



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ



ΤΟΜΕΑΣ ΒΟΤΑΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ

Κυριάκος ΓΕΩΡΓΙΟΥ
Κώστας ΘΑΝΟΣ
Σόνια ΜΕΛΕΤΙΟΥ
Σοφία ΡΙΖΟΠΟΥΛΟΥ



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ
ΑΣΚΗΣΕΙΣ
ΟΙΚΟΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑΣ
ΦΥΤΩΝ

(α' έκδοση)

Επιμέλεια Έκδοσης: Κώστας Α. Θάνος

ΑΘΗΝΑ 2003

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΑΣΚΗΣΕΙΣ

- | | |
|---|---------|
| 1. Όργανα παρακολούθησης περιβαλλοντικών συνθηκών
(θερμοκρασία, υγρασία, φως) (Κ. Γεωργίου) | σελ. 1 |
| 2. Επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων.
Ομβροθερμικό διάγραμμα - Διάγραμμα Emberger-Sauvage (Κ. Γεωργίου) | σελ. 8 |
| 3-4. Αναπαραγωγικό δυναμικό
και φύτευση σπερμάτων πυροακόλουθων ειδών (Κ. Θάνος) | σελ. 12 |
| 5. Επίδραση του <i>pH</i> του θρεπτικού διαλύματος στην ανάπτυξη
αρτιβλάστων καλαμποκιού (<i>Zea mays</i>) σε υδροπονικές καλλιέργειες (Σ. Μελετίου) | σελ. 20 |
| 6. Επίδραση της υδατικής καταπόνησης στην ανάπτυξη αρτιβλάστων
(Σ. Ριζοπούλου) | σελ. 22 |

ΘΕΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΙΩΝ 2003 σελ. 25

ΤΟ ΔΙΕΘΝΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΟΝΑΔΩΝ (SI) σελ. 27

ΑΣΚΗΣΗ 1

ΟΡΓΑΝΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ (ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ, ΥΓΡΑΣΙΑ, ΦΩΣ)

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όργανα Μέτρησης Θερμοκρασίας – Υγρασίας

1. Θερμόμετρο μεγίστου – ελαχίστου (υδραργύρου)

Προσδιορίζεται η θερμοκρασία σε κάθε χρονική στιγμή και επίσης η μέγιστη και η ελάχιστη θερμοκρασία κατά τη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου π.χ. μιας ημέρας.

2. Ψηφιακό θερμόμετρο (i)

Προσδιορίζεται η θερμοκρασία σε κάθε χρονική στιγμή με αισθητήριο για τη μέτρηση της θερμοκρασίας χώρου.

3. Ψηφιακό θερμόμετρο (ii)

Προσδιορίζεται η θερμοκρασία σε κάθε χρονική στιγμή με δύο αισθητήρια, το ένα κατάλληλο για τη μέτρηση της θερμοκρασίας σε μια επιφάνεια και το άλλο για τη μέτρηση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό ενός οργάνου (π.χ. ενός καρπού) ή σε διάφορα βάθη στο έδαφος.

4. Θερμογράφος

Επιτυγχάνεται συνεχής καταγραφή της θερμοκρασίας για ένα χρονικό διάστημα, στην προκειμένη περίπτωση για 24 ώρες, και η κίνηση του κυκλικού δίσκου επιτυγχάνεται με ηλεκτρικό ρεύμα.

5. Μετρητής "ημερήσιας θερμοκρασίας".

Αποτελείται από το αισθητήριο (temperature sensor probe), τον θερμοκρασιακό μεταγωγέα (temperature transducer) και τον ολοκληρωτή (millivolt integrator). Μετρά τον "θερμικό χρόνο" (thermal time) ή τους "σωρευτικούς ημερήσιους βαθμούς" (accumulated day degrees). Η ολοκλήρωση της θερμοκρασίας γίνεται για θερμοκρασίες που υπερβαίνουν μία προκαθορισμένη τιμή στη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου. Στο

όργανο που θα χρησιμοποιηθεί η θερμοκρασία αυτή έχει ρυθμιστεί στους $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Η ένδειξη του οργάνου διαιρείται διά 1000 και το αποτέλεσμα αποτελεί το θερμικό χρόνο.

6. Ψυχρόμετρο

Προσδιορίζεται η σχετική υγρασία του αέρα σε μία χρονική στιγμή με βάση τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ "ξηρού" και "υγρού" θερμομέτρου και τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος από ειδικό υγρομετρικό πίνακα.

7. Απλό βροχόμετρο

Χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του ύψους της βροχής. Το πηλίκο του όγκου του νερού που συλλέγεται στο βροχόμετρο (σε ml) δια της επιφάνειας συλλογής (σε cm^2) πολλαπλασιαζόμενο X10 αποτελεί το ύψος της βροχής σε mm.

8. Ψηφιακό θερμόμετρο-υγρόμετρο

Με ειδικό αισθητήριο για τη μέτρηση της θερμοκρασίας και υγρασίας του εδάφους σε μία χρονική στιγμή.

9. Θερμο-υγρογράφος

Επιτυγχάνεται η συνεχής καταγραφή της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας στη διάρκεια συνήθως μιας εβδομάδας. Η θερμοκρασία και η υγρασία καταγράφονται σε ταινία γύρω από τύμπανο που περιστρέφεται με ωρολογιακό μηχανισμό.

Όργανα Μέτρησης της Φωτεινής Ακτινοβολίας

1. Φωτόμετρο (Lux-meter)

Μέτρηση της έντασης του φωτισμού (illumination) σε φωτομετρικές μονάδες Lux.

2. Ραδιόμετρο (radiometer)

Μέτρηση της συνολικής έντασης της φωτεινής ακτινοβολίας από μία φωτεινή πηγή. Η ένδειξη του οργάνου είναι σε $\text{erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

3. Φασματοραδιόμετρο (spectroradiometer) ISCO.

Μέτρηση την έντασης της φωτεινής ακτινοβολίας από μία φωτεινή πηγή σε κάθε μήκος κύματος. Το όργανο διαθέτει διόρθωση συνημιτόνου. Η ένδειξη του οργάνου είναι σε $\mu\text{W cm}^{-2} \text{ nm}^{-1}$ που ισοδυναμούν με $10 \text{ mW m}^{-2} \text{ nm}^{-1}$. Διαθέτει κινητό αισθητήριο (probe) κατάλληλο για μετρήσεις φωτός που πέφτει σε μία επιφάνεια κυρίως από μία διεύθυνση και ευαίσθητη επιφάνεια (head) κατάλληλη για διάχυτο φως. Οι τιμές διορθώνονται ανάλογα με το αισθητήριο που χρησιμοποιείται με ένα συντελεστή που προσδιορίζεται με τη βαθμονόμηση του οργάνου (γίνεται με ειδική λάμπα).

4. Φασματοραδιόμετρο (spectroradiometer) LiCOR

Μέτρηση την έντασης της φωτεινής ακτινοβολίας από μία φωτεινή πηγή σε κάθε μήκος κύματος. Το όργανο διαθέτει διόρθωση συνημιτόνου. Το όργανο συνδέεται με υπολογιστή και δίνει τόσο την ένταση ανά μήκος κύματος ($\text{W m}^{-2} \text{ nm}^{-1}$ και σε mol m^{-2}

nm^{-1} ανά 1 ή ανά 5 nm) όσο και τη συνολική ένταση (W m^{-2} και σε mol m^{-2}). Διαθέτει κινητό αισθητήριο (probe) κατάλληλο για μετρήσεις φωτός που πέφτει σε μία επιφάνεια κυρίως από μία διεύθυνση και ευαίσθητη επιφάνεια (head) κατάλληλη για διάχυτο φως. Οι τιμές διορθώνονται αυτόματα ανάλογα με το αισθητήριο που χρησιμοποιείται. Η βαθμονόμηση γίνεται αυτόματα με ιδιαίτερο όργανο.

5. Μετρητής ζ

Μέτρηση του λόγου της έντασης της φωτεινής ακτινοβολίας στα 655-665 nm προς την ένταση της φωτεινής ακτινοβολίας στα 725-735 nm (ανοικτό κόκκινο προς σκοτεινό κόκκινο, R/FR).

6. Μετρητής ενέργειας ηλιακής ακτινοβολίας (energy sensor)

Μέτρηση της συνολικής ροής της ηλιακής ακτινοβολίας σε ένα χρονικό διάστημα. Η ανάγνωση του οργάνου είναι σε $\text{mV}/10$. Το όργανο έχει ρυθμιστεί έτσι ώστε τα 10.8 mV να αντιστοιχούν σε 1000 W m^{-2} προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας (το όργανο διαθέτει διόρθωση συνημιτόνου). Η φασματική ευαισθησία του οργάνου φαίνεται στην Εικ. 1.

7. Μετρητής φωτοσυνθετικά ενεργής ακτινοβολίας (quantum sensor for PAR)

Μέτρηση της συνολικής ροής της φωτοσυνθετικά ενεργής ηλιακής ακτινοβολίας (400-700 nm) σε ένα χρονικό διάστημα. Η ανταπόκριση του οργάνου σε σχέση με τον ιδανικό PAR-δέκτη φαίνεται στην Εικ. 2. Η ανάγνωση του οργάνου είναι σε mV. Τα 10.0 mV αντιστοιχούν σε $1.0 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας (το όργανο διαθέτει διόρθωση συνημιτόνου).

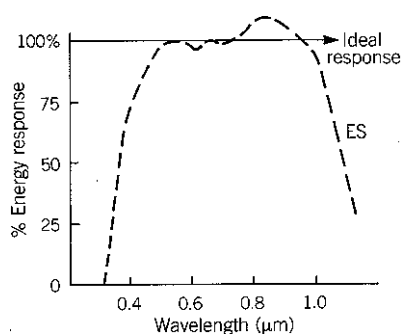


Fig. 7 Spectral response of ES.

Εικόνα 1

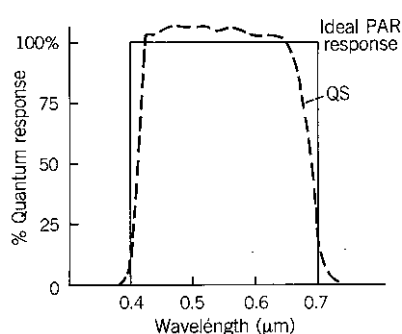


Fig. 6 Spectral response of QS.

Εικόνα 2

ΕΡΓΑΣΙΑ

Α) ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

1. Με τη χρήση του θερμο-υγρογράφου προσδιορίστηκαν η απολύτως ελάχιστη και απολύτως μέγιστη θερμοκρασία στο πεδίο κατά τη διάρκεια 5 μηνών (10 Νοεμβρίου 1993 – 9 Απριλίου 1994) (Πίνακας 2).

- Να βρεθεί και να παρασταθεί γραφικά η μέση ελάχιστη μηνιαία και μέση μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία (μέση ελάχιστη: ο μέσος όρος των ημερήσιων ελάχιστων, μέση μέγιστη: ο μέσος όρος των ημερήσιων μέγιστων) στο πεδίο.
- Να γίνει σύγκριση των τιμών αυτών με τις αντίστοιχες μέσες μηνιαίες τιμές του μετεωρολογικού σταθμού Τατοΐου την ίδια περίοδο (Πίνακας 1).

Πίνακας 1

Μετρήσεις θερμοκρασίας στο Μετεωρολογικό Σταθμό Τατοΐου

	Μέση Μηνιαία	Μέση Μέγιστη Μηνιαία	Μέση Ελάχιστη Μηνιαία
Νοέμβριος	10.9	13.9	8.4
Δεκέμβριος	10	14.6	6.4
Ιανουάριος	8.7	13	4.9
Φεβρουάριος	7.7	11.7	4.4
Μάρτιος	10.5	15.8	5.9
Απρίλιος	14.4	20.6	9

Πίνακας 2: Μετρήσεις θερμοκρασίας στο πεδίο

Νοε	10		
	11		
	12	22	
	13	16	10
	14	25	10
	15	21	9
	16	23	10
	17	21	12
	18		
	19	14	8
	20	16	14
	21	15	10
	22	15	12
	23	11	10
	24	14	7
	25	8	5
	26	8	7
	27	10	6
	28	17	6
	29	12	7
	30	15	6
Δεκ	1		9
	2		
	3	16	10
	4	23	10
	5	19	7
	6	16	
	7	16	9
	8	21	6
	9	22	10
	10	26	12
	11	22	11
	12	19	13
	13		
	14	18	
	15	21	6
	16	17	12
	17	23	12
	18	26	10
	19	26	10
	20	24	10
	21	23	12
	22	25	10
	23	21	12
	24	15	7
	25	16	9
	26		7
	27		
	28		
	29	21	12
	30	19	10
	31	12	8
Ιαν	1	19	7
	2	21	8
	3	17	5
	4	21	4
	5	16	5
	6		
	7	21	12
	8	20	12
	9	17	12
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		12
	14		
	10	18	11
	11	20	10
	12	15	12
	13		

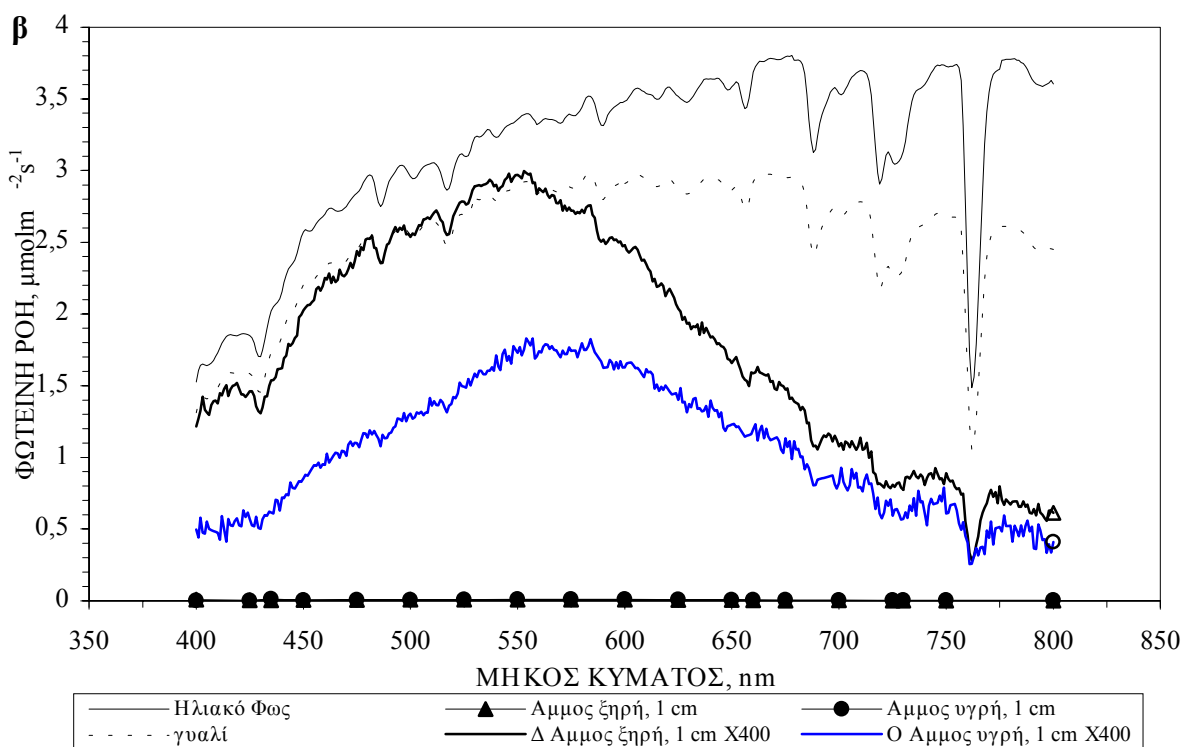
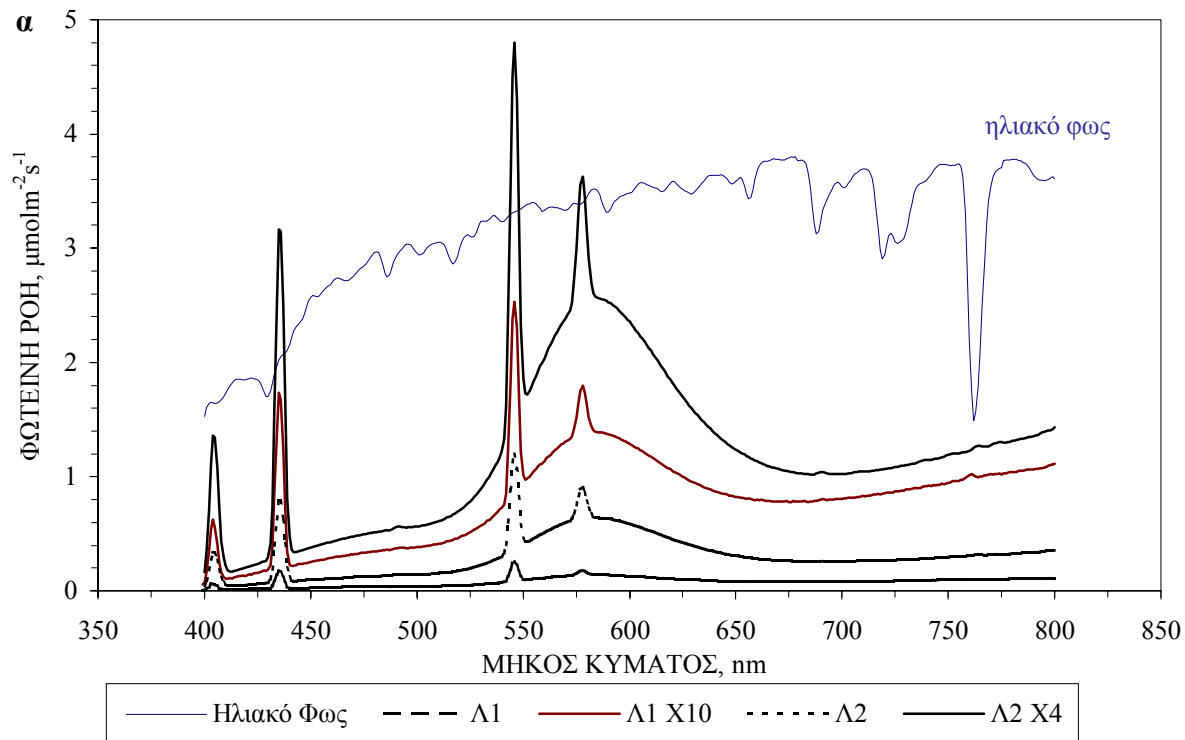
Β) ΦΩΣ

1. Δίνονται μετρήσεις του ηλιακού φωτός απευθείας και κάτω από 2 είδη φύλλων με το φασματοραδιόμετρο ISCO με την ευαίσθητη επιφάνεια. Να υπολογιστεί η φασματική ένταση της φωτεινής ακτινοβολίας.

λ (nm)	Ηλιακό φως	Φυτό 1	Φυτό 2	Συντελεστής διόρθωσης Head
400	16.5	0.11	0.12	0.5975
425	30.0	0.065	0.095	0.3363
435	33.0	0.06	0.09	0.32
450	43.0	0.07	0.115	0.2962
475	44.0	0.09	0.145	0.2896
500	43.0	0.255	0.33	0.2826
525	41.0	2.1	1.8	0.2804
550	38.5	3.2	2.95	0.3069
575	42.5	2.55	2.25	0.2676
600	44.0	1.7	1.5	0.2627
625	42.5	1.1	0.95	0.2305
650	41.5	0.515	0.485	0.2245
660	40.5	0.27	0.295	0.2201
675	38.5	0.18	0.21	0.2376
700	31.5	3	2.6	0.2587
725	24.5	8.05	7.55	0.296
730	24.0	9	8.6	0.2847
750	21.5	9.6	9.5	0.3389
750	5.0	2.55	2.45	1.3285
800	5.5	2.9	2.8	1.1706

2. Δίνονται μετρήσεις (σε ηλεκτρονική μορφή) διάφορων φωτεινών πηγών με το φασματοραδιόμετρο LiCOR στο διάστημα 350-800 nm.

- Να κατασκευαστούν οι καμπύλες της φασματικής κατανομής του φωτός και να βρεθεί η συνολική ένταση της φωτεινής ακτινοβολίας στο διάστημα 350-800 nm.
- Να χαρακτηριστούν οι πηγές (χρώμα, ζ). Πρόκειται για τεχνητές πηγές με διάφορους συνδυασμούς λευκών λαμπτήρων και με την παρεμβολή φίλτρων και για μία μέτρηση του ηλιακού φωτός.
- Να προτείνετε ποια τεχνητή πηγή αντιπροσωπεύει καλύτερα το ηλιακό φως για πειράματα στην οικοφυσιολογία φυτών και γιατί.



Εικόνα 3. α. Φασματική κατανομή του άμεσου ηλιακού φωτός, του λευκού φωτός των φωτεινών πηγών Λ_1 και Λ_2 (διάστικτες γραμμές) και του λευκού φωτός των φωτεινών πηγών Λ_1 και Λ_2 με 10πλάσια και 4πλάσια φωτεινή ροή, αντίστοιχα (παχιές συνεχείς γραμμές). **β.** Φασματική κατανομή του άμεσου ηλιακού φωτός (-----), του ηλιακού φωτός μέσα από γυάλινο δοχείο (---), του φωτός που διέρχεται από 1 cm ξηρής (?) και υγρής (●) άμμου και φωτός που διέρχεται από 1 cm ξηρής (Δ) και υγρής (?) άμμου με 400πλάσια φωτεινή ροή (παχιές γραμμές).

ΑΣΚΗΣΗ 2

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΟΜΒΡΟΘΕΡΜΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ EMBERGER-SAUVAGE

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κλίμα είναι η μέση κατάσταση της ατμόσφαιρας σε μια μεγάλη περιοχή για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα (τουλάχιστο 30 χρόνια). Η μέση αυτή κατάσταση καθορίζεται από τις μέσες τιμές και τις διακυμάνσεις των τιμών των διαφόρων μετεωρολογικών στοιχείων. Ως **μετεωρολογικά στοιχεία** χαρακτηρίζονται τόσο οι ιδιότητες της ατμόσφαιρας (θερμοκρασία, υγρασία, πίεση), όσο και τα μετεωρολογικά φαινόμενα (βροχόπτωση, άνεμος, ηλιοφάνεια, νέφωση, ομίχλη).

Η επίδραση του κλίματος στη διαμόρφωση της βλάστησης σε ένα οικοσύστημα είναι καθοριστική: τις περισσότερες φορές η βλάστηση μίας περιοχής αποτελεί έκφραση του κλίματός της. Χαρακτηριστική είναι η επίδραση του κλίματος στη διαμόρφωση της βλάστησης στις περιοχές όπου επικρατεί **μεσογειακού τύπου κλίμα** (ΜΤΚ). Το ΜΤΚ απαντά γύρω από τη λεκάνη της Μεσογείου και τις δυτικές ακτές των ηπείρων (Καλιφόρνια, Χιλή, ΝΔ Αφρική, ΝΔ Αυστραλία). Τα οικοσυστήματα που βρίσκονται στις περιοχές αυτές παρουσιάζουν παρόμοια βλάστηση με σκληρόφυλλους θάμνους (π.χ. μακί), εποχιακά διμορφικούς θάμνους (π.χ. φρύγανα), δάση και σκληρόφυλλους δενδρόνες.

Τα κριτήρια για τον χαρακτηρισμό ενός κλίματος ως μεσογειακού τύπου (κατά Aschmann) είναι: α) ανώτερο όριο μέσου συνολικού ετήσιου ύψους βροχής 975 mm, β) περιοδικότητα βροχοπτώσεων, ώστε τουλάχιστον 65% του ετήσιου ύψους να παρατηρείται στο εξάμηνο Νοεμβρίου - Απριλίου και γ) διάρκεια εμφάνισης παγετού μικρότερη από 3% για όλο το χρόνο. Τα βασικά χαρακτηριστικά ενός τέτοιου κλίματος

είναι οι χειμερινές βροχοπτώσεις, η θερινή ξηρασία, η σχετικά μεγάλη διακύμανση του ετήσιου ύψους των βροχοπτώσεων, το ήπιο έως θερμό καλοκαίρι (με έντονη ηλιακή ακτινοβολία) και ο ψυχρός χειμώνας.

Για την περιγραφή των κλιματικών παραγόντων της βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας και για τη διάκριση των διαφόρων βλαστητικών περιοχών της γης με βάση τους παράγοντες αυτούς, χρησιμοποιείται το **ομβροθερμικό διάγραμμα (Εικ. 1)**. Ένα ομβροθερμικό διάγραμμα έχει τα εξής χαρακτηριστικά: στην τετμημένη του βρίσκονται οι μήνες του έτους, στην μία τεταγμένη οι μηνιαίες βροχοπτώσεις R σε mm και στην άλλη οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες T σε °C. Η κλίμακα του άξονα των βροχοπτώσεων είναι διπλάσια από αυτήν των θερμοκρασιών (R=2T) (Εικ. 1). Με την ένωση των σημείων των μηνιαίων βροχοπτώσεων σχηματίζεται η καμπύλη βροχοπτώσεων και με την ένωση των σημείων των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών η καμπύλη των θερμοκρασιών. Τα δύο σημεία τομής των καμπυλών δείχνουν τη χρονική στιγμή όπου R=2T. Το διάστημα όπου R < 2T ονομάζεται ξηροθερμική περίοδος και σύμφωνα με τις θεωρίες του Gaussen τα φυτά υποφέρουν κατά την περίοδο αυτή.

Βιοκλίμα μιας περιοχής χαρακτηρίζεται η βιολογική έκφραση του περιβάλλοντος και κυρίως του κλίματός της μέσω της φυσικής της βλάστησης. Η διερεύνηση του βιοκλίματος βασίζεται σε μια ιδιαίτερη αντιμετώπιση του κλίματος και ενδιαφέρει περισσότερο τους βιολόγους και γενικότερα τους ασχολούμενους με εφαρμοσμένες βιολογικές επιστήμες. Για τον προσδιορισμό του βιοκλίματος μιας περιοχής αναπτύχθηκαν διάφορες μέθοδοι. Μια από τις περισσότερο χρησιμοποιούμενες και πιο κατάλληλες για την περιοχή της Μεσογείου είναι και η μέθοδος **Emberger-Sauvage**. Με τη μέθοδο αυτή ορίζονται βιοκλιματικοί όροφοι, οι οποίοι ανταποκρίνονται στη διαδοχή του βιοκλίματος σύμφωνα με την μεταβολή της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης, είτε κατά ύψος, είτε κατά γεωγραφικό πλάτος. Ειδικά η κατά ύψος μεταβολή των κλιματικών αυτών στοιχείων εκφράζεται με την κατά ύψος διαδοχή της βλάστησης ή διαφορετικά τους ορόφους βλάστησης. Στον κατακόρυφο άξονα ενός διαγράμματος **Emberger-Sauvage** (Εικ. 2) αντιπροσωπεύεται το ομβροθερμικό πηλίκιο Q_2 για κάθε μετεωρολογικό σταθμό:

$$Q_2 = \frac{1000 \times P}{\frac{(M + m)}{2} \times (M - m)}$$

Όπου P η ετήσια βροχόπτωση σε mm, M ο μέσος όρος των μέγιστων θερμοκρασιών του θερμότερου μήνα σε απόλυτους βαθμούς (°K, T°K= 273,2+θ °C) και m ο μέσος

όρος των ελάχιστων θερμοκρασιών του ψυχρότερου μήνα, επίσης σε απόλυτους βαθμούς. Στην τετμημένη του διαγράμματος αντιπροσωπεύεται ο m , σε °C (Εικ. 2).

Για την περιγραφή των μετεωρολογικών στοιχείων της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης από τους διάφορους μετεωρολογικούς σταθμούς χρησιμοποιούνται οι παρακάτω έννοιες:

Μέση ημερήσια Θερμοκρασία: Υπολογίζεται με τον τύπο $(08+14+20)/3$ ή με τον τύπο $(08+14+20+20)/4$, αναλόγως του σταθμού και για την καλύτερη προσέγγιση της τιμής της αληθινής μέσης θερμοκρασίας.

Μέση Μέγιστη Θερμοκρασία: Ο μέσος όρος των ημερήσιων μέγιστων θερμοκρασιών.

Μέση Ελάχιστη Θερμοκρασία: Ο μέσος όρος των ημερήσιων ελάχιστων θερμοκρασιών.

Απολύτως Μέγιστη Θερμοκρασία: Η μεγαλύτερη θερμοκρασία που παρατηρήθηκε σε όλη τη διάρκεια της περιόδου των παρατηρήσεων.

Απολύτως Ελάχιστη Θερμοκρασία: Η μικρότερη θερμοκρασία που παρατηρήθηκε σε όλη τη διάρκεια της περιόδου των παρατηρήσεων.

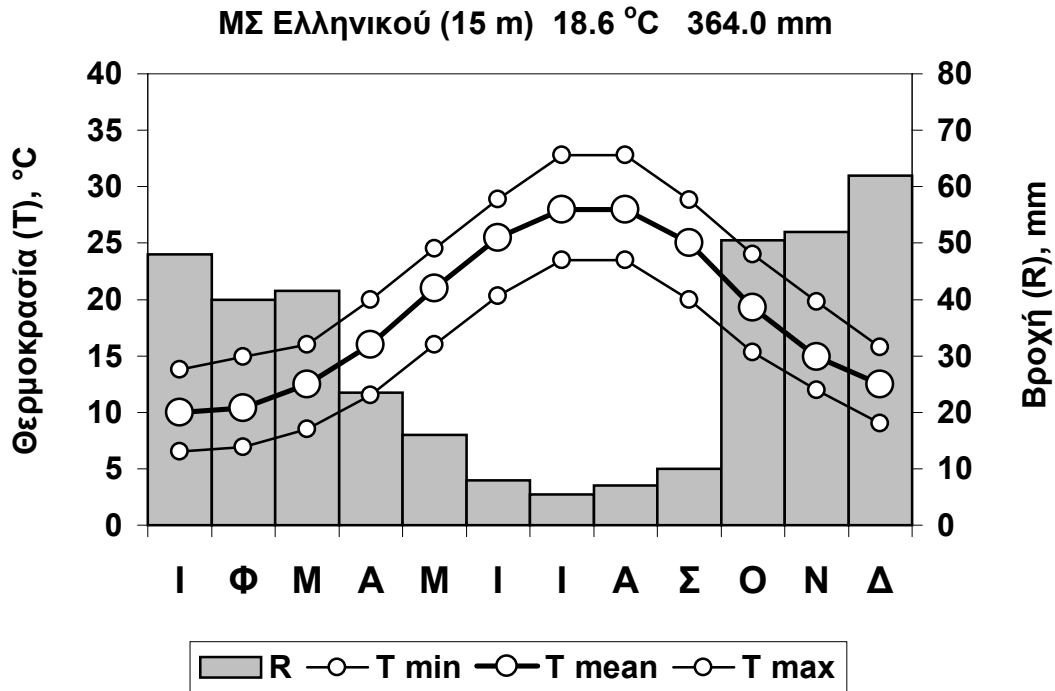
Μέση των απολύτως μέγιστων Θερμοκρασιών: Ο μέσος όρος των απολύτως μέγιστων θερμοκρασιών κάθε μήνα.

Μέση των απολύτως ελαχίστων Θερμοκρασιών: Ο μέσος όρος των απολύτως ελαχίστων θερμοκρασιών κάθε μήνα.

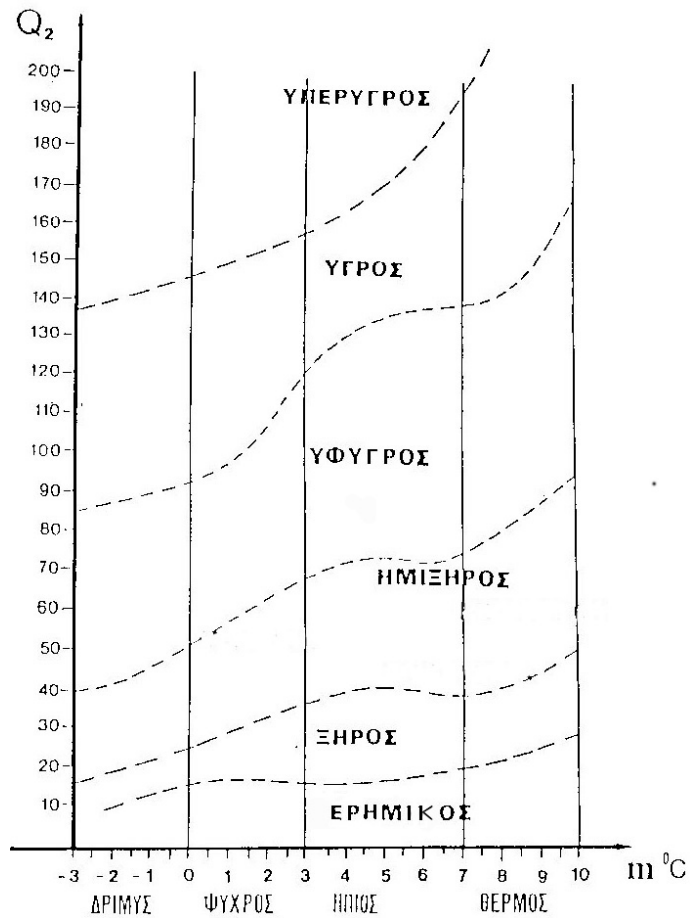
Μέσο ύψος βροχής (ή νετού): Για τη μέτρηση αυτή υπολογίζονται τα ποσά βροχής και τα ποσά χιονιού.

ΕΡΓΑΣΙΑ

1. Να κατασκευαστεί το ομβροθερμικό διάγραμμα ενός μετεωρολογικού σταθμού για τον οποίο δίνονται η μηνιαία βροχόπτωση και η μέση ημερήσια Θερμοκρασία όλων των μηνών του έτους, για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα.
2. Να προσδιοριστεί το ομβροθερμικό πηλίκο για το σταθμό αυτό και να τοποθετηθεί το στίγμα του σταθμού στο κλιματόγραμμα Emberger-Sauvage.
3. Σε ένα δισκόγραμμα να αποδοθεί η εποχιακή κατανομή της βροχόπτωσης ενός μετεωρολογικού σταθμού.
4. Να διατυπωθούν τα συμπεράσματά σας.



Εικόνα 1. Το ομβροθερμικό διάγραμμα του μετεωρολογικού σταθμού του Ελληνικού.



Εικόνα 2. Το κλιματόγραμμα Emberger – Sauvage.

ΑΣΚΗΣΗ 3-4

ΑΝΑΠΑΡΑΓΩΓΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΚΑΙ ΦΥΤΡΩΣΗ ΣΠΕΡΜΑΤΩΝ ΠΥΡΟΑΚΟΛΟΥΘΩΝ ΕΙΔΩΝ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός της άσκησης είναι η εξοικείωση με τους μηχανισμούς μεταπυρικής αναγέννησης ενός πευκοδάσους χαλεπίου πεύκης (*Pinus halepensis*). Τα δάση χαλεπίου και τραχείας πεύκης (*P. brutia*) αποτελούν ένα από τα τρία αθροίσματα οικοσυστημάτων Μεσογειακού τύπου. Τα άλλα δύο αθροίσματα είναι τα φρυγανικά οικοσυστήματα και οι θαμνώνες αείφυλλων-σκληρόφυλλων (μακί).

Η φωτιά (στη φυσική της βέβαια εκδήλωση) αποτελεί αναπόσπαστο συστατικό τόσο του Μεσογειακού-τύπου κλίματος όσο και των Μεσογειακού-τύπου οικοσυστημάτων. Έτσι δεν είναι καθόλου περίεργο που τα φυτά-μέλη των οικοσυστημάτων αυτών παρουσιάζουν ένα φάσμα προσαρμογών απέναντι στη φωτιά. Ιδιαίτερα στο κρίσιμο θέμα της μεταπυρικής αναγέννησης ακολουθούνται δύο αντιδιαμετρικές στρατηγικές: αναβλάστηση από υπόγειους οφθαλμούς (όπως σε όλα τα μακί) και φύτευση από σπέρματα που είτε βρίσκονται στο έδαφος (soil seed bank) πριν και κατά τη διάρκεια της φωτιάς (αλλά δεν καταστρέφονται, π.χ. είδη των οικογενειών Cistaceae και Leguminosae) είτε βρίσκονται σε υπέργεια τμήματα του φυτού (canopy seed bank) και έτσι σε κάποιο ποσοστό αποφεύγουν τη φωτιά (όπως στους κλειστούς κώνους των Μεσογειακών πεύκων).

2. ΕΡΓΑΣΙΑ ΠΕΔΙΟΥ

Οι φοιτητές επισκέπτονται κατά την άνοιξη ένα πευκοδάσος της Αττικής. Χωρίζονται σε ομάδες ανά δύο και ακολουθούν τις υποδείξεις των υπευθύνων στη διενέργεια της άσκησης.

α. Αναπαραγωγική βιολογία Μεσογειακών πεύκων

Παρουσιάζεται και συζητείται η παραγωγή κώνων και σπερμάτων στα Μεσογειακά πεύκα. Γίνονται παρατηρήσεις σε μεμονωμένα δένδρα.

β. Υπολογισμός αναπαραγωγικού δυναμικού

Οι φοιτητές ανά ομάδες μελετούν επιλεγμένα πεύκα (1 ομάδα – 1 πεύκο / οι μισές ομάδες χαλέπιο και οι άλλες μισές τραχεία πεύκη). Προσδιορίζεται η πιθανή ηλικία και μετράται **το ύψος** (με χρήση κλισίμετρου), η **επιφάνεια της προβολής της κόμης** καθώς και **ο αριθμός των κώνων**. Ιδιαίτερα στο τελευταίο καταγράφονται οι κώνοι που ωριμάζουν το τρέχον έτος (κόνοι 2003), οι παλαιότεροι καθώς και οι νεότεροι (κόνοι 2004 και 2005 – για πρακτικούς λόγους μετρώνται μόνον οι κόνοι 2004). Τελικός σκοπός των μετρήσεων αυτών είναι ο **προσδιορισμός της υπέργειας σπερματικής τράπεζας**, τόσο συνολικά τη χρονική στιγμή της μέτρησης (δηλαδή κόνοι του 2002 και κλειστοί παλαιότεροι κόνοι) όσο και η ετήσια αναπαραγωγική ικανότητα (ξεχωριστά για το 2002 και για το 2003). Η αναπαραγωγική ικανότητα θα εκφραστεί τόσο ανά δένδρο (κόνοι/δένδρο, σπέρματα/δένδρο), όσο και ανά μονάδα επιφανείας εδάφους (κόνοι/m², σπέρματα/m²). Για την μετατροπή από κόνους σε σπέρματα θα χρησιμοποιηθεί ο γενικός μέσος όρος (δηλ. αριθμός σπερμάτων ανά κώνο) που θα εξαχθεί για κάθε είδος από τις μετρήσεις της παραγράφου 3β. Συνολικά λοιπόν θα εξαχθούν **n/2 τιμές για κάθε είδος** (όπου n ο αριθμός των ομάδων των φοιτητών). (Επιπλέον, εάν υπάρχει η δυνατότητα, κάθε ομάδα φοιτητών μετρά σε τυχαία επιλεγμένη επιφάνεια - διαστάσεων π.χ. 30 x 30 m x m - την πυκνότητα ώριμων ατόμων πεύκης και ιδιαίτερα την πυκνότητα ώριμων κώνων ανά επιφάνεια εδάφους.)

γ. Συλλογή κώνων

Κάθε φοιτητής συλλέγει με τη βοήθεια του ‘τηλεκόπτη’ 1 κλειστό, ώριμο κώνο (2002) χαλεπίου ή τραχείας πεύκης σύμφωνα με τις υποδείξεις. Οι κόνοι που θα συλλεγούν από το ίδιο είδος πεύκης θα μετρηθούν και θα χρησιμεύσουν ως πηγή των σπερμάτων που θα μελετηθούν στο εργαστήριο.

3. ΕΡΓΑΣΙΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ

α. Επίδειξη ανοίγματος κώνων

Οι κλειστοί κόνοι των πεύκων ανοίγουν με τη συνδυασμένη επίδραση θερμότητας και ξηρασίας. Θα γίνει επίδειξη ανοίγματος των κώνων με χρήση φωτιάς.

β. Μετρήσεις κώνων

Οι κώνοι που συνελέγησαν μετρώνται με τη βοήθεια βερνιέρου (**μήκος και μέγιστη διάμετρος**) και ζυγίζονται στο εργαστήριο (**βάρος κώνου**). Στη συνέχεια ο κάθε φοιτητής ανοίγει στο σπίτι του, με θερμική κατεργασία, τον κώνο του. Αφαιρούνται προσεκτικά τα περιεχόμενα σπέρματα, τα οποία στη συνέχεια μετρώνται (**σπέρματα ανά κώνο**) και ζυγίζονται στο εργαστήριο (**βάρος σπερμάτων** για όλα μαζί τα σπέρματα κάθε συγκεκριμένου κώνου). Το **ποσοστό βάρους των σπερμάτων ενός κώνου** αποτελεί ένα ενδιαφέρον γνώρισμα ‘επιμερισμού’ βιομάζας μέσα στην αναπαραγωγική δομή του κώνου. Σχολιάστε τις τιμές των ποσοστών αυτών και συγκρίνετε μεταξύ των 2 ειδών. Επίσης υπολογίστε το **μέσο βάρος σπέρματος** για το κάθε είδος και σχολιάστε συγκριτικά.

γ. Φύτρωση σπερμάτων πεύκου

Όλα τα σπέρματα χαλεπίου ή τραχείας πεύκης κάθε φοιτητή τοποθετούνται, κατά το δυνατόν ομοιόμορφα, σε τρυβλίο (στο οποίο έχουν προηγουμένως τοποθετηθεί 2 δίσκοι διηθητικού χαρτιού και περίπου 5 ml απεσταγμένου H₂O). Τα τρυβλία τοποθετούνται σε άριστες συνθήκες φύτρωσης (20 °C και συνεχές λευκό φως) και μετά από 1, 2 και 3 εβδομάδες υπολογίζονται **το αρχικό, το ενδιάμεσο και το τελικό ποσοστό φύτρωσης**. Κατασκευάστε το διάγραμμα της χρονικής πορείας της φύτρωσης (συνολικά για κάθε είδος). Με βάση τα τελικά ποσοστά φυτρώσιμων σπερμάτων μπορείτε να υπολογίσετε τις **διορθωμένες τιμές της αναπαραγωγικής προσπάθειας** (σπέρματα/δένδρο και σπέρματα/m²) για τις 6 τιμές κάθε είδους (παράγραφος 2β).

4. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Το καθένα εργαστηριακό τμήμα των φοιτητών λειτουργεί σαν ενιαία ομάδα. Έτσι αρχικά συγκεντρώνεται η εργασία όλων των φοιτητών με μορφή πινάκων πρωτογενών δεδομένων. Στη συνέχεια ο κάθε φοιτητής επεξεργάζεται στατιστικά τα συνολικά δεδομένα (μέσοι όροι, στατιστικοί έλεγχοι κλπ.), συμπληρώνει τους 4 σχετικούς πίνακες και κατασκευάζει τα κατάλληλα διαγράμματα. Τέλος διατυπώνει τα κατάλληλα σχόλια και συμπεράσματα.

**Ο ΔΕΚΑΛΟΓΟΣ ΤΗΣ
ΜΕΤΑΠΥΡΙΚΗΣ ‘ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ’
ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ**

1. Η φωτιά αποτελεί ‘φυσικό συστατικό’ των Μεσογειακού τύπου οικοσυστημάτων (φρύγανα, αείφυλλα – σκληρόφυλλα, πευκοδάση). Σε ορισμένες περιοχές ωστόσο, η συχνότητα της φωτιάς έχει αυξηθεί σημαντικά κατά τα τελευταία 50 χρόνια, ως αποτέλεσμα της δράσης του ανθρώπου.
2. Τα φυτικά είδη των Μεσογειακών οικοσυστημάτων διαθέτουν την προσαρμοστική ικανότητα της φυσικής μεταπυρικής αναγέννησης (με μηχανισμούς αναβλάστησης και αναγέννησης από σπέρματα).
3. Η ανάκαμψη ξεκινά με αναβλάστηση (σχεδόν αμέσως μετά τη φωτιά) και ολοκληρώνεται με τη μαζική εμφάνιση αρτιβλάστων (νεαρά φυτά από σπέρματα – σπόρους) μέσα στην πρώτη βροχερή περίοδο (συνήθως Οκτώβρη – Γενάρη). Η πρώτη μεταπυρική χρονιά είναι λοιπόν εξαιρετικά κρίσιμη.
4. Αυτονόητη, αλλά όχι πάντα έγκαιρη (εντός 2μήνου) και συνήθως χαρτογραφικά ανεπαρκής είναι η συνταγματική επιταγή της ανακήρυξης κάθε καμένης, φυσικής έκτασης σε ‘αναδασωτέα’ (ή καλύτερα ‘προστατευόμενη’ ή ‘επιτηρούμενη’). Σκοπός είναι η μη αλλαγή ‘χρήσης γης’ (land use) του φυσικού οικοσυστήματος.
5. Επίσης σημαντική (αν και συχνά δύσκολα εφαρμόσιμη) είναι και η επί τριετία απαγόρευση της βόσκησης σε καμένες περιοχές για την προστασία της φυσικής αναγέννησης.
6. Σαν γενικός κανόνας, κατά το πρώτο έτος, ιδιαίτερα, αλλά και τα 1-2 επόμενα έτη μετά τη φωτιά πρέπει να αποφεύγεται κάθε ανθρώπινη δραστηριότητα στην καμένη έκταση ώστε να μην παρεμποδίζονται οι διεργασίες της φυσικής αναγέννησης και ανάκαμψης του οικοσυστήματος. Τυχόν υλοτομία ή κατασκευή κορμοδεμάτων – κορμοφραγμάτων θα πρέπει να γίνονται επιλεκτικά και σε μικρή κλίμακα, με ήπιες μεθόδους, ύστερα από τεχνική μελέτη και προτού αρχίσει η πρώτη περίοδος των βροχών.
7. Ιδιαίτερα για τις κατασκευές κορμοδεμάτων – κορμοφραγμάτων δεν υπάρχει ακόμη επαρκώς τεκμηριωμένη και αξιολογημένη γνώση και δεν θα πρέπει να γενικευθεί η χρήση τους. Αντίθετα, θα μπορούσε να δοθεί προτεραιότητα στην κατασκευή – διάνοιξη – απόφραξη οδών απορροής κοντά ή μέσα σε ‘απειλούμενους’ (από πλημμύρα) οικισμούς.
8. Η αποτίμηση της φυσικής αναγέννησης μπορεί να γίνει 1-3 χρόνια μετά τη φωτιά, από ειδικούς επιστήμονες, με χρήση κατάλληλων δεικτών που αποτυπώνουν, σε ΓΣΠ, στοιχεία τόσο της δομής όσο και της λειτουργίας των φυσικών οικοσυστημάτων σε συνδυασμό με τοπογραφικά χαρακτηριστικά. Τέτοιο σύστημα δεικτών έχει αναπτυχθεί σε πιλοτική κλίμακα αλλά απαιτείται η περαιτέρω ανάπτυξή του. Οι δείκτες αφορούν: α) παρουσία, αφθονία και χωροδιάταξη βασικών ειδών της χλωρίδας, β) χαρακτηριστικά της ευρωστίας αυτών των ειδών, γ) βαθμό φυτοκάλυψης και δ) τάχος βιογεωχημικών διεργασιών - σε συνδυασμό με την ‘πυρική ιστορία’ (fire history) της περιοχής.
9. Στις περιπτώσεις που διαπιστώνεται ότι ο βαθμός της φυσικής αναγέννησης δεν είναι ικανοποιητικός, μελέτη ειδικών καθορίζει την έκταση, τον τρόπο και τα λοιπά χαρακτηριστικά της αναδάσωσης που πρέπει να γίνεται με είδη και πολλαπλασιαστικό υλικό της τοπικής χλωρίδας ώστε να διατηρείται η τοπική, γενετική βιοποικιλότητα αλλά και να μην εκτίθεται η υπάρχουσα σε κινδύνους από ξενικά είδη ή ακόμη και από γηγενή είδη διαφορετικής περιοχής εξάπλωσης. Η αναδάσωση δεν συνεπάγεται υποχρεωτικά τη χρήση μόνο δένδρων αλλά και θάμνων - ίσως και κάποιων ποωδών φυτών. Η δημιουργία φυτωρίων, σε τοπική ή περιφερειακή κλίμακα, με είδη της τοπικής χλωρίδας, θα μπορούσε επομένως να αποτελέσει υψηλής προτεραιότητας δραστηριότητα για τις τοπικές κοινωνίες.
10. Διατυπώνεται η ριζική αντίρρηση σε κάθε είδους μαζική, ανεξέλεγκτη και ανεύθυνη προσπάθεια ‘αποκατάστασης’ των καμένων περιοχών από συλλόγους, ομάδες πολιτών, ΜΜΕ κλπ. Η αυξημένη περιβαλλοντική ευαισθησία τιμημάτων του πληθυσμού μπορεί να διοχετευθεί στην ‘επιτήρηση’ της καμένης περιοχής κατά τα πρώτα μεταπυρική έτη αλλά και, στις περιπτώσεις που θα κριθούν αναγκαίες, σε ήπιες αναδασωτικές παρεμβάσεις κάτω από τον έλεγχο και τον συντονισμό ενός αρμόδιου τοπικού (ή κεντρικού) φορέα. Σε όλες τις περιπτώσεις θα πρέπει να προηγείται εκπαίδευση των εθελοντών.

*Κώστας Α. Θάνος – Μαργαρίτα Αριανούτσου
Μάρτιος 2001*

Πίνακας 1. *Pinus halepensis*

Ομάδα Φοιτητών	α.α. δένδρου	Επιφάνεια προβολής κόμης (m ²)	Παλαιοί κλειστοί κώνοι	Κώνοι 2002	Ωριμοί κώνοι (παλαιοί & 2002)	Κώνοι 2003	Ωριμοί κώνοι ανά m ²	Κώνοι 2002 ανά m ²	Κώνοι 2003 ανά m ²
Μέσος Όρος ± SE									
Αριθμός Ωριμων Σπερμάτων ανά Δένδρο ± SE									
Αναπαραγωγική Προσπάθεια 2002 (σπέρματα 2002 ανά δένδρο ± SE									
Αναπαραγωγική Προσπάθεια 2003 (σπέρματα 2003 ανά δένδρο ± SE									
Αριθμός Ωριμων Σπερμάτων ανά m² ± SE									

Πίνακας 2. *Pinus brutia*

Ομάδα Φοιτητών	α.α. δένδρου	Επιφάνεια προβολής κόμης (m²)	Παλαιοί κλειστοί κόννοι	Κόννοι 2002	Ωριμοί κόννοι (παλαιοί &2002)	Κόννοι 2003	Ωριμοί κόννοι ανά m²	Κόννοι 2002 ανά m²	Κόννοι 2003 ανά m²
Μέσος Όρος ± SE									
Αριθμός Ωριμων Σπερμάτων ανά Δένδρο ± SE									
Αναπαραγωγική Προσπάθεια 2002 (σπέρματα 2002 ανά δένδρο ± SE									
Αναπαραγωγική Προσπάθεια 2003 (σπέρματα 2003 ανά δένδρο ± SE									
Αριθμός Ωριμων Σπερμάτων ανά m² ± SE									

Πίνακας 3. *Pinus halepensis*

Όνοματεπώνυμο Φοιτητή/τριας	α.α. κώνου	Μήκος κώνου (mm)	Πλάτος κώνου (mm)	Βάρος κώνου (g)	Αριθμός σπερμάτων ανά κώνο	Συνολικό βάρος σπερμάτων (g)	Ποσοστό βάρους σπερμάτων ανά κώνο	Μέσο βάρος σπέρματος (mg)	Φύτρωση σπερμάτων (στο φως, 20 °C)						
									# φυτρωμένων			% %			
									7 d	14 d	21 d	7 d	14 d	21 d	
Μέσος Όρος ± SE															

Πίνακας 4. *Pinus brutia*

Όνοματεπώνυμο Φοιτητή/τριας	α.α. κώνου	Μήκος κώνου (mm)	Πλάτος κώνου (mm)	Βάρος κώνου (g)	Αριθμός σπερμάτων ανά κώνο	Συνολικό βάρος σπερμάτων (g)	Ποσοστό βάρους σπερμάτων ανά κώνο	Μέσο βάρος σπέρματος (mg)	Φύτρωση σπερμάτων (στο φως, 20 °C)					
									# φυτρωμένων			% %		
									7 d	14 d	21 d	7 d	14 d	21 d
Μέσος Όρος ± SE														

ΑΣΚΗΣΗ 5

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ pH ΤΟΥ ΘΡΕΠΤΙΚΟΥ ΔΙΑΛΥΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΡΤΙΒΛΑΣΤΩΝ ΚΑΛΑΜΠΟΚΙΟΥ (*Zea mays*) ΣΕ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η συγκέντρωση των ιόντων H^+ στο έδαφος είναι ένας σημαντικός περιβαλλοντικός παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει την ανάπτυξη των φυτών. Το pH του εδάφους επηρεάζει τη διαλυτότητα των θρεπτικών στοιχείων στο εδαφικό διάλυμα. Σε σχετικά χαμηλές τιμές pH τα ανθρακικά, θειικά και φωσφορικά άλατα είναι περισσότερο ευδιάλυτα στο εδαφικό διάλυμα σε σύγκριση με υψηλές τιμές pH. Σε υψηλές τιμές pH ορισμένα θρεπτικά στοιχεία, όπως ο σίδηρος, ο ψευδάργυρος, ο χαλκός και το μαγγάνιο σχηματίζουν δυσδιάλυτα υδροξείδια. Η αύξηση της διαλυτότητας διευκολύνει την απορρόφηση των θρεπτικών στοιχείων από τη ρίζα. Γενικά η αύξηση των ριζών ευνοείται σε ελαφρώς όξινα pH (5,5 έως 6,5).

Τα διάφορα φυτικά είδη αναπτύσσονται σε ένα εύρος τιμών pH από 3 έως 9. Οι ακραίες τιμές συνιστούν παράγοντα καταπόνησης για ορισμένα φυτικά είδη, ενώ άλλα έχουν αναπτύξει μηχανισμούς προσαρμογής.

Σε υδροπονικές καλλιέργειες τα φυτά αναπτύσσονται ικανοποιητικά σε ένα μεγάλο εύρος τιμών pH. Στη φύση όμως, λόγω του ανταγωνισμού, θα επικρατήσει το καλύτερα προσαρμοσμένο φυτικό είδος.

Φυτικό υλικό

Σπέρματα του φυτού *Zea mays* (καλαμπόκι)

Όργανα και συσκευές

Εργαστηριακός ζυγός, κλίβανος, 3 πλαστικά δοχεία με περλίτη, αλουμινόχαρτο, υποδεκάμετρο.

Διαλύματα

Πλήρη θρεπτικά διαλύματα pH=3, pH=5 και pH=9.

ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

1. Σε καθένα από τα 3 πλαστικά δοχεία που περιέχουν διαβρεγμένο με νερό περλίτη τοποθετήστε από 15 σπέρματα καλαμποκιού. Σημειώστε πάνω σε κάθε κουτί την ένδειξη της τιμής του pH (3, 5, 9 αντίστοιχα). Αφήστε 2-3 μέρες να φυτρώσουν τα σπέρματα σε συνθήκες δωματίου.
2. Αφού διαπιστώσετε ότι τα σπέρματα φύτρωσαν, ελέγχετε κάθε 2-3 ημέρες εάν τα αρτίβλαστα χρειάζονται πότισμα και ποτίστε το κάθε κουτί με το αντίστοιχο θρεπτικό διάλυμα (pH=3, pH=5, pH=9)
3. Αφήστε τα αρτίβλαστα να αναπτυχθούν για 3 εβδομάδες, ποτίζοντάς τα σε τακτά χρονικά διαστήματα.
4. Παρατηρήστε και καταγράψτε ενδεχόμενες μακροσκοπικές διαφορές των αρτιβλάστων ανάμεσα στις 3 διαφορετικές μεταχειρίσεις.
5. Αφαιρέστε προσεκτικά τα αρτίβλαστα από τον περλίτη χωρίς να καταστρέψετε τις ρίζες και ξεπλύνετε με νερό βρύσης.
6. Μετρήστε το μήκος του ριζικού συστήματος και του υπέργειου τμήματος κάθε αρτίβλαστου.
7. Προζυγίστε 3 κομμάτια αλουμινόχαρτου στα οποία έχετε σημειώσει την τιμή του pH 3, 5, 9 αντίστοιχα.
8. Τοποθετήστε τα αρτίβλαστα στο αντίστοιχο αλουμινόχαρτο και μεταφέρετέ τα σε κλίβανο θερμοκρασίας 60 °C.
9. Μετά από 48 ώρες μετρήστε το ξηρό βάρος καθενός από τα 3 δείγματα.

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

1. Καταγράψτε σε πίνακα με 6 στήλες (2 για κάθε pH) και 17 σειρές τις μετρήσεις του μήκους των φυτικών τμημάτων. Βρείτε το μέσο όρο των ομοειδών τιμών και το τυπικό σφάλμα.
2. Παραστήστε σε διάγραμμα τη σχέση pH θρεπτικού διαλύματος-ξηρό βάρος αρτιβλάστων.
3. Αξιολογήστε τα αποτελέσματα και καταγράψτε τα συμπεράσματά σας.
4. Γιατί στο φυσικό περιβάλλον το pH του εδάφους επηρεάζει περισσότερο την ανάπτυξη των φυτών, σε σχέση με το pH του θρεπτικού διαλύματος σε φυτά που αναπτύσσονται σε υδροπονικές καλλιέργειες;

ΑΣΚΗΣΗ 6

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΥΔΑΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΡΤΙΒΛΑΣΤΩΝ

Θεωρία (επιγραμματικά): Το H_2O μετακινείται στο συνεχές έδαφος-φυτό-ατμόσφαιρα. Η ροή αυτή βασίζεται σε νόμους που διέπουν τη φυσική (φαινόμενα μεταφοράς), την ανταλλαγή ύλης και ενέργειας σε κύτταρα (δηλ. σε ανοιχτά θερμοδυναμικά συστήματα), σε φυτικούς ιστούς, από τα φυτά στο οικοσύστημα.

Μηχανισμοί που συμμετέχουν στη ροή του νερού σε φυτικούς ιστούς που υφίστανται υδατικό έλλειμμα είναι:

1. Ελεγχόμενη μεταφορά υδατικού διαλύματος δια μέσου του αγωγού ιστού.
2. Ρύθμιση της υδραυλικής αγωγιμότητας των φυτών
3. Μεταβολή της συγκέντρωσης του κυτταρικού χυμού ή του υδατικού διαλύματος (υδατική στήλη).
4. Οσμωτικά φαινόμενα.
5. Ρύθμιση του στοματικού ανοίγματος.
6. Πίεση σπαργής.
7. Υδραυλική ανύψωση (hydraulic lift)
8. Αντιστροφή στη κίνηση του νερού στο ακρόρριζο

Γνωρίζουμε ότι ισχύει $(-) \Psi = (-) \Psi_s + (+) \Psi_p + \dots$ Όπου:

(-) Ψ υδατικό δυναμικό, αρνητική ποσότητα, μονάδες πίεσης

(-) Ψ_s οσμωτικό δυναμικό, αρνητική ποσότητα, μονάδες πίεσης

(+) Ψ_p πίεση ή δυναμικό σπαργής, ή σπαργή, θετική ποσότητα, μονάδες πίεσης

Ο ρόλος του νερού στη λειτουργία του φυτού.

Υδατοδιαθεσιμότητα, ανάπτυξη και παραγωγικότητα.

Απώλεια νερού από...

Αποθήκευση νερού σε...

Καταπόνηση από υδατικό έλλειμμα – Ξηρασία

- Τα μηνύματα και το ριζικό σύστημα
- Ο ρόλος του ABA
- Το κυτταρικό τοίχωμα
- Έλεγχος της στοματικής αγωγιμότητας: συμβιβασμός μεταξύ του οφέλους όσον αφορά στον άνθρακα και της απώλειας όσον αφορά στο νερό

Καταπόνηση από υδατικό έλλειμμα – Αλατότητα

- Η παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων αλάτων στο έδαφος
- Μηχανισμοί «απάντησης» στην υψηλή συγκέντρωση αλάτων στο έδαφος
- Οσμωτική διευθέτηση
- Ο ρόλος του ABA

Υλικά, αντιδραστήρια και φυτικό υλικό

Τρυβλία petri

Σιφώνια

Κωνικές φιάλες

Ογκομετρικοί κύλινδροι

Parafilm, ταινία

Διηθητικό χαρτί

Απεσταγμένο νερό

Αντιδραστήρια: διαλύματα PEG (πολυαιθυλενογλυκόλη, το M.B. στο εμπόριο κυμαίνεται από 1.000-20.000) και NaCl όπως φαίνεται παρακάτω, στην προετοιμασία των διαλυμάτων.

Σπέρματα (π.χ. καλαμπόκι, ντομάτα, αγγούρι, λαδανιά – *Cistus* sp.)

Προετοιμασία διαλυμάτων

Κάθε ομάδα θα ετοιμάσει 50 ml από τα παρακάτω διαλύματα:

PEG 1000	PEG 6000	NaCl
0,1 M	0,01 M	1 M
0,01 M	0,001 M	0,1 M
0,001 M	0,0001 M	0,001 M
0,0001 M	0,00001 M	0,0001 M

Πειραματικό μέρος και Μετρήσεις

Σε τρυβλία (πόσες επαναλήψεις...;) θα τοποθετήσετε 5 ml από τα εν λόγω διαλύματα και 10 – 15 σπέρματα (επιλεγμένου φυτικού υλικού).

Θα παρατηρήσετε την ανάπτυξη των αρτιβλάστων και θα μετρήσετε παραμέτρους ανάπτυξης των αρτιβλάστων.

- Μήκος «υπέργειου» τμήματος και ρίζας, μετά από διάρκεια 7 ημερών.
- Ξηρό βάρος «υπέργειου» τμήματος και ρίζας, ύστερα από παραμονή του φυτικού υλικού για 48 ώρες σε 60 °C.
- Μπορείτε να συσχετίσετε τις παραπάνω μετρήσεις;

Αποτελέσματα και Συζήτηση

Θα παραδώσετε γραπτά (ανά ομάδα) τις παρατηρήσεις σας και θα απαντήσετε στις ερωτήσεις:

- Εκφράστε με αξιόπιστο επιστημονικό τρόπο την ανάπτυξη ατριβλάστων σε συνθήκες υδατικού ελλείμματος (λ.χ. με στοιχειώδη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων).
- Συγκρίνετε την καταπόνηση, των φυτικών ιστών, από PEG με την καταπόνηση από NaCl. Διατυπώστε τα συμπεράσματά σας.
- Με ποιο τρόπο μπορεί ένα εργαστηριακό πείραμα να γίνει πρότυπο, για την εκπόνηση εφαρμοσμένης έρευνας στο περιβάλλον, π.χ. «βιολογική» καλλιέργεια αγροτεμαχίου που ευρίσκεται πλησίον ακτής, σε νησί;
- Διατυπώστε τον σκοπό εκπόνησης της άσκησης. Να συμπεριλάβετε στην απάντησή σας βιβλιογραφικά δεδομένα από: α) Κοινούς μηχανισμούς απάντησης σε περιβαλλοντική καταπόνηση και β) Γονίδια καταπόνησης.

Καταληκτική ημερομηνία παραλαβής της γραπτής παρουσίασης, επί της άσκησης, μέχρι και 10 ημέρες μετά την ολοκλήρωση των μετρήσεων.

ΘΕΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΟΙΚΟΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑΣ ΦΥΤΩΝ 2003

Στα πλαίσια της εργαστηριακής εξάσκησης, καλούνται οι κ.κ. φοιτητές και φοιτήτριες της Οικοφυσιολογίας Φυτών να επιλέξουν, από τον ακόλουθο κατάλογο, θέμα εργασίας (σε ομάδες των 3 – προσοχή και οι 3 φοιτητές/τριες μιας ομάδας πρέπει να ασκούνται στο ίδιο εργαστηριακό τμήμα). Περισσότερες πληροφορίες και σχετικά ερωτήματα στον υπεύθυνο του κάθε θέματος. Η διαδικασία επιλογής θα ολοκληρωθεί την Πέμπτη 4 Μαρτίου, 1 μμ. Οι περισσότερες εργασίες περιλαμβάνουν θεωρητικό και πειραματικό μέρος. Η έναρξη της εκπόνησής τους είναι άμεση και θα συνεχιστούν συστηματικά κατά τις ώρες του Εργαστηρίου, μετά την ολοκλήρωση του κύκλου των 6 ασκήσεων. Θα πρέπει να παραδοθούν σε γραπτή μορφή (ενιαία για την κάθε ομάδα) μέχρι το τέλος Μαΐου 2003.

1. Εντοπισμός και αρχική μελέτη των υβριδίων χαλεπίου (*Pinus halepensis*) και τραχείας πεύκης (*Pinus brutia*) στην Πανεπιστημιόπολη. (Κ. Θάνος)
2. Φάσμα διασποράς της Ελληνικής χλωρίδας – αρχική διερεύνηση των διαφορετικών τύπων διασποράς σπερμάτων στο σύνολο των φυτών της Ελλάδας. (Κ. Θάνος)
3. Μελέτη οικοφυσιολογικών χαρακτήρων σε σπέρματα μαύρης πεύκης (*Pinus nigra*). (Κ. Θάνος)
4. Οικοφυσιολογία της φύτευσης σε ενδημικά είδη της οικογένειας Rubiaceae της Κρητικής χλωρίδας. (Κ. Θάνος)
5. Η επίδραση ήπιων (θερινών) θερμοκρασιών στο ‘άνοιγμα’ του πώματος της χάλαζας και στη φύτευση σπερμάτων *Cistus* spp. (Κ. Θάνος)
6. Η διδασκαλία της Οικοφυσιολογίας Φυτών σε διάφορα ξένα Πανεπιστήμια (περιεχόμενα διδασκαλίας – ασκήσεων, διδακτικά κλπ βοηθήματα) (έρευνα στο διαδίκτυο). (Κ. Θάνος)
7. Επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων Αθηνών (Πολυτεχνειούπολης) (εργασία Η/Υ). (Κ. Γεωργίου)
8. Διερεύνηση του μηχανισμού ανοίγματος των κώνων και διασποράς των σπερμάτων του κυπριακού κέδρου, *Cedrus brevifolia* (Hooker fil.) Henry (εργαστηριακή έρευνα). (Κ. Γεωργίου)

9. Εφαρμογή των κριτηρίων της IUCN στην εκτίμηση της κατάστασης διατήρησης ενδημικών φυτών της Ελλάδας (βιβλιογραφική εργασία). (Κ. Γεωργίου)
10. Η φαινολογία και το αναπαραγωγικό δυναμικό του σπάνιου, ενδημικού φυτού της Ελλάδας *Ebenus sibthorpii* DC. (εργασία πεδίου στην Πανεπιστημιόπολη). (Κ. Γεωργίου)
11. Μεταχείριση σπερμάτων από το στάδιο της συλλογής μέχρι την αποθήκευση σε τράπεζα σπερμάτων ενός απειλούμενου φυτού (εργασία πεδίου και εργαστηριακή έρευνα). (Κ. Γεωργίου)
12. Επίδραση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην παραγωγή φαινολικών ουσιών στα φύλλα Μεσογειακών φυτών. (Σ. Μελετίου)
13. Επίδραση των οξειδίων του αζώτου της ατμόσφαιρας στη συγκέντρωση του ολικού αζώτου σε φύλλα Μεσογειακών φυτών. (Σ. Μελετίου)
14. Μελέτη της επίδρασης του όζοντος στη συγκέντρωση των χλωροφυλλών σε φύλλα Μεσογειακών φυτών. (Σ. Μελετίου)
15. Επίδραση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην παραγωγή αιθερίων ελαίων στα φύλλα αρωματικών φυτών που αναπτύσσονται στο λεκανοπέδιο της Αττικής. (Σ. Μελετίου)
16. Μελέτη της επίδρασης της θερμοκρασίας στη λιπιδική σύσταση των φύλλων της πικροδάφνης κατά τη φάση της ανάπτυξής τους. (Σ. Μελετίου)
17. Εφαρμοσμένη οικοφυσιολογία: Αιτιολόγηση (από τη μεριά των Βιολόγων) των φυτοτεχνικών επεμβάσεων σε κεντρικούς δρόμους της πόλης των Αθηνών και προαστίων. (Σ. Ριζοπούλου)
18. Εικονικά φυτά (virtual plants): ως εργαλεία προσομοίωσης της αντοχής στο υδατικό έλλειμμα. (Σ. Ριζοπούλου)
19. Η φύση του χρόνου στην περιβαλλοντική φυσιολογία φυτών. (Σ. Ριζοπούλου)
20. «Ο κήπος με τις αυταπάτες»: Παπαρούνες χωρίς όπιο (opium-free poppies). Για ποιο λόγο; (Σ. Ριζοπούλου)
21. Η τακτική της νυχτερινής άνθησης, στο Μεσογειακό τοπίο. Προϋποθέσεις αυτού του θέματος: α) πειράματα κατά τον Ιούλιο, β) εργασία πεδίου και δειγματοληψίες στις 8 π.μ. και στις 8 μ.μ. και γ) ολοκλήρωση της εργασίας τον Σεπτέμβριο 2003. (Σ. Ριζοπούλου)

ΤΟ ΔΙΕΘΝΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΟΝΑΔΩΝ (SI)

Frank B. Salisbury

Plants, Soils, and Biometeorology Department

Utah State University, Logan, Utah 8432-4820, U.S.A.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1, σελίδες 3-20, του βιβλίου

ΜΟΝΑΔΕΣ, ΣΥΜΒΟΛΑ ΚΑΙ ΟΡΟΛΟΓΙΑ ΓΙΑ ΤΗ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΦΥΤΩΝ

Ένα Βοήθημα για την Παρουσίαση των Ερευνητικών Αποτελεσμάτων στις Επιστήμες των Φυτών

(Με την υποστήριξη της Διεθνούς Ένωσης Φυσιολογίας Φυτών [International Association for Plant Physiology])

Frank B. Salisbury, επιμελητής έκδοσης του βιβλίου

Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Οξφόρδης, Νέα Υόρκη, Οξφόρδη, 1996

Salisbury F.B. 1996. The International System of Units (SI Units), pp. 3-20, in: *Units, Symbols and Terminology for Plant Physiology*, Salisbury F.B. (ed.), Oxford University Press, New York-Oxford.

Από τη γέννησή της κιάλας, η σύγχρονη επιστήμη άρχισε να εξαρτάται όλο και περισσότερο από την ακριβή μέτρηση των φυσικών μεγεθών. Μία τέτοια μέτρηση απαιτεί ένα σύστημα προτύπων που θα είναι αναγνωρίσιμο και αποδεκτό από όλους εκείνους που θα ήθελαν να ανακοινώσουν τις μετρήσεις τους ο ένας στον άλλον. Σε απάντηση αυτής της ανάγκης, επινοήθηκε το **μετρικό σύστημα** (metric system) κατά τη διάρκεια της Γαλλικής Επανάστασης (1789-1799). Ήταν μία απόπειρα δημιουργίας ενός δεκαδικού συστήματος μέτρων που θα απλοποιούσε και θα ενοποιούσε τους υπολογισμούς. Σχεδόν έναν αιώνα αργότερα, σε αναγνώριση της ανάγκης για περαιτέρω βελτίωση του συστήματος, ιδρύθηκε το *Διεθνές Γραφείο Μέτρων και Σταθμών* (*Bureau International des Poids et Mesures – BIPM*) από τη *Συνθήκη του Μέτρου* (*Convention du Mètre*) που υπογράφηκε στο Παρίσι το 1875 από 17 Κράτη. Στη συνέχεια η Συνθήκη τροποποιήθηκε το 1921. Το έργο του BIPM είναι να διασφαλίσει την παγκόσμια ενοποίηση των φυσικών μετρήσεων. Λειτουργεί με γραφεία και εργαστήρια στις Σέβρες (Sèvres), κοντά στο Παρίσι της Γαλλίας, υπό την επίβλεψη της *Διεθνούς Επιτροπής Μέτρων και Σταθμών* (*Comité International des Poids et Mesures – CIPM*), η οποία αποτελείται από 18 μέλη, καθένα από διαφορετικό Κράτος. Η ίδια η CIPM βρίσκεται υπό την εξουσία της *Γενικής Συνέλευσης Μέτρων και Σταθμών* (*Conférence Générale des Poids et Mesures – CGPM*), η οποία αποτελείται από αντιπροσώπους από όλα τα Κράτη-Μέλη (46 Κράτη τον Μάρτιο του 1991) της *Συνθήκης του Μέτρου*. Η CGPM συνεδριάζει προς το παρόν κάθε τέσσερα χρόνια ενώ η CIPM συνεδριάζει κάθε χρόνο.

Κατά τα μέσα του 20^{ου} αιώνα, το μετρικό σύστημα χρησιμοποιούνταν ευρέως στον επιστημονικό χώρο, αν και σε πολλές περιπτώσεις, μεμονωμένοι επιστημονικοί κλάδοι είχαν αναπτύξει τις δικές τους ειδικευμένες μονάδες και όρους. Για παράδειγμα, το Σύστημα Μηχανικών Μονάδων, CGS, (centimeter·gram·second), (που χρησιμοποιούνταν κυρίως στη φυσική), συμπεριλάμβανε διάφορους όρους όπως dyne, erg, poise, stokes, gauss, oersted και maxwell που τώρα θεωρούνται όλες απαρχαιωμένες. Για να ενοποιηθεί περαιτέρω το μετρικό σύστημα, η 9^η Γενική Συνέλευση (CGPM), το 1948, έδωσε εντολή στη CIPM να μελετήσει

και να προτείνει την καθιέρωση ενός ‘πρακτικού συστήματος μονάδων μέτρησης, κατάλληλου να υιοθετηθεί από όλους όσοι έχουν υπογράψει τη Συνθήκη του Μέτρου’ (βλέπε Taylor, 1991). Επίσης, αυτή η Συνέλευση έθεσε ένα σύνολο αρχών για τα σύμβολα των μονάδων και πρότεινε έναν κατάλογο μονάδων με ειδικά ονόματα. Έξι βασικές μονάδες καθιερώθηκαν το 1954, και η 11^η CGPM, το 1960, υιοθέτησε το όνομα *Διεθνές Σύστημα Μονάδων (Le Système International d’ Unités* ή *International System of Units*, στα Αγγλικά) με τη διεθνή συντομογραφία **SI**. Η 11^η CGPM, έθεσε επίσης κανόνες για προθέματα, για παραγόμενες και συμπληρωματικές μονάδες, και για άλλα ζητήματα. Έτσι γεννήθηκε το SI το 1960 ενώ επόμενες συνελεύσεις πρόσθεσαν ποικίλες βελτιώσεις. Η 14^η CGPM, το 1971, για παράδειγμα, πρόσθεσε το mole στις αρχικά έξι, βασικές μονάδες, δημιουργώντας έτσι συνολικά επτά, βασικές μονάδες στο SI, καθεμιά με το δικό της όνομα και σύμβολο, το οποίο είναι το ίδιο (με ελαφρές ορθογραφικές διαφορές) σε όλες τις γλώσσες. Το SI είναι σήμερα, με μεγάλη διαφορά, το καλύτερο σύστημα μέτρησης που η ανθρωπότητα κατάφερε ποτέ να δημιουργήσει.

Σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι να παρουσιάσει το SI, κυρίως όπως εφαρμόζεται στις επιστήμες των φυτών. Οι πληροφορίες που παρατίθενται εδώ προέρχονται από ποικίλες πηγές που αντιστοιχούν σε τρία επίπεδα πηγών αναφοράς: Το πρώτο, και κυριότερο, επίπεδο αναφοράς είναι το ‘*Διεθνές Σύστημα Μονάδων SI, 6^η έκδοση*’, στα Γαλλικά και Αγγλικά. Πρόκειται για την τελευταία έκδοση που κυκλοφόρησε το 1991 από το Διεθνές Γραφείο Μέτρων και Σταθμών (BIPM). Παρόλο που αυτή η έκδοση ετοιμάστηκε από κοινού με το Εθνικό Εργαστήριο Φυσικής (National Physical Laboratory) του Ηνωμένου Βασιλείου, κάποιες λέξεις και πρακτικές ακολουθούν τον τρόπο χρήσης των Ηνωμένων Πολιτειών παρά της Βρετανίας. Γενικά, αυτή η χρήση (π.χ. meter αντί για metre και liter αντί για litre) είναι πλησιέστερα στην Ευρωπαϊκή χρήση από ό,τι είναι οι Βρετανικές πρακτικές. Η μετάφραση για τις Ηνωμένες Πολιτείες αυτού του πρωταρχικού τόμου συμπεριλαμβάνεται στο βιβλιογραφικό κατάλογο αυτού του κεφαλαίου, ως Taylor (1991). Είναι σχεδόν πανομοιότυπο με την εκδοχή που δημοσιεύτηκε από το BIPM, εκτός από μερικά μικρά θέματα, όπως η χρήση της τελείας αντί του κόμματος ως το σύμβολο της υποδιαστολής. Μία δευτέρου επιπέδου πηγή αναφοράς είναι το Εγχειρίδιο Προτύπων της ISO, 3^η έκδοση (ISO Standards Handbook, Third Edition), που δημοσιεύτηκε το 1993 από το Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης (International Organization for Standardization – ISO) στη Γενεύη της Ελβετίας. Επεκτείνει τους κανόνες της πρωταρχικής πηγής και αυτές οι επεκτάσεις έχουν επηρεάσει τις διαβουλεύσεις της CGPM έτσι ώστε κάποιες προτάσεις του Εγχειριδίου Προτύπων της ISO έχουν μετατραπεί σε επίσημους κανόνες του SI. Μία άλλη δευτέρου επιπέδου πηγή αναφοράς είναι η Ειδική Δημοσίευση 811 (Special Publication - SP 811) του Εθνικού Ινστιτούτου Προτύπων και Τεχνολογίας (National Institute of Standards and Technology – NIST, πρώην Εθνικό Γραφείο Προτύπων των ΗΠΑ, U.S. National Bureau of Standards). Η SP 811 είναι ο ‘Οδηγός για τη χρήση του Διεθνούς Συστήματος Μονάδων (SI)’ και ετοιμάστηκε από τον Taylor (1995). Το τρίτο επίπεδο αναφοράς περιλαμβάνει τις διάφορες, πολυάριθμες εκδόσεις, όπως και η παρούσα, που προσπαθούν να συνοψίσουν, να ερμηνεύσουν και να συμπυκνώσουν το SI για ένα δεδομένο γνωστικό πεδίο (βλέπε επίσης πολλές από τις **έντονα τυπωμένες** βιβλιογραφικές αναφορές στο τέλος αυτού του κεφαλαίου.) Οι κανόνες που παρουσιάζονται εδώ έχουν εξαχθεί σχεδόν αποκλειστικά από τα δύο πρώτα επίπεδα αναφοράς.

¹ Προηγούμενες εκδοχές του κεφαλαίου αυτού είχαν δημοσιευθεί ως Παράρτημα Α στο διδακτικό βιβλίο *Φυσιολογία Φυτών, 4^η έκδοση (Plant Physiology, Fourth Edition)* των F. B. Salisbury και Cleon W. Ross (Wadsworth Publishing Company, Belmont, California, 94002, U.S.A., 1991) και στο επιστημονικό περιοδικό *Journal of Plant Physiology* (Salisbury, 1991). Πρόσφατη μελέτη των πηγών του 1^{ου} και 2^{ου} επιπέδου αναφοράς (που περιγράφονται σε αυτό το κεφάλαιο) οδήγησε όχι μόνο σε μία κάπως διαφορετική προσέγγιση αλλά και σε ορισμένες, σημαντικές τροποποιήσεις και αλλαγές σε μερικές μονάδες και στους κανόνες χρήσης τους.

1. Ποσότητες και Μονάδες

Στην επιστήμη γενικά, και στις επιστήμες των φυτών ειδικότερα, ασχολούμαστε με *φυσικές ποσότητες* (*physical quantities*). Για να δηλώσουμε αυτές τις φυσικές ποσότητες, χρησιμοποιούμε τρία είδη συμβόλων: ένα σύμβολο για τη **φυσική ποσότητα**, ένα σύμβολο για την **αριθμητική τιμή** (δηλαδή έναν αριθμό) και ένα σύμβολο για τη **μονάδα**. Για παράδειγμα, αν θέλουμε να δηλώσουμε το μήκος κάποιου αντικειμένου, μπορούμε να γράψουμε:

$$l = 5,67 \text{ m}$$

Για να έχει νόημα αυτή η σημειογραφική παράσταση ως μορφή επικοινωνίας, εκείνοι από εμάς που επιθυμούν να γίνονται αμοιβαία κατανοητοί πρέπει να συμφωνήσουν ότι το σύμβολο για το μήκος είναι *l*, ότι θα χρησιμοποιήσουμε αραβικούς αριθμούς και ότι το μέτρο (m) αντιπροσωπεύει μία *πρότυπη μονάδα* μήκους (δηλαδή, το μήκος της διαδρομής που διανύει το φως στο κενό σε χρονικό διάστημα 1/299.792.458 του δευτερολέπτου). Φυσικά, για πρακτικούς σκοπούς, οι περισσότεροι από εμάς θα εμπιστευόμαστε τους κατασκευαστές μετρικών ράβδων, υποδεκάμετρων και άλλων μετρικών συσκευών, υποθέτοντας ότι αυτοί οι κατασκευαστές ακολουθούν επακριβώς ένα αξιόπιστο πρότυπο όταν δημιουργούν τα μετρικά τους όργανα. Τα διάφορα κράτη έχουν γραφεία για να εξασφαλίσουν αυτή την ακρίβεια (π.χ. το Εθνικό Ινστιτούτο Προτύπων και Τεχνολογίας, στις ΗΠΑ), και όπως αναφέρθηκε παραπάνω, την 'τελική εξουσία' για τα μέτρα έχει η CGPM και το BIPM.

Θυμηθείτε ότι η μονάδα αναπαριστά έναν αριθμό. Η φυσική ποσότητα είναι η αριθμητική τιμή πολλαπλασιασμένη με τη μονάδα μέτρησης. Έτσι, η μονάδα υπόκειται σε αλγεβρικούς χειρισμούς. Για παράδειγμα, η αριθμητική τιμή μπορεί να θεωρηθεί ως ο λόγος της φυσικής ποσότητας προς τη μονάδα μέτρησης. Στο παραπάνω παράδειγμα: $l/m = 5,67$. Αυτή η σημειογραφία είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε διαγράμματα και σε επικεφαλίδες σε στήλες πινάκων.

Σημειώστε ότι το σύμβολο για τη φυσική ποσότητα (το μήκος στο παράδειγμα - *l*) αναγράφεται με *πλάγια* γράμματα, τα γνωστά μας *italics* (ή υπογραμμισμένα αν ο πλάγιος τύπος δεν είναι διαθέσιμος), και το σύμβολο για τη μονάδα αναγράφεται με γράμματα λατινικού (όρθιου) τύπου. Αυτός ο κανόνας (που αναγράφεται ξανά στον Πίνακα 4, #17) πρέπει να ακολουθείται τόσο με τα γράμματα του Ελληνικού όσο και με αυτά του Λατινικού αλφαβήτου.

2. Το Διεθνές Σύστημα Μονάδων (SI)

Το διεθνές σύστημα μονάδων (SI) επονομάζεται και *συνεκτικό σύστημα μονάδων*, διότι οι εξισώσεις ανάμεσα στις αριθμητικές τιμές έχουν ακριβώς την ίδια μορφή (συμπεριλαμβανομένων και των αριθμητικών παραγόντων) με τις αντίστοιχες εξισώσεις μεταξύ των ποσοτήτων. Αυτό επιτυγχάνεται με τον καθορισμό μονάδων για τις βασικές ποσότητες (οι *βασικές μονάδες*, *base units*) και, κατόπιν, με την παραγωγή από αυτές καινούριων μονάδων που βασίζονται στις εξισώσεις μεταξύ των ποσοτήτων. Για παράδειγμα, η εξίσωση για την ταχύτητα (*v*), ορίζει την ταχύτητα να ισούται με το πηλίκο της μεταβολής του διαστήματος (*dl*) προς τη μεταβολή του χρόνου (*dt*): $v = dl/dt$. Έτσι, η μονάδα της ταχύτητας είναι το μέτρο ανά δευτερόλεπτο: m/s. Συνεπώς, το SI περιλαμβάνει *βασικές* και *παράγωγες* μονάδες. Επιπροσθέτως, υπάρχουν δύο *συμπληρωματικές* μονάδες, το ακτίνιο (radian - rad, για επίπεδες γωνίες) και το στερακτίνιο (steradian - sr, για στερεές γωνίες).

Οι επτά βασικές μονάδες του SI είναι: το **μέτρο** (*meter*) για τη μέτρηση μήκους (χρησιμοποιείται επίσης και η γραφή *metre*, ειδικά στη Βρετανία και τη Γαλλία), το **χιλιόγραμμα** (*kilogram*) για τη μάζα, το **δευτερόλεπτο** (*second*) για το χρόνο, το **αμπέρ**

(*ampere*) για την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος, το **κέλβιν** (*kelvin*) για τη θερμοδυναμική θερμοκρασία, η **καντέλα** (*candela*) για τη φωτοβολία (ένταση του φωτός, φωτεινή ένταση) και το **γραμμομόριο** (*mole*) για τη μέτρηση της ποσότητας μιας ουσίας. Οι μονάδες αυτές μαζί με τους συμβολισμούς τους παρουσιάζονται στον Πίνακα 1. Στο σημείο αυτό αξίζει να τονιστεί ότι συνδυάζοντας τις μονάδες που αφορούν στο χώρο (μήκος, εμβαδόν και όγκος) με αυτές της μάζας, του χρόνου και της θερμοκρασίας, είναι δυνατό να παραχθούν μονάδες για οποιαδήποτε φυσική ποσότητα.

Η βασική μονάδα για το μήκος είναι το **μέτρο** (m), το οποίο είχε πρωταρχικά οριστεί ως το ισοδύναμο με το μήκος μιας ράβδου που φυλάσσεται στις Σέβρες, στη Γαλλία. Το 1960, το μέτρο ορίστηκε ως το μήκος που ισούται με 1.650.763,73 μήκη κύματος της ακτινοβολίας, στο κενό, που προκύπτει κατά τη μετάπτωση από το επίπεδο $2p_{10}$ στο $5d_5$ του ατόμου του στοιχείου Κρυπτόν-86 (^{86}Kr). Το 1983, πάλι ως απάντηση στην εξελισσόμενη τεχνολογία, το μέτρο επαναπροσδιορίστηκε ως η απόσταση που διανύει το φως, στο κενό, σε χρονικό διάστημα $1/299.792.458$ του δευτερολέπτου.

Πίνακας 1. Οι Επτά Βασικές Μονάδες

Ποσότητα	Μονάδα	Σύμβολο
Μήκος (l)	μέτρο (meter)	m
Μάζα (όχι βάρος) (m^a)	χιλιόγραμμα (kilogram) ^a	kg
Χρόνος (t)	δευτερόλεπτο (second)	s
Ένταση ηλεκτρικού ρεύματος (I)	αμπέρ (ampere)	A
Θερμοδυναμική θερμοκρασία (T)	κέλβιν (kelvin)	K (όχι °K)
Φωτοβολία (I)	καντέλα (candela) ^b	cd
Ποσότητα ουσίας (n, Q)	γραμμομόριο (mole) ^γ	mol

^a Για ιστορικούς λόγους, το χιλιόγραμμα είναι η βασική μονάδα και όχι το γραμμάριο. Είναι μονάδα μάζας και όχι βάρους. Αν και το *βάρος* είναι ένα αποδεκτό συνώνυμο για τη *μάζα*, οι φυσιολόγοι φυτών πρέπει να προσέχουν να χρησιμοποιούν τον όρο *μάζα* αντί για *βάρος* όποτε είναι απαραίτητο – που πράγματι είναι τις περισσότερες φορές. (Να σημειωθεί ότι η ποσότητα μάζα συμβολίζεται με πλάγιο m , το οποίο δεν πρέπει να συγχέεται με το λατινικό m για το μέτρο. Βλέπε ISO Standards Handbook, 1993.)

^b Ως μονάδα φωτοβολίας (έντασης του φωτός, light intensity), η candela ήταν παραδοσιακά βασισμένη στην ευαισθησία του ανθρώπινου οφθαλμού. Όμως δεν γνωρίζουμε κάποια εφαρμογή της στη φυσιολογία φυτών. Το lux (lx) είναι μονάδα φωτισμού (illuminance) που βασίζεται στην candela ($1 \text{ lx} = 1 \text{ cd}\cdot\text{sr}\cdot\text{m}^{-2}$) και, παρόλο που έχει χρησιμοποιηθεί συχνά στην επιστήμη των φυτών, θα πρέπει να αποφεύγεται.

^γ Το γραμμομόριο (mole) πρέπει πάντα να χρησιμοποιείται για να δηλώσει την ποσότητα καθαρής ουσίας, και σε τέτοιες περιπτώσεις ο τύπος της ουσίας πρέπει να διευκρινίζεται. Όταν αναφερόμαστε στην ποσότητα ενός μείγματος ουσιών ή μίας άγνωστης ουσίας, πρέπει να χρησιμοποιείται ο όρος μάζα.

Για ιστορικούς λόγους, το γραμμάριο δεν είναι η βασική μονάδα για τη μάζα στο SI. Το **χιλιόγραμμα** είναι η μόνη βασική μονάδα με πρόθεμα. Είναι ισοδύναμη με τη μάζα του διεθνούς πρωτότυπου του χιλιόγραμμου, κατασκευασμένου από λευκόχρυσο και ιρίδιο, το οποίο φυλάσσεται στο BIPM, κάτω από συνθήκες καθορισμένες από την πρώτη CGPM του 1889. Σημειωτέον ότι το *βάρος* (*weight*) τεχνικά ορίζεται ως το μέτρο της *δύναμης* που ασκεί η βαρύτητα, ενώ το χιλιόγραμμα είναι μία μονάδα *μάζας*. Η μάζα είναι μία θεμελιώδης ποσότητα που δεν μεταβάλλεται με την επίδραση της βαρύτητας (για παράδειγμα, με την αλλαγή τοποθεσίας). Σε αντιδιαστολή, το βάρος των αντικειμένων είναι περίπου κατά 1 % λιγότερο στον ισημερινό από ό,τι είναι στους πόλους, και κατά 82 % λιγότερο στο φεγγάρι. Έτσι, είναι τεχνικά λάθος να χρησιμοποιούμε τον όρο *βάρος* σε συνδυασμό με τη μονάδα χιλιόγραμμα. Η σωστή μονάδα για το βάρος είναι το νιούτον (newton, N). (Στη γη, ένα βάρος μάζας 10 kg είναι περίπου 98 N). Αν και σε πολλές τεχνικές εφαρμογές, όπως και στην

καθημερινή χρήση, ο όρος 'βάρος' θεωρείται ένα αποδεκτό συνώνυμο για τη 'μάζα', οι επιστήμονες των φυτών πρέπει να χρησιμοποιούν τον όρο 'μάζα' οποτεδήποτε απαιτείται.

Ένας ζυγός εξισορροπεί τη μάζα ενός άγνωστου αντικειμένου με μία γνωστή μάζα: συνεπώς, ο ζυγός μετράει στην πραγματικότητα μάζα. Η λειτουργία όλων των ζυγών βασίζεται σε μία επιταχυνόμενη δύναμη, χωρίς όμως το μέγεθος της επιταχυνόμενης αυτής δύναμης να επηρεάζει τις μετρήσεις. Δυστυχώς, το μέγεθος της επιταχυνόμενης δύναμης επηρεάζει τις μετρήσεις μάζας στους ηλεκτρονικούς 'ζυγούς', διότι αυτοί μετράνε στην πραγματικότητα βάρος. Αυτό συνήθως δεν αποτελεί σοβαρό πρόβλημα, γιατί η δύναμη της βαρύτητας παραμένει σταθερή για μία δεδομένη τοποθεσία ενώ παράλληλα οι ηλεκτρονικοί ζυγοί και οι πλάστιγγες με ελατήριο έχουν βαθμονομηθεί με μία πρότυπη σειρά αντικειμένων γνωστής μάζας.

Όλα τα αντικείμενα που έχουν μάζα έχουν επίσης όγκο και έτσι εκτοπίζουν μία ποσότητα αέρα, ο οποίος έχει πυκνότητα $1,205 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (ξηρός αέρας, σε τυπική ατμοσφαιρική πίεση και θερμοκρασία $20 \text{ }^\circ\text{C}$). Σε ορισμένες περιπτώσεις, είναι απαραίτητη η διόρθωση του ποσού αυτού του εκτοπιζόμενου αέρα (για παράδειγμα, κατά τη μέτρηση της μάζας ενός αερόστατου με ήλιον!), αλλά καθώς οι περισσότεροι φυτικοί ιστοί έχουν πυκνότητα παρόμοια με αυτή του νερού ($1,000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), η απόκλιση είναι της τάξης του 0,1 % περίπου.

Να σημειωθεί ότι η ποσότητα μιας ουσίας μπορεί να εκφραστεί είτε με όρους μάζας είτε με βάση τον αριθμό των σωματιδίων που την αποτελούν: 'Το **γραμμομόριο (mole)** είναι η ποσότητα ουσίας ενός συστήματος που περιέχει τόσες στοιχειώδεις οντότητες όσα άτομα υπάρχουν σε 0,012 kg του άνθρακα-12, ^{12}C . Όταν χρησιμοποιείται το γραμμομόριο, οι στοιχειώδεις οντότητες πρέπει να προσδιορίζονται και να αναφέρονται. Τέτοιες οντότητες μπορεί να είναι άτομα, μόρια, ιόντα, ηλεκτρόνια, άλλα σωματίδια ή συγκεκριμένες ομάδες τέτοιων σωματιδίων' (Taylor, 1991). Οι φυσιολόγοι φυτών και άλλοι επιστήμονες συμπεριλαμβάνουν και τα φωτόνια μεταξύ των σωματιδίων που μπορούν να εκφραστούν σε γραμμομόρια, χρειάζεται όμως προσοχή, γιατί το einstein (ένα γραμμομόριο φωτονίων) δεν είναι μονάδα του SI και δεν θα έπρεπε να χρησιμοποιείται. Ακόμα, να σημειωθεί πως 1 mol μιας ουσίας περιέχει ποσότητα σωματιδίων ίση με τον **αριθμό του Avogadro** (που αντιστοιχεί σε 0,012 kg του άνθρακα-12, δηλ περίπου $6,022045\cdot 10^{23}$ σωματίδια).

Ακολουθώντας διάφορους αστρονομικούς ορισμούς του **δευτερολέπτου** (π.χ. το 1/86.400 της μέσης ηλιακής ημέρας), το δευτερόλεπτο τελικά ορίστηκε το 1967 ως η διάρκεια 9.192.631.770 περιόδων ακτινοβολίας που αντιστοιχεί με τη μετάβαση ανάμεσα στα δύο υπερλεπτά επίπεδα της βασικής κατάστασης του ατόμου του Καισίου-133 (^{133}Cs). Παρόλο που το λεπτό, η ώρα, η ημέρα, η εβδομάδα, ο μήνας και το έτος δεν ανήκουν επισήμως στο SI, οι φυσιολόγοι φυτών θα συνεχίσουν να τις χρησιμοποιούν όταν είναι απαραίτητο.

Το **αμπέρ (ampere)** ορίζεται ως το συνεχές ρεύμα που απαιτείται για να παραχθεί, στο κενό, δύναμη ίση με $2\cdot 10^{-7} \text{ N/m}$, μεταξύ δύο παράλληλων αγωγών απείρου μήκους που βρίσκονται σε απόσταση 1 m ο ένας από τον άλλο. Επειδή η δύναμη (το newton) ορίζεται με όρους μήκους, μάζας και χρόνου (βλ. Πίνακα 2), το ρεύμα θα μπορούσε επίσης να οριστεί με τους ίδιους όρους.

Το **κέλβιν (kelvin)** ορίστηκε από τη CGPM το 1967 ως το κλάσμα 1/273,16 της θερμοδυναμικής θερμοκρασίας του τριπλού σημείου του νερού. Επίσης, η ίδια CGPM υιοθέτησε το όνομα *kelvin* (σύμβολο K) για να χρησιμοποιείται αντί του *βαθμού Kelvin* (σύμβολο $^\circ\text{K}$). Εκτός από τη φυσική ποσότητα *θερμοδυναμική θερμοκρασία* (σύμβολο T , μονάδα K), γίνεται χρήση και της θερμοκρασίας Κελσίου (σύμβολο t , μονάδα $^\circ\text{C}$) σύμφωνα με τη σχέση $t = T - T_0$, όπου $T_0 = 273,15 \text{ K}$ εξ ορισμού. Ένα ποσόν ή μία διαφορά της θερμοκρασίας Κελσίου μπορεί να εκφραστεί τόσο σε kelvin όσο και σε βαθμούς Κελσίου.

Η καντέλα (**candela**) ως μονάδα φωτοβολίας (ή έντασης του φωτός, luminous intensity) ορίστηκε αρχικά ως η ένταση του φωτός που γίνεται αντιληπτή από τον ανθρώπινο οφθαλμό,

σαν συγκεκριμένο κλάσμα της ακτινοβολίας που παράγει ο λευκόχρυσος σε θερμοκρασία τήξεως. Όμως το 1979 η καντέλα επαναπροσδιορίστηκε ως η μονοχρωματική ακτινοβολία συχνότητας $540 \cdot 10^{12}$ hertz και φωτεινής έντασης (radiant intensity) $1/683$ watt/steradian. Το watt (μονάδα ισχύος) επίσης συνδυάζει μήκος, μάζα και χρόνο. Έτσι, παρόλο που το SI αναγνωρίζει επτά βασικές μονάδες, μόνο οι μονάδες για το μήκος, τη μάζα, το χρόνο, τη θερμοκρασία, και την ποσότητα μιας ουσίας (δηλ. το γραμμομόριο) είναι πραγματικά βασικές επειδή δεν προκύπτουν από άλλες μονάδες (αλλά και η θερμοκρασία θα μπορούσε να παραχθεί από τις τρεις πρώτες).

Επειδή η καντέλα και τα παράγωγά της βασίζονται στην ευαισθησία του ανθρώπινου οφθαλμού και οι 'ευαισθησίες' των φυτών μπορεί να είναι πολύ διαφορετικές (ανάλογα με τις χρωστικές που εμπλέκονται), η καντέλα και τα παράγωγά της (π.χ. το lux) δε θα έπρεπε να χρησιμοποιούνται από τους επιστήμονες των φυτών. Αυτό ισχύει ακόμη και με τον πλέον πρόσφατο ορισμό της καντέλας που βασίζεται στο μονοχρωματικό φως. Η καντέλα παραμένει χρήσιμη στους μηχανικούς που ασχολούνται με τον τεχνητό φωτισμό για ανθρώπινη χρήση, όμως άλλοι τρόποι μέτρησης της ακτινοβολίας μπορούν να προκύψουν από την ισχύ (watt) ανά μονάδα εμβαδού ($W \cdot m^{-2}$) ή τον αριθμό φωτονίων (σε γραμμομόρια) ανά μονάδα εμβαδού και ανά μονάδα χρόνου (συνήθως $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$). Αυτές είναι και οι μονάδες που πρέπει να χρησιμοποιούνται από τους επιστήμονες των φυτών. Σε κάθε περίπτωση, θα πρέπει επιπλέον να προσδιορίζονται είτε τα μήκη κύματος είτε οι συχνότητες.

Στον Πίνακα 2 αναγράφονται τα προθέματα που χρησιμοποιούνται στο SI. Κάποιες τριτοβάθμιες πηγές προτείνουν ότι τέσσερα από τα προθέματα δεν θα έπρεπε να προτιμώνται: centi, deci, hecto και deca. Παρόλο που έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως στο μετρικό σύστημα, προτάθηκε ότι θα έπρεπε να αποφεύγεται η χρήση τους όταν είναι βολικό να χρησιμοποιούνται άλλα προθέματα. Πάντως, οι πρωτοβάθμιες και δευτεροβάθμιες πηγές αναφοράς δεν κάνουν τέτοια διάκριση. Σε πολλές περιπτώσεις, η χρήση των τεσσάρων αυτών προθεμάτων είναι βολική και προσφέρει σαφήνεια. Σε άλλες περιπτώσεις, είναι λογικό να χρησιμοποιούνται μόνο προθέματα που είναι πολλαπλάσια του 1000 (10^3).

Πίνακας 2. Προθέματα στο SI^a (πολλαπλάσια και υποδιαίρεσεις)

Πρόθεμα	Σύμβολο	Παράγοντας	Πρόθεμα	Σύμβολο	Παράγοντας
deca (δεκα-)	da	(10)	deci (δεκατο-)	d	(10^{-1})
hecto (εκατο-)	h	(10^2)	centi (εκατοστο-)	c	(10^{-2})
kilo (χιλιο-)	k	(10^3)	milli (χιλιοστο-)	m	(10^{-3})
mega (μεγα-)	M	(10^6)	micro (μικρο-)	μ	(10^{-6})
giga (γιγα-)	G	(10^9)	nano (νανο-)	n	(10^{-9})
tera (τετρα-)	T	(10^{12})	pico (πικο-)	p	(10^{-12})
peta (πετα-)	P	(10^{15})	femto (φεμτο-)	f	(10^{-15})
exa	E	(10^{18})	atto	a	(10^{-18})
zetta	Z	(10^{21})	zepto	z	(10^{-21})
yotta	Y	(10^{24})	yocto	y	(10^{-24})

^a Για την καλύτερη διάκριση ανάμεσα στα προθέματα, ο τονισμός στα Αγγλικά γίνεται στην αρχική συλλαβή κάθε προθέματος (ενώ στα ελληνικά συνήθως στην τελευταία).

Ο Πίνακας 3 παρουσιάζει ορισμένες, σημαντικές, παράγωγες μονάδες του SI με ειδικά ονόματα, οι οποίες προκύπτουν από τις βασικές μονάδες και είναι χρήσιμες στους επιστήμονες των φυτών (Βλ. Taylor, 1991, για τους πλήρεις καταλόγους). Σημειωτέον, ότι η τυπική επιτάχυνση της βαρύτητας είναι πειραματικά προσδιορισμένη μονάδα και η ενοποιημένη ατομική μάζα είναι αυθαίρετη μονάδα.

Πίνακας 3. Παράγωγες Μονάδες που ενδιαφέρουν τους Φυσιολόγους Φυτών

Ποσότητα (σύμβολο) ^α	Μονάδα	Σύμβολο	Ορισμός
Εμβαδόν (<i>A</i>)	τετραγωνικό μέτρο	m ²	m·m
Όγκος (<i>V</i>)	κυβικό μέτρο	m ³	m·m·m
Ταχύτητα ^β (<i>v</i>)	μέτρα ανά δευτερόλεπτο	m·s ⁻¹	m·s ⁻¹
Δύναμη (<i>F</i>)	newton (νιούτον)	N	kg·m·s ⁻²
Ενέργεια (<i>E</i>), Έργο (<i>W</i>), Θερμότητα (<i>Q</i>)	joule (τζάουλ)	J	N·m (m ² ·kg·s ⁻²)
Ισχύς (<i>P</i>)	watt (βατ)	W	J·s ⁻¹ (m ² ·kg·s ⁻³)
Πίεση (<i>p</i>)	pascal (πασκάλ)	Pa	N·m ⁻² (kg·s ⁻² ·m ⁻¹)
Συχνότητα (<i>ν</i> , το ελληνικό <i>ν</i>)	hertz (χερτζ)	Hz	cycle·s ⁻¹
Ηλεκτρικό φορτίο (<i>Q</i>)	coulomb (κουλόμπ)	C	A·s
Ηλεκτρικό δυναμικό (<i>V</i> , <i>φ</i>)	volt (βολτ)	V	W·A ⁻¹ (J·A ⁻¹ ·s ⁻¹ , J·C ⁻¹)
Ηλεκτρική αντίσταση (<i>R</i>)	ohm (ωμ)	Ω	V·A ⁻¹
Ηλεκτρική αγωγιμότητα (<i>G</i>)	siemens (ζήμενς)	S	A·V ⁻¹ (Ω ⁻¹)
Ηλεκτρική χωρητικότητα (<i>C</i>)	farad (φαράντ)	F	C·V ⁻¹
Συγκέντρωση (<i>c</i>)	γραμμομόρια ανά κυβικό μέτρο	mol·m ⁻³	mol·m ⁻³
Ένταση φωτεινής ακτινοβολίας – irradiance (ενέργεια: <i>E</i>)	βατ ανά τετραγωνικό μέτρο	W·m ⁻²	J·s ⁻¹ ·m ⁻²
Ένταση φωτεινής ακτινοβολίας – irradiance (γραμμομόρια φωτονίων)	γραμμομόρια ανά τετραγωνικό μέτρο και δευτερόλεπτο	mol·m ⁻² ·s ⁻¹	mol·m ⁻² ·s ⁻¹
Φασματική ένταση φωτεινής ακτινοβολίας – spectral irradiance (γραμμομόρια φωτονίων)	γραμμομόρια ανά τετραγωνικό μέτρο, δευτερόλεπτο και νανόμετρο	mol·m ⁻² ·s ⁻¹ ·nm ⁻¹	mol·m ⁻² ·s ⁻¹ ·nm ⁻¹
Ένταση μαγνητικού πεδίου (<i>H</i>)	αμπέρ ανά μέτρο	A·m ⁻¹	A·m ⁻¹
Ενεργότητα (ραδιενεργού πηγής: <i>A</i>)	Becquerel (μπεκερέλ)	Bq	s ⁻¹
Τυπική επιτάχυνση της βαρύτητας	standard acceleration due to gravity	g _n	9,80665 m·s ⁻²
Ενοποιημένη ατομική μονάδα μάζας	Unified atomic mass unit	u	1/12 της μάζας του ¹² C

^α Τα σύμβολα των ποσοτήτων προέρχονται από το ISO Standards Handbook, 1993. Υπάρχουν πάντως πολλές παραλλαγές των συμβόλων αυτών.

^β Τεχνικός, η ταχύτητα είναι διανυσματικό μέγεθος και για τον προσδιορισμό της απαιτείται εκτός από το μέγεθος και η διεύθυνσή της. Για τους επιστήμονες των φυτών, πάντως, περισσότερο σημαντικό είναι συνήθως το μέγεθος.

Ο Πίνακας 4 αποτελεί περίληψη των συμβατικών τρόπων χρήσης των μονάδων του SI, που ενδιαφέρουν τους επιστήμονες των φυτών. Οι περισσότεροι από αυτούς τους κανόνες προέρχονται από την πρωταρχική πηγή αναφοράς: *Le Système International d' Unités (SI)*, 6^e édition (ή την αντίστοιχη αγγλο-αμερικανική έκδοση: Taylor, 1991) αλλά πολλοί βασίζονται

στις δευτεροβάθμιες πηγές ISO Standards Handbook και NIST Special Publication 811 (Taylor, 1995). Ένας μικρός αριθμός κανόνων αποτελούν υποδείξεις τριτοβάθμιων εκδόσεων - αυτοί οι κανόνες σημειώνονται εδώ και συζητούνται περαιτέρω στο κείμενο και σε σχέση με τους Πίνακες 5 και 6.

Πίνακας 4. Περίληψη των Συμβάσεων Τρόπου Γραφής του SI (Κανόνες)

Ονόματα μονάδων και προθεμάτων

1. Τα ονόματα των μονάδων αρχίζουν με μικρά (πεζά) γράμματα, εκτός από την αρχή μιας πρότασης ή σε τίτλους ή σε επικεφαλίδες όπου όλες οι κύριες λέξεις γράφονται με κεφαλαία (δηλαδή, οι συμβατικοί γραμματικοί κανόνες εφαρμόζονται στα *ονόματα*). Οι μονάδες που έχουν πάρει το όνομά τους από πρόσωπα^a επίσης γράφονται με μικρά γράμματα. (Ο 'βαθμός Κελσίου' μπορεί να φαίνεται εξαίρεση, αλλά ο 'βαθμός' ξεκινά με μικρό γράμμα και τροποποιείται από το 'Κελσίου', που είναι όνομα ενός ατόμου. Με την ευκαιρία, η χρήση του όρου 'βαθμοί εκατονταβάθμιου' - degrees centigrade - είναι απαρχαιωμένη).
2. Σε ένα όνομα μονάδας προστίθεται μόνο ένα πρόθεμα (π.χ. nm, όχι mmm). Το πρόθεμα και το όνομα της μονάδας γράφονται χωρίς ενωτική γραμμή ή κενό μεταξύ τους. Σε τρεις περιπτώσεις το τελευταίο φωνήεν του προθέματος παραλείπεται: megohm, kilohm και hectare. Τα προθέματα προστίθενται στο 'gram' και όχι στη βασική μονάδα 'kilogram'. Τα προθέματα δεν χρησιμοποιούνται ποτέ μόνα τους.
3. Αν μία σύνθετη μονάδα που περιέχει διαίρεση αναγράφεται με λέξεις, χρησιμοποιείται η λέξη *ανά* (αγγλικά *per*), (όχι η κάθετη γραμμή ή το σύμβολο της διαίρεσης, εκτός από πίνακες όπου ο χώρος μπορεί να είναι περιορισμένος). Μόνο ένα *ανά* επιτρέπεται σε ένα όνομα μονάδας. (Βλέπε Κανόνα 30 παρακάτω).
4. Αν μία σύνθετη μονάδα που περιέχει πολλαπλασιασμό αναγράφεται με λέξεις, η χρήση του ενωτικού είναι συνήθως περιττή, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί για σαφήνεια (π.χ. newton meter ή newton-meter). Η τελεία του πολλαπλασιασμού (·) δεν θα πρέπει να χρησιμοποιείται όταν τα ονόματα των μονάδων αναγράφονται με λέξεις.
5. Οι πληθυντικοί αριθμοί των ονομάτων των μονάδων σχηματίζονται με την προσθήκη ενός 's', εκτός από τα hertz, lux και siemens που παραμένουν τα ίδια, και το henry που γίνεται henries. [Στα ελληνικά ακολουθούνται οι γνωστοί γραμματικοί κανόνες για τις ελληνικές λέξεις που κλίνονται, τα δε ξενικά (άκλιτα) ονόματα παραμένουν ως έχουν.]
6. Στα αγγλικά τα ονόματα των μονάδων είναι σε πληθυντικό αριθμό για αριθμητικές τιμές μεγαλύτερες του 1, ίσες του 0, ή μικρότερες του -1. Όλες οι άλλες τιμές παίρνουν τον ενικό του ονόματος της μονάδας. [Στα ελληνικά ο ενικός χρησιμοποιείται μόνο για τιμές ίσες με 1 ή -1. Παραδείγματα: 100 μέτρα, 1 μέτρο, 0 βαθμοί Κελσίου, -4 βαθμοί Κελσίου, 0,5 μέτρα, 0,2 βαθμοί Κελσίου, -1 βαθμός Κελσίου, 0,5 λίτρα.]
7. Το NIST SP 811 (Taylor, 1995) συνιστά να αποφεύγονται τα πλήρη ονόματα των μονάδων. Καλύτερο είναι να χρησιμοποιούνται τα σύμβολα των μονάδων. Πάντως είναι φρόνιμο να χρησιμοποιείται το πλήρες όνομα την πρώτη φορά που η μονάδα παρουσιάζεται σε ένα κείμενο, αν υπάρχει η υποψία ότι οι αναγνώστες μπορεί να μη γνωρίζουν τη μονάδα.

Σύμβολα για τις μονάδες

8. Τα σύμβολα των μονάδων πρέπει να θεωρούνται ως μαθηματικές οντότητες. Η φυσική ποσότητα ισούται με την αριθμητική τιμή επί την 'ποσότητα' που αντιπροσωπεύεται από το σύμβολο της μονάδας. Έτσι, με μερικές εξαιρέσεις (βλέπε Κανόνες 7 και 15), τα σύμβολα χρησιμοποιούνται όταν οι μονάδες χρησιμοποιούνται μαζί με τις αριθμητικές τιμές.

9. Τα σύμβολα των μονάδων δεν έχουν ποτέ πληθυντικό αριθμό (π.χ. με προσθήκη του 's').
10. Ένα σύμβολο ποτέ δεν ακολουθείται από τελεία εκτός από το τέλος μιας πρότασης.
11. Τα σύμβολα των μονάδων που παίρνουν το όνομα τους από πρόσωπα^a έχουν το πρώτο γράμμα τους κεφαλαίο, αλλά το όνομα της μονάδας γράφεται με μικρά γράμματα (βλέπε κανόνα 1). Λοιπά σύμβολα επίσης δεν αρχίζουν με κεφαλαίο εκτός από την περίπτωση του λίτρου: οι δευτέρου επιπέδου πηγές αναφοράς προτείνουν ένα κεφαλαίο L αντί για το μικρό γράμμα l ως το σύμβολο για το λίτρο για να αποφεύγεται η σύγχυση με τον αριθμό ένα (1). Και τα δύο, L και l, αναγνωρίζονται από την πρωταρχική πηγή αναφοράς ως σύμβολα για το λίτρο. Εδώ όμως συνιστάται η χρήση του κεφαλαίου L.
12. Τα σύμβολα των προθεμάτων μεγαλύτερων του kilo αρχίζουν με κεφαλαίο ενώ το kilo όπως και τα υπόλοιπα γράφονται με μικρά. Είναι σημαντικό να ακολουθείται αυτός ο κανόνας γιατί κάποια γράμματα προθεμάτων είναι τα ίδια με κάποιο σύμβολο ή άλλο πρόθεμα: G για το giga και g για το γραμμάριο, K για το Kelvin και k για το κιλό, M για το mega και m για το milli και για το μέτρο, N για το Newton και n για το nano και, τέλος, T για το tera και t για τον μετρικό τόννο (που ισούται με μάζα 1000 kg).
13. Χρησιμοποιούνται αριθμητικοί εκθέτες (² και ³) για να δηλώσουν τα τετράγωνα και τους κύβους. Δεν χρησιμοποιούνται τα sq., cu. ή c. Ακόμα, είναι καλύτερο, όταν τα ονόματα των μονάδων γράφονται με λέξεις, να χρησιμοποιείται η μορφή 'μονάδα στο τετράγωνο' παρά η μορφή 'τετραγωνική μονάδα' εκτός αν αναφερόμαστε σε όγκο ή εμβαδόν: 'τετραγωνικό μέτρο', 'κυβικό μέτρο'.
14. Οι εκθέτες επίσης εφαρμόζονται και στο πρόθεμα που προσαρτάται στο όνομα μιας μονάδας. Την πολλαπλάσια ή υποπολλαπλάσια μονάδα τη χειριζόμαστε ως ενιαία οντότητα. Έτσι το μm^3 ισούται με 10^{-18}m^3 (και όχι με 10^{-6}m^3).
15. Πηγές αναφοράς τρίτου επιπέδου και η καθιερωμένη χρήση της αγγλικής γλώσσας [αλλά και της ελληνικής] συνιστούν ότι οι προτάσεις δεν πρέπει να ξεκινούν με αριθμούς. Επειδή ένας αριθμός (αριθμητική τιμή) προηγείται πάντα του συμβόλου μιας μονάδας, μία πρόταση δεν μπορεί ποτέ να ξεκινήσει με το όνομα ή το σύμβολο μιας μονάδας. Όποτε είναι δυνατό, η πρόταση θα πρέπει να επαναδιατυπώνεται ώστε να μην ξεκινά με αριθμητικό. Αν αυτό δεν είναι εφικτό, ο αριθμός και το όνομα της μονάδας θα πρέπει να γράφονται ολογράφως.
16. Σύνθετα σύμβολα που σχηματίζονται με πολλαπλασιασμό μπορεί να περιέχουν την τελεία γινομένου (·) για να δηλώνεται ο πολλαπλασιασμός. Οι διεθνείς κανόνες ορίζουν ότι η τελεία μπορεί να αντικατασταθεί από ένα κενό διάστημα. Στις Ηνωμένες Πολιτείες πάντως, προτείνεται η τελεία του πολλαπλασιασμού. Σε σύνθετα σύμβολα που σχηματίζονται με διαίρεση μπορεί να χρησιμοποιείται η πλάγια γραμμή (/), μία οριζόντια γραμμή με μονάδες πάνω και κάτω ή ακόμα καλύτερα αρνητικοί εκθέτες, π.χ. $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$, κ.τ.λ. Σε καμία περίπτωση δεν πρέπει τα σύμβολα να γράφονται μαζί (π.χ. Wm^{-2}).
17. Επειδή τα σύνθετα σύμβολα μονάδων είναι μαθηματικές οντότητες, δεν πρέπει να περιλαμβάνουν λέξεις ή συντομεύσεις που δεν ανήκουν στο σύμβολο. Αυτό δεν ισχύει για ονόματα μονάδων χωρίς αριθμητικά. Έτσι, πρέπει να αποφεύγεται η έκφραση ' $\mu\text{mol CO}_2 \cdot (\text{mol αέρα})^{-1}$ ', αλλά μπορεί να γραφεί 'Τα δεδομένα παρουσιάζονται ως μικρογραμμομόρια CO_2 ανά γραμμομόριο αέρα ($\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$)'. (Βλέπε σχετική συζήτηση στο κείμενο.)
18. Δεν πρέπει να αναμιγνύονται τα σύμβολα των μονάδων με ολογράφως γραμμένα ονόματα των μονάδων (π.χ. W ανά τετραγωνικό μέτρο). Επίσης ποτέ δεν πρέπει να αναμιγνύονται μονάδες του SI ή τα αποδεκτά συγγενικά τους (π.χ. λίτρο, λεπτό, ώρα, ημέρα, επίπεδη γωνία σε μοίρες) με μονάδες άλλου συστήματος όπως το CGS ή το αγγλικό σύστημα (π.χ. μίλια ανά λίτρο, kg ft^{-3} , γραμμάρια ανά ουγκιά για την ποσότητα λίπους σε μία τροφή).
19. Το σύμβολο του ποσοστού (%) είναι μία αποδεκτή μονάδα για χρήση με το SI: % = 0,01. Όταν χρησιμοποιείται το ποσοστό, αφήνεται ένα κενό μεταξύ του συμβόλου % και του αριθμού με τον οποίο πολλαπλασιάζεται: $X = 25 \%$ [και όχι 25%] = $25 \times 0,01 = 0,25$. Αντί να χρησιμοποιούνται τέτοιοι όροι όπως 'ποσοστό κατ' όγκον' (που δεν έχουν και νόημα γιατί το

% είναι απλά ένας αριθμός), μία συνιστώμενη προσέγγιση είναι να παρουσιάζονται τα δεδομένα ως mL/L, $\mu\text{mol/mol}$, g/kg, mol/L, mol/kg, κ.τ.λ. (Taylor, 1995).

20. Τα σύμβολα των μονάδων τυπώνονται σε ρωμαϊκό τύπο (όρθια γράμματα). *Πλάγια γράμματα* χρησιμοποιούνται για σύμβολα των ποσοτήτων, όπως A για το εμβαδόν, m για τη μάζα, t για τον χρόνο, Ψ για το υδατικό δυναμικό. Στη δακτυλογράφηση ή στη συνήθη γραφή (με το χέρι) μπορεί να χρησιμοποιηθεί η υπογράμμιση ως υποκατάστατο της πλάγιας γραφής. Σύμφωνα με αυτόν τον κανόνα, το ελληνικό μι, μ , όταν χρησιμοποιείται ως σύμβολο-πρόθεμα για το micro, πρέπει να αναγράφεται σε ρωμαϊκό τύπο (όχι με πλάγια γράμματα).

Αριθμητικά, συχνά μαζί με Σύμβολα

21. Μεταξύ του τελευταίου ψηφίου της αριθμητικής τιμής και του συμβόλου της αντίστοιχης μονάδας πρέπει να μεσολαβεί ένα κενό διάστημα. Μία τελεία πολλαπλασιασμού, ένα κενό, ή μία κάθετος (/) χρησιμοποιείται μεταξύ συμβόλων μονάδων (εκεί που υπάρχουν περισσότερα από ένα). Εξαιρέσεις αποτελούν τα σύμβολα της μοίρας, του λεπτού και του δευτερόλεπτου για τις γωνίες και τα γεωγραφικά πλάτη (π.χ. 30° βόρειο). Να σημειωθεί, ότι ο βαθμός Κελσίου ($^\circ\text{C}$) είναι ένα ενιαίο σύμβολο μονάδας (δηλαδή δεν υπάρχει κενό μεταξύ του $^\circ$ και του C) και θα πρέπει να προηγείται κενό. Είναι λάθος να γράφουμε 12° με 25°C (δηλαδή, να χρησιμοποιούμε το $^\circ$ χωρίς το C). Σωστές μορφές είναι οι: 12°C με 25°C , $(12-25)^\circ\text{C}$, ή $12-25^\circ\text{C}$.

22. Όταν μία ποσότητα χρησιμοποιείται ως επιθετικός προσδιορισμός, οι αγγλικοί γραμματικοί κανόνες συνιστούν ότι πρέπει να χρησιμοποιείται ένα ενωτικό μεταξύ του αριθμητικού και του *ονόματος* της μονάδας: ένας λαμπτήρας-πεντακοσίων-βατ. Αλλά όταν χρησιμοποιούνται *σύμβολα* μονάδων, η γραμμή θα πρέπει να παραλείπεται: ένας λαμπτήρας 500 W (γιατί το σύμβολο είναι μία μαθηματική οντότητα και η γραμμή μπορεί να θεωρηθεί ως το σύμβολο της αφαίρεσης). [Φυσικά ο κανόνας αυτός δεν έχει εφαρμογή στα ελληνικά.]

23. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, η τελεία χρησιμοποιείται ως υποδιαστολή αν και σε μερικές χώρες (Γαλλία, Γερμανία, Μεγάλη Βρετανία) χρησιμοποιείται το κόμμα ή μία ανυψωμένη τελεία. [Στην Ελλάδα χρησιμοποιούμε παραδοσιακά το κόμμα ως υποδιαστολή και την τελεία για τον προαιρετικό διαχωρισμό των ακέραιων ψηφίων ανά τρία. Σπάνια μόνο χρησιμοποιείται το κενό διάστημα ως διαχωριστικό, στη θέση της τελείας, βλ. #24.]

24. Για να αποφεύγεται η σύγχυση (επειδή μερικές χώρες χρησιμοποιούν το κόμμα ως υποδιαστολή), μπορεί να χρησιμοποιείται ένα κενό αντί για το κόμμα, για να συγκεντρώνονται οι αριθμοί σε σύνολα των τριών ψηφίων. Αυτός ο κανόνας μπορεί να ακολουθείται τόσο στα δεξιά όσο και στα αριστερά της υποδιαστολής. Όταν υπάρχουν μόνο τέσσερα ψηφία, η παράλειψη του κενού είναι προτιμότερη, εκτός και αν ο αριθμός βρίσκεται σε στήλη με άλλους αριθμούς που έχουν περισσότερα από τέσσερα ψηφία. (Αντί για αυτόν τον κανόνα, πολλά έντυπα που χρησιμοποιούν συστηματικά την τελεία ως υποδιαστολή, χρησιμοποιούν επίσης και το κόμμα για να χωρίσουν τους αριθμούς σε ομάδες των τριών ψηφίων).

25. Οι δεκαδικοί αριθμοί είναι προτιμότεροι (και πλέον εύχρηστοι) από τα κοινά κλάσματα.

26. Δεκαδικοί μικρότεροι της μονάδας γράφονται με ένα μηδέν αριστερά της υποδιαστολής.

27. Πολλαπλάσια και υποπολλαπλάσια γενικά επιλέγονται έτσι ώστε η αριθμητική τιμή να βρίσκεται μεταξύ του 0,1 και του 1000. Εξαιρέσεις παρουσιάζονται όταν οι διαφορές μεταξύ αριθμών που συγκρίνονται είναι υπερβολικές (π.χ. 1500 m καλώδιο πάχους 2 mm), και για σύγκριση, κυρίως σε πίνακες, όπου παρόμοιες ποσότητες πρέπει να χρησιμοποιούν την ίδια μονάδα, ακόμα και αν οι τιμές δεν εμπίπτουν στην παραπάνω κλίμακα.

28. Με αριθμητικές τιμές, η τελεία του πολλαπλασιασμού δεν θα πρέπει να αντικαθίσταται από κάποιο άλλο σημείο πολλαπλασιασμού (\times). (Για παράδειγμα γράψτε 2·2 και όχι 2x2.)

Ο παρονομαστής του κλάσματος

29. Για μία σύνθετη μονάδα που αποτελεί πηλίκο, χρησιμοποιείται το ‘ανά’ (per) για να διατυπωθεί το όνομα (π.χ. μέτρα ανά δευτερόλεπτο) και μία κάθετος (/) (slash, solidus) για να σχηματιστεί το σύμβολο, χωρίς κενό πριν και μετά την κάθετο (π.χ. m/s). Οι σύνθετες μονάδες μπορούν να αναγραφούν και με αρνητικούς εκθέτες (π.χ. $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ή m s^{-1}).

30. Δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται δύο ή περισσότερα ‘ανά’ ή κάθετες στην ίδια έκφραση γιατί δημιουργείται σύγχυση (βλέπε Κανόνα 3). Οι αρνητικοί εκθέτες βοηθούν στην αποφυγή αυτού του προβλήματος: $\text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$ (όχι J/K/mol). Πάντως και το J/K·mol είναι αποδεκτό γιατί όλα τα σύμβολα δεξιά της καθέτου ανήκουν στον παρονομαστή.

31. Πολλές τριτοβάθμιες πηγές αναφοράς προτείνουν ότι ο παρονομαστής δεν πρέπει να είναι πολλαπλάσιο ή υποπολλαπλάσιο μιας βασικής μονάδας του SI (π.χ. $\mu\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$ αλλά όχι $\text{N}\cdot\mu\text{m}^{-2}$). (Βλέπε όμως τη σχετική συζήτηση στο κείμενο).

^a Πρόσωπα από τα οποία πήραν το όνομά τους ορισμένες μονάδες: Antoine Henri Becquerel (Γαλλία, 1852 – 1908), Anders Celsius (Σουηδία, 1701 - 1744), Charles Augustin de Coulomb (Γαλλία, 1736 – 1806), Michael Faraday (Αγγλία, 1791 – 1867), Heinrich Rudolf Hertz (Γερμανία, 1857 – 1894), James Prescott Joule (Αγγλία, 1818 – 1889), Lord William Thomson Kelvin (Σκωτία, 1824 – 1907), Sir Isaac Newton (Αγγλία, 1643 – 1727), Georg Simon Ohm (Γερμανία, 1787 – 1854), Blaise Pascal (Γαλλία, 1623 – 1662), Sir William Siemens (Γερμανία, Μεγάλη Βρετανία, 1823 – 1883), Count Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta (Ιταλία, 1745 – 1827) και James Watt (Σκωτία, Αγγλία, 1736 – 1819).

Πίνακας 5. Μονάδες που χρησιμοποιούνται μαζί με το SI (αλλά δεν ανήκουν επίσημα σε αυτό^a)

Όνομα	Σύμβολο	Αντιστοιχία σε μονάδες SI
λεπτό	min	1 min = 60 s
ώρα	h	1 h = 60 min = 3.600 s
ημέρα	d	1 d = 24 h = 86.400 s
μοίρα (degree)	°	1° = ($\pi/180$) rad
λεπτό (της μοίρας)	'	1' = (1/60)° = ($\pi/10.800$) rad
δευτερόλεπτο (της μοίρας)	"	1" = (1/60)' = ($\pi/648.000$) rad
λίτρο	L (l)	1 L = 1 dm ³ = 10 ⁻³ m ³
μετρικός τόννος	t	1 t = 10 ³ kg
ενοποιημένη ατομική μονάδα μάζας ^β	u	1 u = (1/12) της μάζας του ατόμου του ισότοπου ¹² C
τυπική επιτάχυνση της βαρύτητας ^γ	g _n	9,80665 m·s ⁻²

^a Επειδή αυτές οι μονάδες πρέπει να πολλαπλασιαστούν με κάποιον παράγοντα ώστε να γίνουν ισοδύναμες με αυτές του SI, δεν είναι τυπικά αποδεκτές σαν μονάδες του SI.

^β Η πραγματική τιμή σε μονάδες SI της μονάδας της ενοποιημένης ατομικής μάζας πρέπει να καθοριστεί πειραματικά. Προς το παρόν θεωρείται ότι: u = 1,6605402(10) × 10⁻²⁷ kg. Στην παρένθεση δηλώνεται η αβεβαιότητα των δύο τελευταίων δεκαδικών ψηφίων, στο επίπεδο μίας τυπικής απόκλισης.

^γ Η τιμή αυτή επιβεβαιώθηκε το 1913 από την 5^η CGPM. Το σύμβολο g_n πρέπει να χρησιμοποιείται αντί των διαφόρων συμβόλων που έχουν χρησιμοποιηθεί κατά καιρούς για να δηλώσουν την επιτάχυνση της βαρύτητας στην επιφάνεια της γης (π.χ. g, g, G, G, xg κ.ά.).

Η CIPM αναγνώρισε το 1969 ότι οι χρήστες του SI θα συνεχίσουν επίσης να χρησιμοποιούν και κάποιες μονάδες που δεν περιλαμβάνονται στο SI, αλλά είναι σημαντικές και έχουν ευρύτατη διάδοση. Αυτές οι μονάδες (μαζί με την ενοποιημένη ατομική μονάδα μάζας και την τυπική επιτάχυνση της βαρύτητας), παρουσιάζονται στον Πίνακα 5. Να σημειωθεί ότι ένας στόχος για την υιοθέτηση του SI ήταν η δημιουργία ενός κατανοητού

συστήματος, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, στο οποίο οι παράγωγες μονάδες αποτελούν ποικίλους συνδυασμούς των βασικών μονάδων, χωρίς την ανάγκη να περιλαμβάνονται αριθμητικοί παράγοντες πολλαπλασιασμού. Όμως όλες οι μονάδες του Πίνακα 5 απαιτούν τη χρήση τέτοιων παραγόντων κι επομένως στερούνται των πλεονεκτημάτων της σαφήνειας των μονάδων του SI. Συνιστάται λοιπόν να περιοριστεί η χρήση τους σε ειδικές περιπτώσεις. Είναι σίγουρο πάντως ότι οι επιστήμονες των φυτών θα χρησιμοποιούν χωρίς δισταγμό μονάδες όπως το λεπτό, η ώρα και η ημέρα (για να μην πούμε και την εβδομάδα, το μήνα και το χρόνο), κατά την παρουσίαση μεθόδων και αποτελεσμάτων. Το λίτρο είναι επίσης μία πολύ πιο βολική μονάδα συγκριτικά με το κυβικό μέτρο, που είναι η επίσημη μονάδα του SI. Έτσι, μπορούμε να είμαστε ευγνώμονες για τις αποφάσεις της CIPM του 1969 καθώς και για την ύπαρξη του Πίνακα 5!

Πίνακας 6. Μερικές Απορριφθείσες Μετρικές Μονάδες

Απορριφθείσα μετρική μονάδα	Αποδεκτή μονάδα SI
μικρό – micron (μ)	μικρόμετρο (μm)
μιλμικρό – millimicron (mμ)	νανόμετρο (nm)
άνγκστρομ ^a – ångstrom (\AA)	0,1 νανόμετρο (nm)
μπαρ ^a (bar)	0,1 μεγαπασκάλ (MPa) 100 χιλιοπασκάλ (kPa)
θερμίδα – calorie (cal)	4,1842 τζάουλ (J)
βαθμός εκατονταβάθμιου – degree centigrade ($^{\circ}\text{C}$)	βαθμός Κελσίου ($^{\circ}\text{C}$)
εκτάριο ^a – hectare (ha)	10.000 m ² ή 0,01 km ²
αϊνστάιν – einstein (E)	γραμμομόριο φωτονίων ή κβάντα (mol)
ντάλτον – dalton (Da)	Ενοποιημένη ατομική μονάδα μάζας (u) (βλ. Πίνακα 5)
τυπική ‘βαρύτητα’ – standard ‘gravity’ (g, g, G, G, xg, κλπ.)	τυπική επιτάχυνση της βαρύτητας (g_n)
γραμμομοριακό διάλυμα – molar solution (M)	mol·L ⁻¹ (kmol·m ⁻³) (mol ανά L διαλύματος)
γραμμομοριακό διάλυμα κατά βάρος διαλύτη – molal solution (m)	mol·kg ⁻¹ (mol ανά kg διαλύτη)
μέρη στο εκατομμύριο – parts per million (ppm)	mg·kg ⁻¹ μmol·mol ⁻¹ (π.χ. CO ₂ στον αέρα) (χρησιμοποιούμε kg για μεικτές ουσίες και mol για καθαρές ουσίες και αέρια) 1000 mm ³ ·m ⁻³ (π.χ. για όγκους υγρών)
μέρη στο δισεκατομμύριο – parts per billion (ppb)	μg·kg ⁻¹ nmol·mol ⁻¹ mm ³ ·m ⁻³ (π.χ. για όγκους υγρών)

^a Λόγω της τρέχουσας πρακτικής σε ορισμένα πεδία, η CIPM (1978) θεώρησε ότι αυτές οι μονάδες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν προσωρινά (μαζί με το SI) αλλά δεν θα πρέπει να εισαχθούν εκεί που δεν χρησιμοποιούνται σήμερα.

Ο Πίνακας 6 περιλαμβάνει μερικές μονάδες, οι οποίες χρησιμοποιούνταν μαζί με το μετρικό σύστημα, αλλά η CIPM συνιστά να μη χρησιμοποιούνται μαζί με το SI. Παρόλα αυτά μερικές από αυτές συνεχίζουν να χρησιμοποιούνται ευρέως μεταξύ των επιστημόνων των φυτών.

3. Μερικές Ειδικές Θεωρήσεις

Αν και οι περισσότεροι από τους κανόνες του Πίνακα 4 εξηγούνται επαρκώς στον πίνακα, λίγοι από αυτούς καθώς και μερικές από τις μονάδες των Πινάκων 5 και 6 αξίζει να συζητηθούν περισσότερο.

A. Γλωσσικές Συμβάσεις με τα Ονόματα και τα Σύμβολα των Μονάδων SI. (Οι κανόνες του Πίνακα 4 που συζητούνται στη συνέχεια είναι οι: 1, 7, 8, 15, 17 και 22). Τα πλήρη ονόματα για τις μονάδες ακολουθούν τους κανόνες της γραμματικής (στα αγγλικά ή άλλη γλώσσα), ενώ τα *σύμβολα* των μονάδων πρέπει να θεωρούνται ως μαθηματικές οντότητες με τις οποίες πολλαπλασιάζεται το αριθμητικό που προηγείται. Για παράδειγμα, τα *ονόματα* των μονάδων αρχίζουν με μικρό γράμμα εκτός και αν οι γραμματικοί κανόνες απαιτούν τη χρήση κεφαλαίων (π.χ. στην αρχή μιας πρότασης και στους τίτλους), αλλά τα μικρά ή τα κεφαλαία γράμματα των *συμβόλων* δεν πρέπει να αλλάζουν ανεξάρτητα από το πού εμφανίζονται. Στα αγγλικά, τα ονόματα μετατρέπονται στον πληθυντικό με την προσθήκη ενός s, αλλά αυτό δε γίνεται ποτέ στα σύμβολα του SI. Οι αριθμοί (συνήθως οι γραμμένοι ολογράφως) που ακολουθούνται από ονόματα μονάδων (τα οποία χρησιμοποιούνται με την έννοια του επιθέτου) μπορούν να ενωθούν μεταξύ τους με μία παύλα (fifty-watt lamp), το ενωτικό όμως δεν χρησιμοποιείται στην περίπτωση των συμβόλων (ένας λαμπτήρας 50 W). [Η περίπτωση αυτή προφανώς δεν έχει εφαρμογή στα ελληνικά]. Τα σύμβολα των μονάδων, χάρη στη μαθηματική τους φύση, είναι φυσικά προτιμότερο να χρησιμοποιούνται αντί των ονομάτων. Εννοείται πάντως ότι το όνομα μπορεί να χρησιμοποιηθεί την πρώτη φορά που εμφανίζεται η μονάδα αν ο αναγνώστης είναι πιθανό να μη γνωρίζει τη μονάδα ή το σύμβολό της.

Σε μερικές γλώσσες είναι συνηθισμένο να αρχίζει μία πρόταση με ένα αριθμητικό. Στα αγγλικά [όπως και στα ελληνικά] αυτό πρέπει να αποφεύγεται, κατά προτίμηση επαναδιατυπώνοντας την πρόταση, ή εάν δεν γίνεται αλλιώς, με την πλήρη γραφή της αριθμητικής τιμής και του ονόματος της μονάδας.

Επειδή τα ονόματα ακολουθούν γραμματικούς κανόνες, είναι αποδεκτό να τα χρησιμοποιούμε από κοινού με άλλους όρους, αλλά αυτοί οι όροι δεν πρέπει να περιλαμβάνονται σε μονάδες SI. Παραδείγματα σωστής χρήσης: 'Η ροή φωτονίων μετρήθηκε ως γραμμομόρια φωτονίων της φωτοσυνθετικά ενεργού περιοχής (400 - 700 nm) ανά τετραγωνικό μέτρο και δευτερόλεπτο ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$).' 'Τα δεδομένα παρουσιάζονται ως χλιοστογραμμάρια πρωτεΐνης ανά γραμμάριο νωπού ιστού (mg/g).' 'Η: 'Τα πρωτεϊνικά δεδομένα παρουσιάζονται ανά νωπή μάζα ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$).' Ο κανόνας όμως αυτός συχνά παραβλέπεται από τους φυσιολόγους φυτών, οι οποίοι μερικές φορές επινοούν ακατανόητα σύμβολα για να παρουσιάσουν τα δεδομένα τους, για παράδειγμα: mg/gfw (που θέλει να πει χλιοστογραμμάρια ανά γραμμάριο νωπού βάρους) ή $\text{mg}\cdot(\text{kg νωπού βάρους})^{-1}$ (που θέλει να πει χλιοστογραμμάρια ανά χιλιόγραμμο νωπού βάρους). Ο κανόνας συζητήθηκε από τον Downs (1988) και ίσως και σε άλλες τριτοβάθμιες πηγές τις οποίες δεν γνωρίζω, αλλά έχει ούτως ή άλλως υπέρμετρα παραβλεφθεί από τους φυσιολόγους φυτών. *Δίνεται όμως έμφαση στον κανόνα αυτό από τις δευτεροβάθμιες πηγές* (ISO Standards Handbook, 1993, NIST SP 811, Taylor, 1995). Οι φυσιολόγοι φυτών πρέπει να βελτιώσουν την ποιότητα των εργασιών και παρουσιάσεών τους με το να τηρούν σχολαστικά αυτόν τον κανόνα.

B. Κενό Διάστημα Ανάμεσα σε Αριθμούς και Μονάδες αλλά και στο Εσωτερικό των Σύνθετων Μονάδων. Για κάποιον άγνωστο λόγο γίνεται όλο και περισσότερο σύνηθες το να παραλείπεται το κενό διάστημα ανάμεσα σε έναν αριθμό και τη μονάδα που ακολουθεί (π.χ. μία φιάλη των 50mL). Στις χειρότερες περιπτώσεις, το κενό ή το 'επί' (·) παραλείπονται μεταξύ των συμβόλων σε μία πολλαπλή μονάδα, δημιουργώντας έτσι νέα σύμβολα χωρίς νόημα (π.χ. Wm^{-2} , $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$, κλπ). Αυτή η πρακτική αντίκειται στους Κανόνες 16, 19 και

21 του Πίνακα 4, και η παράλειψη του κενού μπορεί να δημιουργήσει σύγχυση στους αναγνώστες. Η χρήση του ‘επί’ (·) συνιστάται με ιδιαίτερη έμφαση στις ΗΠΑ (Taylor, 1995) αλλά οι φυσιολόγοι φυτών το έχουν χρησιμοποιήσει σπάνια. Η σωστή του χρήση θα αφαιρούσε οποιαδήποτε ασάφεια από τις πολλαπλές μονάδες και θα ξεπερνούσε την τάση να τυπώνονται ή γράφονται οι μονάδες μαζί.

Γ. Πλάγια Στοιχεία για τα Σύμβολα των Ποσοτήτων, Ρωμαϊκά (όρθια) για τα Σύμβολα των Μονάδων. Αυτή η απλή πρακτική αναφέρεται στον Κανόνα 20 του Πίνακα 4 αλλά πολλοί φυσιολόγοι φυτών φαίνεται να μην την γνωρίζουν. Ας θυμηθούμε ότι τα σύμβολα των μονάδων γράφονται με το ρωμαϊκό τύπο (όρθιοι χαρακτήρες) ενώ τα πλάγια στοιχεία (*πλάγια γράμματα, italics*) επιβάλλονται για τα σύμβολα των ποσοτήτων, όπως το *A* για το εμβαδόν, *m* για τη μάζα, *t* για το χρόνο και *Ψ* για το υδατικό δυναμικό. Στην περίπτωση δακτυλογράφησης ή γραφής με το χέρι, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η υπογράμμιση στη θέση των πλάγιων στοιχείων. Σύμφωνα με αυτόν τον κανόνα, το ελληνικό μι, (μ) όταν χρησιμοποιείται ως το σύμβολο του προθέματος μικρο- (micro), πρέπει να τυπώνεται σε ρωμαϊκό τύπο, δηλαδή όρθια. Δυστυχώς, δεν το επιτρέπουν αυτό όλοι οι επεξεργαστές κειμένου. (Να σημειωθεί πάντως ότι το Ελληνικό, Λατινικό ή ακόμα και το Κυριλλικό *αλφάβητο* μπορούν να τυπωθούν είτε σε ρωμαϊκό τύπο είτε με *πλάγια στοιχεία*, σε πολλές γραμματοσειρές των σύγχρονων επεξεργαστών κειμένου.)

Δ. Μόνο Ένα ‘ανά’ ή Κάθετη Γραμμή για μία Πολλαπλή Μονάδα. Αυτός είναι ένας άλλος απλός κανόνας τον οποίο πρέπει να εφαρμόσουν περισσότερο οι φυσιολόγοι φυτών (Κανόνας 30, Πίνακας 4): Να μη χρησιμοποιούνται δύο ή περισσότερα ‘ανά’ ή κάθετες γραμμές στην ίδια έκφραση διότι δημιουργείται σύγχυση. Οι αρνητικοί εκθέτες αποτρέπουν αυτό το πρόβλημα: $J \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$ (όχι $J/K/mol$). Το $J/K \cdot mol$ είναι αποδεκτό διότι όλα τα σύμβολα δεξιά της κάθετης γραμμής ανήκουν στον παρονομαστή. Αν αυτό πρέπει να διαβαστεί με το πλήρες όνομά του, διαβάζουμε: τζάουλ ανά κέλβιν και γραμμομόριο.

Ε. Μόνο Βασικές Μονάδες στους Παρονομαστές. Όπως αναφέρθηκε στον Κανόνα 31 του Πίνακα 4, πολλές τριτεύουσες πηγές προτείνουν ο παρονομαστής να μην είναι πολλαπλάσιο ή υποπολλαπλάσιο μιας βασικής μονάδας του SI (π.χ. $\mu N \cdot m^{-2}$ αλλά όχι $N \cdot \mu m^{-2}$). Σαν επιμελητής έκδοσης του επιστημονικού περιοδικού *Journal of Plant Physiology* κατά τη διάρκεια των τελευταίων έξι ετών, θεωρώ ότι αυτός ο κανόνας είναι ο πιο δύσκολος να επιβληθεί. Αντιτίθεται πολλές φορές στην παράδοση και μερικές φορές μοιάζει παράλογος και εξωφρενικός. Για παράδειγμα, πολλές φορές συγγραφείς έχουν αναφέρει ποσότητες ή συγκεντρώσεις μεταβολιτών, ορμονών και άλλων συστατικών σε μονάδες $\mu g/mg$, $nmol/mL$, κλπ. Είναι αλήθεια ότι μοιάζει να εναντιώνεται στη φυσική παρόρμηση κάποιου να χρησιμοποιήσει τα ισοδύναμα των δύο αυτών παραδειγμάτων: g/kg , και mol/L (ή $mmol/m^3$, χρησιμοποιώντας ‘πραγματικές’ μονάδες SI).

Τώρα αντιλαμβάνομαι ότι ο κανόνας της αποκλειστικής χρήσης των βασικών μονάδων στους παρονομαστές συνιστάται μονάχα σε τριτεύουσες πηγές και δεν είναι επίσημος κανόνας του SI ούτε υπάρχει στο *ISO Standards Handbook* ή στο *NIST SP 811* (Taylor, 1995), τα οποία είναι δευτεροβάθμιες πηγές με πραγματικά ανάλογη βαρύτητα όση έχει και η πρωταρχική SI έκδοση. Επειδή δεν είναι απαραίτητο να προσκολληθώ σε κάθε πρόταση που παρουσιάζεται στις τριτοβάθμιες δημοσιεύσεις, δεν θα προσπαθήσω άλλο να επιβάλλω τον κανόνα αυτό.

Παρά τα όσα ανέφερα στην προηγούμενη παράγραφο, θα παραθέσω ένα επιχείρημα (τριτοβάθμιο!) σύμφωνα με το οποίο ο κανόνας 31 (ή πιο σωστά η πρόταση αυτή) μπορεί, σε πολλές περιπτώσεις, να είναι εύλογος αλλά και χρήσιμος. Η χρήση ενός συγκεκριμένου παρονομαστή για μία δεδομένη ποσότητα από όλους τους ερευνητές ενός πεδίου μας επιτρέπει να κατανοήσουμε τις διαφορετικές ποσότητες, χωρίς να είναι απαραίτητο να τις μετατρέψουμε με το μυαλό μας στη δική μας γνωστή κλίμακα, διαφορετική ίσως από αυτήν που χρησιμοποιεί ο συγγραφέας. Φυσικά, για να εκμεταλλευτούμε τον κανόνα αυτόν, πρέπει

να προηγηθεί συμφωνία μεταξύ όλων όσοι εργάζονται στο συγκεκριμένο πεδίο. Παραδείγματος χάριν, το τάχος της φωτοσύνθεσης έχει συχνά εκφρασθεί στο παρελθόν σαν πρόσληψη του CO₂ (σε χιλιοστογραμμάρια ή γραμμομόρια) ανά τετραγωνικό δεκατόμετρο επιφάνειας φύλλου, ίσως διότι ένα τετραγωνικό δεκατόμετρο έμοιαζε να είναι μία τιμή επιφάνειας 'λογική' για τις διαστάσεις των πραγματικών φύλλων. Όμως τώρα οι περισσότεροι ερευνητές εκφράζουν τις διαφορές παραμέτρους της φωτοσύνθεσης με βάση το τετραγωνικό μέτρο, όπως ακριβώς προτείνει αυτός ο κανόνας. Εξάλλου, λίγα φύλλα είναι στην πραγματικότητα ακριβώς 1,0 dm² ή ακριβώς 1,0 m² σε επιφάνεια. (Αραγε πλησιάζει το 1,0 m² ένα φύλλο μπανάνας;) Και η ένταση φωτεινής ακτινοβολίας συνήθως εκφράζεται με βάση το τετραγωνικό μέτρο: μmol·m⁻²·s⁻¹ ή W·m⁻². Όταν όλα εκφράζονται στην ίδια βάση (m²), οι συγκρίσεις είναι πολύ ευκολότερες.

Σε αντίθεση με την 'παράδοση' που αναφέρθηκε παραπάνω, οι μονάδες για τις ποσότητες μάζας μπορούν εύκολα να ακολουθήσουν τον κανόνα. Γιατί να εκφράζουμε το ποσό ενός αυξητικού παράγοντα σε ένα δείγμα ιστού ως 8,5 pg·mg⁻¹ όταν είναι εξίσου εύκολο να γράψουμε 8,5 μg·kg⁻¹; Ένα κιλό είναι μία σχετικά μεγάλη ποσότητα ιστού, αλλά είναι αρκετά εύκολο να το φανταστούμε. Ούτε είναι πιθανό ο ερευνητής να χρησιμοποιήσει ένα δείγμα ιστού 1,0 mg (περισσότερο από ό,τι χρησιμοποίησε και ένα δείγμα 1,0 kg). Η πιστή εφαρμογή αυτού του κανόνα θα εξοικειώσει σύντομα τους ερευνητές και θα δώσει καρπούς. Παρόλα αυτά, η εφαρμογή του κανόνα είναι προαιρετική.

Επειδή ένα κυβικό μέτρο είναι μεγάλη ποσότητα για τα ανθρώπινα μέτρα, μπορεί να φαίνεται κάπως παράλογο το να εκφράζονται οι συγκεντρώσεις διαλυμάτων με βάση το κυβικό μέτρο, το οποίο είναι η βασική μονάδα του SI για τον όγκο. Παρά ταύτα, πολλοί φυσιολόγοι φυτών έχουν αποφασίσει να χρησιμοποιούν το κυβικό μέτρο σαν βασική μονάδα για τις συγκεντρώσεις των διαλυμάτων: 1,0 m³ = 1000 L, έτσι ένα διάλυμα 1,0 mmol/L = 1,0 mol·m⁻³. Επειδή οι κανόνες του SI επιτρέπουν τη χρήση του λίτρου, αν και δεν είναι επίσημα μέρος του συστήματος, και επειδή οι συγκεντρώσεις που βασίζονται στο λίτρο χρησιμοποιούνται εδώ και πολύ καιρό από τους φυσιολόγους φυτών (και πολλά διαλύματα φτιάχνονται σε ποσότητες λίτρου), η χρήση του λίτρου είναι αποδεκτή στα περισσότερα επιστημονικά περιοδικά που δημοσιεύουν εργασίες στις επιστήμες των φυτών. (Βλέπε και τη συζήτηση που ακολουθεί σχετικά με τη γραμμομοριακότητα και τη γραμμομοριακότητα ανά βάρος. Οι παραδοσιακές τους μονάδες, M και m, πρέπει να σταματήσουν να χρησιμοποιούνται από τους φυσιολόγους φυτών.)

Δεν είναι πάντοτε δυνατό ή επιθυμητό να χρησιμοποιούνται μόνο οι βασικές μονάδες στους παρονομαστές. Για παράδειγμα, η φασματική ενέργεια πρέπει να αναφέρεται σε μία στενή περιοχή μήκους κύματος, όπως είναι ένα νανόμετρο: mol·m⁻²·s⁻¹·nm⁻¹ ή W·m⁻²·nm⁻¹. (Βέβαια, κατά την περιγραφή της μεθοδολογίας με τις μεθόδους πρέπει πάντα να δηλώνεται ολόκληρη η περιοχή του φάσματος που μετρήθηκε στην πραγματικότητα.)

Σε μερικές περιπτώσεις, είναι προτιμότερο να δίδονται περισσότερες πληροφορίες για μεγαλύτερη σαφήνεια. Για παράδειγμα, ένας αυστηρός επιμελητής έκδοσης, προσπαθώντας να εφαρμόσει τον παραπάνω κανόνα, θα επέμενε μία θερμοκρασιακή διαβάθμιση (gradient) του 1 K·mm⁻¹ να γραφεί ως 1000 K·m⁻¹. Θα ήταν καλύτερα να αναφερθεί ότι: 'Μετρήθηκε μία κατά μήκος διαβάθμιση θερμοκρασίας ίση προς 1 K ανά 1 mm.'

Η συμβουλή της παρούσας τριτοβάθμιας πηγής είναι: *Όταν είναι λογικό και χρήσιμο, να χρησιμοποιούνται αποκλειστικά οι βασικές μονάδες SI στον παρονομαστή.*

ΣΤ. Το Λίτρο: Σύμβολα και Χρήση - Διαλύματα Γραμμομοριακά και Γραμμομοριακά κατά Βάρος Διαλύτη. Το λίτρο (liter στα αγγλικά ΗΠΑ - litre στα αγγλικά UK και στα γαλλικά) δεν αποτελεί επίσημα συστατικό του SI, πιθανότατα επειδή δεν έχει 'συνοχή'. Για να προέλθει από το κυβικό μέτρο, τη βασική μονάδα του SI, πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένας πολλαπλασιαστικός παράγοντας (1 L = 0.001 m³). Όμως, η δωδέκατη CGPM το 1964 αποφάσισε 'ότι η λέξη «λίτρο» μπορεί να χρησιμοποιείται ως ειδική

ονομασία του κυβικού δεκατόμετρου' και συνέστησε 'ότι το λίτρο δεν θα πρέπει να χρησιμοποιείται για αποτελέσματα μετρήσεων όγκου υψηλής ακριβείας'. (Taylor, 1993). Αυτές οι αποφάσεις προσδιόρισαν οριστικά το λίτρο ως ακριβώς 1 dm^3 και το χιλιοστόλιτρο (mL) ως 1 cm^3 . Επειδή το λίτρο έχει βολικό μέγεθος και ο όρος είναι παραδοσιακός και ευρύτητα χρησιμοποιούμενος από το κοινό, είναι βέβαιο ότι οι επιστήμονες των φυτών θα συνεχίσουν να χρησιμοποιούν τόσο το λίτρο όσο και το χιλιοστόλιτρο ('μιλλιλίτρ'). Ακόμη και το δεκατόλιτρο μπορεί μερικές φορές να είναι ιδιαίτερα βολικό. Φυσικά θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε dm^3 και cm^3 το ίδιο εύκολα.

Το 1979, η CGPM παρατήρησε 'ότι, για να αποφευχθεί ο κίνδυνος σύγχυσης ανάμεσα στο γράμμα l και στον αριθμό 1, πολλές χώρες υιοθέτησαν το σύμβολο L αντί του l για τη μονάδα του λίτρου...'. Επιπλέον αποφασίστηκε 'να υιοθετηθούν και τα 2 σύμβολα l και L για τη μονάδα του λίτρου, με την άποψη ότι στο μέλλον μόνο ένα από αυτά τα σύμβολα θα πρέπει να διατηρηθεί...'. Το NIST SP 811 (Taylor, 1995) συνιστά emphaticά το L ως το σύμβολο για το λίτρο.

Η μεγάλη πλειοψηφία εργασιών στη φυσιολογία φυτών εκφράζει τις συγκεντρώσεις με όρους **γραμμομοριακότητας (molarity)** (σύμβολο $M = \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$) ή, ειδικά στο πεδίο των υδατικών σχέσεων, **γραμμομοριακότητας κατά βάρος (molality)** (σύμβολο $m = \text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$). Παρόλα αυτά, και οι δύο δευτερεύουσες αρχές (ISO Standards Handbook και NIST SP 811, Taylor, 1995) συνιστούν να διακοπεί η χρήση των συμβόλων M και m για τους όρους αυτούς. (Αν και δεν γίνεται ρητή αναφορά σε αυτές τις πηγές, οι όροι αυτοί καθ' εαυτοί μπορεί να χρησιμοποιούνται ακόμα.) Ο λόγος είναι ότι αυτά τα σύμβολα μονάδων (M και m) είναι εξειδικευμένα σύμβολα που μπορεί να μη γίνονται κατανοητά από κάποιον εκτός γνωστικού αντικείμενου (π.χ. από ένα φυσικό) ενώ τα σύμβολα $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ και $\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$ είναι απλές μονάδες του SI κατανοητές από οποιονδήποτε γνωρίζει το SI. Επιπλέον, το m για τη γραμμομοριακότητα κατά βάρος μπορεί να μπερδευτεί με το m για το μέτρο. Η παραπάνω σύσταση επιβεβαιώνεται και από μία τριτοβάθμια πηγή, *Quantities, Units and Symbols in Physical Chemistry* (Ποσότητες, Μονάδες και Σύμβολα στη Φυσικοχημεία) (Mills et al., 1995). Οι περισσότεροι φυσιολόγοι φυτών, χωρίς αμφιβολία, θα συνεχίσουν να χρησιμοποιούν τους όρους γραμμομοριακότητα και πιθανώς και γραμμομοριακότητα κατά βάρος διαλύτη, αλλά συνιστάται να χρησιμοποιούνται οι ισοδύναμες μονάδες SI αντί των παραδοσιακών συμβόλων.

Z. Το Ντάλτον και η Ενοποιημένη Μονάδα Μάζας. Πολλοί βιοχημικοί και οι περισσότεροι (ουσιαστικά όλοι) φυσιολόγοι φυτών χρησιμοποιούν το **ντάλτον** (Da ή D) ως μονάδα ατομικής ή μοριακής μάζας. Το ντάλτον, όμως, ποτέ δεν έχει γίνει αποδεκτό από τη CGPM και είναι ακριβώς ισοδύναμο προς την **ενοποιημένη ατομική μονάδα μάζας** (σύμβολο u, Πίνακας 5). Η μονάδα αυτή έχει συζητηθεί και έχει γίνει αποδεκτή από τη CGPM και περιλαμβάνεται στην πρωτοβάθμια πηγή αναφοράς. Έτσι, δεν φαίνεται να υπάρχει σοβαρή δικαιολογία, πέρα από την παράδοση, για τη χρησιμοποίηση του ντάλτον. Οι περισσότεροι φυσιολόγοι φυτών εγκατέλειψαν το αϊνστάιν για χάρη του γραμμομορίου (mol) φωτονίων. Η σύσταση που γίνεται εδώ, είναι να αρχίσει να χρησιμοποιείται η ενοποιημένη μονάδα μάζας με το σύμβολό της u, συνοδευόμενη πιθανότατα με κάποια επεξήγηση μέχρι να γίνει πιο οικεία στους επιστήμονες των φυτών.

H. Ισοδύναμο της Βαρύτητας στην Επιφάνεια της Γης. Είναι συνηθισμένο για τους βιοχημικούς και άλλους επιστήμονες να εκφράζουν την επιτάχυνση που δέχεται ένα δείγμα που φυγοκεντρείται, ως πολλαπλάσιο της μέσης επιτάχυνσης που προκαλείται από τη βαρύτητα στην επιφάνεια της γης. Όμως, δεν έχει υπάρξει σχεδόν καμιά συμφωνία για το σύμβολο που θα πρέπει να χρησιμοποιείται για την τιμή αυτή. Σε διάφορα δημοσιεύματα έχουμε διαφορετικά σύμβολα: G, g, g, **G**, **g**, xg, και άλλα. Το πρόβλημα με αυτά τα σύμβολα είναι ότι το g είναι το σύμβολο για το γραμμάριο, το G είναι το πρόθεμα για το γιγα- και το πλάγιο (g) αντιστοιχεί σε φυσικές ποσότητες και όχι μονάδες. Επίσης, η **έντονη γραφή** δεν

έχει προηγούμενο στη χρήση των μονάδων. Στην πραγματικότητα, δεν έπρεπε να είχε υπάρξει ποτέ πρόβλημα διότι η CGPM καθιέρωσε την *τυπική επιτάχυνση της βαρύτητας* το 1901 και επικύρωσε την τιμή της το 1913. Οι πρωτοβάθμιες και οι δευτερεύουσες πηγές αναφοράς υποδεικνύουν το σύμβολο g_n . Η λογική αυτού του συμβόλου είναι ότι η *επιτάχυνση της ελεύθερης πτώσης* (g) είναι μία φυσική ποσότητα (για τούτο και τα πλάγια γράμματα) που μπορεί να λάβει οποιαδήποτε αριθμητική τιμή (με μονάδες: $m \cdot s^{-2}$). Όμως, ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει η τιμή της *τυπικής επιτάχυνσης της ελεύθερης πτώσης* (υποδηλώνεται από το δείκτη n , που δεν είναι με πλάγια γραφή: $g_n = 9,80665 m \cdot s^{-2}$). Η τιμή αυτή πρέπει να προσδιοριστεί πειραματικά και έτσι είναι μία μονάδα χωρίς συνοχή. Πάντως, πολλαπλάσια αυτής της τιμής μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να περιγράψουν την επιτάχυνση που προκαλείται από φυγοκέντρωση (π.χ. δείγμα φυγοκεντρούμενο για 20 λεπτά σε 1000 g_n) ή την επιτάχυνση που υφίσταται ένας δορυφόρος σε τροχιά (π.χ. $10^{-3} g_n$). Αυτό το σύμβολο, από τα συμφραζόμενα και χωρίς καμιά ειδική εξήγηση, μπορεί να γίνεται εύκολα κατανοητό από τον καθένα.

Θ. Άλλες Απορριφθείσες Μετρικές Μονάδες. Ο Πίνακας 6 περιλαμβάνει έναν αριθμό μετρικών μονάδων που έχουν απορριφθεί και ακόμα δεν έχουν συζητηθεί. Σε λίγες πια περιπτώσεις συναντούμε το *μικρό*, μια και οι περισσότεροι από εμάς χρησιμοποιούμε τώρα το *μικρόμετρο* και το *νανόμετρο*. Το *άνγκστρομ* σπάνια χρησιμοποιείται στις επιστήμες των φυτών αλλά ακόμα χρησιμοποιείται σε ορισμένα πεδία, γεγονός άλλωστε που επιτρέπεται σύμφωνα με την υποσημείωση του Πίνακα 6. Το *bar* (*μπαρ*) χρησιμοποιείται ακόμα στη μετεωρολογία και μερικές φορές στο πεδίο των υδατικών σχέσεων των φυτών, αλλά η αντικατάστασή του από το ορθότερο *megapascal* (*μεγαπασκάλ*) ή *kilopascal* (*χιλιοπασκάλ*) έχει πλέον γίνει αποδεκτό από τους περισσότερους φυσιολόγους φυτών. Το *hectare* (*ha*) (*εκτάριο*) χωρίς αμφιβολία θα συνεχίσει να χρησιμοποιείται από τους γεωργούς αντί των σωστότερων hm^2 ή m^2 . Η *Calorie* (*kilocalorie*) [*θερμίδα* (*χιλιοθερμίδα*)] είναι αναπόσπαστο τμήμα της σύγχρονης διαιτητικής μας κουλτούρας, αλλά (στις ΗΠΑ) το ίδιο είναι και η κλίμακα θερμοκρασίας Φαρενάιτ (*Fahrenheit*). Οι επιστήμονες πάντως χρησιμοποιούν βαθμούς Κελσίου και θα πρέπει να χρησιμοποιούν *joules* (*τζάουλ*) αντί για θερμίδες. Συχνά επίσης συναντούμε μετρήσεις σε *μέρη στο εκατομμύριο* (ή *δισεκατομμύριο* ή ακόμη και *τρισεκατομμύριο*), μα είναι πιο λογικό να χρησιμοποιούνται τα ισοδύναμά τους σε μονάδες μάζας, όγκου ή ποσότητας ουσίας (π.χ. $mg \cdot kg^{-1}$, $mmol \cdot kg^{-1}$, $mol \cdot L^{-1}$). Με τέτοιες μονάδες δεν είναι απαραίτητο να καθορίσουμε τη βάση σύγκρισης (π.χ. όγκος, μάζα κλπ.).

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Σημαντικές αναφορές για την εφαρμογή των μονάδων του SI

Πολλές από αυτές τις εκδόσεις είναι τώρα ξεπερασμένες και περιλαμβάνονται εδώ μόνο για ιστορική αναφορά. Οι πλέον πρόσφατες καθώς και οι προτεινόμενες εκδόσεις αναγράφονται με **έντονα γράμματα**.

American National Metric Council. 1993. ANMC Metric Editorial Guide, Fifth Edition. American National Metric Council, 4330 East/West Highway, Suite 1117, Bethesda, MD 20814.

[Anonymous]. Standard Practice for Use of the International System of Units. ASTM E380-89. American Society for Testing and Materials, 1916 Race Street, Philadelphia PA 19103. [No date.]

[Anonymous]. 1992. *Guidelines for measuring and reporting environmental parameters for plant experiments in growth chambers*. ASAE Engineering Practice: ASAE

- EP411.1. American Society of Agricultural Engineers, 2950 Niles Road, St. Joseph, Michigan 49085-9659.** [This is Appendix C in this book.]
- [Anonymous]. 1979. Metric Units of Measure and Style Guide. U.S. Metric Association, 10245 Andasol Avenue, Northridge CA 91103.
- [Anonymous.] 1985. *Radiation quantities and units*. ASAE Engineering Practice: ASAE EP402. American Society of Agricultural Engineers, 2950 Niles Road, St. Joseph, Michigan 49085-9659.**
- [Anonymous]. 1982. SI Units Required in Society Manuscripts. *Agronomy News* (March-April 1982, p 10-13).
- [Anonymous]. 1988. *Use of SI (metric) units*. ASAE Engineering Practice: ASAE EP285. 7. American Society of Agricultural Engineers, 2950 Niles Road, St. Joseph, Michigan 49085-9659.**
- Boching, P.M. 1983. Author's Guide to Publication in Plant Physiology Journals. Desert Research Institute Pub. No. 5020. Reno, Nev.
- Buxton, D.R. and D.A Fuccillo. 1985. Letter to the editor. *Agronomy Journal* 77:512-514. [This letter includes a summary of a survey of 97 journals; 77 percent either required or encouraged the use of SI units.]
- Campbell, G.S. and Jan van Schilfgaarde. 1981. Use of SI units in soil physics. *Journal of Agronomic Education* 10:73-74.
- CBE Style Manual Committee. 1994. Scientific style and format: the CBE manual for authors, editors, and publishers. 6th edition. Cambridge University Press, Cambridge, New York. [See also earlier editions of CBE Style Manual.]
- Downs, Robert J. 1988. Rules for using the International System of Units. *HortScience* 23: 811- 812.**
- Goldman, David T., and R.J. Bell, editors. 1986. The International System of Units (SI). National Bureau of Standards Special Publication 330. U.S. Department of Commerce/National Bureau of Standards. [See Taylor (1991) for the most recent version of this publication.]
- Incoll, L.D., S.P. Long, and M.R. Ashmore. 1977. SI units in publications in plant science. *Current Advances in Plant Sciences* 9(4):331-343. [This article recommended several practices that are now in wide use by plant scientists. It was a kind of historical turning point.]
- ISO Standards Handbook. 1993. *Quantities and Units*. International Organization for Standardization, Genève.** [This is the highly authoritative, second-level reference. It is available from American National Standards Institute, 11 West 42nd Street, New York, NY 10036.]
- Mills, Ian, Tomislav Cvitaš, Klaus Homann, Nikola Kallay, and Kozo Kuchitsu. 1995. *Quantities, Units and Symbols in Physical Chemistry 2nd Edition*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, London, Edinburgh, Boston, Palo Alto, & Melbourne.**
- Monteith. J.L. 1984. Consistency and convenience in the choice of units for agricultural science. *Experimental Agriculture* 20:105-117.
- Petersen, M.S. 1990. Recommendations for use of SI units in hydraulics. *Journal of the Hydraulics Division. Proceedings of the American Society of Civil Engineers* 106:HY12.
- Savage, M.J. 1979. Use of the international system of units in the plant sciences. *HortScience* 14:493-495.
- Salisbury, F.B. 1991. *Système International*: The use of SI units in plant physiology. *Journal of Plant Physiology* 139(1):1-7.
- Taylor, Barry N., editor. 1991. *The International System of Units (SI)*. National Institute of Standards and Technology Special Publication 330. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.** [This is the United States edition of the English translation of

the sixth edition of 'Le Système International d' Unités (SI)', the definitive publication of the International Bureau of Weights and Measures and thus the first-level authority. There is also a British version with slight differences, as in the spelling of 'metre', 'litre', and 'deca'. The United States version is for sale by the Superintendent of Documents, U.S. Government Printing Office, Washington, DC 20402.]

- Taylor, Barry N. 1995. *Guide for the Use of the International System of Units (SI)*. National Institute of Standards and Technology Special Publication 811.** [Along with the ISO Standards Handbook, this publication should be considered second in authority only to '*Le Système International d' Unités (SI)*,' at least for citizens of the United States.]
- Thien, S.J., and J.D. Oster. 1981. The international system of units and its particular application in soil chemistry. *Journal of Agronomic Education* 10:62-70.
- U.S. Metric Association. 1993. *Guide to the Use of the Metric System [SI Version]*. U.S. Metric Association, Inc. 10245 Andasol Avenue, Northridge, CA 91325-1504.
- Vorst, J.J., L.W. Schweitzer, and V.L. Lechtenberg. 1981. International system of units (SI): Application to crop science. *Journal of Agronomic Education* 10:70-72.
- Weast, Robert C., editor. (1995 and new editions each year). *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. CRC Press, Boca Raton. Fla.

Μετάφραση από τις φοιτήτριες Τμήματος Βιολογίας του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών: **Δέσποινα-Ιακωβίνα Παπαγεωργίου**, **Αθηνά Παπανδρέου** και **Κατερίνα Παπαδοπούλου** (Φυσιολογία Φυτών, Χειμερινό Εξάμηνο, 2002-2003).

Γλωσσική και επιστημονική επιμέλεια: Αν. Καθ. **Κώστας Α. Θάνος** (cthanos@biol.uoa.gr).

Ιανουάριος 2003