

*Μικροβιολογική ασφάλεια
τροφίμων: από το HACCP στη
Βιομηχανία στην αποτίμηση
επικινδυνότητας του
καταναλωτή*

**Καθηγητής
Παν. Ν. Σκανδάμης**

*Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
pskan@aua.gr*



Food Safety Management

Traditional Food Safety Management approach was based on end-product testing

End Product Sampling



Food Safety

**Qualitative (Discrete)
variable**

IEYDP, ΠΝ Σκανδάλης, 18 Δεκεμβρίου 2025

Food Safety Management

**Traditional Food Safety Management approach was based
on end-product testing**

Early 90's

**The HACCP
system**



Food Safety



**Qualitative (Discrete)
variable**

Food Safety Management

100% Safety (zero risk) does not exist and should not be expected

Food Safety Management

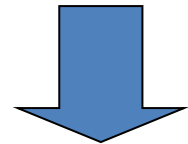
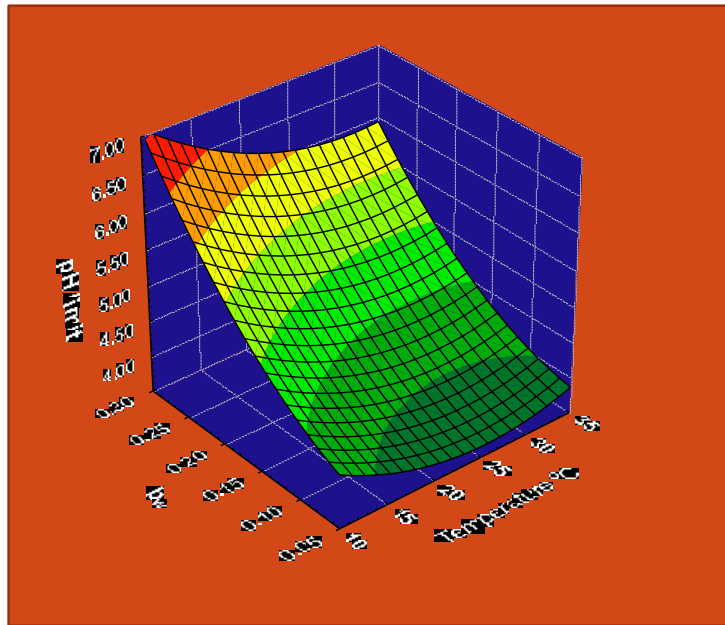
The transition from Hazard-based to Risk-based Food Safety Management



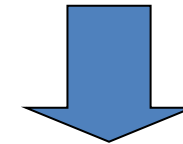
Food Safety Management

Development of new tools

Predictive Microbiology



Risk Analysis

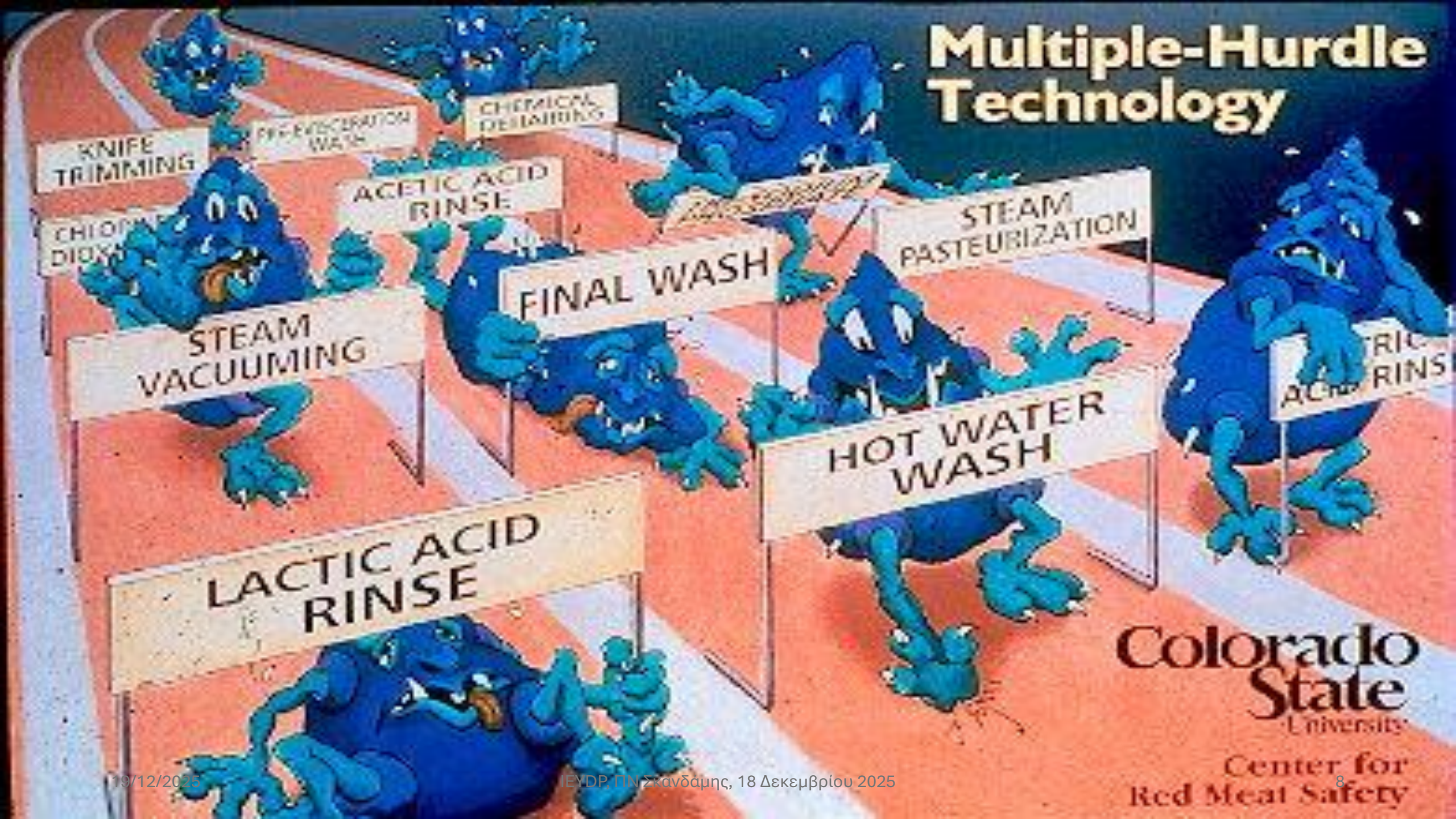


Risk-based Food Safety Management

PREDICTIVE MODELLING: SAME CAUSES LEAD TO THE SAME RESULT

- Growth, survival and inactivation of microorganisms in foods are reproducible responses.
- A limited number of environmental parameters in foods determine the kinetic responses of microorganisms (Temperature, Water activity/water phase salt, pH, Food preservatives).
- A mathematical model that quantitatively describes the combined effect of the environmental parameters can be used to predict growth, survival or inactivation of a microorganism and thereby contribute important information about product safety and shelf-life.

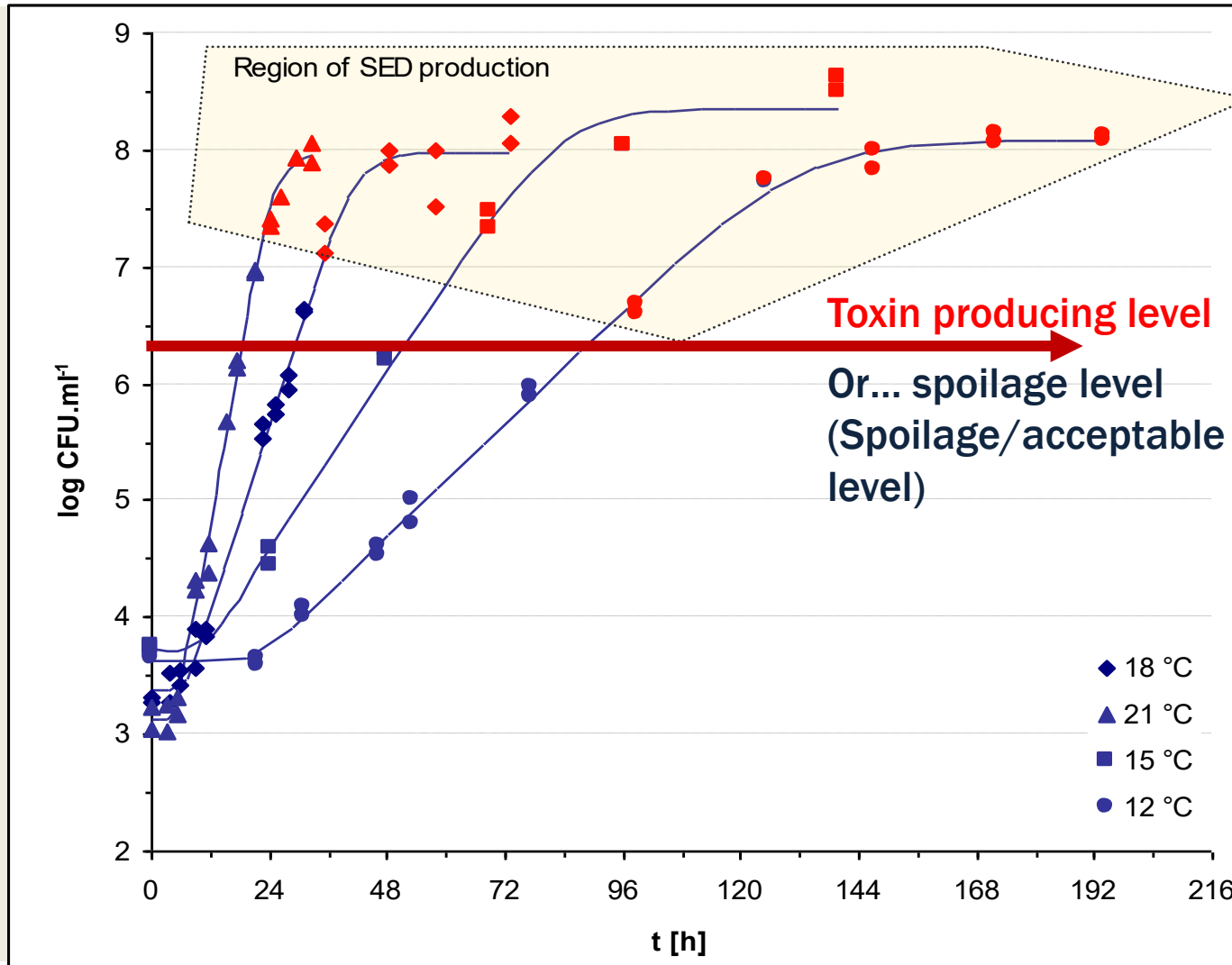
Multiple-Hurdle Technology



Colorado
State
University

Center for
Red Meat Safety

PREDICTING GROWTH TO TOXIN PRODUCTION (INTOXICATION)

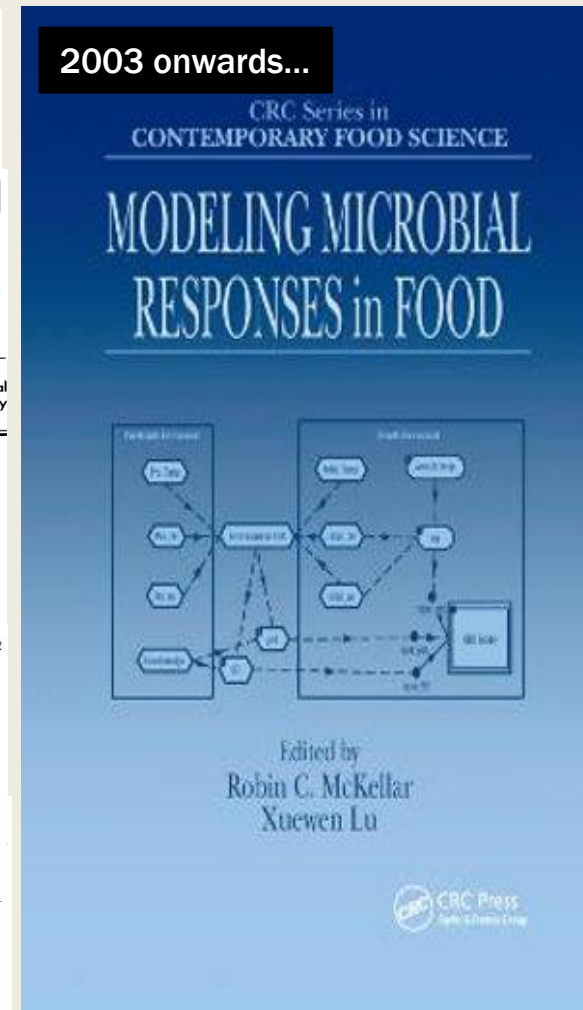
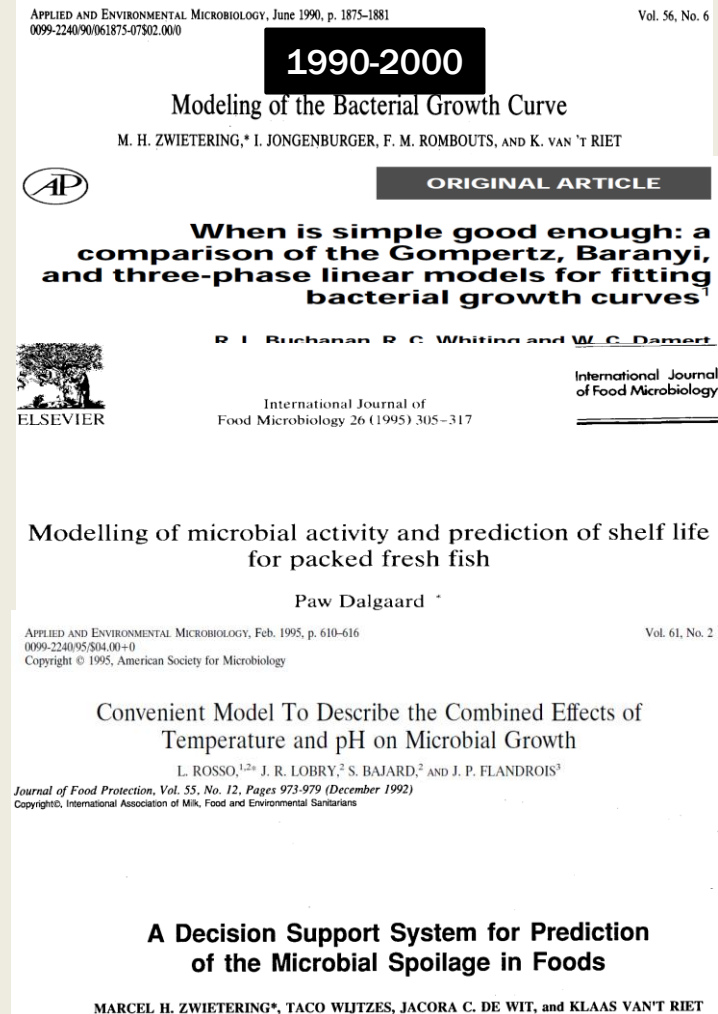
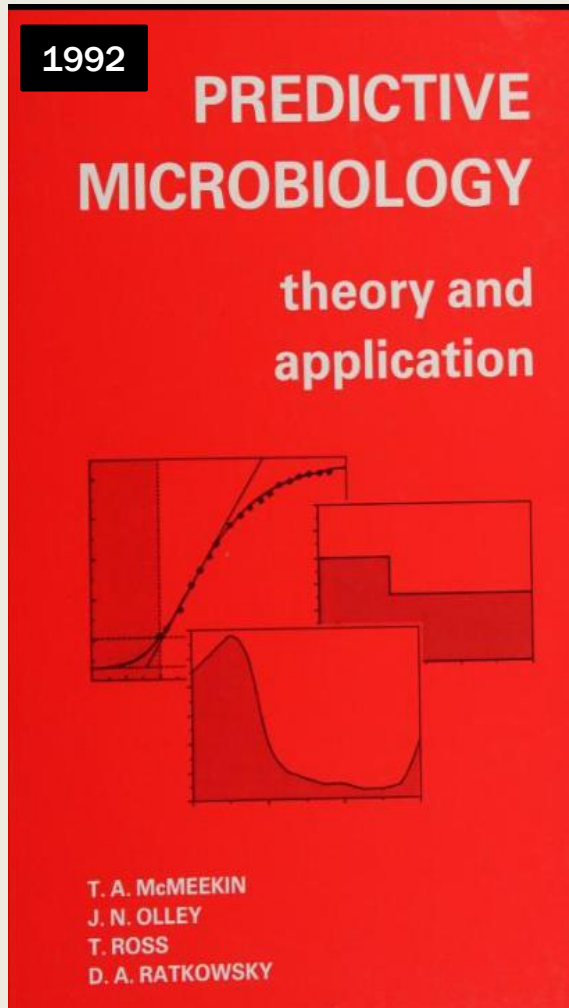


S. aureus

Staphylococcus
Enterotoxin D
strains (SED)
from dairy
products

Polyhedron of
T°C for toxin
production

FUNDAMENTAL SCIENTIFIC LITERATURE FOR PREDICTIVE MICROBIOLOGY



Food Hygiene & Safety

Will also be available in English
early 2026

Focuses primarily on food safety, also
covering GHP, hurdle theory, HACCP,
while thoroughly covering predictive
microbiology and QMRA

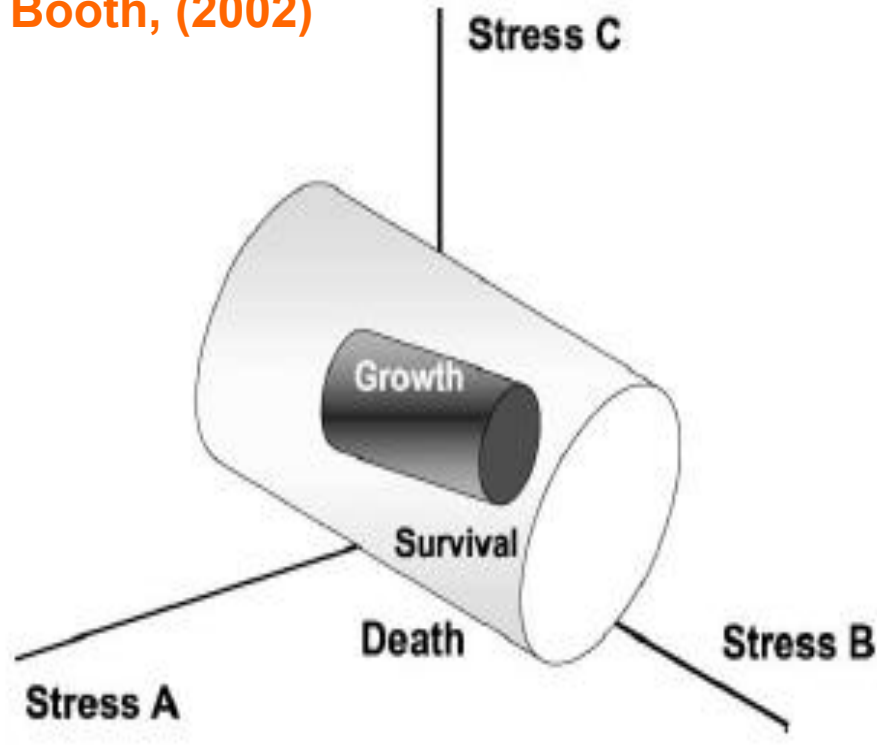
Υγιεινή & Ασφάλεια Τροφίμων

Αρχές & Σύγχρονα Εργαλεία

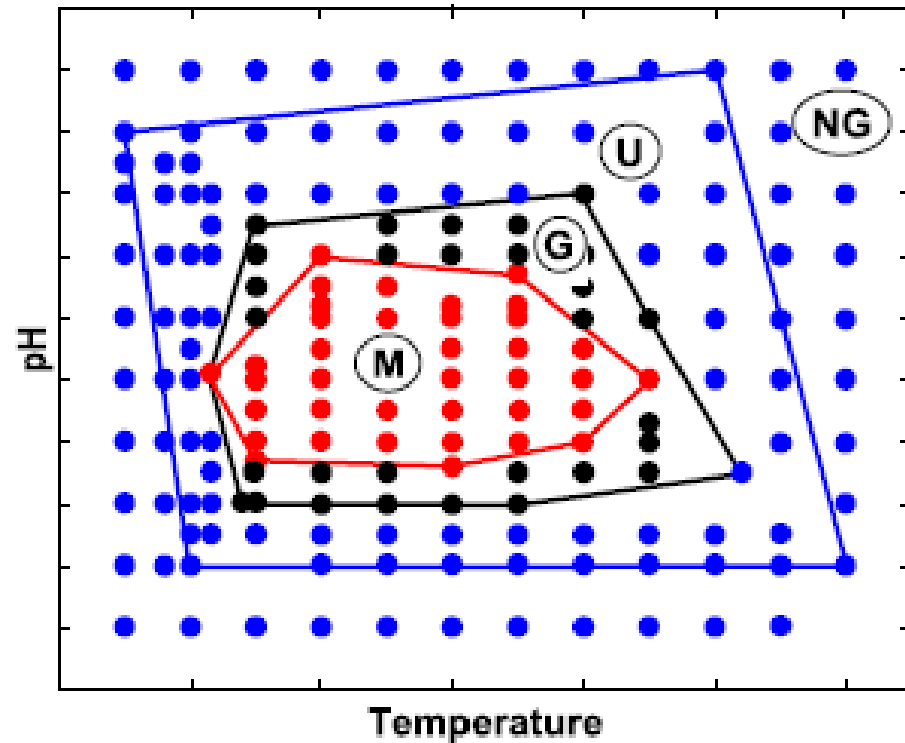


Microbial responses to environmental stresses

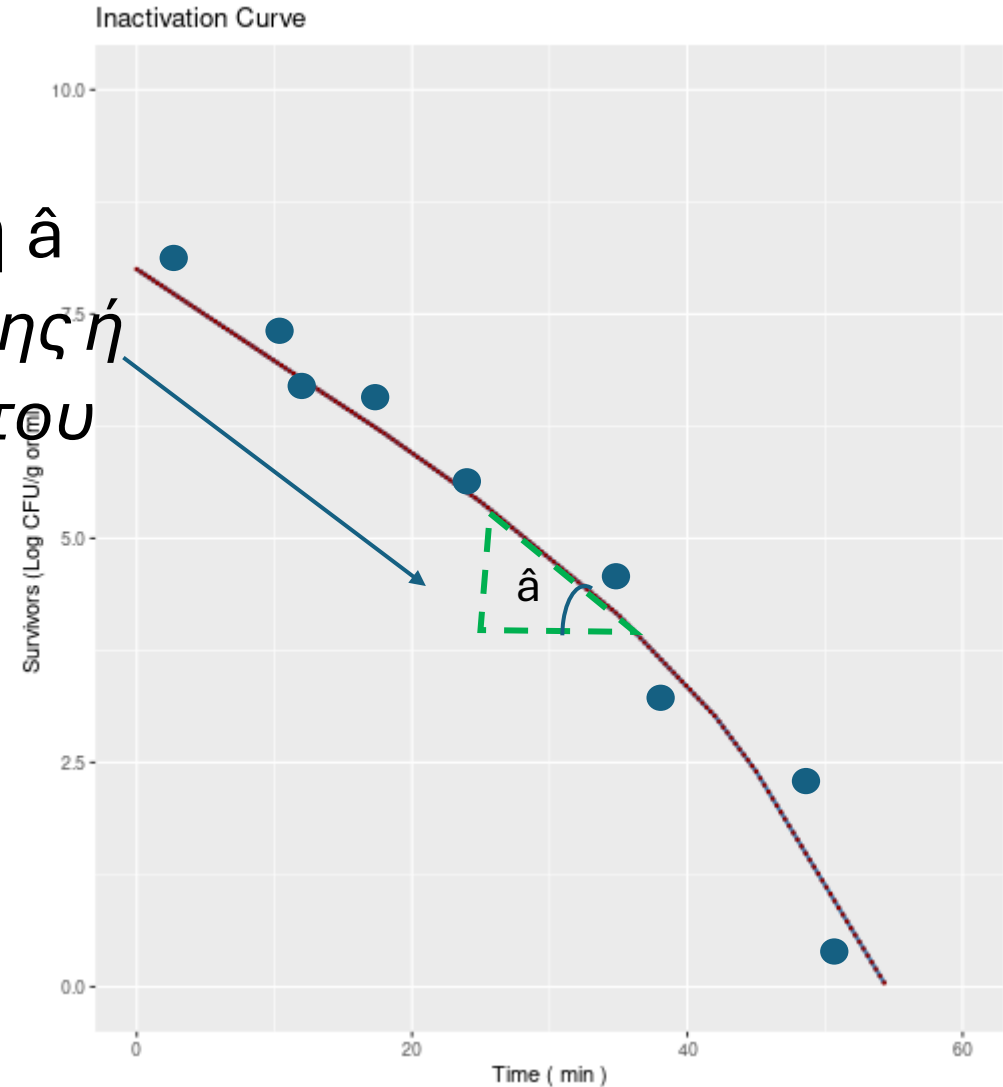
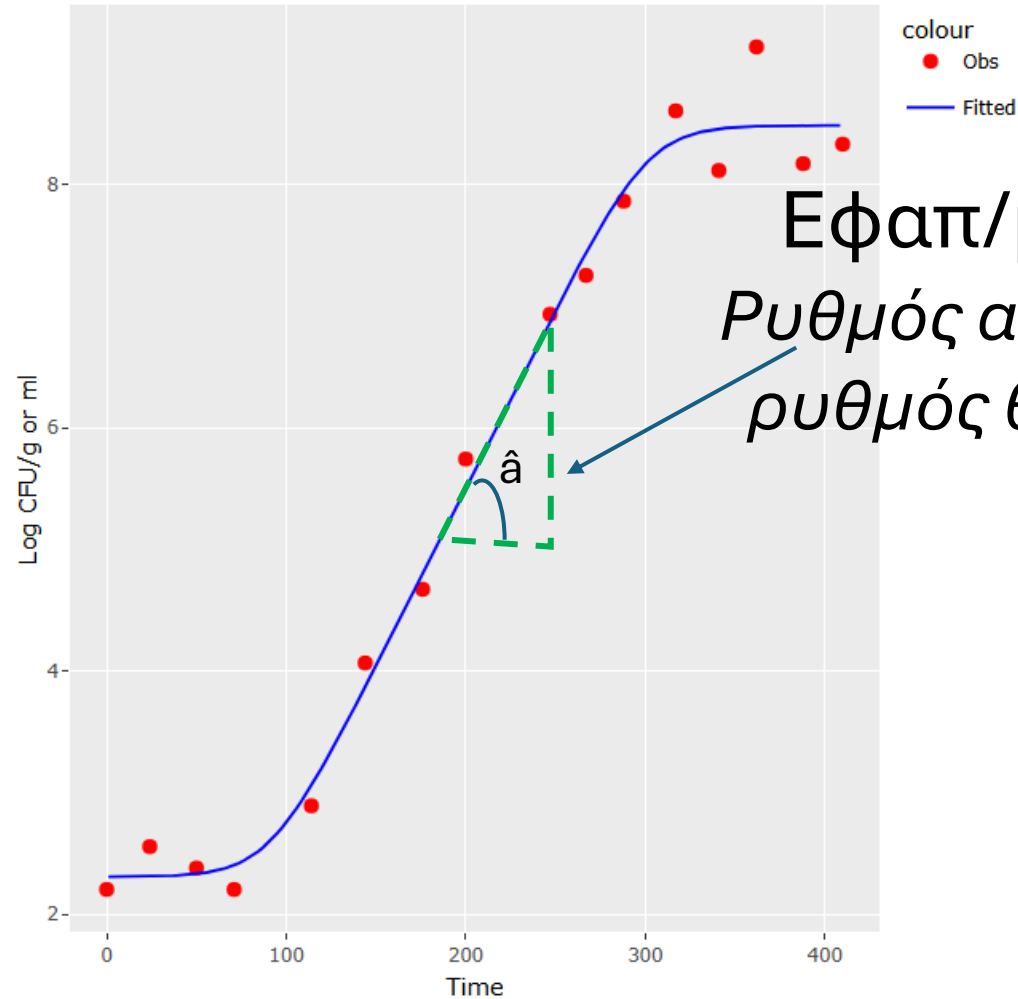
Booth, (2002)



Baranyi et al. (1996); Le Marc et al. (2005): Multiple Convex Polyhedron



Η μικροβιακή καμπύλη αύξησης και αδρανοποίησης



MODEL CLASSIFICATION BASED ON TARGETED MICROBIAL RESPONSES



Inactivation models

Probability models
Growth/no growth interface

Growth models

Classification of models based on their mathematical structure and principle I

McDonald and Sun, (1999)

Primary, Secondary, Tertiary models

Kinetic and probability models

Probabilistic models : Toxin production (*Cl. botulinum*)

Emperical vs mechanistic models

*Empirical: Gompertz, Baranyi,
Logistic*

Mechanistics

*Differential equations, too
complex, impressive but not easily
applicable*

16

TERTIARY MODELS

(ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ ΠΡΑΚΤΙΚΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΩΝ
ΜΟΝΤΕΛΩΝ – ΑΚΟΛΟΥΘΕΙ
ΠΕΡΙΠΤΩΣΙΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ)

Η διασύνδεση του κανονιστικού πλαισίου με το επιστημονικό πλαίσιο (**regulatory science**) **EK 2073/2005**

1.2. Ready-to-eat foods able to support the growth of <i>L. monocytogenes</i> , other than those intended for infants and for special medical purposes	<i>Listeria monocytogenes</i>	5	0	100 cfu/g ⁽⁵⁾	EN/ISO 11290-2 ⁽⁶⁾	Products placed on the market during their shelf-life
		5	0	Absence in 25 g ⁽⁷⁾	EN/ISO 11290-1	Before the food has left the immediate control of the food business operator, who has produced it
1.3. Ready-to-eat foods unable to support the growth of <i>L. monocytogenes</i> , other than those intended for infants and for special medical purposes ⁽⁴⁾ ⁽⁸⁾	<i>Listeria monocytogenes</i>	5	0	100 cfu/g	EN/ISO 11290-2 ⁽⁶⁾	Products placed on the market during their shelf-life

- Προϊόντα με $pH \leq 4,4$ **ή** $a_w \leq 0,92$
- Προϊόντα με $pH \leq 5,0$ **KAI** $a_w \leq 0,94$
- Προϊόντα με χρόνο ζωής $SL < 5$ ημέρες
- Αυτόματα πληρούν το κριτήριο των 100 CFU/g
- Διαφορετικά χαρακτηριστικά μπορούν επίσης να ικανοποιούν το κριτήριο, αλλά κατόπιν επιστημονικής τεκμηρίωσης

Ισχύς του τροποποιημένου 2073/2005 από Ιούλιο 2026 ως **EK 2895/2024**

Τί επιτάσσει ως αναγκαία (πλέον) μέτρα?

- *Ισχυρά μέτρα επιβεβαίωσης*
- *Πειράματα ηθελημένου εμβολιασμού (**challenge tests**)*
- *Χρήση προγνωστικών εργαλείων (**predictive microbiology models**) για την διασφάλιση & τεκμηρίωση της συμμόρφωσης με τα μικροβιολογικά κριτήρια*

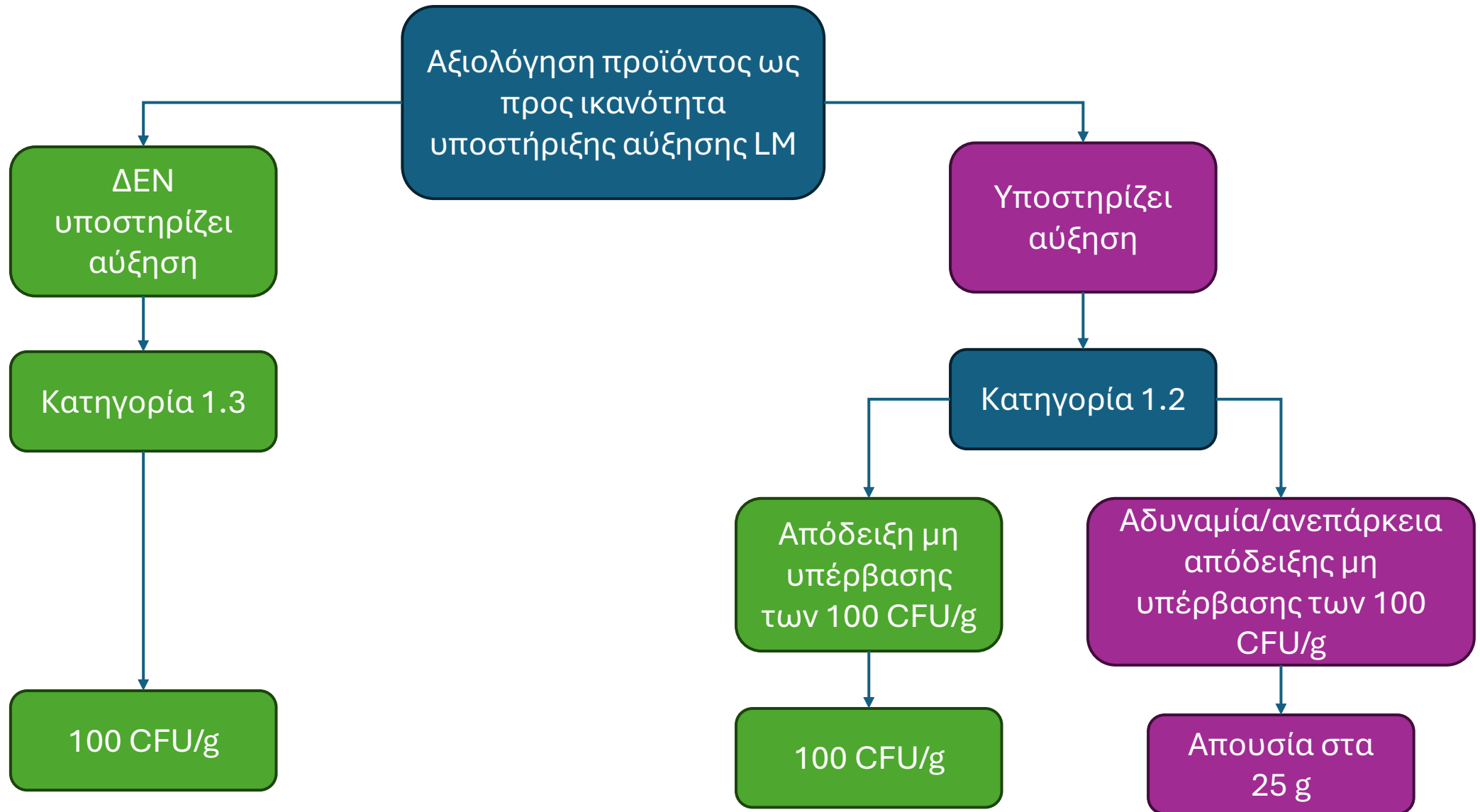
1. η εγγραφή 1.2 αντικαθίσταται από το ακόλουθο κείμενο:

Κατηγορία τροφίμων	Μικροοργανισμοί/οι τοξίνες και οι μεταβολίτες τους	Πλάνο δειγματοληψίας		Όρια		Αναλυτική μέθοδος αναφοράς	Στάδιο στο οποίο εφαρμόζεται το κριτήριο
		n	c	m	M		
«1.2 Τρόφιμα έτοιμα για κατανάλωση ικανά να υποστηρίξουν την ανάπτυξη <i>L. monocytogenes</i> διαφορετικά από εκείνα που προορίζονται για βρέφη και για ειδικούς ιατρικούς σκοπούς	<i>Listeria monocytogenes</i>	5	0	100 cfu/g (*)		EN/I-SO 11290-2 (**)	Προϊόντα που διατίθενται στην αγορά κατά τη διάρκεια διατήρησής τους
		5	0	Να μην ανιχνεύεται σε 25 g (***)		EN ISO 11290-1	Προϊόντα που διατίθενται στην αγορά κατά τη διάρκεια διατήρησής τους

Προσθήκη ΕΚ 2895/2024

- (*) Το κριτήριο αυτό εφαρμόζεται εφόσον ο υπεύθυνος της επιχείρησης τροφίμων που παρήγαγε το τρόφιμο μπόρεσε να αποδείξει, με τρόπο ικανοποιητικό για την αρμόδια αρχή, ότι το επίπεδο της *L. monocytogenes* δεν θα υπερβαίνει το όριο των 100 cfu/g καθ' όλη τη διάρκεια διατήρησης του τροφίμου. Ο υπεύθυνος της επιχείρησης τροφίμων μπορεί να ορίσει ενδιάμεσα όρια κατά τη διάρκεια της διαδικασίας τα οποία πρέπει να είναι αρκετά χαμηλά ώστε να εξασφαλίζεται ότι δεν υπερβαίνεται το όριο των 100 cfu/g καθ' όλη τη διάρκεια διατήρησης του τροφίμου.
- (**) 1 ml ενοφθαλμισμένου δείγματος τοποθετείται σε τρυβλίο Petri διαμέτρου 140 mm ή σε τρία τρυβλία Petri διαμέτρου 90 mm.
- (***) Το κριτήριο αυτό εφαρμόζεται εφόσον ο υπεύθυνος της επιχείρησης τροφίμων που παρήγαγε το τρόφιμο δεν μπόρεσε να αποδείξει, με τρόπο ικανοποιητικό για την αρμόδια αρχή, ότι το επίπεδο της *L. monocytogenes* δεν θα υπερβαίνει το όριο των 100 cfu/g καθ' όλη τη διάρκεια διατήρησης του τροφίμου.»

Τί αλλάζει με τον Νέο ΕΚ? (δένδρο αποφάσεων)



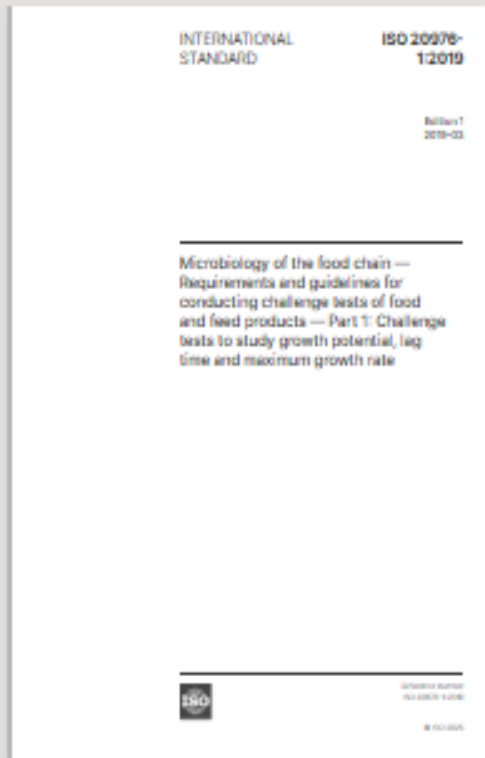
Όταν είναι απαραίτητο, οι υπεύθυνοι επιχειρήσεων τροφίμων που είναι αρμόδιοι για την παρασκευή του προϊόντος διεξάγουν μελέτες σύμφωνα με το **Annex II**, για ΕΠΚ τρόφιμα που είναι δυνατόν να υποστηρίξουν την ανάπτυξη της *Listeria monocytogenes*

Όταν είναι αναγκαίο, ο υπεύθυνος επιχείρησης τροφίμων θα διενεργεί πρόσθετες μελέτες...:

- **προγνωστικά μαθηματικά μοντέλα καθιερωμένα για το εν λόγω τρόφιμο**
- **δοκιμές για τη διερεύνηση της ικανότητας του καταλλήλως ενοφθαλισμένου εξεταζόμενου μικροοργανισμού να αναπτύσσεται ή να επιβιώνει στο προϊόν υπό διαφορετικές λογικά προβλεπόμενες συνθήκες αποθήκευσης**
- **μελέτες για την αξιολόγηση της ανάπτυξης ή της επιβίωσης των εξεταζόμενων μικροοργανισμών**

Οι μελέτες που αναφέρονται παραπάνω πρέπει να λαμβάνουν υπόψη την εγγενή διακύμανση που συνδέεται με το προϊόν, τους εξεταζόμενους μικροοργανισμούς καθώς και τις συνθήκες επεξεργασίας και αποθήκευσης.

Δοκιμές για τη διερεύνηση της ικανότητας του καταλλήλως ενοφθαλισμένου εξεταζόμενου μικροοργανισμού να αναπτύσσεται ή να επιβιώνει στο προϊόν



ISO 20976-1:2019

Microbiology of the food chain — Requirements and guidelines for conducting challenge tests of food and feed products

Part 1: Challenge tests to study growth potential, lag time and maximum growth rate



FINAL DRAFT
International
Standard

ISO/FDIS 23691

**Microbiology of the food chain —
Determination and use of cardinal
values**

*Microbiologie de la chaîne alimentaire — Détermination et
utilisation des valeurs cardinales*

ISO/TC 34/SC 9

Secretariat: AFNOR

Voting begins on:
2025-08-25

Voting terminates on:
2025-10-20

Περίπτωση 1 (Annex II):

**«...προγνωστικά
μαθηματικά μοντέλα
καθιερωμένα για το εν
λόγω τρόφιμο»**

Υπαγωγή ΕΠΚ προϊόντων
στις κατηγορίες 1.2 & 1.3

ISO/FDIS 23691:2025(en)

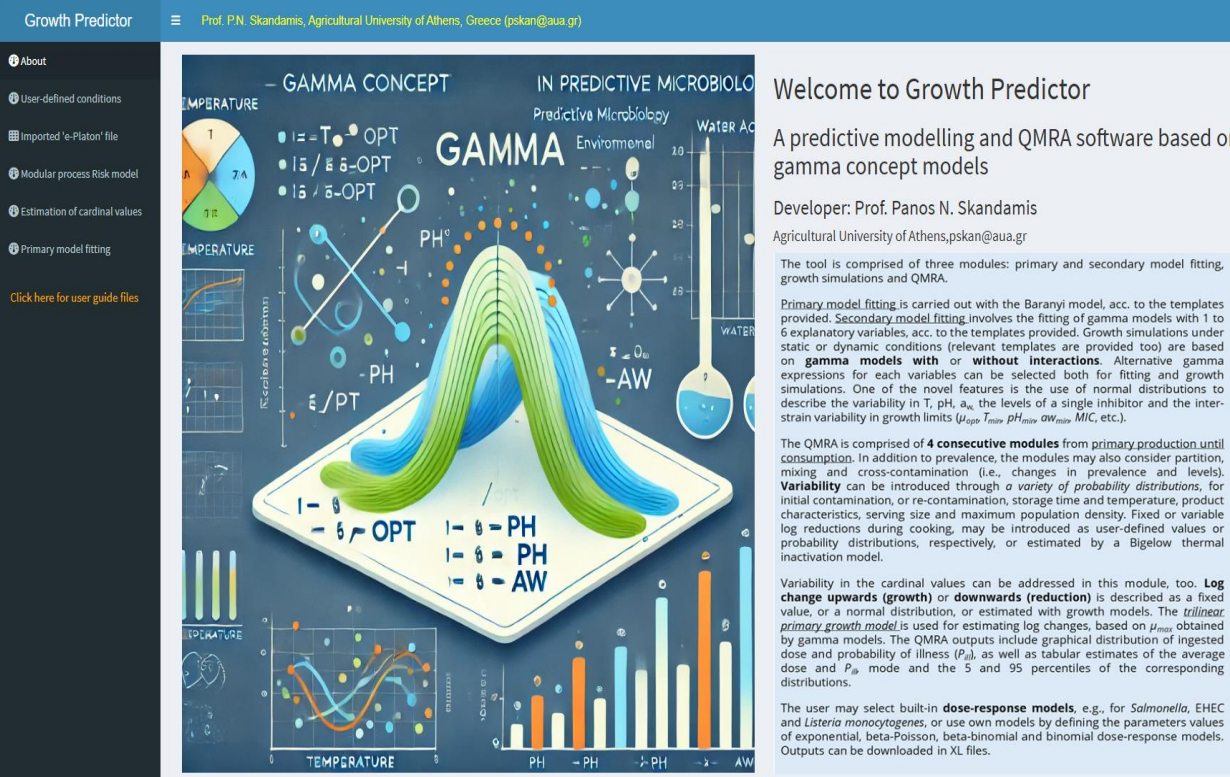
Table A.1 — Indicative list of tools for primary and secondary fittings and simulations and main functionalities^c

Functionalities		Tools					
		Growth Predictor ^[24]	BioGrowth ^[25]	Sym'Previs ^[26]	DMFit ^[27]	CardinalFit ^[28]	Food Spoilage and Safety Predictor (FSSP) ^[29]
Primary fitting	Baranyi and Roberts, 1994, Reference ^[5]	✓	✓	✗	✓	NA	NA
	Rosso et al., 1996, Reference ^[30]	✗	✓	✓	✗	NA	NA
	No	✓	✓	✗	NA	✗	✗

Περίπτωση 1:
Υπαγωγή ΕΠΚ προϊόντων στις κατηγορίες 1.2 & 1.3
«...**προγνωστικά μαθηματικά μοντέλα καθιερωμένα για το εν λόγω τρόφιμο**»

<https://skandamis.shinyapps.io/Microbial-Growth-Predictor-Dashboard/>

Predicting the troublemakers: Guidance and a computer tool to predict microbial growth, IAFP Webinar, 15 May 2025



Εκπαίδευση 160 επιθεωρητών ΕΦΕΤ στη χρήση του εργαλείου και των αρχών αποτίμησης επικινδυνότητας, Ιούλιος-Οκτώβριος 2025 (6 διαδικτυακά σεμινάρια, Π.Ν. Σκανδάμης)



Food Research International

Available online 4 April 2025, 116329

In Press, Journal Pre-proof [What's this?](#)



“Growth Predictor”: A new predictive modelling and quantitative microbial risk assessment tool

Panagiotis N. Skandamis [✉](#)

Λογισμικό αναφοράς στο ISO standard 23691 “Microbiology of the food chain – Determination and use of cardinal values,” και στο αντίστοιχο εθνικό πρότυπο AFNOR

“Growth Predictor”: Fitting / GNG interface / growth simulation

Import data (XL) file acc. to the template

Browse...

Secondary_Model_File.xlsx

Upload complete

Select plot variable

T

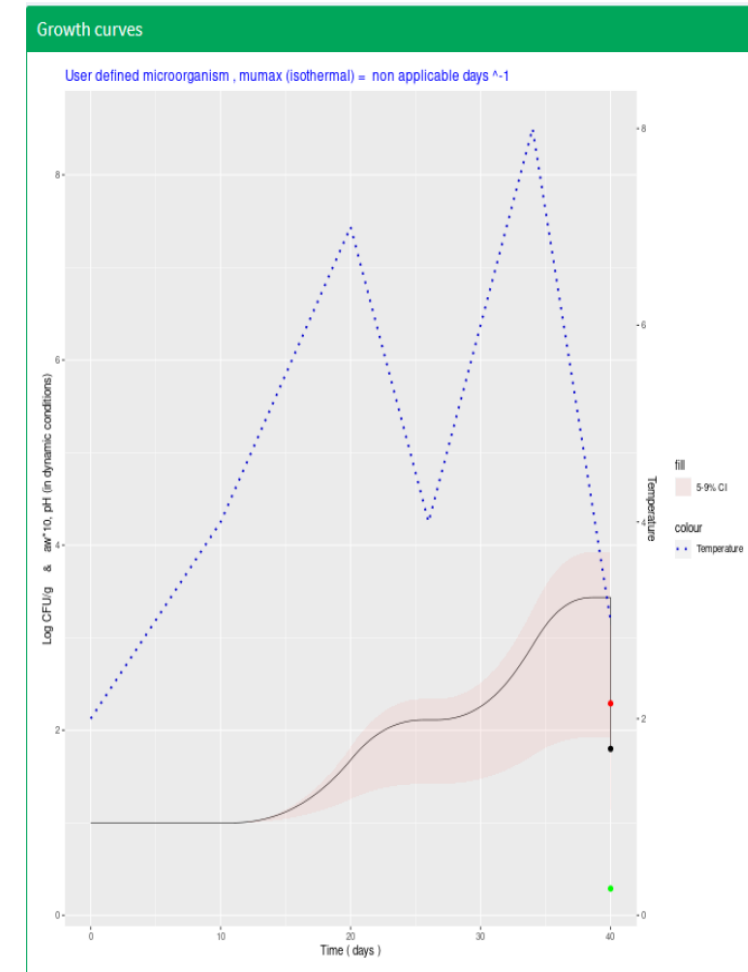
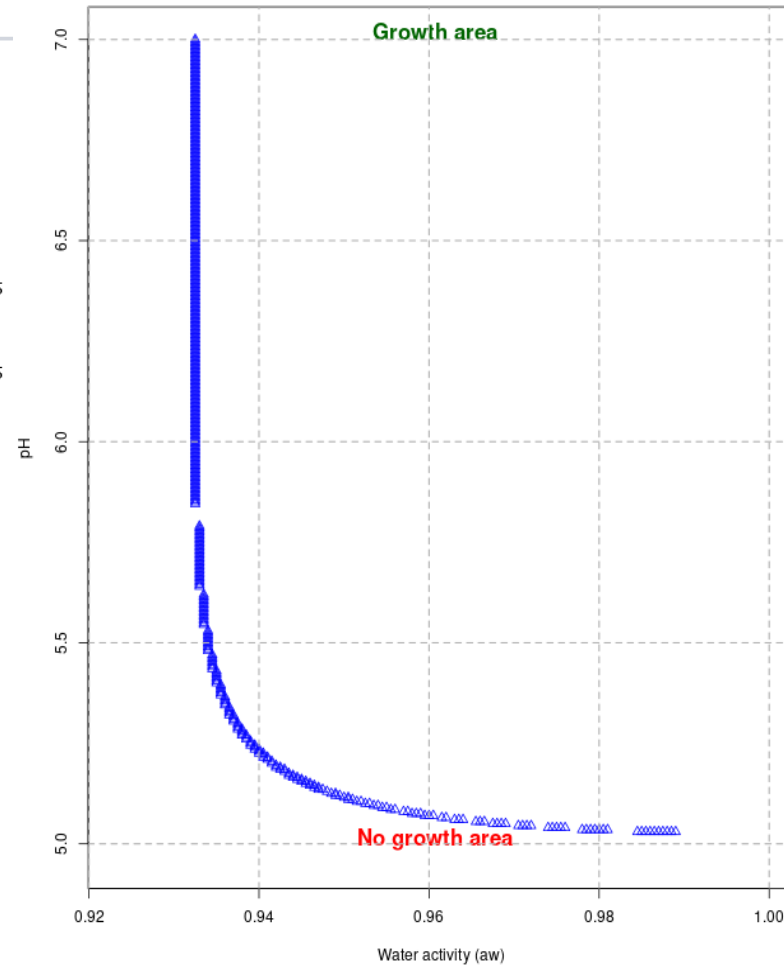
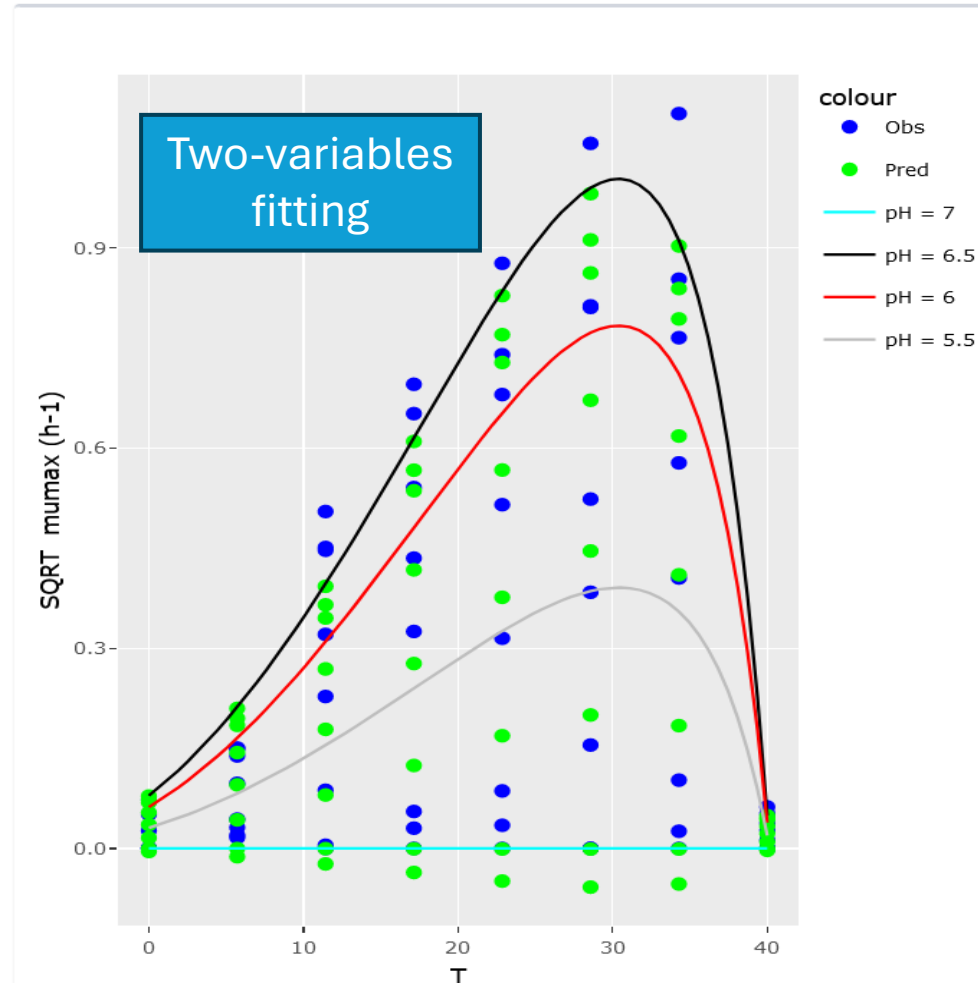
mumax transformation

☐ none

☒ SQRT

☐ Log (ln)

[Click here to download an XL Template](#)



aw 0.90

Growth area

Διεπιφάνεια αύξησης
Λιστέριας
(Growth/no growth
interface)

Προϊόντα
κατηγορίας 1.2

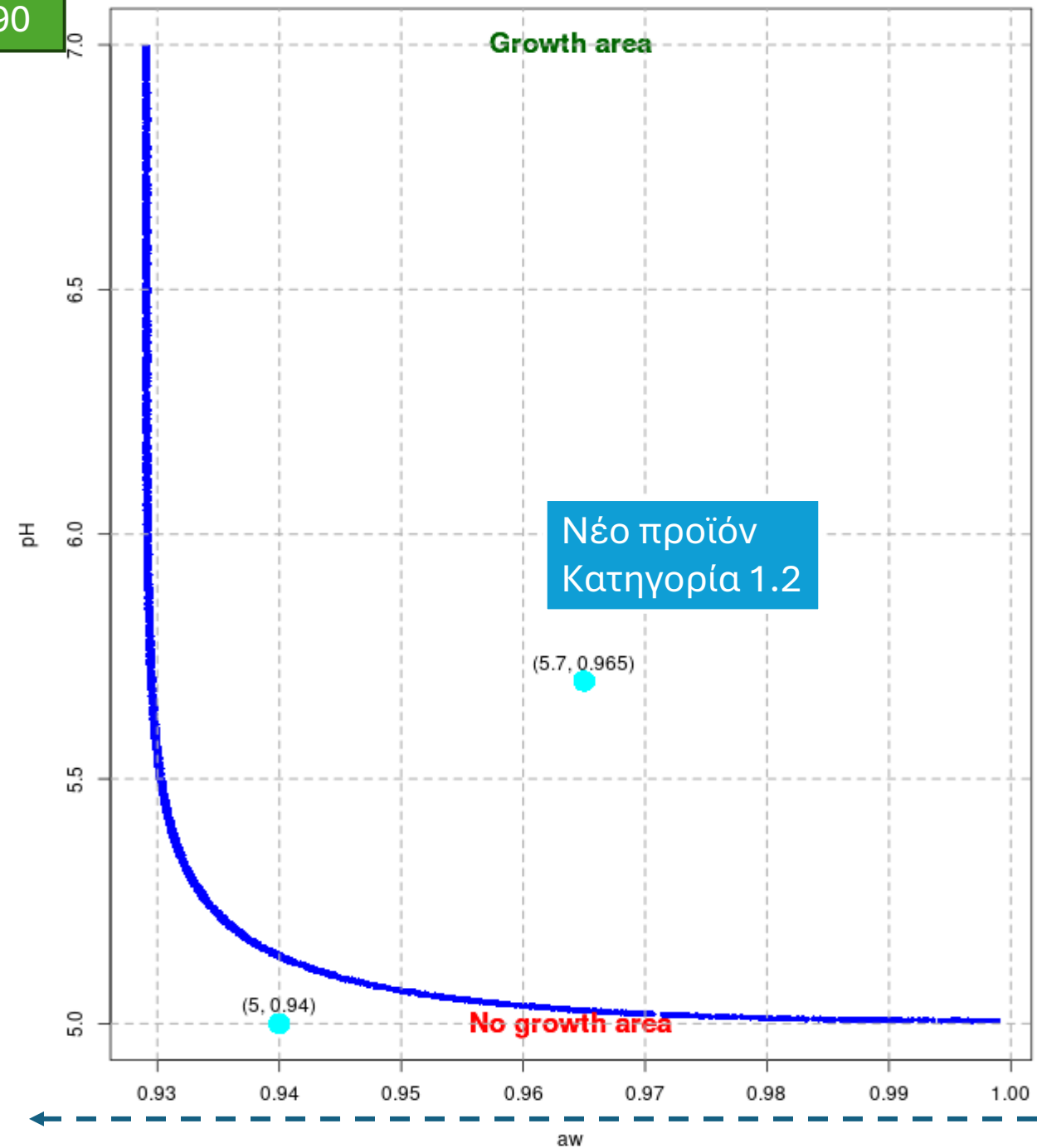
Προϊόντα
κατηγορίας 1.3

(5, 0.94)

No growth area

pH 4.4

aw 0.90



Νέο προϊόν
Κατηγορία 1.2

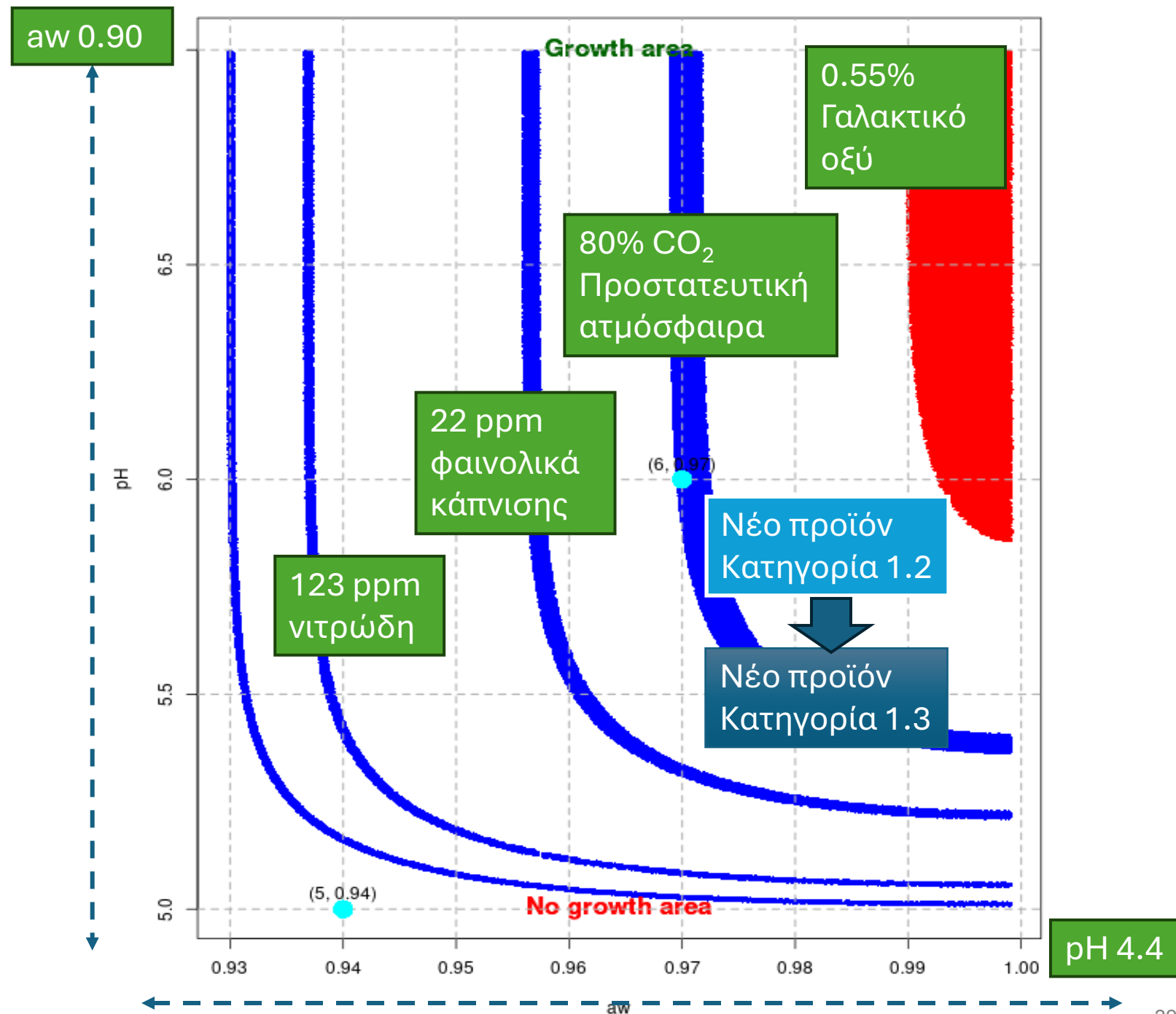
(5.7, 0.965)

(5, 0.94)

No growth area

pH 4.4

Τα εμπόδια μετακινούν τη διεπιφάνεια προς τα **ΠΑΝΩ**
Καθιστούν το νέο προϊόν ολοένα απαγορευτικό για αύξηση *L. monocytogenes*



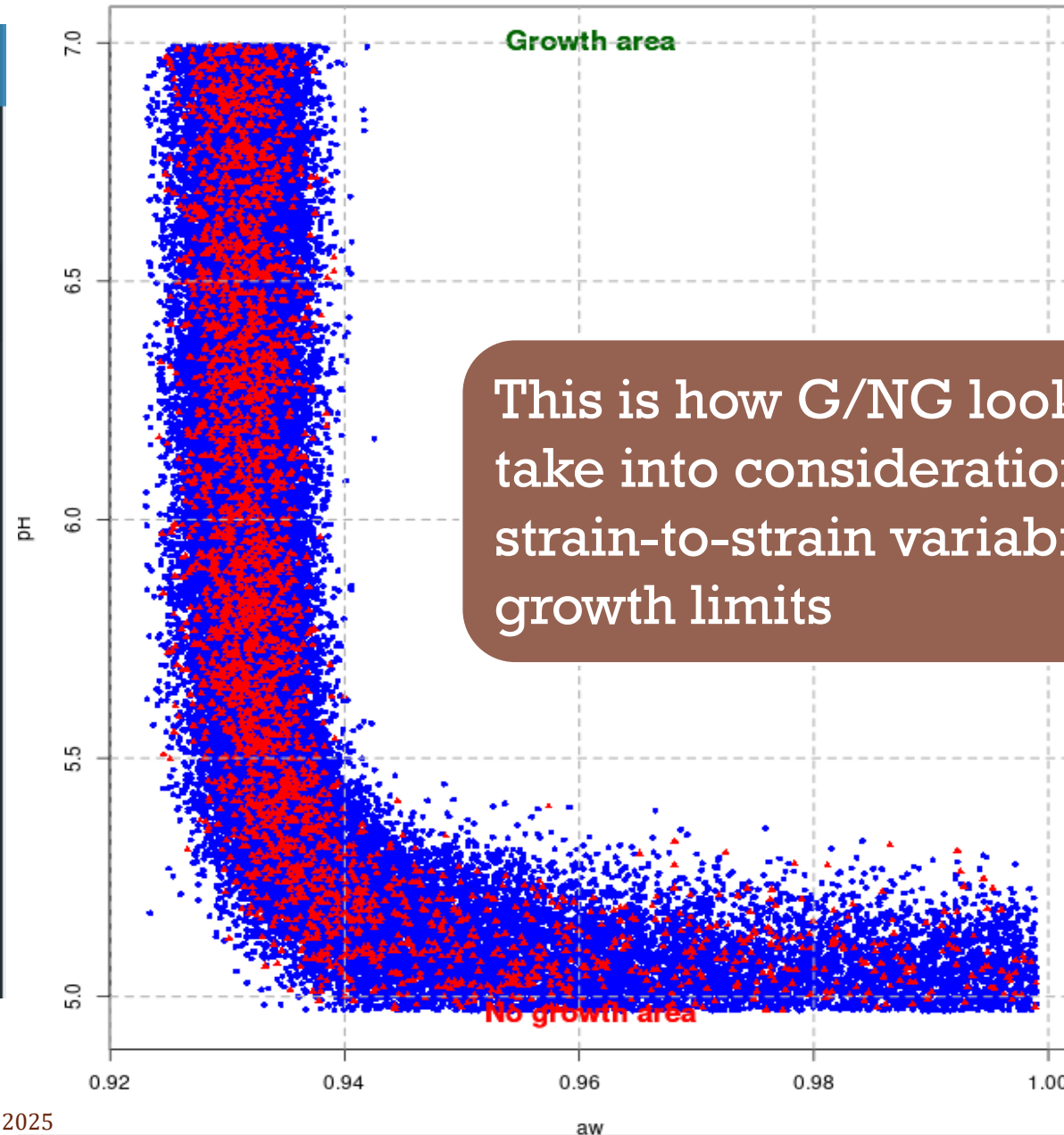
INTER-STRAIN VARIABILITY IN GROWTH LIMITS

Growth Predictor

- About
- Imported 'e-Platon' file
- Gamma Growth Simulations**
- Inactivation & User Simulations
- Modular process Risk model
- Primary model fitting
- Estimation of cardinal values
- User-defined equation fitting
- F-value calculator

[Click here for user guide files](#)

[Watch full demo video](#)



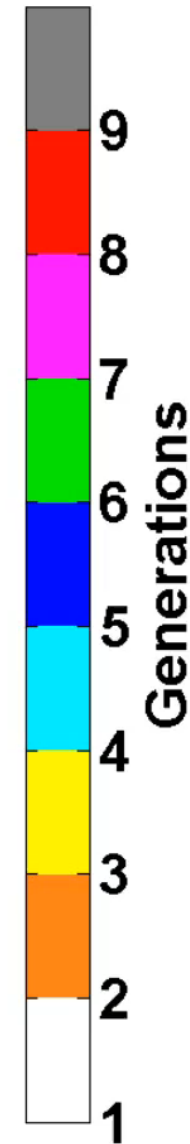
GROWTH SIMULATION



ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΑΥΞΗΣΗΣ ΜΕ ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΟ ΤΡΟΠΟ

ΑΠΟ ΤΑ ΚΥΤΤΑΡΑ ΣΤΟΝ ΠΛΗΘΥΣΜΟ

Variability in generation times among cells in different microcolonies



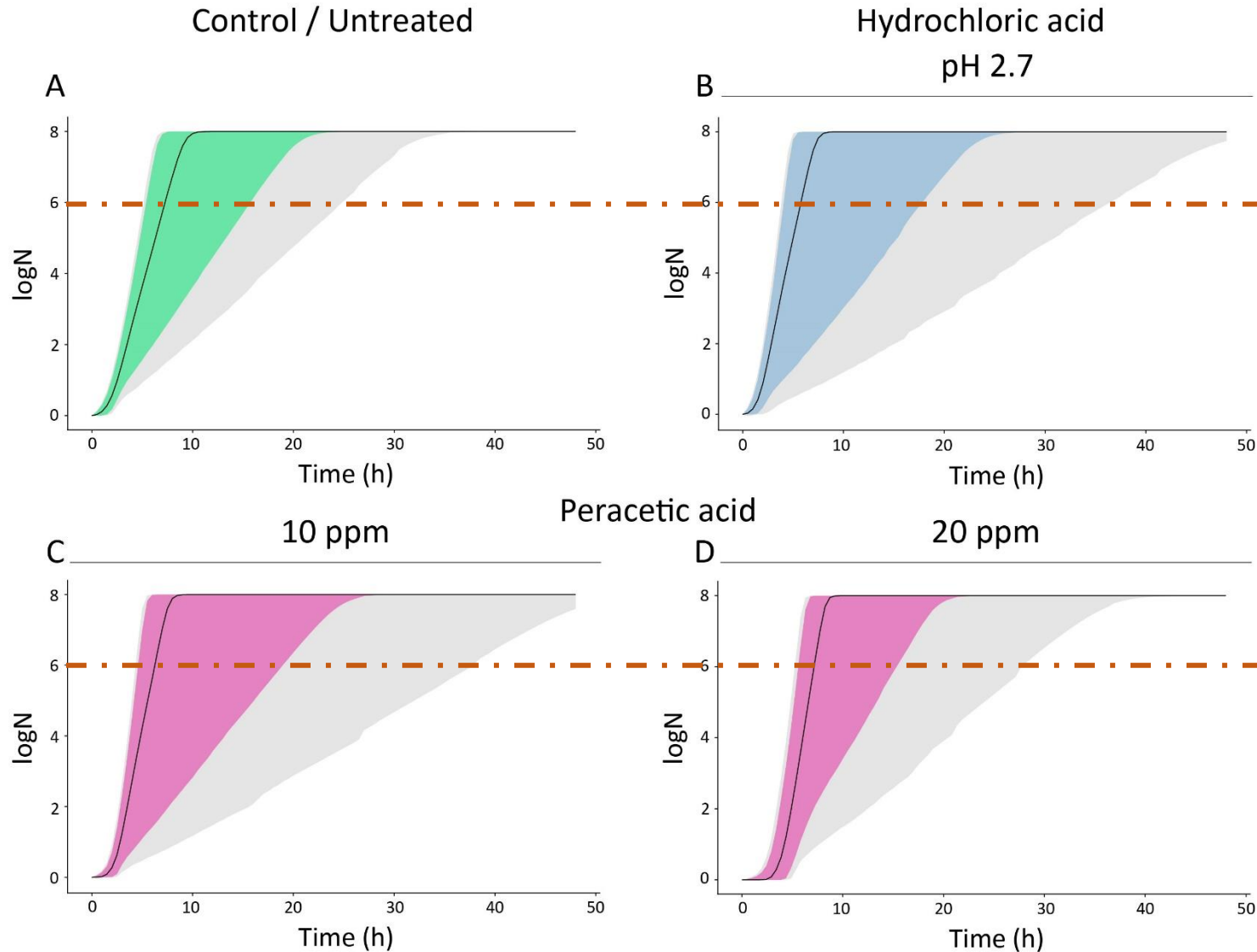
July, 8-11, 2024
Fórum Evolución
Burgos (Spain)

micro2024.com

Variability in the capacity to exceed the detection threshold after enrichment

Output of the model for $No=1$ using Monte Carlo approach

The solid line represents the mean of the simulations. The two shaded areas represent the space between the 10th and the 90th and 5th and 95th quantiles.



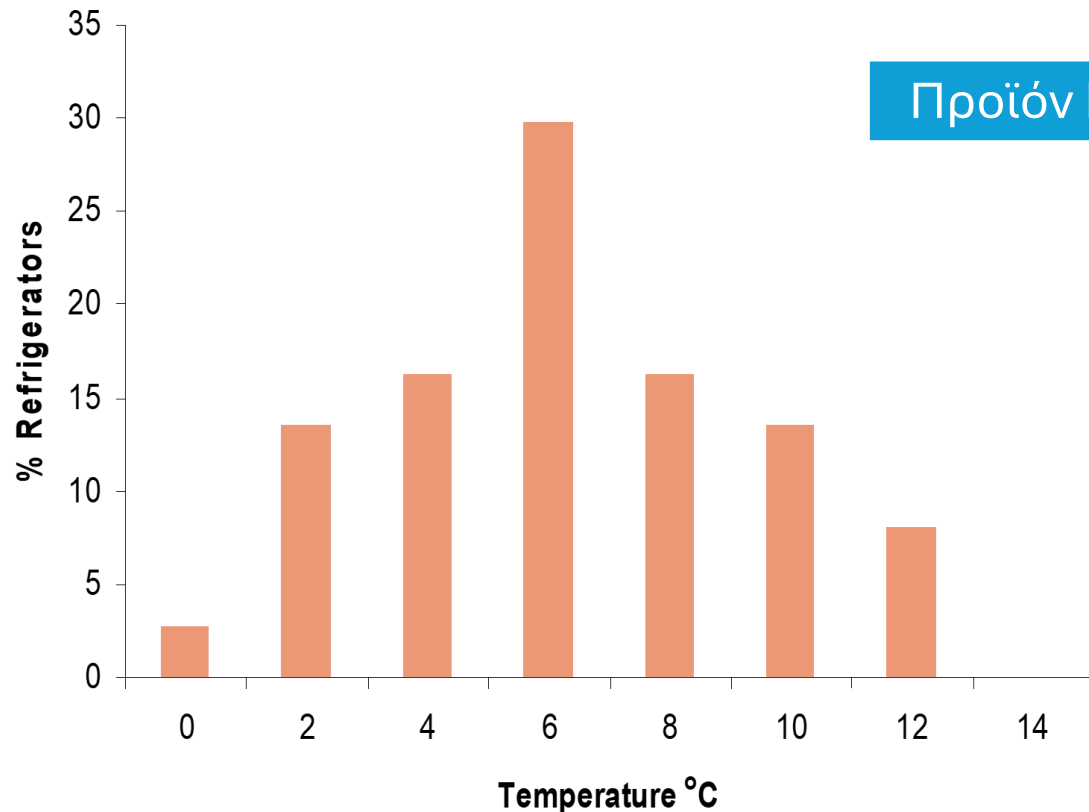
Population Threshold for detection on plates after enrichment

Population Threshold for detection on plates after enrichment

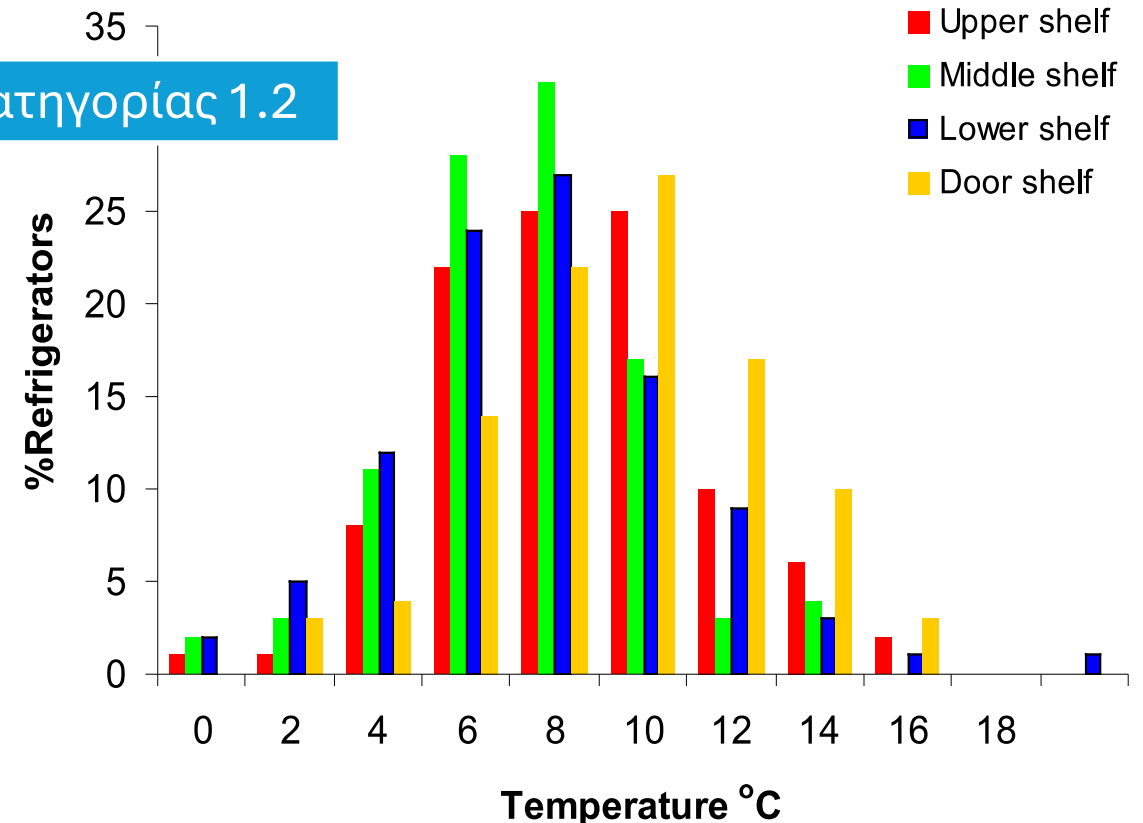
Assessing the variability of the colonial growth dynamics after stress exposure offers quantitative insights on the impact of stress on residual risk associated with survivors.

“Οι μελέτες που αναφέρονται παραπάνω πρέπει να λαμβάνουν υπόψη την εγγενή διακύμανση που συνδέεται με το προϊόν, τους εξεταζόμενους μικροοργανισμούς καθώς και τις συνθήκες επεξεργασίας και αποθήκευσης”

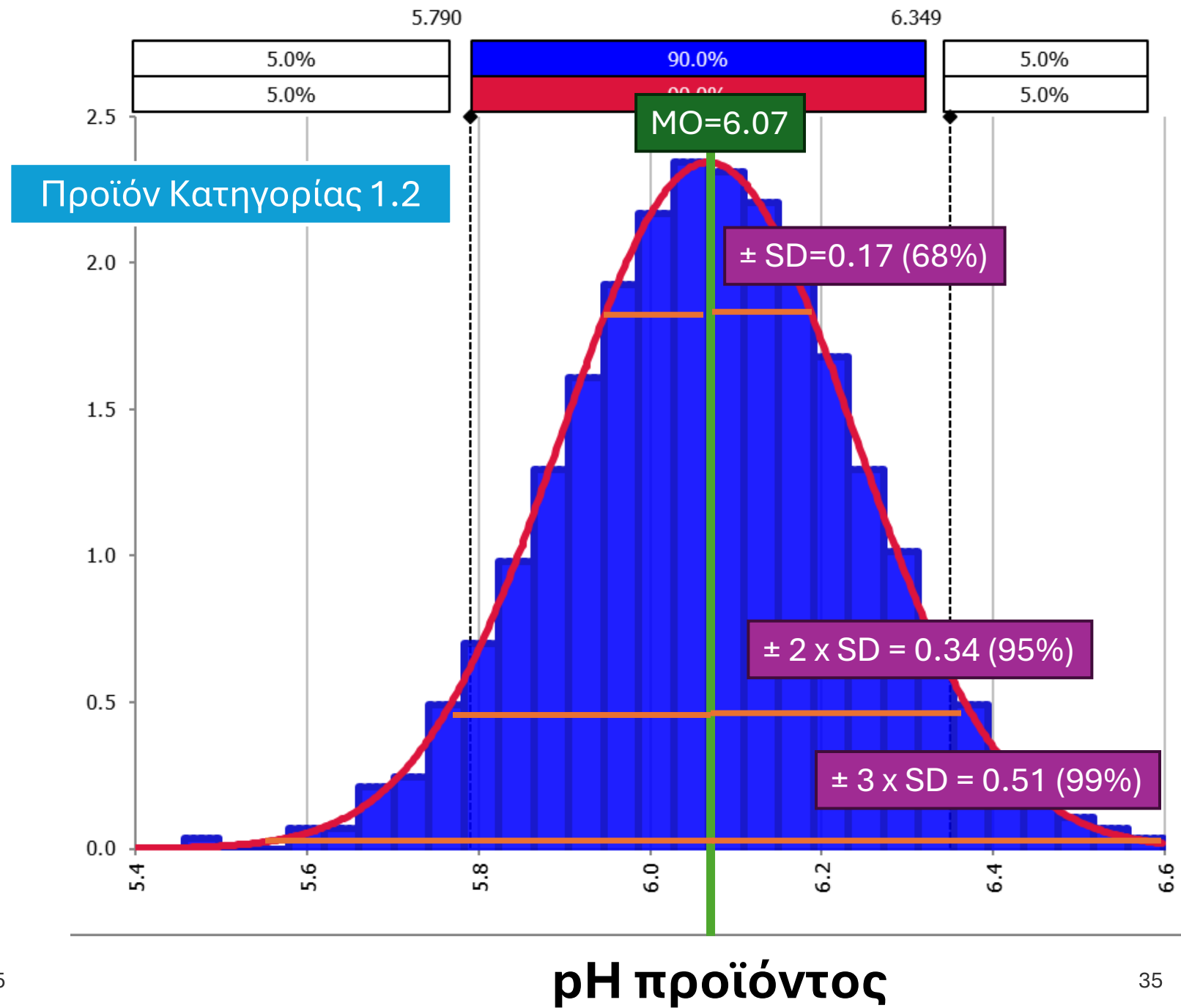
Θερμοκρασίες λιανικής

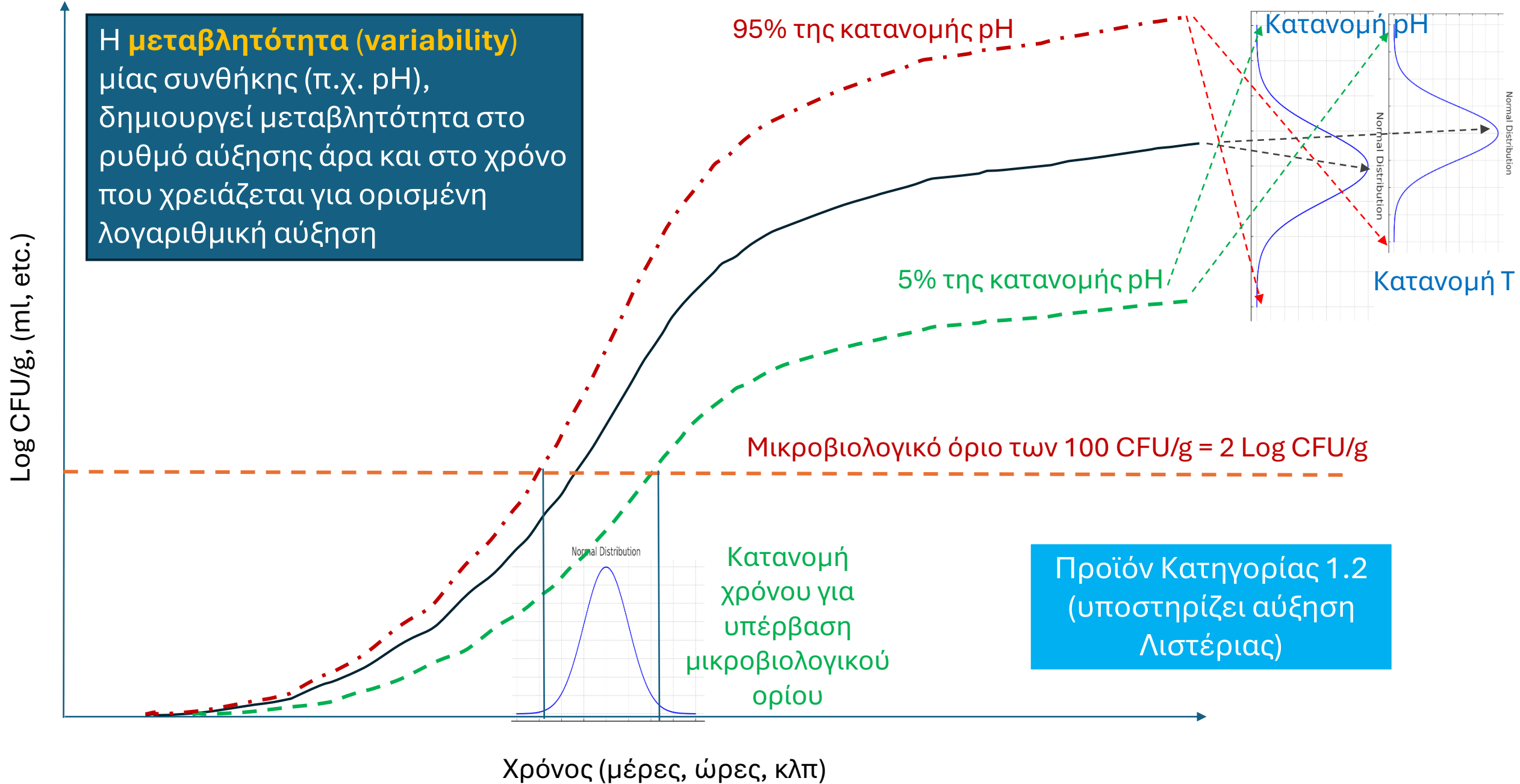


Οικιακά ψυγεία



διακύμανσης
εγγενών
χαρακτηριστικών
(pH)



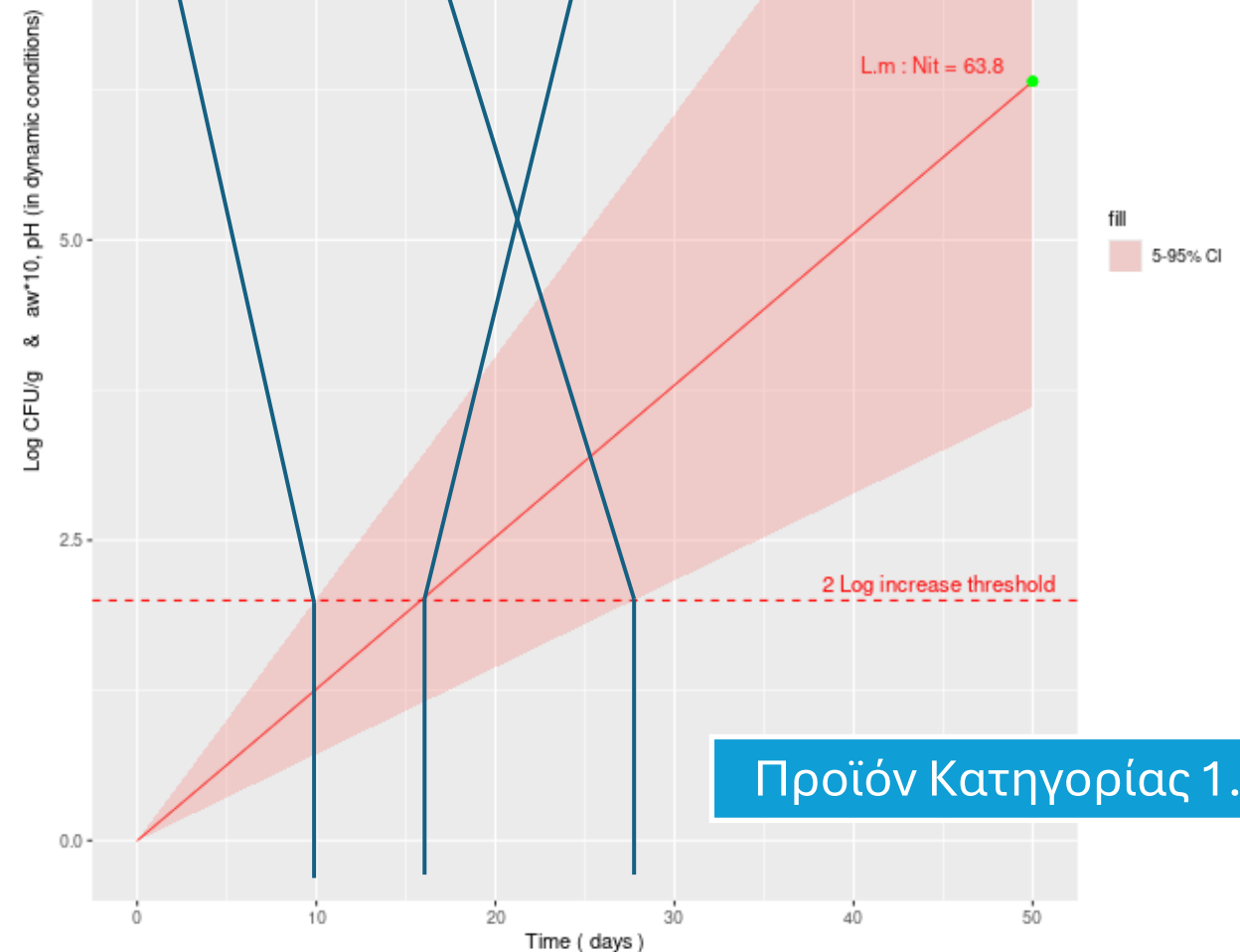


Estimating time for certain log increase

Log increase

2

From	To	Average
10.1 days	27.9 days	16.1 days



Προϊόν Κατηγορίας 1.2

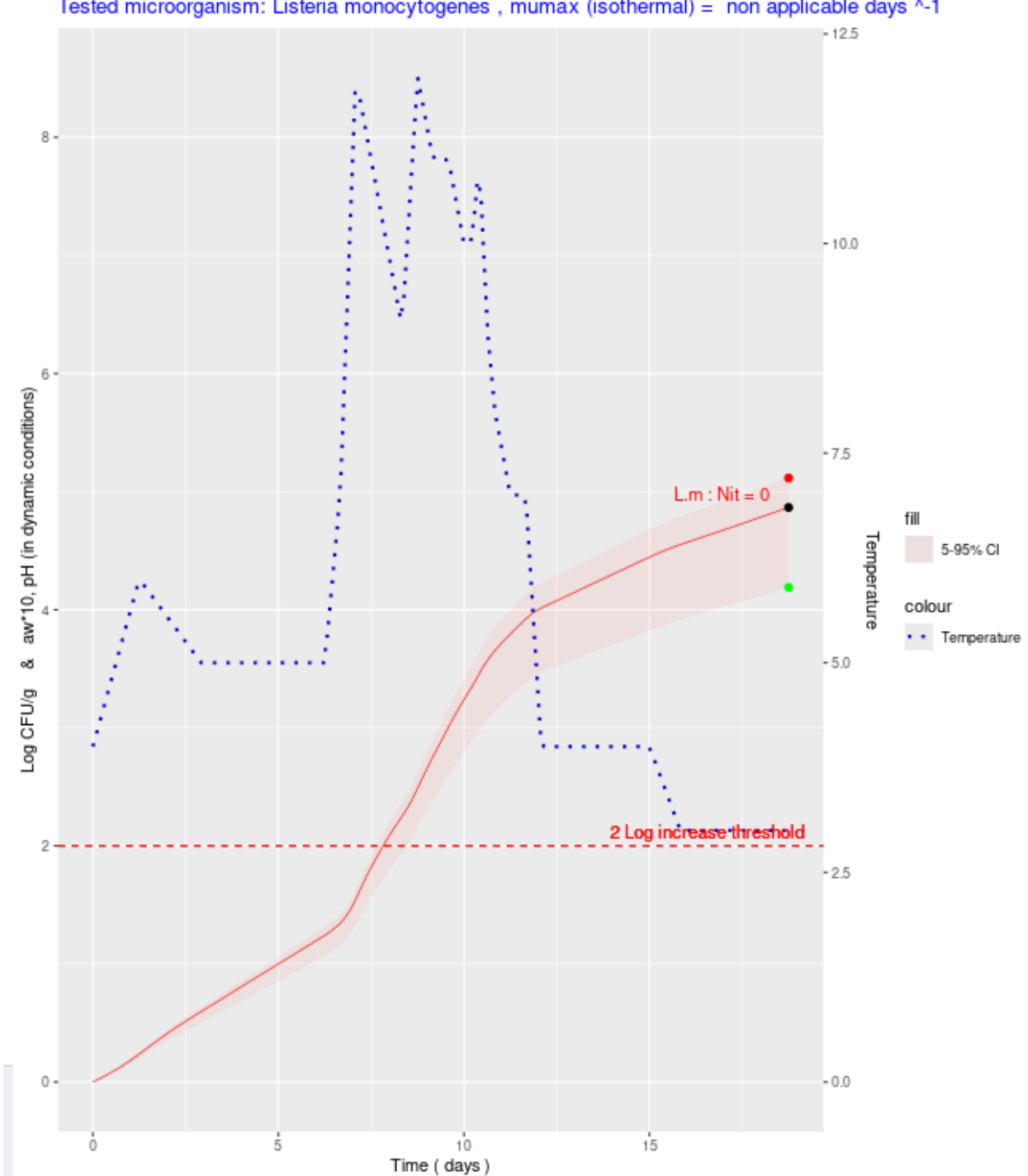
Συμμόρφωση υπό
Δυναμικές συνθήκες
και διακύμανση pH

Καθορισμός
διατηρησιμότητας

Πρόβλεψη σε σχέση
με **πραγματικά**
χρονο-
θερμοκρασιακά
δεδομένα

ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΠΡΑΞΗ...

19/12/2025



First-order & Bigelow inactivation models

- Inactivation kinetics

$$N = N_0 e^{-kt}$$

- D-value

$$\frac{t}{\log N_0 - \log N_1}$$

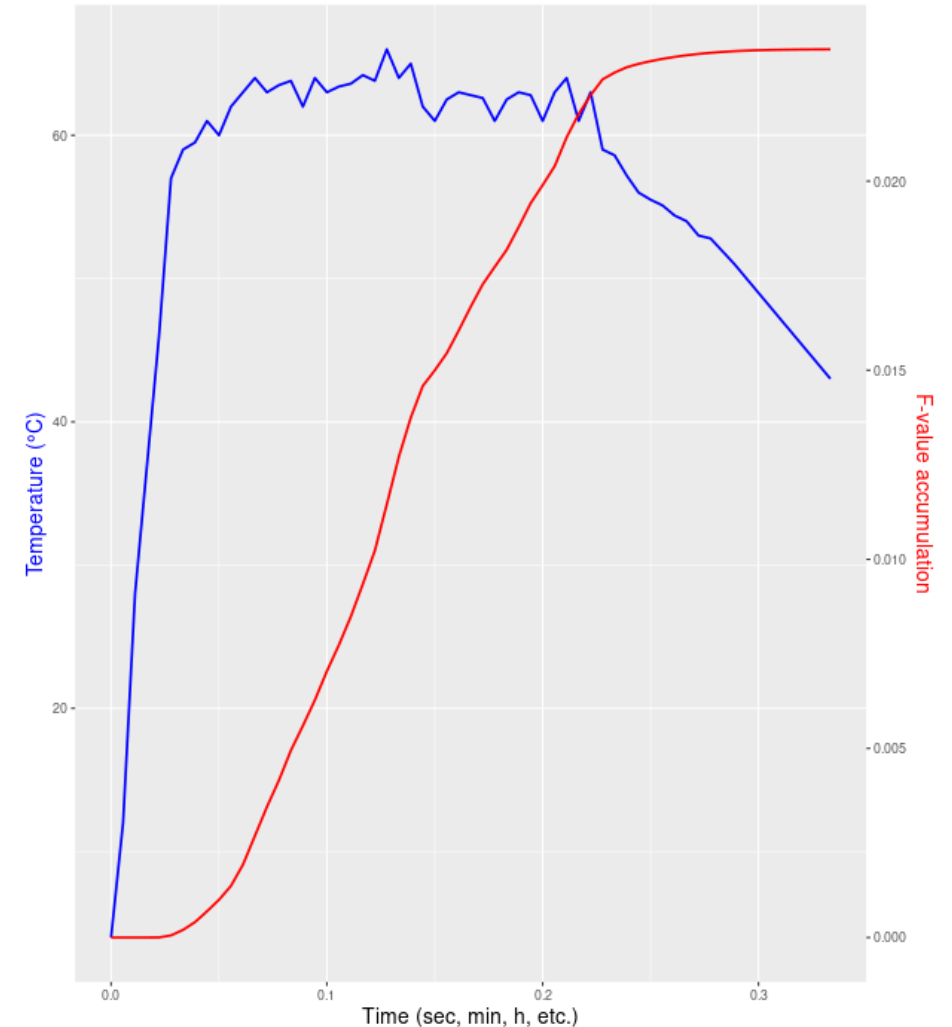
- Z-value

$$\frac{(T_2 - T_1)}{\log(D_1/D_2)}$$

- Process lethality

$$F = \int_0^t 10^{(T(t) - T(\text{ref}))/z} dt$$

Visualization of heating process



EFSA BIOHAZ SCIENTIFIC OPINIONS

Scientific Opinion on the development of a risk ranking toolbox for the EFSA BIOHAZ Panel¹

2015

Scientific Opinion on the public health risks related to the maintenance of the cold chain during storage and transport of meat. Part 1 (meat of domestic ungulates)¹

EFSA Panel on Biological Hazards (BIOHAZ)^{2,3}

2014

Evaluation of heat treatments, different from those currently established in the EU legislation, that could be applied to live bivalve molluscs from B and C production areas, that have not been submitted to purification or relaying, in order to eliminate pathogenic microorganisms

EFSA Panel on Biological Hazards (BIOHAZ)

2015

Guidance on the requirements for the development of microbiological criteria

EFSA Panel on Biological Hazards (BIOHAZ),

2017

***Listeria monocytogenes* contamination of ready-to-eat foods and the risk for human health in the EU**

EFSA Panel on Biological Hazards (BIOHAZ),

2017

SCIENTIFIC OPINION

Evaluation of public and animal health risks in case of a delayed post-mortem inspection in ungulates

EFSA Panel on Biological Hazards (BIOHAZ),

2020

Guidance on date marking and related food information: part 2 (food information)

2021

Microbiological safety of aged meat

EFSA Panel on Biological Hazards (BIOHAZ),

2022

Microbiological hazards associated with the use of water in the post-harvest handling and processing operations of fresh and frozen fruits, vegetables and herbs (ffFVHs). Part 1 (outbreak data analysis, literature review and stakeholder questionnaire)

EFSA Panel on Biological Hazards (BIOHAZ),

2025

REGULATORY SCIENCE



TRANSLATION OF TEMPERATURE EXPOSURE TO *E. COLI* GROWTH & HAVTINACTIVATION

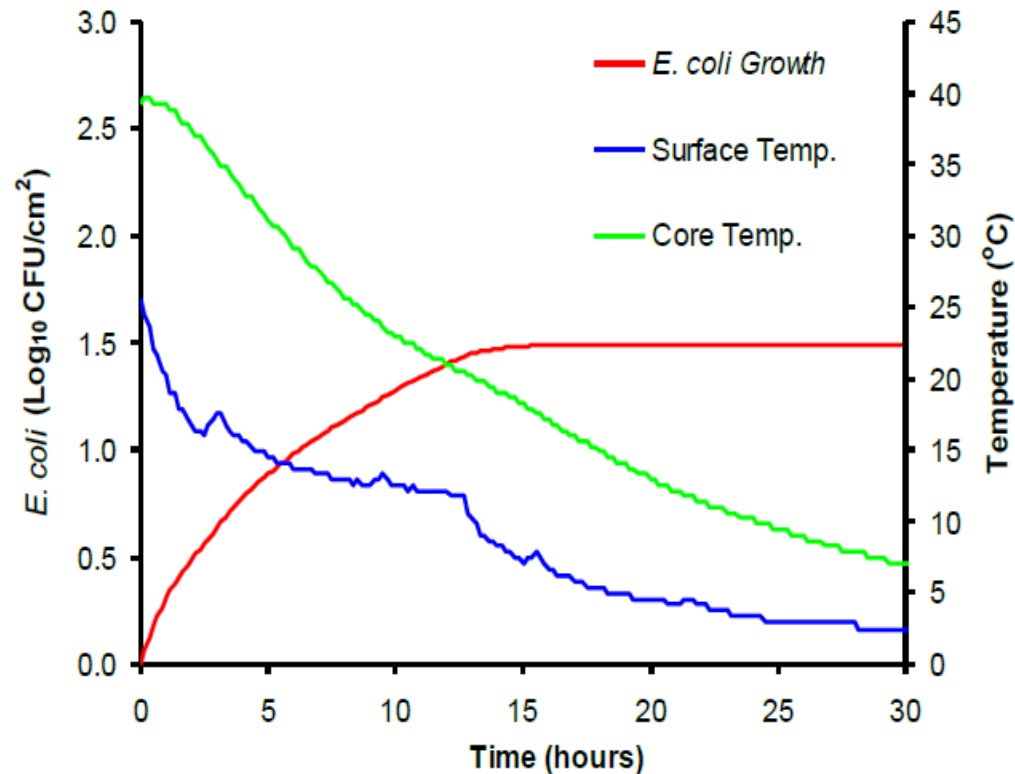
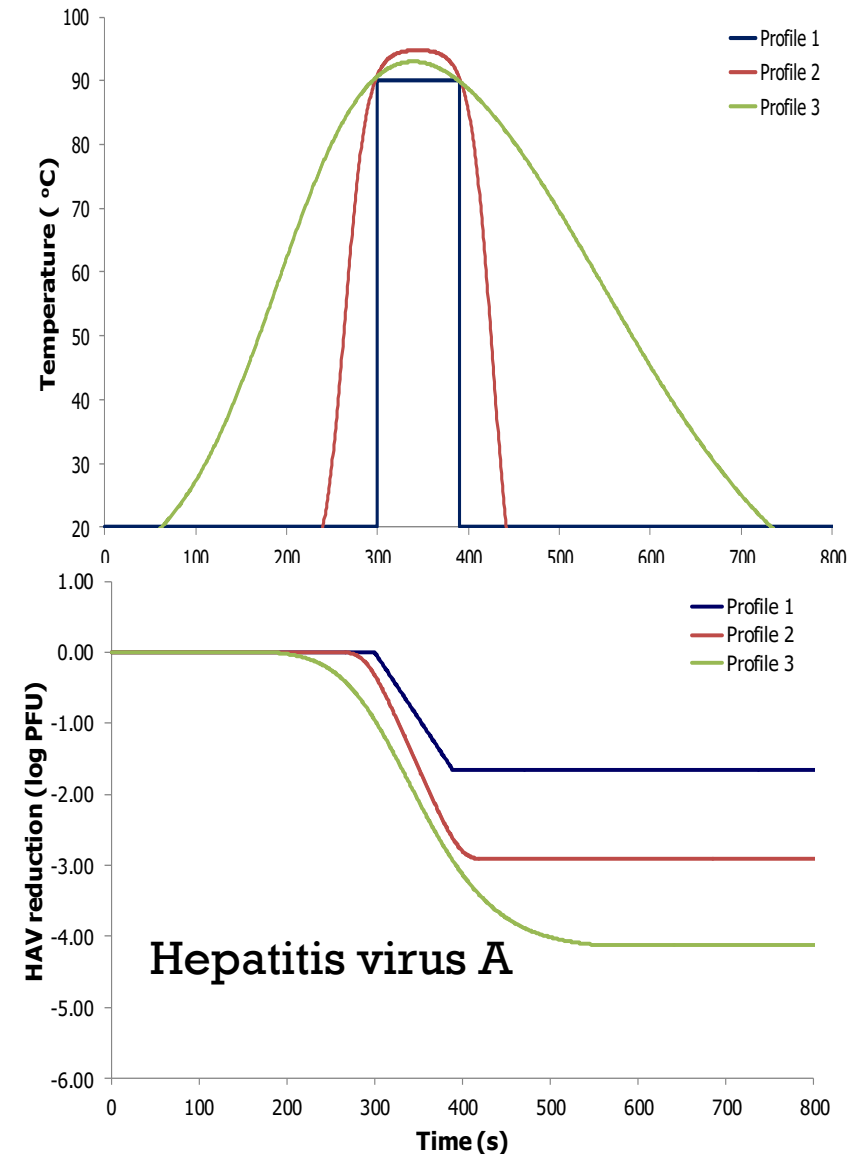


Figure 3: Predicted growth of *E. coli* (VTEC) on beef carcasses kept in the chilling room until core temperature reaches 7 °C (commercial beef slaughterhouse data). Growth of *E. coli* was predicted using the secondary model of Ross et al., 2003 (assuming pH=6.5, a_w =0.993 and lactic acid concentration=51.7mM) and the primary model of Baranyi and Roberts (1994) assuming no lag phase.



Hepatitis virus A



The WaterManage4You app to support Process Water Management Plans (WMPs)

A computational tool using dynamic predictive mathematical modelling to understand the impact of intervention measures on microbial indicator levels in water used in different handling/processing operations of fresh and frozen fruit, vegetables and herbs (FVH)

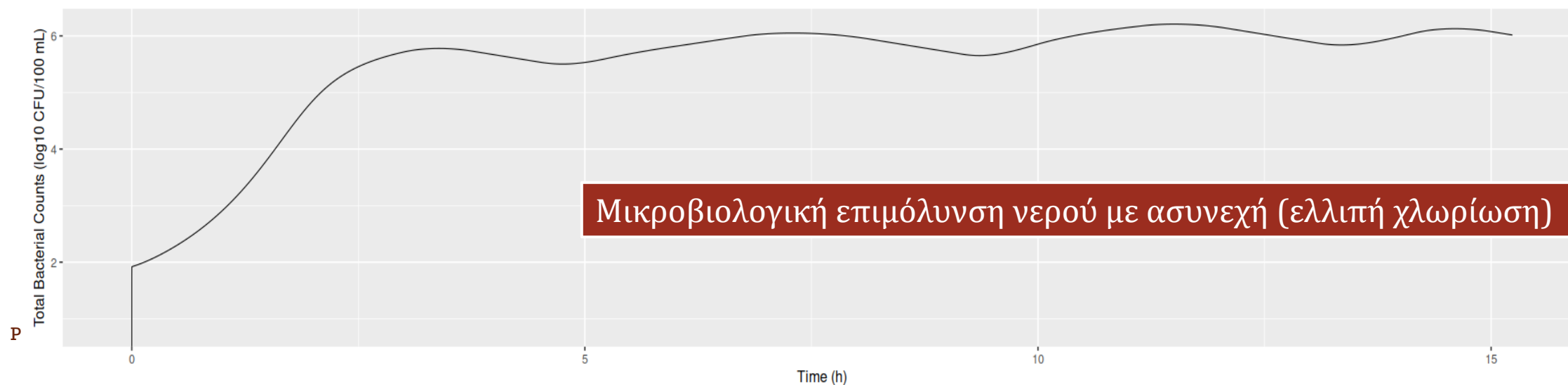
The tool provides generic quantitative information that can be used by the food business operators (FBOs) not only to generally understand the dynamics of the process but also to identify the main actions to be taken in the process water management plan (WMP). The model could be used by the FBOs to understand the conditions that could represent operational practices that favour or prevent the accumulation of microbial contamination in water.

This tool also enables the simulation of various 'what if scenarios', which could help the FBOs in selecting the most suitable intervention strategies, e.g., the use of chlorine-based disinfectants and/or water replenishment to maintain the microbiological quality of the process water at the lowest possible values for both free chlorine (FC) and the rate of water replenishment.

It should be noted that this app:

- requires realistic parameters to provide reliable predictions;
- only considers chlorine-based water disinfection treatments;

Microbial count COD HOCl





Initial disinfectant concentration (mg/L)

4.34

Optimization of water chlorination for fresh produce



Continuous flow of disinfectant (mg_disinfectant/min)

1796.44

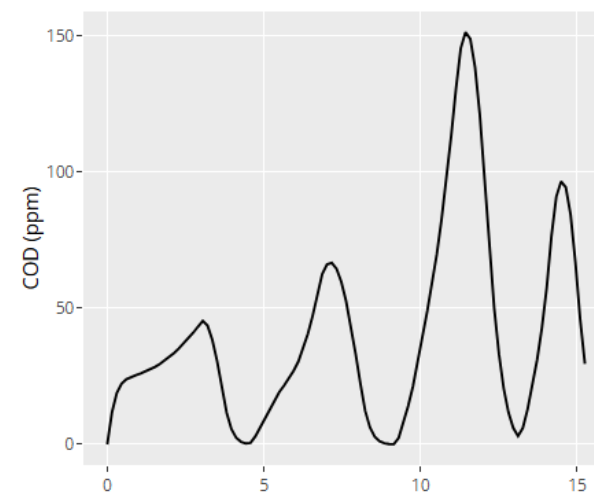
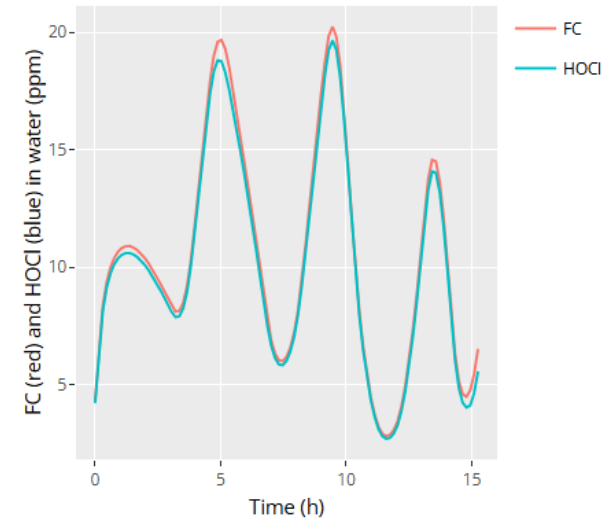
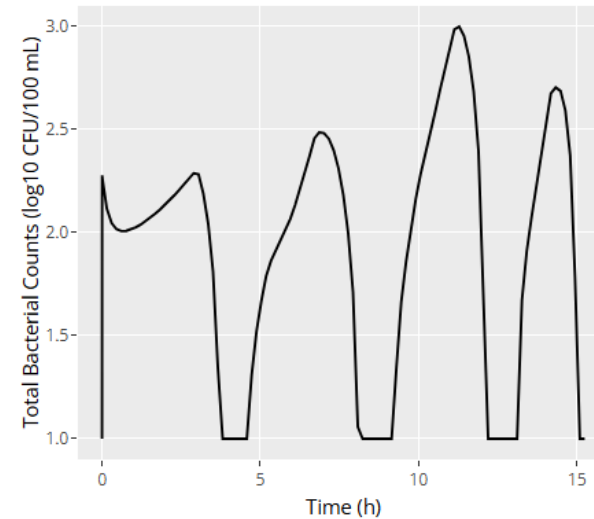
Tank dynamics under optimal conditions

Microbial count

COD

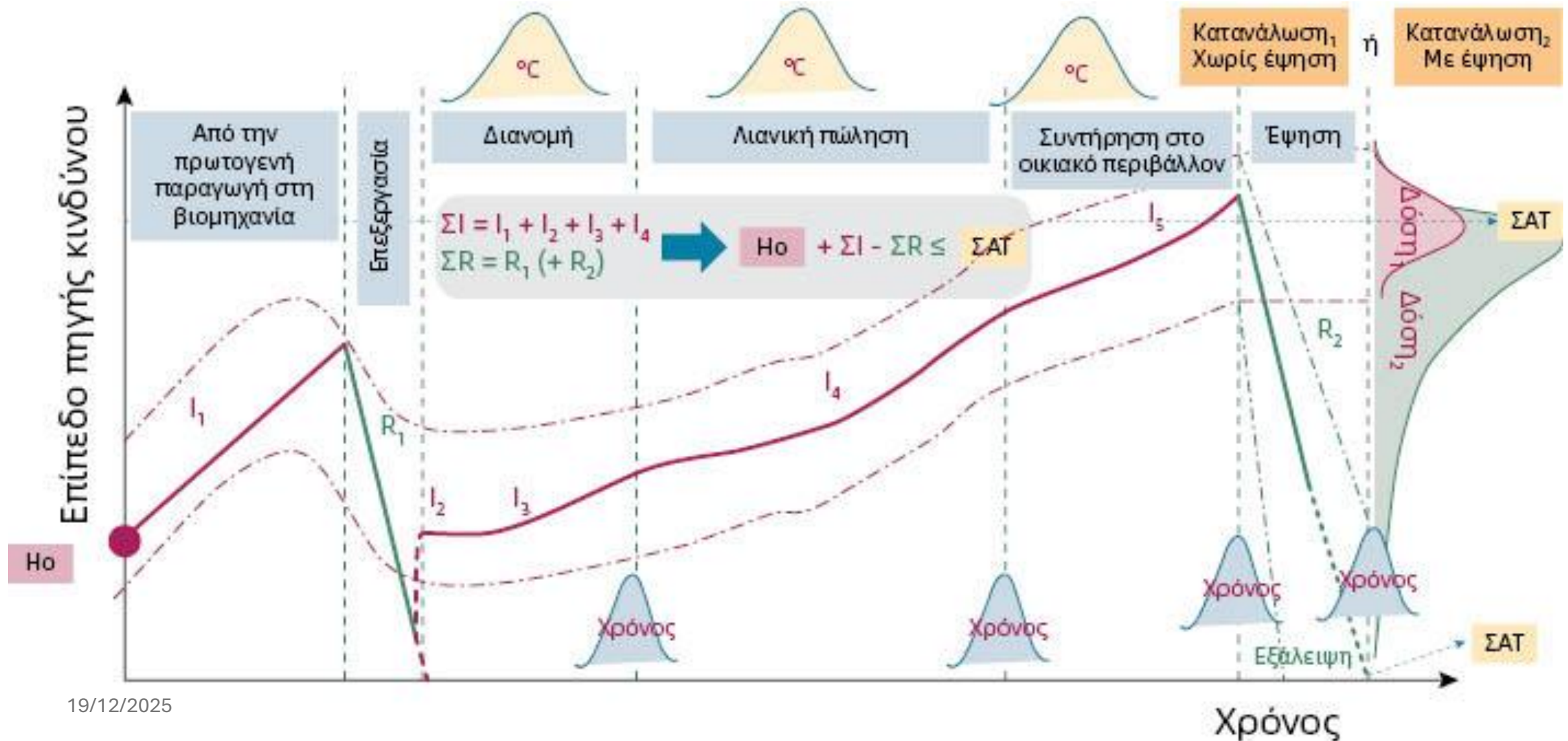
HOCl

Mosaic



QMRA Module

Η μεταβλητότητα και η αβεβαιότητα στην αποτίμηση επικινδυνότητας



Annual number of services

1

Risk Table

Exposure_Metrics	LogCFU_per_g_OR_ml	Illness_Metrics	Estimate
Average Dose per serving	5.7	Average Pill per serving	6.036e-07
-	-	Cases per annum	6.036e-07
Mode	5.5	Mode	3.162e-07
p5	4.6	p5	4.972e-08
p50	5.62	p50	5.233e-07
p95	6.89	p95	9.611e-06

Select plot

Probability of illness

Iterations

1000

Serving size (g)

61

Serving Size Distr/tion

Gamma

alpha of gamma dist.

4

beta of gamma dist.

12

Initial Prevalence (0-1)

0

Dose response

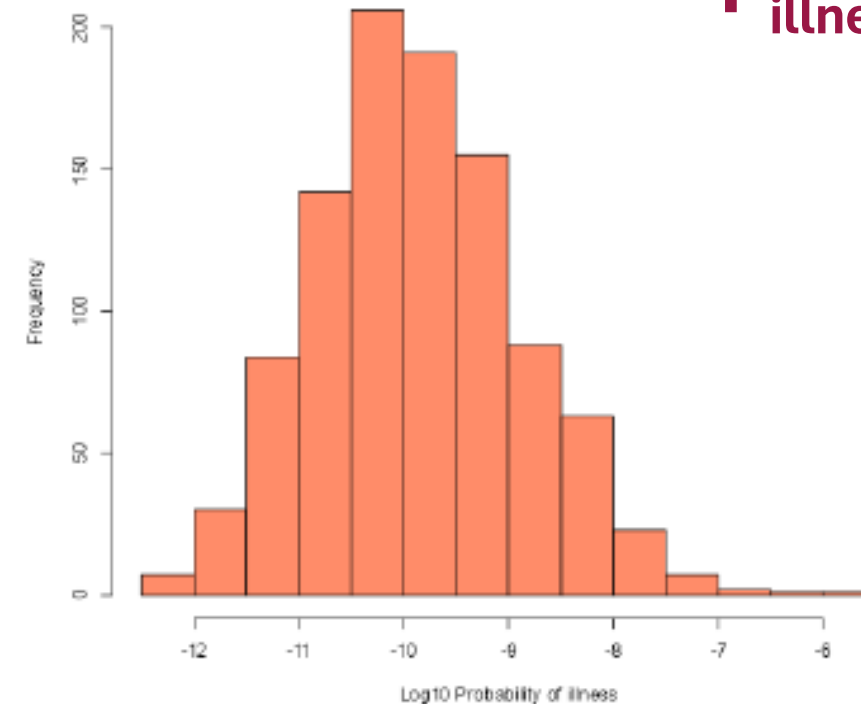
L. monocytogenes susceptible

FDA, 2014

Please FIRST read the DISCLAIMER

Click to render Plot or resample

Histogram of P_of_illness



Pillness

Select Mode

Exposure

Iterations

100

Serving size (g)

25

Serving Size Distr/tion

Gamma

alpha of gamma dist.

4

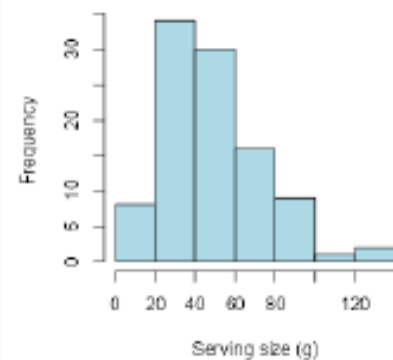
beta of gamma dist.

12

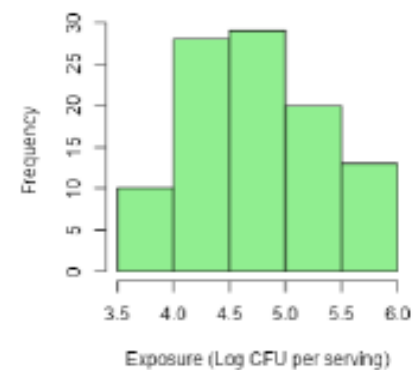
Click to render Plot or resample

Exposure

Histogram of Serving



Histogram of FinalExposure

Risk
outputs

Download FULL MODEL

- About
- User-defined conditions
- Imported 'e-Platon' file
- Modular process Risk model
- Estimation of cardinal values
- Primary model fitting

Click here for user guide files

Intr/Extrinsic factors Cardinal values Module

Static vs Dynamic conditions

Isothermal

Time units

Days

Hours

SD of Temp. distr.

0

SD of Time distr.

0

SD of pH. distr.

0

SD of aw distr.

0

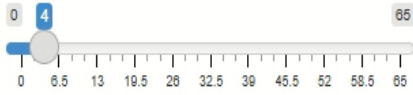
SD of Inhibitor1 distr.

0

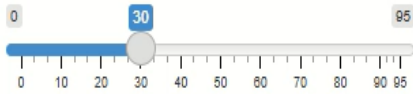
Num. of iterations

1

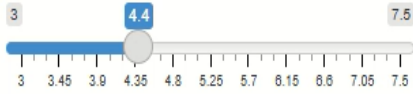
Storage T°C



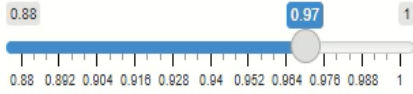
Storage time (days)



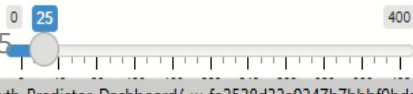
pH



aw

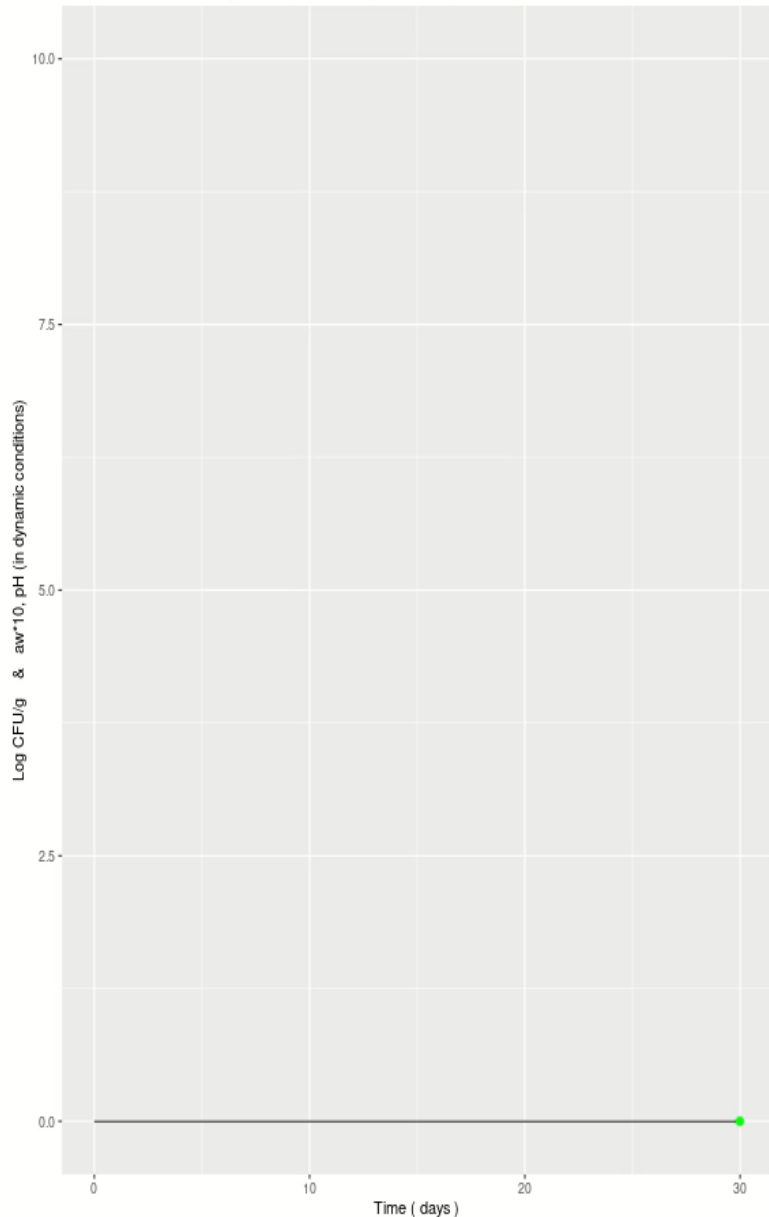


Inhibitor 1 (% , ppm, mM...)



Growth curves Growth/No growth interface

User defined microorganism , mumax (isothermal) = 0 days ^-1



Import/Export data

Independent data

Choose one of the following

Download Model Outputs

Built-in dbase models

Microorganism	pHmin	pH12	Tmin	Tmax	awmin	awopt	awmax
Salmonella	4.50	5.10	7.20	48.00	0.93	1.00	
STEC	4.50	5.50	9.20	48.00	0.94	1.00	
Bacillus cereus	4.30	5.90	10.30	55.00	0.95	1.00	

Estimating time for certain log increase

Log increase

0

From

> 30 days

To

> 30 days

Average

> 30 days

*Μικροβιολογική ασφάλεια
τροφίμων: από το HACCP στη
Βιομηχανία στην αποτίμηση
επικινδυνότητας του
καταναλωτή*

**Καθηγητής
Παν. Ν. Σκανδάμης**

*Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
pskan@aua.gr*

