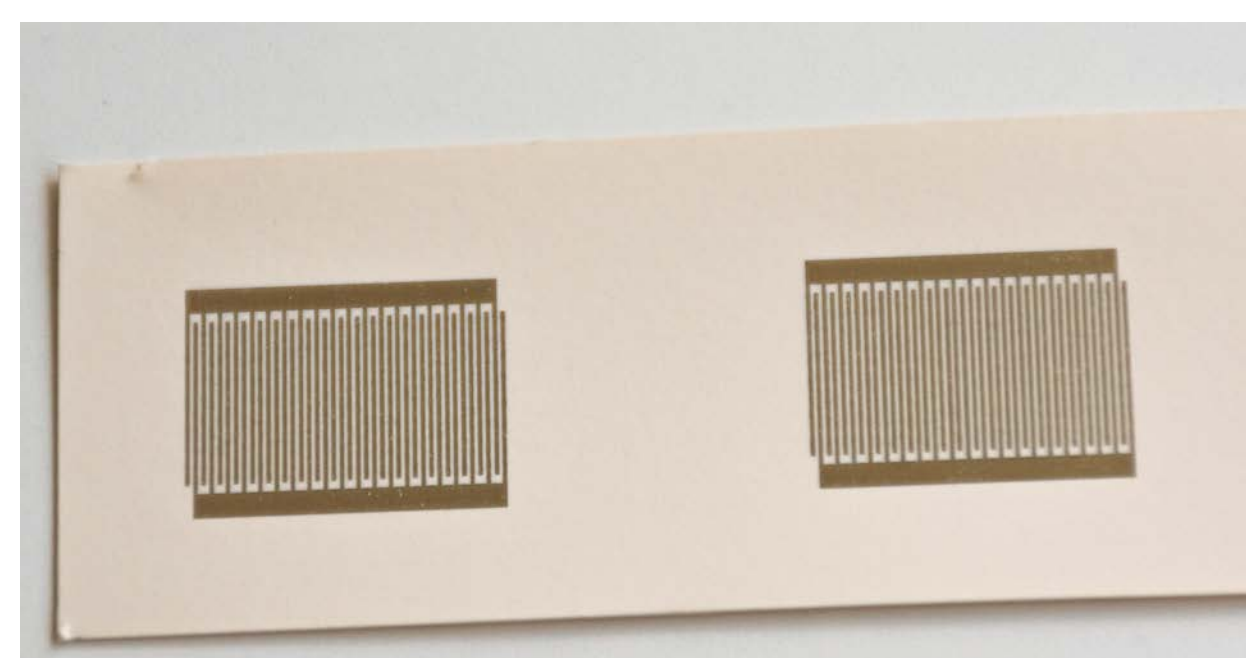
Πειραματική πορεία

Μετά από προσδιορισμό της δραστηριότητας της XOD (γράφημα 1), ακινητοποιήθηκε μη ομοιοπολικά σε φιλμ χιτοζάνης σε συγκέντρωση 0.1 mg/mL.



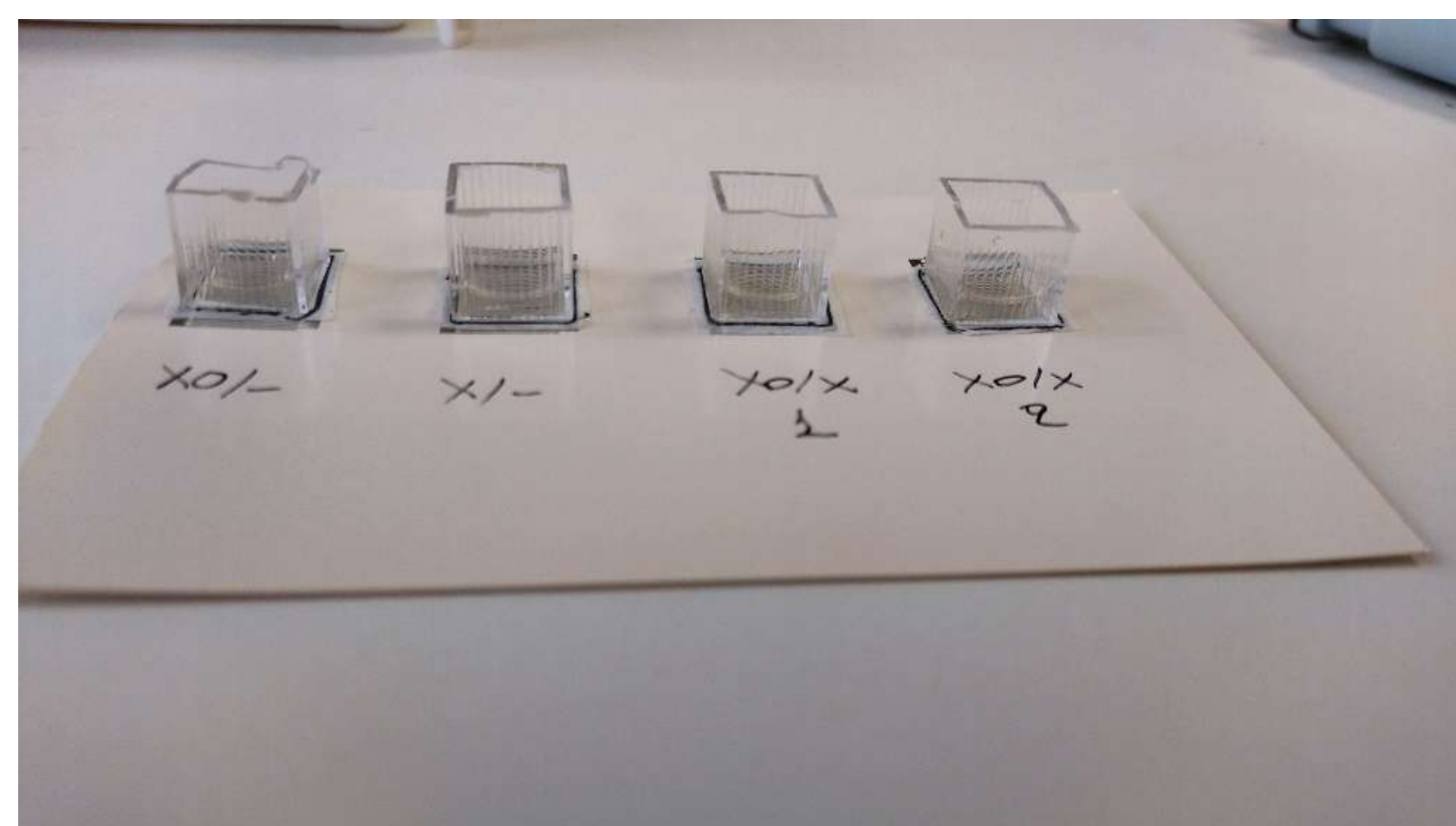
Γράφημα 1. Προσδιορισμός ενζυμικής δραστηριότητας διαφορετικών συγκεντρώσεων XOD ομοιοπολικά ακινητοποιημένης σε φιλμ χιτοζάνης ([ξανθίνη]: 0.2 mM, [XOD]: 0.025, 0.05 & 0.1 mg/mL, t_{reaction}=5 min, pH: 7.5, T: 30 °C).

3D εκτυπωμένοι αγωγιμετρικοί αισθητήρες με τη μορφή πυκνωτή εκτυπώθηκαν από μελάνη νανοσωματίων αργύρου και χρησιμοποιήθηκαν ως δομή για να εφαρμοστεί το βιο-ευαίσθητο φιλμ χιτοζάνης με την ακινητοποιημένη XOD.



Εικόνα 1. Διάταξη αγωγιμετρικών 3D εκτυπωμένων πυκνωτών.

Σε αισθητήρες που οριοθετούνταν από κυβέττα προστέθηκε μεμβράνη χιτοζάνης με ακινητοποιημένη XOD σε συγκέντρωση 0.1 mg/mL (Εικόνα 2). Οι αισθητήρες με ακινητοποιημένο το ένζυμο επώαστηκαν με 400 μL ξανθίνης τελικής συγκέντρωσης 0.2 mM, σε θερμοκρασία δωματίου.



Εικόνα 2. Διάταξη αγωγιμετρικών 3D εκτυπωμένων βιοαισθητήρων με ακινητοποιημένη XOD σε μεμβράνη χιτοζάνης

Αποτελέσματα

Μετά από μέτρηση της ενζυμικής δραστηριότητας στη μεμβράνη πάνω στον αισθητήρα, ανιχνεύθηκε δράση σε χαμηλότερα επίπεδα από την ελεύθερη μεμβράνη χιτοζάνης-XOD. Από τα αποτελέσματα δημιουργήθηκε η υπόθεση ότι το υλικό ή το υπόστρωμα εκτύπωσης ασκούν αρνητική επίδραση στη δραστηριότητα του ενζύμου, όμως λόγω της εμφάνισης δραστηριότητας φαίνεται ότι υπάρχει η δυνατότητα να καταστεί λειτουργικό το σύστημα με κατάλληλη τροποποίηση του υλικού εκτύπωσης.

Βιβλιογραφία

- Agüí, L., Manso, J., Yáñez-Sedeño, P., & Pingarrón, J. M. (2006). Amperometric biosensor for hypoxanthine based on immobilized xanthine oxidase on nanocrystal gold-carbon paste electrodes. *Sensors and Actuators B*, 113(1), 272–280. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2005.03.001>
- Dervisevic, M., Dervisevic, E., Azak, H., Çevik, E., Şenel, M., & Yildiz, H. B. (2016). Novel amperometric xanthine biosensor based on xanthine oxidase immobilized on electrochemically polymerized 10-[4H-dithieno(3,2-b:2',3'-d)pyrrole-4-yl]decane-1-amine film. *Sensors and Actuators B*, 225, 181–187. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2015.11.043>
- Garg, D., & Verma, N. (2020). Fibre-optic biosensor for the detection of xanthine for the evaluation of meat freshness. *Journal of Physics: Conference Series*, 1531(1), 012098. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1531/1/012098>
- Mustafa, F., & Andreescu, S. (2018). Chemical and Biological Sensors for Food-Quality Monitoring and Smart Packaging. *Foods*, 7(10), 168. <https://doi.org/10.3390/foods7100168>
- Sadeghi, S., Fooladi, E., & Malekaneh, M. (2014). A nanocomposite/crude extract enzyme-based xanthine biosensor. *Analytical Biochemistry*, 464, 51–59. <https://doi.org/10.1016/j.ab.2014.07.013>