



Αρχές Βιοτεχνολογίας Τροφίμων

Ενότητα 5: Στοιχεία Βιοχημικής Μηχανικής(2/2), 1.5ΔΩ

Τμήμα: Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων

Διδάσκων: Δρ. Σεραφείμ Παπανικολαου



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ





Μαθησιακοί Στόχοι

- Μικροβιακή κινητική (συνέχεια)
- Μοντέλα (πρότυπα) μικροβιακής αύξησης
- Παραγωγή μεταβολικών προϊόντων



Λέξεις Κλειδιά

- Εκθετική αύξηση
- Μοντέλα μικροβιακής αύξησης
- Συνδεδεμένοι, μερικώς συνδεδεμένοι και μη-συνδεδεμένοι μεταβολίτες με την αύξηση.



Μοντέλα (Πρότυπα) Σχετιζόμενα με Μικροβιακή Αύξηση 1/13

- Η εξίσωση Monod δύναται να εμφανίζει διαφόρων τύπων μετασχηματισμούς.
 - Παρεμπόδιση εκ του υποστρώματος (πρότυπο Andrews)

$$\mu = \mu_{\max} \cdot \frac{S}{K_S + S + \frac{S^2}{K_I}} \quad (27)$$

K_I : Σταθερά παρεμπόδισης σχετιζόμενη με το υπόστρωμα και το μικροοργανισμό



Μοντέλα (Πρότυπα) Σχετιζόμενα με Μικροβιακή Αύξηση 2/13

Παρεμπόδιση εκ του Μεταβολικού Προϊόντος

$$\mu = \mu_{\max} \cdot \frac{S}{K_S + S} \cdot \frac{K_P}{K_P + P} \quad (28)$$

K_P : Σταθερά παρεμπόδισης σχετιζόμενη με το μεταβολικό προϊόν και το μικροοργανισμό

P : Συγκέντρωση προϊόντος



Μοντέλα (Πρότυπα) Σχετιζόμενα με Μικροβιακή Αύξηση 3/13

- Έχουν προταθεί και άλλες εξισώσεις που περιγράφουν την εξάρτηση του ειδικού ρυθμού αύξησης από τη συγκέντρωση μεταβολικών προϊόντων με παρεμποδιστική δράση.
- Μια τέτοια εξίσωση είναι η εξίσωση των Aiba et al (1968).

$$\mu = \mu_{\max} \cdot \frac{S}{K_S + S} \cdot \exp[-K_p \cdot p] \quad (28)'$$



Μοντέλα (Πρότυπα) Σχετιζόμενα με Μικροβιακή Αύξηση 4/13

Άλλη Τέτοια Εξίσωση είναι η Εξίσωση των Zeng et al (1994)

$$\mu = \mu_{\max} \cdot \left(1 - \frac{P}{P_{\max}} \right) \cdot \left(\frac{S}{K_S + S} \right) \quad (28)''$$



Μοντέλα (Πρότυπα) Σχετιζόμενα με Μικροβιακή Αύξηση 5/13

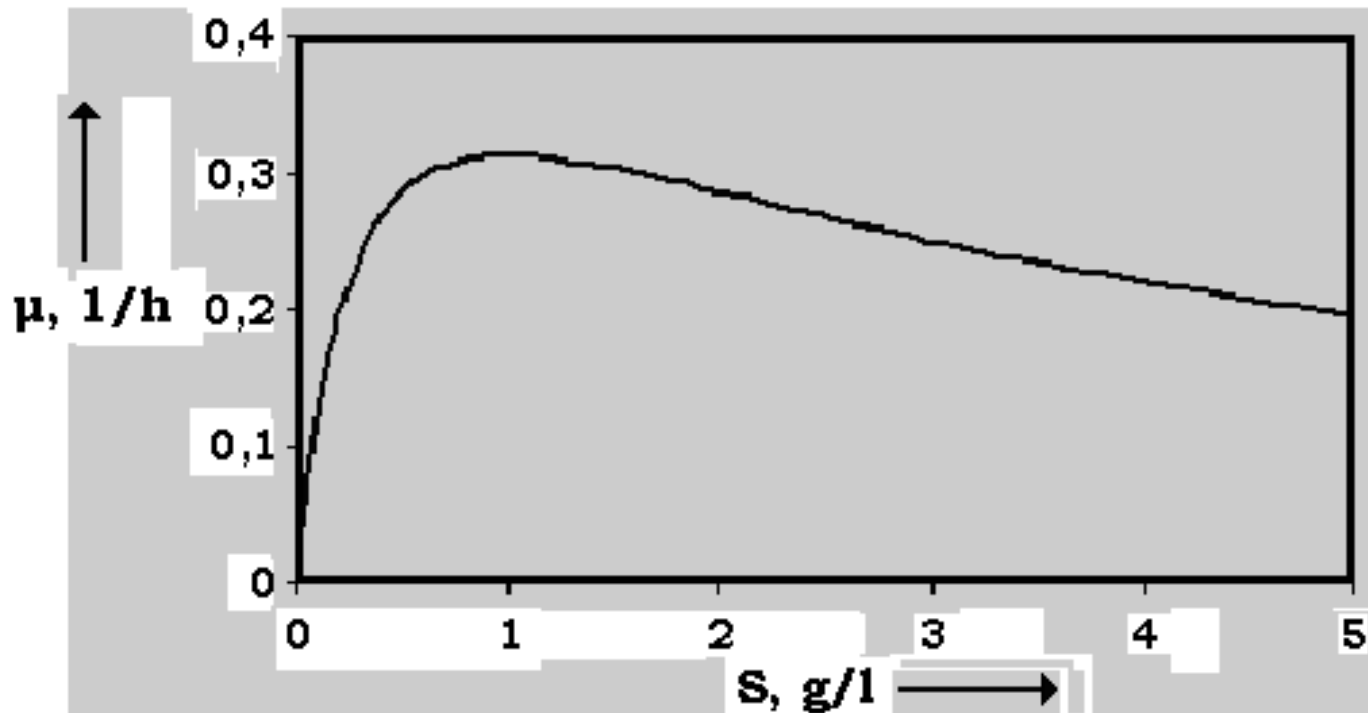
- Εκ των (27), (28), (28)' και (28)'' τεκμαίρεται ότι το μ είναι αρνητικώς επηρεαζόμενο σε σχέση με την αύξηση της [S] & [P], ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις είναι δυνατόν να υπάρχει ταυτόχρονη παρεμπόδιση εκ του υποστρώματος και των προϊόντων, ενδεχομένως και με σχετικά διαφορετικές εξισώσεις σε σχέση με τις προηγούμενες.

$$\mu = \frac{\mu_{\max}^*}{1 + \frac{H^+}{K_H} + \frac{K_{OH}}{H^+}} \frac{C_{Gly}}{C_{Gly} + K_S} \left(1 - \frac{C_{Gly}}{C_{Gly}^*}\right) \left(1 - \frac{C_{HAc}}{C_{HAc}^*}\right) \left(1 - \frac{C_{HBu}}{C_{HBu}^*}\right) \left(1 - \frac{C_{EtOH}}{C_{EtOH}^*}\right) \left(1 - \frac{C_{PD}}{C_{PD}^*}\right)$$



Μοντέλα (Πρότυπα) Σχετιζόμενα με Μικροβιακή Αύξηση 6/13

Εξάρτηση του μ από τη Συγκέντρωση του S
Σύμφωνα με το Πρότυπο του Andrews





Μοντέλα (Πρότυπα) Σχετιζόμενα με Μικροβιακή Αύξηση 7/13

Πρότυπο Λογιστικής Αύξησης

- Ο P.F. Verhulst (1844) μελέτησε ποσοτικά την πληθυσμιακή αύξηση σε διαφόρους τύπους ζωντανών οργανισμών.
- Εφαρμογή στη Μικροβιολογία:
 - Η δυνατότητα της αύξησης «κυριαρχείται» (governed) από τις δυνατότητες τις οποίες παρέχει το κλειστό σύστημα (batch culture) για περαιτέρω αύξηση.
 - Εισαγωγή του όρου «μέγιστη χωρητικότητα του συστήματος» (A) (carrying capacity).
 - Εφαρμογή του προτύπου σε φυσικά οικοσυστήματα ή σε συστήματα όπου είναι άγνωστος ο περιοριστικός παράγοντας.



Μοντέλα (Πρότυπα) Σχετιζόμενα με Μικροβιακή Αύξηση 8/13

$$\mu = \mu_{\max} \cdot (A - X) \quad (29)$$

Εκ των εξισώσεων (4), (5) & (29) συνάγεται ό,τι:

$$\frac{dX}{dt} = \mu_{\max} \cdot X \cdot (A - X) \quad (30)$$



Μοντέλα (Πρότυπα) Σχετιζόμενα με Μικροβιακή Αύξηση 9/13

- Εξ όλων των ανωτέρω, συνεπάγεται ότι η τιμή dX/dt αυξάνει λόγω της αυξήσεως της τιμής του όρου X , αλλά μειώνεται λόγω της μειώσεως της τιμής του όρου $(A-X)$.
- Είναι προφανές ότι ο όρος dX/dt θα μηδενιστεί όταν η τιμή της συγκέντρωσης της βιομάζας πάρει την τιμή της μέγιστης χωρητικής ικανότητας του συστήματος A .



Μοντέλα (Πρότυπα) Σχετιζόμενα με Μικροβιακή Αύξηση 10/13

- Ο ρυθμός dX/dt παίρνει τη μέγιστη τιμή της όταν η πρώτη παράγωγος της σχέσης (30) μηδενιστεί. Διαφορίζουμε συνεπώς και οι σχέσεις έχουν ως ακολούθως:

$$dv = d \frac{dX}{dt} = d(\mu_{\max} \cdot X \cdot (A - X)) = \mu_{\max} \cdot d(X \cdot (A - X)) \quad (31)$$

με την προηγούμενη εξίσωση να αποδίδει ως ακολούθως:

$$dv = \mu_{\max} \cdot d(X \cdot A - X^2) \Rightarrow dv = \mu_{\max} \cdot A \cdot dX - 2 \cdot \mu_{\max} \cdot X \cdot dX \quad (32)$$



Μοντέλα (Πρότυπα) Σχετιζόμενα με Μικροβιακή Αύξηση 11/13

$$\frac{dv}{dX} = \mu_{\max} \cdot A - 2 \cdot \mu_{\max} \cdot X$$

το οποίο, όταν το διαφορικό μηδενιστεί, έχει ως απόρροια την τιμή της βιομάζας, ως ακολούθως:

$$X = \frac{A}{2} \quad (33)$$



Μοντέλα (Πρότυπα) Σχετιζόμενα με Μικροβιακή Αύξηση 12/13

Αντικαθιστώντες την τιμή X της (33) στην (30), τεκμαίρεται ό,τι

$$\left(\frac{dX}{dt} \right)_{\max} = \mu_{\max} \cdot A^2 \cdot \frac{1}{4} \quad (34)$$



Μοντέλα (Πρότυπα) Σχετιζόμενα με Μικροβιακή Αύξηση 13/13

Μαθηματική έκφραση

Παράμετροι

Verhulst (1838)
(τροποποιημένη)

$$\mu = \mu_{\max} \cdot \left(1 - \frac{x}{x_{\max}}\right)$$

μ_{\max} (μέγιστος ειδικός ρυθμός αύξησης),

x_{\max} (σταθερά που ισούται με τη μέγιστη συγκέντρωση της βιομάζας)

Teissier (1942)

$$\mu = \mu_{\max} \cdot (1 - e^{-S/K_s})$$

μ_{\max} , K_s (σταθερά κορεσμού)

Moser (1958)

$$\mu = \mu_{\max} \cdot \frac{S^\lambda}{K_s + S^\lambda}$$

μ_{\max} , K_s , λ (εμπειρική παράμετρος > 0)

Contois (1959)

$$\mu = \mu_{\max} \cdot \frac{S}{B \cdot x + S}$$

μ_{\max} , B (σταθερά αντίστοιχη της σταθεράς κορεσμού)

Staniskis & Levisauskas (1984)

$$\mu = K_1 \cdot S - K_2 \cdot x$$

K_1 , K_2 (εμπειρικές σταθερές)



Κινητική Παραγωγής Μεταβολικών Προϊόντων σε Κλειστή Καλλιέργεια 1/6

- Μεταβολικά προϊόντα δυνάμενα να παραχθούν κατά τρεις διαφορετικούς τρόπους.
 - Προϊόν συνδεδεμένο με τη μικροβιακή αύξηση (growth associated product).
 - Παραγωγή μεταβολικού προϊόντος λαμβάνοντος χώρα ταυτοχρόνως ως προς τη μικροβιακή αύξηση.

$$q_p = \alpha \cdot \mu \quad (34)$$



Κινητική Παραγωγής Μεταβολικών Προϊόντων σε Κλειστή Καλλιέργεια 2/6

- Χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιου τύπου ζύμωσης:
 - Παραγωγή γαλακτικού οξέος από γαλακτικά βακτήρια.
 - Παραγωγή αιθυλικής αλκοόλης από *Saccharomyces* spp. & *Zygomonas mobilis*.
 - Παραγωγή ακετόνης-βουτανόλης-αιθανόλης (ΑΒΕ) από βακτήρια του γένους *Clostridium* spp.
 - Παραγωγή ενζύμων από διαφόρους τύπους μικροοργανισμών.



Κινητική Παραγωγής Μεταβολικών Προϊόντων σε Κλειστή Καλλιέργεια 3/6

Προϊόν Μη-συνδεδεμένο με την Μικροβιακή Αύξηση (Non-growth associated product)

- Παραγωγή μεταβολικού προϊόντος λαμβάνοντας χώρα κατά τη στάσιμη φάση του αυξητικού κύκλου, της στάσιμης φάσης επερχόμενης (συνήθως) λόγω έλλειψης άλλου θρεπτικού συστατικού πλην του άνθρακα στο περιβάλλον αύξησης

$$q_p = \beta = ct \quad (35)$$



Κινητική Παραγωγής Μεταβολικών Προϊόντων σε Κλειστή Καλλιέργεια 4/6

Προϊόν Μη-συνδεδεμένο με την Μικροβιακή Αύξηση

- Παραγωγή αντιβιοτικών από βακτήρια.
- Παραγωγή αποθηκευτικού λίπους από (κυρίως) ελαιογόνους μύκητες και ζύμες (de novo βιοσύνθεση).
- Παραγωγή πολυσακχαριδίων από ζύμες.
- Παραγωγή ενζύμων από διάφορους τύπους μικροοργανισμών.
- Παραγωγή PHB από βακτήρια.
- Παραγωγή οργανικών οξέων του κύκλου Krebs από ζύμες & μύκητες.



Κινητική Παραγωγής Μεταβολικών Προϊόντων σε Κλειστή Καλλιέργεια 5/6

Προϊόν Μερικώς Συνδεδεμένο με τη Μικροβιακή Αύξηση (Partially-growth associated product).

- Παραγωγή μεταβολικού προϊόντος η οποία άρχεται σε κάποια στιγμή του αυξητικού κύκλου, όχι όμως στη στάσιμη φάση Ενδιάμεση μεταξύ των δυο προηγούμενων καταστάσεων.

$$q_p = \alpha \cdot \mu + \beta \quad (36)$$

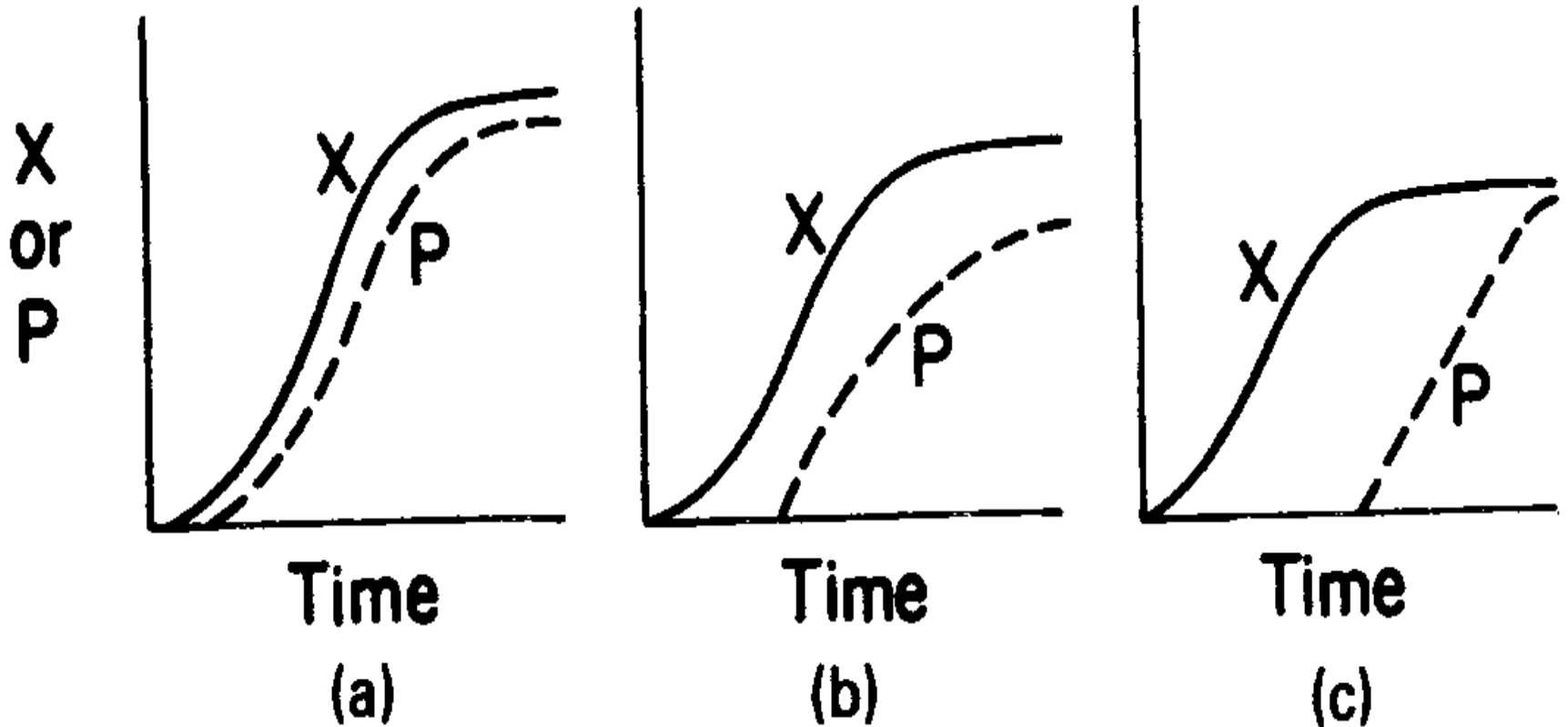
β συντελεστής ο οποίος δεικνύει το πόσο συγκλίνει ή αποκλίνει από τη μικροβιακή αύξηση η παραγωγή του μεταβολικού προϊόντος

- Παραγωγή ενζύμων από διάφορους τύπους μικροοργανισμών.
- Παραγωγή 1,3-προπανοδιόλης από *Clostridium* spp.



Κινητική Παραγωγής Μεταβολικών Προϊόντων σε Κλειστή Καλλιέργεια 6/6

Τυπική Κινητική Παραγωγής Βιομάζας και Προϊόντων σε Κλειστή Καλλιέργεια



Growth-associated

Partially-growth-associated

Non growth-associated



Ορισμός Παραγωγικότητας

- Παραγωγικότητα συστήματος σε g ανά λίτρο και ανά ώρα (g/l h):
 - Για τη βιομάζα (P_x)
 - Για το μεταβολικό προϊόν (P_p)
 - Ως ώρα (h) για την ασυνεχή ζύμωση μετρά:
- Χρόνος καθαρισμού, γεμίσματος, αποστείρωσης, ζύμωσης.



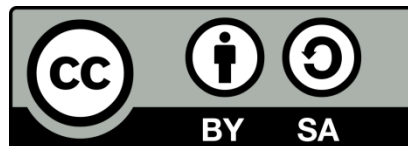
Βιβλιογραφία

- Αγγελής (2007) Μικροβιολογία και Μικροβιακή Τεχνολογία, 1η έκδοση, Α. Σταμούλης.
- Shuler, Kargi (2002) Bioprocess Engineering, Basic Concepts Second Edition, Prentice Hall (Editions)



Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδεια χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.





Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.





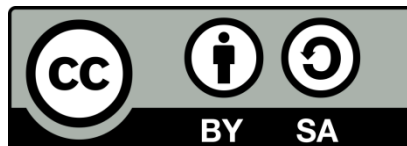
Σημείωμα Αναφοράς

- Copyright Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων, Σεραφείμ Παπανικολάου, «Αρχές Βιοτεχνολογίας Τροφίμων». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2014.
Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:
<http://mediasrv.aua.gr/eclass/>



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων, π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



Η άδεια αυτή ανήκει στις άδειες που ακολουθούν τις προδιαγραφές του Ορισμού Ανοικτής Γνώσης [2], είναι ανοικτό πολιτιστικό έργο [3] και για το λόγο αυτό αποτελεί ανοικτό περιεχόμενο [4].

[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

[2] <http://opendefinition.org/okd/ellinika/>

[3] <http://freedomdefined.org/Definition/EI>

[4] <http://opendefinition.org/buttons/>



Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
 - το Σημείωμα Αδειοδότησης
 - τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
 - το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)
- μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.