



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

# Φωτοσύνθεση (ΒΙΟΛ-440)

## 8<sup>η</sup> Ενότητα

Έλεγχος της ανθεκτικότητας σε  
αβιοτικές καταπονήσεις μέσω της  
φωτοσύνθεσης

**Κοτσαμπάσης Κυριάκος**

Καθηγητής

Τμήμα Βιολογίας

## Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Κρήτης» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη 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 αδειοδότησης

- Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση, Όχι Παράγωγο Έργο 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».



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

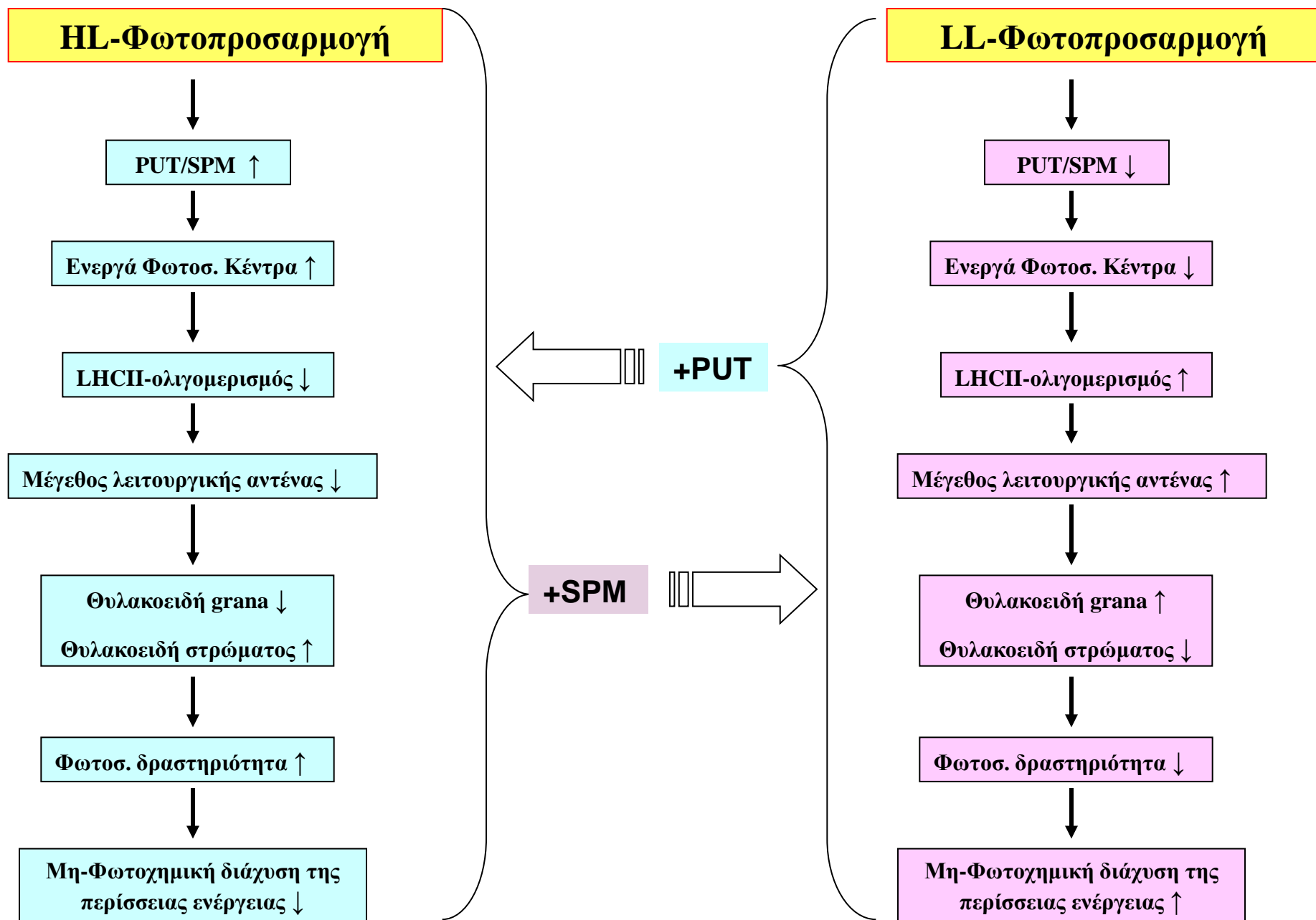
- Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:
  - που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
  - που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
  - που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφήμιση) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο
- Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

# ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΑΒΙΟΤΙΚΕΣ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΙΣ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΣΗΣ

Η σχέση Put/Spm των συνδεδεμένων στα θυλακοειδή πολυαμινών ρυθμίζει απόλυτα την διαδικασία της διαχείρισης της ενέργειας συμπαρασύροντας μία σειρά αλλαγών που αφορούν τη μοριακή δομή και λειτουργία του φωτοσυνθετικού μηχανισμού. Η μείωση αυτής της σχέσης (Put/Spm) προσομοιώνει τη μοριακή δομή και λειτουργία του φωτοσυνθετικού μηχανισμού με αντίστοιχη προσαρμοσμένη σε χαμηλό φωτισμό (αύξηση του μεγέθους και του ολιγομερισμού του LHCII, μείωση των ενεργών κέντρων αντίδρασης, της σχέσης Chl a/b, της μέγιστης φωτοσυνθετικής δραστηριότητας και αναπνοής, ...), ανεξαρτήτως του φωτονιακού περιβάλλοντος. Αντίθετα, η αύξηση της σχέσης Put/Spm οδηγεί σε ένα φωτοσυνθετικό μηχανισμό προσαρμοσμένο (δομικά και λειτουργικά) σε υψηλής έντασης φωτισμό. Για πρώτη φορά διαφαίνεται ένας κεντρικός διακόπτης που ρυθμίζει απόλυτα τη φωτοπροσαρμογή του φωτοσυνθετικού μηχανισμού (σε επίπεδο μοριακής δομής, λειτουργίας και βιοενεργητικής).

Το εν λόγω εύρημα γίνεται πολύ πιο σημαντικό, από τη στιγμή που κατανοήσαμε και αναδείξαμε τον κεντρικό ρόλο του LHCII στην αίσθηση περιβαλλοντικών ερεθισμάτων. Η δυνατότητα «αίσθησης» των περιβαλλοντικών ερεθισμάτων και καταπονήσεων (αυξομείωση της PAR-ακτινοβολίας, έκθεση σε αυξημένες συγκεντρώσεις ατμοσφαιρικού όζοντος, UV-B ακτινοβολίας, χαμηλής θερμοκρασίας, αυξημένης αλατότητας, κλπ) βασίζεται στην οξειδοαναγωγική κατάσταση του PSII, η οποία φυσικά, ελέγχεται από το λειτουργικό μέγεθος του LHCII κι έτσι, μέσω της πίεσης για τη διέγερση του PSII (excitation pressure), καθορίζεται η ένταση της υφιστάμενης καταπόνησης. Αφού αποδείξαμε ότι μπορούμε να ελέγξουμε το μέγεθος και την οργάνωση του LHCII, μέσω των πολυαμινών, δείξαμε ότι σε όλες τις ανωτέρω μορφές καταπονήσεων (stress) εμπλέκεται διαφοροποίηση του μεγέθους και της οργάνωσης του LHCII, που ελέγχεται από τη σχέση Put/Spm. Έτσι, μπορούμε να μετατρέψουμε ευαίσθητα σε καταπόνηση φυτά σε ανθεκτικά και αντίθετα, ανθεκτικά φυτά να τα μετατρέψουμε σε ευαίσθητα στην καταπόνηση, επεμβαίνοντας απλώς με πολυαμίνες.

➤ Ρύθμιση της Φωτοπροσαρμογής του φωτοσυνθετικού μηχανισμού μέσω πολυαμινών



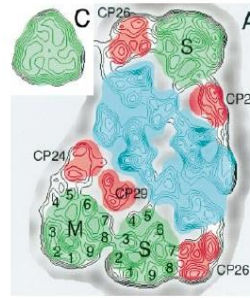
# ➤ Φωτοσυνθετική διαχείριση ενέργειας και έλεγχος της ανθεκτικότητας στην καταπόνηση



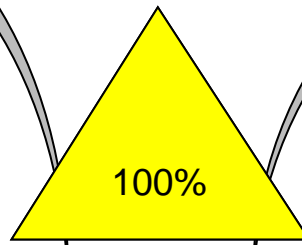
HL-Φωτοπροσαρμογή  
Ανοχή στην Καταπόνηση



LL-Φωτοπροσαρμογή  
Καταπόνηση

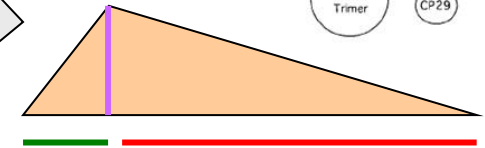
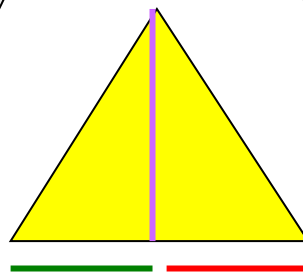
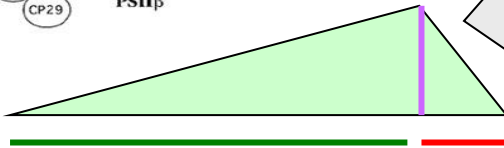
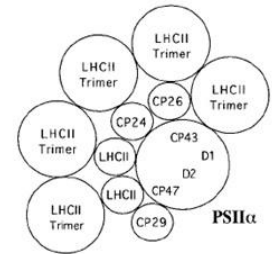
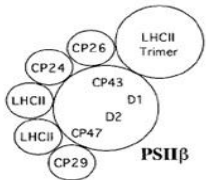
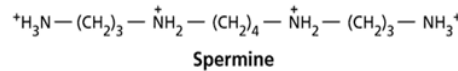
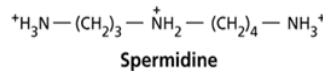
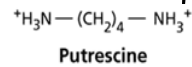


**Τρίπτυχο ενέργειας  
φθορισμός**



**φωτοχημεία**

**θερμότητα**



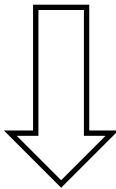
**ανθεκτικότητα**

**καταπόνηση**



**ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ**  
UVB-ακτινοβολία, ατμοσφαιρικό όζον,  
υψηλή αλατότητα, χαμηλή θερμοκρασία, ...

**ΠΟΛΥΑΜΙΝΕΣ (Put/Spm) ↓**

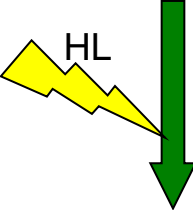


LL-προσαρμογή

**ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ**



LHCII ↑ - RC/CS ↓ - PSII ↓ - NPQ ↑ ...



+ PUT

+ SPM

**ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ**

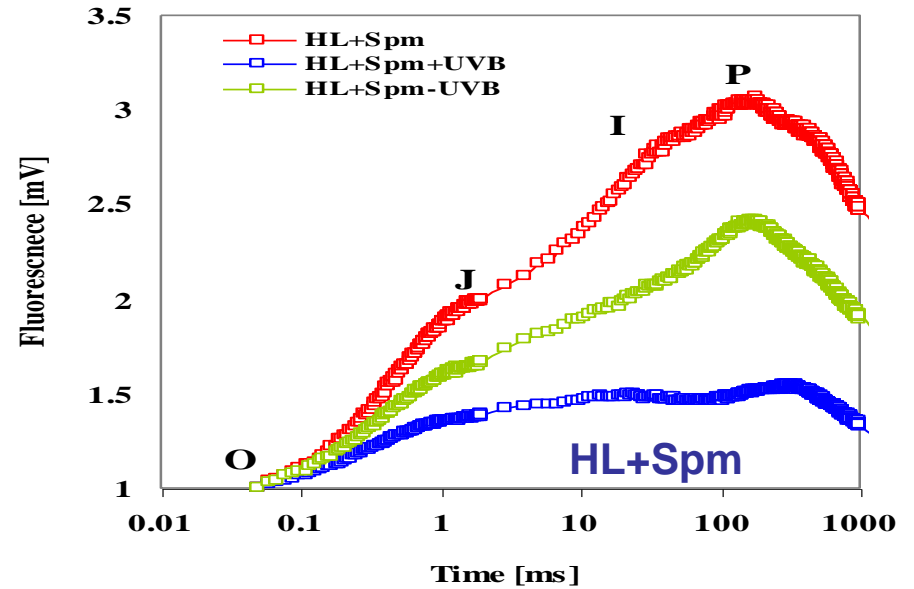
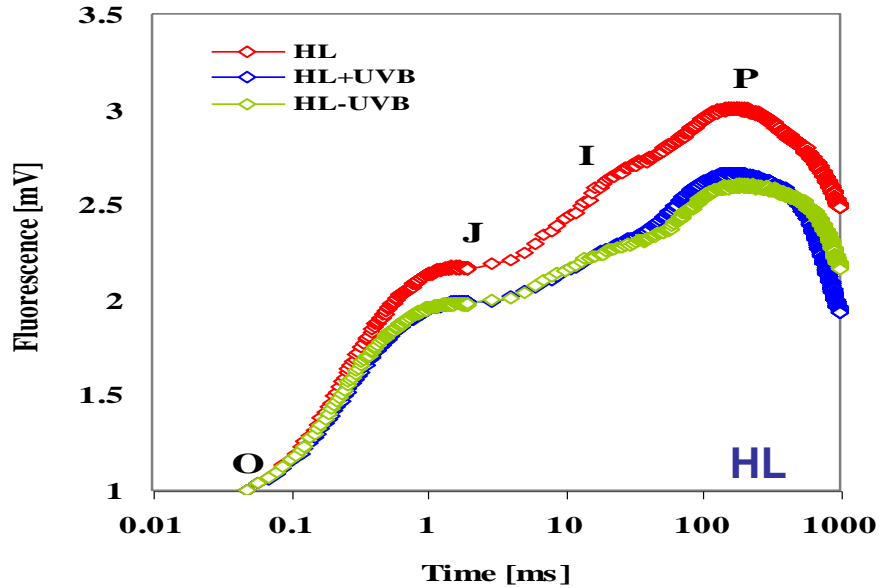
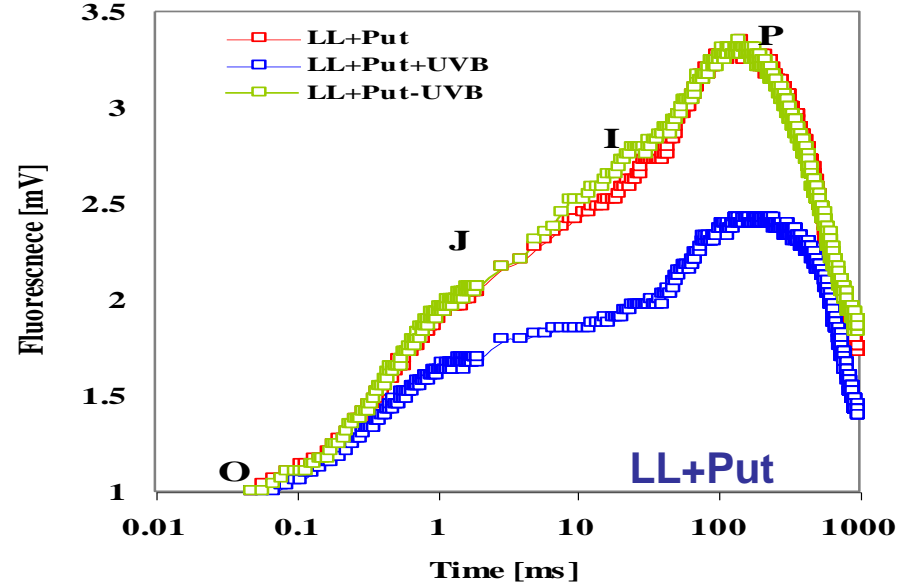
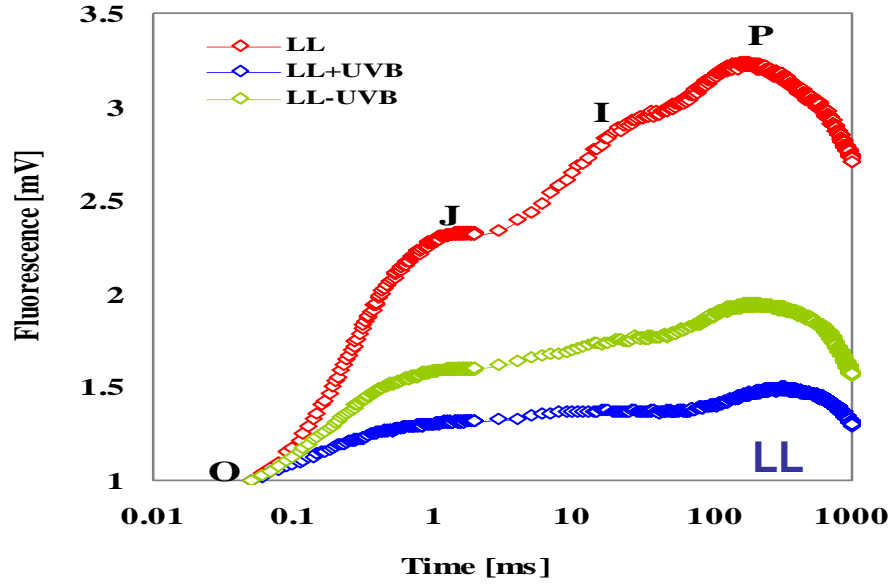


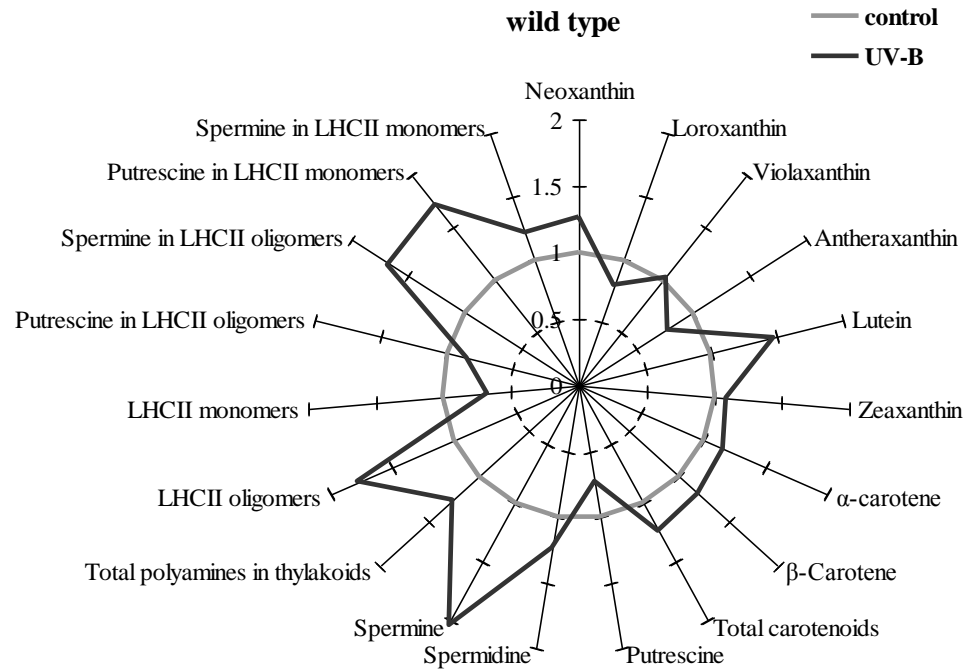
LHCII ↓ - RC/CS ↑ - PSII ↑ - NPQ ↓ ...

HL-προσαρμογή

Εφόσον η φωτοπροσαρμογή του φωτοσυνθετικού μηχανισμού συμπαρασύρει και αλλαγές στη σχέση Put/Spm, τότε εξυπακούεται ότι μπορούμε να επέμβουμε στην ανθεκτικότητα των φυτών όχι μόνο με εξωγενή προσθήκη πολυαμινών, αλλά απλώς και μόνο με την φωτοπροσαρμογή τους σε διαφορετικό φωτονιακό περιβάλλον. Η φωτοπροσαρμογή σε HL αυξάνει τη σχέση Put/Spm και ως εκ τούτου και την ανθεκτικότητα στην καταπόνηση.

➤ Διαφοροποίηση της δομής και λειτουργίας του φωτοσυνθετικού μηχανισμού στην UV-B ακτινοβολία σε συνθήκες χαμηλής (LL) και υψηλής έντασης (HL) φωτισμού



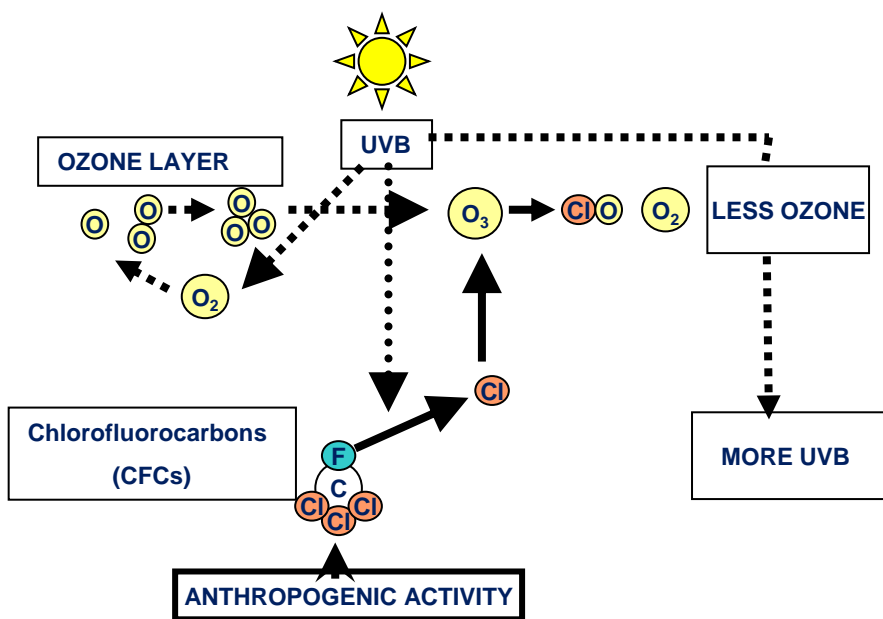


Η UV-B ακτινοβολία (όπως και κάθε μορφή καταπόνησης) προκαλεί μείωση στο επίπεδο της συνδεδεμένης στα θυλακοειδή πουτρεσίνης (Put) και αύξηση της σπερμίνης (Sprm), έτσι ώστε η μείωση της σχέσης Put/Sprn να οδηγεί σε αύξηση του λειτουργικού LHCII ανά ενεργό κέντρο αντίδρασης και, ως εκ τούτου στην ενίσχυση της UV-B καταπόνησης. Προσθήκη εξωγενούς Put μειώνει δραστικά την ευαισθησία των LL-καλλιιεργειών στο UV-B λόγω της ανασταλτικής επίδρασης της Put στην αύξηση του LHCII μεγέθους, ενώ η προσθήκη Sprm ενίσχυσε την UV-B ευαισθησία σε HL-καλλιιεργειες λόγω της επιπλέον αύξησης του LHCII μεγέθους. Η αύξηση της σχέσης Put/Sprn δρα απολύτως ανταγωνιστικά (αύξηση ανθεκτικότητας), ενώ η αντίστοιχη μείωση συνεργιστικά (αύξηση ευαισθησίας) με την UV-B καταπόνηση.



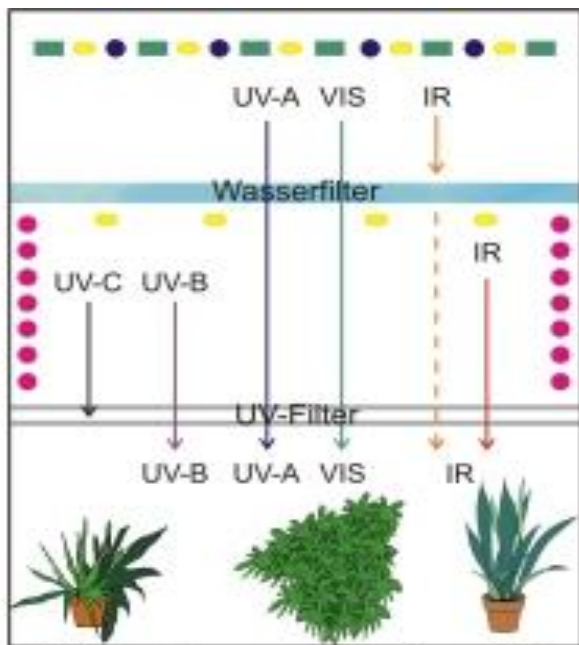
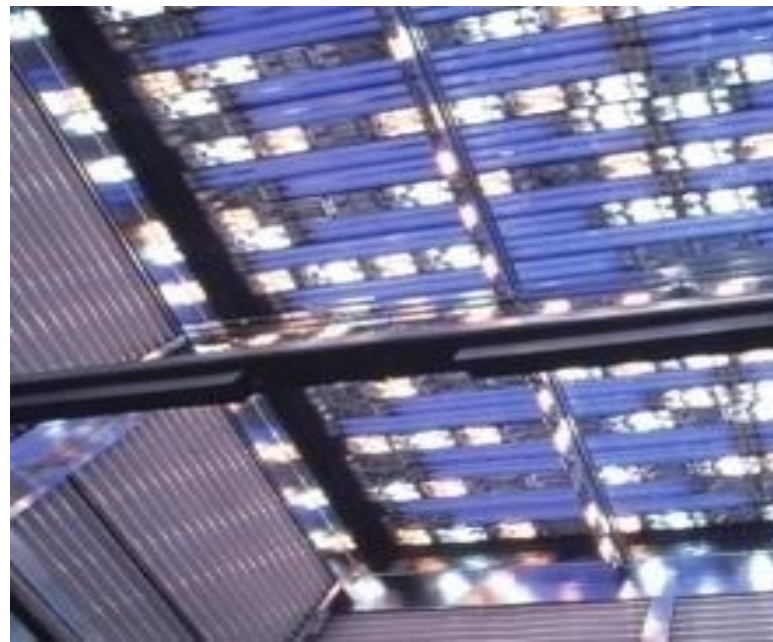
## ➤ Ο ρόλος των πολυαμινών στην ανθεκτικότητα των φυτών στη UVB-ακτινοβολία

Για να περιγραφούν οι πιθανές προστατευτικές λειτουργίες των πολυαμινών στην UV-B ακτινοβολία, χρησιμοποιήθηκαν δύο ποικιλίες καπνού, η Bel B (ανθεκτική σε UV-B και όζον) και η Bel W3 (ευαίσθητη σε UV-B και όζον), σε σειρές πειραμάτων με φυσικές ημερήσιες διακυμάνσεις της μιμούμενης UV-B (και PAR) ακτινοβολίας που θα προκύψει μετά από 25 χρόνια στην κεντρική Ευρώπη. Όλα τα πειράματα έγιναν σε ειδικούς θαλάμους περιβαλλοντικής προσομοίωσης της ηλιακής ακτινοβολίας στο Ινστιτούτο GSF του Μονάχου. Οι μετρήσεις πολυαμινών σε ολόκληρα φύλλα, σε απομονωμένους χλωροπλάστες και μεμβράνες θυλακοειδών συσχετίστηκαν με σειρά φυσικοχημικών, βιοχημικών και φυσιολογικών διαδικασιών. Η μελέτη αποκάλυψε ότι σε συνθήκες αυξημένης UV-B ακτινοβολίας, μια αύξηση των πολυαμινών, και ιδιαίτερα της Put σε επίπεδο θυλακοειδών αποτελεί έναν από τους πρωτογενείς προστατευτικούς μηχανισμούς της φωτοσυνθετικής διαδικασίας στα Bel B φυτά. Η ευαισθησία των Bel W3 φυτών αποδείχθηκε ότι οφείλεται στην ανικανότητά τους να αυξήσουν το επίπεδο της Put στα θυλακοειδή. Μετά από σημαντική χρονική παράταση της έκθεσης των φυτών σε UV-B ακτινοβολία, αποκαθίστανται βαθμιαία οι ενδογενείς ισορροπίες λόγω της επαγωγής του δευτερογενούς μεταβολισμού (βιοσύνθεση καροτενοειδών και φλαβονοειδών), τα φυτά προσαρμόζονται στις διαφοροποιημένες πλέον περιβαλλοντικές συνθήκες, και το επίπεδο των πολυαμινών μειώνεται, προσεγγίζοντας τα πριν την καταπόνηση επίπεδα. Κατά συνέπεια, μπορούμε να διακρίνουμε με μεγάλη ευκρίνεια την περίοδο της προκληθείσας από το UV-B καταπόνησης από την αντίστοιχη περίοδο προσαρμογής στην UV-B.

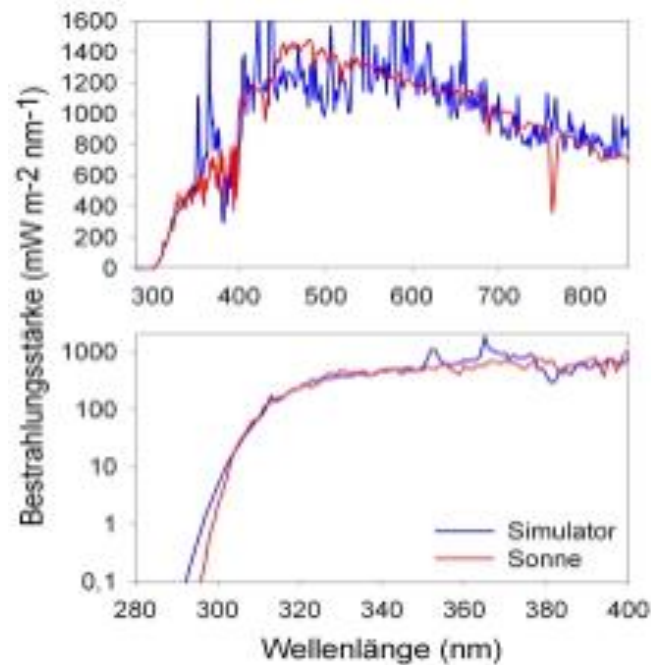




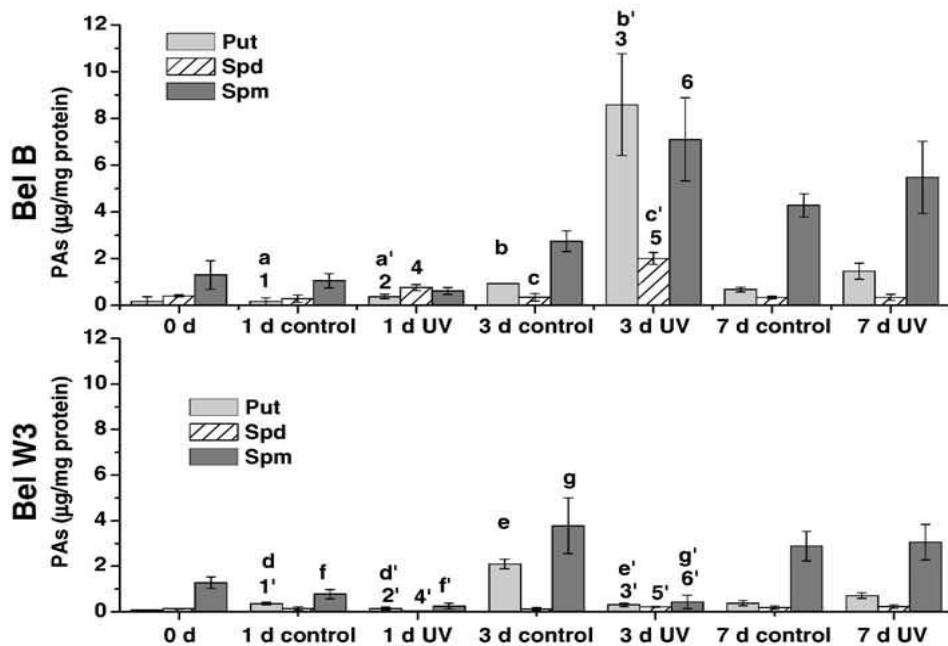
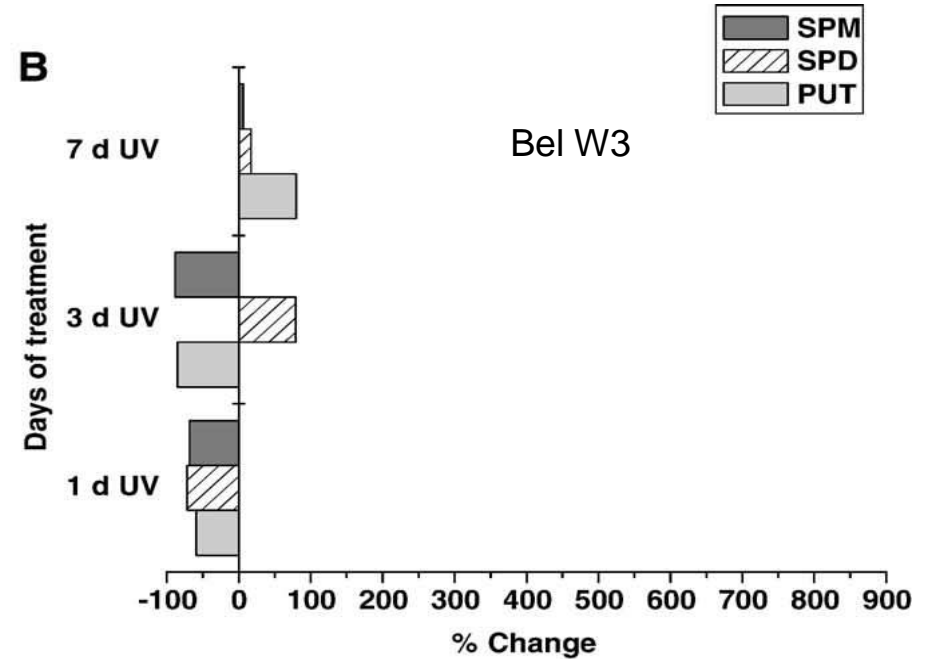
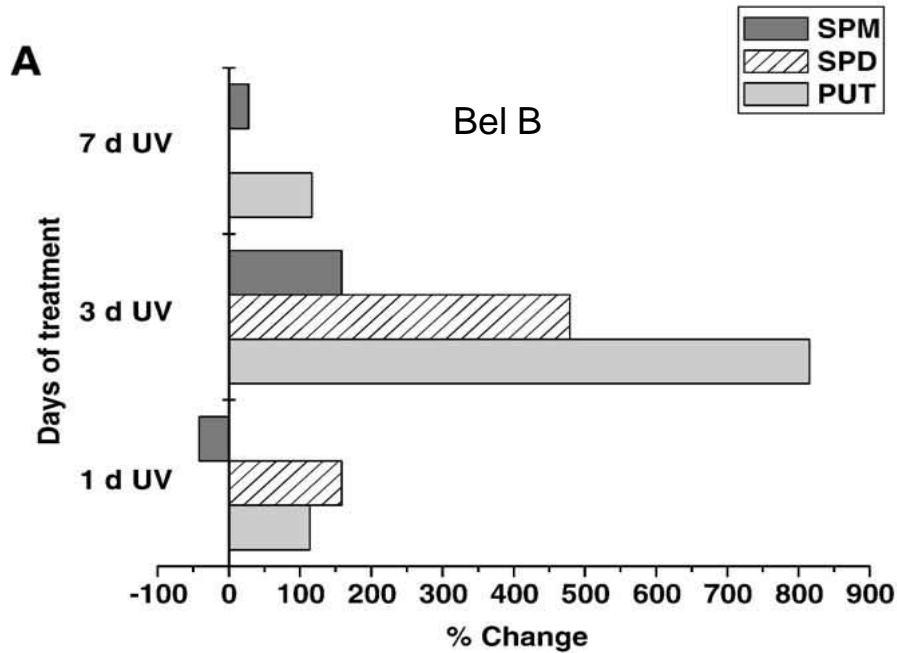
# Θάλαμοι περιβαλλοντικής προσομοίωσης



- Metallhalogenidlampen
- Blaue Leuchtstoffröhren
- Halogenlampen
- UV-B-Leuchtstoffröhren



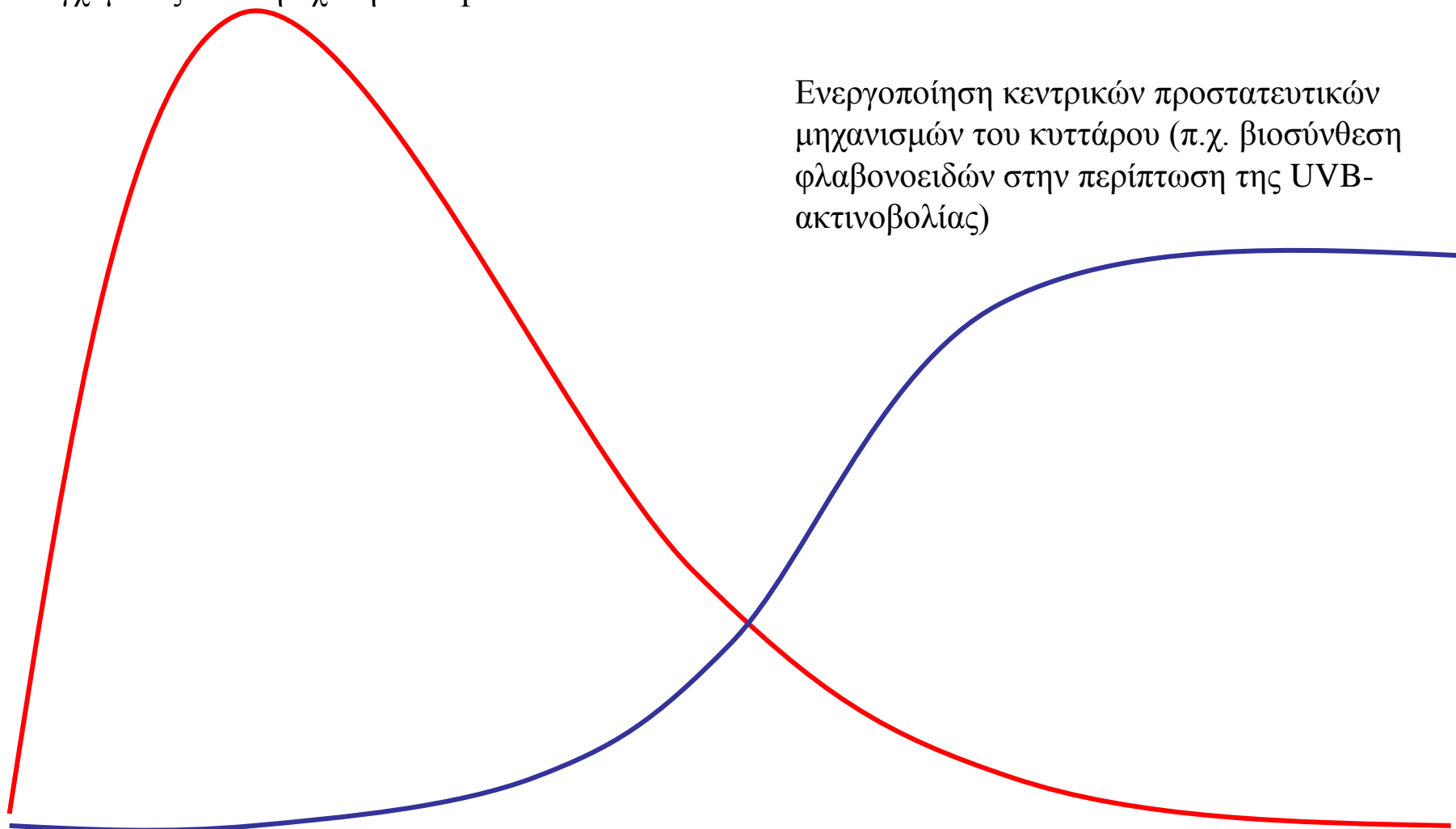
# Διαφοροποιήσεις πολυαμινών σε επίπεδο θυλακοειδών



# Διάκριση μεταξύ καταπόνησης και προσαρμογής σε καταπόνηση

Αλλαγές στο φωτοσυνθετικό μηχανισμό  
ελεγχόμενες από τη σχέση Put/Spm

Ενεργοποίηση κεντρικών προστατευτικών  
μηχανισμών του κυττάρου (π.χ. βιοσύνθεση  
φλαβονοειδών στην περίπτωση της UVB-  
ακτινοβολίας)



ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ (min - h)

ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ (h - d)