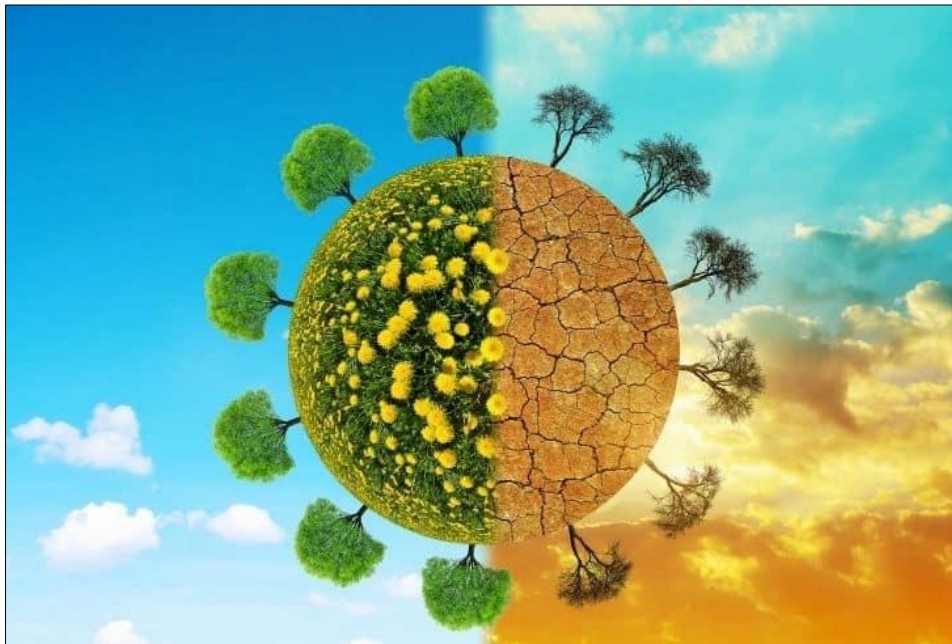




**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ  
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΒΙΟΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΟΙΚΟΛΟΓΙΑΣ**

**Θέμα:**

**Η επίδραση της αύξησης θερμοκρασιών λόγω κλιματικής αλλαγής  
στη νεκταροπαραγωγή μελισσοκομικών φυτών  
κατά τον 21<sup>ο</sup> αιώνα**



*Διπλωματική Εργασία  
στο πλαίσιο του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών  
«ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ»  
της φοιτήτριας **Νίκης Πυροβολάκη** (ΑΜ. 1632018014)*

*Επιβλέπουσα: Θεοδώρα Πετανίδου, Καθηγήτρια Τμήματος Γεωγραφίας*

**Μυτιλήνη, Οκτώβριος 2020**



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ**  
**ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ**  
**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΒΙΟΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΟΙΚΟΛΟΓΙΑΣ**

**Η επίδραση της αύξησης θερμοκρασιών λόγω κλιματικής αλλαγής  
στη νεκταροπαραγωγή μελισσοκομικών φυτών  
κατά τον 21<sup>ο</sup> αιώνα**

*Διπλωματική Εργασία*  
στο πλαίσιο του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών  
«ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ»  
της φοιτήτριας **Νίκης Πυροβολάκη** (ΑΜ. 1632018014)

*Επιβλέπουσα: Θεοδώρα Πετανίδου, Καθηγήτρια Τμήματος Γεωγραφίας*

*Μέλη επιτροπής:*

**Thomas Tscheulin**, Καθηγητής Τμήματος Γεωγραφίας Παν/μίου Αιγαίου

**Νικόλαος Φύλλας**, Καθηγητής Τμήματος Περιβάλλοντος Παν/μίου Αιγαίου

**Μυτιλήνη, Οκτώβριος 2020**

1

---

<sup>1</sup> Φωτογραφία εξώφυλλου: από την ιστοσελίδα της Conserve Energy Future, Be Green, Stay Green (<https://www.conserve-energy-future.com/is-global-warming-real.php>)

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	6
ABSTRACT .....	7
ΠΡΟΛΟΓΟΣ – ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ .....	8
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	10
1.1. Κλιματική αλλαγή .....	10
1.2. Η περιοχή της Μεσογείου.....	12
1.2.1 Μεσογειακό κλίμα .....	12
1.2.2. Βλάστηση της Μεσογείου .....	15
1.3. Επίδραση της αύξησης της θερμοκρασίας στη λειτουργία των φυτών .....	19
1.3.1. Επιπτώσεις στη φωτοσύνθεση και το άνοιγμα των στομάτων .....	19
1.3.2. Επιπτώσεις στην παραγωγή νέκταρος .....	20
1.3.3. Επιπτώσεις στον αριθμό των ανθέων .....	22
1.4. Μελισσοκομία και κλιματική αλλαγή .....	23
1.5. Στόχος.....	25
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	26
2.1. Φυτικά είδη και Βλάστηση.....	26
2.2. Σχεδιασμός πειράματος .....	27
2.3. Πειράματα θαλάμου .....	28
2.4. Ανάλυση των δεδομένων .....	30
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....	31
3.1. Επιπτώσεις της αύξησης της θερμοκρασίας στη νεκταροπαραγωγή και την παραγωγή ανθέων .....	32
3.2. Πολυετή και μονοετή φυτικά είδη .....	33
3.3. Συμπέταλα και Χωριστοπέταλα.....	36
3.4. Σύγκριση των διαφορετικών θερμοκρασιακών σεναρίων .....	38
4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ .....	67
4.1. Διαφορετικές επιπτώσεις των αυξανόμενων θερμοκρασιών μεταξύ πολυετών και μονοετών φυτών.....	67
4.2. Επιπτώσεις των αυξανόμενων θερμοκρασιών στη νεκταροπαραγωγή και την παραγωγή ανθέων .....	68

4.2.1.	Απόκριση ως προς τον όγκο νέκταρος ανά άνθος και ημέρα .....	68
4.2.2.	Απόκριση ως προς την ποσότητα σακχάρων νέκταρος .....	70
4.2.2.1.	Ποσότητα σακχάρων ανά άνθος και ημέρα .....	71
4.2.2.2.	Ποσότητα σακχάρων ανθέων ανά φυτό και ημέρα.....	72
4.2.3.	Επιπτώσεις των αυξανόμενων θερμοκρασιών στον συνολικό αριθμό ανθέων ανά φυτό (ανά ημέρα) .....	74
5.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	77
6.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	79
	Ξενόγλωσση βιβλιογραφία.....	79
	Ελληνική βιβλιογραφία .....	82
	Ιστοσελίδες .....	83

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

<b>Πίνακας 1:</b>	Μορφές συλλογής μελετώμενων φυτών. ....	26
<b>Πίνακας 2:</b>	Τα φυτικά είδη πειραματισμού και βασικά χαρακτηριστικά τους.....	27
<b>Πίνακας 3:</b>	Ομαδοποίηση των φυτικών ειδών βάσει των περιοχών προέλευσης και του μήνα ανθοφορίας στον οποίο αναφέρονται τα σενάρια. ....	31
<b>Πίνακας 4:</b>	Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων από τη στατιστική ανάλυση των πολυετών φυτών για τις 3 μετρικές παραμέτρους του νέκταρος και τον παραγόμενο αριθμό ανθέων. Συμβολισμοί: a = δεν παρουσιάστηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφορετικών θερμοκρασιακών σεναρίων, ↓ ή ↑ ή ∩ = ελάττωση ή αύξηση ή αρχική αύξηση κι έπειτα ελάττωση, αντίστοιχα, της εκάστοτε παραμέτρου κατά το σημειούμενο θερμοκρασιακό σενάριο. ....	34
<b>Πίνακας 5:</b>	Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων από τη στατιστική ανάλυση των μονοετών φυτών για τις 3 μετρικές παραμέτρους του νέκταρος και τον παραγόμενο αριθμό ανθέων. Συμβολισμοί: a = δεν παρουσιάστηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφορετικών θερμοκρασιακών σεναρίων, ↓ ή ↑ ή ∩ = ελάττωση ή αύξηση ή αρχική αύξηση κι έπειτα ελάττωση, αντίστοιχα, της εκάστοτε παραμέτρου κατά το σημειούμενο θερμοκρασιακό σενάριο. ....	35
<b>Πίνακας 6:</b>	Κατηγοριοποίηση των μονοετών φυτικών ειδών σε Χωριστοπέταλα και Συμπέταλα.....	36

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

- Εικόνα 1:** Παγκόσμιες μέσες ετήσιες θερμοκρασίας από κλιματικά μοντέλα από το 1900 έως και το τέλος του 21<sup>ου</sup> αιώνα. Οι κατακόρυφες γραμμές δείχνουν το εύρος στο χρόνο που η 21ετή παγκόσμια μεταβολή της μέσης θερμοκρασίας υπερβαίνει τους +2°C. Οι δύο μαύροι κύκλοι (τετράγωνα) υποδεικνύουν τη θερμοκρασία HadCM3-A2 (B2) σε αυτό το όριο εύρους. Οι αριθμοί στα δεξιά δείχνουν το χρόνο κατά τον οποίο η ανωμαλία της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας 21 ετών υπερβαίνει τους +2°C για κάθε συνδυασμό σεναρίων GCM (πηγή: Giannakopoulos et al., 2009). ..... 11
- Εικόνα 2:** Μορφολογία Μεσογειακής λεκάνης (πηγή: Chandler, 2020). ..... 13
- Εικόνα 3:** *Thymbra capitata* (Άνοιξη 2020) (φωτογραφία: Νίκη Πυροβολάκη) ..... 17
- Εικόνα 4:** Βασικές διαπλάσεις της Μεσογείου. Αριστερά: φρυγανικό οικοσύστημα (πηγή: <http://www.grabner-orchideen.com/>), Κέντρο: μακκί (φωτογράφος: Pietro Columba) και Δεξιά: δάσος (πηγή: Alpine botanical garden, Mediterranean department)..... 18
- Εικόνα 5:** *Salvia triloba* και *Bellis annua* εντός του κλιματικού θαλάου (Άνοιξη 2019) (φωτογράφος: Μερκούρη Σοφία)..... 29
- Εικόνα 6:** Μονοετή Χωριστοπέταλα (επάνω) και Συμπέταλα (κάτω). Επάνω αριστερά: *Silene colorata* (φωτογράφος: Πύροβολάκη Νίκη), Επάνω δεξιά: *Tordylium arulium* (φωτογράφος: Μερκούρη Σοφία), Κάτω αριστερά: *Scabiosa atropurpurea* (φωτογράφος: Πύροβολάκη Νίκη) και Κάτω δεξιά: *Heliotropium europaicum* (φωτογράφος: Πύροβολάκη Νίκη). ..... 37

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Λέξεις – κλειδιά: Κλιματική αλλαγή, αύξηση θερμοκρασιών, Μεσογειακά φυτά, ανθικό νέκταρ, νεκταροπαραγωγή, συγκέντρωση σακχάρων νέκταρος

Η υπερθέρμανση του πλανήτη μπορεί να έχει αρνητικό αντίκτυπο στις κοινότητες των φυτών. Η αναμενόμενη αύξηση της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια του 21<sup>ου</sup> αιώνα θα μπορούσε να είναι υπεύθυνη για πολλές αλλαγές, συμπεριλαμβανομένης της παραγωγής ανθέων και της διαθεσιμότητας ανθικών παροχών, όπως η ποσότητα και η ποιότητα του νέκταρος που εκκρίνεται από τα άνθη. Το ανθικό νέκταρ είναι πολύ σημαντικό για τη λειτουργία των οικοσυστημάτων, καθώς είναι ένας πολύτιμος πόρος για τους επικονιαστές. Οι μεταβολές στην παραγωγή νέκταρος μπορεί να επηρεάσουν τις αλληλεπιδράσεις φυτών–επικονιαστών. Η παρούσα εργασία στοχεύει στη διερεύνηση της επίδρασης της αύξησης της θερμοκρασίας λόγω της κλιματικής αλλαγής στη νεκταροπαραγωγή και την παραγωγή ανθέων σημαντικών μεσογειακών φυτών, που αποτελούν βασικούς μελισσοκομικούς πόρους. Για να επιτευχθεί αυτό, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις του νέκταρος των φυτών αυτών υπό διαφορετικές ελεγχόμενες θερμοκρασίες. Τα αποτελέσματα παρουσίασαν μία ευαισθησία της ποσότητας του εκκρινόμενου νέκταρος ανά άνθος και του αριθμού παραγόμενων ανθέων ανά φυτό στις αυξανόμενες θερμοκρασίες, ενώ αντίθετα η συγκέντρωση σακχάρων ανά άνθος δε φάνηκε να εξαρτάται άμεσα από τις θερμοκρασίες.

## ABSTRACT

Keywords: Climate change, elevated temperatures, Mediterranean plants, flower nectar, nectar production, nectar sugar concentration

Global warming may have negative impact on plant communities. Temperature rise expected during the 21<sup>st</sup> century could be responsible for many changes including the production and availability of floral rewards, such as quantity and quality of nectar secreted by flowers. Floral nectar is very important for the functioning of the ecosystem, as it is a valuable food resource for pollinators. Shifts in nectar production may affect the plant–pollinator interactions. The study aims to investigate the effect of temperature rise due to climate change on nectar secretion and the production of flowers of important Mediterranean plants, which are key beekeeping resources. To reach this, measurements were made on a variety of nectar-related characteristics of these plants under different controlled temperatures. The results presented a sensitivity of nectar secretion per flower and the number of flowers produced per plant to increasing temperatures, while on the contrary the concentration of sugars per flower did not appear to be directly dependent on temperatures.

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ – ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Βιογεωγραφίας και Οικολογίας του Τμήματος Γεωγραφίας του Πανεπιστημίου Αιγαίου. Η Διπλωματική έγινε στο πλαίσιο της εμβληματικής δράσης “Οι Δρόμοι της Μέλισσας”, που χρηματοδοτήθηκε από τη Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας (Γ.Γ.Ε.Τ.).

Στα πλαίσια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας, η συμβολή κάποιων ανθρώπων ήταν σημαντική. Έτσι, λοιπόν θα ήθελα να τους ευχαριστήσω για την βοήθεια που μου έδωσαν.

Αρχικά, λοιπόν, θα ήθελα να ευχαριστήσω την καθηγήτρια και επιβλέπουσά μου Θ. Πετανίδου, για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα, για τη βοήθεια που μου προσέφερε και για τις γνώσεις που μου παρείχε τόσο πάνω στο θέμα της διπλωματικής μου αλλά και γενικότερα.

Ευχαριστίες οφείλω επίσης και στον καθηγητή T. Tschepulin για τη βοήθεια που μου παρείχε κατά τη διάρκεια των πειραματικών εργασιών αλλά και για τη συνδρομή του όσον αφορά ένα μέρος των αναλύσεών μου.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στον καθηγητή Δ. Καβρουδάκη, χωρίς τη βοήθεια του οποίου η στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων της εργασίας θα ήταν ανέφικτη για εμένα. Τον ευχαριστώ από καρδιάς για τη γρήγορη ανταπόκρισή του και για την πολύτιμη βοήθεια που μου παρείχε.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή N. Φύλλα, που δέχτηκε να γίνει μέλος της τριμελούς επιτοπής, συμβάλλοντας έτσι στην πρόοδό μου.

Επιπλέον, ευχαριστώ τον κ. Χρήστο Γιαννακόπουλο, για τις πληροφορίες που μας παρείχε σχετικά με τα κλιματικά μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν για τις προσομοιώσεις.

Εγκάρδιες ευχαριστίες οφείλω στους φίλους μου και συνεργάτες Γεώργιο Νάκα και Σοφία Μερκούρη, πρώτα απ’ όλα για την ανεκτίμητη βοήθεια και την υπομονή τους καθ’ όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου, την άριστη συνεργασία τους και για τις γνώσεις που μου προσέφεραν απλόχερα όχι μόνο στο πλαίσιο της εργασίας αλλά και σε μία πληθώρα άλλων θεμάτων. Οι άνθρωποι αυτοί αποτέλεσαν για εμένα μία πηγή υποστήριξης καθώς ήταν δίπλα μου από την αρχή



μέχρι το τέλος και μου έδιναν κουράγιο κάθε φορά που χρειαζόμουν κάποιο στήριγμα.

Επίσης, ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω και στην Αιμιλία Στεφανάτου, την οποία πρωτογνώρισα στο Εργαστήριο Βιογεωγραφίας και Οικολογίας και έκτοτε αποτέλεσε ένα σημαντικό πρόσωπο της ζωής μου στο νησί. Την ευχαριστώ από καρδιάς για την πολύτιμη βοήθειά της και για την υποστήριξή της κατά τη διάρκεια των χρόνων που βρίσκομαι εδώ.

Επιθυμώ να ευχαριστήσω τους συνεργάτες του έργου «Οι Δρόμοι της Μέλισσας», μέσω του οποίου μου δώθηκε η δυνατότητα να ασχοληθώ με την έρευνα και μάλιστα σε έναν τόσο ενδιαφέρον τομέα.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους δικούς μου ανθρώπους, τους Γονείς μου και τα Αδέρφια μου, που ήταν δίπλα μου από την αρχή μέχρι το τέλος, οι οποίοι με στηρίζουν σε όλα μου τα βήματα, χαίρονται με τις χαρές μου και βρίσκονται στο πλευρό μου σε κάθε δυσκολία, μικρή ή μεγάλη, σταθερό και παντοτινό στήριγμα – ακόμα κι αν μας χωρίζουν τόσα χιλιόμετρα.

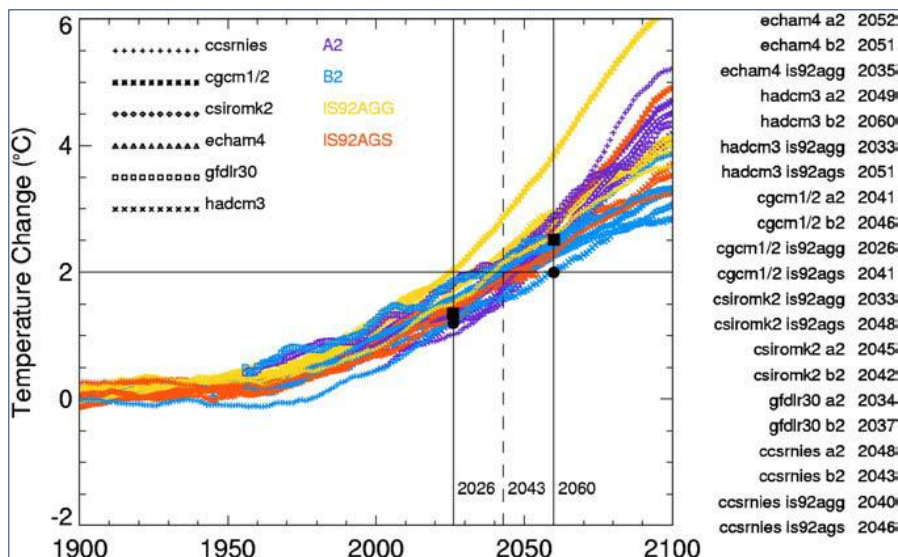
# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1. Κλιματική αλλαγή

Το κλίμα της Γης ανέκαθεν παρουσίαζε μία φυσική μεταβλητότητα, η οποία είναι πολύ πιθανό να συνεχίσει να υφίσταται (Besancenot and Thibaudon, 2012). Οι περισσότερες από αυτές τις κλιματικές αλλαγές αποδίδονται σε μικρές αλλαγές της τροχιάς του πλανήτη, οι οποίες αλλάζουν την ποσότητα της ηλιακής ενέργειας που λαμβάνει ο πλανήτης μας (NASA, 2008). Σε αυτές τις φυσικές μεταβολές, από την αρχή της βιομηχανικής εποχής, έχει προστεθεί και μία επιπλέον μορφή αλλαγής. Αυτή η νέα μορφή μεταβολής των κλιματικών συνθηκών, φαίνεται να είναι συνδεδεμένη με την ανθρώπινη δραστηριότητα (Salinger, 2005; NASA, 2008; Besancenot and Thibaudon, 2012), π.χ. την κατανάλωση ορυκτών καυσίμων, την αποψίλωση δασών (Besancenot and Thibaudon, 2012). Τα προηγούμενα, σε συνδυασμό με τη μαζική απελευθέρωση αέριων συστατικών (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O), σε ποσότητες που ξεπερνούν αυτές που παράγονται από φυσικές διαδικασίες (Salinger, 2005), που απορροφούν και κατακρατούν την εκπεμπόμενη από την επιφάνεια της Γης υπέρυθη ακτινοβολία, εντατικοποιούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου, που θεωρείται ο κύριος μηχανισμός αυτών των κλιματικών μεταβολών (Salinger, 2005; Besancenot and Thibaudon, 2012). Οι νέες αυτές κλιματικές αλλαγές που προκύπτουν είναι γρήγορες (Besancenot and Thibaudon, 2012), ξεπερνώντας τον φυσικό ρυθμό των οικολογικών αλλαγών (Bussotti *et al.*, 2014), και γίνονται αντιληπτές εντός λίγων δεκαετιών, σε αντίθεση με τις αλλαγές που μέχρι τώρα γνώριζε η Γη, και έχουν μεγάλο εύρος (Besancenot and Thibaudon, 2012).

Εκτιμήσεις για την κλιματική αλλαγή προβλέπουν αναταραχές σε ορισμένες περιοχές του κόσμου σε λίγες δεκαετίες από τώρα, με τις αναταραχές αυτές να περιλαμβάνουν φαινόμενα όπως εξάπλωση των ερήμων, μεταβαλλόμενα μοτίβα χιονοπτώσεων και βροχοπτώσεων και μεγαλύτερη συχνότητα ακραίων κλιματικών γεγονότων (Conte and Navajas, 2008). Ολοένα και περισσότερες μελέτες υποστηρίζουν ότι οι μεταβολές έχουν ήδη ξεκινήσει με μία μέση αύξηση της θερμοκρασίας (Giannakopoulos *et al.*, 2009; Takkis, Tscheulin and Petanidou, 2018a)

στην επιφάνεια της Γης ήδη από τα μέσα του 20<sup>ου</sup> αιώνα. Πλέον, παγκοσμίως παρατηρείται μία τάση αύξησης των θερμοκρασιών (NASA, 2008; Besancenot and Thibaudon 2012)(Εικόνα 1).



Εικόνα 1: Παγκόσμιες μέσες ετήσιες θερμοκρασίας από κλιματικά μοντέλα από το 1900 έως και το τέλος του 21<sup>ου</sup> αιώνα. Οι κατακόρυφες γραμμές δείχνουν το εύρος στο χρόνο που η 21ετή παγκόσμια μεταβολή της μέσης θερμοκρασίας υπερβαίνει τους +2°C. Οι δύο μαύροι κύκλοι (τετράγωνα) υποδεικνύουν τη θερμοκρασία HadCM3-A2 (B2) σε αυτό το όριο εύρους. Οι αριθμοί στα δεξιά δείχνουν το χρόνο κατά τον οποίο η ανωμαλία της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας 21 ετών υπερβαίνει τους +2°C για κάθε συνδυασμό σεναρίων GCM (πηγή: Giannakopoulos et al., 2009).

Προκειμένου να γίνουν προβλέψεις για το μελλοντικό κλίμα της Γης, η πληροφορία του παρελθόντος καθώς και οι προβλεπόμενες μελλοντικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και αερολυμάτων ενσωματώνονται σε κλιματικά μοντέλα (Salinger, Sivakumar and Motha, 2005). Σύμφωνα με προσομοιώσεις τέτοιων μοντέλων, αναμένεται παγκοσμίως μία θέρμανση (Giannakopoulos *et al.*, 2009; Besancenot and Thibaudon, 2012; Bussotti *et al.*, 2014) κατά 1.1 °C έως 6.4 °C έως το 2100, σε σύγκριση με την περίοδο 1980 – 1999 (Besancenot and Thibaudon, 2012). Αυτή η παγκόσμια υπερθέρμανση του πλανήτη προβλέπεται να αποτελέσει μεγάλη απειλή για όλα τα φυσικά οικοσυστήματα (Conte and Navajas, 2008; Giannakopoulos *et al.*, 2009), καθώς το κλίμα παίζει καθοριστικό ρόλο στη βιοποικιλότητα και την κατανομή των ειδών παγκοσμίως (Tsianou *et al.*, 2016; Petanidou *et al.*, 2017).

Επιπλέον, προσομοιώσεις μοντέλων παγκόσμιας κλίμακας δείχνουν ότι μέχρι το δεύτερο μισό του 21<sup>ου</sup> αιώνα, είναι πιθανό να σημειωθούν μεταβολές και στη βροχοπτώση (Salinger, 2005; Bussotti *et al.*, 2014). Σε βόρειες περιοχές των μεσαίων έως και υψηλών γεωγραφικών πλατών, οι βροχές αναμένεται να αυξηθούν, ενώ σε περιοχές χαμηλών γεωγραφικών πλατών, προβλέπονται τόσο αυξήσεις όσο και μειώσεις των βροχοπτώσεων (Maracchi, Sirotenko and Bindi, 2005).

Ειδικά στη περιοχή της Μεσογείου, οι επιρροές λόγω αύξησης των θερμοκρασιών αναμένεται να είναι ιδιαίτερα ισχυρές στο μέλλον (Giorgi and Lionello, 2008; Takkis *et al.*, 2018a; Flores *et al.*, 2019).

## 1.2. Η περιοχή της Μεσογείου

### 1.2.1 Μεσογειακό κλίμα

Ο όρος “Μεσογειακό κλίμα”, όπως υποδηλώνεται και από το όνομά του, χρησιμοποιείται για τον καθορισμό του κλίματος που επικρατεί στην περιοχή της Μεσογείου (Pignatti, 2003; Lionello *et al.*, 2006; Blondel *et al.*, 2010; Πετανίδου, 2015; Rundel *et al.*, 2016), καθώς και σε άλλες μικρότερες περιοχές με παρόμοια κλιματικά χαρακτηριστικά (Pignatti, 2003; Lionello *et al.*, 2006; Blondel *et al.*, 2010; Rundel *et al.*, 2016). Το Μεσογειακό κλίμα χαρακτηρίζεται από ήπιους, υγρούς χειμώνες και ζεστά, ξηρά καλοκαίρια (Pereira and Chaves, 1995; Petanidou and Smets, 1995; Petanidou, Goethals and Smets, 1999; Larcher, 2000; Lionello *et al.*, 2006; Ulbrich *et al.*, 2006; Giorgi and Lionello, 2008; Blondel *et al.*, 2010; Πετανίδου, 2015; Rundel *et al.*, 2016), με μεγάλες απώλειες νερού (Πετανίδου, 1991; Petanidou and Smets, 1995; Larcher, 2000), ειδικά κατά τους καλοκαιρινούς μήνες (Petanidou and Smets, 1995; Larcher, 2000).

Το κλίμα της περιοχής της Μεσογείου επηρεάζεται από πολλά μορφολογικά και γεωγραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής (Lionello *et al.*, 2006; Giorgi and Lionello, 2008). Η περίπλοκη μορφολογία της Μεσογειακής λεκάνης αποτελεί ιδιαίτερο χαρακτηριστικό λόγω της παρουσίας πολλών ορέων, διακριτών λεκανών και κόλπων, πολυάριθμων νησιών και πολυσχιδών ακτών καθώς και διακριτών

προεκβολών χερσονήσων διαφορετικού μεγέθους (Lionello *et al.*, 2006; Πετανίδου, 2015). Οι ψηλές κορυφογραμμές που περιβάλλουν τη Μεσόγειο Θάλασσα, τείνουν να δημιουργούν έντονα κλιματολογικά χαρακτηριστικά τα οποία δε θα υπήρχαν χωρίς την ύπαρξη των κορυφογραμμών (Lionello *et al.*, 2006). Τα νησιά, οι χερσόνησοι και οι περιφερειακές θάλασσες και λεκάνες καθιστούν το μοτίβο κατανομής ξηράς-θάλασσας ιδιαίτερα πολύπλοκο στην περιοχή αυτή (Lionello *et al.*, 2006)(Εικόνα 2).



Εικόνα 2: Μορφολογία Μεσογειακής λεκάνης (πηγή: Chandler, 2020).

Ένας επιπλέον λόγος που καθιστά τη Μεσόγειο μοναδική, είναι η μεγάλη της υδάτινη μάζα (Lionello *et al.*, 2006; Giorgi and Lionello, 2008). Η Μεσόγειος Θάλασσα είναι μία σχεδόν κλειστή θάλασσα που περιβάλλεται από ξηρά (Βόρεια με την Ευρώπη, Νότια με την Αφρική και Ανατολικά με την Ασία) και συνδέεται με τον Ατλαντικό Ωκεανό μέσω του Στενού του Γιβραλτάρ (Lionello *et al.*, 2006). Η κίνηση των υδάτινων και αέριων ρευμάτων σε συνδυασμό με τις υψηλές θερμοκρασίες επηρεάζουν το κλίμα της περιοχής (Lionello *et al.*, 2006; Πετανίδου, 2015).

Η ιδιαίτερη φυσιολογία της περιοχής της Μεσογείου, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι λόγω της γεωγραφικής της θέσης τοποθετείται σε μία μεταβατική ζώνη μεταξύ του ξηρού κλίματος της Βορείου Αφρικής και του εύκρατου και βροχερού κλίματος της Κεντρικής Ευρώπης, την καθιστούν ευάλωτη ακόμα και σε μικρές κλιματικές αλλαγές των περιοχών αυτών (Lionello *et al.*, 2006; Giorgi and Lionello, 2008).

Κατά το παρελθόν το κλίμα της Μεσογείου είχε υποστεί έντονες αλλαγές, γεγονός που την έχει καταστήσει “Hot Spot” σε πολλά κλιματικά μοντέλα πρόβλεψης για το μέλλον (Giorgi and Lionello, 2008). Η περιοχή της Μεσογείου φαίνεται να είναι πιο ευάλωτη στις αναμενόμενες κλιματικές αλλαγές και πρόκειται να επηρεαστεί πιο έντονα απ’ ό,τι άλλες κλιματικές ζώνες (Bussotti *et al.*, 2014). Για το λόγο αυτό, γίνονται προσπάθειες εκτίμησης των συνεπειών της κλιματικής αλλαγής στην περιοχή αυτή.

Όσον αφορά στη μεταβλητότητα της θερμοκρασίας, αρκετές μελέτες αποκαλύπτουν μία άνευ προηγουμένου αύξηση των θερμοκρασιών στα τέλη του 21<sup>ου</sup> αιώνα (Pereira and Chaves, 1995; Salinger, Sivakumar and Motha, 2005; Luterbacher *et al.*, 2006; Ulbrich *et al.*, 2006; Giannakopoulos *et al.*, 2009; Bussotti *et al.*, 2014) που μπορεί να εξηγηθεί από την ανθρωπογενή δραστηριότητα (επαυξημένο φαινόμενο του Θερμοκηπίου) (Salinger, 2005; Luterbacher *et al.*, 2006). Πολλά κλιματικά μοντέλα δίνουν μία εικόνα ξηρασίας και θέρμανσης για την περιοχή της Μεσογείου, ειδικά κατά τις ζεστές περιόδους (Pereira and Chaves, 1995; Giorgi and Lionello, 2008). Επιπρόσθετα, πολλές έρευνες υποστηρίζουν τον διπλασιασμό των επιπέδων της συγκέντρωσης του CO<sub>2</sub> (Maracchi, Sirotenko and Bindi, 2005; Salinger, 2005; Ulbrich *et al.*, 2006) και μείωση των βροχοπτώσεων στη λεκάνη της Μεσογείου (Maracchi, Sirotenko and Bindi, 2005; Ulbrich *et al.*, 2006; Giannakopoulos *et al.*, 2009; Bussotti *et al.*, 2014), ιδιαίτερα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, προκαλώντας υψηλή εξάτμιση και ξηρότερες συνθήκες (Salinger, 2005; Ulbrich *et al.*, 2006; Giannakopoulos *et al.*, 2009). Αντίθετα, το χειμώνα και το φθινόπωρο αναμένεται αύξηση των βροχών (Giannakopoulos *et al.*, 2009). Οι Giannakopoulos *et al.* (2009) κάνουν λόγο πρώτον, για θέρμανση της περιοχής της Μεσογείου κατά 2°C κατά την άνοιξη και το χειμώνα και 4°C κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, και δεύτερον, για αύξηση της διάρκειας της καλοκαιρινής ξηρασίας κατά έναν μήνα. Όλα αυτά εντείνουν τον κίνδυνο φωτιάς κατά το καλοκαίρι για το μεγαλύτερο κομμάτι της Μεσογείου (Maracchi, Sirotenko and Bindi, 2005; Giannakopoulos *et al.*, 2009).

Οι συνέπειες μιας τέτοιας κλιματικής αλλαγής πρόκειται να επηρεάσουν όχι μόνο τις δραστηριότητες του ανθρώπου (π.χ. μείωση του τουρισμού κατά τους

καλοκαιρινούς μήνες) (Giannakopoulos *et al.*, 2009) αλλά και όλα τα φυσικά οικοσυστήματα (Conte and Navajas, 2008; Giannakopoulos *et al.*, 2009).

### 1.2.2. Βλάστηση της Μεσογείου

Η ανάπτυξη αυτών των Μεσογειακών οικοσυστημάτων χρονολογείται ήδη από τα μέσα του Πλειόκαινου (Πετανίδου, 2015; Rundel *et al.*, 2016), κατά την οποία οι συνθήκες που επικρατούσαν στις περιοχές αυτές, δηλ. ξερά καλοκαίρια και πυρκαγιές, πρώτον, ώθησαν τη δημιουργία νέου τοπίου και πρόσφεραν ευκαιρίες διαφοροποίησης στα είδη που τις αποικούσαν, αναπτύσσοντας στρατηγικές ανοχής στη φωτιά, και δεύτερον, επέτρεψαν τον αποικισμό από άλλα φυτικά είδη, ανθεκτικά στη φωτιά και προσαρμοσμένα στην υγρασία (Rundel *et al.*, 2016). Επιπλέον, οι αλλαγές που υπέστη το κλίμα της περιοχής της Μεσογείου κατά το παρελθόν, έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση του φυσικού περιβάλλοντος, τόσο στη δομή όσο και στη δυναμική του (Blondel *et al.*, 2010; Bussotti *et al.*, 2014; Πετανίδου, 2015). Επιπρόσθετα, η Μεσογειακή Λεκάνη όντας σταυροδρόμι τριών Ηπείρων, της Ευρώπης, της Ασίας και της Αφρικής, κατά το παρελθόν αποτέλεσε σημείο συνάντησης για πολλά είδη διαφορετικών προελεύσεων (Blondel *et al.*, 2010; Πετανίδου, 2015). Αποτέλεσμα αυτής της “σύνηξης” είναι το πολύπλοκο μείγμα από taxa διαφορετικών προελεύσεων, διαφορετικής ηλικίας και εξελικτικής ιστορίας, που απαρτίζουν τη σημερινή Μεσογειακή χλωρίδα (Blondel *et al.*, 2010). Τα παραπάνω γεγονότα κατέστησαν τη χλωρίδα της περιοχής της Μεσογείου μία από τις πλουσιότερες στον κόσμο (Blondel *et al.*, 2010; Rundel *et al.*, 2016), σε σχέση με το μέγεθός της, εγκαθιστώντας τη ως μία φυσική δεξαμενή φυτικής ποικιλότητας (Blondel *et al.*, 2010; Πετανίδου, 2015), η οποία περιλαμβάνει περισσότερα από 25.000 φυτικά είδη (Blondel *et al.*, 2010; Rundel *et al.*, 2016). Λόγω του μεγάλου αριθμού ειδών (Πετανίδου, 2015; Rundel *et al.*, 2016) και τις παρουσίας πολλών ενδημικών taxa (Blondel *et al.*, 2010; Rundel *et al.*, 2016), αρκετές περιοχές της έχουν χαρακτηριστεί ως περιοχές μείζονος σημασίας, όσον αφορά τη βιοποικιλότητά τους, που απειλούνται όμως από τις ανθρώπινες δραστηριότητες (Πετανίδου, 2015; Rundel *et al.*, 2016).

Η βλάστηση των Μεσογειακών οικοσυστημάτων έχει προσαρμοστεί στην έντονη εποχικότητα που χαρακτηρίζει το κλίμα της περιοχής αυτής. Ωστόσο, η ξηρασία του καλοκαιριού, που χαρακτηρίζει τα Μεσογειακού τύπου οικοσυστήματα, είναι αυτή που έχει επηρεάσει δραματικά την εξέλιξη και τη ζωή των φυτών (Πετανίδου, 1991; Pereira and Chaves, 1995; Rundel *et al.*, 2016). Τα Μεσογειακά οικοσυστήματα έρχονται αντιμέτωπα κάθε χρόνο με την έντονη ξηρασία του καλοκαιριού, καθώς εκτίθενται σε μία στρεσογόνο περίοδο γι' αυτά (Pignatti, 2003).

Τα Μεσογειακά φυτά έχουν καταφέρει να προσαρμοστούν στο κλίμα της Μεσογείου, μέσω αποκρίσεων σε μορφολογικό, ανατομικό, φυσιολογικό και μοριακό επίπεδο, προκειμένου να επιβιώσουν (Bussotti *et al.*, 2014). Έτσι στη Μεσόγειο είναι έντονη η παρουσία των ξυλώδων (Rundel *et al.*, 2016), σκληρόφυλλων θαμνώνων και του εποχιακού διμορφισμού (Πετανίδου, 2015). Η σκληροφυλλία είναι ένα φυτικό γνώρισμα το οποίο εξελίχθηκε για την αποτελεσματικότερη χρήση θρεπτικών συστατικών σε περιβάλλοντα φτωχά σε θρεπτικά και για την προστασία ενάντια σε παθογόνα και στο μαρασμό, επιτρέποντας στα φυτά να διατηρούν το μεταβολισμό τους και τα φύλλα τους ενυδατωμένα, σε συνθήκες αφυδάτωσης, αλλά υπό ήπιες κι όχι παρατεταμένες ξηρασίες (Bussotti *et al.*, 2014).

Επιπλέον, κάποιες από τις (μορφολογικές) προσαρμογές των Μεσογειακών φυτών στις καλοκαιρινές αυξήσεις των θερμοκρασιών, είναι (1) οι απότομες γωνίες των φύλλων τους, γεγονός που προσφέρει προστασία από την έντονη ακτινοβολία καθώς μειώνει την ποσότητα φωτός που απορροφάται, (2) η κάλυψη της επιφάνειας των φύλλων με τριχίδια και (3) τα μικρού μεγέθους φύλλα (Εικόνα 3). Λόγω των διαφορετικών εξελικτικών προελεύσεων τους, παρουσιάζουν κι ένα μεγάλο εύρος μηχανισμών επιβίωσης και αντιμετώπισης της καλοκαιρινής ξηρασίας (Pereira and Chaves, 1995; Bussotti *et al.*, 2014; Πετανίδου, 2015). Τέτοιοι μηχανισμοί είναι η διαφυγή (ολοκλήρωση των φυτικών και αναπαραγωγικών φάσεων πριν την έναρξη των ξηρών περιόδων), η αποφυγή (ικανότητα αποφυγής μεγάλων μειώσεων στο υδατικό δυναμικό πριν από την αυγή, και διατήρηση, όσο είναι εφικτό, της ποσότητας νερού κατά την ξηρή περίοδο της ημέρας) και η ανοχή (διατήρηση φυσιολογικών και μεταβολικών διεργασιών του υδατικού δυναμικού



κατά τη διάρκεια των μετέπειτα στρεσογόνων συνθηκών, δηλαδή τις απώλειες νερού) (Bussotti *et al.*, 2014).



Εικόνα 3: *Thymbra capitata* (Άνοιξη 2020) (φωτογραφία: Νίκη Πυροβολάκη)

Ως επί το πλείστον στη Μεσόγειο κυριαρχούν τα θερόφυτα (Petanidou and Vokou, 1990; Pignatti, 2003) και τα γεώφυτα (Πετανίδου, 2015). Τα πρώτα είναι μονοετή, ποώδη φυτά που κατά τη δυσμενή περίοδο του χρόνου νεκρώνονται, αφού πρώτα έχουν ωριμάσει τα σπέρματα, συνήθως την άνοιξη. Τα σπέρματα αργότερα, όταν οι συνθήκες το επιτρέψουν, θα βλαστήσουν (Pignatti, 2003). Τα γεώφυτα είναι φυτά με υπόγεια όργανα, π.χ. βολβούς, ριζώματα, που τα βοηθούν να αντιμετωπίσουν τις συνθήκες της θερινής περιόδου (Πετανίδου, 2015).

Οι βασικές διαπλάσεις που συναντώνται σε περιοχές με Μεσογειακό κλίμα είναι τα δάση σκληροφύλλων και αειφύλλων δέντρων, οι μεσογειακοί θάμνοι (Pignatti, 2003; Πετανίδου, 2015; Rundel *et al.*, 2016), τα χαμηλά φυτά (βότανα) και τα λιβάδια (Pignatti, 2003; Rundel *et al.*, 2016). Παρακάτω παρουσιάζονται τα βασικότερα ενδιαιτήματα που συναντώνται στη Μεσόγειο (Εικόνα 4).



Εικόνα 4: Βασικές διαπλάσεις της Μεσογείου. Αριστερά: φρυγανικό οικοσύστημα (πηγή: <http://www.grabner-orchideen.com/>), Κέντρο: μακκί (φωτογράφος: Pietro Columba) και Δεξιά: δάσος (πηγή: Alpine botanical garden, Mediterranean department).

**Φρύγανα:** Σε ξηρότερες και θερμότερες περιοχές συναντώνται τα φρυγανικά οικοσυστήματα (Petanidou *et al.*, 1999; Πετανίδου, 2015). Ως φρύγανα ορίζονται οι περιοχές χαμηλού υψομέτρου με αραιή βλάστηση (Πετανίδου, 2015), αποτελούμενη από χαμηλούς αρωματικούς, ακανθώδεις θάμνους (Πετανίδου, 2015), ορισμένοι εκ των οποίων έχουν φαρμακευτικές ιδιότητες. Τα φυτά που τις απαρτίζουν έχουν αναπτύξει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά προκειμένου να αντιμετωπίσουν τις υψηλές θερμοκρασίες, π.χ. φύλλα μικρά, σκληρά, χνουδωτά και ολιγόστομα. Τα είδη που συναντώνται σε αυτές τις περιοχές είναι πρωτοπόρα καθώς καταλαμβάνουν υποβαθμισμένα/κατεστραμμένα και άγονα εδάφη (Πετανίδου, 2015).

**Μακκί:** Μία άλλη τύπου βλάστηση που συναντάται κυρίως στις υγρότερες περιοχές είναι τα μακκί (Pignatti, 2003; Πετανίδου, 2015). Τέτοιες περιοχές αποτελούνται από πυκνή βλάστηση αείφυλλων, σκληρόφυλλων θάμνων (Πετανίδου, 2015) ύψους 2-5 m έως 9m (Pignatti, 2003). Συνήθως, κυριαρχούνται από ένα φυτικό είδος (Pignatti, 2003; Πετανίδου, 2015). Ο υπόροφος σπάνια αναπτύσσεται σε τέτοιου τύπου περιοχές (Pignatti, 2003; Πετανίδου, 2015).

**Μεσογειακά δάση:** Τέλος, λιγότερα είναι τα δάση αείφυλλων και κωνοφόρων, τα οποία αποτελούν την καταληκτική φάση του κύκλου διαδοχής των Μεσογειακών οικοσυστημάτων (Πετανίδου, 2015).

### 1.3. Επίδραση της αύξησης της θερμοκρασίας στη λειτουργία των φυτών

#### 1.3.1. Επιπτώσεις στη φωτοσύνθεση και το άνοιγμα των στομάτων

Ένα φυτό για να φτάσει στη βέλτιστη λειτουργική κατάσταση είναι απαραίτητο να αναπτύσσεται υπό τις καταλληλότερες συνθήκες (Larcher, 2000). Υπό δυσμενείς και έντονα μεταβαλλόμενες συνθήκες, οι καταστάσεις των φυτών αποκλίνουν από τις βέλτιστες και οδηγούν στην αποσταθεροποίηση των διεργασιών και έπειτα, σε αποκατάσταση αυτών και εγκλιματισμό τους με προστατευτικούς μηχανισμούς (Larcher, 2000).

Κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών στην περιοχή της Μεσογείου τα φυτά υποφέρουν λόγω των υψηλών θερμοκρασιών, της έντονης ηλιακής ακτινοβολίας και της απώλειας νερού (Larcher, 2000; Nicolson, Nepi and Pacini, 2007, chap. 8; Πετανίδου, 2015). Η διάρκεια έκθεσης και το μέγεθος της θερμοκρασίας καθορίζει την ένταση των επιπτώσεων του θερμικού στρες (Descamps *et al.*, 2018). Άμεση απόρροια της των υψηλών θερμοκρασιών είναι οι μεταβολές στο ρυθμό της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας των φυτών (Larcher, 2000; Bussotti *et al.*, 2014; Descamps *et al.*, 2018), είτε καταστρέφοντας το πρωτεϊνικό σύμπλεγμα Photosystem II (PS II) ή αναστέλλοντας την πρόσληψη νερού και CO<sub>2</sub> λόγω του κλείσιμου των στομάτων (Larcher, 2000; Descamps *et al.*, 2018). Για κάποια Μεσογειακά είδη το ανώτατο θερμοκρασιακό όριο ώστε να αρχίσει να αναστέλλεται η διαδικασία της φωτοσύνθεσης κυμαίνεται μεταξύ 35°C – 55°C. Με την αύξηση των θερμοκρασιών λόγω κλιματικής αλλαγής τα όρια αυτά για πολλά φυτικά είδη πρόκειται να ξεπεραστούν (Bussotti *et al.*, 2014). Έμμεσα η αύξηση των θερμοκρασιών επηρεάζει τη λειτουργία των στομάτων, μέσω αλλαγών στο έλλειμμα της πίεσης ατμοσφαιρικών υδρατμών στα φύλλα του φυτού (Bussotti *et al.*, 2014). Ως απόκριση στη θερμότητα, τα φυτά μπορεί να αυξήσουν τον ρυθμό διαπνοής ή να μειώσουν τον αριθμό των φύλλων ώστε να μετριάσουν την απώλεια νερού (Descamps *et al.*, 2018).

Αλλαγές στο ρυθμό της φωτοσύνθεσης επηρεάζουν και λειτουργίες που εξαρτώνται από αυτήν, όπως είναι η νεκταροπαραγωγή και ο αριθμός των ανθέων.

### 1.3.2. Επιπτώσεις στην παραγωγή νέκταρος

Ένα άλλο ανθικό χαρακτηριστικό που αναμένεται να επηρεαστεί από τη μεταβολή των συνθηκών είναι το νέκταρ.

Ο κύριος λόγος για τον οποίο τα έντομα επισκέπτονται τα άνθη είναι η εύρεση τροφής, γύρης και νέκταρος (Πετανίδου, 1991). Το νέκταρ αποτελεί την πιο συχνή ανταμοιβή (Herrera, 1985; Pyke *et al.*, 2020) και για το λόγο αυτό κατέχει σημαντικό ρόλο στη λειτουργία της επικονίασης (Herrera, 1985; Stiles and Freeman, 1993; Petanidou, Goethals and Smets, 2000; Nicolson *et al.*, 2007, chap. 1; Striczynska, Nepi and Zych, 2015).

Το νέκταρ είναι υδατικό διάλυμα σακχάρων (Nicolson *et al.*, 2007, chap. 1; Pyke *et al.*, 2020). Προσφέρει στους επικονιαστές νερό, ιόντα, υδατάνθρακες (σάκχαρα), αμινοξέα και πρωτεΐνες μικρού μοριακού βάρους (Nicolson *et al.*, 2007, chap. 1 and 8). Επιπλέον διαλυμένες ουσίες που περιέχονται, προσδίδουν κι άλλες ιδιότητες στο νέκταρ όπως: (1) αρωματικά συστατικά που χρησιμοποιούνται για την προσέλκυση των καταναλωτών, (2) ένζυμα και πρωτεΐνες για τη διατήρηση της ομοιόστασης της σύνθεσης του νέκταρος και (3) τοξικά συστατικά για την αποθάρρυνση ανεπιθύμητων επισκεπτών–καταναλωτών (Nicolson *et al.*, 2007, chap. 1). Τα βασικά χαρακτηριστικά του νέκταρος είναι ο όγκος, η συγκέντρωση και η περιεκτικότητα σε σάκχαρα (Nicolson *et al.*, 2007, chap. 8; Pyke *et al.*, 2020), η οσμή, το χρώμα και η γεύση (Nicolson *et al.*, 2007, chap. 8).

Το πιο συχνά μελετώμενο χαρακτηριστικό είναι ο όγκος (Nicolson *et al.*, 2007, chap. 8). Αν και η ικανότητα των φυτών να εκκρίνουν νέκταρ είναι γενετικά προκαθορισμένη, επιτυγχάνεται μόνο εάν οι περιβαλλοντικές συνθήκες το επιτρέπουν (Corbet, 1978; Herrera, 1985; Πετανίδου, 1991). Οι εξωτερικοί παράγοντες που κατέχουν περιοριστικό ρόλο στην έκκριση του νέκταρος είναι η ποσότητα νερού, ειδικά η ξηρασία, η θερμοκρασία και τα θρεπτικά συστατικά του εδάφους, ειδικά το άζωτο (Petanidou *et al.*, 1999).

Πιο συγκεκριμένα, το νέκταρ, όντας ένα υδατικό διάλυμα, επηρεάζεται σημαντικά από διαθεσιμότητα νερού (Πετανίδου, 1991; Nicolson *et al.*, 2007, chap. 1). Σε περιοχές με έντονη έλλειψη νερού τα φυτά υποβάλλονται σε έντονες πιέσεις όσον αφορά την έκκριση νέκταρος (Πετανίδου, 1991; Petanidou *et al.*, 1999;

Nicolson *et al.*, 2007, chap. 4). Στη Μεσόγειο τα φυτά έρχονται αντιμέτωπα με τέτοιες συνθήκες κυρίως κατά τους καλοκαιρινούς μήνες του έτους.

Τα φυτά της Μεσογείου, σύμφωνα με τους Petanidou and Smets (1995), έχουν προσαρμοστεί στις υψηλές θερμοκρασίες που επικρατούν στην περιοχή κι έτσι η έκκριση του νέκταρος πραγματοποιείται σε υψηλότερες θερμοκρασίες συγκριτικά με φυτά εύκρατων περιοχών (Nicolson *et al.*, 2007, chap. 8). Η θερμοκρασία, λοιπόν, αποτελεί έναν από τους παράγοντες που διεγείρουν την έκκριση νέκταρος σε φυτά προσαρμοσμένα σε μεσογειακές συνθήκες (Nicolson *et al.*, 2007, chap. 8). Αυτό μπορεί να είναι ιδιαίτερα εμφανές σε φυτά που ανθοφορούν κατά το καλοκαίρι, τα οποία επισκέπτεται ένας μεγάλος αριθμός εντόμων με σκοπό την αναζήτηση νέκταρος (Nicolson *et al.*, 2007, chap. 8). Όμως, η έντονη ξηρασία που παρατηρείται κατά τους καλοκαιρινούς μήνες στην περιοχή της Μεσογείου σε συνδυασμό με την απώλεια νερού, περιορίζει ακόμα περισσότερο την νεκταροπαραγωγή (Πετανίδου, 1991; Petanidou *et al.*, 1999; Nicolson *et al.*, 2007).

Σημαντικό χαρακτηριστικό του νέκταρος είναι η συγκέντρωση των σακχάρων σε αυτό, η οποία φαίνεται να είναι σχετικά σταθερή και ποικίλει ελάχιστα με τις μεταβολές των περιβαλλοντικών συνθηκών (Stiles and Freeman, 1993). Η συγκέντρωση είναι συναφής με τη δομή του άνθους και στα Μεσογειακά συστήματα σχετίζεται αρνητικά με τον όγκο του νέκταρος, δηλαδή όσο πιο μεγάλος είναι ο όγκος τόσο ελαττώνεται η συγκέντρωση (Petanidou *et al.*, 1999).

Η έκκριση νέκταρος φαίνεται να είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στην επικείμενη κλιματική αλλαγή (Petanidou and Smets, 1995; Takkis *et al.*, 2015; 2018a). Μία μικρή αύξηση των θερμοκρασιών μπορεί να αυξήσει τον όγκο του νέκταρος, αλλά ιδιαίτερα υψηλές θερμοκρασίες κατά την περίοδο ανθοφορίας του φυτού μπορεί να προκαλέσουν τα αντίθετα αποτελέσματα (Takkis *et al.*, 2015; 2018a). Ως απόκριση στην απώλεια νερού, ο όγκος του νέκταρος πάντα μειώνεται (Petanidou *et al.*, 1999; Takkis *et al.*, 2015; Descamps *et al.*, 2018). Σε αντίθεση με τον όγκο του νέκταρος, τουλάχιστον στην οικογένεια Lamiaceae, η συγκέντρωση των σακχάρων επηρεάζεται λιγότερο από εξωτερικούς παράγοντες και δεν παρουσιάζει έντονες αλλαγές εξαιτίας της αύξησης των θερμοκρασιών (Takkis *et al.*, 2018a).

### 1.3.3. Επιπτώσεις στον αριθμό των ανθέων

Οι απόψεις δίστανται, όσον αφορά στην επίδραση των αυξανόμενων θερμοκρασιών στον αριθμό των παραγόμενων ανθέων, με έρευνες να υποστηρίζουν και τις δύο πλευρές, δηλαδή οι υψηλές θερμοκρασίες μπορεί να μην έχουν κάποιο αντίκτυπο σε αυτό το χαρακτηριστικό ή μπορεί ακόμα και να προκαλέσουν αύξηση (Scaven and Rafferty, 2013; Descamps *et al.*, 2018; Takkis *et al.*, 2018a) ή και μείωση του συνολικού αριθμού ανθέων (Liu *et al.*, 2012; Scaven and Rafferty, 2013; Descamps *et al.*, 2018; Takkis *et al.*, 2018a). Οι διαφορετικές αποκρίσεις των φυτών υποδηλώνουν ότι οι θερμοκρασίες είναι ήδη υψηλές σε κάποιες περιοχές (π.χ. Μεσόγειο), με αποτέλεσμα τα φυτά που ζουν σε αυτές να μειώνουν τον αριθμό των ανθέων ή και να μην ανθίζουν καθόλου, ενώ σε άλλες περιοχές που οι θερμοκρασίες είναι ακόμα σχετικά χαμηλές (π.χ. αρκτικές) μπορεί ακόμη και να αυξήσουν τους ρυθμούς παραγωγής ανθέων με την άνοδο των θερμοκρασιών (Scaven and Rafferty, 2013). Έχει παρατηρηθεί ότι μικρές αυξήσεις των θερμοκρασιών μπορεί να μην επιφέρουν αλλαγές στον αριθμό των ανθέων, αλλά υπερβολικά υψηλές θερμοκρασίες μπορεί να προκαλέσουν μέχρι και αποβολές των μπουμπουκιών και τελικά μείωση του αριθμού των ανθέων (Descamps *et al.*, 2018). Φυτικά είδη που βασίζονται σε ενδείξεις της θερμοκρασίας για να ανθίσουν, ίσως στο μέλλον να μπορούν να ανταποκριθούν καλύτερα σε θερμότερες συνθήκες (Scaven and Rafferty, 2013).

Το αν η ανθοφορία των φυτών θα επηρεαστεί από την άνοδο των θερμοκρασιών και το πόσο έντονη θα είναι αυτή η επιρροή, θα καθορίσουν με τη σειρά τους και τη διαθεσιμότητα των πόρων για τους επικονιαστές, αλλά και το βαθμό προσέλκυσης των τελευταίων από τα φυτά (Scaven and Rafferty, 2013). Είναι πιθανό υπό θερμικό στρες να παραχθούν άνθη χωρίς νέκταρ (Takkis *et al.*, 2015). Ένα πολύ πιθανό σενάριο για το μέλλον είναι η μείωση των πηγών τροφής των επικονιαστών υπό θερμότερες συνθήκες (Takkis *et al.*, 2015; 2018a).

#### 1.4. Μελισσοκομία και κλιματική αλλαγή

Η μελισσοκομία είναι ένας ιδιόμορφος κλάδος της γεωργίας (Salehizadeh, Khodaghali and Gandomkar, 2020) καθώς δεν απαιτείται ιδιόκτητη γη για την άσκησή της, αλλά ούτε απαραίτητως καλλιέργεια φυτών. Ο άνθρωπος ασχολείται με τη μελισσοκομία εδώ και 4.500 χρόνια (Gebru, Gebre and Beyene, 2016). Σε πολλές περιοχές αποτελεί σημαντική βιώσιμη και εναλλακτική πηγή εισοδήματος (Gebru *et al.*, 2016), καθώς τα προϊόντα της χρησιμοποιούνται σε πολλές βιομηχανίες, π.χ. για την παραγωγή μελιού και άλλων μελισσοκομικών προϊόντων (όπως πρόπολη, βασιλικός πολτός, δηλητήριο μέλισσας κ.α.), φαρμάκων, καλλυντικών, κεριών κ.τ.λ. (Gebru *et al.*, 2016; Salehizadeh *et al.*, 2020).

Η επικονίαση αποτελεί τη βασικότερη οικοσυστημική υπηρεσία από την οποία εξαρτώνται ολόκληρα τα οικοσυστήματα και ο άνθρωπος (Gallant, Euliss and Browning, 2014; Salehizadeh *et al.*, 2020), και επιτυγχάνεται κυρίως με τη βοήθεια επικονιαστικών εντόμων (Gebru *et al.*, 2016; Salehizadeh *et al.*, 2020). Η μελισσοκομία διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην επικονίαση των φυτών (Gebru *et al.*, 2016; Salehizadeh *et al.*, 2020), η οποία επιτυγχάνεται με τη βοήθεια της κοινής μέλισσας (*Apis mellifera*) (Gebru *et al.*, 2016; Flores *et al.*, 2019; Salehizadeh *et al.*, 2020). Η *A. mellifera*, λοιπόν, κατέχει σημαντική θέση στη διατήρηση του περιβάλλοντος, καθώς επικονιάζει πολύ μεγάλο αριθμό άγριων φυτικών ειδών και μεγάλο αριθμό καλλιεργειών ζωτικής σημασίας για τον άνθρωπο (Gebru *et al.*, 2016; Flores *et al.*, 2019; Salehizadeh *et al.*, 2020). Περίπου το ένα τρίτο των φυτών ή των προϊόντων που καταναλώνονται από τους ανθρώπους εξαρτώνται, άμεσα ή έμμεσα, από τις μέλισσες για την επικονιάσή τους (Gebru *et al.*, 2016). Η πρώτη ύλη που καταναλώνουν οι μέλισσες, εκμεταλλεζόμενες την τοπική χλωρίδα κάθε περιοχής, είναι το νέκταρ και η γύρη, τις βασικές πηγές διατροφής τους, για να καλύψουν τις ανάγκες των απογόνων σε πρωτεΐνες και τις ανάγκες τις κυψέλης σε ενέργεια αντίστοιχα (Chauhan, Farooqui and Trivedi, 2017).

Όμως αύξηση των θερμοκρασιών αναμένεται να έχει επιπλέον επιπτώσεις και στα είδη που συνδέονται στενά με τα φυτά που συναντώνται σε κάθε οικοσύστημα (Conte and Navajas, 2008) και κατ' επέκταση στον τομέα της μελισσοκομίας (Langowska *et al.*, 2017; Flores *et al.*, 2019) επηρεάζοντας τη

βιωσιμότητα όλων των ζώντων οργανισμών, φυτών ή επικονιαστών, αλλά και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους (Flores *et al.*, 2019). Οι αλλαγές αυτές δε θα αφήσουν ανεπηρέαστες τις κοινές μέλισσες και τη μελισσοκομική δραστηριότητα, καθώς ο κλάδος αυτός φαίνεται να εξαρτάται ισχυρά από τις κλιματικές συνθήκες των περιοχών (Salehizadeh *et al.*, 2020).

Λαμβάνοντας υπόψιν ότι οι μέλισσες είναι ψυχρόαιμοι οργανισμοί και εξαρτώνται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες, οποιαδήποτε αλλαγή στο κλίμα ή και στο περιβάλλον τους θα έχει αντίκτυπο στη βιολογία και δραστηριότητά τους (Salehizadeh *et al.*, 2020). Συγκεκριμένα, η δραστηριότητα των μελισσών επηρεάζεται αρνητικά από τη βροχόπτωση, ενώ η σχέση τους με τη θερμοκρασία είναι άμεση, με υψηλές θερμοκρασίες, άνω των 35°C, να καθιστούν τις συνθήκες ευνοϊκές για την απόδοσή τους (Scaven and Rafferty, 2013; Salehizadeh *et al.*, 2020).

Υψηλές θερμοκρασίες επηρεάζουν αρνητικά το μέγεθός των επικονιαστών ή την ικανότητά τους να καλύπτουν μεγάλες αποστάσεις για την αναζήτηση τροφής (Scaven and Rafferty, 2013). Επιπλέον, η κλιματική αλλαγή αποτελεί έναν παράγοντα απώλειας συγχρονισμού μεταξύ της δραστηριότητας των επικονιαστών, συμπεριλαμβανομένων των μελισσών, και της ανθοφορίας των φυτών (Langowska *et al.*, 2017). Ο ασυγχρονισμός αυτός καθώς και οι αρνητικές επιπτώσεις στη νεκταροπαραγωγή (παράγραφος 1.3.2.) προκαλούν μείωση των διαθέσιμων πόρων νέκταρος για τους επικονιαστές (Scaven and Rafferty, 2013; Takkis *et al.*, 2018a). Κατά συνέπεια, η μείωση των πηγών τροφής θα ακολουθηθεί από τη μείωση τόσο των πληθυσμών των φυτών όσο και των επικονιαστών (Takkis *et al.*, 2018a). Οι παραπάνω μεταβολές αναμένεται να έχουν σοβαρό αντίκτυπο στην παραγωγή μελιού (Langowska *et al.*, 2017) και κατ' επέκταση στις δραστηριότητες, την οικονομία και τις διατροφικές ανάγκες των ανθρώπων (Gebru *et al.*, 2016; Salehizadeh *et al.*, 2020).



## 1.5. Στόχος

Ο στόχος της παρούσας μελέτης είναι η διερεύνηση της πιθανής επίδρασης της αύξησης της θερμοκρασίας, λόγω της αλλαγής του κλίματος, στην έκκριση νέκταρος σημαντικών Μεσογειακών φυτών, βασικών στη μελισσοκομία. Για να επιτευχθεί ο συγκεκριμένος στόχος, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις μιας ποικιλίας φυτικών χαρακτηριστικών που σχετίζονται με το νέκταρ υπό διαφορετικές ελεγχόμενες θερμοκρασίες. Οι υποθέσεις που προέκυψαν ήταν οι εξής:

- 1) Η αύξηση της θερμοκρασίας θα επηρεάσει έντονα τη νεκταροπαραγωγή μέσω της έντονης μείωσης του όγκου του νέκταρος.
- 2) Ο αριθμός των παραγόμενων ανθέων θα επηρεαστεί από τις μεταβαλλόμενες συνθήκες
- 3) Η ποσότητα σακχάρων δεν θα έχει σημαντική μεταβολή εξαιτίας της αύξησης της θερμοκρασίας
- 4) Μονοετή φυτά αναμένεται να είναι πιο ευάλωτα στην κλιματική αλλαγή, ενώ πολυετή φυτά δε θα επηρεαστούν τόσο έντονα.
- 5) Ετήσια φυτικά είδη των οποίων τα άνθη χαρακτηρίζονται από χωριστοπεταλία ή δεν έχουν μεγάλο βάθος, θα παρουσιάσουν μείωση των ανθικών χαρακτηριστικών.

## 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

### 2.1. Φυτικά είδη και Βλάστηση

Για το σκοπό της παρούσας εργασίας, 19 φυτικά είδη διαφορετικών περιόδων ανθοφορίας, διαφορετικής διάρκειας ζωής και βιοτικής μορφής χρησιμοποιήθηκαν (κάποια είδη χρησιμοποιήθηκαν περισσότερες από 1 φορές, καθώς η περίοδος ανθοφορίας τους αφορούσε διαφορετικές εποχές κι άρα χρησιμοποιήθηκαν για διαφορετικές κλιματικές συνθήκες)(Πίνακας 2). Τα φυτά συλλέχθηκαν από διάφορες περιοχές της Ελλάδος, είτε ως σπόροι ή βολβοί ή ακόμη και ως ώριμα φυτά, πριν μεταφερθούν για βλάστηση ή μεταφύτευση.

Η πλειονότητα των φυτικών ειδών που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία αυτή καλλιεργήθηκαν χρησιμοποιώντας ως εναρκτήρια μορφή σπόρους τους φυτού. Λίγα ήταν αυτά που συλλέχθηκαν ως βολβοί ενώ μόνο τρία είδη συλλέχθηκαν με τη μορφή ώριμων ατόμων (Πίνακες 1 και 3). Η φύτευση των σπερμάτων πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο, εφαρμόζοντας ειδικές συνθήκες, όπως ψυχρή στρωμάτωση, τραυματισμό και φωτοαναστολή. Τα αρτίβλαστα μεταφυτεύθηκαν σε μικρότερες και στη συνέχεια σε γλάστρες διαδοχικών μεγεθών, ενώ τα ώριμα άτομα μεταφυτεύθηκαν κατευθείαν σε γλάστρες τελικού μεγέθους. Τα φυτά αναπτύχθηκαν στο φυτώριο και παρέμειναν εκεί έως την περίοδο ανθοφορίας.

Πίνακας 1: Μορφές συλλογής μελετώμενων φυτών.

Μορφές φυτών		
Ενήλικα άτομα	Σπέρματα	
<i>Centaurea solstitialis</i> <i>Teucrium divaricatum</i> <i>Thymbra capitata</i>	<i>Bellis annua</i> <i>Glebionis coronaria</i> <i>Heliotropium europaeum</i> <i>Hirschfeldia incana</i> <i>Origanum dictamnus</i> <i>Prasium majus</i> <i>Reichardia picroides</i>	<i>Salvia triloba</i> <i>Satureja thymbra</i> <i>Scabiosa atropurpurea</i> <i>Silene colorata</i> <i>Thymbra capitata</i> <i>Tordylium apulum</i> <i>Trifolium stellatum</i>

Πίνακας 2: Τα φυτικά είδη πειραματισμού και βασικά χαρακτηριστικά τους.

Φυτικά είδη	Οικογένεια	Περίοδος Ανθοφορίας	Διάρκεια Ζωής	Βιοτική μορφή
<i>Origanum dictamnus</i>	Lamiaceae	Ιούνιος-Σεπτέμβριος	πολυετές	χαμαίφυτο
<i>Prasium majus</i>	Lamiaceae	Ιανουάριος-Μάιος	πολυετές	χαμαίφυτο
<i>Rosmarinus officinalis</i>	Lamiaceae	Ιανουάριος-Μάιος	πολυετές	χαμαίφυτο
<i>Salvia triloba</i>	Lamiaceae	Μάρτιος-Ιούνιος	πολυετές	χαμαίφυτο
<i>Satureja thymbra</i>	Lamiaceae	Απρίλιος-Ιούλιος	πολυετές	χαμαίφυτο
<i>Teucrium divaricatum</i>	Lamiaceae	Μάιος-Ιούλιος	πολυετές	χαμαίφυτο
<i>Thymbra capitata</i>	Lamiaceae	Μάιος-Οκτώβριος	πολυετές	χαμαίφυτο
<i>Bellis annua</i>	Asteraceae	Φεβρουάριος-Ιούνιος	μονοετές	θερόφυτο
<i>Centaurea solstitialis</i>	Asteraceae	Ιούλιος-Σεπτέμβριος	μονοετές	θερόφυτο
<i>Glebionis coronaria</i>	Asteraceae	Μάρτιος-Σεπτέμβριος	μονοετές	θερόφυτο
<i>Reichardia picroides</i>	Asteraceae	Μάρτιος-Μάιος	μονοετές	θερόφυτο
<i>Heliotropium europaeum</i>	Boraginaceae	Απρίλιος-Οκτώβριος	μονοετές	θερόφυτο
<i>Hirschfeldia incana</i>	Brassicaceae	Μάιος-Οκτώβριος	μονοετές	θερόφυτο
<i>Tordylium apulum</i>	Fabaceae	Ιούλιος-Οκτώβριος	μονοετές	θερόφυτο
<i>Trifolium stellatum</i>	Apiaceae	Μάρτιος-Ιούλιος	μονοετές	θερόφυτο
<i>Scabiosa atropurpurea</i>	Caprifoliaceae	Ιούνιος-Οκτώβριος	μονοετές	θερόφυτο
<i>Silene colorata</i>	Caprifoliaceae	Φεβρουάριος-Μάιος	μονοετές	θερόφυτο

## 2.2. Σχεδιασμός πειράματος

Κατά την διάρκεια της περιόδου ανθοφορίας των φυτικών, κατά τα έτη 2019 και 2020, έως και 30 άτομα κάθε είδους φυτού μεταφέρθηκαν σε εσωτερικούς κλιματικούς θαλάμους (Walk-in GRW-20 CMP 3 / TBLIN, CDR ChryssagisTM), όπου δοκιμάστηκε η απόκριση καθενός είδους, όσον αφορά τη νεκταροπαραγωγή, στην αύξηση της θερμοκρασίας.

Για την επίτευξη του σκοπού της παρούσας εργασίας διερευνήθηκε η πιθανή επίδραση της αύξησης της θερμοκρασίας στη νεκταροπαραγωγή, υπό τέσσερις διαφορετικές κλιματολογικές συνθήκες, σύμφωνα με τους Takkis, Tschulin and Petanidou (2018a). Οι θερμοκρασίες, σύμφωνα με τις οποίες ρυθμίστηκαν οι κλιματικοί θάλαμοι, παραχωρήθηκαν από τον Χρήστο Γιαννακόπουλο, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, αποτέλεσμα επεξεργασίας μέσω κλιματικών μοντέλων. Οι

συνθήκες προσομοίωναν τις τρέχουσες θερμοκρασίες, τις αναμενόμενες θερμοκρασίες για το έτος 2050 για το σενάριο μέτριας εκπομπής αερίων και τα δύο τελευταία θερμοκρασιακά βήματα προσομοίωναν τις αναμενόμενες θερμοκρασίες για το έτος 2100 για δύο σενάρια εκπομπής αερίων, μέτριας και υψηλής αντίστοιχα.

Οι θερμοκρασίες που επελέγησαν για τα τέσσερα διαφορετικά σενάρια του πειράματος, όπως συνέβη και για τις ρυθμίσεις των κλιματικών θαλάμων, βασίστηκαν στην μεσαία ημερομηνία της περιόδου ανθοφορίας κάθε φυτικού είδους. Οι βραδινές θερμοκρασίες ήταν πάντα χαμηλότερες από τις θερμοκρασίες της ημέρας που επικρατούσαν σε κάθε πειραματικό κύκλο. Η διάρκεια της ημέρας και της νύχτας ακολουθούσε τις φυσικές συνθήκες που επικρατούσαν κατά την περίοδο ανθοφορίας κάθε είδους. Η υγρασία του αέρα διατηρήθηκε σταθερή καθόλη τη διάρκεια των πειραμάτων, σε 70% ή 60% κατά τη διάρκεια της ημέρας και 80% τη νύχτα.

### **2.3. Πειράματα θαλάμου**

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την πραγματοποίηση των μετρήσεων στους κλιματικούς θαλάμους ήταν η ίδια για όλα τα φυτά, με αναγκαίες κατά περίπτωση τροποποιήσεις, και αναφέρεται παρακάτω.

Κάθε κύκλος θερμοκρασιών διήρκεσε 3 ημέρες, επιτρέποντας στα φυτά να προσαρμοστούν σε διαφορετικές συνθήκες πριν από τη λήψη των μετρήσεων. Την πρώτη ημέρα κάθε θερμοκρασιακού κύκλου τα φυτά ποτίζονταν. Για τον υπολογισμό της ποσότητας νερού του πρώτου ποτίσματος ελήφθησαν υπόψιν τα μεγέθη των γλαστρών. Για τον υπολογισμό των ποσοτήτων νερού των ακόλουθων θερμοκρασιακών σταδίων χρησιμοποιούταν μια εξίσωση διόρθωσης της εξάτμισης του συστήματος άρδευσης.

Η δειγματοληψία του νέκταρος ελάμβανε χώρα, για όλα τα είδη, την τελευταία ημέρα κάθε κύκλου κατά τις ώρες μέγιστης παραγωγής νέκταρος, δηλ. μεταξύ 11:30 π.μ. με 2:00 μ.μ. σύμφωνα με τα αποτελέσματα των Petanidou and Smets (1996). Συλλεγόταν νέκταρ από τρία τυχαία επιλεγμένα άνθη ανά φυτικό άτομο, τα οποία

βρίσκονταν στην πρώτη ημέρα της άνθισής τους. Για να διασφαλιστεί ότι μόνο τα φρέσκα άνθη θα χρησιμοποιηθούν για τις μετρήσεις, αφαιρούνταν από κάθε άτομο όλα τα ανοιχτά άνθη κατά τη δεύτερη ημέρα κάθε κύκλου (Takkis, Tschulin and Petanidou, 2018b). Για τη δειγματοληψία του νέκταρος χρησιμοποιούνταν μικροπιπέτες (Drummond microcaps®). Το μέγεθος των πιπετών κυμαινόταν μεταξύ 0.2 – 2  $\mu$ L, ανάλογα με το μέγεθος του εκάστοτε άνθους και την ποσότητα του παραγόμενου ανθικού νέκταρος. Η μέτρηση της συγκέντρωσης σακχάρων του νέκταρος πραγματοποιούνταν με τη βοήθεια διαθλασίμετρων (refractometer, Bellingham and Stanley LTD, Tunbridge Wells 0-50 % and 40-80%). Για πολύ μικρές ποσότητες νέκταρος, όταν ο όγκος του ήταν μη ανιχνεύσιμος, χρησιμοποιούνταν απορροφητικά χαρτιά whatman 1 για τη δειγματοληψία. Τα φυτιλάκια αποξηραίνονταν στους 60 °C για 24 ώρες κι έπειτα ζυγίζονταν, πριν και μετά τη δειγματοληψία. Μετά τη δειγματοληψία μετρούνταν και αφαιρούνταν όλα τα ανοιχτά άνθη.



Εικόνα 5: *Salvia triloba* και *Bellis annua* εντός του κλιματικού θαλάου (Άνοιξη 2019)  
(φωτογράφος: Μερκούρη Σοφία)

## 2.4. Ανάλυση των δεδομένων

Η επίδραση των θερμοκρασιών στα φυτά δοκιμάστηκε στα ακόλουθα χαρακτηριστικά ανά ημέρα (3<sup>η</sup> ημέρα κάθε κύκλου θερμοκρασιών): (1) ο όγκος νέκταρος ανά φυτικό άνθος, (2) η συγκέντρωση σακχάρων νέκταρος ανά φυτικό άνθος, (3) η συγκέντρωση σακχάρων νέκταρος ανά φυτό και (4) ο συνολικός αριθμός παραγόμενων ανθέων ανά φυτό.

Οι μετρήσεις των δύο πρώτων νεκταρικών παραμέτρων καθώς και η καταμέτρηση του αριθμού των ανθέων έλαβαν χώρα την τρίτη ημέρα κάθε θερμοκρασιακού βήματος, όπως ειπώθηκε προηγουμένως. Για τα δύο πρώτα χαρακτηριστικά χρησιμοποιήθηκαν οι μέσες τιμές της κάθε παραμέτρου ανά φυτό, δηλαδή η μέση τιμή των τριών ανθέων από τα οποία έγινε η δειγματοληψία. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων όσον αφορά την παραγόμενη μάζα σακχάρων ανά άνθος, χρησιμοποιήθηκαν για την αναγωγή του χαρακτηριστικού αυτού στο σύνολο των ανθέων ενός φυτικού ατόμου.

Τα δεδομένα καταγράφηκαν σε πίνακες excel, και αργότερα χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση. Για την κύρια ανάλυση, πραγματοποιήθηκε η Ανάλυση Διακύμανσης (ANOVA) για όλες τις μετρούμενες παραμέτρους προκειμένου να διαπιστωθεί εάν η έκκριση του νέκταρος θα επηρεαστεί στο μέλλον λόγω της υπερθέρμανσης του κλίματος. Έπειτα, για περαιτέρω ανάλυση χρησιμοποιήθηκε το Tukey's Test, με σκοπό την εύρεση σημαντικών διαφορών μεταξύ των μέσων όρων των διαφορετικών θερμοκρασιακών κύκλων.

Όλες οι στατιστικές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν στην R 3.5.1. στο περιβάλλον R studio 1.1.456. Οι τιμές p της ανάλυσης υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση *son*, για την ANOVA και τη συνάρτηση *TukeyHSD*, για την περαιτέρω ανάλυση. Τα αποτελέσματα απεικονίστηκαν με θηκογράμματα, χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση *boxplot*.

### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Μελετήθηκαν 17 φυτικά είδη χωρισμένα σε 22 ομάδες βάσει των περιοχών προέλευσης και των θερμοκρασιακών σεναρίων που χρησιμοποιήθηκαν (Πίνακας 3). Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων Anova και Post Hoc, φαίνεται πως ο όγκος του νέκταρος ανά άνθος αλλά και ο αριθμός των παραγόμενων ανθέων ανά φυτό και ημέρα είναι δύο από τις μελετώμενες παραμέτρους που παρουσίασαν σημαντικές αλλαγές λόγω αύξησης των θερμοκρασιών.

Πίνακας 3: Ομαδοποίηση των φυτικών ειδών βάσει των περιοχών προέλευσης και του μήνα ανθοφορίας στον οποίο αναφέρονται τα σενάρια.

Φυτικές ομάδες	Περιοχή προέλευσης	Μήνας προσομοίωσης
<i>Origanum dictamnus</i>	Λέσβος	Ιούλιος
<i>Prasium majus</i>	Αθήνα	Απρίλιος
<i>Rosmarinus officinalis_</i> (Jan)	Λέσβος	Ιανουάριος
<i>Rosmarinus officinalis_</i> (Mar)	Λέσβος	Μάρτιος
<i>Rosmarinus officinalis_</i> (Nov)	Λέσβος	Νοέμβριος
<i>Salvia triloba</i>	Λέσβος	Απρίλιος
<i>Satureja thymbra_</i> (Crete)	Κρήτη	Μάιος
<i>Satureja thymbra_</i> (Lesvos)	Λέσβος	Μάιος
<i>Teucrium divaricatum</i>	Λέσβος	Ιούνιος
<i>Thymbra capitata_</i> (Crete)	Κρήτη	Ιούνιος
<i>Thymbra capitata_</i> (Lesvos)	Λέσβος	Ιούνιος
<i>Bellis annua</i>	Κρήτη	Φεβρουάριος
<i>Centaurea solstitialis</i>	Λέσβος	Ιούνιος
<i>Glebionis coronaria</i>	Λέσβος	Μάιος
<i>Reichardia picroides</i>	Κρήτη	Απρίλιος
<i>Heliotropium europaeum_</i> (Jul)	Αθήνα	Ιούλιος
<i>Heliotropium europaeum_</i> (Oct)	Αθήνα	Οκτώβριος
<i>Hirschfeldia incana</i>	Λέσβος	Μάιος
<i>Tordylium apulum</i>	Λέσβος	Απρίλιος
<i>Trifolium stellatum</i>	Αθήνα	Απρίλιος
<i>Scabiosa atropurpurea</i>	Αθήνα	Μάιος
<i>Silene colorata</i>	Λέσβος	Απρίλιος

### 3.1. Επιπτώσεις της αύξησης της θερμοκρασίας στη νεκταροπαραγωγή και την παραγωγή ανθέων

Ο παραγόμενος όγκος του νέκταρος ανά άνθος, στα περισσότερα φυτικά είδη παρουσίασε αρνητική τάση με την αύξηση των θερμοκρασιών, ενώ λίγα ήταν τα είδη που δεν παρουσίασαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφορετικών θερμοκρασιών. Το μόνο είδος που έδειξε θετική επίδραση των θερμοκρασιών επί της εκκρινόμενης ποσότητας νέκταρος ανά άνθος ήταν το *Thymbra capitata* από τον πληθυσμό της Λέσβου (*T. capitata*\_ (Lesvos)). Τέλος, η τάση του όγκου νέκταρος του είδους *Origanum dictamnus* μεταβαλλόταν κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών, δείχνοντας τόσο αύξηση όσο και μείωση του όγκου με την άνοδο των θερμοκρασιών (Πίνακες 4 και 5).

Σε αντίθεση με τον όγκο του νέκταρος, οι άλλες δύο παράμετροι που σχετίζονται με το νέκταρ, δηλαδή η μάζα των σακχάρων ανά άνθος και ανά φυτό ανά ημέρα, δε φαίνεται να εξαρτώνται άμεσα από τη θερμοκρασία. Αντίθετα, η συγκέντρωση του νέκταρος σε σάκχαρα και στις δύο περιπτώσεις, ως επί το πλείστον δεν επηρεάστηκε από τις μεταβαλλόμενες θερμοκρασίες. Πιο συγκεκριμένα, 12 στις 22 φυτικές ομάδες, δεν παρουσίασαν σημαντικές αλλαγές μεταξύ των διαφορετικών θερμοκρασιακών σεναρίων. Στα περισσότερα φυτικά είδη της οικογένειας *Lamiaceae* δεν υπήρξαν μεταβολές σχετικά με τη μάζα παραγόμενων σακχάρων με την άνοδο των θερμοκρασιών. Αντίθετα τα μονοετή φυτά παρουσίασαν μία ευαισθησία στις μεταβολές των θερμοκρασιών όσον αφορά αυτήν την παράμετρο.

Στην περίπτωση της συγκέντρωσης παραγόμενων σακχάρων ανά άνθος, τα επηρεαζόμενα είδη παρουσίασαν φθίνουσα τάση με την άνοδο των θερμοκρασιών, ενώ σ' ένα μόνο είδος (*O. dictamnus*) αρχικά αυξήθηκε η συγκέντρωση σακχάρων κι έπειτα, στα δύο τελευταία θερμοκρασιακά στάδια (σενάρια μέτριας και υψηλής εκπομπής αερίων για τις αναμενόμενες συνθήκες του έτους 2100), μειώθηκε (Πίνακες 4 και 5).

Αντίθετα, τα αποτελέσματα για την παραγόμενη ποσότητα σακχάρων νέκταρος ανά φυτό χαρακτηρίζονταν από μία θετική συσχέτιση της συγκέντρωσης με τη θερμοκρασία. Εξάιρεση αποτέλεσε πάλι το *O. dictamnus*, στο οποίο



παρουσιάστηκε μία αύξηση της συγκέντρωσης κατά το δεύτερο σενάριο θερμοκρασιών και στη συνέχεια επαναφορά της συγκέντρωσης στα αρχικά επίπεδα. Γενικά, η αύξηση της συγκέντρωσης των σακχάρων στο σύνολο των ανθέων ανά φυτό ανά ημέρα φαίνεται να ακολουθεί την καμπύλη του συνολικού αριθμού των παραγόμενων ανθέων ανά φυτό ανά ημέρα (Πίνακες 4 και 5).

Ο συνολικός αριθμός των παραγόμενων ανθέων ανά ημέρα, επίσης παρουσίασε σημαντικές αλλαγές. Αυτό το χαρακτηριστικό, φαίνεται να έχει τη μεγαλύτερη διακύμανση τάσεων μεταξύ των ειδών. Τα μισά περίπου είδη παρουσίασαν θετική συσχέτιση του αριθμού των ανθέων με τη θερμοκρασία. Μόνο δύο ομάδες φυτών επηρεάστηκαν αρνητικά (*Satureja thymbra* (Lesvos) και *Glebionis coronaria*). Αρκετά ήταν τα φυτικά είδη, με τα περισσότερα από αυτά να ανήκουν στην οικογένεια Lamiaceae, τα οποία δεν επηρεάστηκαν από τις εκάστοτε θερμοκρασίες (Πίνακες 4 και 5).

### 3.2. Πολυετή και μονοετή φυτικά είδη

Από τα αποτελέσματα της ανάλυσης, τα φυτά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο ομάδες: πολυετή και ετήσια (Πίνακας 2).

Τα πολυετή φυτά αποτελούνται εξολοκλήρου από φυτά της οικογένειας Lamiaceae και φαίνεται να παρουσιάζουν μία σχετικά μεγαλύτερη σταθερότητα, των παραμέτρων που μελετήθηκαν, στη μεταβολή των θερμοκρασιών, σε αντίθεση με τα μονοετή φυτικά είδη, τα οποία φαίνεται να είναι πιο ευάλωτα στην αύξηση των θερμοκρασιών. Αυτή η διαφορά στις αποκρίσεις των δύο κατηγοριών είναι πιο έντονη όσον αφορά τη συγκέντρωση σακχάρων (ανά άνθος και ανά φυτό). Στις άλ-

Πίνακας 4: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων από τη στατιστική ανάλυση των πολυετών φυτών για τις 3 μετρικές παραμέτρους του νέκταρος και τον παραγόμενο αριθμό ανθέων. Συμβολισμοί: a = δεν παρουσιάστηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφορετικών θερμοκρασιακών σεναρίων, ↓ ή ↑ ή ∩ = ελάττωση ή αύξηση ή αρχική αύξηση κι έπειτα ελάττωση, αντίστοιχα, της εκάστοτε παραμέτρου κατά το σημειούμενο θερμοκρασιακό σενάριο.

	όγκος/άνθος (/φυτό και ημέρα)		βάρος σακχάρων/άνθος (/φυτό /ημέρα)		βάρος σακχάρων/φυτό (/ημέρα)		# ανθέων/φυτό (/ημέρα)		
	μl/pf	έτος σημαντικής διαφοράς-σύγκριση με το τρέχον σενάριο_μl/f	mg/pf	έτος σημαντικής διαφοράς-σύγκριση με το τρέχον σενάριο_mg/fp	mg/pl	έτος σημαντικής διαφοράς-σύγκριση με το τρέχον σενάριο_mg/pl	#fls	έτος σημαντικής διαφοράς-σύγκριση με το τρέχον σενάριο_fls	
πολυετή φυτά	<i>Origanum dictamnus</i>	∩	2050ME↑, 2100ME↓, 2100HE↓	∩	2050ME↑, 2100HE↓	∩	2050ME↑	a	
	<i>Prasium majus</i>	a		a		a		a	
	<i>Rosmarinus officinalis_(Jan)</i>	a		↓	2100 HE	↑	2100ME↑	↑	2100ME↑, 2100HE↑
	<i>Rosmarinus officinalis_(Mar)</i>	↓	2100ME↓, 2100HE↓	↓	2100ME↓, 2100HE↓	a		a	
	<i>Rosmarinus officinalis_(Nov)</i>	a		↓	2100ME↓	a		a	
	<i>Salvia triloba</i>	↓	2050ME↓, 2100ME↓	a		a		a	
	<i>Satureja thymbra_(Crete)</i>	↓	2100ME↓	a		↓	2100 HE	∩	2050ME↑
	<i>Satureja thymbra_(Lesvos)</i>	↓	2050↓	a		↓	2100 ME	∩	2050ME↑, 2100HE↓
	<i>Teucrium divaricatum</i>	↓	2100HE↓	a		↑	2100ME↑, 2100HE↑	↑	2100ME↑, 2100HE↑
	<i>Thymbra capitata_(Crete)</i>	a		a		a		a	
<i>Thymbra capitata_(Lesvos)</i>	↑	2100ME↑	a		a		a		

Πίνακας 5: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων από τη στατιστική ανάλυση των μονοετών φυτών για τις 3 μετρικές παραμέτρους του νέκταρος και τον παραγόμενο αριθμό ανθέων. Συμβολισμοί: a = δεν παρουσιάστηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφορετικών θερμοκρασιακών σεναρίων, ↓ ή ↑ ή ∩ = ελάττωση ή αύξηση ή αρχική αύξηση κι έπειτα ελάττωση, αντίστοιχα, της εκάστοτε παραμέτρου κατά το σημειούμενο θερμοκρασιακό σενάριο.

	όγκος/άνθος (/φυτό και ημέρα)		βάρος σακχάρων/άνθος (/φυτό /ημέρα)		βάρος σακχάρων/φυτό (/ημέρα)		# ανθέων/φυτό (/ημέρα)		
	μl/pf	έτος σημαντικής διαφοράς-σύγκριση με το τρέχον σενάριο_μl/f	mg/pf	έτος σημαντικής διαφοράς-σύγκριση με το τρέχον σενάριο_mg/fp	mg/pl	έτος σημαντικής διαφοράς- σύγκριση με το τρέχον σενάριο_mg/pl	#fls	έτος σημαντικής διαφοράς-σύγκριση με το τρέχον σενάριο_fls	
μονοετή φυτά	<i>Bellis annua</i>		a		a		a		
	<i>Centaurea solstitialis</i>		↓	2050ME↓, 2100ME↓, 2100HE↓	↓	2100ME↓	↑	2100ME↑, 2100HE↑	
	<i>Glebionis coronaria</i>		↓	2100ME↓, 2100HE↓	a		∩	2100HE↓	
	<i>Reichardia picroides</i>		a		a		↑	2100HE↑	
	<i>Heliotropium europaeum_(Jul)</i>		a		a		a		
	<i>Heliotropium europaeum_(Oct)</i>			a	↑	2100HE↑	↑	2100HE↑	
	<i>Hirschfeldia incana</i>	↓	2050ME↓, 2100ME↓, 2100HE↓	↓	2050ME↓, 2100ME↓, 2100HE↓	∩	2100 ME↑, 2100HE↑	↑	2100ME↑, 2100HE↑
	<i>Scabiosa atropurpurea</i>	↓	2050ME↓, 2100ME↓	a		a		∩	2050ME↑
	<i>Silene colorata</i>	↓	2100HE↓	↓	2100HE↓	↑	2100ME↑	↑	2050ME↑, 2100ME↑, 2100HE↑
	<i>Tordylium apulum</i>			↓	2050ME↓ 2100ME↓	a		↑	2100ME↑, 2100HE↑
<i>Trifolium stellatum</i>	↓	2100ME↓	↓	2100ME↓	↑	2100HE↑	↑	2100ME↑, 2100HE↑	

λες δύο παραμέτρους (όγκος νέκταρος ανά άνθος και αριθμός ανθέων ανά φυτό) παρουσιάστηκαν σε αρκετά είδη μεταβολές με την άνοδο των θερμοκρασιών, και στις δύο κατηγορίες φυτών (Πίνακες 4 και 5).

### 3.3. Συμπέταλα και Χωριστοπέταλα

Περαιτέρω επεξεργασία των αποτελεσμάτων οδήγησε σε μια νέα κατηγοριοποίηση των ετήσιων φυτών (Πίνακας 6). Η νέα ομαδοποίηση έγινε σύμφωνα με τον βαθμό σύμφησης της στεφάνης, χωρίζοντας τα φυτά σε Χωριστοπέταλα και Συμπέταλα (συμπεριλαμβανομένων στην τελευταία κατηγορία και τα Ημιχωριστοπέταλα) (Εικόνα 6).

Πίνακας 6: Κατηγοριοποίηση των μονοετών φυτικών ειδών σε Χωριστοπέταλα και Συμπέταλα.

Μονοετή φυτικά είδη	
<b>Χωριστοπέταλα</b>	<b>Συμπέταλα</b>
<i>Silene colorata</i>	<i>Bellis annua</i>
<i>Hirschfeldia incana</i>	<i>Centaurea solstitialis</i>
<i>Tordylium arulum</i>	<i>Glebionis coronaria</i>
	<i>Reichardia picroides</i>
	<i>Heliotropium europaeum</i>
	<i>Trifolium stellatum</i>
	<i>Scabiosa atropurpurea</i>

Στα περισσότερα Συμπέταλα δε μελετήθηκε ο όγκος του νέκταρος, καθώς σύμφωνα με τη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τη συλλογή νέκταρος χρησιμοποιήθηκαν απορροφητικά χαρτάκια κι όχι μικροπιπέτες. Στην περίπτωση της συγκέντρωσης σακχάρων ανά άνθος, τα περισσότερα φυτά από την κατηγορία των Συμπέταλων δεν παρουσίασαν σημαντικές αλλαγές με την άνοδο των θερμοκρασιών, εκτός από τα *Centaurea solstitialis*, *Glebionis coronaria* και *Trifolium stellatum* στα οποία μειώθηκε η μάζα των σακχάρων. Περνώντας στην περίπτωση της συγκέντρωσης σακχάρων ανά φυτό, στα είδη *Heliotropium europaeum*\_(Oct) και *T. stellatum* παρατηρήθηκε μία αύξηση κατά το τελευταίο θερμοκρασιακό βήμα. Μείωση των σακχάρων ανά φυτό παρατηρήθηκε στα φυτά του είδους *C. solstitialis*. Όσον αφορά τον αριθμό των ανθέων ανά φυτό, αυτό το χαρακτηριστικό είχε

ποικίλες αποκρίσεις, στα περισσότερα, όμως, είδη υπήρξε θετική επίδραση των θερμοκρασιών (Πίνακες 4 και 5).



Εικόνα 6: Μονοετή Χωριστοπέταλα (επάνω) και Συμπέταλα (κάτω). Επάνω αριστερά: *Silene colorata* (φωτογράφος: Πύροβολάκη Νίκη), Επάνω δεξιά: *Tordylium arulium* (φωτογράφος: Μερκούρη Σοφία), Κάτω αριστερά: *Scabiosa atropurpurea* (φωτογράφος: Πύροβολάκη Νίκη) και Κάτω δεξιά: *Heliotropium euroraeum* (φωτογράφος: Πύροβολάκη Νίκη).

Σχετικά με την δεύτερη κατηγορία των μονοετών φυτών, τα Χωριστοπέταλα, παρατηρήθηκε ελάτωση της ποσότητας των σακχάρων του νέκταρος ανά άνθος σε όλα τα χρησιμοποιούμενα φυτικά είδη. Όσον αφορά την ποσότητα σακχάρων ανά φυτό, μεταξύ των Χωριστοπέταλων, το *Tordylium arulium* δεν παρουσίασε σημαντικές αλλαγές, σε αντίθεση με τα είδη *Silene colorata* και *Hirschfeldia incana*, στα οποία υπήρξε θετική απόκριση στην άνοδο των θερμοκρασιών. Τέλος, σε όλα σε όλα τα είδη ατής της κατηγορίας, παρατηρήθηκε αύξηση του αριθμού των

παραγόμενων ανθέων ανά φυτό κυριώς κατά τα δύο τελευταία στάδια θερμοκρασιών (Πίνακες 4 και 5).

### 3.4. Σύγκριση των διαφορετικών θερμοκρασιακών σεναρίων

Απόρροια της σύγκρισης των διαφορετικών σεναρίων μεταξύ τους, για κάθε χαρακτηριστικό που μελετήθηκε, στο σύνολο των φυτικών ειδών, όπως φαίνεται και στους Πίνακες 4 και 5, είναι τα εξής:

Όσον αφορά τον όγκο του νέκταρος, τα κρίσιμα στάδια, στα οποία παρατηρήθηκε σημαντική μείωση των μl, με ελάχιστες εξαιρέσεις, φαίνεται να είναι τα δύο τελευταία, δηλαδή τα σεναρία μέτριας και υψηλής εκπομπής αερίων για τις αναμενόμενες συνθήκες του έτους 2100.

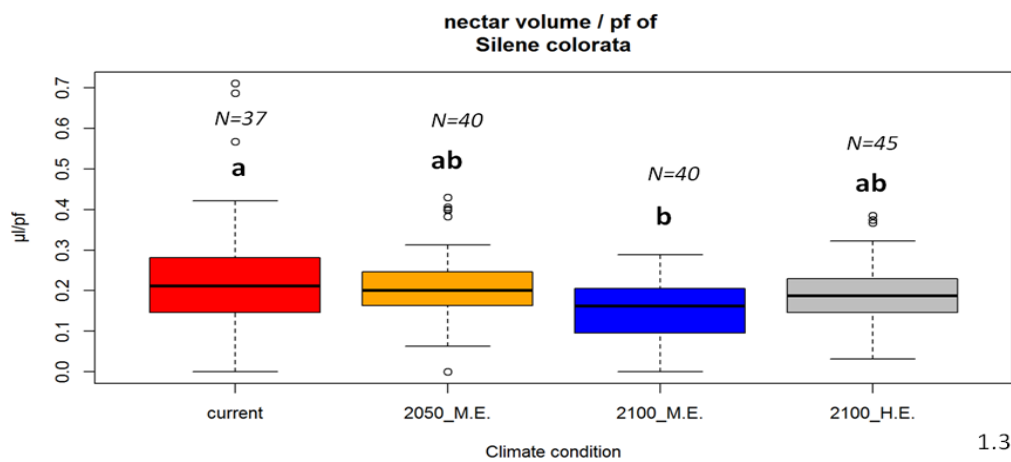
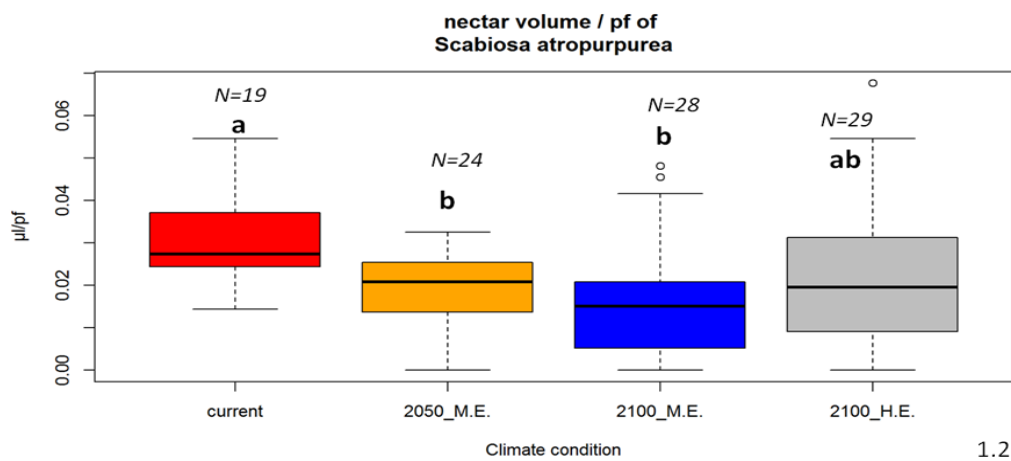
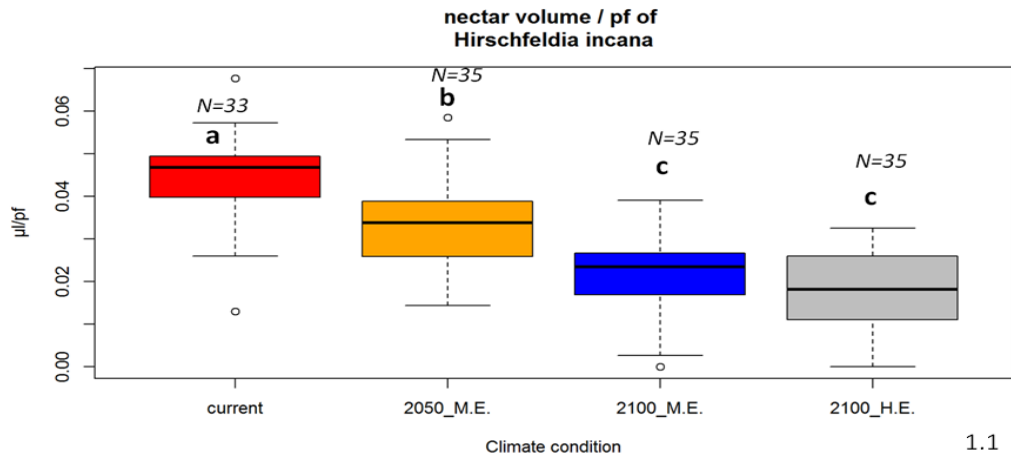
Στην περίπτωση της μάζας σακχάρων του νέκταρος ανά άνθος, τα σεναρία που φαίνεται να προκαλούν αρνητική απόκριση για κάποια από τα φυτικά είδη, είναι όλα όσα διαφέρουν από τις τρέχουσες συνθήκες, με εξαίρεση το *O. dictamnus*. Τα περισσότερα όμως είδη δεν παρουσίασαν σημαντικές αλλαγές στη συγκέντρωση σακχάρων ανά φυτό.

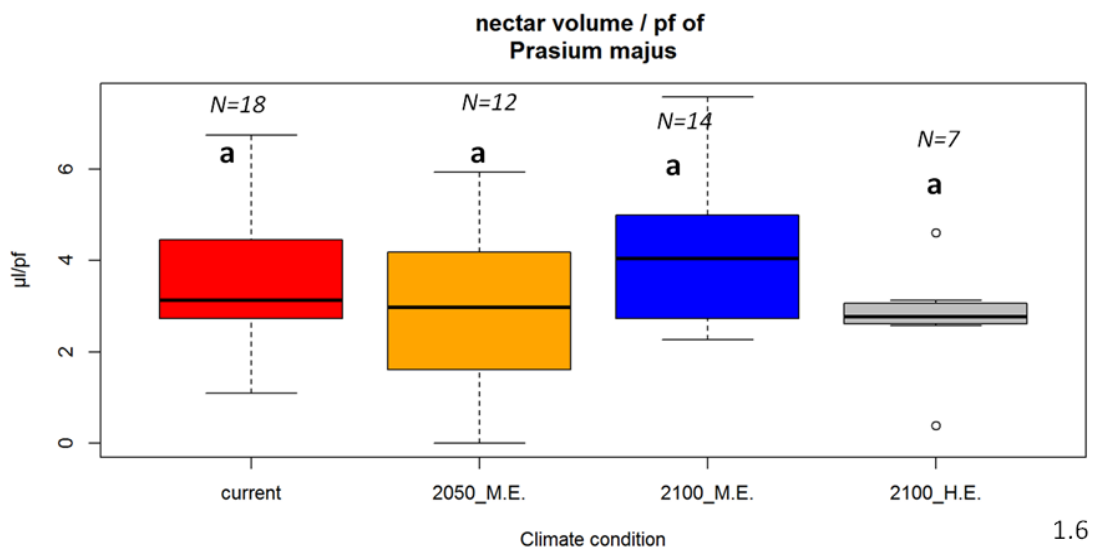
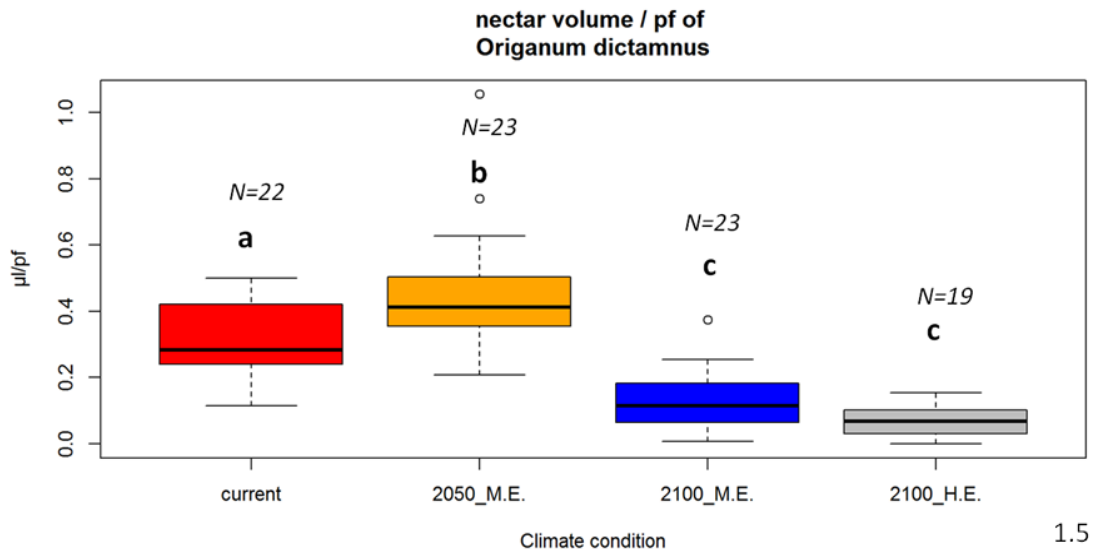
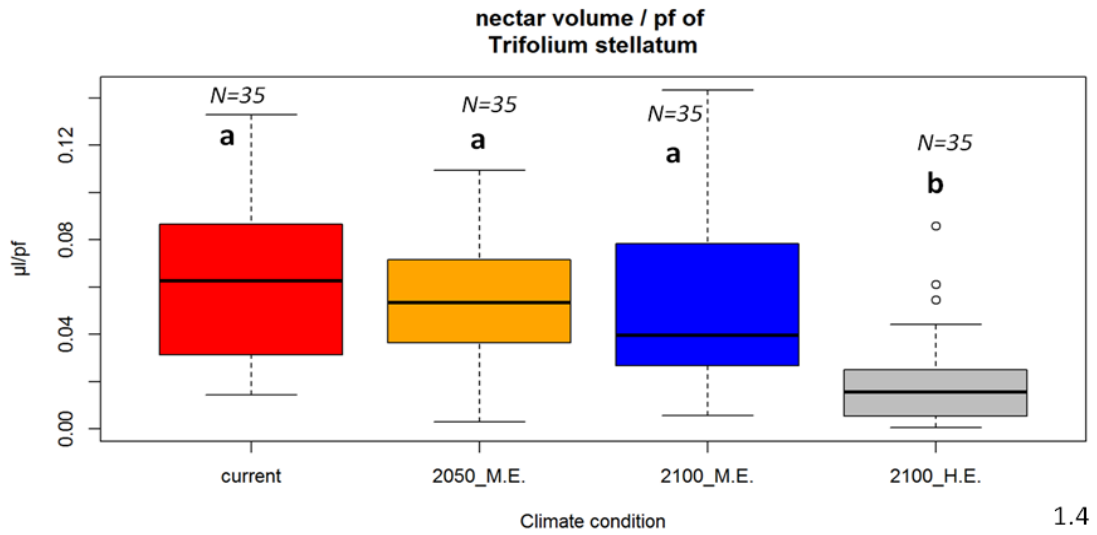
Τα αποτελέσματα στην περίπτωση της συγκέντρωσης σακχάρων ανά φυτό, διέφεραν από την προηγούμενη, ενώ ήταν παρόμοια με τα αποτελέσματα που προέκυψαν στην πρώτη νεκταρική παράμετρο, δηλαδή τον όγκο. Οι θερμοκρασίες που φαίνεται να επηρέασαν σημαντικά τα συμμετέχοντα φυτικά είδη είναι αυτές που αφορούν τα τέλη του 21<sup>ου</sup> αιώνα, δηλαδή τα τελευταία δύο θερμοκρασιακά σεναρία.

Τέλος, ο αριθμός των ανθέων παρουσίασε έντονες μεταβολές κατά τα σεναρία μέτριας και υψηλής εκπομπής αερίων για τις αναμενόμενες θερμοκρασίες του έτους 2100, με δύο εξαιρέσεις (*S. atropurpurea* και *S. colorata*), που επηρεάζονται ήδη από το δεύτερο στάδιο θερμοκρασιών (σενάριο μέτριας εκπομπής αερίων για το έτος 2050).

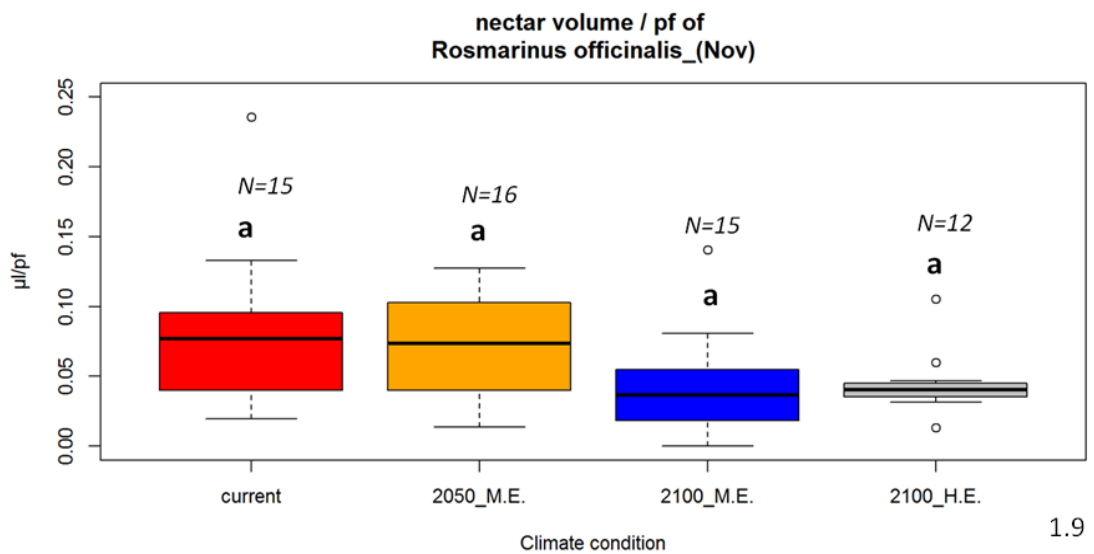
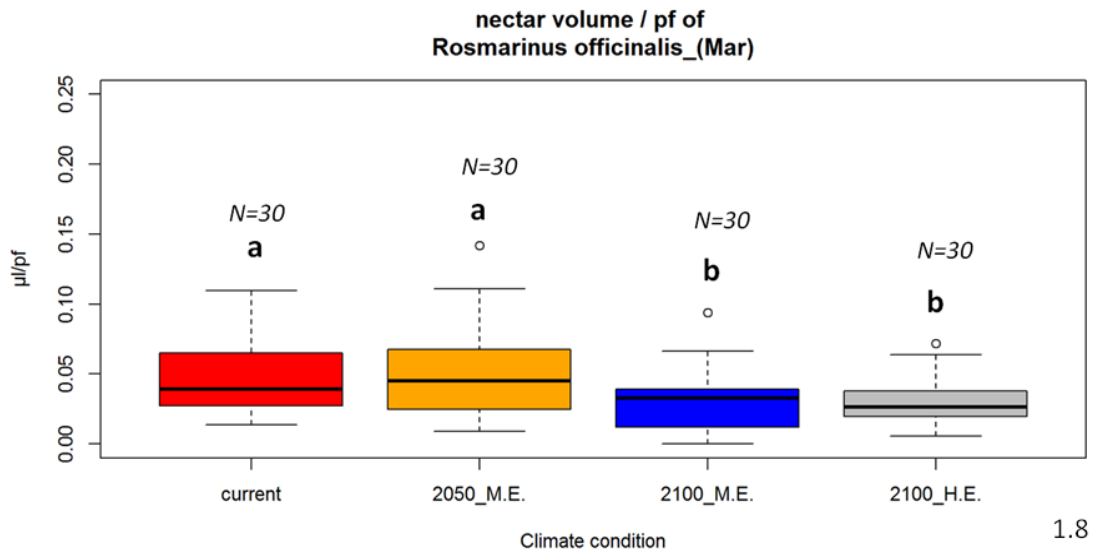
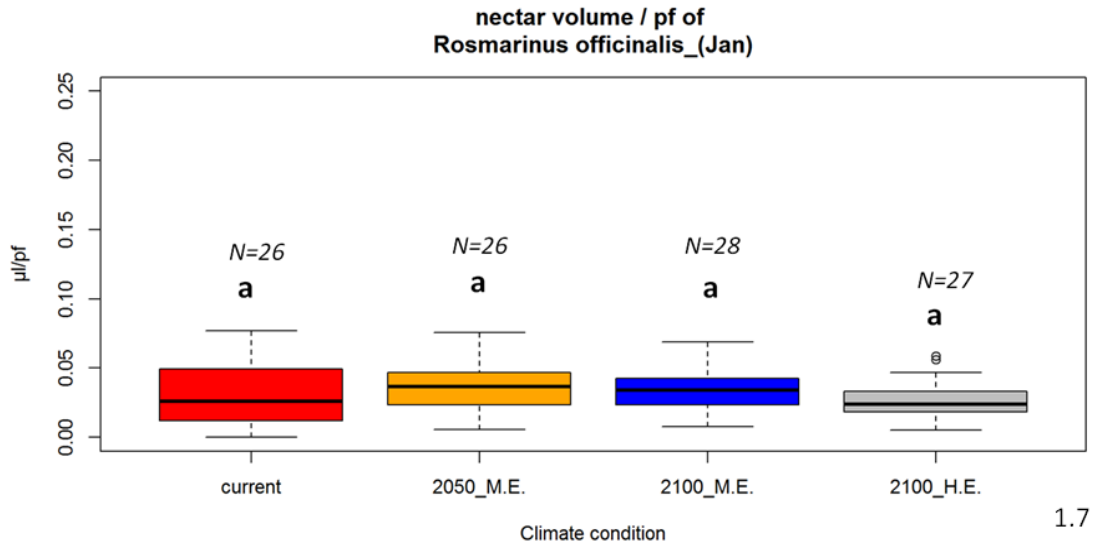
Παρακάτω παρουσιάζονται τα θηκογράμματα που παρήχθησαν για κάθε φυτικό είδος, για κάθε μελετώμενο χαρακτηριστικό και για όλα τα σεναρία θερμοκρασιών (Διάγραμμα 1: αφορά τον παραγόμενο όγκο νέκταρος ανά άνθος

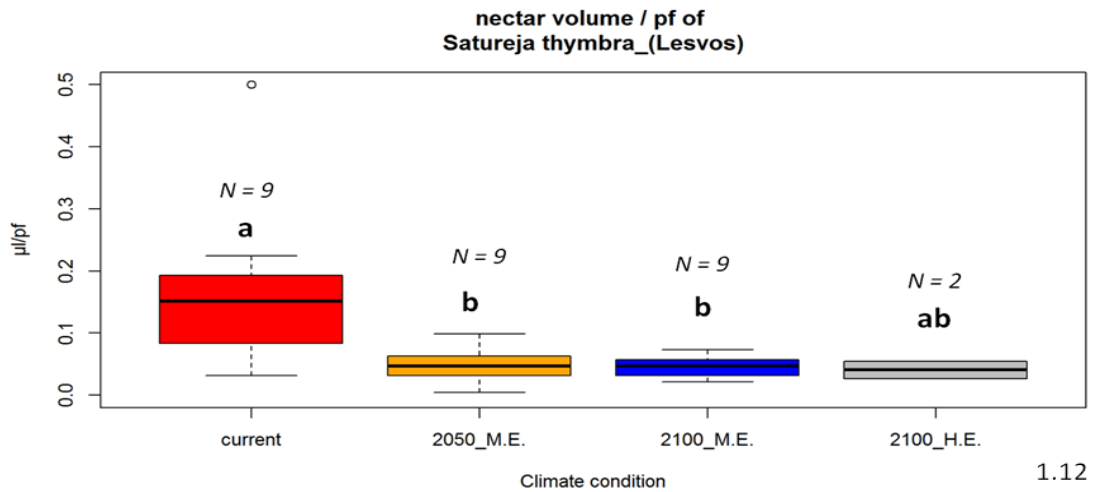
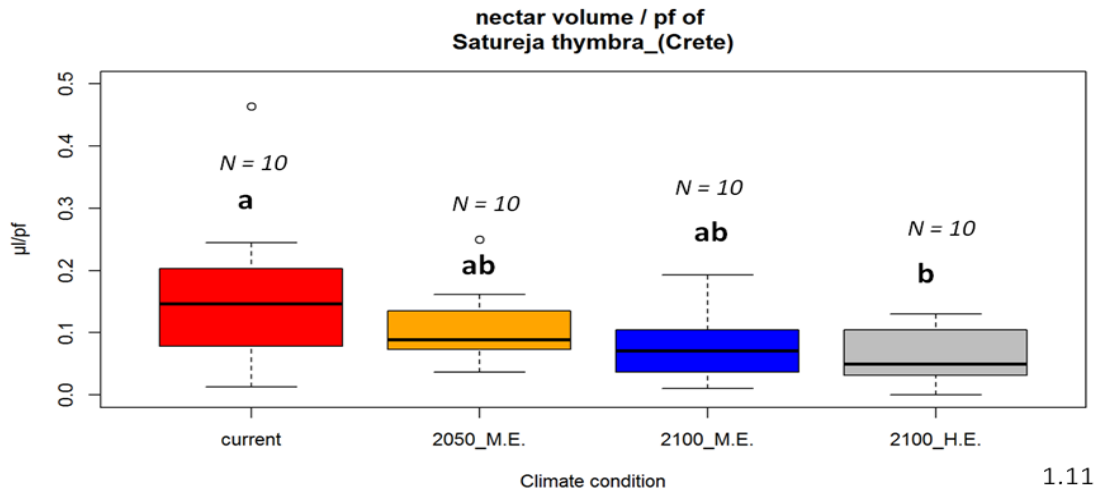
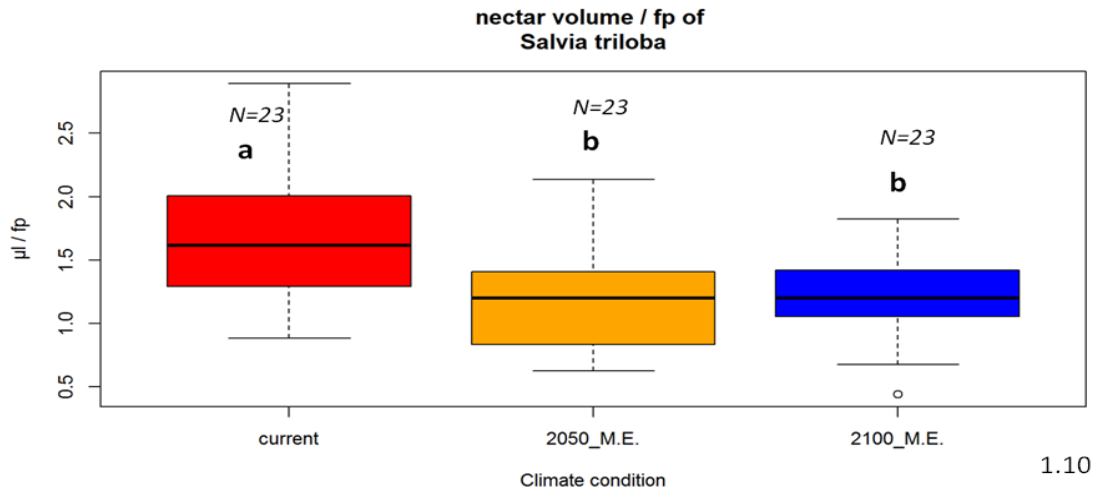
(ανά ημέρα), Διαγράμματα 2 και 3: αφορούν τη συγκέντρωση σακχάρων ανά άνθος και ανά φυτό (ανά ημέρα) αντίστοιχα και Διάγραμμα 4: αφορά τον παραγόμενο αριθμό ανθέων ανά ημέρα).

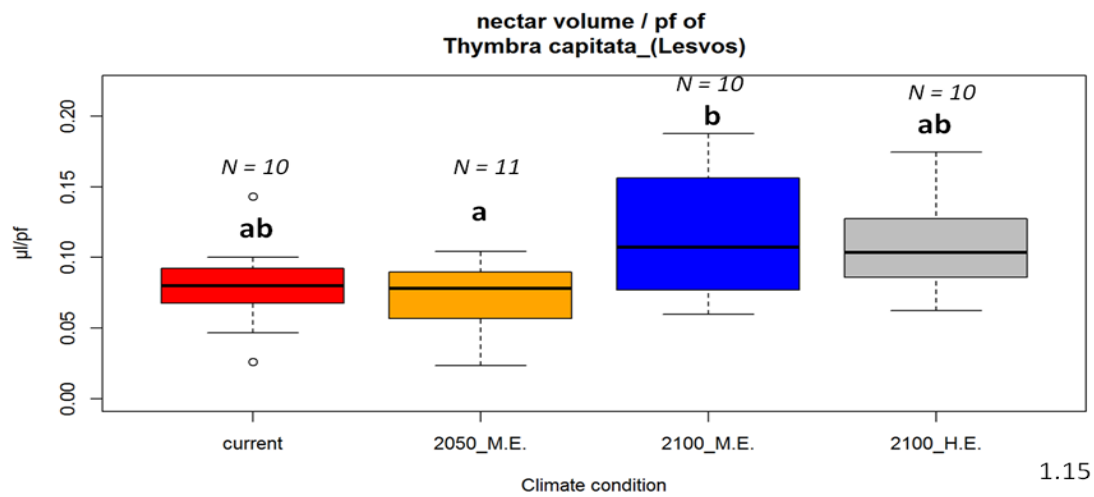
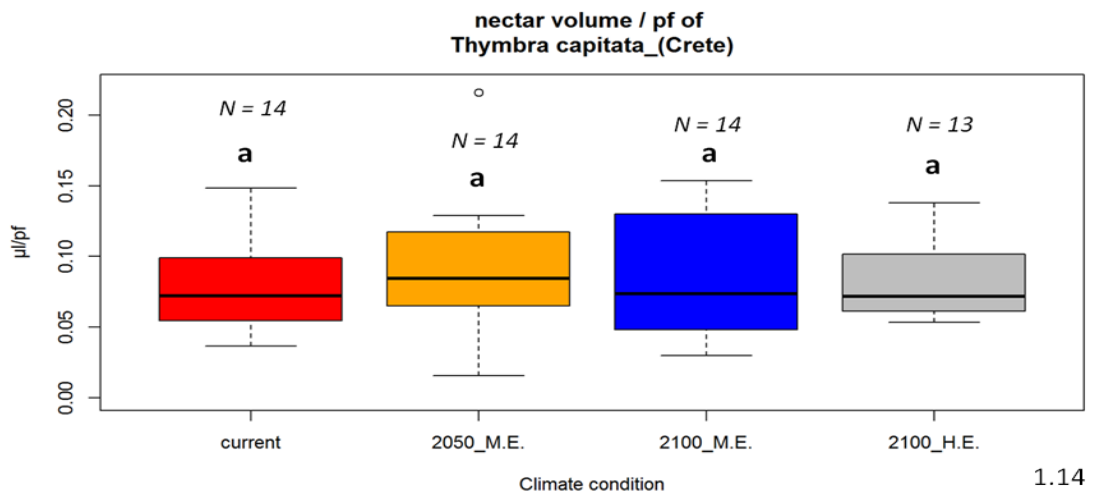
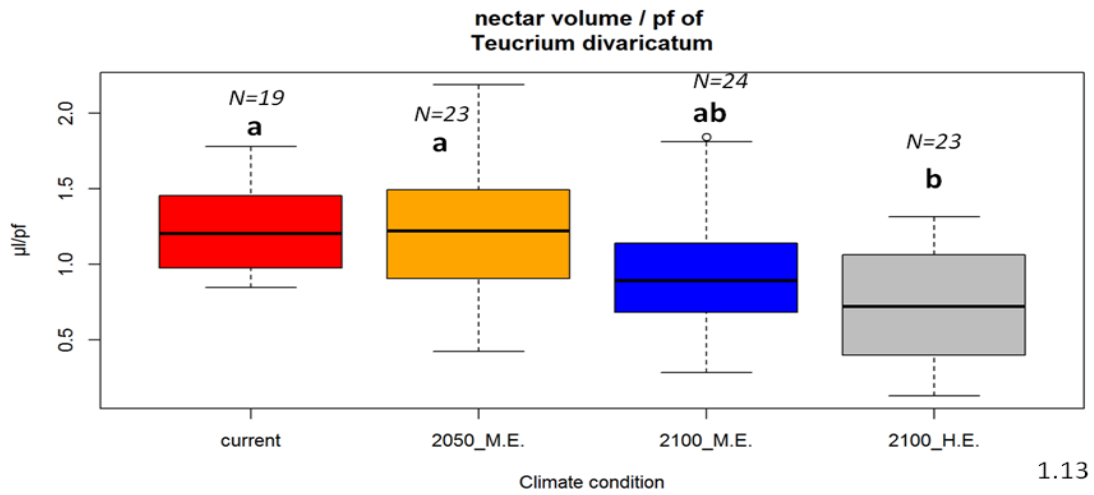




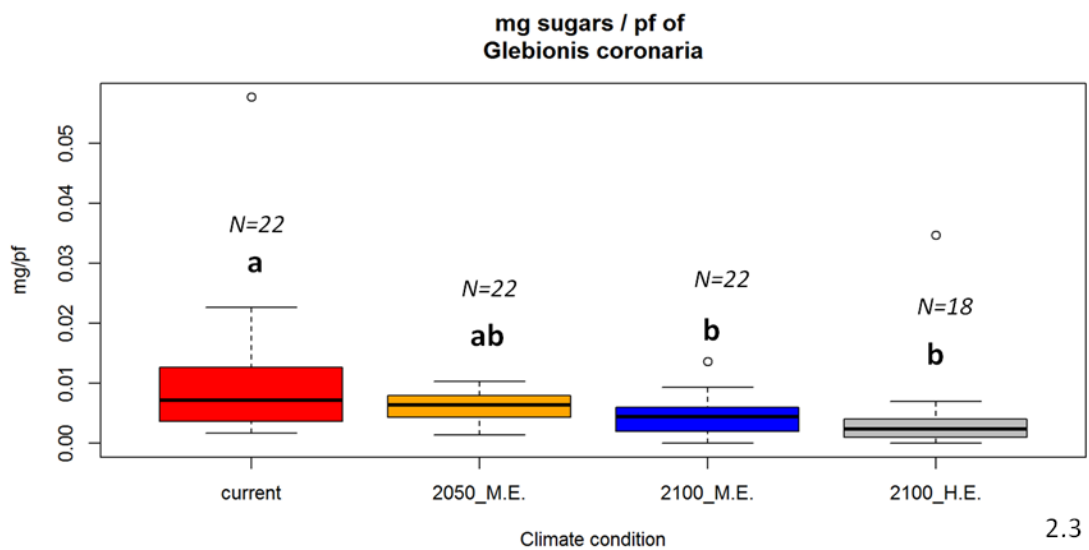
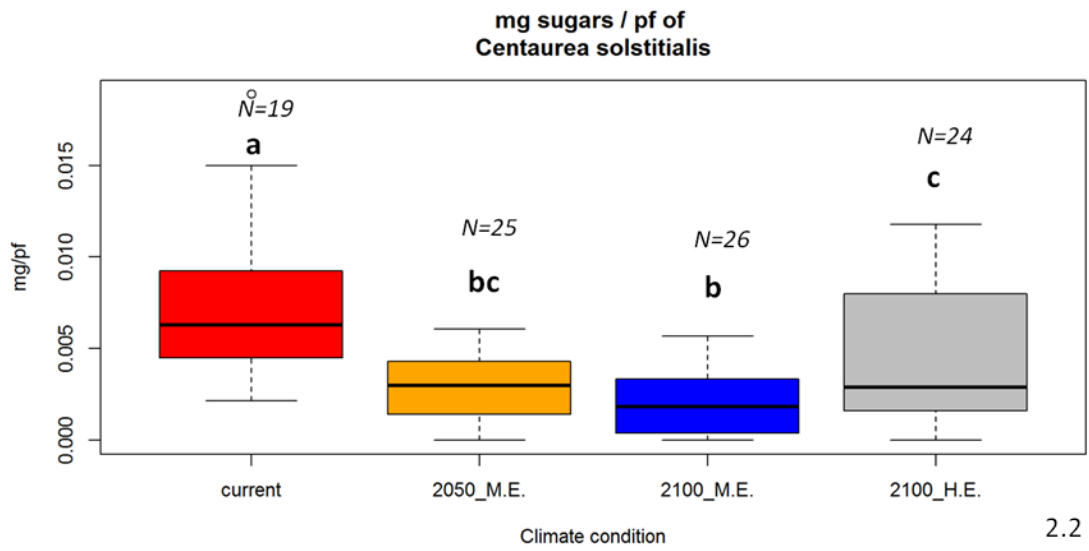
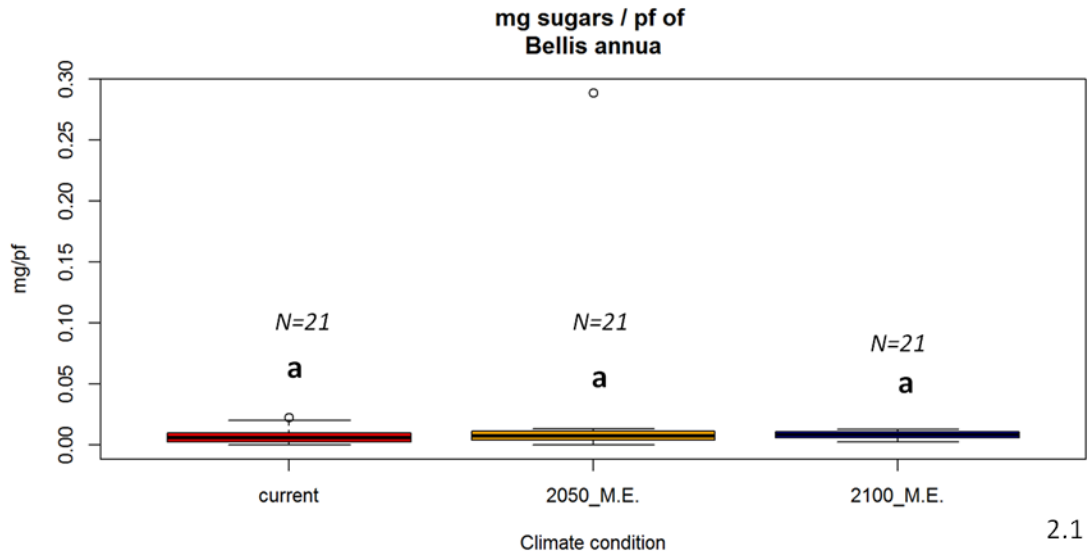


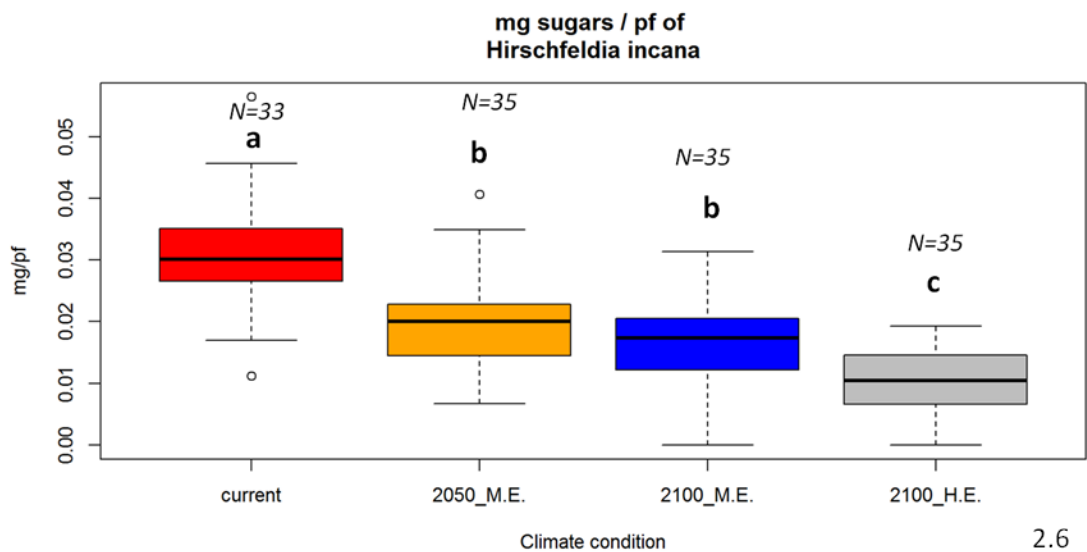
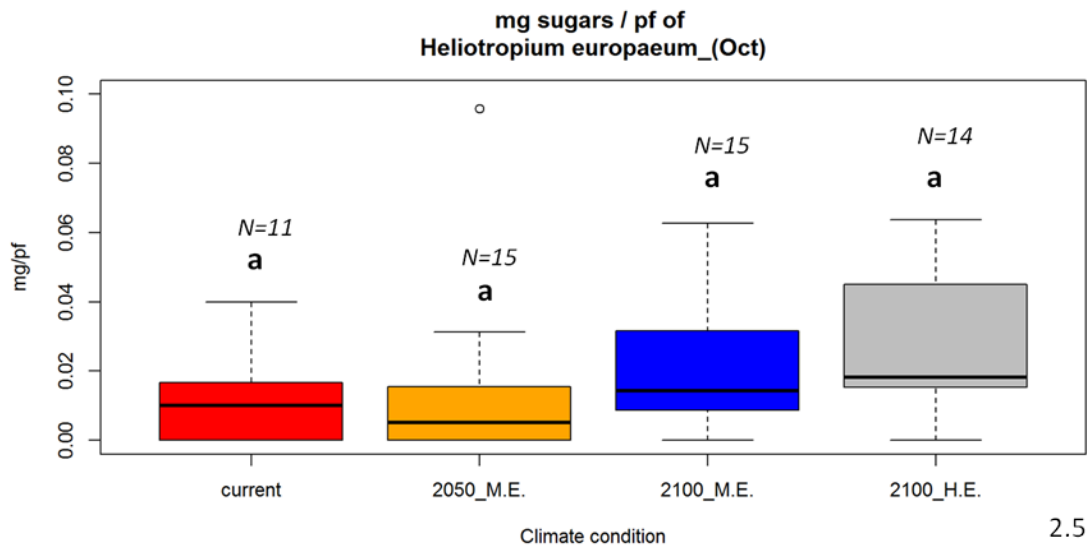
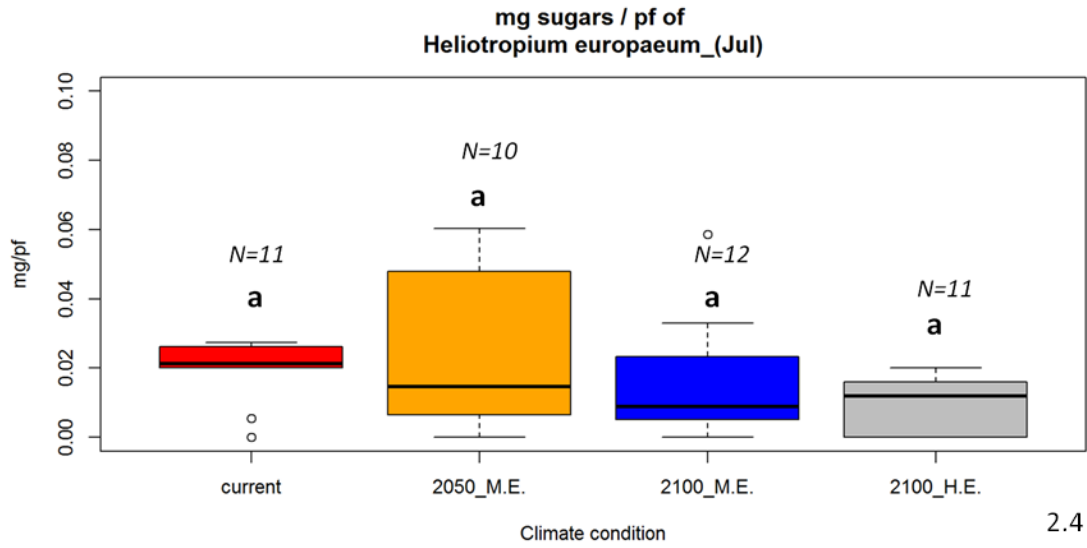


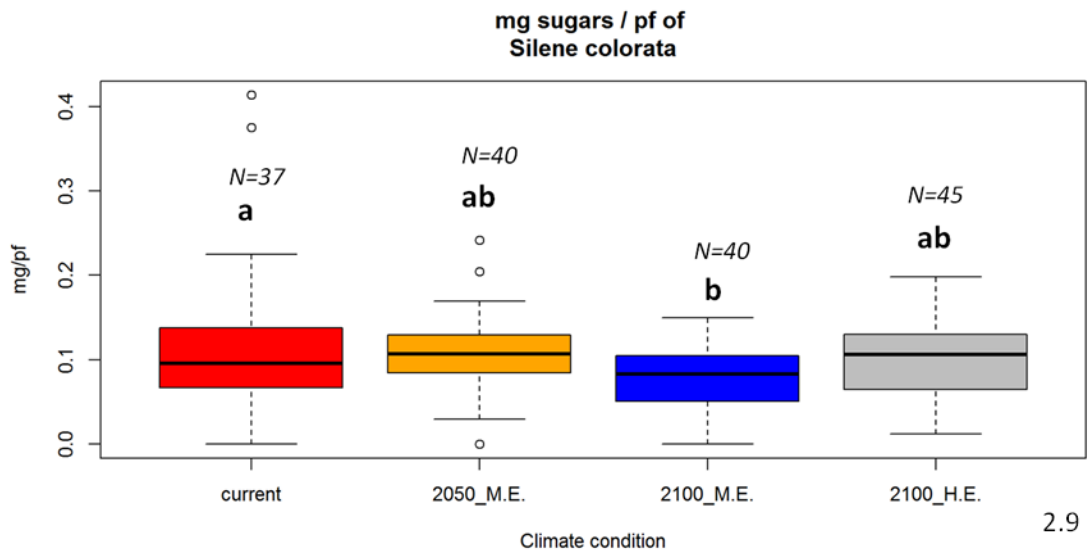
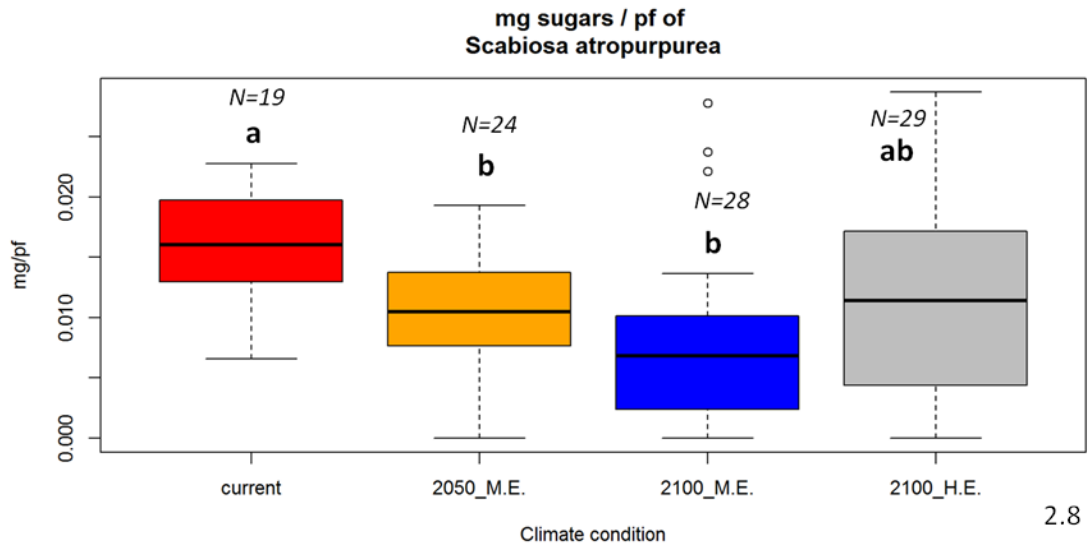
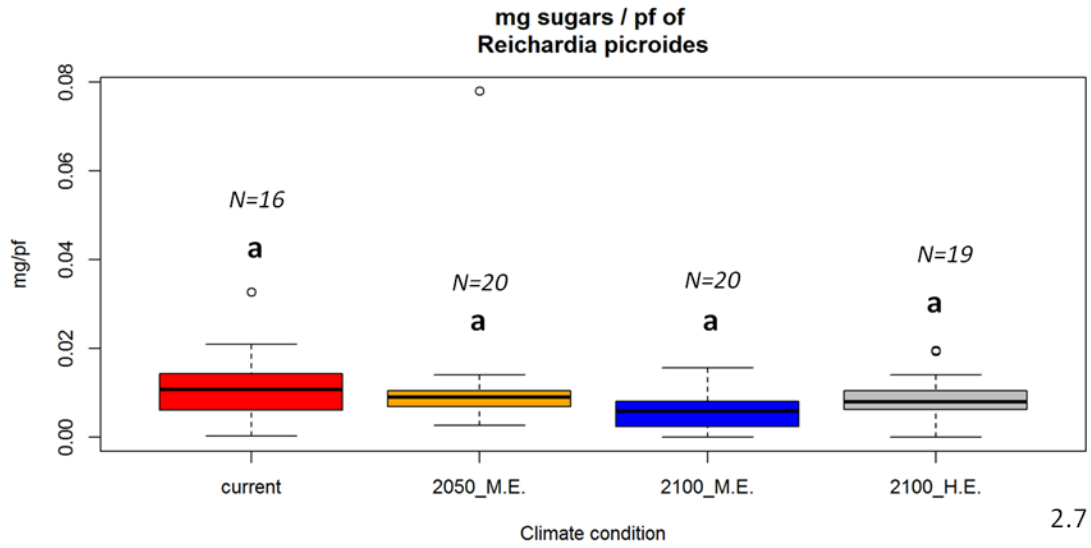


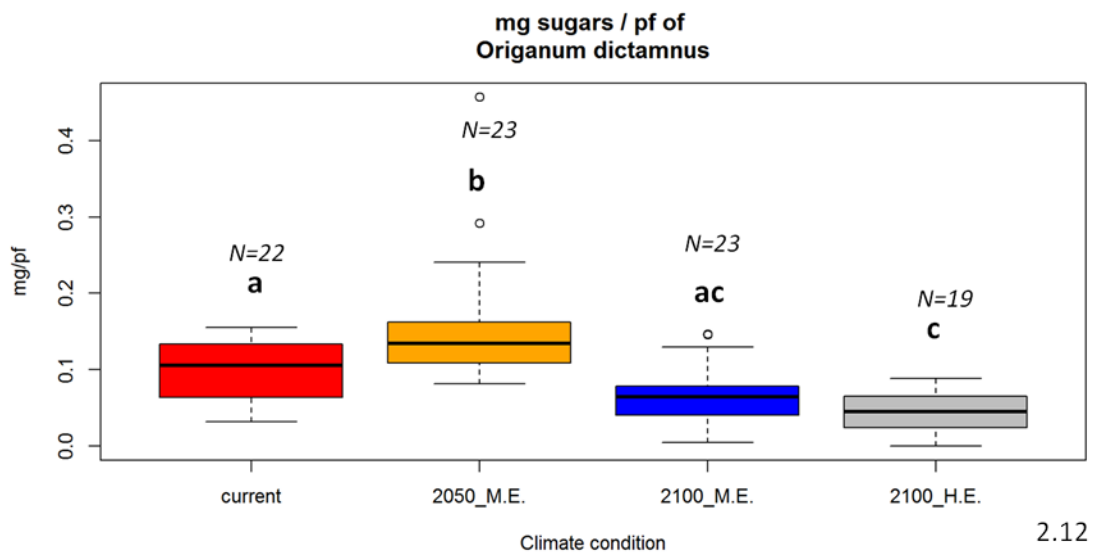
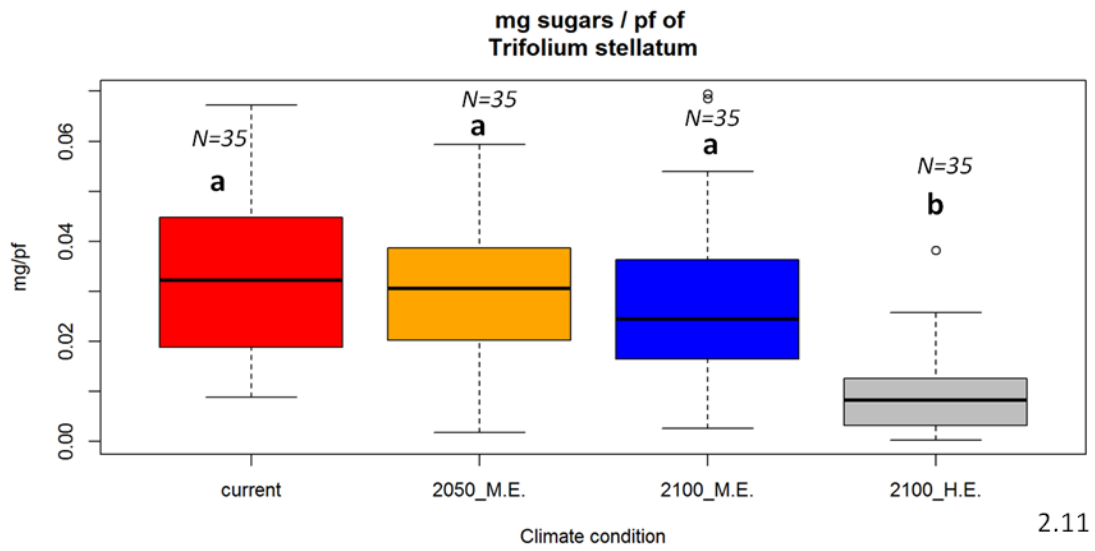
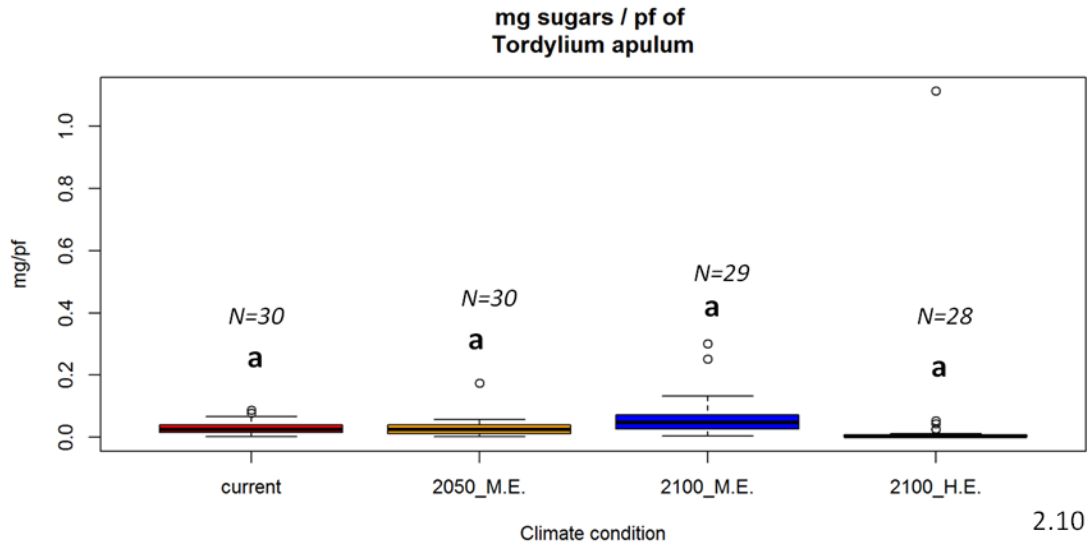


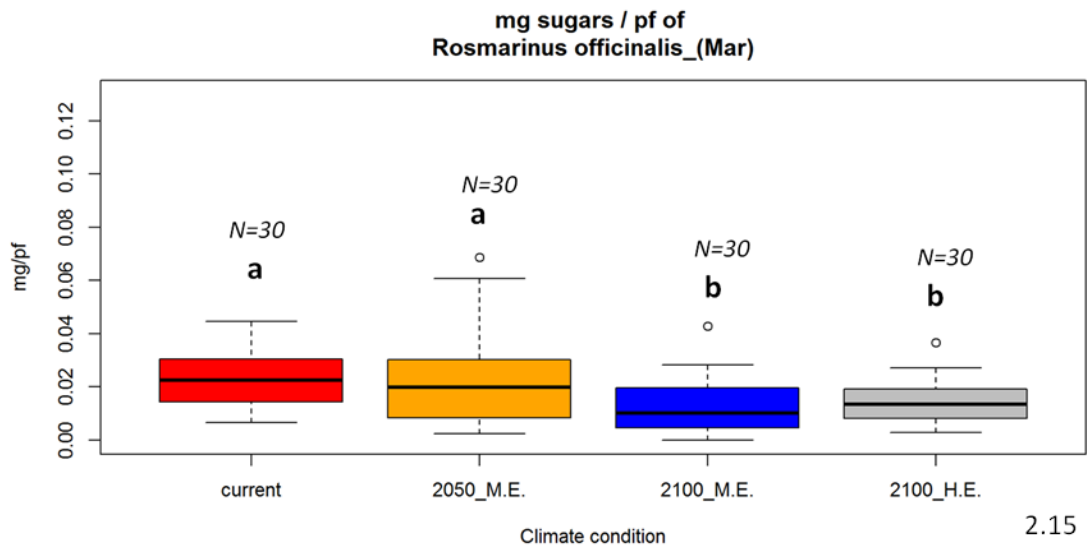
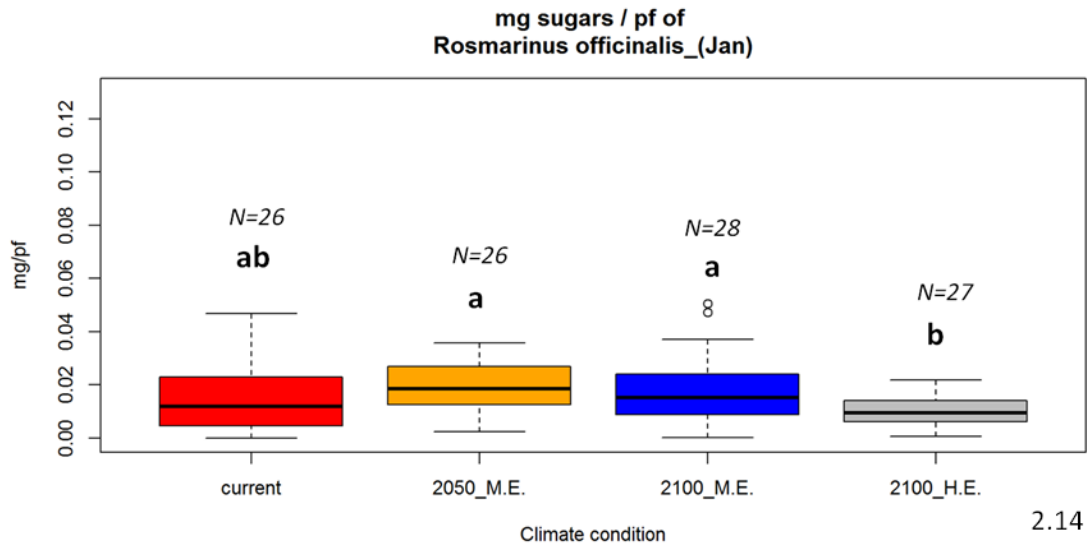
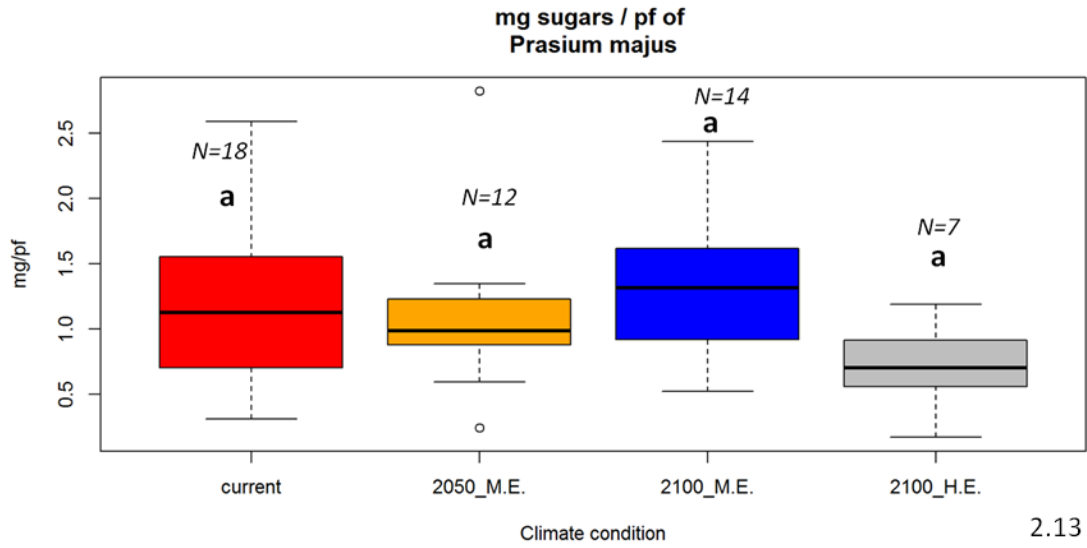
Διάγραμμα 2: Διαγραμματική απεικόνιση του όγκου νέκταρος /άνθος και ημέρα υπό τα διάφορα θερμοκρασιακά σενάρια. Τα θηκογράμματα 1.1 έως 1.4 αφορούν μονοετή φυτικά είδη και τα 1.5 έως 1.15 αφορούν πολυετή φυτικά είδη.



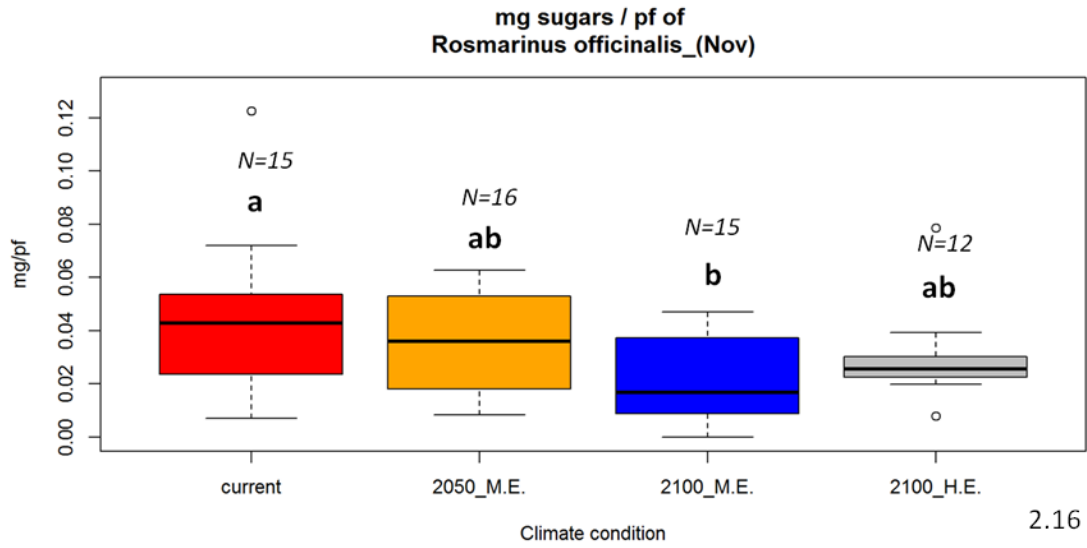




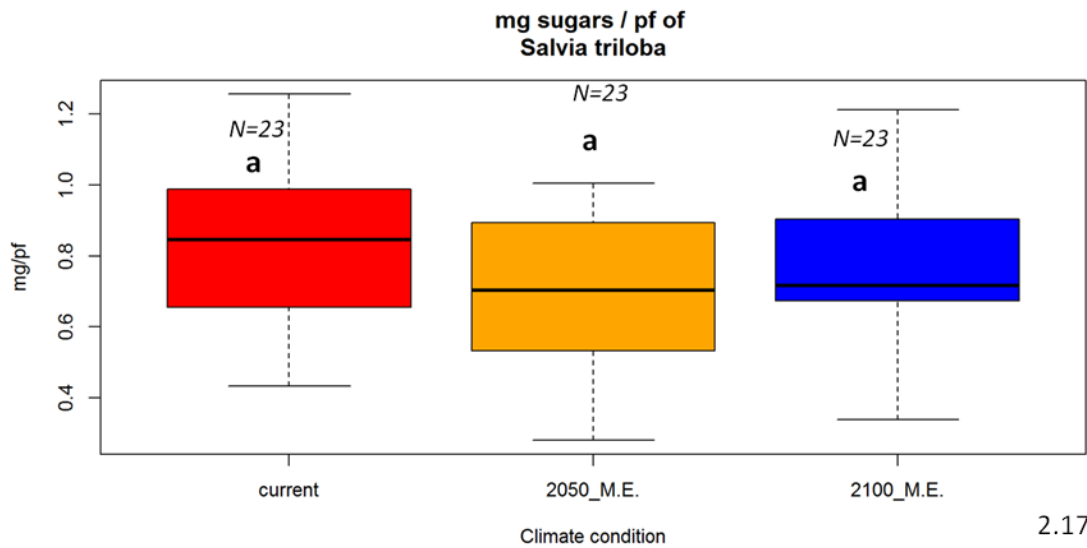




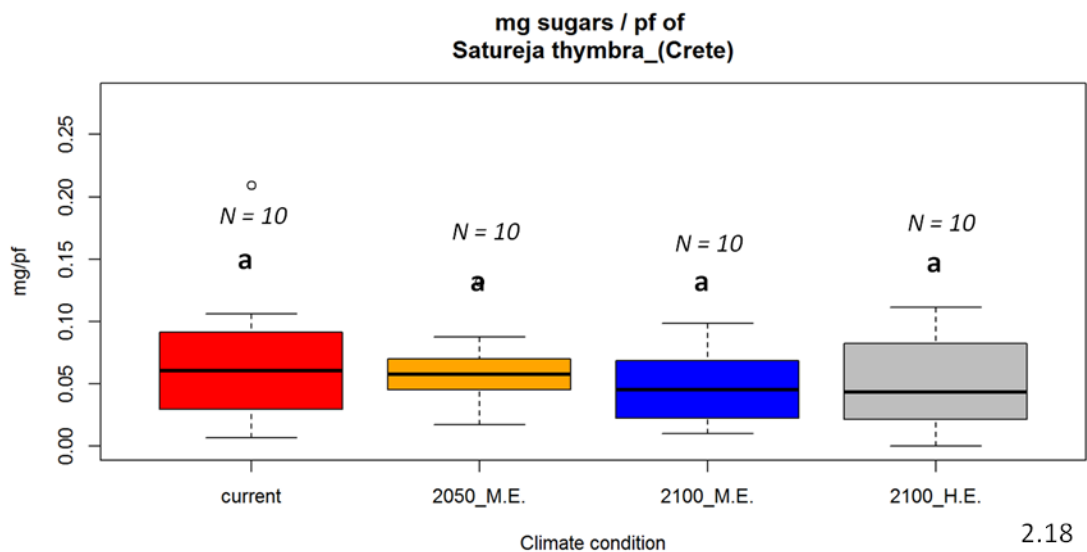




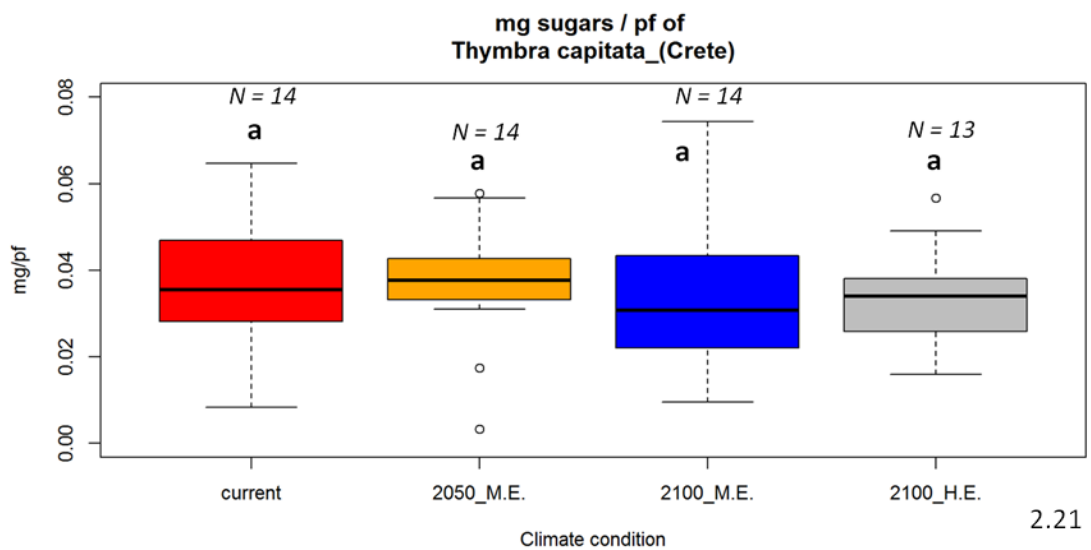
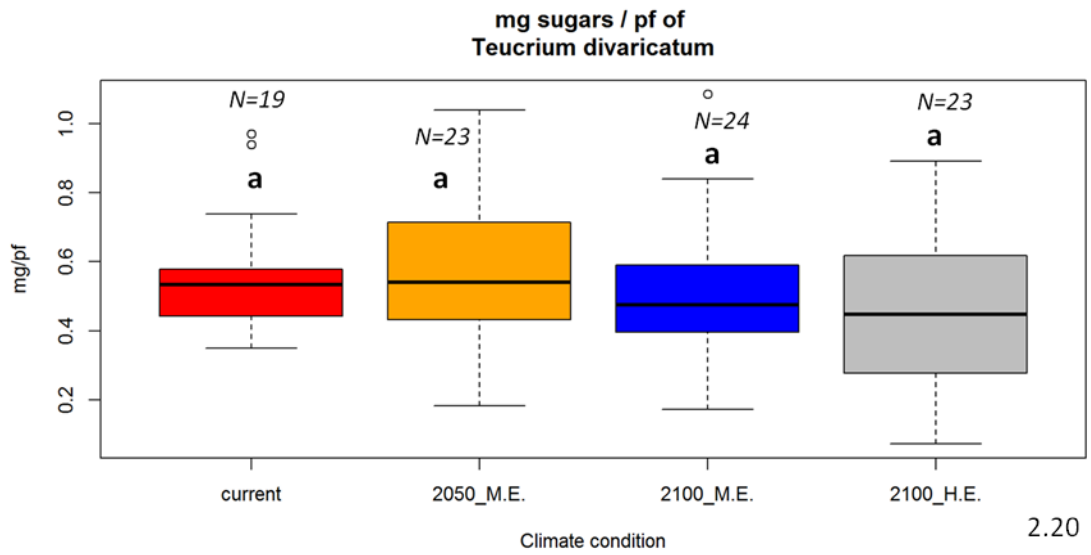
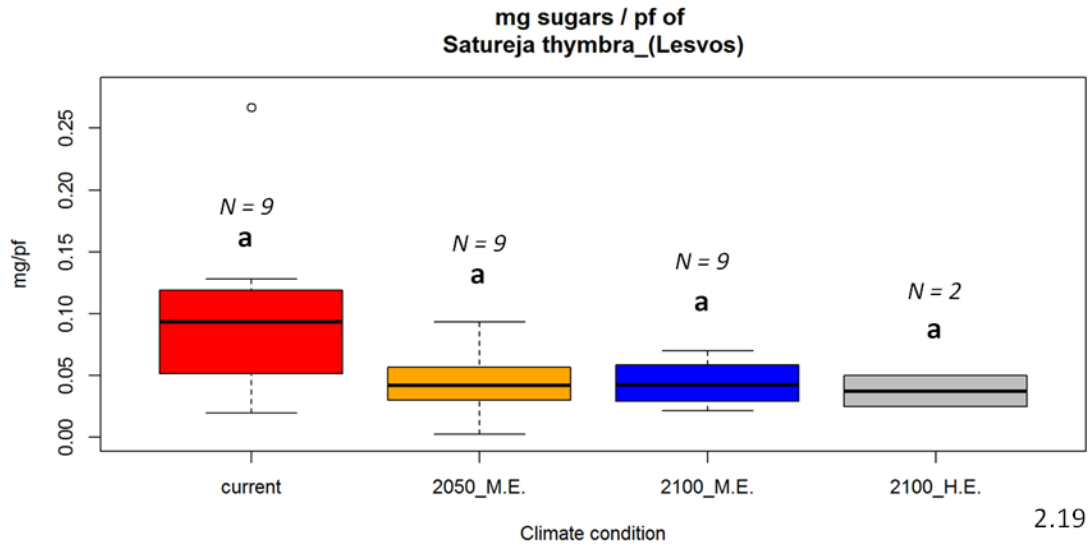
2.16

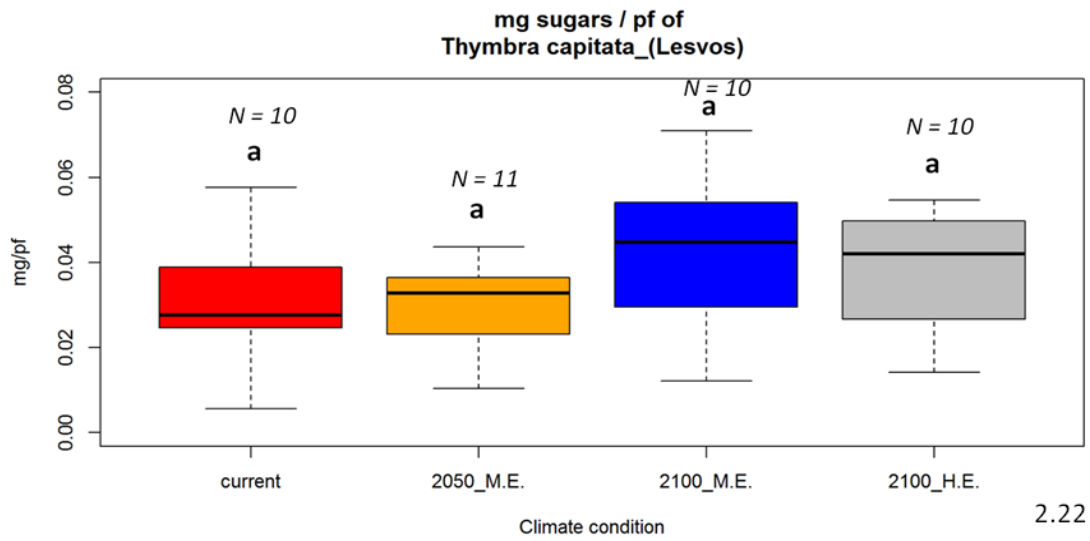


2.17

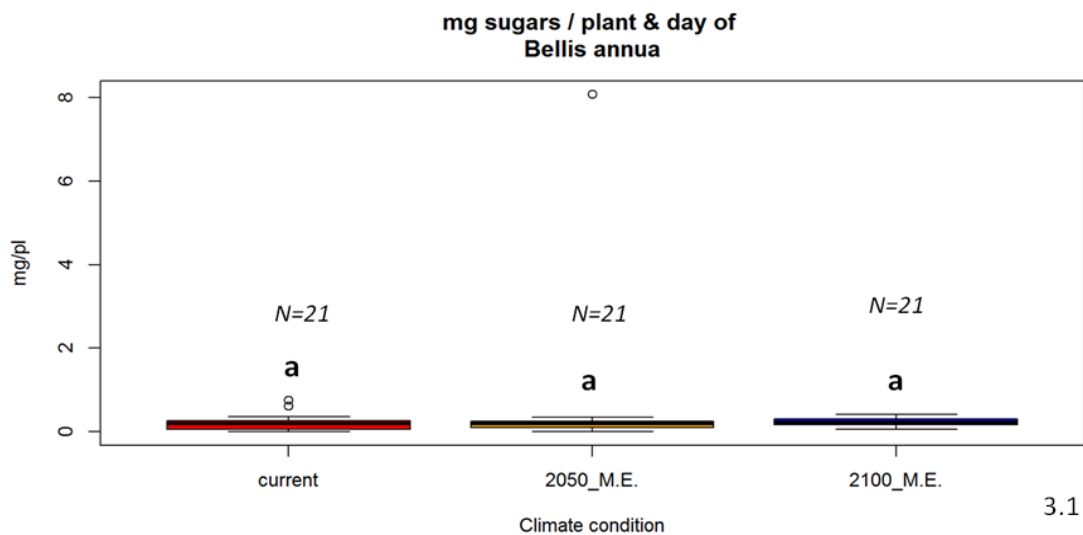


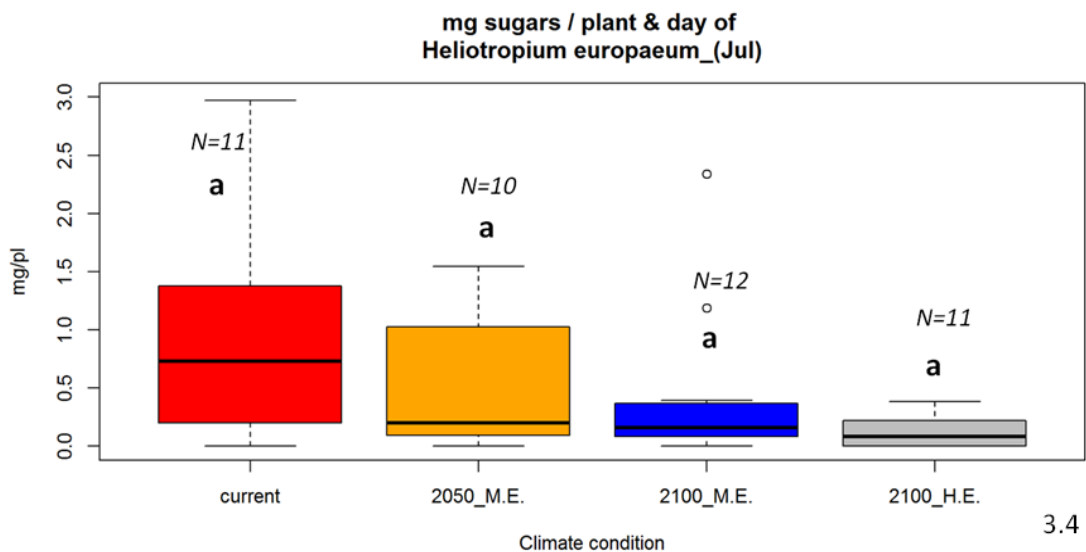
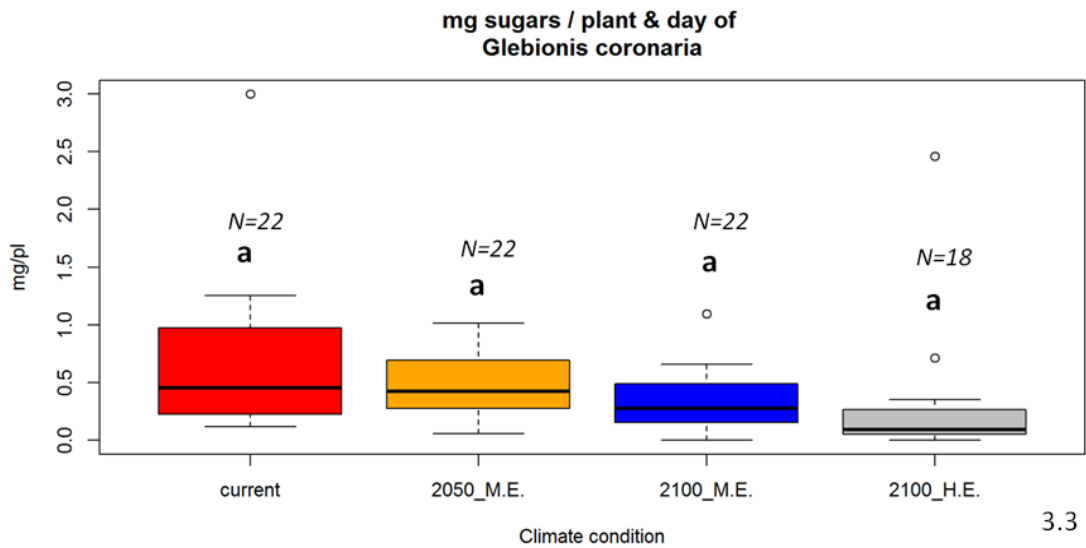
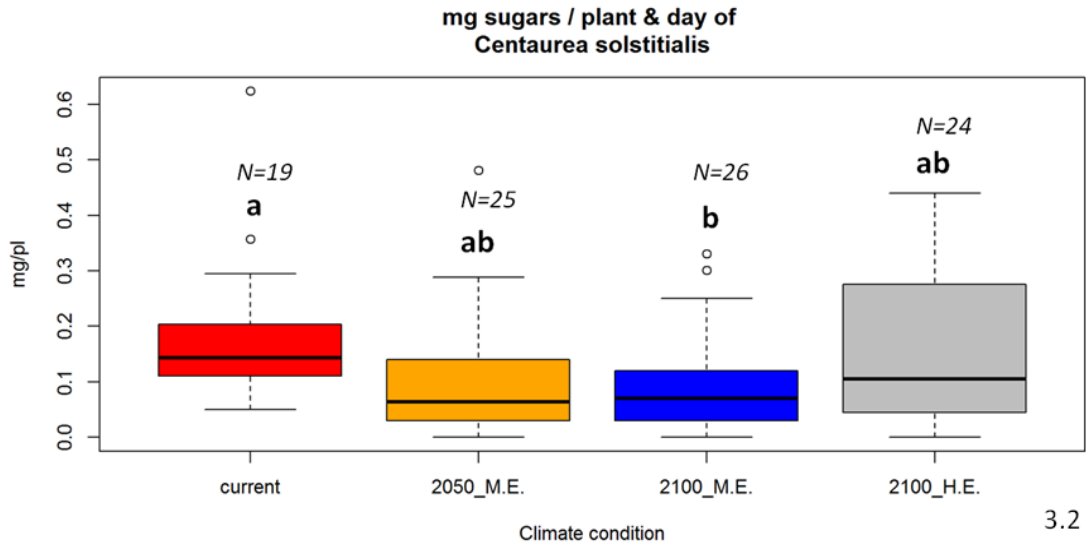
2.18

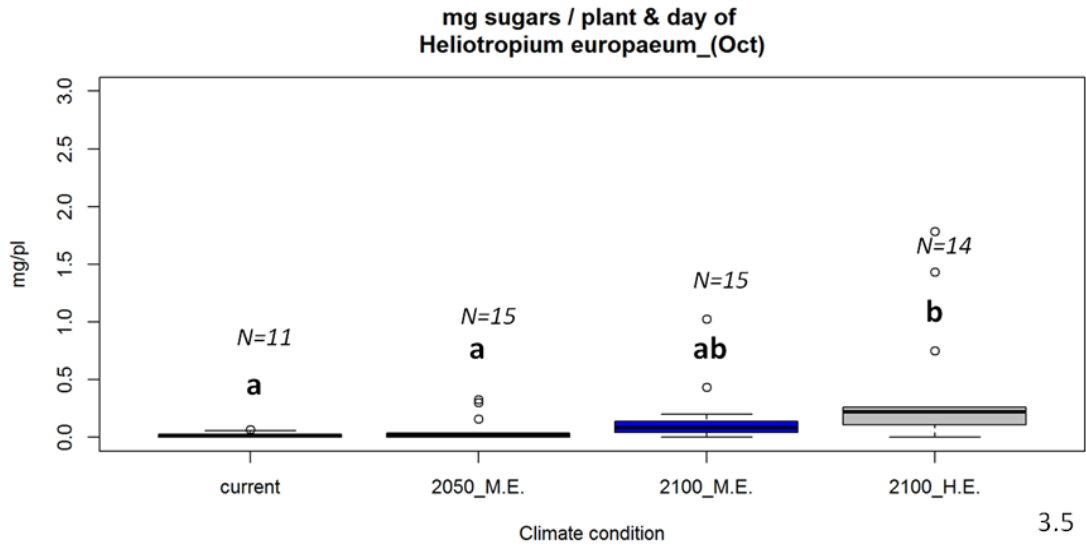




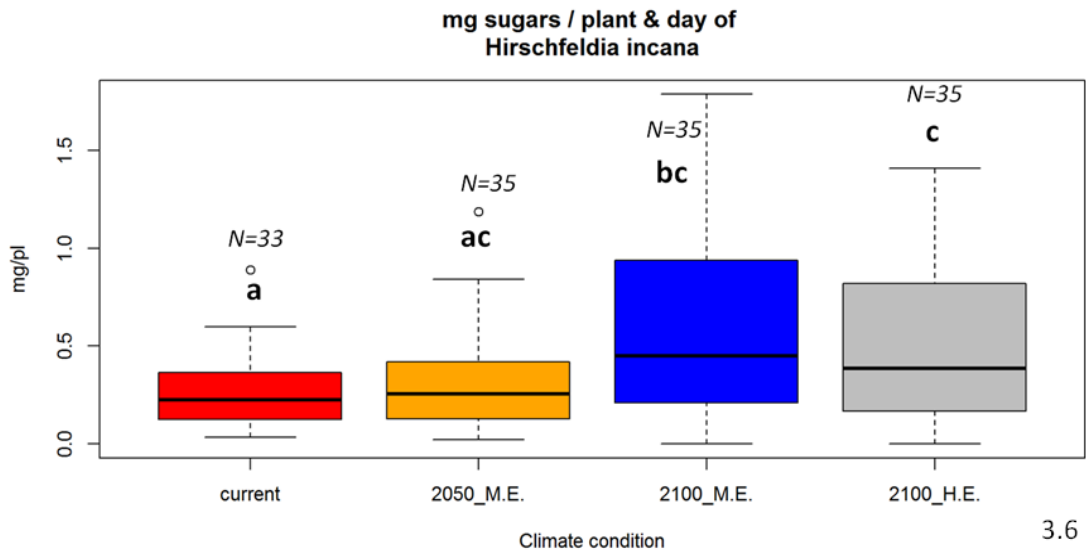
Διάγραμμα 4: Διαγραμματική απεικόνιση της μάζας σακχάρων του νέκταρος /άνθος και ημέρα υπό τα διάφορα θερμοκρασιακά σενάρια. Τα θηκογράμματα 2.1 έως 2.11 αφορούν μονοετή φυτικά είδη και τα 2.12 έως 2.22 αφορούν πολυετή φυτικά είδη.



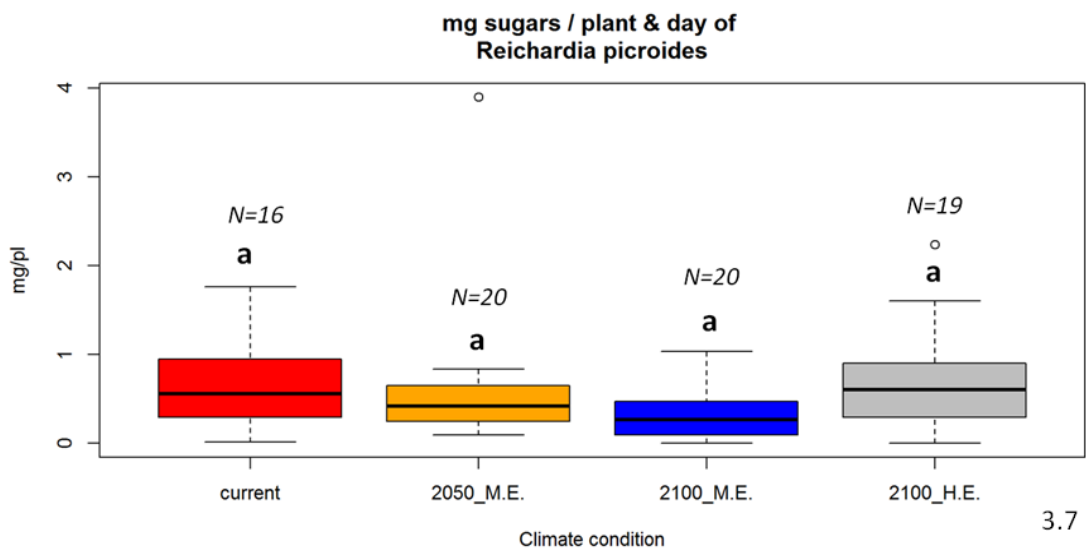




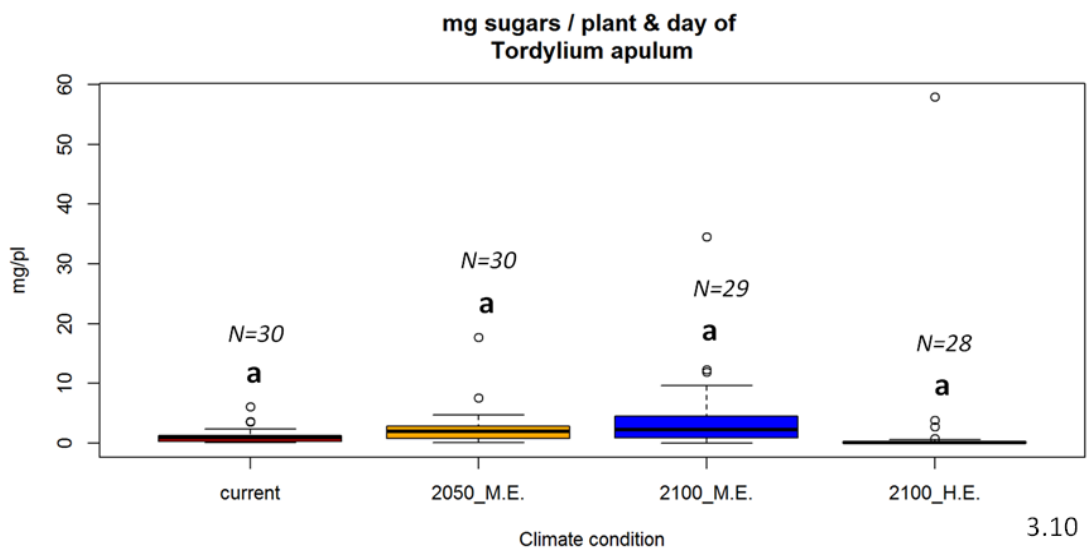
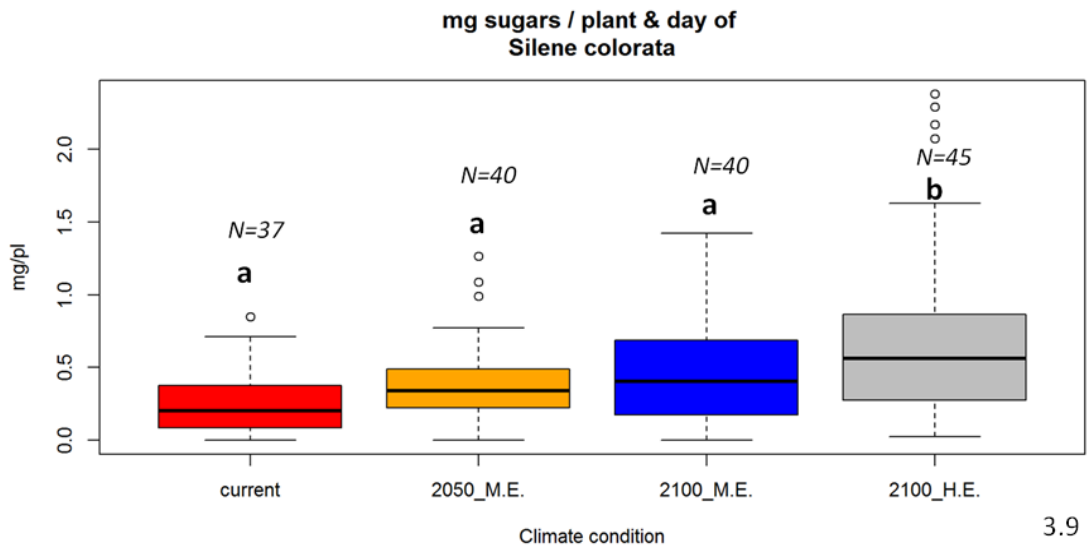
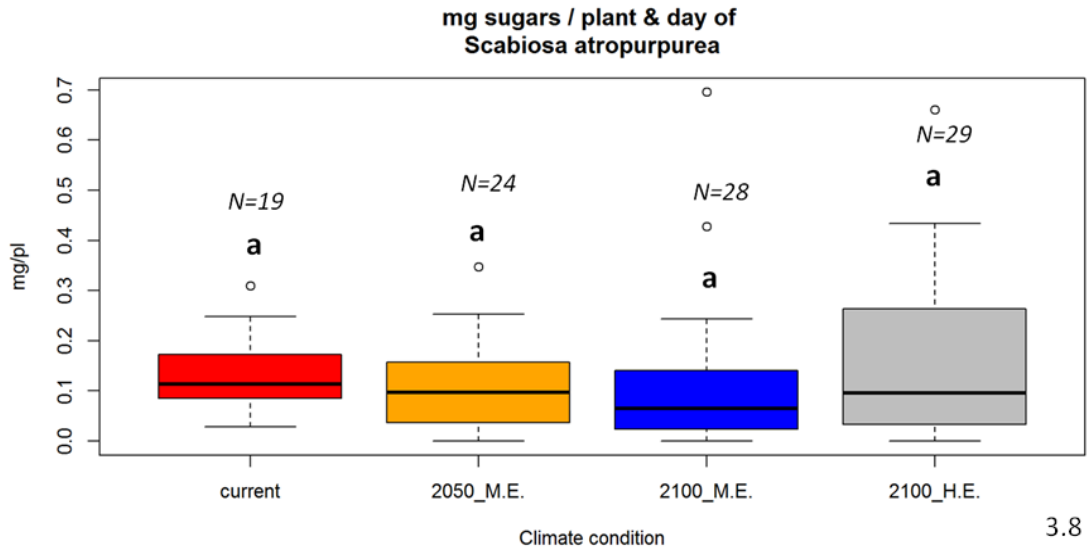
3.5

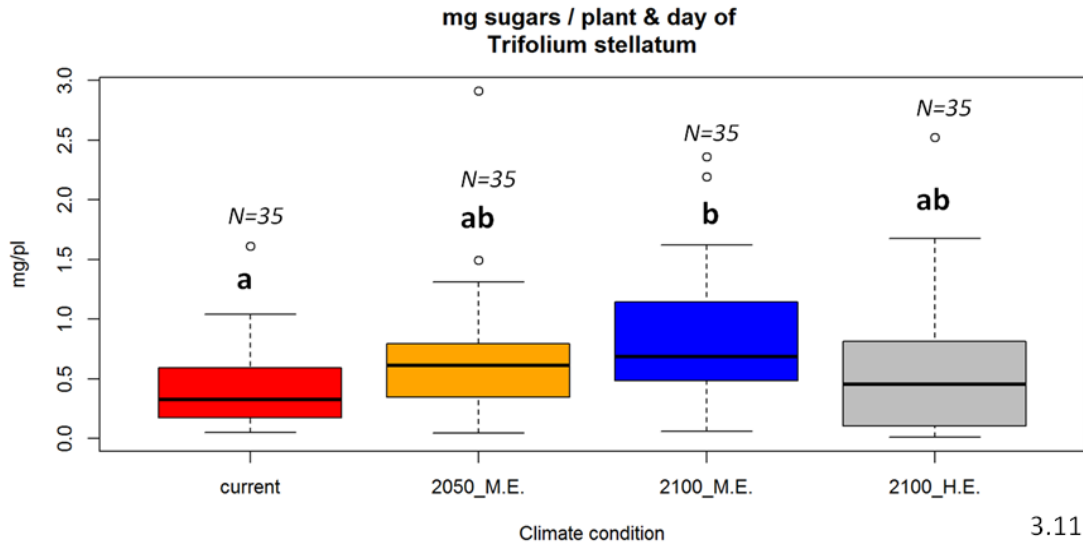


3.6

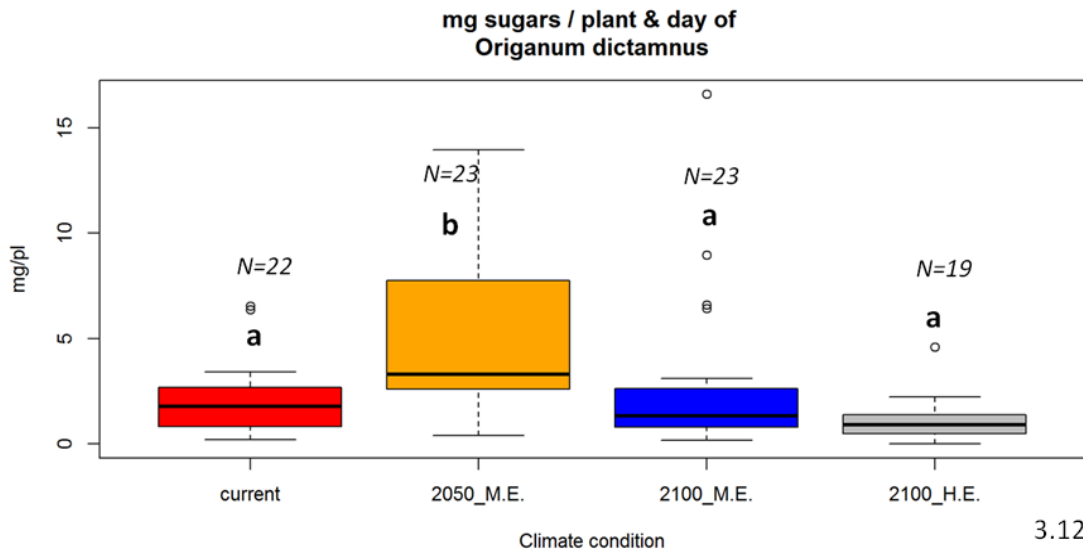


3.7

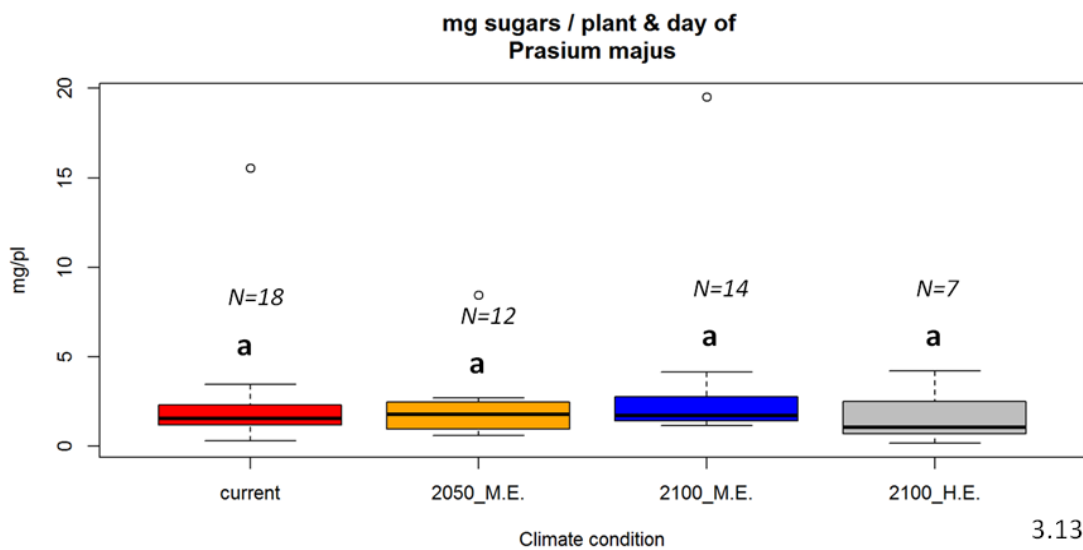




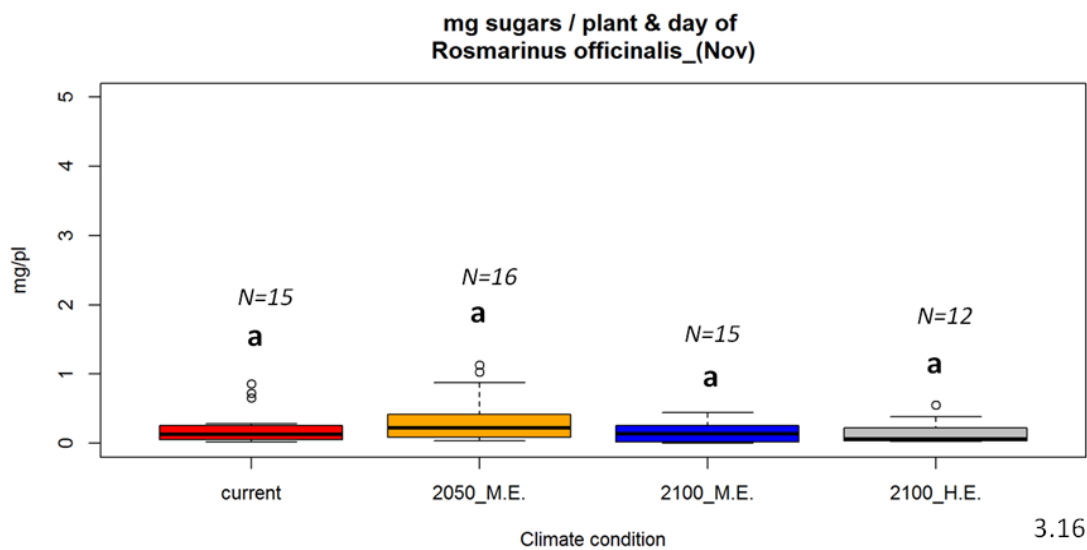
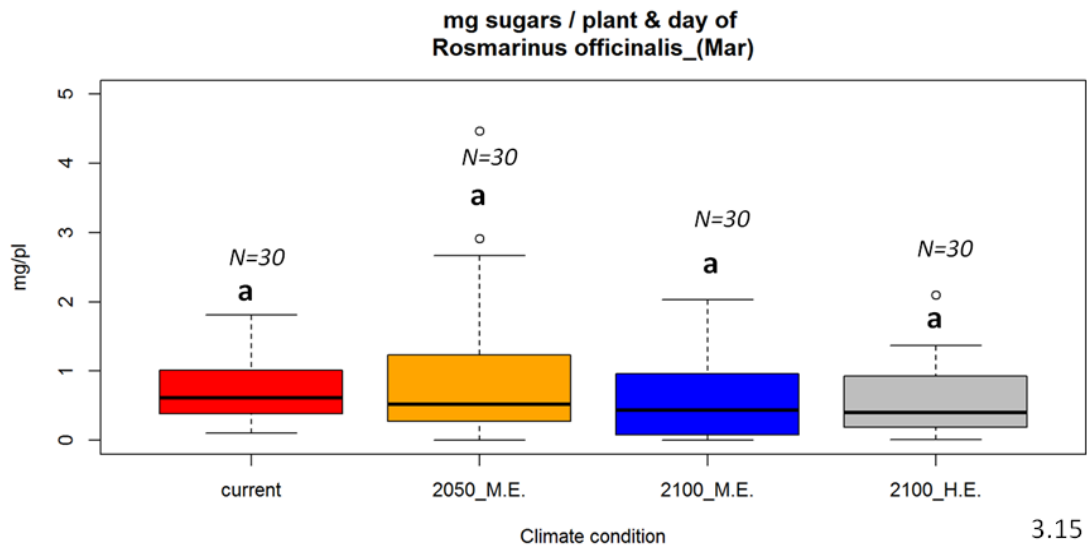
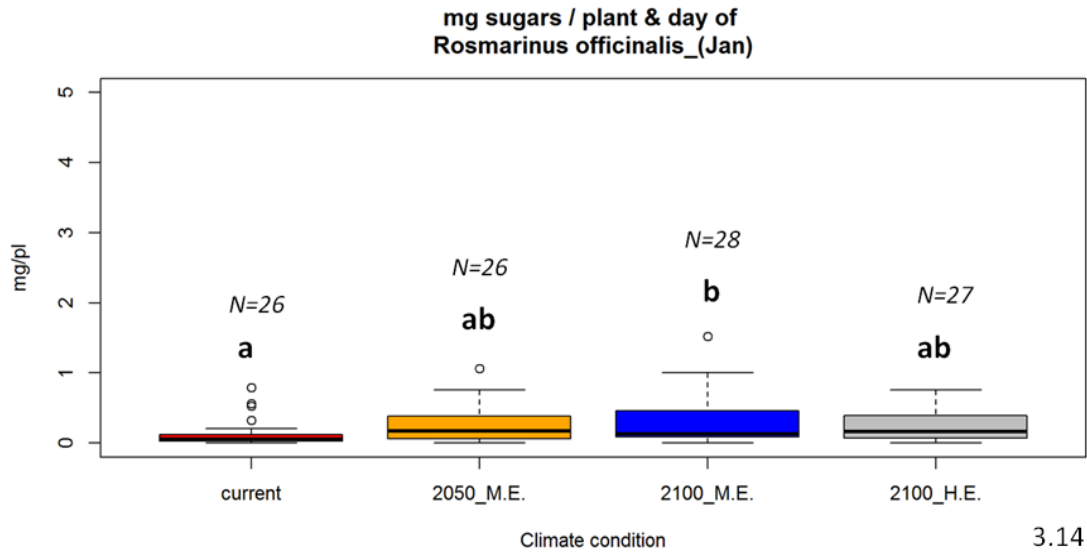
3.11



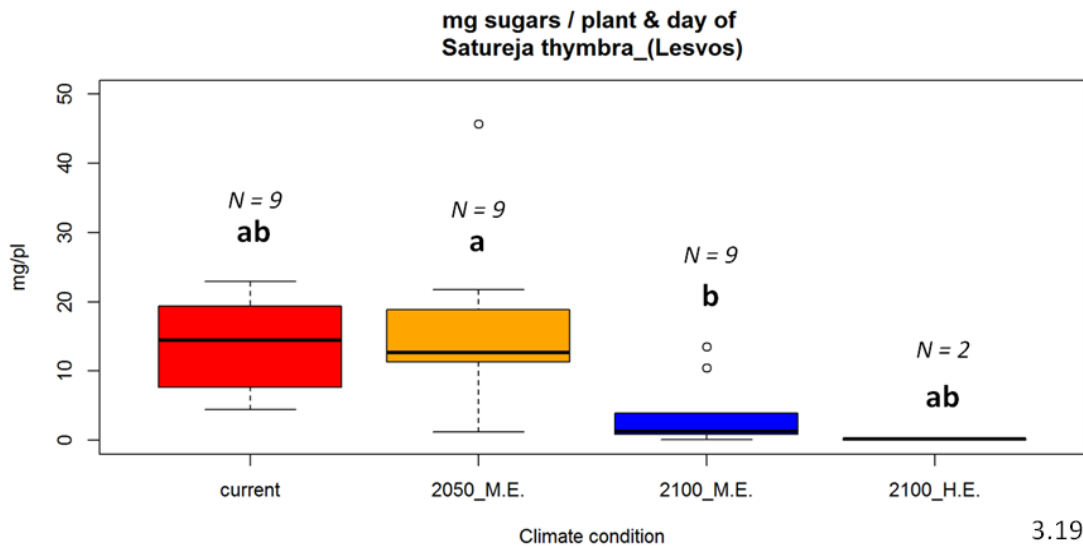
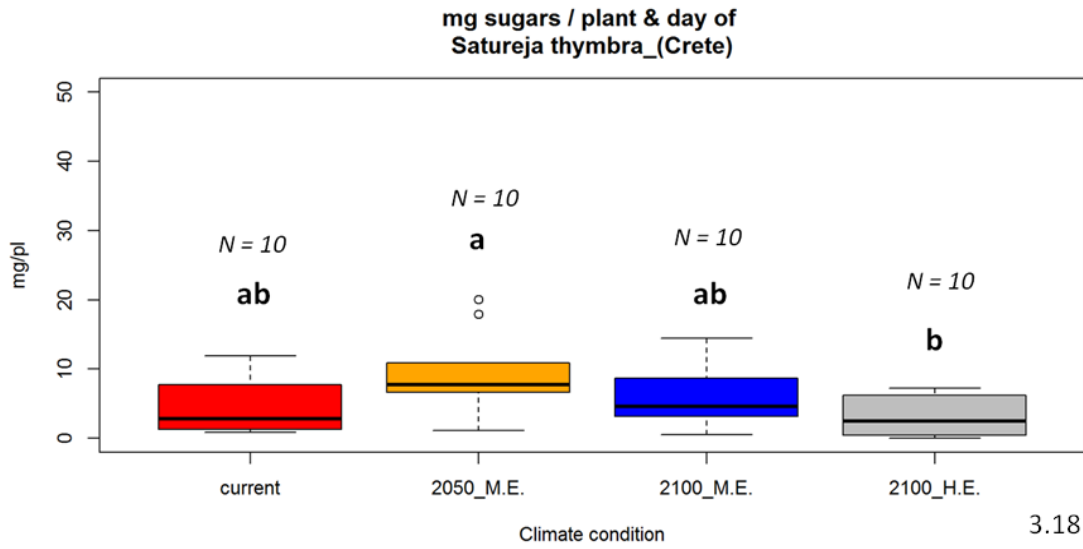
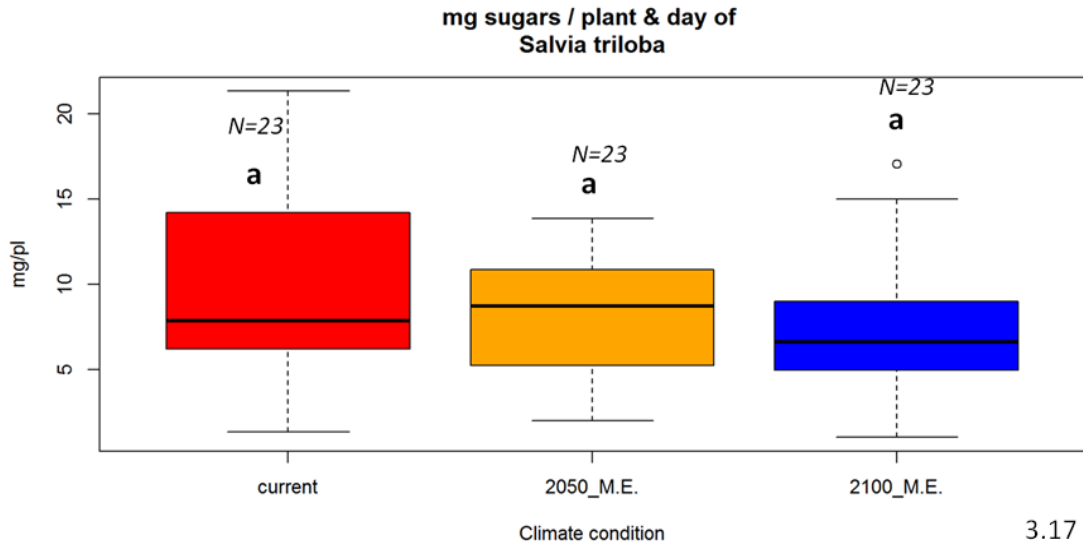
3.12

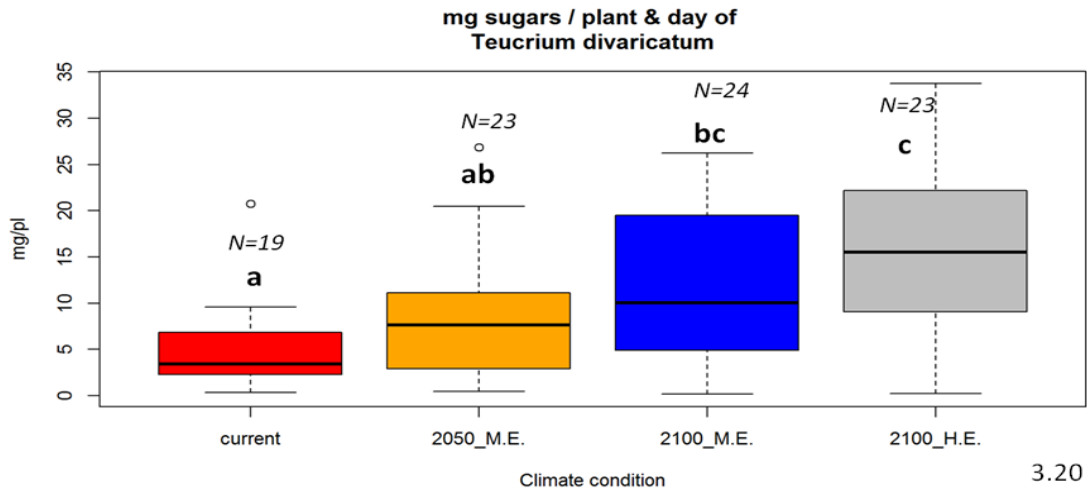


3.13

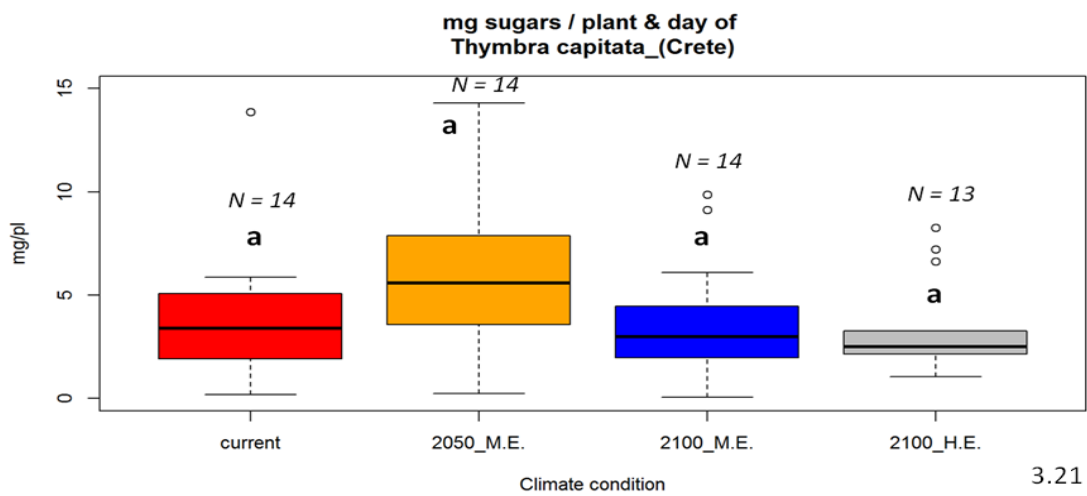




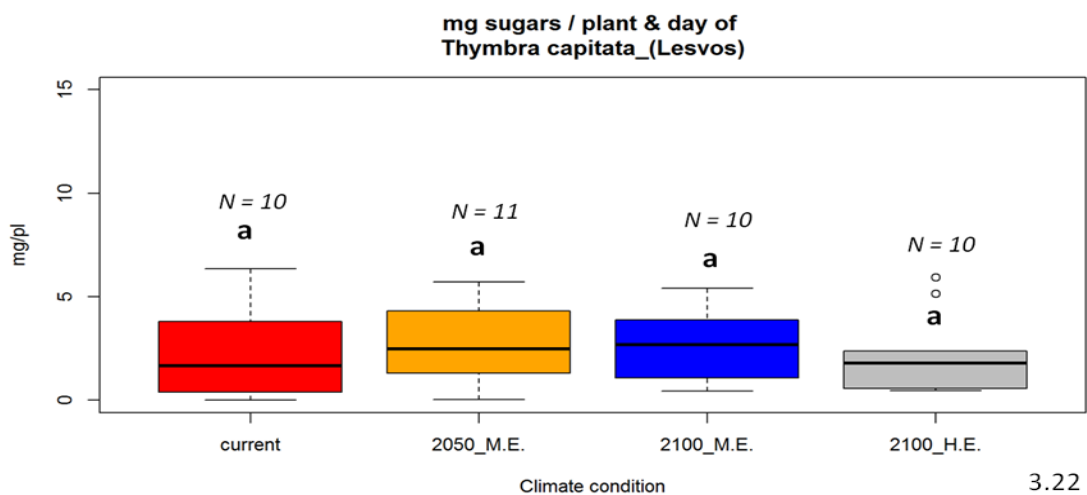




3.20

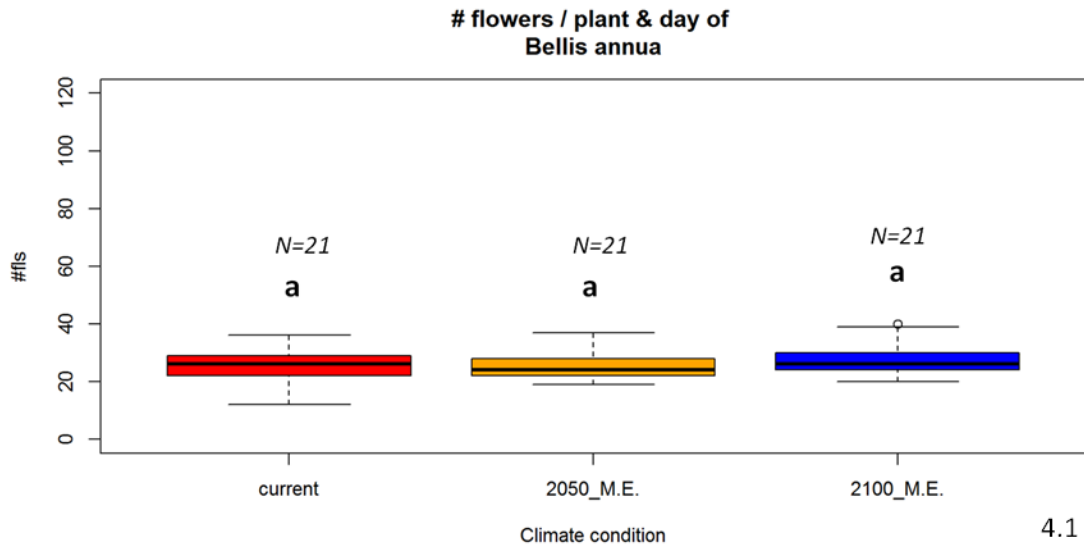


3.21

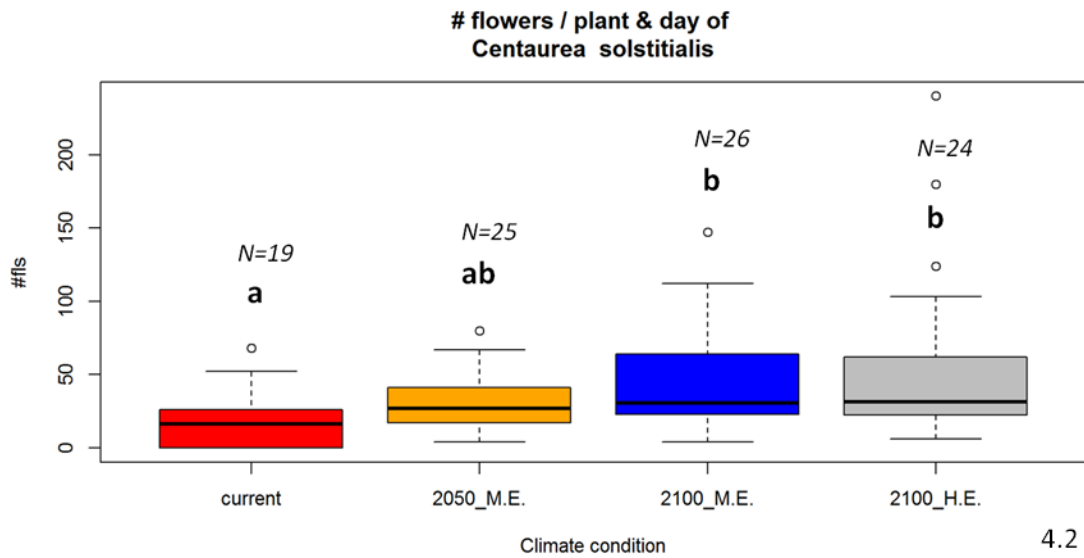


3.22

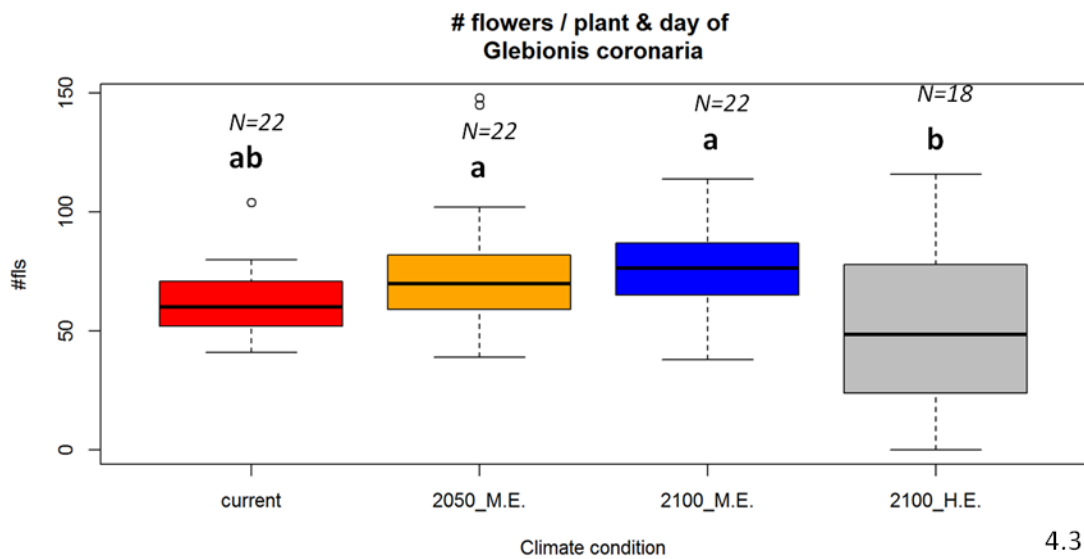
Διάγραμμα 3: Διαγραμματική απεικόνιση της μάζας σακχάρων του νέκταρος /φυτό και ημέρα υπό τα διάφορα θερμοκρασιακά σενάρια. Τα θηκογράμματα 3.1 έως 3.11 αφορούν μονοετή φυτικά είδη και τα 3.12 έως 3.22 αφορούν πολυετή φυτικά είδη.



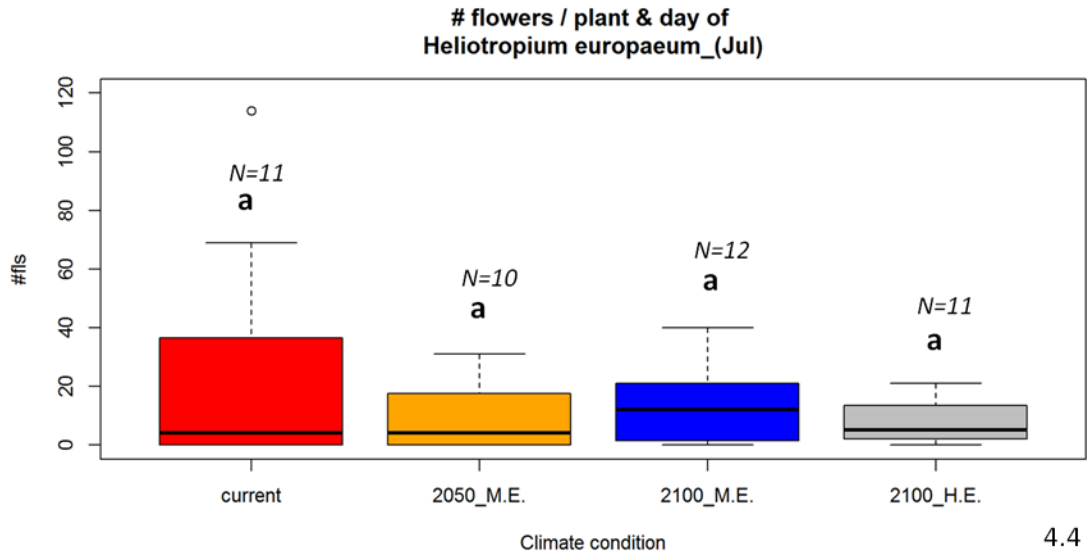
4.1



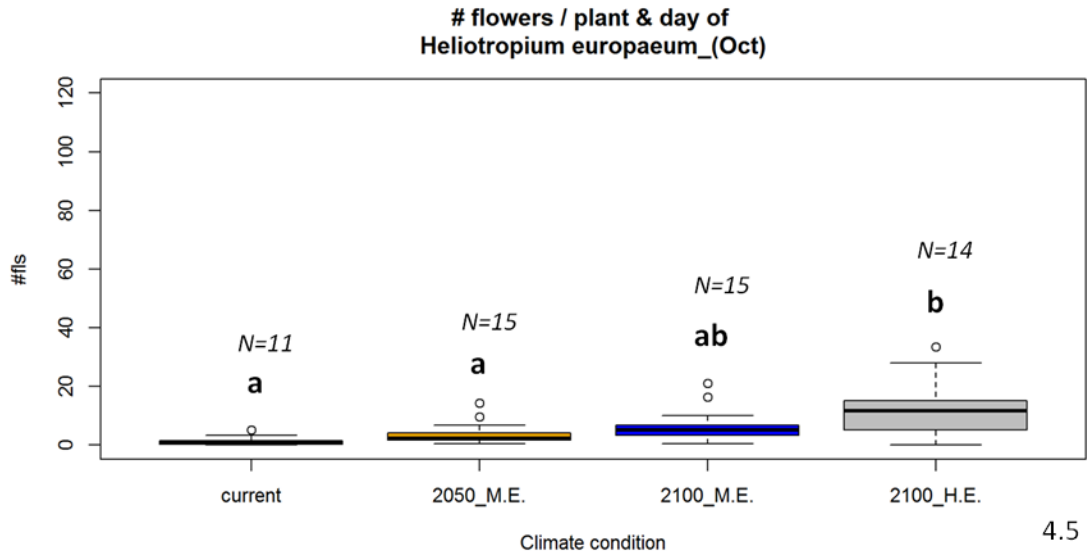
4.2



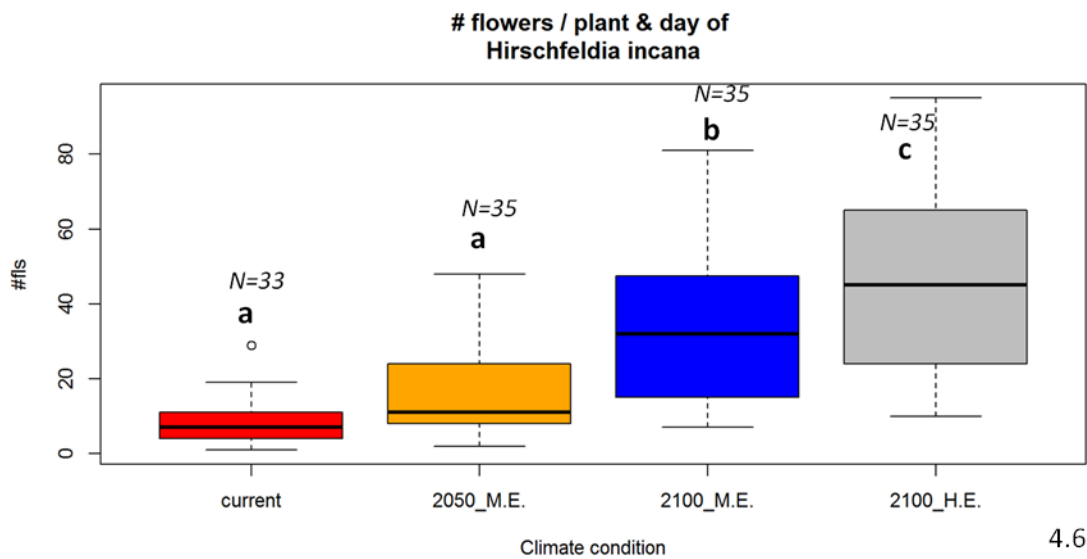
4.3



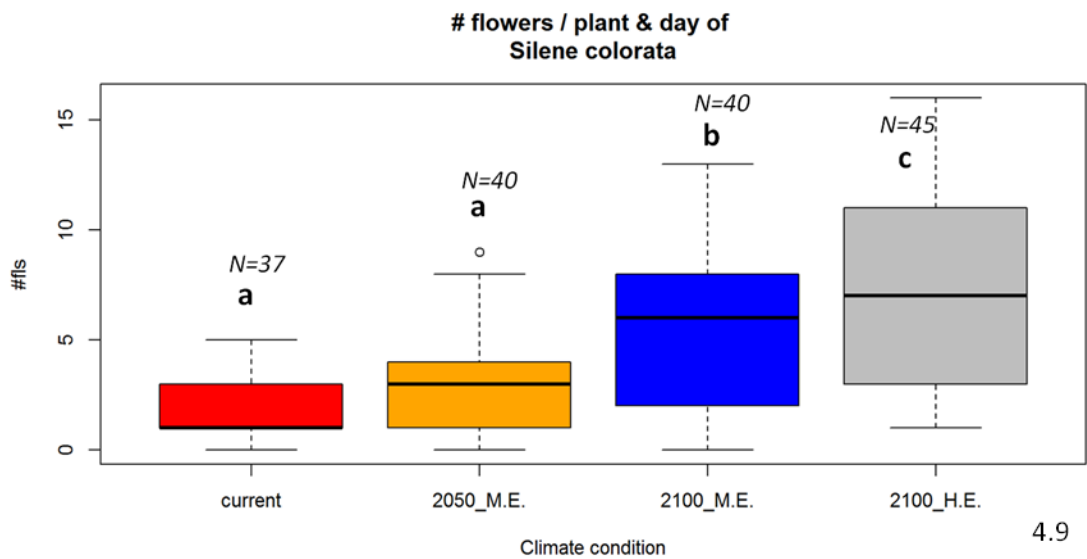
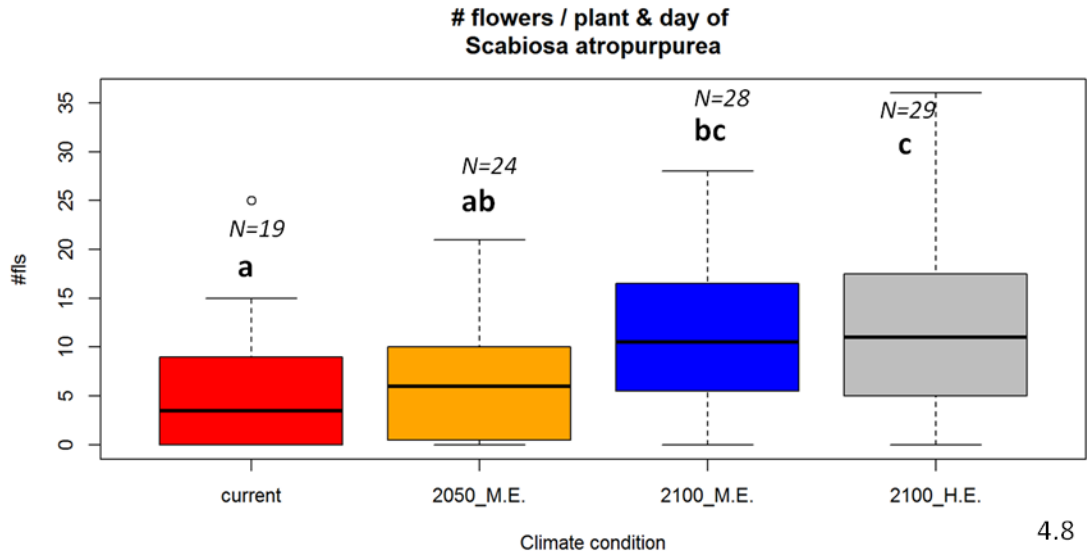
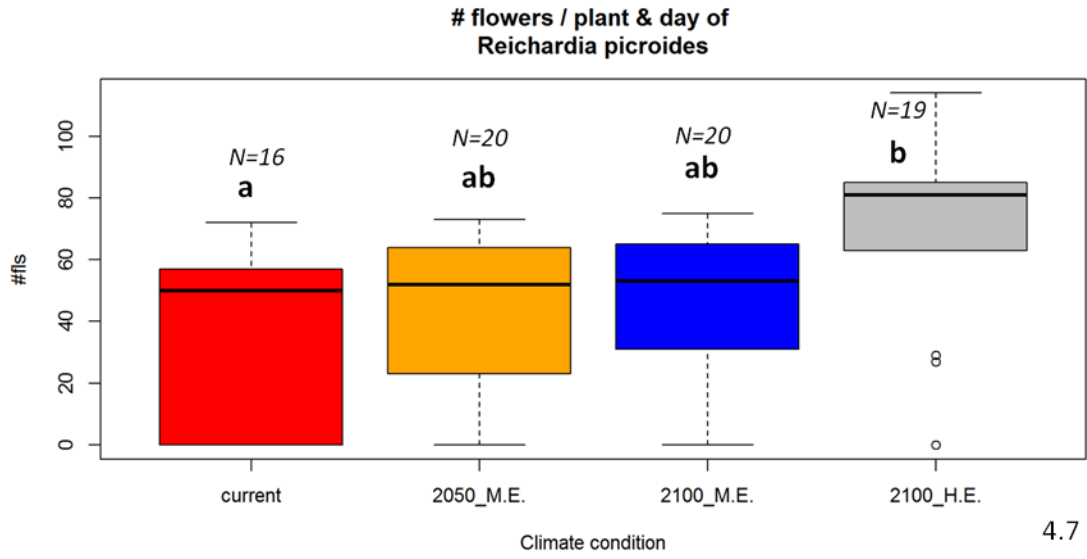
4.4

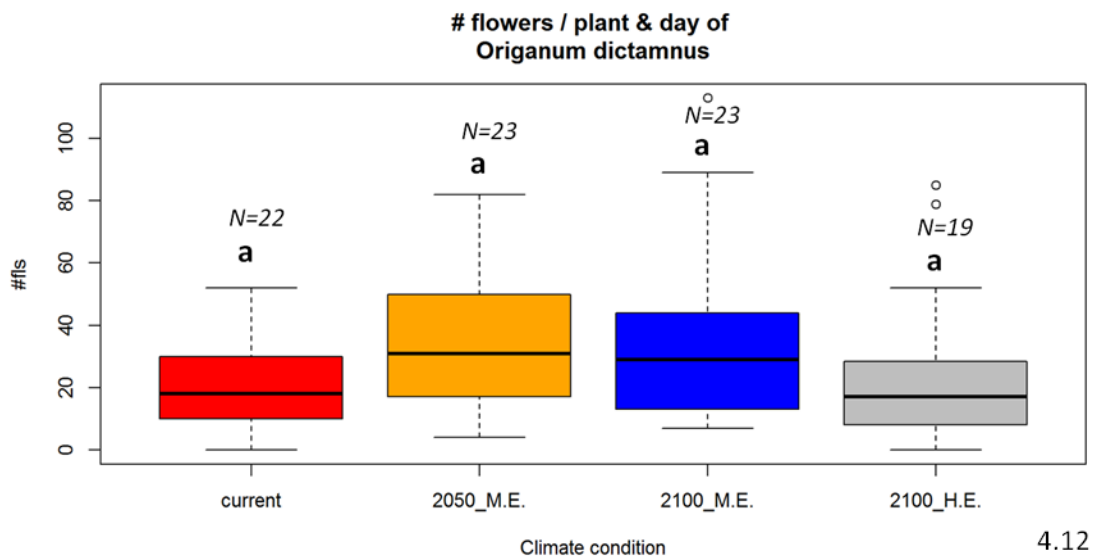
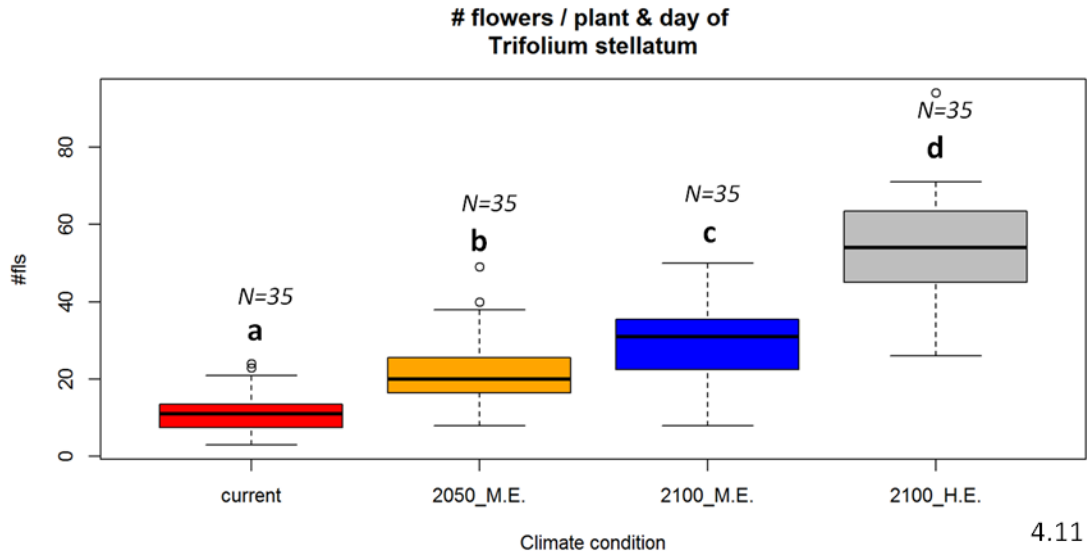
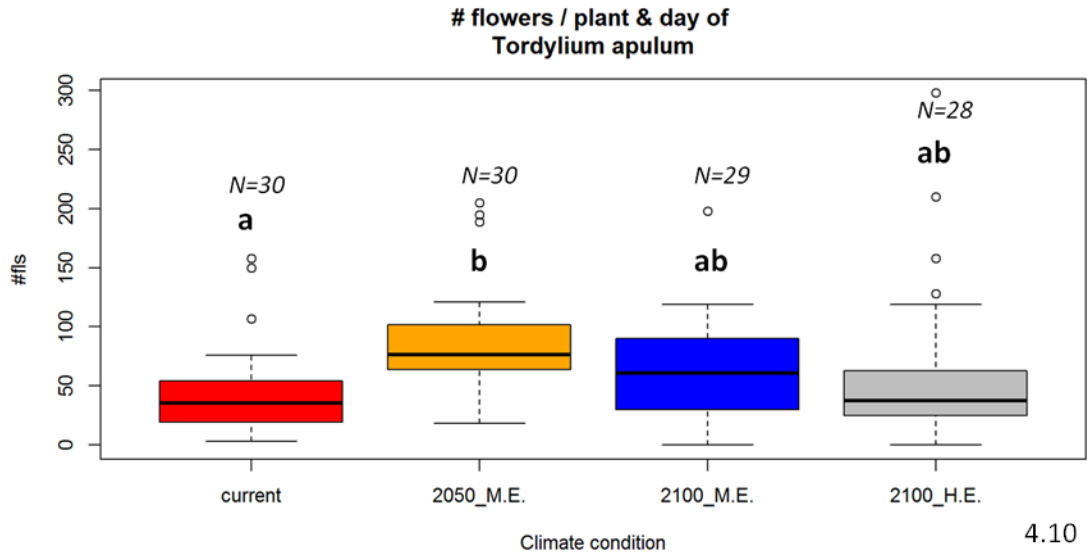


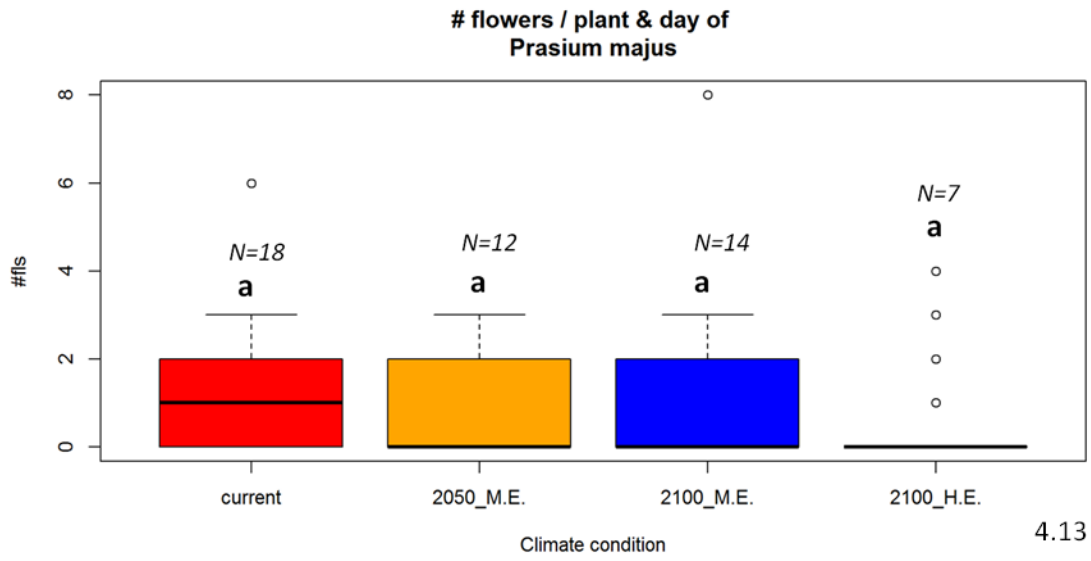
4.5



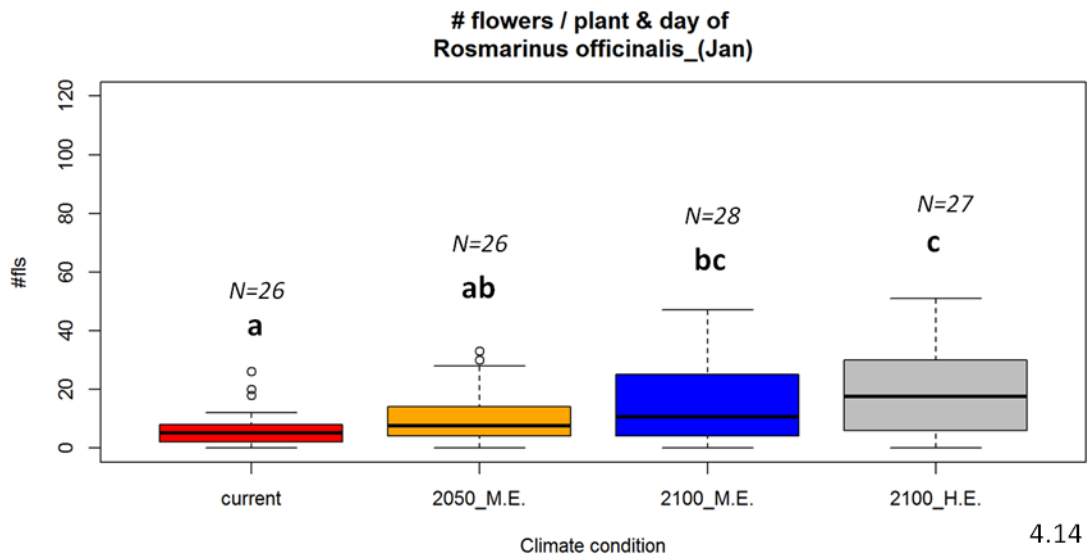
4.6



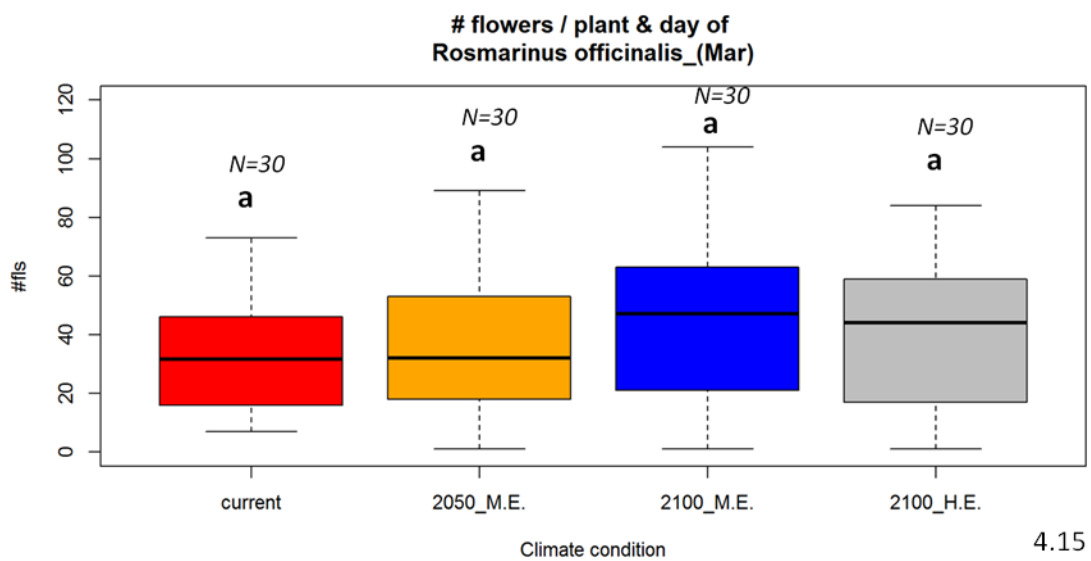




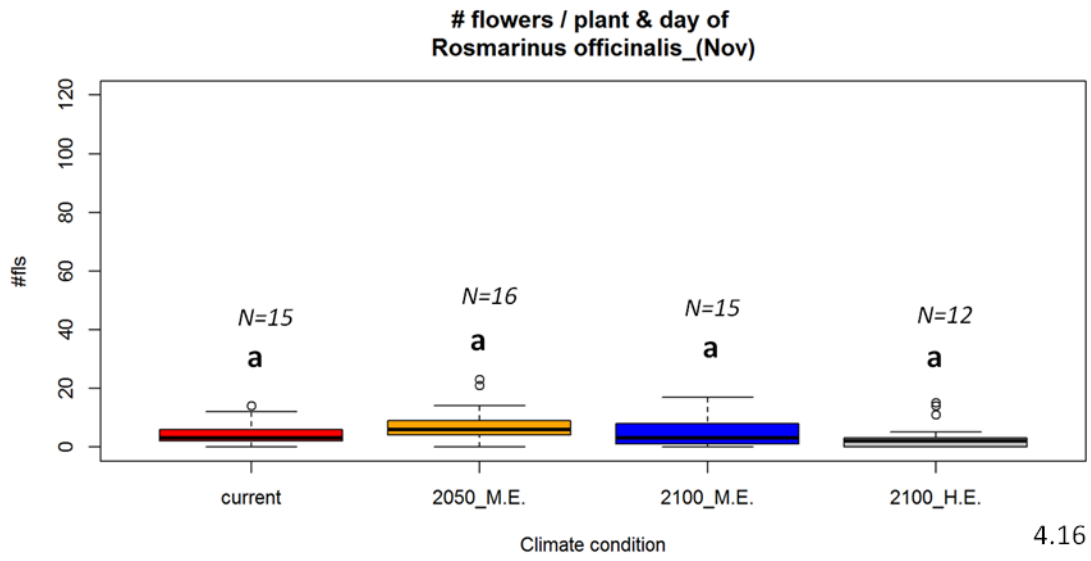
4.13



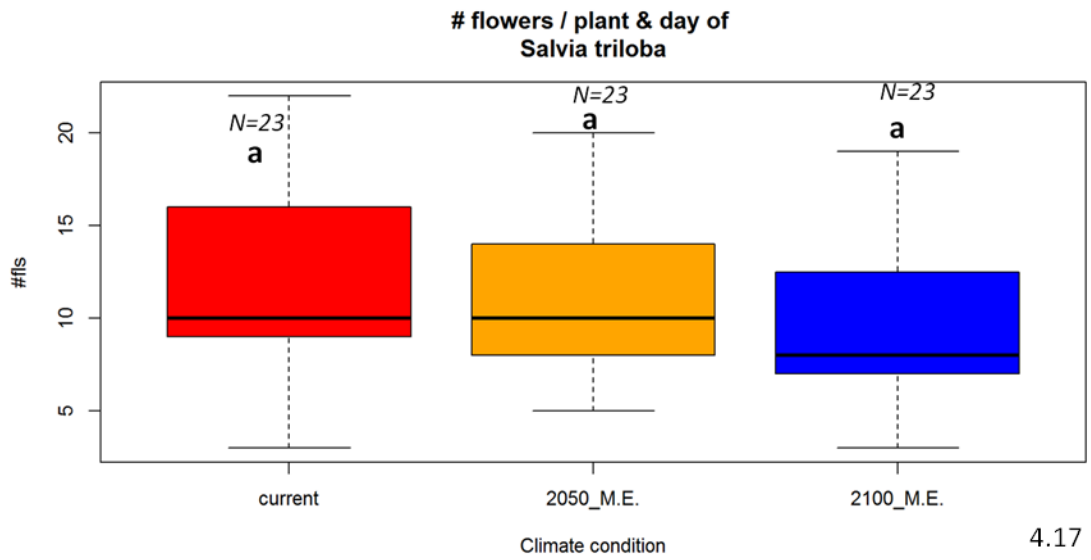
4.14



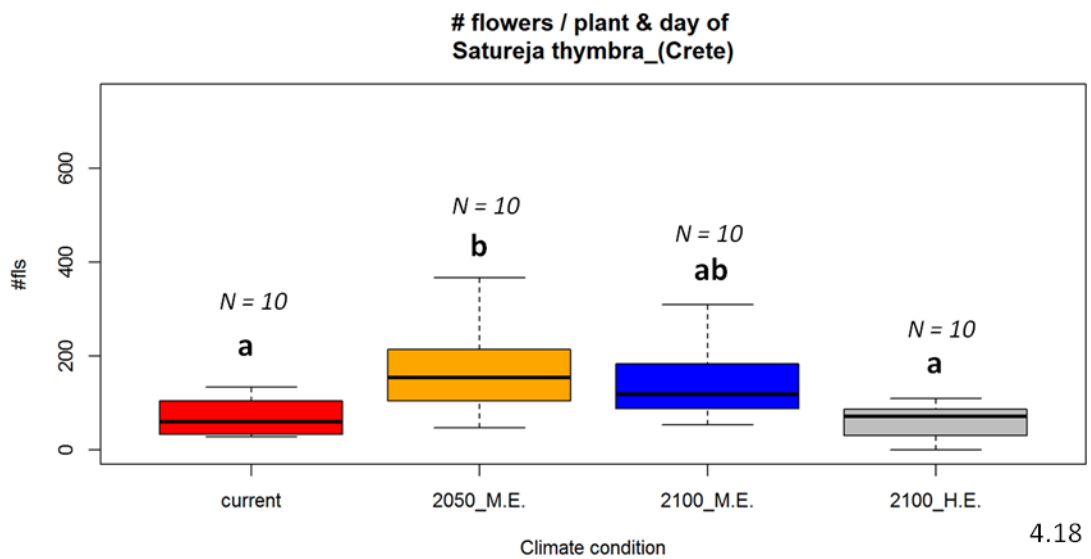
4.15



4.16

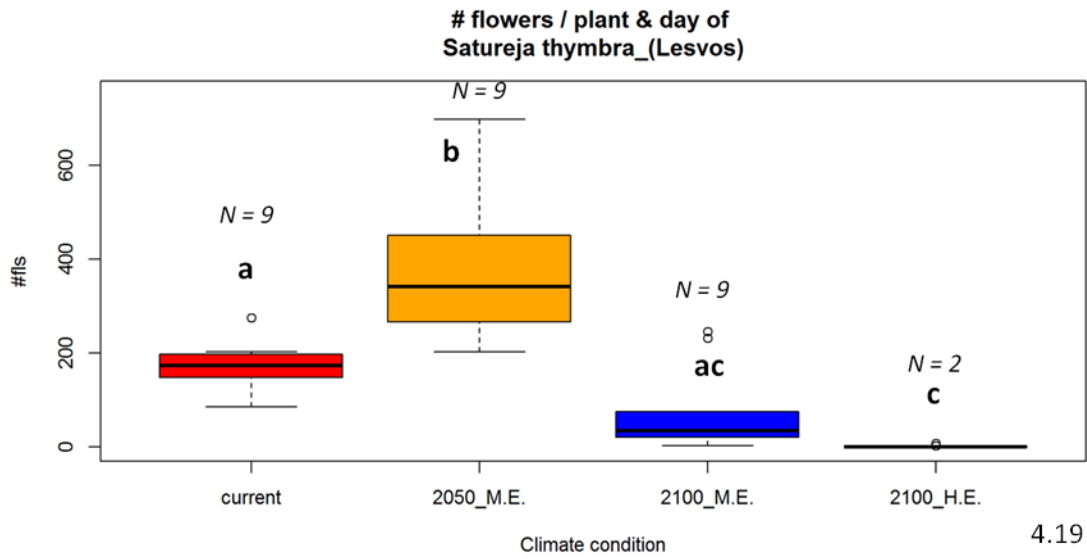


4.17

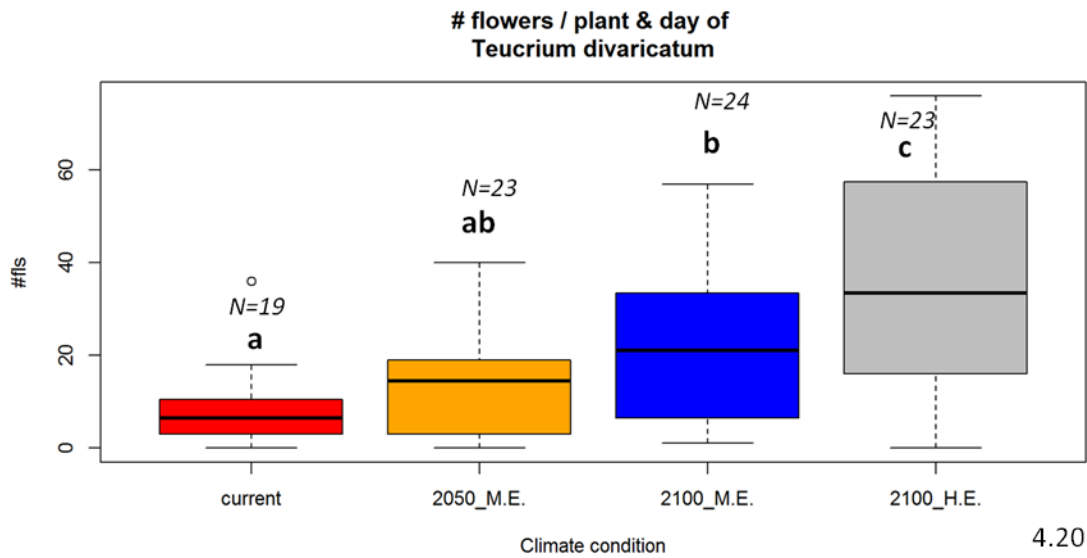


4.18

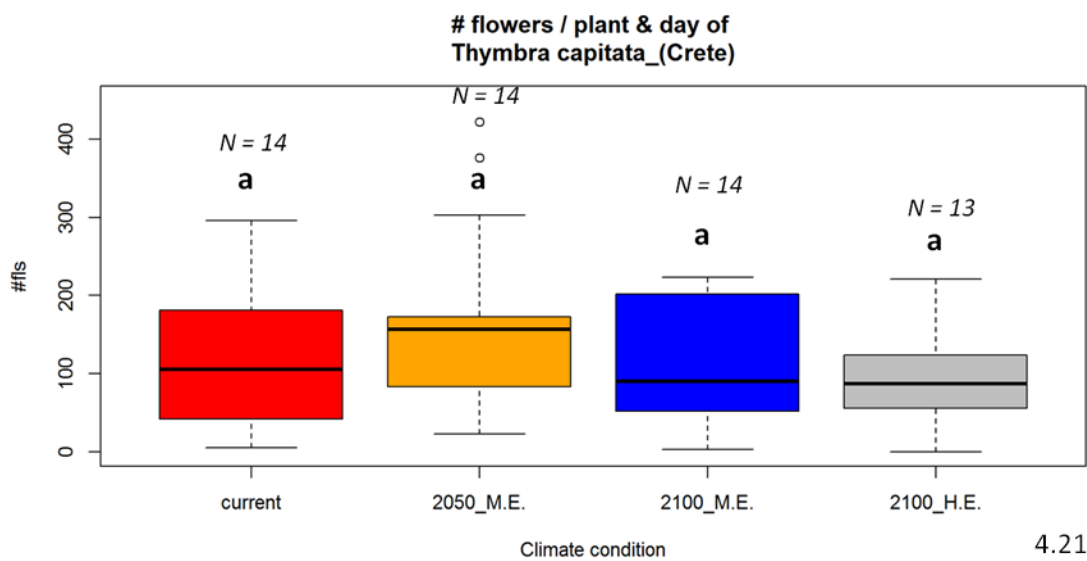




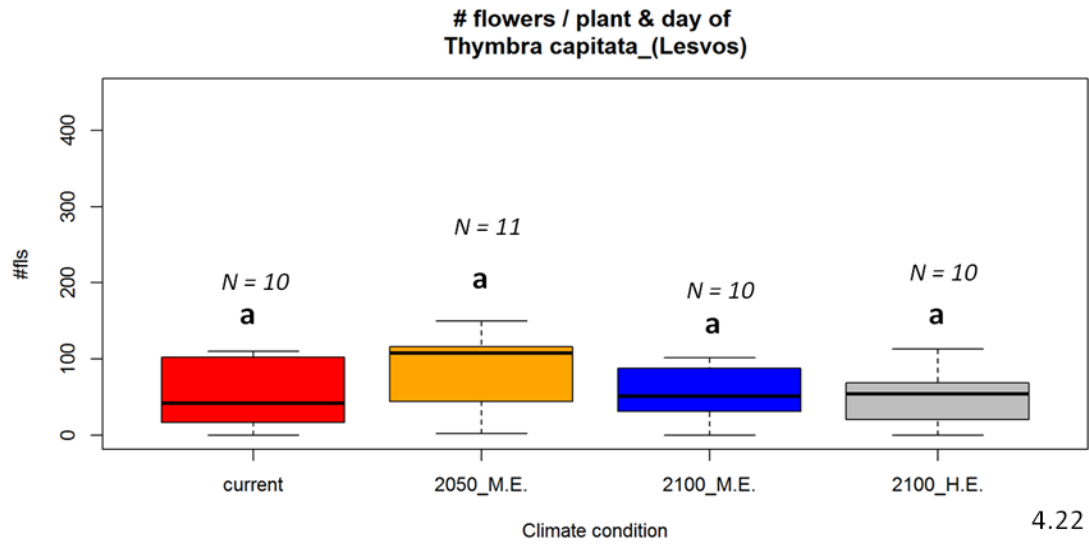
4.19



4.20



4.21



Διάγραμμα 4: Διαγραμματική απεικόνιση του αριθμού των παραγόμενων ανθέων /φυτό και ημέρα υπό τα διάφορα θερμοκρασιακά σενάρια. Τα θηκογράμματα 4.1 έως 4.11 αφορούν μονοετή φυτικά είδη και τα 4.12 έως 4.22 αφορούν πολυετή φυτικά είδη.

## 4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα αποτελέσματα της εργασίας δείχνουν ότι η κλιματική αλλαγή πρόκειται να προκαλέσει αλλαγές τόσο στην παραγωγή ανθέων όσο και στην παραγωγή νέκταρος.

### 4.1. Διαφορετικές επιπτώσεις των αυξανόμενων θερμοκρασιών μεταξύ πολυετών και μονοετών φυτών

Χωρίζοντας τα φυτά σε πολυετή και μονοετή, εκ πρώτης όψευς, είναι ορατή η διαφορά στην απόκριση των μεταβαλλόμενων συνθηκών μεταξύ των δύο αυτών κατηγοριών. Τα πρώτα είναι ξυλώδη φυτά, φρυγανικοί θάμνοι, που έχουν αναπτύξει μηχανισμούς προστασίας έναντι υψηλών θερμοκρασιών (Pereira and Chaves, 1995; Larcher, 2000). Αυτοί οι μηχανισμοί περιλαμβάνουν δομικές προσαρμογές, όπως είναι τα μικρά, σκληρά (Bussotti *et al.*, 2014; Πετανίδου, 2015), ολιγοστοματικά φύλλα (Πετανίδου, 2015), τα οποία περιορίζουν τις απώλειες νερού κατά τη διάρκεια υψηλών θερμοκρασιών (Bussotti *et al.*, 2014; Πετανίδου, 2015), συμβάλλοντας κατ' αυτόν τον τρόπο στην επιβίωση των φυτών υπό ξερικές συνθήκες (Pereira and Chaves, 1995; Larcher, 2000; Bussotti *et al.*, 2014; Πετανίδου, 2015). Επιπλέον πρόκειται για φυτά της οικογένειας Lamiales, τα οποία σύμφωνα με τους Herrera (1985) και Petanidou *et al.* (1999), (2000), είναι μία από τις σημαντικότερες οικογένειες φυτών στη Μεσόγειο, καθώς εκκρίνουν τη μεγαλύτερη ποσότητα νέκταρος συγκριτικά με άλλες φυτικές οικογένειες της περιοχής. Επίσης, το γεγονός ότι πρόκειται για φυτά με κλειστά σωληνοειδή άνθη, ίσως να δικαιολογεί τη σταθερότητα των νεκταρικών παραμέτρων, λόγω της καλύτερης προστασίας του περιεχόμενου νέκταρος (Herrera, 1985). Αντίθετα, τα μονοετή συνήθως δε διαθέτουν αντοχή στην ξηρασία (Pereira and Chaves, 1995). Επιπλέον, τα μονοετή φυτά που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία είναι όλα θερόφυτα, τα οποία κατά τις περιόδους έντονης ξηρασίας επιβιώνουν με τη μορφή σπερμάτων κι όχι ως φυτικές οντότητες, γεγονός που δεν έχει επιτρέψει την ανάπτυξη άλλων μηχανισμών και δομικών προσαρμογών έναντι τέτοιων συνθηκών. Είναι πιθανό στο μέλλον τα φυτά να μπορέσουν να προσαρμοστούν στην κλιματική

υπερθέρμανση (Takkis *et al.*, 2018a). Ωστόσο υπάρχει αμφιβολία σχετικά με το αν θα μπορέσουν να ανταπεξέλθουν σε αυτές τις γρήγορες και έντονες αλλαγές (Besancenot and Thibaudon, 2012; Takkis *et al.*, 2018a).

## 4.2. Επιπτώσεις των αυξανόμενων θερμοκρασιών στη νεκταροπαραγωγή και την παραγωγή ανθέων

### 4.2.1. Απόκριση ως προς τον όγκο νέκταρος ανά άνθος και ημέρα

Λίγα ήταν τα φυτικά είδη που με την άνοδο των θερμοκρασιών δεν παρουσίασαν καμία αλλαγή ως προς τον όγκο του νέκταρος. Αυτά τα φυτά ήταν τα *Prasium majus*, *Rosmarinus officinalis*, των μηνών Ιανουαρίου και Νοεμβρίου, και *T. capitata*, από πληθυσμούς της Κρήτης. Όπως ειπώθηκε, η μεταβολή των κλιματικών συνθηκών έχει ξεκινήσει ήδη από τον προηγούμενο αιώνα (Salinger, Sivakumar and Motha, 2005; NASA, 2008; Besancenot and Thibaudon, 2012) και δεδομένου ότι πολλά φυτά έχουν τη δυνατότητα να εγκλιματιστούν στις αυξανόμενες θερμοκρασίες (Pereira and Chaves, 1995), πιθανότατα τα παραπάνω είδη το κατάφεραν, και μέσω της διαδικασίας της εξέλιξης, ανέπτυξαν μηχανισμούς προστασίας ενάντια στην (καλοκαιρινή) ξηρασία (Petanidou, Van Laere and Smets, 1996; Bussotti *et al.*, 2014; Πετανίδου, 2015). Όμως, για να ειπωθεί κάτι τέτοιο είναι απαραίτητη η εύρεση δεδομένων αρκετών ώστε να υποστηριχθεί η παραπάνω υπόθεση, καθώς το χρονικό διάστημα που τους δόθηκε είναι μικρό ώστε να δράσουν εξελικτικοί μηχανισμοί (Takkis *et al.*, 2018a), κάτι που αφήνει την προηγούμενη υπόθεση ασταθή από μόνη της.

Το *R. officinalis*, που αναφέρεται παραπάνω, έχει μία μεγάλη περίοδο ανθοφορίας, από το Φθινόπωρο έως την Άνοιξη, και στην παρούσα έρευνα μελετήθηκε η νεκταροπαραγωγή του σε τρεις διαφορετικές περιόδους. Οι δύο περιπτώσεις από τις τρεις αφορούσαν τους μήνες Ιανουάριο και Νοέμβριο, περίοδοι με χαμηλές θερμοκρασίες, δηλαδή θερμοκρασίες χαμηλότερες από τις βέλτιστες για τη διεκπεραίωση βασικών διαδικασιών, όπως είναι η φωτοσύνθεση, η νεκταροπαραγωγή κ.α.. Για παράδειγμα, το βέλτιστο εύρος για τη φωτοσύνθεση στη Μεσόγειο κυμαίνεται από 25°C έως 35°C (Bussotti *et al.*, 2014; Takkis *et al.*, 2018a), θερμοκρασίες που συναντώνται κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Απόρροια

αυτού είναι ότι με την αύξηση των θερμοκρασιών λόγω κλιματικής αλλαγής, στις παραπάνω φυτικές περιπτώσεις η νεκταροπαραγωγή μπορεί να ωφεληθεί (ή στην παρούσα περίπτωση να μην επηρεαστεί αρνητικά), καθώς πλησιάζουν προς τις βέλτιστες θερμοκρασίες (Takkis *et al.*, 2018a).

Στην περίπτωση του *T. capitata*, τα φυτά που προερχόταν από πληθυσμούς της Κρήτης, δηλαδή από οικοσυστήματα που χαρακτηρίζονται από αρκετά υψηλές θερμοκρασίες και έντονη ξηρασία, φαίνεται να αντέχουν περισσότερο στις υψηλές θερμοκρασίες, συγκριτικά με άλλα είδη που χρησιμοποιήθηκαν. Η σταθερότητα που παρουσίασαν με την άνοδο των θερμοκρασιών όσον αφορά τον όγκο του νέκταρος, ίσως να οφείλεται στις προσαρμογές των φυτών στο συγκεκριμένο μικροκλίμα, οι οποίες είναι γενετικά καθορισμένες και επιτρέπουν την επιβίωσή του υπό αυτές τις συνθήκες. Επιπλέον, σύμφωνα με τους Petanidou *et al.* (1996), πολύ πιθανή είναι η προσαρμογή αυτού του φυτικού είδους στις συνθήκες των Μεσογειακών οικοσυστημάτων. Αντίθετα, τα θυμάρια που προήλθαν από πληθυσμούς της Λέσβου, φαίνεται να παρουσιάζουν μία θετική συσχέτιση με τη θερμοκρασία. Το γεγονός αυτό ίσως να οφείλεται στον εγκλιματισμό των φυτών αυτών στο μικροκλίμα της Λέσβου, το οποίο δε χαρακτηρίζεται από τόσο έντονα υψηλές θερμοκρασίες, όπως στην περίπτωση της Κρήτης, παρέχοντας έτσι τη δυνατότητα στα φυτά αυτά να αυξήσουν τη νεκταροπαραγωγή μέχρι το 2100, καθώς οι συνθήκες πλησιάζουν τις βέλτιστες για τη μέγιστη παραγωγή νέκταρος.

Αντίθετα με τα παραπάνω, τα αποτελέσματα, που προέκυψαν από τα υπόλοιπα φυτικά είδη, έρχονται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα των Takkis *et al.* (2018a), σύμφωνα με τους οποίους, ο όγκος του νέκταρος είναι ευάλωτος στις αυξανόμενες θερμοκρασίες, και μάλιστα με την άνοδο των θερμοκρασιών φαίνεται να επηρεάζεται αρνητικά. Αυτή η μείωση συμβαίνει λόγω της μεγαλύτερης απώλειας νερού εξαιτίας της εξάτμισής του (Πετανίδου, 1991; Nicolson *et al.*, 2007, chap. 8; Takkis *et al.*, 2018a). Μείωση του όγκου του νέκταρος αναμένεται σε έντονη αύξηση των θερμοκρασιών (Takkis *et al.*, 2015; 2018a), ενώ μικρή αύξηση των θερμοκρασιών μπορεί να μην επηρεάσει το χαρακτηριστικό αυτό (Nicolson *et al.*, 2007, chap. 8; Takkis *et al.*, 2015). Τουναντίον, μπορεί να ωφεληθεί το φυτό, ως προς την εκκρινόμενη ποσότητα νέκταρος, από μία μικρή αύξηση των θερμοκρασιών (Nicolson *et al.*, chap. 8; Takkis *et al.*, 2015; Descamps *et al.*, 2018).

Όντως, στα περισσότερα είδη μικρές θερμοκρασιακές μεταβολές δεν προκάλεσαν αλλαγές στον όγκο του νέκταρος, δηλαδή η πρώτη μικρή αύξηση των θερμοκρασιών κατά το σενάριο αναμενόμενων θερμοκρασιών για το έτος 2050 δε φαίνεται να επηρέασε σημαντικά τον εκκρινόμενο όγκο νέκταρος στα περισσότερα είδη. Αντιθέτως μάλιστα, σε μια περίπτωση (*O. dictamnus*) αυξήθηκαν τα μl νέκταρος.

Τα φυτικά είδη *H. incana* και *S. thymbra\_* (Lesvos) φαίνεται να επηρεάζονται αρνητικά από την πρώτη κιάλας αύξηση της θερμοκρασίας. Όσον αφορά τη *S. thymbra\_* (Lesvos), η μείωση του όγκου πιθανότατα να οφείλεται στο γεγονός ότι τα φυτά προέρχονται από πληθυσμούς της Λέσβου, όπου δεν παρατηρούνται τόσο συχνά ακραία υψηλές θερμοκρασίες όσο στην Κρήτη, με αποτέλεσμα να μην έχουν αναπτύξει μηχανισμούς ανοχής έναντι τέτοιων συνθηκών και να επηρεάζονται πιο γρήγορα. Όσον αφορά τη *H. incana*, όντας ετήσιο φυτό δεν είναι δομικά ικανό να αντέξει τις υψηλές θερμοκρασίες, καθώς δε διαθέτει τα προσαρμοστικά χαρακτηριστικά των σκληρόφυλλων θάμνων και δέντρων προκειμένου να επιβιώσει υπό τέτοιες συνθήκες (Pereira and Chaves, 1995). Επιπλέον, ως χωριστοπέταλο δεν έχει τη δυνατότητα να προστατέψει το περιεχόμενο νέκταρ, το οποίο εξατμίζεται πιο εύκολα (Herrera, 1985).

Σε όλα τα φυτά, με εξαίρεση τα τέσσερα πρώτα που αναφέρονται στην αρχή της υποενότητας 4.2.1. (*P. majus*, *R. officinalis\_* (Jan), *R. officinalis\_* (Nov) και *T. capitata\_* (Crete)), ο όγκος του νέκταρος φαίνεται να επηρεάζεται όσο μεγαλώνει η διαφορά των θερμοκρασιών, μεταξύ τωρινών και μελλοντικών συνθηκών. Τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας, όσον αφορά τον όγκο του νέκταρος, συμφωνούν ως επί το πλείστον με αυτά των Takkis *et al.* (2015), (2018a) και Descamps *et al.* (2018). Στα περισσότερα από τα μελετώμενα είδη, φαίνεται ότι μέχρι το 2100 ο όγκος θα ελαττωθεί. Αυτή η μείωση παρατηρείται ήδη από το σενάριο μέτριας εκπομπής αερίων για τις αναμενόμενες θερμοκρασίες για το έτος 2100.

#### **4.2.2. Απόκριση ως προς την ποσότητα σακχάρων νέκταρος**

Σχετικά με την παραγόμενη ποσότητα σακχάρων του νέκταρος ανά ημέρα, αυτό το χαρακτηριστικό φαίνεται να μην είναι τόσο εξαρτώμενο από τις μεταβολές

των περιβαλλοντικών συνθηκών, όπως συμβαίνει στην περίπτωση του όγκου (Stiles and Freeman, 1993; Takkis *et al.*, 2018a), και αλλάζει ελάχιστα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες (Stiles and Freeman, 1993).

#### 4.2.2.1. Ποσότητα σακχάρων ανά άνθος και ημέρα

Στην περίπτωση της συγκέντρωσης σακχάρων ανά άνθος, στα φυτά της οικογένειας *Lamiaceae* δεν παρουσιάστηκε κάποια μεταβολή στις συγκεντρώσεις, εκτός από ένα είδος (*O. dictamnus*), στο οποίο η συγκέντρωση αυξήθηκε κατά το δεύτερο θερμοκρασιακό σενάριο (για το έτος 2050) αλλά μειώθηκε στα μετέπειτα στάδια. Σε κανένα άλλο είδος, είτε πρόκειται για φυτό πρώιμης (χειμώνα, φθινόπωρο) είτε καθυστερημένης (καλοκαίρι, άνοιξη) ανθοφορίας (Πίνακας 2), δεν παρουσιάστηκε σημαντική αλλαγή στη συγκέντρωση. Αυτά τα αποτελέσματα έρχονται σε αντίθεση με τους Takkis *et al.* (2018a), σύμφωνα με τους οποίους φυτά πρώιμης ανθοφορίας αναμένεται να παρουσιάσουν θετική απόκριση, ενώ φυτά καθυστερημένης ανθοφορίας προβλέπεται να αντιδράσουν αρνητικά στην αύξηση των θερμοκρασιών. Στις αποκρίσεις των πολυετών φυτών της παρούσας εργασίας δεν υπήρξε αύξηση των συγκεντρώσεων σε φυτικά είδη με πρώιμη ανθοφορία ούτε μείωση σε αυτά με καθυστερημένη ανθοφορία. Αυτό πιθανόν να οφείλεται σε μερική προσαρμογή των φυτών (Petanidou *et al.*, 1996). Βέβαια, η πιθανότητα προσαρμογής των φυτών υπό τις καλοκαιρινές ξερές συνθήκες που επικρατούν στη Μεσόγειο καθιστούν όλο και πιο δύσκολη την προσαρμογή τους (Larcher, 2000; Bussotti *et al.*, 2014; Takkis *et al.*, 2018a). Γι' αυτό και είναι απαραίτητη η περαιτέρω έρευνα της επίδρασης της αύξησης θερμοκρασιών στη συγκέντρωση των σακχάρων προκειμένου να δοθεί μια πιο εμπειριστατωμένη απάντηση σχετικά με το αν τα φυτά αυτά έχουν τα χρονικά περιθώρια αλλά και τη δυνατότητα, από άποψη φυσιολογίας, ώστε να ανταποκριθούν στις μεταβαλλόμενες συνθήκες.

Από την άλλη, σε αντίθεση με τα πολυετή, τα μονοετή φαίνεται να είναι πιο ευάλωτα στην αύξηση των θερμοκρασιών. Αν και σε αυτήν την περίπτωση τα περισσότερα από τα μελετώμενα είδη δεν παρουσίασαν σημαντικές αλλαγές μεταξύ των θερμοκρασιακών βημάτων, τέσσερα ήταν αυτά στα οποία η συγκέντρωση μειώθηκε. Αυτά ήταν τα *C. solstitialis*, *H. incana*, *G. coronaria* και *T.*

*stellatum*. Στα δύο πρώτα η συγκέντρωση παρουσίασε αρνητική τάση στην αύξηση των θερμοκρασιών ήδη από την πρώτη κιόλας αλλαγή των θερμοκρασιών, δηλ. από το σενάριο για το έτος 2050. Στην περίπτωση της *H. incana*, ίσως το γεγονός ότι το νέκταρ είναι πιο εκτεθειμένο, όντας χωριστοπέταλο (Herrera, 1985), να εξηγεί τη μείωση της συγκέντρωσης. Αντίθετα, τα άλλα δύο χωριστοπέταλα (Πίνακας 6) δεν εμφανίζουν διαφορές. Όσον αφορά το είδος *S. colorata*, η σταθερότητα που χαρακτηρίζει την παρούσα παράμετρο ίσως να δικαιολογείται από το γεγονός ότι τα άνθη είναι σωληνοειδή, μετρίου βάθους, κι έτσι το νέκταρ να είναι πιο προστατευμένο (Herrera, 1985). Από την κατηγορία των μονοετών συμπέταλων, τρία ήταν αυτά στα οποία μειώθηκε η συγκέντρωση σακχάρων. Ένα από τα τρία ήταν η *C. solstitialis*, όπως αναφέρεται και παραπάνω, ενώ τα άλλα δύο ήταν τα *G. coronaria* και *T. stellatum*, τα οποία αποκρίθηκαν αρνητικά στις αυξανόμενες θερμοκρασίες κατά τα δύο τελευταία στάδια. Αυτά ενισχύουν την υπόθεση ότι μικρές αλλαγές των θερμοκρασιών μπορεί να μην προκαλέσουν αλλαγές στη απόκριση των φυτών, αλλά έντονες θερμοκρασιακές αλλαγές αναμένεται να επιφέρουν τα αντίθετα αποτελέσματα (Takkis *et al.*, 2015).

#### 4.2.2.2. Ποσότητα σακχάρων ανθέων ανά φυτό και ημέρα

Περνώντας στη συγκέντρωση σακχάρων του νέκταρος ανά φυτό, όπως και στην περίπτωση της συγκέντρωσης ανά άνθος, φαίνεται πως το χαρακτηριστικό αυτό δεν εξαρτάται έντονα από τις μεταβαλλόμενες θερμοκρασίες. Στα περισσότερα φυτικά είδη, πολυετή ή μονοετή, δεν υπήρξαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των θερμοκρασιακών βημάτων. Σε πολύ λίγα φυτά σημειώθηκαν αλλαγές, και μάλιστα θετικές. Σε κανένα φυτικό είδος δεν παρατηρήθηκε μείωση της παραμέτρου αυτής με την αύξηση των θερμοκρασιών.

Από τα πολυετή φυτά, το *O. dictamnus*, το *R. officinalis*II\_(Jan) και το *T. divaricatum* ήταν αυτά στα οποία παρατηρήθηκε αύξηση της συγκέντρωσης. Στο *O. dictamnus* η αύξηση παρατηρήθηκε κατά το δεύτερο θερμοκρασιακό βήμα, ακολουθώντας την τάση των προηγούμενων δύο παραμέτρων, του όγκου και της συγκέντρωσης σακχάρων του νέκταρος ανά άνθος ανά ημέρα. Όσον αφορά το *R. officinalis*II\_(Jan), παρουσίασε αύξηση της μελετούμενης παραμέτρου κατά το τρίτο



θερμοκρασιακό στάδιο, δηλ. υπό θερμοκρασίες μέτριας εκπομπής αερίων για το έτος 2100. Στην περίπτωση του *T. divaricatum*, επίσης παρατηρήθηκε αύξηση της συγκέντρωσης σακχάρων κατά τα δύο τελευταία στάδια θερμοκρασιών, παρόλο που κατά το σενάριο αυτό ο όγκος του παρουσίασε μείωση. Φαίνεται, πως στην περίπτωση αυτή, η πορεία της συγκέντρωσης σακχάρων ανά φυτό ακολουθά αυτήν του αριθμού των ανθέων. Σε έντονες αυξήσεις θερμοκρασιών η ανθοφορία των φυτών εντάθηκε, ίσως εξαιτίας των έντονα στρεσογόνων συνθηκών (βλ. παράγραφο 4.2.3.). Μάλιστα η αύξηση των ανθέων ήταν τόσο έντονη ώστε σε κάποιες περιπτώσεις να οδηγήσει και στην αύξηση της συνολικής παραγωγής σακχάρων ανά άτομο.

Συνεχίζοντας στα μονοετή, σε πέντε περιπτώσεις υπήρξαν μεταβολές αυτού του χαρακτηριστικού. Αύξηση των σακχάρων στο σύνολο των ανθέων ανά φυτό παρουσιάστηκε στα *H. euroraeum*\_(Oct), *H. incana*, *T. stellatum* και *S. colorata*. Αρνητικές μεταβολές όσον αφορά την παραγόμενη μάζα σακχάρων ανά φυτό παρουσίασαν τα φυτά του είδους *C. solstitialis*. Παρόλο που παρατηρήθηκε μείωση του όγκου και της συγκέντρωσης σακχάρων ανά άνθος του τελευταίου είδους, συνολικά η συγκέντρωση των σακχάρων ανά φυτό φαίνεται ότι θα κινηθεί προς την αντίθετη κατεύθυνση, δηλαδή θα αυξηθεί. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι παρόλο που στα είδη *H. incana* και *S. colorata* αναμενόμενη ήταν η μείωση σε όλα τα ανθικά χαρακτηριστικά, λόγω του γεγονότος ότι χαρακτηρίζονται από χωριστοπέταλα, κάτι που τα καθιστά πιο ευαίσθητα, όσον αφορά τις νεκταρικές παραμέτρους, στις εκάστοτε περιβαλλοντικές συνθήκες (Herrera, 1985), η συνολική συγκέντρωση παραγόμενων σακχάρων ανά φυτό παρουσίασε αύξηση. Βέβαια τα άνθη αυτών των φυτών έχουν μικρό έως μέτριο βάθος (Πετανίδου, 1991), οπότε και το νέκταρ ίσως να προστατεύεται καλύτερα από τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Αντίθετα με τα άλλα δύο χωριστοπέταλα, στην περίπτωση του *T. arulium* δεν υπήρξε καμία μεταβολή με την άνοδο των θερμοκρασιών όσον αφορά αυτό το χαρακτηριστικό, παρόλο που το άνθος του είναι ρηχό (Πετανίδου, 1991) κι άρα το περιεχόμενο νέκταρ πιο εκτεθειμένο στις περιβαλλοντικές συνθήκες (Herrera, 1985).

### 4.2.3. Επιπτώσεις των αυξανόμενων θερμοκρασιών στον συνολικό αριθμό ανθέων ανά φυτό (ανά ημέρα)

Σχετικά με τον παραγόμενο αριθμό των ανθέων ανά ημέρα, τα φυτά παρουσίασαν ποικίλες αποκρίσεις. Αρκετά ήταν τα είδη στα οποία υπήρξαν σημαντικές μεταβολές με την άνοδο των θερμοκρασιών ως προς τα παραγόμενα άνθη. Παρόλα αυτά, τα πολυετή φυτά φαίνεται να είναι πιο σταθερά, όσον αφορά την παραγωγή ανθέων, στις μεταβαλλόμενες συνθήκες, σε αντίθεση με τα μονοετή, που παρουσίασαν έντονη ευαισθησία στην αύξηση των θερμοκρασιών. Τα περισσότερα φυτικά είδη αποκρίθηκαν θετικά στις θερμοκρασιακές μεταβολές, αν και σύμφωνα με τους Scaven and Rafferty (2013) φυτά που μεγαλώνουν υπό ήδη θερμές συνθήκες θα έπρεπε να μειώνουν τον αριθμό των ανθέων τους ή ακόμα και να μην ανθίζουν.

Από τα πολυετή φυτά αυτά που αποκρίθηκαν θετικά στις αυξανόμενες θερμοκρασίες ήταν τα *R. officinalis*\_(Jan), *T. divaricatum* και *S. thymbra* από πληθυσμούς Κρήτης και Λέσβου, με τα δύο πρώτα να παράγουν περισσότερα άνθη στον κύκλο με τις υψηλότερες θερμοκρασίες, ενώ τα φυτά του είδους *S. thymbra*, ήδη από την πρώτη ελάχιστη αύξηση των θερμοκρασιών παρήγαγαν εμφανώς μεγαλύτερο αριθμό ανθέων. Όσον αφορά το είδος *R. officinalis*\_(Jan), ο πολλαπλασιασμός των ανθέων ήταν αναμενόμενος, καθώς στην παρούσα περίπτωση οι συνθήκες προσομοίωναν τις συνθήκες χειμερινών μηνών, δηλαδή μηνών με θερμοκρασίες χαμηλές, όχι τόσο βοηθητικές για διάφορες διαδικασίες, λόγω χάριν της φωτοσύνθεσης (Bussotti *et al.*, 2014; Takkis *et al.*, 2018a). Επομένως, σε θερμότερες συνθήκες ίσως η ανθοφορία του *R. officinalis* να επωφεληθεί.

Όσον αφορά τη *S. thymbra*, σε αυτά παρατηρήθηκε αύξηση του ρυθμού παραγωγής ανθέων από την πρώτη κιόλας αύξηση των θερμοκρασιών, κι έπειτα στην περίπτωση των φυτών που προήλθαν από περιοχές της Κρήτης, ο αριθμός των ανθέων επανήλθε στα αρχικά επίπεδα, ανώ σε αυτά από πληθυσμούς της Λέσβου παρατηρήθηκε μείωση κατά το τελευταίο θερμοκρασιακό στάδιο. Μία μικρή αύξηση των θερμοκρασιών φαίνεται ότι μπορεί να δημιουργήσει καταλληλότερες συνθήκες που να επάγουν την ανθοφορία της *S. thymbra*. Όμως, εντονότερες

μεταβολές φαίνεται πως δε θα επωφεληθούν το φυτό αυτό, όσον αφορά τα άτομα της Λέσβου, ίσως επειδή πρόκειται για φυτά που έχουν εγκλιματιστεί στο μικροκλίμα της Λέσβου, το οποίο λόγω των γεωγραφικής θέσης χαρακτηρίζεται από βροχοπτώσεις και δεν παρουσιάζει έντονα υψηλές θερμοκρασίες, σε αντίθεση με άλλες περιοχές πιο Νότια, π.χ. Κρήτη, άρα και τα άτομα αυτά δεν είναι προετοιμασμένα για την αντιμετώπιση τόσο έντονων συνθηκών.

Τα αποτελέσματα, όσον αφορά την οικογένεια *Lamiaceae*, έρχονται σε αντίθεση με αυτά των *Takkis et al.* (2018a), οι οποίοι υποστηρίζουν την αρνητική επίδραση των θερμοκρασιών στην παραγωγή ανθέων, ενώ στην παρούσα περίπτωση είτε δεν υπήρξε σημαντική αλλαγή στον αριθμό των ανθέων ή υπήρξε αύξηση, με εξαίρεση κάποια άτομα (από πληθυσμούς της Λέσβου) του είδους *S. thymbra*.

Αντίθετα με τα πολυετή, τα μονοετή φυτά ήταν πιο ευαίσθητα στη μεταβολή των συνθηκών. Ως επί το πλείστον, τα μονοετή φυτά αποκρίθηκαν θετικά στην άνοδο των θερμοκρασιών, με τα περισσότερα να αυξάνουν τον ρυθμό παραγωγής των ανθέων ως απόκριση στις έντονες μεταβολές των θερμοκρασιών συγκριτικά με τις τρέχουσες, δηλαδή κατά τα δύο τελευταία στάδια που αφορούν τις αναμενόμενες θερμοκρασίες για το έτος 2100. Φαίνεται λοιπόν ότι μικρές αλλαγές των θερμοκρασιών πιθανόν να μην επηρεάσουν τα φυτά, καθώς τα Μεσογειακά φυτά είναι προσαρμοσμένα στις υψηλές θερμοκρασίες και στην ξηρασία, ενώ έντονες θερμοκρασιακές αλλαγές αναμένεται να προκαλέσουν ισχυρές μεταβολές (*Takkis et al.*, 2015). Στα μόνα είδη που παρατηρήθηκε αύξηση ήδη από την πρώτη άνοδο των θερμοκρασιών ήταν τα *S. colorata* και *S. atropurpurea*, με το πρώτο να συνεχίζει να αυξάνει τον παραγόμενο αριθμό των ανθέων και στα μετέπειτα στάδια. Το είδος *G. coronaria* ήταν το μόνο στο οποίο παρατηρήθηκε μείωση των ανθέων κατά τον τελευταίο κύκλο θερμοκρασιών. Πιθανόν αυτή η μείωση να οφείλεται στην όξυνση των στρεσογόνων συνθηκών, και κατ' επέκταση στην αναστολή διαδικασιών συνδεδεμένων με την παραγωγή ανθέων, π.χ. φωτοσύνθεση (*Takkis et al.*, 2018a). Τα φυτά των ειδών *Bellis annua* και *Heliotropium europaeum* (για τον μήνα Ιούλιο) δεν είχαν σημαντικές μεταβολές στον αριθμό παραγόμενων ανθέων ανά ημέρα. Κλείνοντας, τα αποτελέσματα της έρευνας έρχονται σε αντίθεση με τα συμπεράσματα άλλων ερευνών που αναφέρουν μείωση της

παραγωγής ανθέων με την άνοδο των θερμοκρασιών (Liu *et al.*, 2012; Takkis *et al.*, 2015; 2018a; Descamps *et al.*, 2018). Αυτή η αύξηση του αριθμού των παραγόμενων ανθέων που παρατηρήθηκε να οφείλεται στις έντονα στρεσογόνων συνθήκες, οι οποίες επάγουν την ανθοφορία των φυτών προκειμένου να αυξηθεί η πιθανότητα γονιμοποίησης των φυτών πριν τα τελευταία καταπονηθούν από τις υψηλές θερμοκρασίες.

Μέχρι στιγμής, φαίνεται να υπάρχουν ποικίλες απόψεις όσον αφορά την επίδραση των υψηλών θερμοκρασιών στην παραγωγή των ανθέων. Οι Scaven and Rafferty (2013) αναφέρθηκαν σε ελλάτωση των ανθέων ή ακόμα και σε ολοκληρωτική παρεμπόδιση της άνθησης του φυτού λόγω υψηλών θερμοκρασιών, οι Descamps *et al.* (2018) αναφέρουν ότι οι απώλειες νερού λόγω έντασης των θερμοκρασιών μπορεί να επιφέρουν μείωση στον παραγόμενο αριθμό ανθέων και τέλος, οι Takkis *et al.* (2015) , (2018a) έκαναν αναφορά για μείωση των ανθέων καθώς οι θερμές περιόδους εντείνονται. Από τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας, φαίνεται ότι τα περισσότερα είδη θα αποκριθούν θετικά στις αυξανόμενες θερμοκρασίες. Βέβαια, η μόνη παράμετρος που μελετήθηκε ήταν αυτή της θερμοκρασίας, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη λοιποί παράγοντες (π.χ. απώλεια νερού). Επιπλέον, με την άνοδο των θερμοκρασιών μπορεί τα άνθη να πολλαπλασιάζονται, όμως τα φυτά μπορεί να υποστούν αρνητικές επιπτώσεις σε άλλα χαρακτηριστικά τους και διαδικασίες, όπως είναι το μέγεθος του άνθους, το βάθος του άνθους (Scaven and Rafferty, 2013) ή ακόμα και μετατόπιση της περιόδου ανθοφορίας (Scaven and Rafferty, 2013; Takkis *et al.*, 2018a), γεγονότα που θα επιφέρουν αλλαγές στις μετέπειτα αλληλεπιδράσεις του φυτού με τους επικονιαστές του (Scaven and Rafferty, 2013). Επιπρόσθετα, η αύξηση των ανθέων δε συνεπάγεται και με αύξηση της ποσότητας νέκταρος (Scaven and Rafferty, 2013) καθώς πολλά φυτά μπορεί να παράξουν άνθη χωρίς νέκταρ (Takkis *et al.*, 2015).

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συμπερασματικά, αποδεικνύεται πως τα πολυετή φυτά είναι καλύτερα προετοιμασμένα για την επερχόμενη θέρμανση του πλανήτη σε αντίθεση με τα μονοετή που παρουσίασαν ευαισθησία στις μεταβολές της θερμοκρασίας που ελέγξαμε. Από τα μονοετή φυτικά είδη, αυτά που χαρακτηρίζονταν από συμπεταλία δεν παρουσίασαν σημαντικές αλλαγές όσον αφορά τη συγκέντρωση σακχάρων, ενώ ο αριθμός των παραγόμενων ανθέων είχε ποικίλες αποκρίσεις. Αντίθετα στα περισσότερα χωριστοπέταλα η συγκέντρωση των σακχάρων αυξήθηκε, ενώ σε όλες τις περιπτώσεις αυξήθηκε και ο αριθμός των ανθέων. Περνώντας στα επιμέρους χαρακτηριστικά, η επίδραση των αυξανόμενων θερμοκρασιών πρόκειται να είναι έντονη ως προς τον όγκο του νέκταρος και την παραγωγή ανθέων. Η αύξηση των θερμοκρασιών αναμένεται να επιφέρει άμεση μείωση στην εκκρινόμενη ποσότητα νέκταρος, ενώ ο ρυθμός παραγωγής των ανθέων πρόκειται να αυξηθεί στις περισσότερες περιπτώσεις. Όσον αφορά την παραγόμενη συγκέντρωση σακχάρων ανά ημέρα, αυτή δε φαίνεται να επηρεάστηκε άμεσα από την αύξηση των θερμοκρασιών. Στην περίπτωση της συγκέντρωσης ανά άνθος, στην παρούσα μελέτη οι συγκεντρώσεις παρέμειναν σχεδόν σταθερές, χωρίς σημαντικές μεταβολές, ή, σε λίγες περιπτώσεις, παρουσίασαν μείωση. Στην περίπτωση της συγκέντρωσης σακχάρων ανά φυτό, όμοια με πριν, στα περισσότερα φυτικά είδη έμεινε σχεδόν σταθερή, χωρίς έντονες μεταβολές, ενώ λίγα ήταν τα είδη που παρουσίασαν αύξηση της συνολικής ποσότητας σακχάρων ανά φυτό με τη θέρμανση των θερμοκρασιών, ακολουθώντας σε αρκετές περιπτώσεις την πορεία των παραγόμενων ανθέων ανά φυτό ανά ημέρα, τα οποία παρουσίασαν αυξητική τάση ως επί το πλείστον. Μέχρι το τέλος του 21<sup>ου</sup> αιώνα, αναμένεται να λάβουν χώρα πολλές αλλαγές στις προαναφερόμενες παραμέτρους του νέκταρος, με τις περισσότερες να συγκεντρώνονται προς τα τέλη του αιώνα, δηλαδή κατά τη δεκαετία 2090 – 2100.

Η παρούσα έρευνα περιορίστηκε στον έλεγχο της επίδρασης μόνο των αυξανόμενων θερμοκρασιών στα φυτά. Πέραν όμως από την θερμοκρασία υπάρχουν κι άλλοι παράγοντες που παίζουν σημαντικό ρόλο στην επίδραση της κλιματικής αλλαγής στα φυτά, και κατ' επέκταση στην παραγωγή νέκταρος, και

πρέπει να μελετηθούν (Pereira and Chaves, 1995; Giannakopoulos *et al.*, 2009; Bussotti *et al.*, 2014; Πετανίδου, 2015; Takkis *et al.*, 2018a). Ένας σημαντικός παράγοντας είναι η βροχόπτωση, η οποία αναμένεται να μειωθεί αρκετά ειδικά στην περιοχή της Μεσογείου (Salinger *et al.*, 2005; Ulbrich *et al.*, 2006; Giannakopoulos *et al.*, 2009; Bussotti *et al.*, 2014) μέχρι το 2100 (Giannakopoulos *et al.*, 2009), περιορίζοντας έτσι τα αποθέματα νερού για τα φυτά (Pereira and Chaves, 1995; Bussotti *et al.*, 2014; Takkis *et al.*, 2018a). Για το σκοπό αυτό είναι απαραίτητο να μελετηθούν οι επιδράσεις και άλλων κλιματικών παραγόντων, καθώς και οι επιπτώσεις αυτών στα δίκτυα αλληλεπιδράσεων φυτών – επικονιαστών. Περαιτέρω έρευνα όσον αφορά την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στα διαφορετικά φυτικά χαρακτηριστικά για διαφορετικά είδη, μπορεί να επιφέρει μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα για τις επιπτώσεις των αναμενόμενων αλλαγών τόσο στα φυτά μεμονωμένα όσο και στις αλληλεπιδράσεις τους με τους υπόλοιπους οργανισμούς, και κατ' επέκταση σε ολόκληρες τις κοινότητες και στα οικοσυστήματα.

## 6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Ξενογλώσση βιβλιογραφία

Besancenot, J. P. and Thibaudon, M. (2012) Changement climatique et pollinisation, *Revue des Maladies Respiratoires*. Elsevier Masson SAS. doi: 10.1016/j.rmr.2012.07.007.

Blondel, J., Aronsoa, J., Bodiou, J.-Y. and Boeuf, G.(2010) *The Mediterranean Region – Biological diversity in space and time* . 2nd ed .

Bussotti, F., Ferrini, F., Pollastrini, M. and Fini, A. (2014) The challenge of Mediterranean sclerophyllous vegetation under climate change: From acclimation to adaptation. *Environmental and Experimental Botany*, 103, pp.80-98. doi: 10.1016/j.envexpbot.2013.09.013.

Chandler, D. L. (2020) Why the Mediterranean is a climate change hotspot, (June), pp. 1–3. doi: 10.1175/JCLI-degrees.

Chauhan, M. S., Farooqui, A. and Trivedi, A. (2017) Plants foraged by bees for honey production in northern India: The diverse flora of India and its implications for apiculture, *Acta Palaeobotanica*, 57(1), pp. 119–132. doi: 10.1515/acpa-2017-0003.

Conte, Y. Le and Navajas, M. (2008) Climate change: Impact on honey bee populations and diseases, *OIE Revue Scientifique et Technique*, 27(2), pp. 485–510. doi: 10.20506/rst.27.2.1819.

Corbet, S. A. (1978) Bee visits and the nectar of *Echium vulgare* L. and *Sinapis alba* L., *Ecological Entomology*, 3(1), pp. 25–37. doi: 10.1111/j.1365-2311.1978.tb00900.x.

Descamps, C., Quinet, M., Baijot, A. and Jacquemart, A. (2018) Temperature and water stress affect plant-pollinator interactions in *Borago officinalis* (Boraginaceae). *Ecology and Evolution*, 8(6), pp.3443-3456. doi: 10.1002/ece3.3914.

Dimopoulos, P., Raus, T., Bergmeier, E., Constantinidis, T., Gregoris, I., Kokkini, S., Strid, A., Tzanoudakis, D. (2013) *Vascular Plants of Greece. An annotated checklist*. ISBN: 978-3-921800-88-1 & 978-960-98543-1-3.

Flores, J., Gil-Lebrero, S., Gámiz, V., Rodríguez, M., Ortiz, M. and Quiles, F. (2019) Effect of the climate change on honey bee colonies in a temperate Mediterranean zone assessed through remote hive weight monitoring system in conjunction with exhaustive colonies assessment. *Science of The Total Environment*, Elsevier B.V., 653, pp.1111-1119. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.11.004.

Gallant, A. L., Euliss, N. H. and Browning, Z. (2014) Mapping large-area landscape suitability for honey bees to assess the influence of land-use change on sustainability of national pollination services, *PLoS ONE*, 9(6). doi: 10.1371/journal.pone.0099268.

Gebru, Y. G., Gebre, A. E. and Beyene, G. (2016) Review on the role of honeybee in climate change mitigation and poverty alleviation, *Livestock Research for Rural*

Development, 28(3).

Giannakopoulos, C., Le Sager, P., Bindi, M., Moriondo, M., Kostopoulou, E. and Goodess, C. (2009) Climatic changes and associated impacts in the Mediterranean resulting from a 2 °C global warming. *Global and Planetary Change*, Elsevier B.V., 68(3), pp.209-224. doi: 10.1016/j.gloplacha.2009.06.001.

Giorgi, F. and Lionello, P. (2008) Climate change projections for the Mediterranean region, *Global and Planetary Change*, 63(2–3), pp. 90–104. doi: 10.1016/j.gloplacha.2007.09.005.

Herrera, J. (1985) Nectar secretion patterns in Southern Spanish mediterranean scrublands, *Israel Journal of Botany*, 34(1), pp. 47–58. doi: 10.1080/0021213X.1985.10677008.

Langowska, A., Zawilak, M., Sparks, T., Glazaczow, A., Tomkins, P. and Tryjanowski, P. (2016) Long-term effect of temperature on honey yield and honeybee phenology. *International Journal of Biometeorology*, 61(6), pp.1125-1132. doi: 10.1007/s00484-016-1293-x.

Larcher, W. (2000) Temperature stress and survival ability of mediterranean sclerophyllous plants, *Plant Biosystems*, 134(3), pp. 279–295. doi: 10.1080/11263500012331350455.

Lionello, P., Malanotte-Rizzoli, P., Boscolo, R., Alpert, P., Artale, V., Li, L., Luterbacher, J., May, W., Trigo, R., Tsimplis, M., Ulbrich, U. and Xoplaki, E. (2006) The Mediterranean Climate: An Overview of the Main Characteristics and Issues.

Liu, Y., Mu, J., Niklas, K., Li, G. and Sun, S. (2012) Global warming reduces plant reproductive output for temperate multi-inflorescence species on the Tibetan plateau. *New Phytologist*, 195(2), pp.427-436. doi: 10.1016/S1571-9197(06)80004-2.

Luterbacher, J., Xoplaki, E., Casty, C., Wanner, H., Pauling, A., Küttel, M., Rutishauser, T., Brönnimann, S., Fischer, E., Fleitmann, D., Gonzalez-Rouco, F. J., García-Herrera, R., Barriendos, M., Rodrigo, F., Gonzalez-Hidalgo, J. C., Gimeno, L., Ribera, P., Brunet, M., Paeth, H., Rimbu, N., Felis, T., Jacobeit, J., Dünkeloh, A., Zorita, E., Guiot, J., Türkes, M., Alcoforado, M. J., Trigo, R., Wheeler, D., Tett, S., Mann, M. E., Touchan, R., Shindell, D. T., Silenzi, S., Montagna, P., Camuffo, D., Mariotti, A., Nanni, T., Brunetti, M., Maugeri, M., Zerefos, C., Zolt, Simona De Lionello, P., Nunes, M. F., Rath, V., Beltrami, H., Garnier, E., Ladurie, E. and Ley R. (2006) Chapter 1 Mediterranean climate variability over the last centuries: A review, *Developments in Earth and Environmental Sciences*, 4(C), pp. 27–148. doi: 10.1016/S1571-9197(06)80004-2.

Maracchi, G., Sirotenko, O. and Bindi, M. (2005) Impacts of present and future climate variability on agriculture and forestry in the temperate regions: Europe, in *Increasing Climate Variability and Change: Reducing the Vulnerability of Agriculture and Forestry*, pp. 117–135. doi: 10.1007/1-4020-4166-7\_6.

Nicolson, S. W., Nepi, M. and Pacini, E. (2007) Nectar chemistry: Nectaries and



Nectar, Nectaries and Nectar. doi: 10.1007/978-1-4020-5937-7.

Pereira, J. S. and Chaves, M. M. (1995) Plant Responses to Drought Under Climate Change in Mediterranean-Type Ecosystems, in *Global change and Mediterranean - type ecosystems*, pp. 140–160. doi: 10.1007/978-1-4612-4186-7\_7.

Petanidou, T., Kallimanis, A., Lazarina, M., Tscheulin, T., Devalez, J., Stefanaki, A., Hanlidou, E., Vujić, A., Kaloveloni, A. and Sgardelis, S. (2017) Climate drives plant-pollinator interactions even along small-scale climate gradients: the case of the Aegean. *Plant Biology*, 20, pp.176-183. doi: 10.1111/ijlh.12426.

Petanidou, T., Goethals, V. and Smets, E. (1999) The effect of nutrient and water availability on nectar secretion and nectary structure of the dominant Labiate species of phrygana.

Petanidou, T., Goethals, V. and Smets, E. (2000) Nectary structure of Labiate in relation to their nectar secretion and characteristics in a Mediterranean shrub community - Does flowering time matter?

Petanidou, T., Van Laere, A. J. and Smets, E. (1996) Change in floral nectar components from fresh to senescent flowers of *Capparis spinosa* (Capparidaceae), a nocturnally flowering Mediterranean shrub, *Plant Systematics and Evolution*, 199(1–2), pp. 79–92. doi: 10.1007/BF00985919.

Petanidou, T. and Smets, E. (1995) The potential of marginal lands for bees and apiculture: nectar secretion in Mediterranean shrublands, *Apidologie*, 26(1), pp. 39–52. doi: 10.1051/apido:19950106.

Petanidou, T. and Smets, E. (1996) Does temperature stress induce nectar secretion in Mediterranean plants?, *New Phytologist*, 133(3), pp. 513–518. doi: 10.1111/j.1469-8137.1996.tb01919.x.

Petanidou, T. and Vokou, D. (1990) Pollination and Pollen Energetics in Mediterranean Ecosystems, *American Journal of Botany*, 77(8), pp. 986–992. doi: 10.1002/j.1537-2197.1990.tb13593.x.

Pignatti, S. (2003) *Mediterranean Ecosystems*, Mediterranean Ecosystems. doi: 10.1007/978-88-470-2105-1.

Pyke, G., Kalman, J., Bordin, D., Blanes, L. and Doble, P. (2020) Patterns of floral nectar standing crops allow plants to manipulate their pollinators. *Scientific Reports*, 10(1), pp. 1–10. doi: 10.1038/s41598-020-58102-7.

Rundel, P., Arroyo, M., Cowling, R., Keeley, J., Lamont, B. and Vargas, P. (2016) Mediterranean Biomes: Evolution of Their Vegetation, Floras, and Climate. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 47(1), pp.383-407. doi: 10.1146/annurev-ecolsys-121415-032330.

Salehizadeh, A., Khodagholi, M. and Gandomkar, A. (2020) Temperature Conditions for Determination of Beekeeping Regions in the Light of Climate Change. Case study: Fars Province, *Environmental and Climate Technologies*, 24(1), pp. 88–104. doi:

10.2478/rtulect-2020-0006.

Salinger, J. (2005) Climate Variability and Change: Past, present and future – An overview, in *Increasing Climate Variability and Change: Reducing the Vulnerability of Agriculture and Forestry*, pp. 1–362. doi: 10.1007/1-4020-4166-7.

Scaven, V. L. and Rafferty, N. E. (2013) Physiological effects of climate warming on flowering plants and insect pollinators and potential consequences for their interactions, *Current Zoology*, 59(3), pp. 418–426. doi: 10.1093/czoolo/59.3.418.

Stiles, F. G. and Freeman, C. E. (1993) Patterns in Floral Nectar Characteristics of Some Bird-Visited Plant Species From Costa Rica, *Biotropica*, 25(2), p. 191. doi: 10.2307/2389183.

Stpiczyńska, M., Nepi, M. and Zych, M. (2015) Nectaries and male-biased nectar production in protandrous flowers of a perennial umbellifer *Angelica sylvestris* L. (Apiaceae), *Plant Systematics and Evolution*, 301(4), pp. 1099–1113. doi: 10.1007/s00606-014-1152-3.

Takkis, K., Tscheulin, T., Tsalkatis, P. and Petanidou, T. (2015) Climate change reduces nectar secretion in two common Mediterranean plants. *AoB Plants*, 7, pp. 1–13. doi: 10.1093/aobpla/plv111.

Takkis, K., Tscheulin, T. and Petanidou, T. (2018a) Differential effects of climate warming on the nectar secretion of early- and late-flowering Mediterranean plants, *Frontiers in Plant Science*, 9(June), pp. 1–13. doi: 10.3389/fpls.2018.00874.

Takkis, K., Tscheulin, T. and Petanidou, T. (2018b) Differential effects of climate warming on the nectar secretion of early- and late-flowering Mediterranean plants, *Frontiers in Plant Science*, 9, p. 95. doi: 10.3389/fpls.2018.00874.

Tsianou, M., Koutsias, N., Mazaris, A. and Kallimanis, A. (2016) Climate and landscape explain richness patterns depending on the type of species' distribution data. *Acta Oecologica*, 74, pp.19-27. doi: 10.1016/j.actao.2016.06.006.

Ulbrich, U., May, W., Li, L., Lionello, P., Pinto, J. G. and Somot, S. (2006) Chapter 8 The Mediterranean climate change under global warming, *Developments in Earth and Environmental Sciences*, 4(C), pp. 399–415. doi: 10.1016/S1571-9197(06)80011-X.

## Ελληνική βιβλιογραφία

Πετανίδου, Θ. (1991) Η επικονίαση στα φρυγανικά οικοσυστήματα.

Πετανίδου, Θ. (2015) Αναβαθμίδες του Αιγαίου Το παράδειγμα των Δωδεκανήσων.

## Ιστοσελίδες

Global Climate Change: Evidence. (2008, June 15). Retrieved January 14, 2015, from <https://climate.nasa.gov/evidence>