

Εφαρμογή έξυπνης και ενεργής συσκευασίας ιχθυηρών και ανάπτυξη καινοτόμου συστήματος διαχείρισης και διασφάλισης υψηλής ποιότητας και βελτιωμένης διατηρησιμότητας

WORKSHOP

ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΛΙΕΥΣΗΣ, ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ
ΓΙΑ ΤΗ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΔΙΑΤΗΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑΣ
ΦΡΕΣΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΙΧΘΥΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ

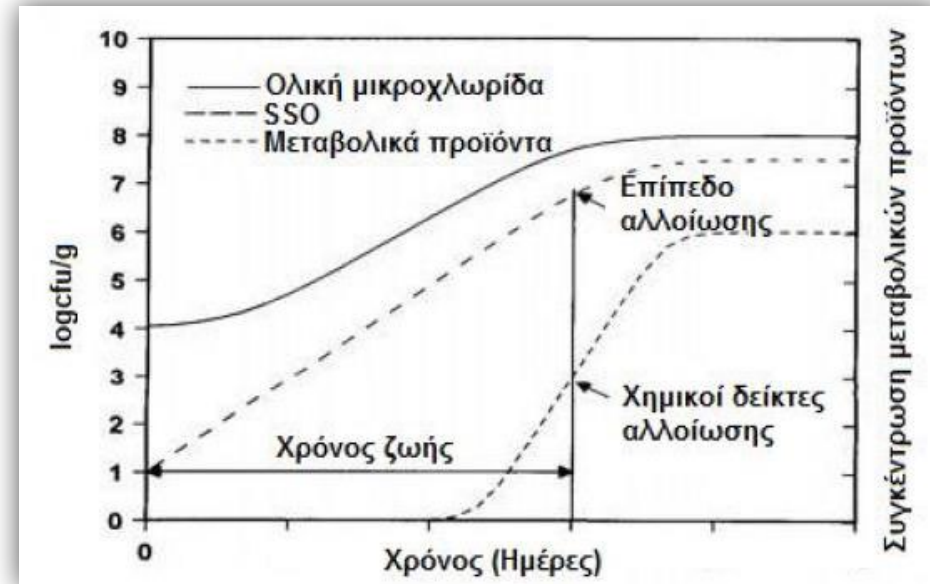
Μαρία Κατσούλη, Χημικός Μηχανικός, PhD
mkatsouli@chemeng.ntua.gr

Πέμπτη 26 Μαΐου 2022
Κεντρική Βιβλιοθήκη,
Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο



Πρόκληση της ελληνικής ιχθυοκαλλιέργειας: η διατήρηση της φρεσκότητας του ιχθύος για χρονικό διάστημα που διευκολύνει τις εξαγωγές και τη μεταφορά του.

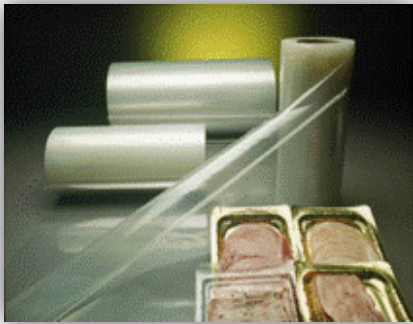
Αντιμετώπιση πρόκλησης: επιβράδυνση των βιοχημικών και μικροβιολογικών μηχανισμών που κινητοποιούνται με την αλίευση και ευθύνονται για τη σταδιακή υποβάθμιση του προϊόντος.



Βασικές λειτουργίες συσκευασίας σε ένα τρόφιμο:

- Προστασία του τροφίμου → αποφυγή αλλοίωσης, φθοράς και μόλυνσης.
- Αύξηση του χρόνου ζωής του προϊόντος.
- Ευκολία χειρισμού και μεταφοράς.
- Σήμανση και διαφήμιση → προσέλκυση καταναλωτή, αναγνώριση του προϊόντος για τις πωλήσεις.
- Μείωση όγκου απορριμμάτων





- Τροποποίηση της σύστασης των αερίων στο εσωτερικό της συσκευασίας. Μίγμα αερίων O_2 , CO_2 , N_2 σε διαφορετικές συγκεντρώσεις.

- Μέθοδος ελάχιστης επεξεργασίας: ελάχιστη μεταβολή στην ποιότητα, την υφή, τη γεύση και τη θρεπτικότητα, συγκριτικά με τις συμβατικές μεθόδους συντήρησης.



- Επέκταση του χρόνου ζωής καθώς ο ρυθμός αλλοίωσης και υποβάθμισης της ποιότητας περιορίζονται.

- Σημαντικότερο αέριο της MAP → CO_2

- ✓ Ισχυρή αντιμικροβιακή δράση: αναστέλλει τη δράση πολλών βακτηρίων και ειδικά των Gram-αρνητικών βακτηρίων (π.χ. βακτήρια του γένους *Pseudomonas* → δυσοσμία σε ψάρια)

- ✓ Μεγάλη διαλυτότητα στο νερό

- ✓ Επιφέρει μεγάλη μείωση στο pH του τροφίμου

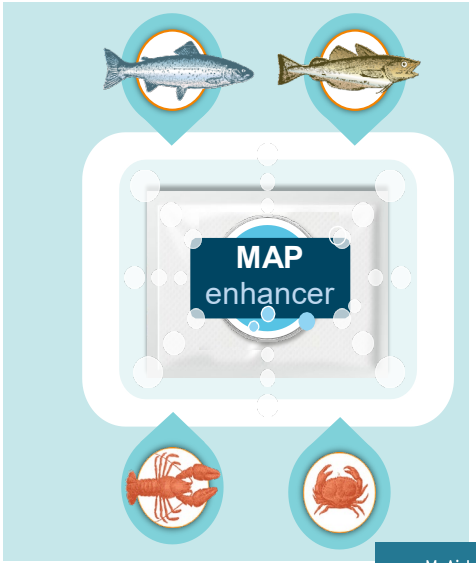


- Η αποτελεσματικότητα της ΜΑΡ εξαρτάται από:
 - σύσταση και συγκέντρωση αερίων στο εσωτερικό της συσκευασίας.
 - αναλογία του όγκου του αερίου προς τον όγκο του συσκευασμένου τροφίμου.
- Τα ιχθυηρά με υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία και λίπος απορροφούν πολύ CO_2 → «κατάρρευση» προς τα μέσα της εύκαμπτης συσκευασίας ΜΑΡ.



ΕΝΕΡΓΗ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ - ΧΡΗΣΗ ΕΚΠΟΜΠΕΩΝ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (CO₂ EMITTERS-PADS)

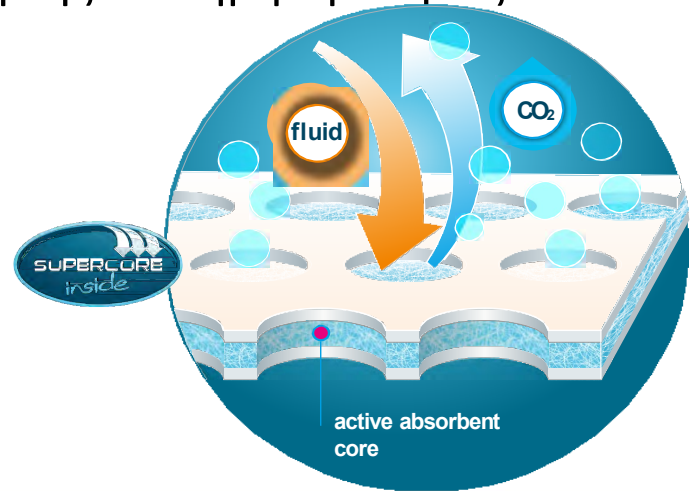
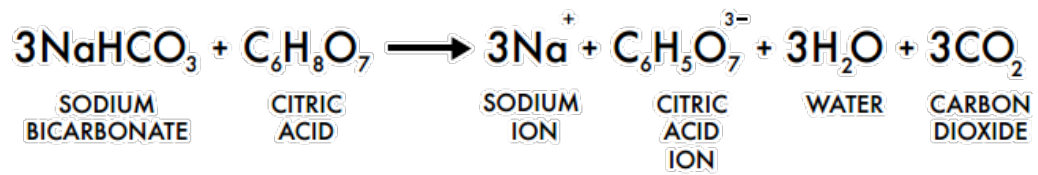
McAirlaid's 



Συνδυασμός MAP με καινοτόμο ενεργό συσκευασία εκπομπών CO₂:

- ενίσχυση της δράσης της MAP → αποφυγή κατάρρευσης της συσκευασίας
- ελάττωση του όγκου της συσκευασίας → μείωση χώρου και κόστους διακίνησης
- μείωση του ρυθμού ανάπτυξης των μικροβιακών πληθυσμών → επέκταση της διατηρησιμότητας

Σύστημα παραγωγής CO₂
με βάση το κιτρικό οξύ και το διττανθρακικό νάτριο



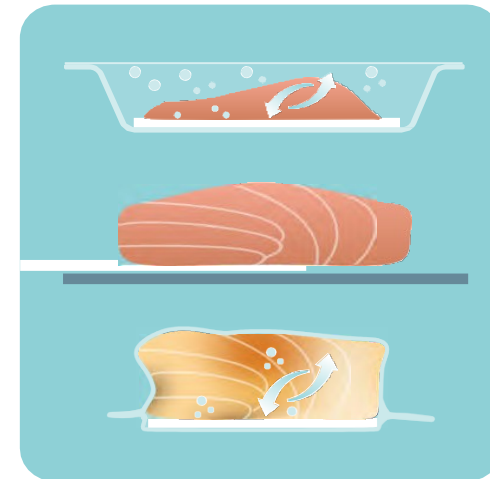
ΕΝΕΡΓΗ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ - ΧΡΗΣΗ ΕΚΠΟΜΠΕΩΝ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (CO_2 EMITTERS-PADS)



CO_2 emitters-PADs με διαφορετικά τεχνικά χαρακτηριστικά ανάλογα το τρόφιμο.

Κατάλληλα για:

- Συσκευασία MAP με μίγμα αερίων CO_2/N_2
- Συσκευασία κενού
- Skin packaging



** Μεχρι σήμερα περιορισμένη μελέτη πάνω στην ανάπτυξη και εφαρμογή ενεργούς συσκευασίας εκπομπών CO_2 σε μεσογειακά είδη.*

Σχεδιασμός καινοτομικών προϊόντων και νέες τεχνικές συσκευασίας

Βελτίωση της ποιότητας και επέκταση της διάρκειας ζωής των ιχθυηρών → ελάττωση των απωλειών και του συνολικού κόστους παραγωγής.

Νέες μέθοδοι συσκευασίας

- Μελέτη και εφαρμογή νέας χαμηλού κόστους ενεργής συσκευασίας για την προστασία των ιχθυηρών και την επέκταση της διατηρησιμότητάς τους.

Διαχείριση ψυκτικής αλυσίδας

- Ανάπτυξη και εφαρμογή ενός συστήματος διαχείρισης της ποιότητας και της διατηρησιμότητας των ιχθυηρών από την παραγωγή ως την κατανάλωση, με την χρήση έξυπνης συσκευασίας (δείκτες TTI).

Τελικό αποτέλεσμα

Νέα συσκευασμένα προϊόντα (τσιπούρα απεντερωμένη & φιλέτο, λαβράκι απεντερωμένο & φιλέτο) με μεγάλη διάρκεια ζωής στο ράφι και υψηλή ποιότητα μέχρι το στάδιο της κατανάλωσης, λαμβάνοντας υπόψη τις προσδοκίες των καταναλωτών για υψηλή ποιότητα και ευκολία στη χρήση.

- Απεντερωμένο & φιλέτο
 - Λαβράκι
 - Τσιπούρα
- CO₂ emitters (PAD) με διαφορετικά τεχνικά χαρακτηριστικά
 - 80 -120 mm x 130 - 300mm
 - 120 – 550 mL εκλυόμενο CO₂
- Συσκευασία ιχθυρών σε:
 - MAP → Control
 - MAP με προσθήκη CO₂ emitters
 - Αέρα
 - Κενό
- Συνθήκες MAP
 - 60 % CO₂, 20 % N₂, 20 % O₂
 - 50 % CO₂, 40 % N₂, 10 % O₂
 - 40 % CO₂, 40 % N₂, 20 % O₂
- Συνθήκες αποθήκευσης
 - Ισοθερμοκρασιακό προφίλ 0 – 10 °C
 - Μη-ισοθερμοκρασιακό προφίλ



Μελέτη διατηρησιμότητας-Μαθηματική προτυποποίηση της υποβάθμισης της ποιότητας και του χρόνου ζωής συναρτήσει του χρόνου και της θερμοκρασίας συντήρησης



0°C
2.5 °C
5°C
10°C
Non-isothermal



Microbial growth

Total viable count
Pseudomonas spp.
Lactic acid bacteria
Enterobacteriaceae spp.
H₂S-producing bacteria
Headspace composition
pH
Sensory scoring
Physicochemical changes



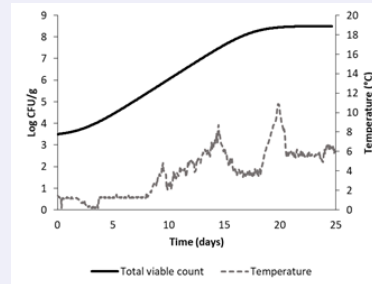
Mathematical modelling

Primary modelling
Baranyi growth model
DMfit software (IFR, UK)

Secondary modelling
Arrhenius model

Non-linear regression
SYSTAT 10.2® Software

Shelf life
f(T, %CO₂, g:p)



Πρωτεΐνες



Kjeldhal (Büchi 321
Distillation unit,
Flawwil, Switzerland)

Λίπη



Extraction method
(Smedes, 1999)

pH (pH-meter 338 (AMEL Instruments, Milan, Italy))

Τέφρα



Πύρωση ($\approx 550^{\circ}\text{C}$)
προζυγισμένου δείγματος
ιχθύος για 12 h

Υγρασία



WTB BINDER 7200 (Type
E53, Tuttlingen,
Germany)

Μικροβιολογική ανάλυση

- Total viable count
- *Pseudomonas* spp.
- Lactic acid bacteria
- *Enterobacteriaceae* spp.
- H_2S -producing bacteria
- Yeasts and moulds



Χρώμα



CR-Minolta Chromameter®
(Minolta Co., Chuo-Ku, Osaka,
Japan)

Υφή



Texture analyzer
(MODEL TA-XT2i, Stable Micro
Systems, Godalming, Surrey,
U.K.)

Οξείδωση λιπών



Analysis of
2-thiobarbituric
acid-reactive
substances (TBARS
values)

Πρωτεΐνες



Kjeldhal (Büchi 321 Distillation unit, Flawwil, Switzerland)

Λίπη



Extraction method (Smedes, 1999)

pH (pH-meter 338 (AMEL Instruments, Milan, Italy))



Τέφρα

Πύρωση ($\approx 550^{\circ}\text{C}$) προζυγισμένου δείγματος ιχθύος για 12 h

Υγρασία



WTB BINDER 7200 (Type E53, Tuttlingen, Germany)

Μικροβιολογική ανάλυση

- Total viable count
- *Pseudomonas spp.*
- Lactic acid bacteria
- *Enterobacteriaceae spp.*
- H_2S -producing bacteria



Χρώμα



CR-Minolta Chromameter®
(Minolta Co., Chuo-Ku, Osaka, Japan)

Υφή



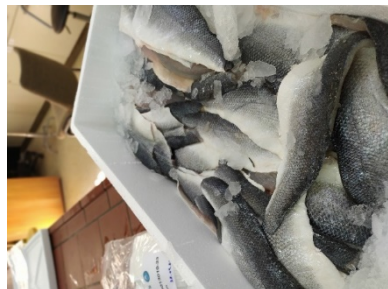
Texture analyzer
(MODEL TA-XT2i, Stable Micro Systems, Godalming, Surrey, U.K.)

Οξείδωση λιπών

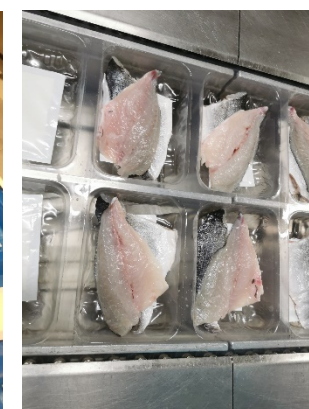


Analysis of 2-thiobarbituric acid-reactive substances-TBARS values)

Μελέτες σε εργαστηριακή κλίμακα



Μελέτες σε πιλοτική κλίμακα (Select Fish)



- Απεντερωμένο Λαβράκι
- CO₂ emitters με διαφορετικά τεχνικά χαρακτηριστικά
- Συσκευασία ιχθυρών σε:
 - MAP → Control
 - MAP με προσθήκη CO₂ emitters (MAP-PAD)
 - Αέρα
 - Κενό
- Συνθήκες αποθήκευσης
 - Ισοθερμοκρασιακό προφίλ 0 – 10 °C
 - Μη-ισοθερμοκρασιακό προφίλ



MAP-PAD



MAP (control)



AIR



Vacuum

Ανάπτυξη μαθηματικού κινητικού μοντέλου-Μοντέλο Arrhenius: $\ln k = \ln k_{ref} - (E_a/R)(1/T - 1/T_{ref})$

Storage Temperature	0 °C	5 °C	10 °C
Total viable count			
MAP			
Growth rate, k (in d ⁻¹)	0.175 ± 0.010 ^a	0.337 ± 0.028 ^a	0.496 ± 0.027 ^a
Lag phase, λ (in d)	3.14 ± 0.63	1.83 ± 0.72	0.41 ± 0.27
R ² fit	0.991	0.982	0.995
ACT-MAP			
Growth rate, k (in d ⁻¹)	0.138 ± 0.017 ^b	0.277 ± 0.016 ^b	0.308 ± 0.041 ^b
Lag phase, λ (in d)	10.6 ± 0.58	6.73 ± 0.41	1.04 ± 1.05
R ² fit	0.996	0.999	0.949
Pseudomonas spp.			
MAP			
Growth rate, k (in d ⁻¹)	0.165 ± 0.005 ^a	0.347 ± 0.029 ^a	0.345 ± 0.029 ^a
Lag phase, λ (in d)	1.98 ± 0.56	-	-
R ² fit	0.999	0.990	0.990
ACT-MAP			
Growth rate, k (in d ⁻¹)	0.108 ± 0.027 ^b	0.129 ± 0.006 ^b	0.191 ± 0.027 ^b
Lag phase, λ (in d)	8.05 ± 2.49	-	-
R ² fit	0.949	0.994	0.990
Enterobacteriaceae spp.			
MAP			
Growth rate, k (in d ⁻¹)	0.245 ± 0.093 ^a	0.339 ± 0.103 ^a	0.625 ± 0.103 ^a
Lag phase, λ (in d)	-	-	-
R ² fit	0.952	0.922	0.990
ACT-MAP			
Growth rate, k (in d ⁻¹)	0.204 ± 0.017 ^a	0.292 ± 0.019 ^a	0.378 ± 0.019 ^a
Lag phase, λ (in d)	-	-	-
R ² fit	0.993	0.990	0.890

Mean values ± standard error based on the statistical variation in the kinetic parameters of the Bar model: regression analysis). ^{a,b} Different superscript in the same column for the estimated growth rate same microorganism indicate statistically significant differences.

	Arrhenius Model Parameters for the Microbial Growth Rate	Arrhenius Model Parameters for the Lag Phase
	Total viable count	
MAP		
E _{a,k} (kJ mol ⁻¹)	67.2	213.4
k _{ref} (d ⁻¹)	0.279	1.05
R ²	0.981	0.990
ACT-MAP		
E _{a,k} (kJ mol ⁻¹)	51.8	148.9
k _{ref} (d ⁻¹)	0.211	1.66
R ²	0.855	0.885
MAP		
E _{a,k} (kJ mol ⁻¹)	67.2	213.4
k _{ref} (d ⁻¹)	0.279	1.05
R ²	0.981	0.990



Article

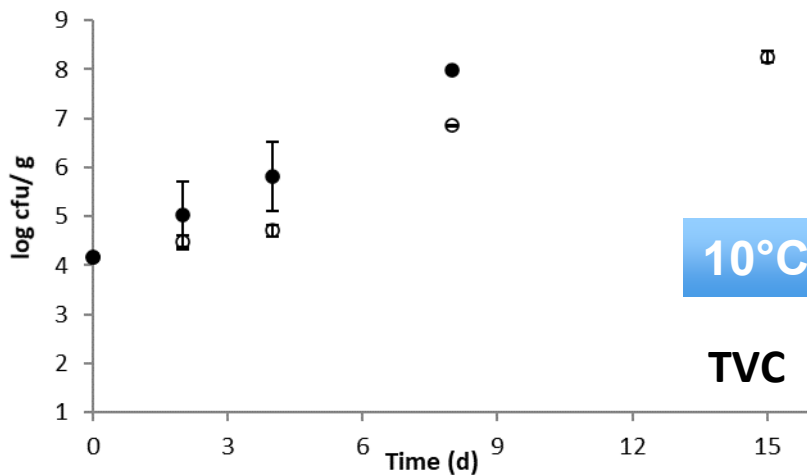
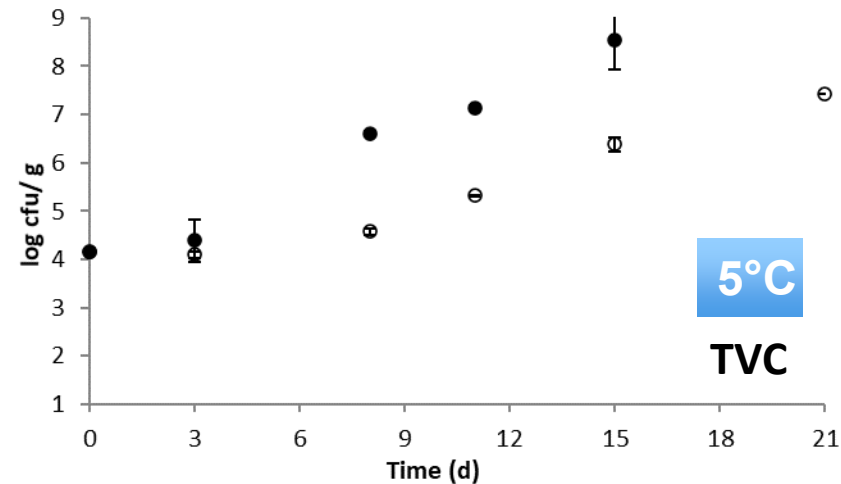
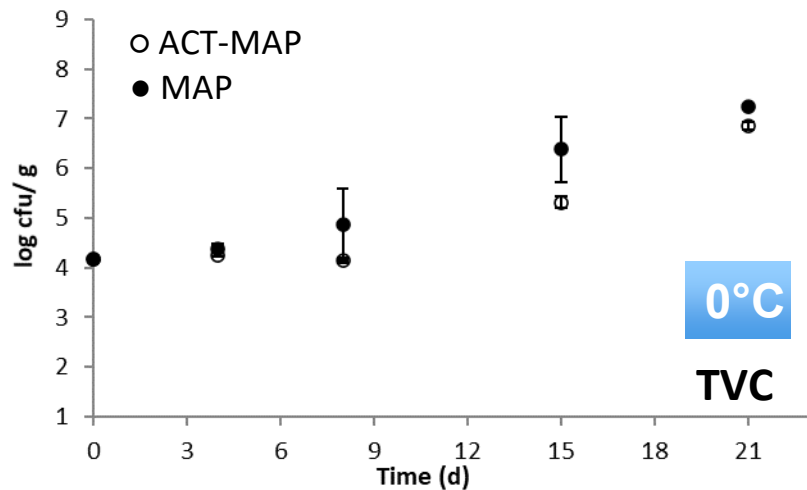
Modeling the Effect of Active Modified Atmosphere Packaging on the Microbial Stability and Shelf Life of Gutted Sea Bass

Theofania Tsironi ^{1,2}, Athina Ntzimani ¹, Eleni Gogou ¹, Maria Tsevdou ¹, Ioanna Semenoglou ¹, Efimia Dermesonlouoglou ¹ and Petros Taoukis ^{1,*}

- Laboratory of Food Chemistry and Technology, School of Chemical Engineering, National Technical University of Athens, Iroon Polytechniou 5, 15780 Athens, Greece; ftsironi@chemeng.ntua.gr (T.T.); ntzimani@chemeng.ntua.gr (A.N.); egogou@chemeng.ntua.gr (E.G.); mtsevdou@chemeng.ntua.gr (M.T.); isemen@chemeng.ntua.gr (I.S.); efider@chemeng.ntua.gr (E.D.)
 - Food Process Engineering Laboratory, Department of Food Science and Human Nutrition, Agricultural University of Athens, 11855 Athens, Greece
- * Correspondence: taoukis@chemeng.ntua.gr; Tel.: +30-210-772-3171

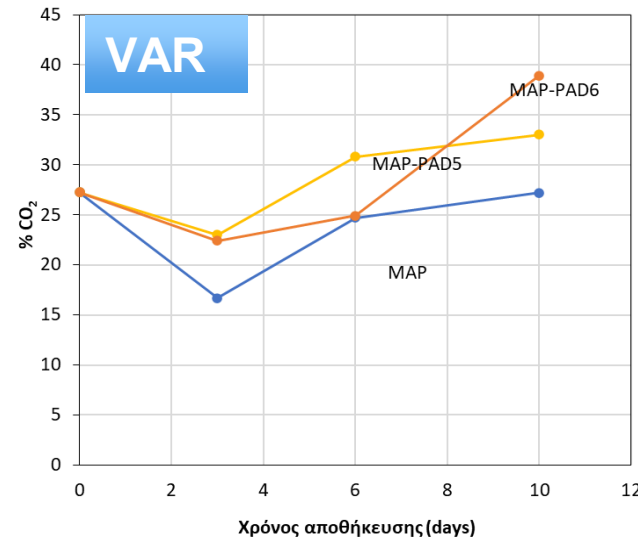
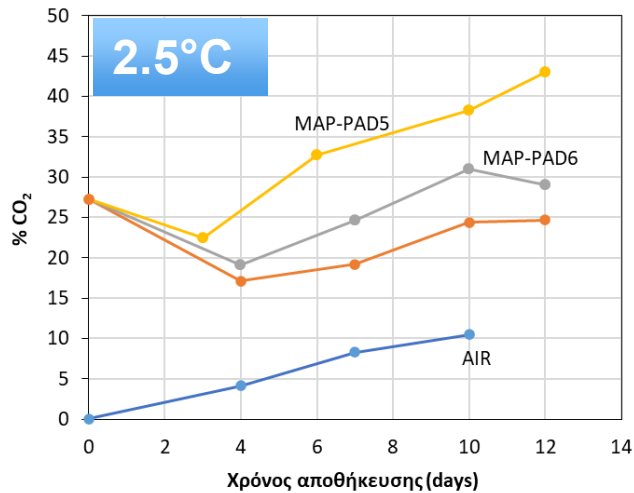
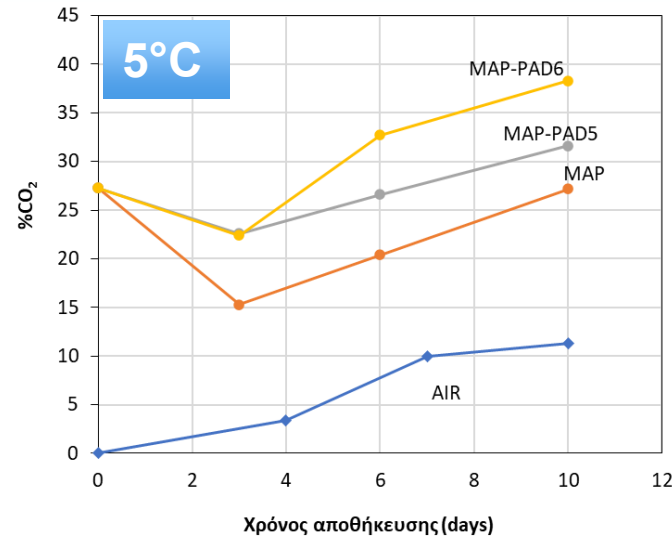
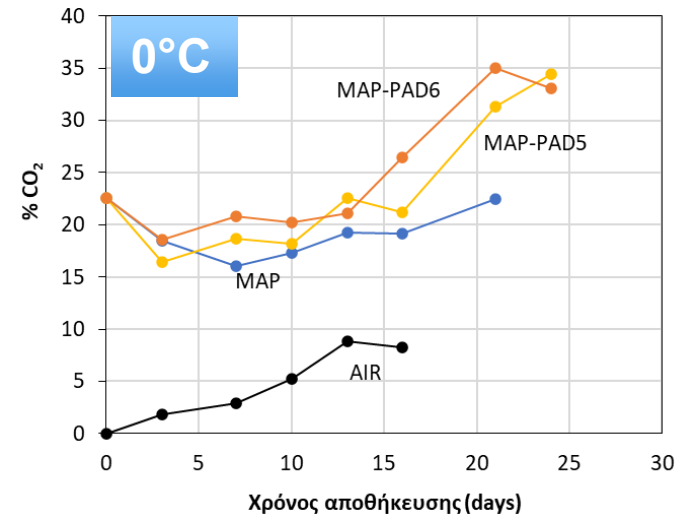


ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ ΣΕ ΑΠΕΝΤΕΡΩΜΕΝΟ ΛΑΒΡΑΚΙ – ΚΙΝΗΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ



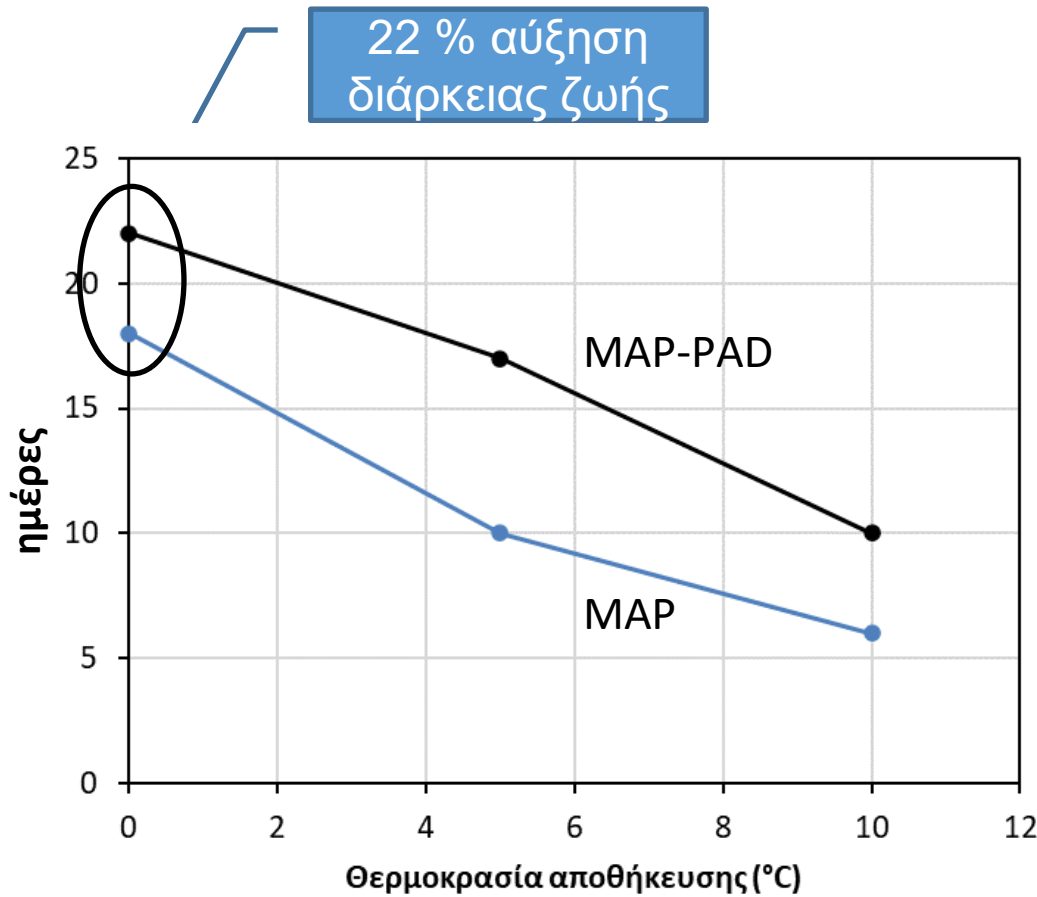
MAP-PAD μικρότεροι ρυθμοί ανάπτυξης σε *Pseudomonas* spp., *Enterobacteraceae* spp., *Shewanella* spp. σε όλες τις θερμοκρασίες

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ ΣΕ ΑΠΕΝΤΕΡΩΜΕΝΟ ΛΑΒΡΑΚΙ – ΚΙΝΗΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ



- ✓ Εξασφάλιση και ενίσχυση συνθηκών τροποποιημένης ατμόσφαιρας στα δείγματα MAP-PAD
- ✓ Τα MAP-PAD εμφάνισαν 30%-40% CO₂ στο εσωτερικό της συσκευασίας στο τέλος του χρόνου ζωής.
- ✓ Θετική συνεισφορά PAD και στις μεταβαλλόμενες συνθήκες αποθήκευσης.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ ΣΕ ΑΠΕΝΤΕΡΩΜΕΝΟ ΛΑΒΡΑΚΙ – ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΖΩΗΣ



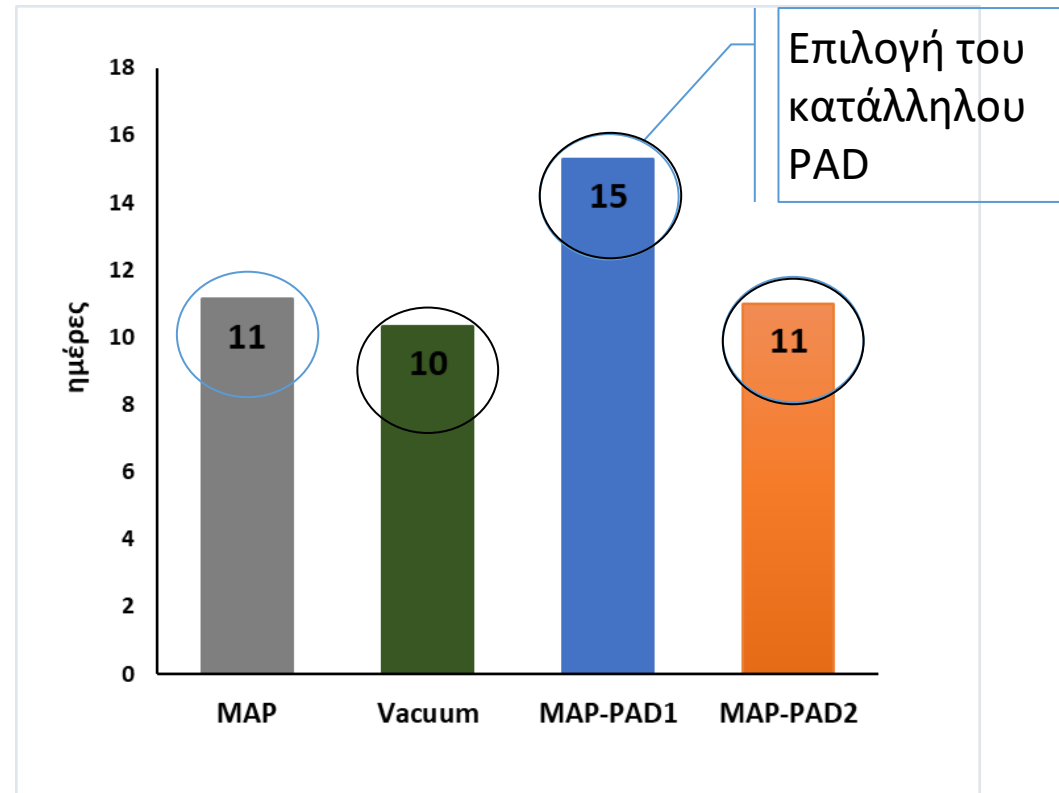
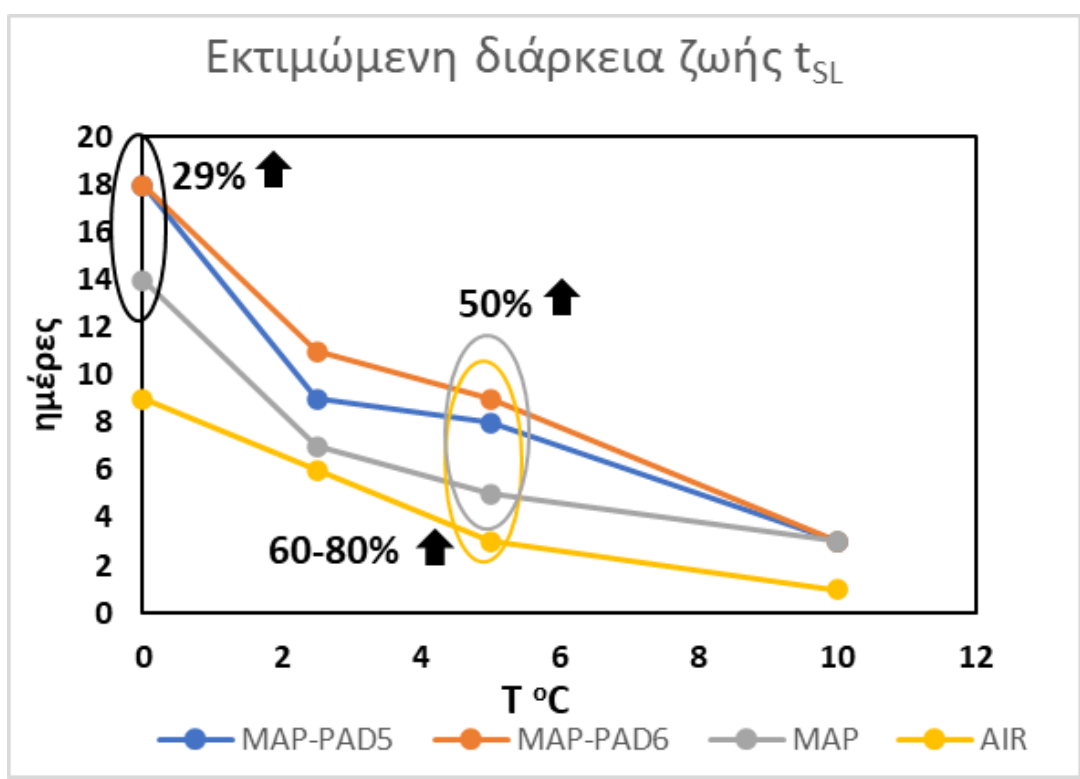
Όριο μικροβιακής αλλοίωσης για τον προσδιορισμό της διάρκειας ζωής

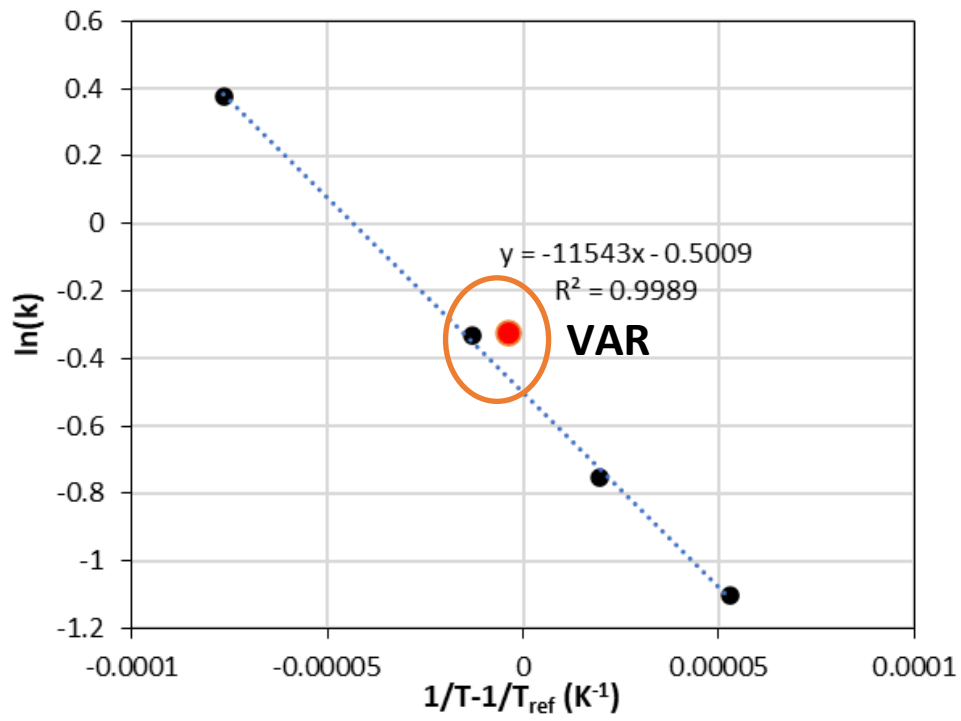
Ολική μικροβιακή χλωρίδα 10^7 CFU/g (7log)

$$t_{SL} = (\log N_1 - \log N_0) / (k_{ref} \exp((-E_a/R)(1/T - 1/T_{ref}))) + \lambda_{ref} \exp((-E_a/R)(1/T - 1/T_{ref}))$$

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ ΣΕ ΑΠΕΝΤΕΡΩΜΕΝΟ ΛΑΒΡΑΚΙ – ΧΡΟΝΟΣ ΖΩΗΣ

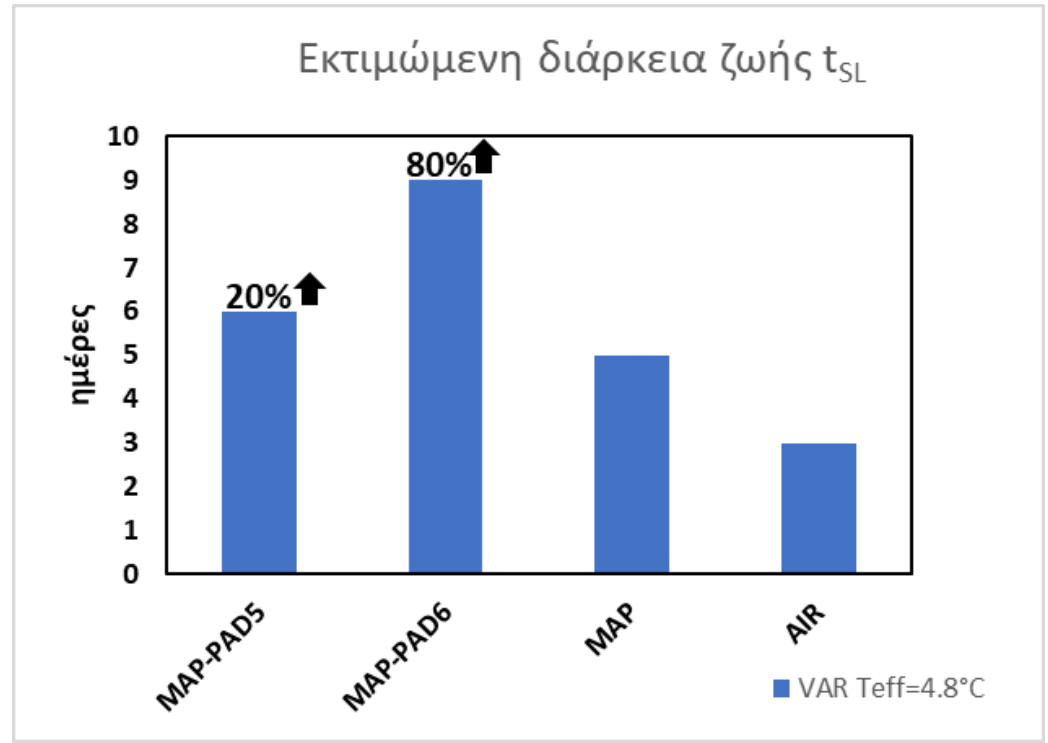
- ✓ Η προσθήκη PAD αύξησε την διάρκεια ζωής του ιχθύος σε σύγκριση με τα δείγματα σε απλό MAP σε όλες τις θερμοκρασίες αποθήκευσης.
- ✓ Η αύξηση είναι μεγαλύτερη σε σύγκριση με τον χρόνο ζωής των δειγμάτων σε συσκευασία αέρα.
- ✓ Τα δείγματα MAP-PAD μεγαλύτερο χρόνο ζωής και από τα δείγματα σε συσκευασία κενού.





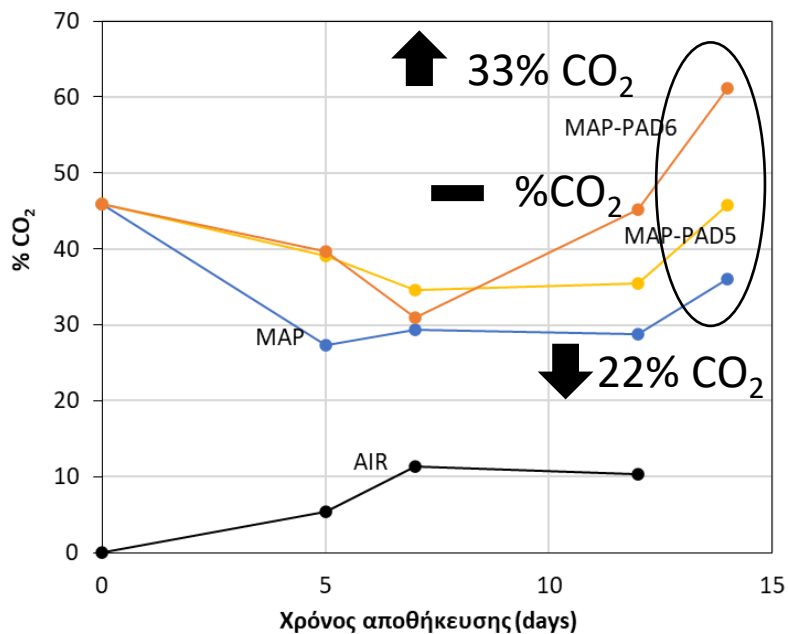
Θετική επίδραση η χρήση των εκπομπών CO₂ και στις μεταβαλλόμενες συνθήκες αποθήκευσης.

Μοντέλο Arrhenius αξιόπιστο στην πρόβλεψη του k (d⁻¹) για TVC. Απόκλιση <20% για τα δείγματα MAP-PAD

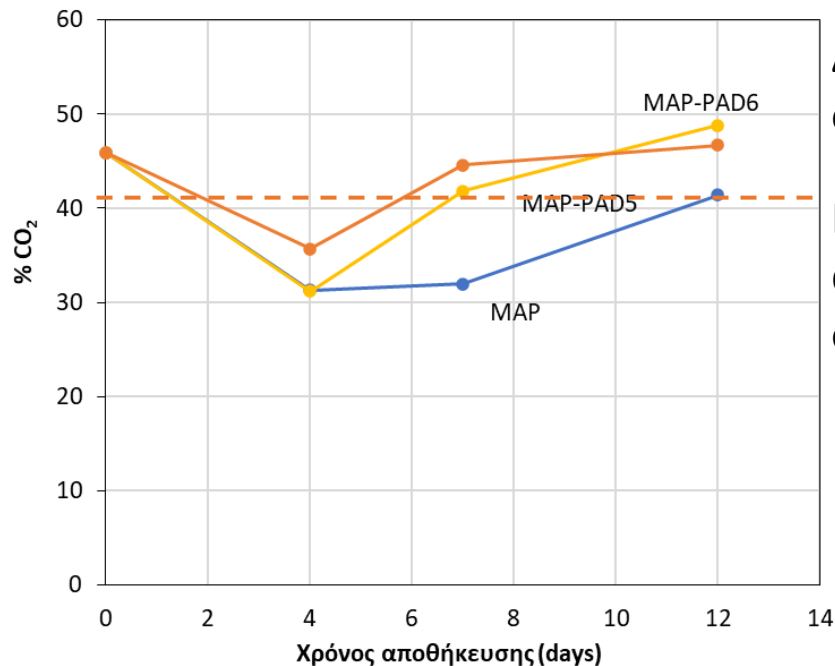


ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΡΑDs ΣΕ ΑΠΕΝΤΕΡΩΜΕΝΗ ΤΣΙΠΟΥΡΑ

2.5°C



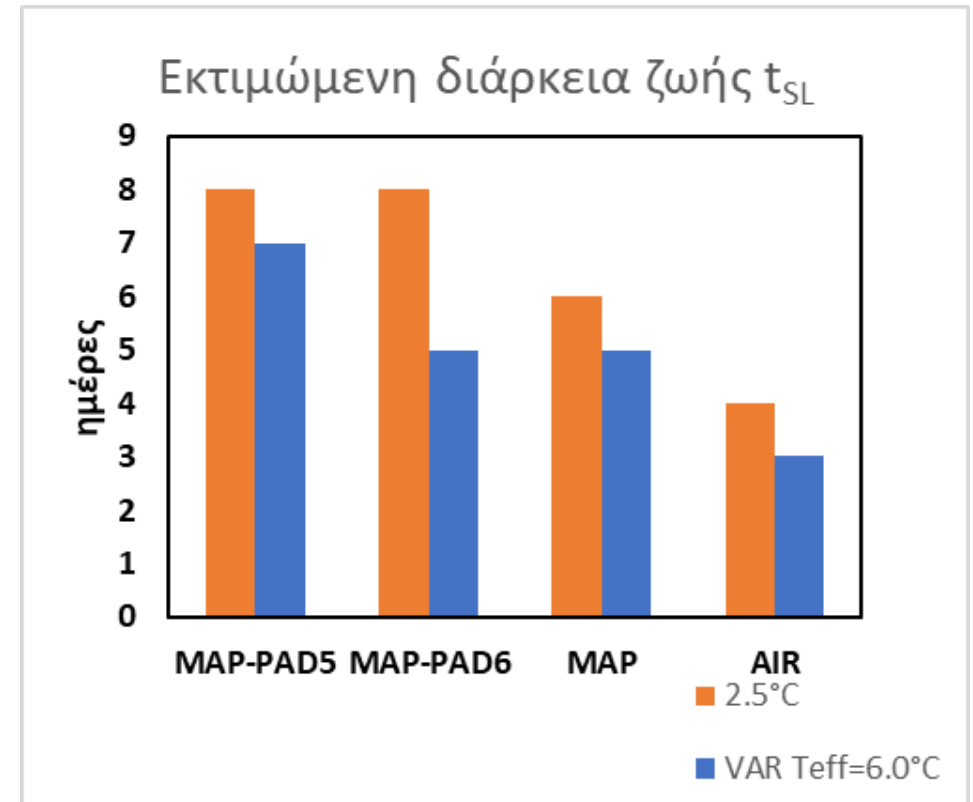
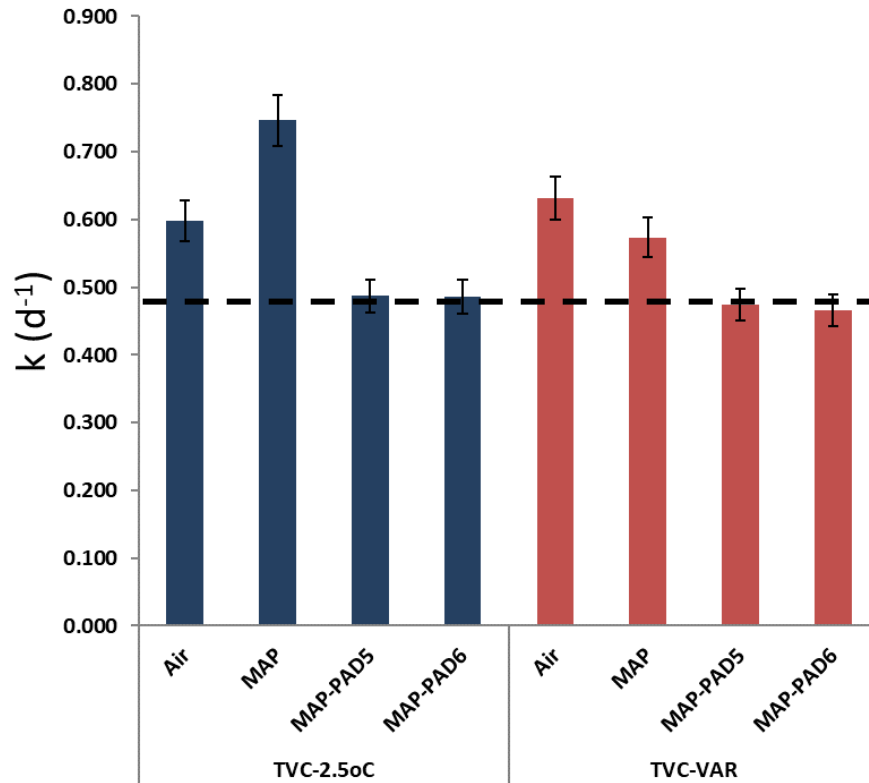
VAR



Διατήρηση αρχικής συγκέντρωσης %CO₂

Μείωση της αρχικής συγκέντρωσης CO₂

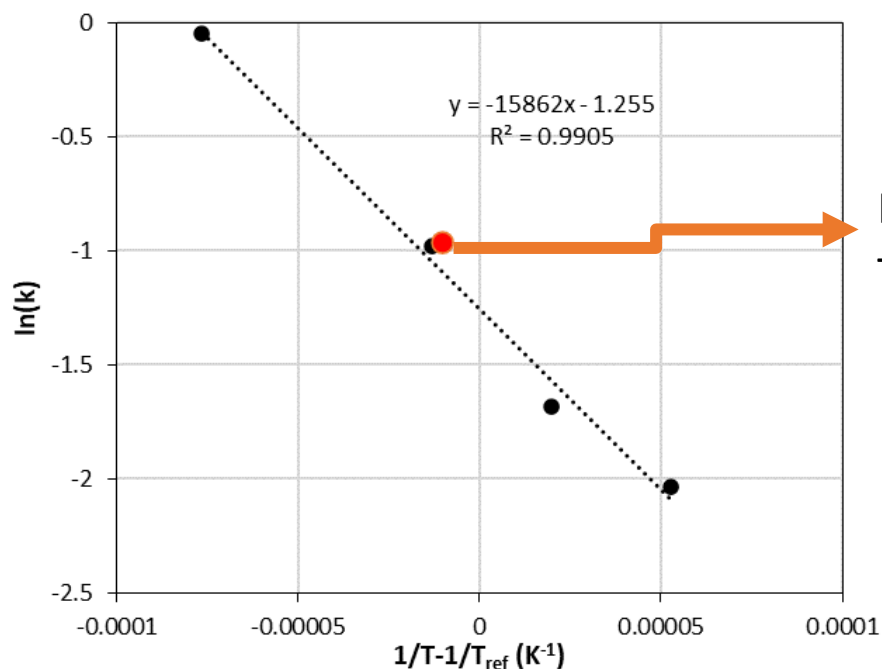




- ✓ Η προσθήκη PAD στην συσκευασία των ιχθυηρών μείωσε τους ρυθμούς ανάπτυξης για όλους τους εξεταζόμενους μικροοργανισμούς και αύξησε την φάση υστέρησης.
- ✓ Αύξηση των εκτιμώμενων χρόνων ζωής >30-40% σε σύγκριση με τα MAP και >50% σε σύγκριση με τον αέρα.

1. Ανάπτυξη μαθηματικού κινητικού μοντέλου-Μοντέλο Arrhenius: $\ln k = \ln k_{ref} - (E_a/R)(1/T - 1/T_{ref})$

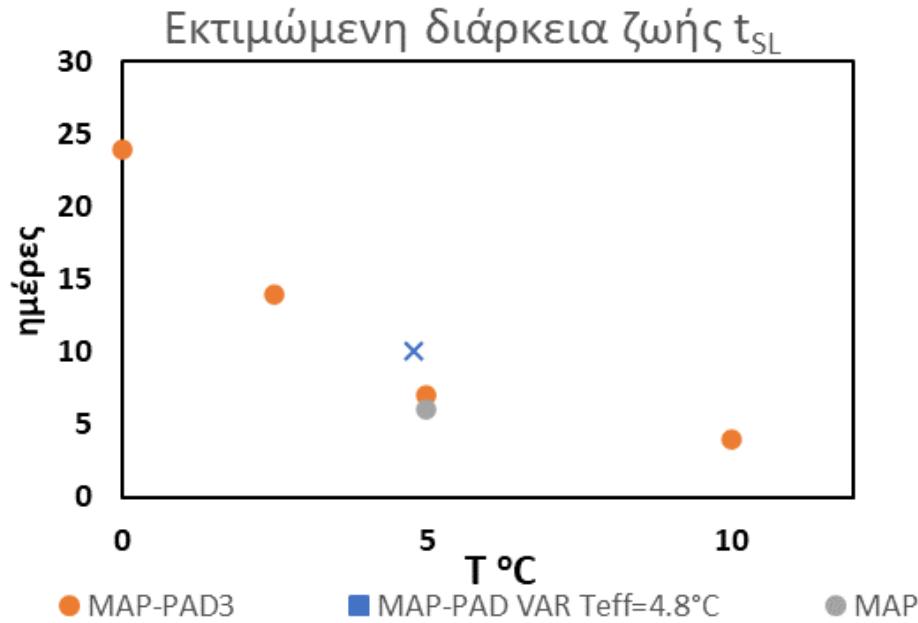
2. Επαλήθευση του μοντέλου σε μεταβαλλόμενες συνθήκες (VAR)



Μοντέλο Arrhenius αξιόπιστο για το μη ισοθερμοκρασιακό προφίλ



ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΕΝΕΡΓΟΥΣ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ ΣΕ ΛΑΒΡΑΚΙ ΦΙΛΕΤΟ – ΚΙΝΗΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ & ΣΥΓΚΡΙΣΗ



Δείγματα σε MAP-PAD:

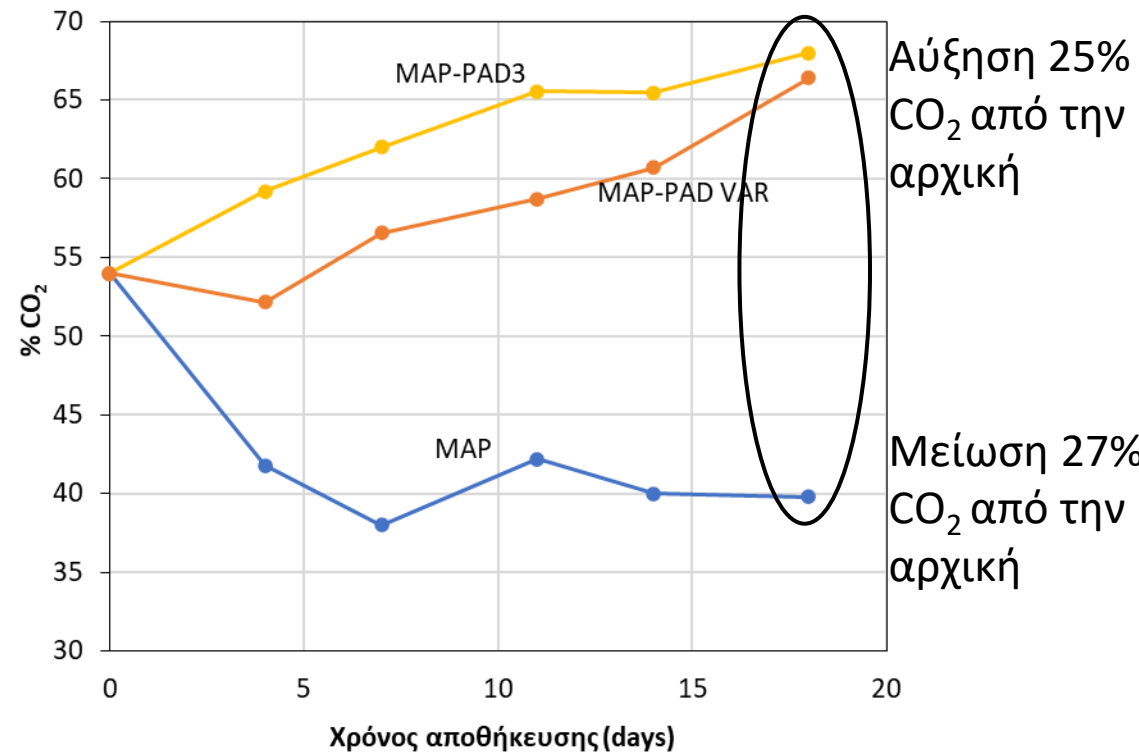
Διάρκεια ζωής σε VAR συνθήκες → 10 ημέρες

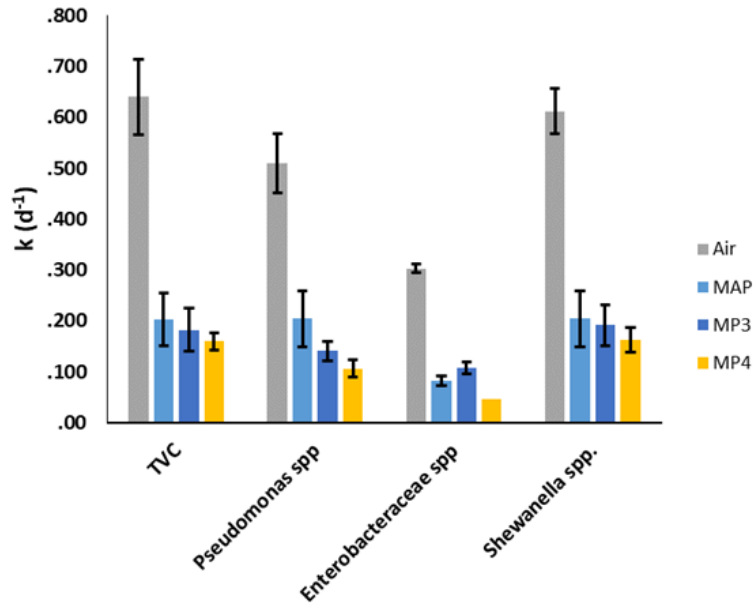
Διάρκεια ζωής σε 5°C → 7 ημέρες

Δείγματα σε MAP:

Διάρκεια ζωής σε 5°C → 6 ημέρες

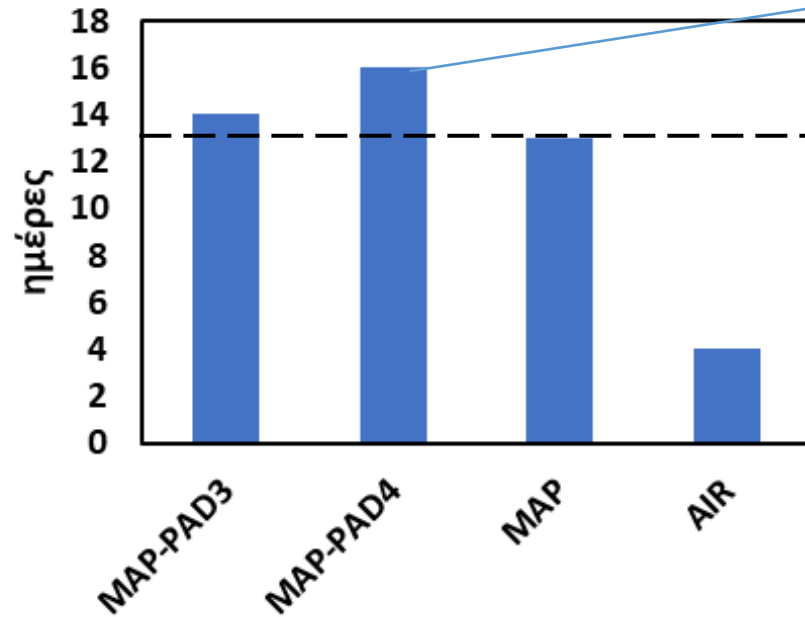
✓ Εξασφάλιση και ενίσχυση συνθηκών τροποποιημένης ατμόσφαιρας στα δείγματα MAP-PAD





- ✓ Δείγματα MAP-PAD: μικρός ρυθμός ανάπτυξης και μεγαλύτερη λανθάνουσα φάση μικροβιακών πληθυσμών.
- ✓ Εύρεση PAD με τα κατάλληλα τεχνικά χαρακτηριστικά.

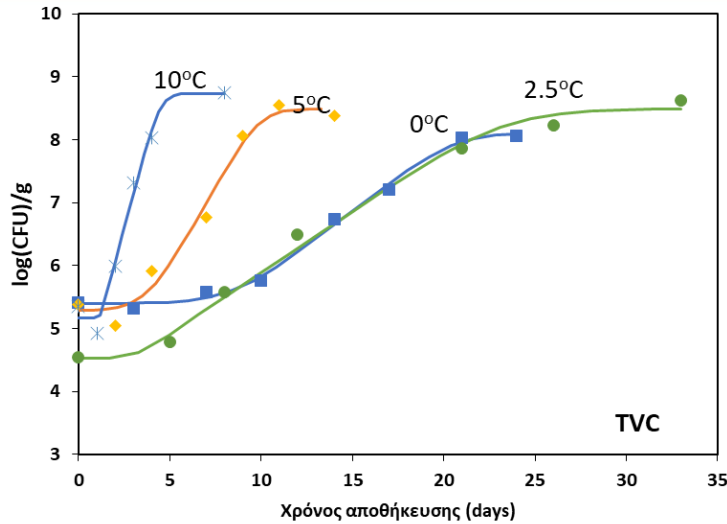
Εκτιμώμενη διάρκεια ζωής t_{SL}



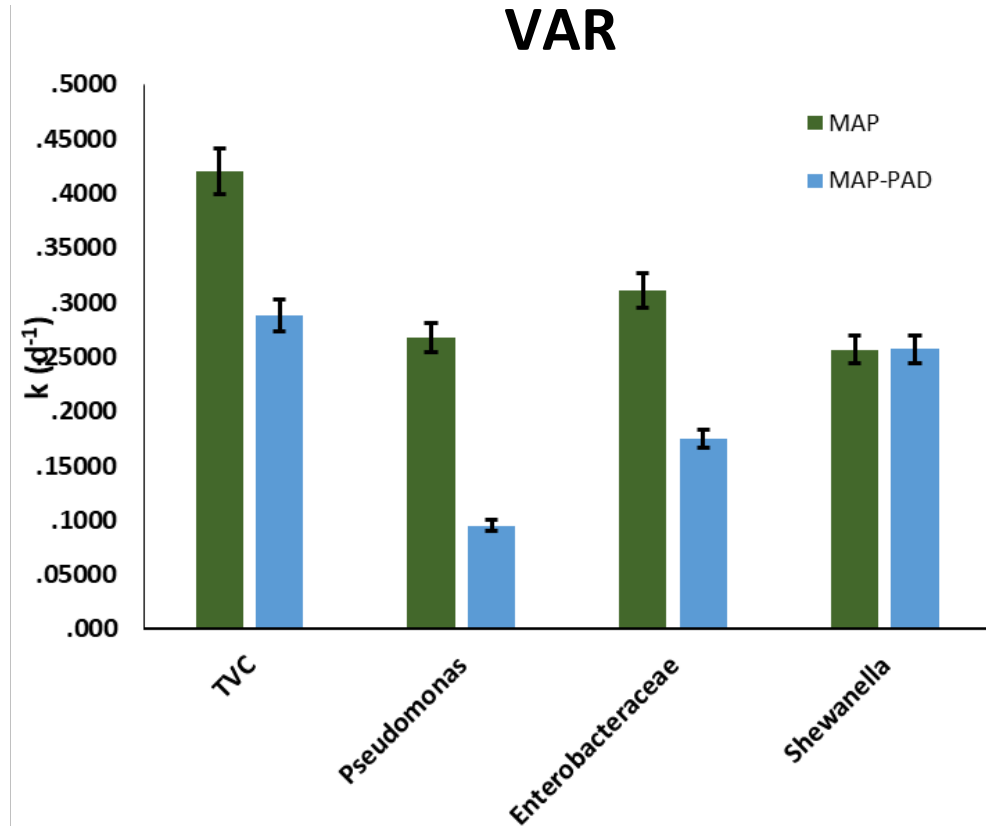
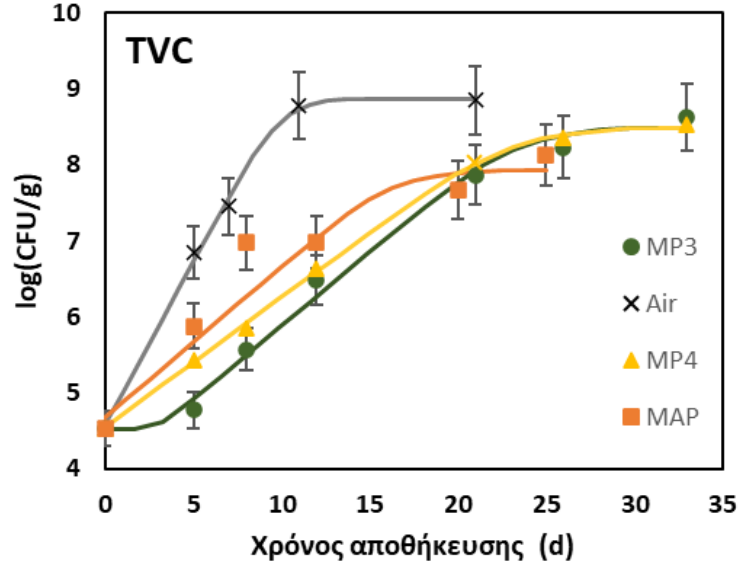
Αύξηση του χρόνου ζωής 23%



■ 2.5°C



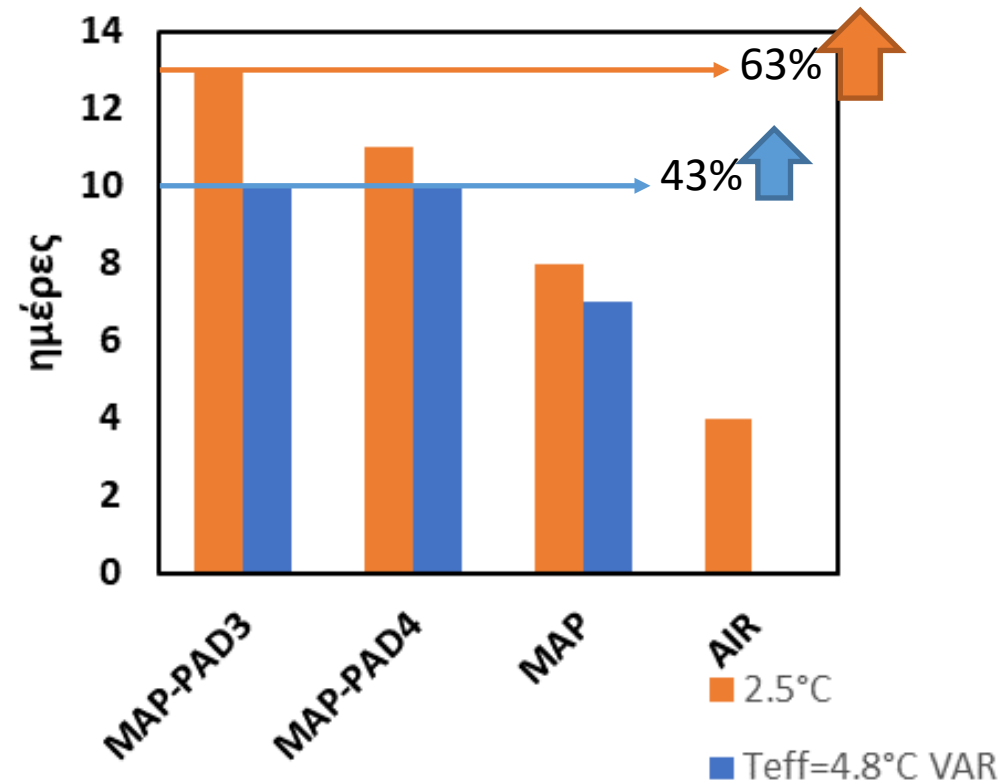
Ανάπτυξη μαθηματικού κινητικού μοντέλου- Μοντέλο Arrhenius: $\ln k = \ln k_{ref} - (E_a/R)(1/T - 1/T_{ref})$



ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΡΑDs ΣΕ ΦΙΛΕΤΟ ΤΣΙΠΟΥΡΑΣ



Εκτιμώμενη διάρκεια ζωής t_{SL}



- Απλή & χαμηλού κόστους μέθοδος → εύκολη εφαρμογή σε βιομηχανική κλίμακα.
- Δεν απαιτείται μεγάλος όγκος συσκευασίας → Δεν απαιτείται υψηλή αρχική συγκέντρωση CO₂ → Σταδιακή αύξηση της περιεκτικότητας του CO₂ στο εσωτερικό της συσκευασίας.
- Οι εκπομείς CO₂ διατήρησαν την σύσταση της τροποποιημένης ατμόσφαιρας → δεν καταρρέει η συσκευασία προς το εσωτερικό.
- Οι εκπομείς CO₂ → πιο θελκτική συσκευασία για τον καταναλωτή γιατί απορροφά το νερό που απορρέει από τα ιχθυηρά κατά την αποθήκευση.
- Η ενεργή συσκευασία αύξησε τον εκτιμώμενο χρόνο ζωής στα μεσογειακά είδη (τσιπούρα & λαβράκι απεντερωμένο και φιλέτο).



less food waste / more added value



Εφαρμογή έξυπνης και ενεργής συσκευασίας
ιχθυηρών και ανάπτυξη καινοτόμου
συστήματος διαχείρισης και διασφάλισης
υψηλής ποιότητας και βελτιωμένης
διατηρησιμότητας



THINK•EAT•SAVE
REDUCE YOUR FOOTPRINT