

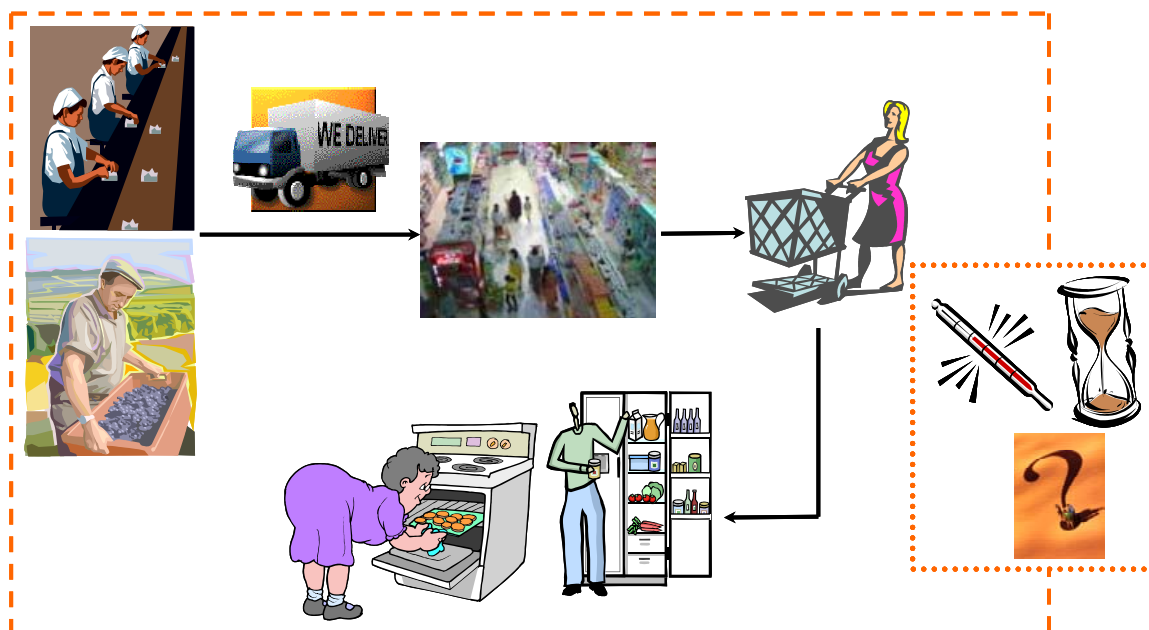
ΔΕΙΚΤΕΣ ΤΤΙ : Η ΙΣΤΟΡΙΑ ΕΝΟΣ ΠΡΟΙΟΝΤΟΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΣΕ ΜΙΑ ΕΞΥΠΝΗ ΕΤΙΚΕΤΑ

Πέτρος Σ. Ταούκης, Μαρία Γιαννακούρου, Ελένη Γώγου, Θεοφανία Τσιρώνη

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Χημικών Μηχανικών,
Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων, e-mail :taoukis@chemeng.ntua.gr

Η σύγχρονη προσέγγιση της διασφάλισης ποιότητας και ασφάλειας των τροφίμων στηρίζεται στην πρόληψη και όχι στη λογική του ελέγχου και αποδοχής του τελικού προϊόντος, με βάση χρονοβόρες και υψηλού κόστους δοκιμές. Παραγωγοί και ελέγχουσες αρχές βασίζονται στην ανάπτυξη και εφαρμογή συστημάτων διαχείρισης με τον καθορισμό, καταγραφή και έλεγχο των κρίσιμων παραμέτρων των τροφίμων σε όλο το κύκλο ζωής τους από την παραγωγή ως τη τελική χρήση τους. Η ορθή εφαρμογή τέτοιων συστημάτων σε συνδυασμό με τη βέλτιστη συσκευασία είναι προϋπόθεση για την επίτευξη μιας αυξημένης διατηρησιμότητας απαραίτητης για την εμπορική βιωσιμότητα των τροφίμων. Νέα υλικά και τεχνικές όπως η συσκευασία υπό τροποποιημένη ατμόσφαιρα (MAP) προσφέρουν νέες δυνατότητες βελτίωσης και επιμήκυνσης της διάρκειας ζωής. Παρά ταύτα, το τελευταίο στάδιο, η ψυκτική αλυσίδα των τροφίμων, εξακολουθεί να χαρακτηρίζεται από μεγάλες απώλειες ποιότητας λόγω σημαντικών αποκλίσεων από τις προδιαγραφές θερμοκρασίας. Για τα προϊόντα που πρέπει να διακινηθούν και να συντηρηθούν σε ψύξη (δηλαδή ιδανικά στους 0 ως 4°C), όπως είναι τα προϊόντα κρέατος, ψαριών, γαλακτοκομικά κτλ, η θερμοκρασία καθορίζει σε μεγάλο βαθμό το ρυθμό υποβάθμισης και την τελική ποιότητα των προϊόντων και αποτελεί έτσι την σημαντικότερη κρίσιμη παράμετρο. Η ψυκτική αλυσίδα περιλαμβάνει τα διάφορα στάδια μεταφοράς και αποθήκευσης, σε ενδιάμεσα σημεία διανομής, στις αποθήκες και τα ψυγεία πώλησης των σουπερ μάρκετ και τα ψυγεία των καταναλωτών (Σχήμα 1). Το πρόβλημα είναι ότι η αλληλουχία των συνθηκών που υφίστανται τα προϊόντα, όταν φύγουν από την άμεση επίβλεψη που είναι εφικτή στη μονάδα παραγωγής, είναι δύσκολο να μετρηθεί. Πανελλαδική καταγραφή των θερμοκρασιών στη ψυκτική αλυσίδα κρέατος, συμπεριλαμβανομένης και της οικιακής αποθήκευσης, έδειξε ότι στο 40% των περιπτώσεων υπήρξαν τμήματα της ψυκτικής αλυσίδας που ξεπερνούν τους 6°C, ενώ κατεγράφησαν και θερμοκρασίες άνω των 10°C, με πιο συχνές τις αποκλίσεις στα οικιακά ψυγεία. Ένα συσκευασμένο προϊόν κρέατος μπορεί να διατηρεί αποδεκτή ποιότητα για 10 ημέρες στους 4°C, ενώ μόνο για 3 ημέρες στους 10°C. Έτσι η ημερομηνία ανάλωσης που αναγράφεται στην ετικέτα τους δίνει συνήθως μια ενδιάμεση ένδειξη, με αποτέλεσμα να έχουμε στις περιπτώσεις ορθής συντήρησης

απόρριψη καλών προϊόντων λόγω «λήξης» τους και σε κάποιες περιπτώσεις κακής συντήρησης, προϊόντα αλλοιωμένα πριν την ημερομηνία ανάλωσης. Ουσιαστική λύση θα αποτελούσε ένας πρακτικός τρόπος παρακολούθησης του ιστορικού χρόνου-θερμοκρασίας του κάθε προϊόντος και με βάση αυτόν η βελτίωση της διαχείρισης των προϊόντων στην ψυκτική αλυσίδα. Ως ένας ιδιαίτερα υποσχόμενος τέτοιος τρόπος, είναι οι δείκτες ΤΤΙ. **Οι Χρονοθερμοκρασιακοί Δείκτες ΤΤΙ** (ΤΤΙ=Time Temperature Indicators or Integrators) είναι ένα πρωτοποριακό σύστημα επισήμανσης των τροφίμων, που μπορεί να λειτουργήσει ταυτόχρονα με την ημερομηνία λήξης. Έχουν τη μορφή μιας «ζωντανής», χαμηλού κόστους αυτοκόλλητης ετικέτας ή είναι ενσωματωμένοι στην ίδια τη συσκευασία του τροφίμου. Οι ΤΤΙ επιτρέπουν τον έλεγχο ενδεχόμενης κακομεταχείρισης του προϊόντος όσον αφορά τη θερμοκρασία συντήρησης. Είναι «χημικά» ενεργοί και δείχνουν μια εύκολα μετρήσιμη, σωρευτική χρωματική αλλαγή. Η αλλαγή αυτή λ.χ. από πράσινο σε κόκκινο, επιταχύνεται όταν η θερμοκρασία συντήρησης αυξάνει, με τρόπο που να μιμείται τη συμπεριφορά και τη σταδιακή απώλεια ποιότητας του τροφίμου που συνοδεύουν. Έτσι οι δείκτες ΤΤΙ παρακολουθούν το χρονοθερμοκρασιακό ιστορικό των τροφίμων, σε όλη την πορεία τους από το σημείο παραγωγής, τις ενδιάμεσες φάσεις διανομής μέχρι τον τελικό καταναλωτή. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν επικουρικά της ημερομηνίας ανάλωσης, ως «ζωντανή» ημερομηνία λήξης.



ΣΧΗΜΑ 1. Ψυκτική αλυσίδα τροφίμων.

Όπως προαναφέρθηκε οι ΤΤΙ είναι απλά, φθηνά συστήματα, τα οποία με μια εύκολα μετρήσιμη αλλαγή που εξαρτάται από το χρόνο και τη θερμοκρασία, δείχνουν το θερμοκρασιακό ιστορικό και την ποιοτική κατάσταση του τροφίμου που συνοδεύουν. Οι ΤΤΙ αποτελούν συνιστώσα μιας δρώσας, έξυπνης συσκευασίας, ενσωματωμένοι σ' αυτήν ή με τη μορφή μιας πρόσθετης «ζωντανής» ετικέτας. Η λειτουργία των ΤΤΙ βασίζεται σε μηχανικά, χημικά, ή ενζυμικά συστήματα, τα οποία μεταβάλλονται αναντίστρεπτα από τη στιγμή ενεργοποίησής τους, μεταβολή που εκδηλώνεται σαν μια εύκολα μετρήσιμη οπτική απόκριση των ΤΤΙ. Τέτοια απόκριση μπορεί να είναι μια μεταβολή ή εμφάνιση χρώματος ή η παραμόρφωση ή μετακίνηση κάποιας οπτικής ένδειξης. Έτσι η απόκριση εκφράζει αθροιστικά τις συνθήκες αποθήκευσης που έχει υποστεί ο δείκτης και μπορεί να συσχετιστεί με την ποιοτική κατάσταση και την απομένουσα διάρκεια ζωής του τροφίμου που συνοδεύει.

Η αποτελεσματικότητα και η αξιοπιστία ενός ΤΤΙ ως δείκτη ποιότητας του τροφίμου εξαρτάται από τα κινητικά χαρακτηριστικά της απόκρισης του. Βασική απαίτηση είναι η εξάρτηση του ρυθμού απόκρισης από τη θερμοκρασία, να προσεγγίζει κατά το δυνατόν την εξάρτηση από τη θερμοκρασία των δράσεων ποιοτικής υποβάθμισης του τροφίμου, όπως είναι οι μικροβιολογικές αλλοιώσεις. Προϋπόθεση επομένως εφαρμογής ενός συστήματος ελέγχου της ψυκτικής αλυσίδας με βάση τους Χρονοθερμοκρασιακούς Δείκτες είναι ο σωστός σχεδιασμός της απόκρισης τους με βάση την ενδεδειγμένη γνώση της κινητικής των δεικτών αλλοίωσης του τροφίμου και της εξάρτησής τους από τη θερμοκρασία.

Οι απαιτήσεις για ένα αποτελεσματικό ΤΤΙ είναι να δείχνει μία συνεχή αλλαγή, ο ρυθμός της οποίας αυξάνει με τη θερμοκρασία και ο οποίος δεν αντιστρέφεται όταν η θερμοκρασία μειώνεται. Υπάρχει και ένας αριθμός άλλων επιθυμητών φυσικών ιδιοτήτων για έναν επιτυχημένο δείκτη. Ένας *ιδανικός ΤΤΙ* πρέπει να έχει τις ακόλουθες ιδιότητες :

- Παρουσιάζει μία συνεχή, χρονο-θερμοκρασιακά εξαρτώμενη αλλαγή.
- Η αλλαγή εκφράζεται ως μία απόκριση εύκολα μετρούμενη και μη αντιστρεπτή.
- Η αλλαγή αυτή μιμείται ή μπορεί να συσχετιστεί με το βαθμό ποιοτικής αλλοίωσης του τροφίμου και την εναπομένουσα διάρκεια ζωής του.
- Είναι αξιόπιστος και δίνει σταθερές αποκρίσεις όταν εκτίθεται στις ίδιες θερμοκρασιακές συνθήκες.
- Έχει χαμηλό κόστος.
- Είναι ευέλικτος, έτσι ώστε διαφορετικές μορφές του να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διάφορα θερμοκρασιακά διαστήματα (π.χ. ψύξη, κατάψυξη, θερμοκρασία δωματίου) με χρήσιμες περιόδους απόκρισης από μερικές μέρες μέχρι και περισσότερο από ένα χρόνο.

- Είναι μικρός, εύκολα προσαρμόσιμος σαν τμήμα της συσκευασίας του τροφίμου και συμβατός με μια διεργασία συσκευασίας υψηλής ταχύτητας.
- Είναι σταθερός πριν την ενεργοποίηση του και ενεργοποιείται εύκολα.
- Δεν επηρεάζεται από τις υπόλοιπες περιβαλλοντικές συνθήκες πέραν της θερμοκρασίας, όπως το φως, ρυπαντές του αέρα και σχετική υγρασία (RH).
- Είναι ανθεκτικός σε φυσιολογικές μηχανικές καταπονήσεις χωρίς να επηρεάζεται η απόκρισή του.
- Είναι μη τοξικός και στην απίθανη περίπτωση επαφής του με το τρόφιμο δεν περικλείει κινδύνους.
- Είναι σε θέση να μεταφέρει με απλό και ξεκάθαρο τρόπο το μήνυμα στον καταναλωτή ή σε οποιονδήποτε άλλον ενδιαφερόμενο.
- Η απόκρισή του είναι οπτικά κατανοητή και μπορεί να μετρηθεί εύκολα από ηλεκτρονικές συσκευές έτσι ώστε οι πληροφορίες να λαμβάνονται, να αποθηκεύονται και να μεταδίδονται εύκολα και γρήγορα.

Κανένας ΤΤΙ δεν ικανοποιεί απολύτως όλες τις παραπάνω απαιτήσεις για να χαρακτηριστεί ως ιδανικός. Ωστόσο, η εξέλιξη των δεικτών, έχει οδηγήσει σε ένα ικανοποιητικό επίπεδο και πλέον το μοντέλο του ιδανικού ΤΤΙ προσεγγίζεται αρκετά ικανοποιητικά από τους διαθέσιμους τύπους ΤΤΙ.

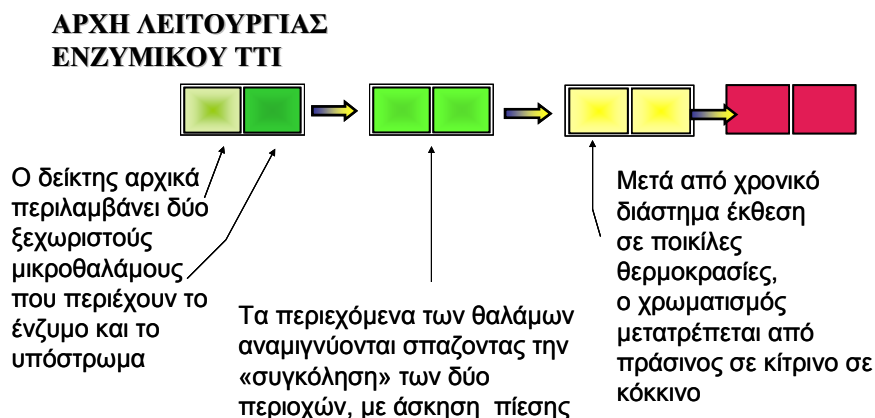
Τα πρώτα συστήματα ΤΤΙ είναι διαθέσιμα από τη δεκαετία του 1980, με πρώτη ουσιαστική εφαρμογή στις συσκευασίες των εμβολίων που διακινούνται από τον Διεθνή Οργανισμό Υγείας (WHO) προς τις χώρες του τρίτου Κόσμου. Στη συνέχεια έχουν αναφερθεί μια σειρά από εφαρμογές στην ψυκτική αλυσίδα είτε σε δοκιμαστικό στάδιο είτε στην πραγματική διακίνηση. Ξεχωρίζει η επί μία σειρά ετών χρήση τους στα προϊόντα ντελικατέσεν της Γαλλικής αλυσίδας Monoprix με θετική αποδοχή από τους καταναλωτές. Στις ΗΠΑ οι εισαγωγές φρέσκου σολομού υποχρεωτικά φέρουν ΤΤΙ στη συσκευασία τους. Μεγάλη αεροπορική εταιρεία χρησιμοποιεί ΤΤΙ για να ελέγχει τη σωστή συντήρηση της τροφοδοσίας της για τις πολύωρες πτήσεις

Οι σύγχρονοι ΤΤΙ όπως αναφέρθηκε βασίζονται σε διαφορετικές αρχές λειτουργίας. Ο ενζυματικός δείκτης της VITSAB A.B. βασίζεται σε μία χρωματική αλλαγή η οποία προκαλείται από μία μείωση του pH σαν αποτέλεσμα ελεγχόμενης ενζυμικής υδρόλυσης ενός λιπαρού υποστρώματος. Πριν την ενεργοποίηση, το ένζυμο και το υπόστρωμα βρίσκονται σε δύο ξεχωριστούς μικροθαλάμους. (Σχήμα 2). Κατά την ενεργοποίηση σπάει με επιβολή μηχανικής πίεσης το φράγμα που χωρίζει τους δύο θαλάμους και το ένζυμο και το υπόστρωμα αναμιγνύονται. Η υδρόλυση του υποστρώματος προκαλεί μεταβολή pH, η οποία μεταφράζεται με μια σταδιακή χρωματική αλλαγή από πράσινο σε κίτρινο και τελικά σε κόκκινο (Σχήμα

3). Η χρωματική αυτή αλλαγή είναι ιδιαίτερα ευκρινής και δίνουν σαφή μήνυμα σε σχέση με την εξέλιξη της χρονοθερμοκρασιακής επιβάρυνσης του προϊόντος. Διαφορετικά μίγματα ενζύμου-υποστρώματος χρησιμοποιούνται για διαφορετικά θερμοκρασιακά διαστήματα και διάρκειες ζωής.

Ο δείκτης TTI της Avery Denison βασίζεται στην διάχυση, μεταξύ δύο στρώσεων πολυμερών, πολικής ενώσεως η μεταβολή της συγκέντρωσης της οποίας προκαλεί τη μεταβολή του χρώματος φθορίζοντος δείκτη από κίτρινο σε έντονο ροδόχρωμο. (Σχήμα 4).

Ο δείκτης *Fresh-Check*[®] Indicator της Temptime (πρώην Lifelines) βασίζεται στον πολυμερισμό σε στερεή φάση ενός λεπτά επικαλυμένου, άχρωμου, διακετυλενικού μονομερούς το οποίο μετατρέπεται σε ένα πολύ σκούρο πολυμερές (Σχήμα 5).

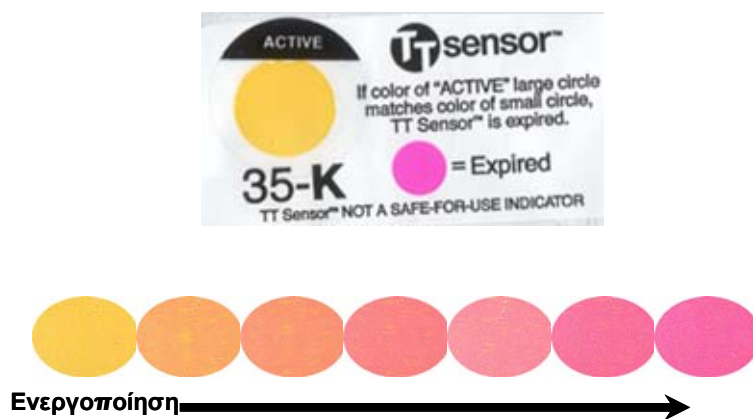


ΣΧΗΜΑ 2. Διαμόρφωση και διαδικασία ενεργοποίησης και λειτουργίας του ενζυμικού δείκτη *Check Point*[®] της VITSAB

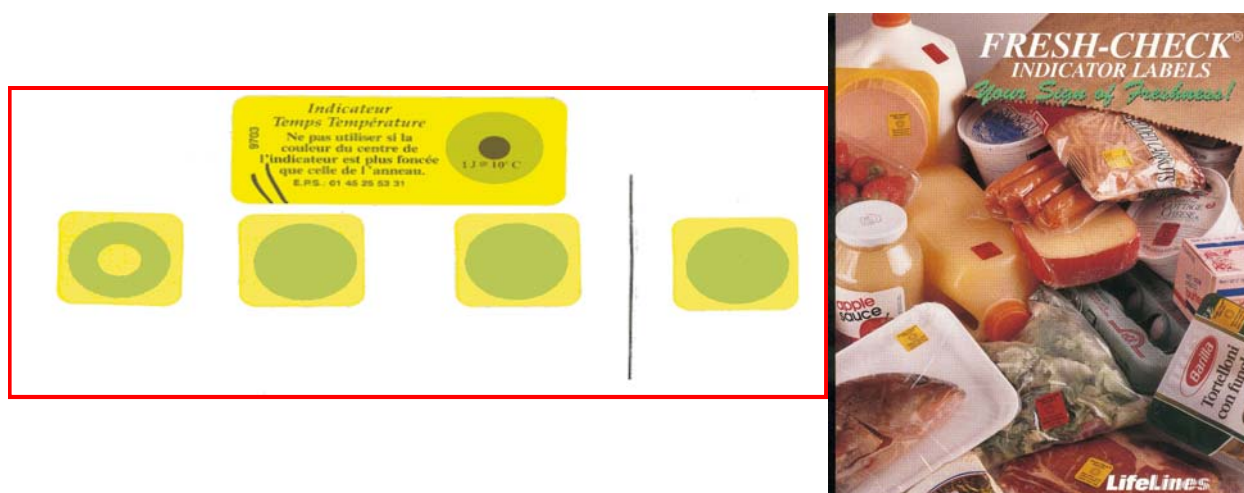


ΣΧΗΜΑ 3. Χρωματική απόκριση του ενζυμικού δείκτη *Check Point*[®] της VITSAB

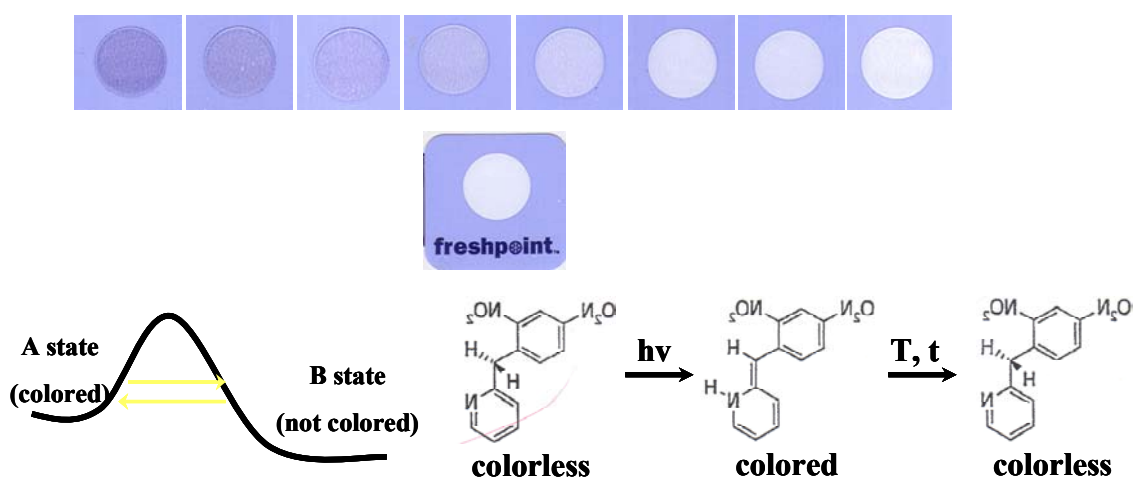
ΤΤΙ -ΗΜΕΡΙΔΑ «ΕΠΙΣΗΜΑΝΣΗ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΥΛΙΚΩΝ ΣΕ ΕΠΑΦΗ ΜΕ ΤΑ ΤΡΟΦΙΜΑ: Οι απαιτήσεις της νομοθεσίας και της αγοράς»



ΣΧΗΜΑ 4. Χρωματική απόκριση του δείκτη *TTsensor*[®] της Avery Denison.



ΣΧΗΜΑ 5. Χρωματική απόκριση του δείκτη *Fresh-Check*[®] Indicator της Temptime



ΣΧΗΜΑ 6. Χρωματική απόκριση του δείκτη *Freshpoint*

Ο ΤΤΙ της Freshpoint βασίζεται σε φωτοχημική αντίδραση, η οποία κατά την ενεργοποίηση του δείκτη δίνει ένα έντονα σκούρο χρώμα που στη συνέχεια αποχρωματίζεται με ρυθμό που εξαρτάται από τη θερμοκρασία (Σχήμα 5). Το πλεονέκτημα του συστήματος αυτού είναι το χαμηλό κόστος και η ευκολία εφαρμογής αφού θα μπορούσε να «εκτυπωθεί» στη συσκευασία στο επιθυμητό σχήμα.

ΤΥΠΟΣ ΤΤΙ	Συνολικός χρόνος απόκρισης ΤΤΙ (h)			
	0°C	5°C	10°C	15°C
M4-10 VITSAB	410	250	120	80
M4-29 VITSAB	1000	670	280	170
L4-4 VITSAB	264	85	20	8
L4-11 VITSAB	880	197	52	11
L4-54 VITSAB	3000	980	300	80
B4-2 VITSAB	67	42	20	10
C4-8 VITSAB	200	165	122	67
C4-13 VITSAB	400	260	200	150
L233-ER FRESHPOINT	528	384	288	106
35-F Avery Denison	260	93	45	22

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Χρόνος απόκρισης ορισμένων ΤΤΙ σαν συνάρτηση της θερμοκρασίας

Στο σχεδιασμό και ιδιαίτερα στη μελέτη απόκρισης εναλλακτικών σχεδιασμών των παραπάνω δεικτών με στόχο την ανάπτυξη συστηματικής και αξιόπιστης μεθοδολογίας εφαρμογής των ΤΤΙ για την παρακολούθηση και τη διαχείριση της ψυκτικής αλυσίδας έχει αναπτύξει την τελευταία δεκαετία σημαντική ερευνητική δραστηριότητα το Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων, της Σχολής Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ.

Στον Πίνακα 1 δίδονται αντιπροσωπευτικά οι χρόνοι απόκρισης ορισμένων ΤΤΙ.

ΑΡΧΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΩΝ ΧΡΟΝΟΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ

Η υποβάθμιση της ποιότητας ενός τροφίμου μπορεί να ποσοτικοποιηθεί μέσω της συνάρτησης ποιότητας $f(A)$, όπου A ένας δείκτης ποιότητας (quality index), χαρακτηριστικός για το τρόφιμο. Η παρακολούθηση και μέτρηση της χρονικής μεταβολής του A επιτρέπει τη μαθηματική έκφραση της χρονοθερμοκρασιακής εξάρτησης της ποιότητας με βάση την κινητική Arrhenius ως:

$$f(A) = k_{A_{ref}} \exp\left(-\frac{E_a}{R} \left[\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}}\right]\right) t \quad (1)$$

όπου $k_{A_{ref}}$ ο ρυθμός αλλοίωσης σε θερμοκρασία αναφοράς T_{ref} , E_a είναι η ενέργεια ενεργοποίησης της δράσης αλλοίωσης, R η παγκόσμια σταθερά αερίων. Η τιμή της $f(A)_t$ για έκθεση του τροφίμου σε γνωστή θερμοκρασιακή κατανομή δίνεται από το ολοκλήρωμα της σχέσης (2). Εισάγοντας την έννοια της δραστικής θερμοκρασίας T_{eff} (effective temperature) που ορίζεται ως η σταθερή θερμοκρασία η οποία καταλήγει στο ίδιο αποτέλεσμα με τη μεταβλητή θερμοκρασιακή κατανομή, η $f(A)$ μπορεί να εκφραστεί από το δεύτερο σκέλος της εξ. (2):

$$f(A)_t = \int_0^t k(T(t)) dt = k_{A_{ref}} \exp\left(-\frac{E_a}{R} \left[\frac{1}{T_{eff}} - \frac{1}{T_{ref}}\right]\right) t \quad (2)$$

Ανάλογα αντιμετωπίζεται η κινητική απόκρισης των ΤΤΙ. Η απόκριση ενός ΤΤΙ είναι το αποτέλεσμα ενός φυσικοχημικού ή βιολογικού φαινομένου, το οποίο εξαρτάται από τις χρονοθερμοκρασιακές συνθήκες. Εάν X η μετρήσιμη αλλαγή του ΤΤΙ, (π.χ. η αλλαγή απόχρωσης), μπορεί να ορισθεί συνάρτηση απόκρισης $F(X)$ με μορφή $F(X) = kt$. Αν η θερμοκρασιακή εξάρτηση του ρυθμού απόκρισης k ακολουθεί την κινητική Arrhenius η τιμή της συνάρτησης απόκρισης μετά από έκθεση στην ίδια με το τρόφιμο θερμοκρασιακή κατανομή $T(t)$, δίνεται κατά αναλογία με τη (2) ως:

$$F(X)_t = k_{I_{ref}} \int_0^t \exp\left(-\frac{E_a}{R} \left[\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}}\right]\right) dt = k_{I_{ref}} \exp\left(-\frac{E_a}{R} \left[\frac{1}{T_{eff}} - \frac{1}{T_{ref}}\right]\right) t \quad (3)$$

όπου $k_{I_{ref}}$ και E_a οι κινητικές παράμετροι του ΤΤΙ.

Ο συσχετισμός της ποιότητας των τροφίμων με την απόκριση των ΤΤΙ γίνεται ως εξής:

- Από την απόκριση X_t του δείκτη υπολογίζεται η τιμή της συνάρτησης απόκρισης $F(X)_t$ του ΤΤΙ
- Υπολογίζεται η δραστική θερμοκρασία από την (3)
- Με βάση τη T_{eff} και τις παραμέτρους ποιοτικής υποβάθμισης υπολογίζεται η τιμή της $f(A)$ (εξ.(2))
- Από την τιμή της $f(A)_t$, υπολογίζεται η τιμή του δείκτη A_t που δείχνει το βαθμό ποιοτικής υποβάθμισης του τροφίμου και επιτρέπει την εκτίμηση της εναπομένουσας ζωής

Από τα παραπάνω, είναι φανερό ότι, προκειμένου να γίνει σωστή χρήση των ΤΤΙ, απαιτείται λεπτομερής γνώση των κινητικών χαρακτηριστικών τόσο της ποιοτικής

υποβάθμισης του τροφίμου όσο και της απόκρισης του ΤΤΙ. Σημαντικό μέγεθος αναφοράς για την επιλογή του κατάλληλου ΤΤΙ για συγκεκριμένο τρόφιμο είναι η τιμή της E_a που εκφράζει τη θερμοκρασιακή ευαισθησία του τροφίμου και του δείκτη αντίστοιχα. Μια σημαντική απαίτηση είναι να ισχύει $E_{a(\text{τροφ})} \approx E_{a(\text{ΤΤΙ})}$.

Το παραπάνω σχήμα εφαρμογής αποτέλεσε τη βάση για ένα φιλικό στο χρήστη λογισμικό (ΤΤΙ response and Shelf life calculator –ΤΤΙSLC v2.0) που αναπτύχθηκε στο ΕΜΠ για να μεταφράζει την απόκριση του κατάλληλου ΤΤΙ στην ποιοτική κατάσταση και την εναπομένουσα διάρκεια ζωής οποιουδήποτε ελεγχόμενου τροφίμου.

Η απλούστερη θεώρηση και χρήση των ΤΤΙ είναι ως «ζωντανή» σήμανση η οποία θα λειτουργεί επικουρικά της ημερομηνίας λήξης του τροφίμου επισημαίνοντας τις περιπτώσεις αυξημένης ποιοτικής υποβάθμισης λόγω ενδεχόμενης ανεπάρκειας της ψυκτικής αλυσίδας ή περιστασιακής θερμοκρασιακής κακομεταχείρισης του προϊόντος. Πέραν της χρήσης αυτής οι ΤΤΙ μπορούν να αποτελέσουν εργαλείο συστηματικής διαχείρισης της ψυκτικής αλυσίδας.

Ο εντοπισμός και η βελτίωση των αδύνατων σημείων της συχνά προβληματικής ψυκτικής αλυσίδας, ο ποσοτικός προσδιορισμός της επίδρασής τους στη συνολική ποιότητα των τροφίμων και ο δυναμικός έλεγχος και η διαχείριση της ποιότητας με τους δείκτες ΤΤΙ είναι το αντικείμενο του Ευρωπαϊκού Ερευνητικού Προγράμματος SMAS (Project N° QLK1-CT2002-02545, <http://smas.chemeng.ntua.gr>) το οποίο συντονίζεται από το Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων, της Σχολής Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ. Έξι ακόμα Ευρωπαϊκοί φορείς από την Ιρλανδία, Μ. Βρετανία, Ολλανδία, Σουηδία και την Ελλάδα, μεταξύ των οποίων και το Γεωπονικό Πανεπιστήμιο και μεγάλη Ελληνική βιομηχανία αλλαντικών συνεργάζονται με συνολικό τελικό παραδοτέο ένα αποτελεσματικό εργαλείο διαχείρισης της ψυκτικής αλυσίδας. Η έρευνα εστιάζεται στην ανάπτυξη, μελέτη και αποτελεσματική εφαρμογή των δεικτών ΤΤΙ για να εξασφαλίσουν στον καταναλωτή ποιότητα μέχρι το πιάτο του! Το ακρωνύμιο SMAS είναι ο σύντομος τίτλος του ερευνητικού έργου “Development and application of a TTI based Safety Monitoring and Assurance System for Chilled Meat Products”. Το έργο εστιάζει στην ανάπτυξη επικυρωμένων μοντέλων πρόρρησης της ανάπτυξης παθογόνων και αλλοιογόνων μικροοργανισμών στο κρέας και στην κινητική απόκριση επιλεγμένων ΤΤΙ και το σχεδιασμό σχήματος εφαρμογής για την μετάφραση της απόκρισης των ΤΤΙ στη μικροβιολογική ποιότητα του κρέατος.

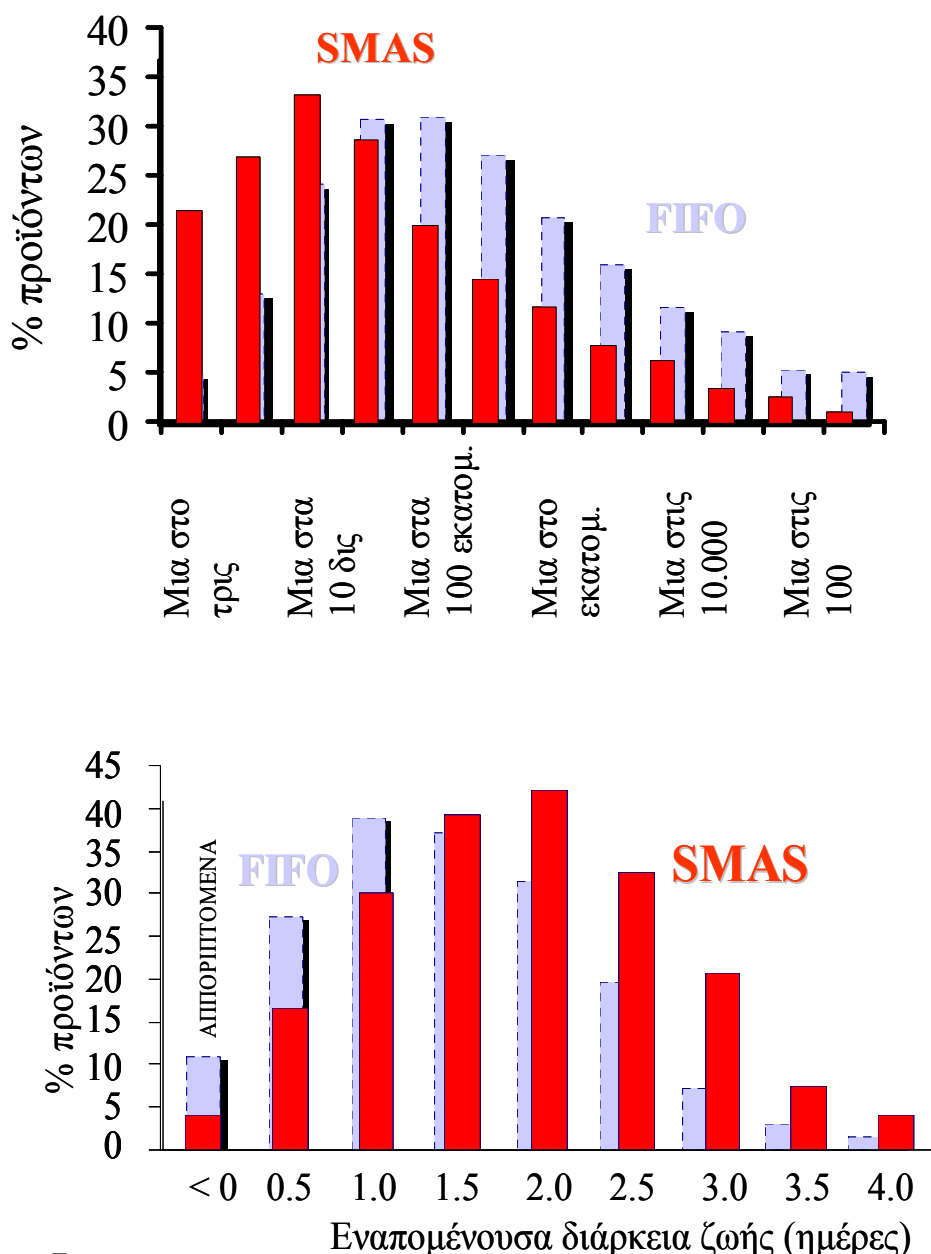
Το SMAS χρησιμοποιεί τα επαληθευμένα μοντέλα μικροβιακής ανάπτυξης των παθογόνων και των ειδικών μικροοργανισμών αλλοίωσης (Specific spoilage organisms, SSO) για κάθε είδος προϊόντος κρέατος, στοιχεία για την κατανομή του αρχικού μικροβιακού πληθυσμού των αλλοιογόνων οργανισμών, N_0 , και για την πιθανότητα

ύπαρξης παθογόνων, τη συνεχή θερμοκρασιακή καταγραφή της ψυκτικής αλυσίδας με τη βοήθεια των Χρονοθερμοκρασιακών Δεικτών και τέλος, τη συσχέτιση της οργανοληπτικής αποδεκτότητας με ένα τελικό επίπεδο μικροοργανισμών, N_s , που σηματοδοτεί τη λήξη της ζωής του προϊόντος. Όλα τα παραπάνω στοιχεία εισάγονται στο σύστημα και ολοκληρώνονται με τη βοήθεια ενός λογισμικού, που επιτρέπει τον υπολογισμό της πραγματικής εναπομένουσας ζωής και της επικινδυνότητας (risk assessment) των μεμονωμένων μονάδων προϊόντων σε κρίσιμα σημεία της ψυκτικής αλυσίδας. Με βάση την κατανομή της εναπομένουσας διατηρησιμότητας που υπολογίζεται σε οποιοδήποτε φάση διακίνησης, υπάρχει η δυνατότητα να ληφθούν αποφάσεις για βέλτιστες συνθήκες μεταχείρισης, μεταφοράς και αποθήκευσης. Ο απώτερος στόχος είναι να επιτευχθεί μια, κατά το δυνατόν, στενότερη κατανομή ποιότητας στο τελικό στάδιο της κατανάλωσης και μείωση του ρίσκου ασθένειας κατά την κατανάλωση.

Στα σημαντικά σημεία απόφασης της ψυκτικής αλυσίδας, η εφαρμογή του SMAS προϋποθέτει την εισαγωγή της απόκρισης του συνημμένου στο τρόφιμο ΤΤΙ και των χαρακτηριστικών του προϊόντος. Αυτές οι πληροφορίες καταχωρούνται απευθείας σε μια φορητή, εξοπλισμένη με το κατάλληλο λογισμικό εργαλείο του SMAS, μονάδα, προκειμένου να γίνει δυνατή η αυτόματη «μετάφραση» αυτών των δεδομένων σε ποιότητα, N_t , και επικινδυνότητα. Το τελικό αποτέλεσμα της εφαρμογής του SMAS μπορεί να απεικονιστεί σχηματικά (Σχήμα 7) με μείωση της πιθανότητας ασθένειας και αύξηση της εναπομένουσας διάρκειας ζωής κατά την κατανάλωση σε σύγκριση με τη συμβατική προσέγγιση του first in first out (FIFO).

Όσον αφορά την αποδοχή του συστήματος επισήμανσης με ΤΤΙ από τους καταναλωτές:

Σε μελέτη στα πλαίσια του SMAS, άνω των 800 καταναλωτών σε 4 ευρωπαϊκές χώρες, Ελλάδα, Ιρλανδία, Ολλανδία και Σουηδία, οι καταναλωτές ήταν στη συντριπτική τους πλειοψηφία υπέρ της χρήσης των ΤΤΙ. Περισσότεροι από 80% θεώρησαν την απόκριση των ΤΤΙ περισσότερο αξιόπιστη από την ημερομηνία λήξης. Περισσότεροι από 85% απάντησαν ότι δεν θα μπερδευτούν από την παράλληλη-συμπληρωματική χρήση των ΤΤΙ μαζί με την υποχρεωτική χρήση της ημερομηνίας λήξης. Τα 2/3 δήλωσαν ότι θα δεχόντουσαν μια μικρή επιβάρυνση στη τιμή ως αντίτιμο της επιπλέον σιγουριάς που θα νοιώθουν για τα προϊόντα με ΤΤΙ



Σχήμα 7. Το πρώτο ραβδόγραμμα δείχνει την μείωση της πιθανότητας ασθένειας και το δεύτερο τη βελτίωση της κατανομής ποιότητας με την εφαρμογή του SMAS.

Τέλος η Βιομηχανία Τροφίμων αναγνωρίζει τα προβλήματα της ψυκτικής αλυσίδας και τα δυνητικά οφέλη από τη χρήση των ΤΤΙ και παρακολουθεί με ενδιαφέρον την σχετική έρευνα για την πρακτική και αποτελεσματική εφαρμογή τους. Σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του SMAS σε περίπου 50 επιχειρήσεις που παράγουν, διακινούν ή πωλούν ψυγμένα προϊόντα σε 4 Ευρωπαϊκές χώρες (Ελλάδα, Ηνωμένο Βασίλειο, Ολλανδία, Σουηδία) υπήρχε μια σχεδόν ομόφωνη αποδοχή ότι η ψυκτική αλυσίδα χρειάζεται βελτίωση και θα ωφεληθεί από νέους τρόπους διαχείρισης. Συνολικά υπήρξε θετική αντιμετώπιση των πλεονεκτημάτων που μπορεί να προκύψουν στην ψυκτική αλυσίδα αλλά εκφράστηκαν και επιφυλάξεις. Οι τελευταίες αφορούσαν κυρίως την ορθή εφαρμογή των ΤΤΙ από τους εμπλεκόμενους

στην ψυκτική αλυσίδα και τους καταναλωτές και την ενημέρωση που θα απαιτηθεί. Επίσης υπήρξαν αμφιβολίες κατά πόσον οι γνώσεις για τη συμπεριφορά των προϊόντων σε διαφορετικές συνθήκες συντήρησης και των αντίστοιχων ΤΤΙ είναι επαρκείς. Αν και το κόστος, που υπολογίζεται 5 ως 15 λεπτά/ δείκτη, αποτελεί σημαντική παράμετρο δεν θα ήταν το κρίσιμο κριτήριο επιλογής εφόσον τα παραπάνω έχουν αντιμετωπιστεί. Οι πληροφορίες και η τεχνογνωσία σχετικά με τα παραπάνω που προκύπτουν από έργα όπως το SMAS θεωρήθηκε από την πλειοψηφία ότι συμβάλλουν προς τη σωστή κατεύθυνση.

Μια πλούσια βάση πληροφοριών για τους ΤΤΙ και το SMAS είναι διαθέσιμη στη δικτυακή διεύθυνση <http://smas.chemeng.ntua.gr>

Στην παρατιθέμενη βιβλιογραφία αναφέρονται μια σειρά από εργασίες σχετικών με τους ΤΤΙ και την εφαρμογή τους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Fu, B., Taoukis P. S. and Labuza T. P. (1991), "Predictive Microbiology for monitoring spoilage of dairy products with time temperature indicators", *Journal of Food Science*, 56(5), p. 1209-1215.
- Giannakourou M , Koutsoumanis, K.,, Nychas, G-J and. Taoukis, P.(2001) Development and Assessment of an Intelligent Shelf Life Decision System for Quality Optimization of the Food Chill Chain.. *J Food Protection* 64(7), 1051-1057
- Giannakourou M.C. and Taoukis P.S. (2002). Systematic application of Time Temperature Integrators as tools for control of frozen vegetable quality *J. Food Science* 67, 2221-2228.
- Koutsoumanis K., Giannakourou M.C., Taoukis P.S. and Nychas G-J.E 'Application of Shelf Life Decision System (SLDS) to marine cultured fish quality' *Int. J.Food Micro.*, 2002, 73, 375-382.
- Koutsoumanis, K., Taoukis, P. & Nychas G-J. (2005) Development of a Safety Monitoring and Assurance System (SMAS) for chilled food Products; *International Journal of Food Microbiology* 100, 253-260.
- Taoukis ,P.S., Fu B., and Labuza T.P. Time -Temperature Indicators. *Food Technology*, 45(10), (1991) 70-82.
- Taoukis P.S., Koutsoumanis K. and Nychas G-J.E. 'Use of Time Temperature Integrators and Predictive Modeling for Shelf Life Control of Chilled Fish under Dynamic Storage Conditions.' *Int. J. Food Microbiol.*, 1999, 53 21-31.
- Taoukis PS. 2001. Modelling the use of time-temperature indicators in distribution and stock rotation. In: Tijkskens LMM, Hertog MLATM, Nicolao BM, editors. Food process modelling. 3rd ed. Washington DC: CRC Press. p. 402-432
- Taoukis, P.S. and Labuza T.P. 'Reliability of Time Temperature Indicators as food quality monitors under non isothermal conditions.' *J. Food Sci.*, 1989 54 789-792.
- Taoukis, P.S. and Labuza T.P. Applicability of Time Temperature Indicators as shelf life monitors of food products. *Journal Food Science*, (1989), 54. 783-788.
- Taoukis, P.S. and Labuza T.P. Reliability of Time Temperature Indicators as food quality monitors under non isothermal conditions. *Journal Food Science*, 54. (1989), 789-792.
- Taoukis, P.S., Bili, M., and Giannakourou M. (1998). Application of shelf life modelling of chilled salad products to a TTI based distribution and stock rotation system. *Acta Horticult.* , 476, 131-140.
- Taoukis PS. 2001. Modelling the use of time-temperature indicators in distribution and stock rotation. In: Tijkskens LMM, Hertog MLATM, Nicolai BM, editors. Food process modelling. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, UK and CRC Press LLC, Boca Raton FL, USA, Ch. 19, p. 402-432
- Taoukis PS. and Labuza T.P. 2003. Time-Temperature Indicators (TTIs). In: Novel Food Packaging Techniques. R. Ahvenainen , editor. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, UK and CRC Press LLC, Boca Raton FL, USA, Ch 6. p. 103-126.
- Tsoka, S. , Taoukis P.S., Christakopoulos, P., Kekos, D., Macris B.J. (1998). Time temperature Integration for Chilled Food Shelf life Monitoring using Enzyme-Substrate Systems. *Food Biotechnology*. 12(2), 139-155.