

Περιεχόμενα

Πρόλογος	12
----------------	----

Συντομογραφίες	14
----------------------	----

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	16
-----------------------------------	----

1.1 Θερμοκήπια: Γιατί;	17
------------------------------	----

1.2 Τι είναι ένα θερμοκήπιο;	23
------------------------------------	----

1.3 Διαφορετικές συνθήκες, διαφορετικά θερμοκήπια	26
---	----

1.4 Τεχνολογίες θερμοκηπίων: Γιατί;	28
---	----

Κεφάλαιο 2: Η καλλιέργεια ως μηχανή παραγωγής	30
--	----

2.1 Ανάπτυξη και αύξηση	31
-------------------------------	----

2.2 Ανάλυση αύξησης	37
---------------------------	----

2.2.1 Νεαρά φυτά (πρώιμη φάση καλλιέργειας)	38
---	----

2.2.2 Ανάλυση συνιστωσών απόδοσης παραγωγής	44
---	----

2.2.3 Αύξηση των φυτών και παραγωγή: οι διεργασίες βήμα προς βήμα	45
--	----

2.2.4 Δείκτης φυλλικής επιφάνειας	45
---	----

2.2.5 Απορρόφηση ακτινοβολίας από μια καλλιέργεια θερμοκηπίου	48
--	----

2.2.6 Φωτοσύνθεση φύλλων	49
--------------------------------	----

2.2.7 Φωτοσύνθεση σε επίπεδο καλλιέργειας	53
---	----

2.2.8 Παραγωγή ξηράς μάζας	56
----------------------------------	----

2.2.9 Αύξηση της φυλλικής επιφάνειας	60
--	----

2.2.10 Καταμερισμός αφομοιωμένων θρεπτικών	62
--	----

2.2.11 Περιεκτικότητα των καρπών σε ξηρά ουσία	64
--	----

2.3 Συμπερασματικές επισημάνσεις	65
--	----

Κεφάλαιο 3: Ακτινοβολία, κάλυψη θερμοκηπίου και θερμοκρασία 66

3.1	Ηλιακή ακτινοβολία	67
3.1.1	Ανάκλαση, απορρόφηση και μετάδοση της ηλιακής ακτινοβολίας	73
3.1.2	Σκίαση	78
3.2	Θερμική ακτινοβολία: οι νόμοι του Stefan-Boltzmann και του Wien	81
3.2.1	Εκπεμπτικότητα	82
3.2.2	Καθαρή ακτινοβολία	82
3.3	Μεταφορά θερμότητας – αγωγή, συναγωγή και θερμική αποθήκευση	85
3.4	Ενεργειακό ισοζύγιο και θερμοκρασία θερμοκηπίου	87
3.5	Συμπερασματικές επισημάνσεις	92

Κεφάλαιο 4: Οι ιδιότητες του υγρού αέρα και οι μεταβολές των χαρακτηριστικών του 94

4.1	Οι ιδιότητες του υγρού αέρα	95
4.1.1	Πίεση ατμών	101
4.1.2	Ο νόμος του ιδανικού αερίου	103
4.1.3	Ενθαλπία	104
4.1.4	Σχεδιασμός ψυχομετρικού χάρτη	106
4.1.5	Το διάγραμμα Mollier και ο πίνακας του Carrier	109
4.1.6	Υπολογίζοντας τις ψυχομετρικές μεταβλητές σε μοντέλα	111
4.1.7	Η εξίσωση της ψυχομετρίας	113
4.2	Οι μεταβολές των χαρακτηριστικών του αέρα	115
4.2.1	Θέρμανση	115
4.2.2	Ανάμειξη όγκων αέρα	116
4.2.3	Τεχνητή ομίχλη	119
4.2.4	Εξαναγκασμένη ψύξη και αφύγρανση με ψυχρή επιφάνεια	120

8 **Θερμοκήπια: Τεχνολογίες για βέλτιστη παραγωγή**

4.2.5	Ψύξη με υγρή παρειά και ανεμιστήρα	120
4.2.6	Φορτίο αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας	121
4.2.7	Ανάκτηση θερμότητας	123
4.3	Συμπερασματικές επισημάνσεις	124

Κεφάλαιο 5: Αερισμός και ισοζύγιο μάζας

126

5.1	Εισαγωγή	127
5.2	Αερισμός	129
5.3	Η θερμοκρασία σε ένα αεριζόμενο θερμοκήπιο	135
5.4	Ισοζύγιο μάζας	137
5.5	Συμπερασματικές επισημάνσεις: [ημι]κλειστά θερμοκήπια	141

Κεφάλαιο 6: Διαπνοή των καλλιεργειών και υγρασία στο θερμοκήπιο

144

6.1	Διαπνοή από την επιφάνεια ενός φύλλου	145
6.2	Διαπνοή μιας καλλιέργειας	150
6.3	Υπολογισμός της διαπνοής μιας θερμοκηπιακής καλλιέργειας	154
6.4	Η υγρασία στο θερμοκήπιο	157
6.4.1	Συμπύκνωση υδρατμών στο κάλυμμα του θερμοκηπίου	160
6.4.2	Η θερμοκρασία της καλλιέργειας και το σημείο δρόσου	162
6.5	Συμπερασματικές επισημάνσεις	166

Κεφάλαιο 7: Απόκριση της καλλιέργειας στους περιβαλλοντικούς παράγοντες

168

7.1	Φως	169
7.1.1	Συμπληρωματικός φωτισμός	173
7.1.2	Διάχυτο φως	186
7.2	Θερμοκρασία	187
7.2.1	Διαφορά (DIF) και πτώση (DROP) θερμοκρασίας	190
7.2.2	Άθροισμα θερμοκρασίας	193
7.3	Διοξείδιο του άνθρακα (CO_2)	194
7.4	Υγρασία	199
7.4.1	Υψηλή υγρασία	200
7.4.2	Χαμηλή υγρασία	200
7.5	Ξηρασία και αλατότητα	202
7.5.1	Το μοντέλο των Maas-Hoffman	202
7.5.2	Χωρική και χρονική διακύμανση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας	204

7.5.3	Ηλεκτρική αγωγιμότητα και ποιότητα φρούτων	206
7.5.4	Επίδραση της αλατότητας στην παραγωγή – υποκείμενες διεργασίες	207
7.5.5	Η καταπόνηση από την αλατότητα μετριάζεται με την υψηλή υγρασία αέρα	209
7.6	Συμπερασματικές επισημάνσεις	210

Κεφάλαιο 8: Θέρμανση σε θερμοκήπια με ελεγχόμενο περιβάλλον

8.1	Απαιτήσεις θέρμανσης θερμοκηπίου	215
8.1.1	Απαιτούμενη ισχύς θέρμανσης	215
8.1.2	Πραγματικές ανάγκες σε θέρμανση	222
8.1.3	Κρίσιμη εξωτερική θερμοκρασία	224
8.1.4	Διαστασιολόγηση του συστήματος θέρμανσης	226
8.2	Συστήματα θέρμανσης θερμοκηπίων	227
8.2.1	Άμεσα και έμμεσα συστήματα θέρμανσης	228
8.2.2	Συστήματα θέρμανσης με σωλήνες	229
8.3	Μονάδες μεταφοράς θερμότητας που εξυπηρετούν διαφορετικά διαμερίσματα ή διαφορετικά θερμοκήπια	232
8.4	Το κέντρο ενέργειας ενός θερμοκηπίου	233
8.5	Πηγές ενέργειας	234
8.5.1	Κεντρικός λέβητας ζεστού νερού και συμπυκνωτής καυσαερίων	235
8.5.2	Συνδυασμένη παραγωγή θερμότητας και ενέργειας	238
8.5.3	Θερμότητα από γεωθερμία	241
8.6	Βιομηχανική υπολειμματική θερμότητα	243
8.7	Αντλίες θερμότητας	244
8.8	Ο ρόλος των ρυθμιστικών δεξαμενών	244
8.9	Οικονομικότητα	247
8.10	Συμπερασματικές επισημάνσεις	249

Κεφάλαιο 9: Ψύξη και αφύγρανση

9.1	Ψύξη με εξάτμιση	252
9.1.1	Συστήματα υδρονέφωσης και τεχνητής ομίχλης	253
9.1.2	Ψύξη με υγρή παρειά και ανεμιστήρες	255
9.1.3	Ψύξη οροφής	259
9.2	Κλιματισμός μέσω αντλιών θερμότητας	259
9.2.1	Τύποι αντλιών θερμότητας	260

10 Θερμοκήπια: Τεχνολογίες για βέλτιστη παραγωγή

9.2.2	Λειτουργίες αντλιών θερμότητας	260
9.2.3	Απόδοση αντλιών θερμότητας – COP	264
9.3	Άλλες μέθοδοι ψύξης και αφύγρανσης	267
9.3.1	Αφύγρανση με ξηραντικό μέσο	267
9.3.2	Αφύγρανση με επεξεργασία αέρα	268
9.3.3	Ψύξη και αφύγρανση δύο σταδίων ή μεικτής λειτουργίας	268
9.4	Αυξάνοντας τη λειτουργία ηλιακού συλλέκτη του θερμοκηπίου	269
9.5	Συμπερασματικές επισημάνσεις	273

Κεφάλαιο 10: Συμπληρωματικός φωτισμός 274

10.1	Εισαγωγή	275
10.2	Μονάδες μέτρησης φωτός και μεταβλητές που χρησιμοποιούνται	278
10.3	Η ποσότητα του φωτός σε ένα συγκεκριμένο σημείο	281
10.4	Κύριοι τύποι λαμπτήρων και τα χαρακτηριστικά τους	285
10.4.1	Λάμπες Νατρίου Υψηλής Πίεσης (HPS)	285
10.4.2	Δίοδοι εκπομπής φωτός (LED)	288
10.4.3	Φως φθορισμού	291
10.5	Πηγές ηλεκτρικής ενέργειας	292
10.6	Συμπερασματικές επισημάνσεις	293

Κεφάλαιο 11: Εμπλουτισμός με διοξείδιο του άνθρακα 294

11.1	Εισαγωγή	295
11.2	Μονάδες	295
11.3	Πηγές CO ₂	296
11.4	Στρατηγική εμπλουτισμού με CO ₂	303
11.5	Διανομή CO ₂ στο θερμοκήπιο	306
11.5.1	Απευθείας απελευθέρωση από καυστήρες θέρμανσης αέρα	306
11.5.2	Διανομή CO ₂ από καυσαέρια θέρμανσης του θερμοκηπίου	306
11.5.3	Διανομή υγρού CO ₂	307
11.6	Αισθητήρες CO ₂	308
11.7	Συμπερασματικές επισημάνσεις	308

Κεφάλαιο 12: Διαχείριση του εναέριου περιβάλλοντος του θερμοκηπίου 310

12.1	Εισαγωγή	311
12.2	Ο περιοριστικός παράγοντας	315

12.3	Διαχείριση κλίματος: ισοζύγιο πηγής/καταβόθρας	318
12.4	Βελτιστοποιώντας έναν μόνο κλιματικό παράγοντα του θερμοκηπίου	321
12.4.1	Βέλτιστη διαχείριση του συμπληρωματικού φωτισμού	322
12.4.2	Βέλτιστος εμπλουτισμός με διοξείδιο του άνθρακα	326
12.5	Συμπερασματικές επισημάνσεις	330

Κεφάλαιο 13: Διαχείριση του περιβάλλοντος της ρίζας των φυτών:

	πώς να περιοριστούν οι απορροές	334
13.1	Άρδευση ακριβείας	336
13.1.1	Ανάγκες της καλλιέργειας σε νερό	336
13.1.2	Απαιτήσεις και πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων	337
13.1.3	Στρατηγικές άρδευσης	342
13.1.4	Στρατηγικές άρδευσης και θρέψης	347
13.2	Κλειστά συστήματα άρδευσης	348
13.3	Αλατούχο νερό άρδευσης	351
13.3.1	Συγκέντρωση αλάτων στο ριζόστρωμα	352
13.3.2	Απορροές	356
13.4	Βέλτιστη διαχείριση της άρδευσης	358
13.5	Αποτελεσματικότητα χρήσης νερού στα συστήματα καλλιέργειας	361
13.6	Συμπερασματικές επισημάνσεις	363

Κεφάλαιο 14: Κάθετοι αγροί

14.1	Εισαγωγή	365
14.2	Φως και ενέργεια	367
14.3	Απαιτήσεις σε πόρους	368
14.4	Περιβαλλοντικό αποτύπωμα	370
14.5	Μελλοντικές προοπτικές	372

Κεφάλαιο 15: Το μέλλον

15.1	Το μέλλον των θερμοκηπίων	375
15.2	Τα θερμοκήπια του μέλλοντος	376

Βιβλιογραφία

Βιογραφικά

Πρόλογος

Η καλή διαχείριση του θερμοκηπίου απαιτεί την κατανόηση των διαδικασιών που καθορίζουν την παραγωγή των καλλιεργειών. Αυτές περιλαμβάνουν τον τρόπο με τον οποίο το μικροκλίμα επηρεάζει τις καλλιέργειες και τον τρόπο με τον οποίο ο τύπος του θερμοκηπίου, ο εγκατεστημένος εξοπλισμός και η διαχείρισή του, μαζί με τις συνθήκες που επικρατούν έξω από το θερμοκήπιο, επηρεάζουν το μικροκλίμα.

Το μάθημα «Τεχνολογίες θερμοκηπίων» που διδάσκουμε στο Πανεπιστήμιο Wageningen είναι ένας μοναδικός συνδυασμός της επιστήμης φυτικής παραγωγής, της φυσικής και της μηχανικής. Πρόκειται για διαφορετικούς επιστημονικούς κλάδους και συχνά η πολύ αναγκαία επικοινωνία μεταξύ τους παρεμποδίζεται από το ότι κάθε κλάδος «μιλάει» διαφορετική γλώσσα από τον άλλο. Οι φοιτητές της Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής που έχουν το μάθημα αυτό συχνά δυσκολεύονται με τα τεχνικά θέματα, ενώ οι φοιτητές της Γεωργικής Μηχανικής και της Μηχανικής Βιοσυστημάτων δυσκολεύονται με θέματα που αφορούν τη φυσιολογία των φυτών.

Έτσι, υπάρχει η ανάγκη για ένα ενημερωμένο βιβλίο που να καλύπτει όλες τις πτυχές του μαθήματος. Ένα ερώτημα που τίθεται συχνά όταν διδάσκονται εξειδικευμένα μαθήματα σε παγκόσμιο επίπεδο ή όταν δίνονται διαλέξεις σε διάφορα θερινά σχολεία για τις θερμοκηπιακές καλλιέργειες είναι: «Μπορείτε να προτείνετε ένα βιβλίο που να καλύπτει το περιεχόμενο του μαθήματος;»

Υπάρχουν πολλά διαθέσιμα βιβλία. Όμως κανένα από αυτά δεν επικεντρώνεται σε μια ολοκληρωμένη προσέγγιση της φυσιολογίας των φυτών και των τεχνικών πτυχών της καλλιέργειας θερμοκηπίου και της διαχείρισης του κλίματος. Ο κύριος σκοπός αυτού του βιβλίου είναι να καλύψει αυτό το κενό, συνδυάζοντας την ανάλυση της σχέσης μεταξύ της καλλιέργειας και του μικροκλίματος με την εξήγηση των διαδικασιών που καθορίζουν το κλίμα σε ένα προστατευμένο, ελεγχόμενο περιβάλλον. Το βιβλίο περιγράφει τις μεθόδους και δίνει διάφορα παραδείγματα για το πώς μπορεί να γίνουν οι βέλτιστες επιλογές των τεχνολογιών που θα χρησιμοποιηθούν στο θερμοκήπιο, σταθμίζοντας τα κόστη και τα οφέλη.

Παρά τη λέξη «τεχνολογία», το βιβλίο αυτό δεν καλύπτει μόνο θέματα που αφορούν τα θερμοκήπια υψηλής τεχνολογίας. Συνήθως περισσότεροι και από τους μισούς φοιτητές που επιλέγουν το μάθημά μας «Τεχνολογίες θερμοκηπίων» είναι από άλλες χώρες, γι' αυτό και πιστεύουμε ότι το βιβλίο απευθύνεται σε φοιτητές και καθηγητές πανεπιστημίου σε ολόκληρο τον κόσμο. Είμαστε σίγουροι ότι θα πετύχουμε αυτό τον στόχο μας.

Η συγγραφή ενός βιβλίου πάντοτε συνεπάγεται να είσαι επιλεκτικός στα θέματα που θα παρουσιαστούν: δεν αναπτύσσονται στην ίδια έκταση όλα τα θέματα που εμπίπτουν στο ευρύ πεδίο της τεχνολογίας των θερμοκηπίων. Για παράδειγμα, δεν εξετάζεται η διαχείριση της εργασίας ή η ρομποτική, και το κλίμα προσεγγίζεται με εξισώσεις στατικής και όχι δυναμικής κατάστασης. Ο στόχος είναι να βοηθηθούν οι αναγνώστες στην κατανόηση ώστε να είναι σε θέση να αντιμετωπίσουν διαφορετικά θέματα, και όχι να τους δοθούν «κανόνες» για την αντιμετώπιση συγκεκριμένων προβλημάτων.

Οι συγγραφείς του βιβλίου είμαστε ευγνώμονες στον Tijs Kierkels, ανεξάρτητο δημοσιογράφο, ο οποίος παρήγαγε κείμενα βασισμένα στις διαλέξεις μας ως ένα πρώτο βήμα για τη συγγραφή των κεφαλαίων του βιβλίων. Αισθανόμαστε τυχεροί που αξιοποιήσαμε την τεράστια εμπειρία των συναδέλφων μας στα θερμοκήπια. Συγκεκριμένα, οι Esteban Baeza, Sjaak Bakker, Jouke Campen, Silke Hemming, Frank Kempkes, Leo Marcelis, Rachel Van Ooteghem και Wim Voogt διάβασαν και βελτίωσαν προηγούμενες εκδοχές αρκετών κεφαλαίων. Οι Luca Incrocci (Πανεπιστήμιο της Pisa, Ιταλία) και Juan Ignacio Montero (IRTA, Ισπανία) και αρκετοί ανώνυμοι αξιολογητές έχουν επίσης διαβάσει και βελτιώσει διάφορα τμήματα. Φυσικά, κάθε ανακρίβεια που μπορεί να έχει παραμείνει είναι δικό μας λάθος και όχι δικό τους.

Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τη Wageningen Academic Publishers και ειδικότερα τον Mike Jacobs για τον ενθουσιασμό και την υποστήριξή τους για τη δημιουργία αυτού του βιβλίου.

Cecilia Stanghellini, Bert van 't Ooster και Ep Heuvelink

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή



Φωτογραφία: Biagio Dimauro, Regione Sicilia

Έχουν περάσει σχεδόν 12000 χρόνια από τότε που ο άνθρωπος εφάρμοσε για πρώτη φορά τη γεωργία στις διάφορες περιοχές του κόσμου. Παρά την τεράστια επίδραση που είχε στην ευημερία του ανθρώπου, η πρόοδος στη γεωργία μέχρι πρόσφατα περιορίστηκε στη διαχείριση του περιβάλλοντος της ριζόσφαιρας των φυτών (όργωμα, σπορά, άρδευση, λίπανση). Η «χημική» επανάσταση του 20ού αιώνα, εκτός του ότι άλλαξε εντελώς την έννοια της λίπανσης των φυτών, πρόσθεσε στην εργαλειοθήκη των γεωργών τη (χημική) φυτοπροστασία των καλλιεργειών.

Παρ' όλα αυτά, οι περισσότεροι αγρότες, ακόμη και σήμερα, μόνο να ελπίζουν μπορούν σε καλές συγκομιδές, καθώς έχουν να ανησυχούν για πρώιμους παγετούς ή όψιμα χιόνια, έντονες βροχές ή παρατεταμένες ξηρασίες, για να μην αναφερθούμε στα παράσιτα τα οποία είναι σήμερα πιο ανθεκτικά από ποτέ στη χημική καταπολέμηση, αλλά και στους κανονισμούς που μειώνουν το οπλοστάσιο των χημικών όπλων με τα οποία τα αντιμετωπίζουμε.

1.1 Θερμοκήπια: Γιατί;

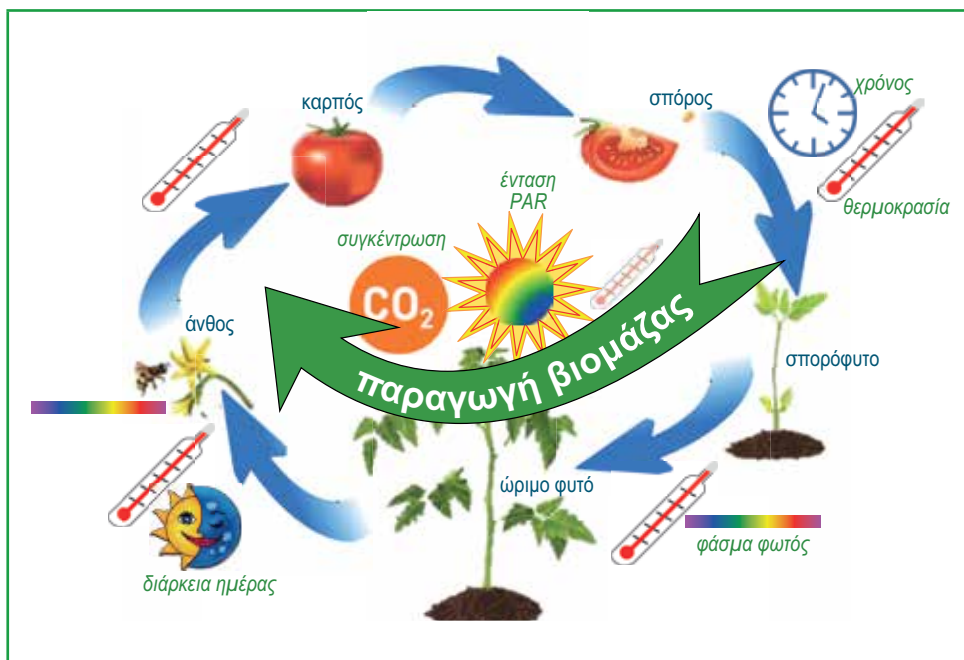
Η χρησιμότητα της κάλυψης των καλλιεργειών ενάντια σε τέτοιους κινδύνους εκτιμήθηκε από πολύ παλιά. Οι Ρωμαίοι, για παράδειγμα, καλλιεργούσαν εξωτικά φυτά σε προστατευμένους χώρους που καλύπτονταν από τη μαρμαρυγία (mica), υλικό που χρησιμοποιούνταν στα παράθυρα, το οποίο ο Martialis το 93 μ.Χ. (Epigrammata, VIII, 14) διαφήμιζε για τη διαφάνειά του. Τα πράγματα έγιναν ευκολότερα όταν η τεχνολογία κατασκευής γυαλιού επέτρεψε την παραγωγή αρκετά μεγάλων επιφανειών από διαφανές γυαλί για τα νότιου προσανατολισμού μεγάλα παράθυρα των αναγεννησιακών πορτοκαλεώνων. Είναι γεγονός, ωστόσο, ότι μόνο πολύ ιδιαίτερα και εξωτικά φυτά θεωρούνταν άξια τέτοιας φροντίδας μέχρι το πρώτο μισό του 20ού αιώνα. Μέχρι τότε, η πρώτη προσπάθεια εμπορικής καλλιέργειας υπό κάλυψη ήταν τα αμπέλια στην Ολλανδία που καλλιεργούνταν σε κτίρια με γυάλινες οροφές που θερμαίνονταν με σόμπες (Εικόνα 1.1).



Εικόνα 1.1. Τα προσαρτημένα θερμοκήπια (αριστερά: μια σύγχρονη ανακατασκευή) και οι πορτοκαλεώνες, εγκατεστημένα σε κήπους σε ευρωπαϊκά μοναστήρια και κάστρα, επέτρεπαν την καλλιέργεια εκτός εποχής και τη φύτευση εξωτικών ειδών, αποτελώντας έτσι τα πρώτα βήματα για την ανάπτυξη των εμπορικών θερμοκηπιακών καλλιεργειών. Επίπεδες γυάλινες επιφάνειες (αριστερά και δεξιά, σε πρώτο πλάνο) εφαρμόστηκαν για την πρωίμηση της παραγωγής και την παραγωγή σπορόφυτων για τη μεταφύτευσή τους στον αγρό. Όταν οι επίπεδες γυάλινες επιφάνειες τοποθετήθηκαν πάνω σε μια κατασκευή και κάποιος μπορούσε να περπατήσει από κάτω, τότε δημιουργήθηκαν τα πρώτα θερμοκήπια τύπου Venlo (δεξιά, στο βάθος) (φωτογραφία αριστερά: historische druivenkwekerij Sonnehoeck· φωτογραφία δεξιά: αρχείο Greenhouse Horticulture, Wageningen University & Research).

Το ότι τα αμπέλια δεν έμελλε να είναι η καλλιέργεια του μέλλοντος στα θερμοκήπια επιβεβαιώνεται από το γεγονός ότι από τα 95000 στρέμματα θερμοκηπίων που λειτουργούν σήμερα στην Ολλανδία, ελάχιστα είναι εκείνα στα οποία καλλιεργούνται αμπέλια. Η επανάσταση του πλαστικού επέτρεψε τη χρήση πολύ φθηνότερων υλικών κάλυψης στις καλλιέργειες, με αποτέλεσμα οι καλλιέργειες υπό κάλυψη σε όλο τον κόσμο να έχουν φτάσει να καταλαμβάνουν έκταση μεταξύ 5000000 και 20000000 στρεμμάτων (ανάλογα με το τι προσμετράται ως θερμοκήπιο) εμπορικής παραγωγής λαχανικών σε μόνιμες κατασκευές (θερμοκήπια), εκ των οποίων μόνο τα 400000 στρέμματα καλύπτονται από γυαλί (γυάλινα θερμοκήπια) (Rabobank, 2018a). Η καλλιέργεια υπό κάλυψη (protected cultivation), η γεωργία ελεγχόμενου περιβάλλοντος (Controlled Environment Agriculture – CEA) και η παραγωγή οπωροκηπευτικών σε θερμοκήπια (greenhouse horticulture) συχνά χρησιμοποιούνται ως συνώνυμα, με τους τρεις όρους να αναφέρονται σε καλλιεργητικά συστήματα παραγωγής που επιτρέπουν τον χειρισμό του εναέριου περιβάλλοντος.

Στην πραγματικότητα, επειδή η αύξηση και η ανάπτυξη των καλλιεργειών εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες του εναέριου περιβάλλοντος (Εικόνα 1.2),



Εικόνα 1.2. Ο κύκλος ζωής ενός φυτού και το εναέριο περιβάλλον που τον καθορίζει. Καθώς πρέπει να υπάρχει αύξηση (βιομάζα) πριν να μπορεί να λάβει χώρα κάθε είδους ανάπτυξη (μετάβαση στο επόμενο στάδιο του κύκλου ζωής), η φωτοσυνθετικά ενεργός ακτινοβολία (PAR) και η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα (οι καθοριστικοί παράγοντες για τη φωτοσύνθεση) είναι οι πρωταρχικοί παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγή. Η θερμοκρασία είναι ο πιο προφανής καθοριστικός παράγοντας για την ανάπτυξη, ενώ η αύξηση (φωτοσύνθεση) μάλλον εξαρτάται λίγο από αυτήν (δεδομένου ότι είναι μέσα σε ένα λογικό εύρος). Μόλις τώρα αρχίζουμε να καταλαβαίνουμε τον ρόλο που παίζουν τα διάφορα τμήματα του φάσματος του φωτός (σύνθεση των μικρών κύματος) στις διάφορες διεργασίες, συμπεριλαμβανομένης της συμπεριφοράς των επικονιαστών (και των παρασίτων και των θηρευτών τους).

γνωρίζουμε σήμερα ότι ο συνδυασμός της έξυπνης τεχνολογίας και του κλειστού περιβάλλοντος θα επιτρέψει τον πλήρη έλεγχο της ανάπτυξης και παραγωγής των καλλιεργειών, μολοντί ο πλήρης έλεγχος μπορεί να είναι οικονομικά μη βιώσιμος. Ωστόσο, ένας καλλιεργητής θερμοκηπίου διαθέτει πολύ περισσότερα εργαλεία για τη διαχείριση μιας καλλιέργειας από όσα θα μπορούσε να ονειρευτεί ένας καλλιεργητής στον ανοιχτό αγρό, με μόνο πρόβλημα την πολύ συνηθισμένη έλλειψη οδηγιών για τη χρήση τέτοιων εργαλείων.

Πίνακας 1.1. Εκτιμώμενη έκταση (εκτάρια ha, 1 εκτάριο = 10 στρέμματα) των θερμοκηπίων για την παραγωγή λαχανικών παγκοσμίως, όπως κατανέμονται στις κύριες κλιματικές ζώνες (βλ. Εικόνα 1.8). Τα κινεζικά ηλιακά θερμοκήπια (Πλαίσιο 3.8) και τα θερμοκήπια για τα καλλωπιστικά φυτά δεν περιλαμβάνονται, εξαιτίας έλλειψης πληροφόρησης (Hickman, 2018). Σε πλούσιες χώρες (όπως στην Ολλανδία), η συνολική έκταση για την παραγωγή καλλωπιστικών φυτών μπορεί να είναι παρόμοια με την έκταση για τα λαχανικά. Στις χώρες στη ζώνη του ισημερινού (τόσο στην Αφρική όσο και στην Αμερική), τα καλλωπιστικά παράγονται (συνήθως σε μεγάλα υψόμετρα) για εξαγωγή, και η έκτασή τους μπορεί να είναι πολλές φορές μεγαλύτερη από την έκταση για την παραγωγή λαχανικών.

	Υποαρκτική ως εύκρατη	Μεσογειακή ως υποτροπική	Τροπική ως ισημερινή	Σύνολο
Ασία + Ωκεανία	2300	173400	100	175800
Ευρώπη	47000	131000		178000
Αμερική	2400	6800	7300	16500
Αφρική		30200	100	30300
Εγγύς Ανατολή		74800		74800
Σύνολο	51700	416200	7500	475400

Παρόλο που η καλλιέργεια υπό κάλυψη αναπτύχθηκε κυρίως σε σχετικά ψυχρές περιοχές, με σκοπό την αύξηση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του προστατευόμενου χώρου έτσι ώστε να καλλιεργούνται εξωτικές ή/και εκτός εποχής καλλιέργειες, σήμερα υπάρχουν πολύ περισσότεροι λόγοι για να εγκατασταθούν καλλιέργειες υπό κάλυψη. Στις βροχερές υποτροπικές περιοχές, για παράδειγμα, τα θερμοκήπια χρησιμοποιούνται για την πρόληψη ζημιών από έντονη βροχή, παρόλο που η θερμοκρασία και η υγρασία στην ύπαιθρο θα ήταν καλύτερες για την ανάπτυξη των καλλιεργειών συγκριτικά με το εσωτερικό του θερμοκηπίου. Παρόμοια, τα διχτυοκήπια χρησιμοποιούνται στις ξηρικές περιοχές με έντονη ηλιοφάνεια για να περιορίσουν την εξάτμιση από τις καλλιέργειες και να αποτρέψουν τα ηλιακά εγκαύματα των φύλλων, παρότι κάτω από τη σκιά του διχτυοκηπίου οι ρυθμοί της φωτοσύνθεσης είναι μειωμένοι.

Αξιόπιστες στατιστικές για την έκταση της επιφάνειας που καταλαμβάνουν οι καλλιέργειες υπό κάλυψη (Πίνακας 1.1) είναι αρκετά δύσκολο να βρεθούν, τόσο γιατί ορισμένες στατιστικές περιλαμβάνουν και προσωρινές κατασκευές

ενώ άλλες όχι (με την έλλειψη ενός σαφούς ορισμού για το τι είναι προσωρινό), όσο και γιατί η συνεχής αύξηση της έκτασης των καλλιιεργειών υπό κάλυψη παγκοσμίως καθιστά τυχόν στατιστικά στοιχεία γρήγορα παρωχημένα. Οι κύριοι παράγοντες που οδηγούν στην αύξηση των εκτάσεων των καλλιιεργειών υπό κάλυψη μπορεί να είναι η αυξανόμενη ζήτηση διεθνώς για προϊόντα κηπευτικών υψηλής ποιότητας (συμπεριλαμβανομένων των λαχανικών εκτός εποχής και των προϊόντων που προέρχονται από το εξωτερικό), σε συνδυασμό με τη βελτιωμένη διαχείριση των μεταφορών και τη μετασυλλεκτική διαχείριση των προϊόντων, παράγοντες που επέτρεψαν την παραγωγή προϊόντων σε περιοχές μακριά από τις κύριες αγορές.

Η Rabobank (2000) προσδιόρισε αρκετούς «κρίσιμους παράγοντες επιτυχίας» που καθορίζουν τη βιωσιμότητα μιας επιχείρησης θερμοκηπίου σε διάφορες περιοχές, όπως:

- ❖ Η γεωγραφία: απόσταση από τις κύριες αγορές.
- ❖ Το κλίμα.
- ❖ Το κόστος των μέσων παραγωγής/πόρων.
- ❖ Η εσωτερική αγορά: ικανότητα της τοπικής αγοράς να απορροφήσει την παραγωγή σε περίπτωση που διαταραχθούν οι ροές των εξαγωγών.
- ❖ Το κόστος του εργατικού δυναμικού.
- ❖ Η πρόσβαση σε χρηματοδότηση: το επενδυτικό κλίμα.
- ❖ Οι υποδομές: αξιοπιστία μεταφορών, παροχή ενέργειας/ηλεκτρισμού, νερού για άρδευση, κτλ.
- ❖ Η πρόσβαση στη γνώση: επαρκείς υπηρεσίες εργασίας και υπηρεσίες επέκτασης.
- ❖ Το κοινωνικοπολιτικό περιβάλλον: η σταθερότητά του καθορίζει τον επενδυτικό ορίζοντα.

Πράγματι, κάθε σχετική έκταση θερμοκηπίων παγκοσμίως μπορεί να εντοπιστεί σε περιοχές που οι συνθήκες για την πλειονότητα των παραπάνω παραγόντων είναι ευνοϊκές.

Το βέβαιο είναι ότι η αύξηση των εκτάσεων των καλλιιεργειών υπό κάλυψη είναι ιδιαίτερα σημαντική στις έτσι κι αλλιώς οριακές για τη γεωργία αγροτικές περιοχές, χάρη στις σχετικά υψηλές αποδόσεις που συνδυάζονται με την υψηλή αποτελεσματικότητα στη χρήση των (ελλειμματικών) πόρων. Είναι γεγονός ότι η μετατροπή της γης από καλλιέργεια στον ανοιχτό αγρό σε καλλιέργεια υπό κάλυψη αυξάνει υπερβολικά την παραγωγή και τα κέρδη ανά μονάδα επιφάνειας εδάφους. Είναι αξιοσημείωτο το παράδειγμα της Αλμερίας (νοτιοδυτική



Εικόνα 1.3. Πλαστικά θερμοκήπια (η λευκή περιοχή) στην πεδιάδα του Campo de Dalia, στα δυτικά της πόλης Αλμερία (ΝΑ Ισπανία). Εικόνες: ευγενική χορηγία του Earth Science and Image Analysis Laboratory, NASA Johnson Space Center (<http://eol.jsc.nasa.gov>) ISS008-E-14686, ένθετη: ISS004-E-13199

Ισπανία, Εικόνα 1.3) με περίπου 300500 στρέμματα (Cajamar, 2017) πλαστικών θερμοκηπίων. Η καλλιέργεια υπό κάλυψη ήταν υπεύθυνη για την εκπληκτική οικονομική ανάπτυξη αυτής της περιοχής τα τελευταία 20 χρόνια που προηγήθηκαν της οικονομικής κρίσης του 2007 (Caja Rural Intermediterránea, 2005).

Οι καλλιέργειες υπό κάλυψη καλύπτουν ένα μικρό μέρος της συνολικής γεωργικής γης, αλλά ως εντατικό σύστημα καλλιέργειας τόσο σε κεφάλαιο όσο και σε εργασία και (συχνά) σε ενέργεια, μπορεί να παίζουν σημαντικό ρόλο στην τοπική ή ακόμη και στην εθνική οικονομία. Για παράδειγμα, στην Ολλανδία οι καλλιέργειες σε γυάλινα θερμοκήπια καταλάμβαναν το 2016 το 0,7% της συνολικής γεωργικής γης, αλλά αντιπροσώπευαν το 20% του ετήσιου ακαθάριστου εισοδήματος από τη γεωργία (CBS, 2018), με την ετήσια πρόσοδο από γεωργικές καλλιέργειες να υπερβαίνει συχνά το 1 εκατομμύριο ευρώ ανά εκτάριο (KWIN, 2017). Οι καλλιέργειες υπό κάλυψη είναι κατά κύριο λόγο συγκεντρωμένες σε σχετικά μικρές εκτάσεις (Εικόνα 1.4), συχνά κοντά σε αστικές περιοχές με προφανείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις στις περιοχές αυτές.



Εικόνα 1.4. Αριστερά: Τα θερμοκήπια καλύπτουν σχεδόν κάθε τετραγωνικό μέτρο εδάφους στην περιοχή Westland της Ολλανδίας (φωτογραφία: αρχείο Greenhouse Horticulture, Wageningen University & Research). Δεξιά: Πλαστικά θερμοκήπια όχι μακριά από την πόλη Κουάλα Λουμπούρ στη Μαλαισία (φωτογραφία: Jouke Campen, Greenhouse Horticulture, Wageningen University & Research).

Η τεχνολογία παραγωγής παγκοσμίως βρίσκεται αυτή τη στιγμή σε μια διαδικασία εκσυγχρονισμού, για να αντιμετωπίσει τον αυξανόμενο ανταγωνισμό που προκύπτει από την παγκοσμιοποίηση τόσο της παραγωγής όσο και της εμπορίας των αγαθών. Επιπλέον, η αύξηση της ευαισθητοποίησης για την περιβαλλοντική ρύπανση που προκαλείται από τη γεωργία, η απαίτηση για τροφές απαλλαγμένες από χημικά υπολείμματα και ο περιορισμός των πόρων όπως το νερό, ωθούν τους καλλιεργητές στην εφαρμογή καλλιεργητικών πρακτικών περισσότερο φιλικών προς το περιβάλλον. Για παράδειγμα, η έκταση των θερμοκηπίων στην Αλμερία που χρησιμοποιούν βιολογικούς παράγοντες για την αντιμετώπιση των παρασίτων, αυξήθηκε από το 3% το 2006 στο 28% της συνολικής έκτασης το 2007 (Bielza *et al.*, 2008) ως απόκριση στους αυστηρότερους χημικούς ελέγχους στις κύριες εξαγωγικές αγορές.

1.2 Τι είναι ένα θερμοκήπιο;

Κάθε φορά που μια κατασκευή ή ένα κάλυμμα χρησιμοποιείται γύρω από μια καλλιέργεια για να την προστατεύσει και με κάποιο τρόπο να τροποποιήσει το περιβάλλον του προστατευόμενου χώρου, πρόκειται για καλλιέργεια υπό κάλυψη· μια καλλιέργεια δηλαδή που πραγματοποιείται με τη βοήθεια κάποιου είδους μόνιμου ή προσωρινού καλύμματος που καλύπτει ολόκληρη τη φυτεία με σκοπό την αύξηση της παραγωγικότητας της καλλιέργειας. Όπως δείχνουν οι

Εικόνες 1.5-1.7, υπάρχει ένα μεγάλο εύρος συστημάτων που ταιριάζουν σε αυτή την περιγραφή, επομένως επιπλέον λεπτομέρειες (Πλαίσιο 1.1) μπορεί να είναι χρήσιμες. Εδώ αντλούμε δεδομένα από τους ορισμούς που εφαρμόζονται από την EFSA (2010: σελ. 13-18), στην οποία ο αναγνώστης μπορεί να ανατρέξει για περισσότερες εικόνες.



Εικόνα 1.5. Ακραία παραδείγματα καλλιεργειών υπό κάλυψη: χαμηλά προσωρινά τούνελ στη νότια Ιταλία (αριστερά) και τελευταίας τεχνολογίας θερμοκήπιο στην Ολλανδία (δεξιά) με ελεγχόμενο αερισμό, κλιματισμό και συμπληρωματικό φωτισμό (φωτογραφίες: Cecilia Stanghellini).



Εικόνα 1.6. Ψηλό σκέπαστρο προσωρινής κάλυψης που τυπικά χρησιμοποιείται για τις φράουλες (Βέλγιο, αριστερά) και για τα επιτραπέζια σταφύλια, με δίχτυα μπροστά για προστασία από έντομα και πτηνά (Πορτογαλία, δεξιά) (φωτογραφία αριστερά: Paolo Battistel, Ceres s.r.l., φωτογραφία δεξιά: Frank Kempkes, Greenhouse Horticulture, Wageningen University & Research).



Εικόνα 1.7. Τομάτες σε δικτυοκήπιο στην πόλη Αρίκα (Χιλή, αριστερά) και μαρούλι σε πολλαπλό τούνελ (Ιταλία, δεξιά) (φωτογραφίες: Cecilia Stanghellini).

Πλαίσιο 1.1 Διάφοροι τύποι θερμοκηπίων και η επίδρασή τους στο μικροκλίμα του εσωτερικού τους.

Χαμηλό τούνελ	Παθητική αύξηση της θερμοκρασίας, το τούνελ απομακρύνεται συνήθως πριν από τη συγκομιδή.
Ψηλό, προσωρινό σκέπαστρο	Προστασία από τη βροχή και τα πουλιά, παθητική αύξηση της θερμοκρασίας.
Σκίαση / Δικτυοκήπιο	Χρησιμοποιείται σε ξηρά περιβάλλοντα με υψηλή ακτινοβολία. Προστασία φύλλων και καρπών καλλιέργειας από εγκαύματα, υψηλότερη υγρασία στο περιβάλλον των φυτών.
Διαβατό τούνελ	Παθητική αύξηση της θερμοκρασίας.
Χαμηλής τεχνολογίας θερμοκήπιο / πολλαπλό τούνελ	Παθητική αύξηση της θερμοκρασίας, πολύ περιορισμένος έλεγχος της θερμοκρασίας μέσω της ρύθμισης (συνήθως με το χέρι) των ανοιγμάτων και εποχιακή επικάλυψη με ασβέστη για σκίαση.
Υψηλής τεχνολογίας θερμοκήπιο πλαστικό/ γυάλινο	Με τη βοήθεια υπολογιστή, έλεγχος της θερμοκρασίας μέσω του αερισμού και της θέρμανσης, έλεγχος της υγρασίας με αερισμό και υδρονέφωση, έλεγχος της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα με τεχνητό εμπλουτισμό και αερισμό, έλεγχος του επιπέδου του φωτός πιθανόν μέσω της σκίασης και πρόσθετου φωτός.
Εργοστάσια φυτών/ κάθετοι αγροί	Πλήρως απαλλαγμένα από το εξωτερικό μικροκλίμα, πλήρης έλεγχος όλων των παραγόντων παραγωγής.