



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΟΙΝΟΥ, ΑΜΠΕΛΟΥ ΚΑΙ ΠΟΤΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΗ  
ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΣΕ ΚΥΡΙΑ ΠΑΘΟΓΟΝΑ ΤΗΣ  
ΑΜΠΕΛΟΥ**

**Βασιλική Πουσαίου**

**ΑΜ: 171081**

**Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Ευάγγελος Μπερής** .

**ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ, 2024**



**UNIVERSITY OF WEST ATTICA  
SCHOOL OF FOOD SCIENCE  
DEPARTMENT OF WINE, VINE AND BEVERAGE SCIENCES**

**BACHELOR THESIS**

**THE EFFECT OF CLIMATE CHANGE ON  
PHYSIOLOGY AND MAIN PATHOGENS OF *Vitis*  
*vinifera* L.**

**Vasiliki Pousaiou**

**Registration Number: 171081**

**Supervisor: Dr. Evangelos Beris**

ATHENS, JULY, 2024



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΟΙΝΟΥ, ΑΜΠΕΛΟΥ ΚΑΙ ΠΟΤΩΝ**

**ΔΗΛΩΣΗ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ**

Οι υπογράφωντες δηλώνουμε ότι έχουμε εξετάσει τη διπλωματική εργασία με τίτλο:  
«Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΗ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΣΕ  
ΚΥΡΙΑ ΠΑΘΟΓΟΝΑ ΤΗΣ ΑΜΠΕΛΟΥ»  
και βεβαιώνουμε ότι γίνεται δεκτή.

<b>Ψηφιακή Υπογραφή Επιβλέποντα Καθηγητή (1<sup>ο</sup> Μέλους Επιτροπής)</b>	
<b>Ψηφιακή Υπογραφή Καθηγητή (2<sup>ο</sup> Μέλους Επιτροπής)</b>	
<b>Ψηφιακή Υπογραφή Καθηγητή (3<sup>ο</sup> Μέλους Επιτροπής)</b>	

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο/η κάτωθι υπογράφων/-ουσα Πουσαίου Βασιλική του Ιωάννη, με αριθμό μητρώου 171081 φοιτητής/τρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Επιστημών Τροφίμων του Τμήματος Επιστημών Οίνου, Αμπέλου και ποτών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο/Η Δηλών/ούσα



Πουσαίου Βασιλική

### Ψηφιακή Υπογραφή

*\* Σε εξαιρετικές περιπτώσεις και μετά από αιτιολόγηση και έγκριση του επιβλέποντα, προβλέπεται χρονικός περιορισμός πρόσβασης (embargo) 6-12 μήνες. Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να υπογράψει ψηφιακά ο/η επιβλέπων/ουσα καθηγητής/τρια, για να γνωστοποιεί ότι είναι ενημερωμένος/η και συναινεί. Οι λόγοι χρονικού αποκλεισμού πρόσβασης περιγράφονται αναλυτικά στις πολιτικές του Ι.Α. (σελ. 6):*

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία εξετάζονται οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην αμπελο και στους οργανισμούς που διαβιούν στο ευρύτερο περιβάλλον ενός αμπελώνα. Η κλιματική αλλαγή επιφέρει - μεταξύ άλλων - σημαντική αύξηση των μέσων τιμών θερμοκρασίας και διοξειδίου του Άνθρακα (CO<sub>2</sub>). Είναι δεδομένο ότι η οινοφόρος αμπελος (*Vitis vinifera* L.) είναι ένα ιδιαίτερος ευπροσάρμοστο φυτό και ότι η ανάπτυξη του, καθώς και η παραγωγή του οίνου, επηρεάζονται άμεσα και σημαντικά από τις εδαφοκλιματικές συνθήκες που επικρατούν στην εκάστοτε περιοχή. Μέσα από τη βιβλιογραφική επισκόπηση, παρέχεται μια θεμελιώδης κατανόηση των κυριότερων ασθενειών και εχθρών της αμπέλου στη λεκάνη της Μεσογείου. Εξετάζονται επίσης οι μηχανισμοί άμυνας του φυτού και οι τρόποι με τους οποίους η κλιματική αλλαγή επηρεάζει τη φυσιολογία της αμπέλου, την παραγωγή οίνου και την γεωγραφική κατανομή της καλλιέργειας. Η κλιματική αλλαγή μπορεί να επηρεάσει τα πρότυπα των ασθενειών των φυτών και την ανάπτυξη των αρθροπόδων με πιο σύνθετους τρόπους από ό,τι αναμενόταν. Στην πραγματικότητα, ενώ τόσο οι καλλιέργειες όσο και τα παθογόνα τους επηρεάζονται από τις κλιματικές μεταβλητές, ενδέχεται να επηρεάζονται από διαφορετικούς συνδυασμούς παραγόντων και να ανταποκρίνονται στην αλλαγή αυτών με διαφορετικούς ρυθμούς. Προκειμένου να διαχωριστούν αυτές οι επιδράσεις, θα πρέπει να αναβαθμιστεί η κατανόηση του συστήματος Περιβάλλον - ξενιστής - εχθρός/παθογόνο και να ληφθεί υπόψη η αλληλεπίδρασή τους. Μακροπρόθεσμος στόχος είναι να βελτιωθούν οι τρέχουσες εκτιμήσεις των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην πίεση των παρασίτων της αμπέλου. Εκτός από τις αλλαγές στους παθογόνους μικροοργανισμούς και τους εχθρούς της αμπέλου που προκαλούνται από την κλιματική αλλαγή, έχει ιδιαίτερη σημασία η κατανόηση των ευρύτερων επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής για την αμπελοκαλλιέργεια, με στόχο την ενίσχυση της βιωσιμότητας του Μεσογειακού αμπελώνα.

**Λέξεις κλειδιά:** Κλιματική αλλαγή, Φυσιολογία Αμπέλου, Εχθροί και ασθένειες αμπέλου, Παθογόνοι μικροοργανισμοί, Ελληνικός αμπελώνας, Βιώσιμη Αμπελουργία

## ABSTRACT

In the present thesis, the effects of climate change on the grapevine and the organisms inhabiting the broader environment of a vineyard are examined. Climate change brings about, among other factors, a significant increase in average temperature values and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>). It is known that grapevine (*Vitis vinifera* L.) is a particularly adaptable plant and that its growth, as well as wine production, are directly and significantly influenced by the soil and climatic conditions prevailing in each region. Through the literature review, a fundamental understanding of the main diseases and pests of the grapevine in the Mediterranean basin is provided. The defense mechanisms of the plant and the ways in which climate change affects the physiology of the vine, wine production, and the geographical distribution of the cultivation are also examined. Climate change can affect plant disease patterns and arthropod development in more complex ways than expected. In fact, while both crops and their pathogens are affected by climatic variables, they may be influenced by different combinations of factors and they might respond to changes in these factors at different rates. To disentangle these effects, the understanding of the Environment - host - pest/pathogen system needs to be upgraded, taking their interaction into account. The long-term goal is to improve current estimates of the impacts of climate change on vineyard pest pressure. In addition to the changes in grapevine's pathogens and pests caused by climate change, understanding the broader impacts of climate change on viticulture is crucial for enhancing the sustainability of the Mediterranean vineyard.

**Keywords:** Climate change, Grapevine's physiology, Grapevine's pests & diseases, Pathogenic microorganisms, Greek vineyard, Sustainable viticulture,

## Πίνακας Περιεχομένων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	V
ABSTRACT.....	VI
Κατάλογος Εικόνων .....	IX
<b>1 Εισαγωγή .....</b>	<b>1</b>
1.1 Σκοπός - στόχοι της εργασίας .....	2
<b>2 Βιβλιογραφική Επισκόπηση.....</b>	<b>4</b>
2.1 Άμπελος ή Οινοφόρος ( <i>Vitis vinifera</i> L.) .....	4
2.2 Οι κυριότερες ασθένειες της Αμπέλου στη λεκάνη της Μεσογείου .....	7
2.2.1 Ωίδιο.....	8
2.2.2 Περονόσπορος .....	10
2.2.3 Ευδεμίδα .....	12
2.2.4 Φόμοψη.....	13
2.2.5 Ίσκα.....	15
2.3 Το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής .....	17
2.4 Η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην αμπελοκαλλιέργεια .....	19
2.4.1 Επίδραση της θερμοκρασίας στην φυσιολογία της αμπέλου .....	22
2.4.2 Επίδραση του διοξειδίου του άνθρακα στην φυσιολογία της αμπέλου .....	24
2.4.3 Επίδραση σχετικής υγρασίας και λοιπών μεταβλητών στην φυσιολογία της αμπέλου.....	24
2.4.4 Πιθανότητα αλλαγής γεωγραφικών ορίων αμπελοκαλλιέργειας.....	25
2.4.5 Ανθεκτικές ποικιλίες - προσαρμογή ή αλλαγή ποικιλιών .....	28
2.5 Επίδραση κλιματικών συνθηκών στους εχθρούς και τις ασθένειες των φυτών	29
<b>3 Επίδραση της κλιματικής αλλαγής στους παθογόνους μικροοργανισμούς που προκαλούν τις ασθένειες της Αμπέλου, στην παθογένεση, αλλά και στους εχθρούς της αμπέλου .....</b>	<b>33</b>
3.1 Κλιματική αλλαγή και παθογόνα αμπέλου .....	33
3.2 Μηχανισμοί άμυνας του Φυτού, παθογένεση και ο ρόλος του περιβάλλοντος.	38

3.3 Επίδραση της κλιματικής αλλαγής στους εντομολογικούς εχθρούς της αμπέλου .....	43
<b>4 Συζήτηση – Συμπεράσματα .....</b>	<b>47</b>
<b>Βιβλιογραφία .....</b>	<b>54</b>



## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Έκπτυξη λανθάνοντα ή αλλιώς χειμέριου οφθαλμού την άνοιξη, στην αρχή της βλαστικής περιόδου .....	5
Εικόνα 2: Όργανα αμπέλου.....	7
Εικόνα 3: Ωίδιο Αμπελιού.....	10
Εικόνα 4: Περονόσπορος .....	12
Εικόνα 5: Προνόμφες της Ευδεμίδας της αμπέλου .....	13
Εικόνα 6: Φόμοψη .....	15
Εικόνα 7: Ίσκα .....	17
Εικόνα 8: Σημαντικά αμπελοοινικά διαμερίσματα στην Ευρώπη .....	18
Εικόνα 9: Σχηματική απεικόνιση παραδειγμάτων των πιθανών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στις τριτροφικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των αμπελιών, των σχετικών φυτοφάγων ζώων και των φυσικών εχθρών τους.....	36

# 1 Εισαγωγή

Η διαρκής μεταβολή των περιβαλλοντικών συνθηκών ως απόρροια του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής προκαλεί ανησυχίες και θέτει καθημερινά νέες προκλήσεις στον κλάδο της αμπελουργίας, καθώς οι συνθήκες της καλλιέργειας της αμπέλου ενδέχεται να αλλάξουν ριζικά. Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής αφορούν την βιωσιμότητα της καλλιέργειας, τα χαρακτηριστικά των σταφυλιών και κατ' επέκταση την ποιότητα και τον χαρακτήρα των παραγόμενων οίνων ανά τον κόσμο.

Ως φυτική ασθένεια ορίζεται το αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης μεταξύ ενός ευαίσθητου φυτού ξενιστή, ενός παθογόνου παράγοντα και του περιβάλλοντος. Στον αμπελώνα, τα φυτά αλληλοεπιδρούν σε τροφικά δίκτυα με ποικίλους οργανισμούς, μερικοί από τους οποίους είναι αρκετά επιζήμιοι για την παραγωγή οίνου όπως μικροβιακά παθογόνα ή φυτοφάγα αρθρόποδα, ενώ άλλα έχουν ευεργετική δράση, όπως ριζοβακτήρια, μυκόρριζα μύκητες, ή εντομοφάγα αρθρόποδα, εξασφαλίζοντας φυσικό έλεγχο έναντι των παρασίτων (Walton et al. 2012). Όλα τα μέλη αυτών των πολύπλοκων κοινοτήτων, ο κύκλος ζωής και αναπαραγωγής τους επηρεάζεται από τις επικρατούσες περιβαλλοντικές συνθήκες, ιδίως από την θερμοκρασία και την υγρασία. Μεταβολές αυτών των παραμέτρων θα έχουν άμεσες επιπτώσεις στο επίπεδο ενός μεμονωμένου είδους (αμπελιού, μικροοργανισμών και εντόμων) και ταυτόχρονα θα επηρεάσουν σημαντικά τις σχέσεις μέσα στις βιοτικές κοινότητες (Reineke & Thiery, 2016). Ως αποτέλεσμα παρουσιάζονται είτε διαφορές στο επίπεδο των απωλειών της παραγωγής που προκαλούνται από μια ασθένεια, είτε η ενδεχόμενη εμφάνιση νέων ασθενειών.

Αρκετά δεδομένα υποδεικνύουν ότι η κλιματική αλλαγή θα επηρεάσει την ανάπτυξη των παθογόνων και τα ποσοστά επιβίωσης τους, θα τροποποιήσει την ευαισθησία του ξενιστή και θα οδηγήσει σε αλλαγές των επιπτώσεων τους στις καλλιέργειες (Harvell et al. 2002). Ωστόσο, οποιαδήποτε προσπάθεια γενίκευσης τέτοιων προβλέψεων αποτελεί πρόκληση, διότι οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής θα διαφέρουν ανά παθοσύστημα και γεωγραφική περιοχή. Όχι μόνο οι βέλτιστες συνθήκες μόλυνσης αλλά και η φυσιολογία του ξενιστή και οι μηχανισμοί άμυνας των φυτών φαίνεται ότι θα επηρεαστούν από αλλαγές στο κλίμα.

## **1.1 Σκοπός - στόχοι της εργασίας**

Η παρούσα πτυχιακή εργασία επιδιώκει να διερευνήσει τις πολυεπίπεδες διαστάσεις της αμπελοκαλλιέργειας στην Ελλάδα και όλη τη λεκάνη της Μεσογείου, με δεδομένη πλέον την εμφάνιση της κλιματικής αλλαγής και τις επιπτώσεις αυτής. Αναγνωρίζοντας τον Ελληνικό αμπελώνα ως μια περιοχή με μακρά ιστορία, η εργασία αυτή στοχεύει να καταστήσει σαφές πώς οι εδαφοκλιματικές συνθήκες επηρεάζουν άμεσα και σημαντικά την ανάπτυξη και την παραγωγικότητα της αμπέλου και να αναδείξει τις προκλήσεις που ενδέχεται να προκύψουν από περαιτέρω κλιματικές αλλαγές (Griesser et al., 2015).

Μέσω της βιβλιογραφικής επισκόπησης επιχειρείται η θεμελιώδης κατανόηση της αμπέλου ως φυτό, των κυριότερων ασθενειών που την επηρεάζουν στη λεκάνη της Μεσογείου, και των μεθόδων αντιμετώπισης τους. Εξετάζεται επίσης το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής και οι επιδράσεις του στην αμπελοκαλλιέργεια.

Στόχο αποτελεί η διερεύνηση της επίδρασης συγκεκριμένων κλιματικών μεταβλητών στη φυσιολογία του φυτού. Φαίνεται πως είναι πιο σύνθετη και πολυδιάστατη η επίδραση κλιματικών παραγόντων, μεμονωμένα ή συνδυαστικά επί συγκεκριμένων λειτουργιών του φυτού και εν γένει επί της φυσιολογίας της αμπέλου.

Η καλύτερη κατανόηση της απόκρισης και αντίδρασης του ίδιου του φυτού σε καταστάσεις υδατικής καταπόνησης, θερμικής καταπόνησης, αυξομείωσης των επιπέδων CO<sub>2</sub> και άλλων αντίστοιχων φαινομένων που προκύπτουν ως απόρροια της κλιματικής αλλαγής αποτελεί επιπλέον στόχο της παρούσας εργασίας. Η άμεση κατανόηση των ευρύτερων επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην αμπελοκαλλιέργεια δύναται προσφέρει προοπτικές για την προσαρμογή και τη βιώσιμη διαχείριση του Ελληνικού και γενικότερα του Μεσογειακού αμπελώνα στο μέλλον.

Έμμεσος και μελλοντικός στόχος είναι το να μελετηθεί εάν η επίδραση της κλιματικής αλλαγής με τα σημερινά δεδομένα δύναται να επηρεάσει την παραγωγή του οίνου, την κατανομή των ποικιλιών και την τυπικότητα στα χαρακτηριστικά οίνων που παράγονται σε σημαντικά αμπελοοινικά διαμερίσματα.

Επιπροσθέτως, η εργασία επιχειρεί να καταδείξει τις αλλαγές στη φυσιολογία, τον τρόπο δράσης, τη διακύμανση των πληθυσμών και την παθογένεση των κύριων παθογόνων μικροοργανισμών που προσβάλλουν το αμπέλι, ως απόρροια της κλιματικής αλλαγής.

Επιχειρείται επίσης διερεύνηση αντίστοιχων φαινομένων που αφορούν τους βασικούς εντομολογικούς εχθρούς της αμπέλου στη λεκάνη της Μεσογείου.

Βασικό στόχο αποτελεί η ευρεία κατανόηση της αλληλεπίδρασης ανάμεσα στο περιβάλλον, το φυτό ξενιστή (οινοφόρος άμπελος) και τα παθογόνα αυτού, η οποία φαίνεται πως επηρεάζεται πολυεπίπεδα και σημαντικά από το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής.

## 2 Βιβλιογραφική Επισκόπηση

### 2.1 Άμπελος ή οиноφόρος (*Vitis vinifera* L.)

Το υπόγειο τμήμα του φυτού είναι η ρίζα της αμπέλου το οποίο αποτελεί το στήριγμα του φυτού στο έδαφος και συμβάλλει στην απορρόφηση θρεπτικών στοιχείων και νερού. Τα διάφορα συστατικά αποθηκεύονται στη ρίζα, σχηματίζονται στο υπέργειο τμήμα και αξιοποιούνται για τη δημιουργία της καινούριας βλάστησης και την ανάπτυξη των απορροφητικών ριζιδίων κατά την άνοιξη.

Ο κορμός αποτελεί το υπέργειο τμήμα του φυτού και την εξέλιξη του βλαστού που καλλιεργήθηκε. Ο κορμός φέρει τους βλαστούς, τις κληματίδες και τους βραχίονες. Οι βλαστοί φέρουν τα φύλλα, τις έλικες, τους οφθαλμούς και όταν καρποφορούν τις σταφυλές (Bindi et al., 2001).

Τα αμπέλια έχουν μεγάλα φύλλα, παλαμοειδή ή μονοκόματα με 3-5 λοβούς οδοντωτούς ή ακέραιους και διακριτές νευρώσεις. Αποτελούνται από το έλασμα και το μίσχο, ενώ εκτείνονται πάνω στο βλαστό εναλλάξ. Αποτελούν όργανα με ιδιαίτερη σημασία διότι εκεί απορροφάται ηλιακή ακτινοβολία και λαμβάνει χώρα η φωτοσύνθεση.

Οι έλικες ή τυλιχτήρια, είναι όργανα αναρρίχησης και στήριξης του φυτού. Δημιουργούνται απέναντι από τα φύλλα, στους κόμβους (γόνατα). Ο βλαστός στερεώνεται όταν οι έλικες συναντήσουν ένα λεπτό υποστήριγμα, τυλίγονται γύρω από αυτό και εναποθέσουν πλησίον τους ολόκληρο το βλαστό.

Οι οφθαλμοί ευρίσκονται στις μασχάλες των φύλλων στο άνω τμήμα των κόμβων. Οι καινούριοι βλαστοί, οι οποίοι ξεκινάνε να εμφανίζονται κατά την άνοιξη, φέρουν ένα σχετικά ογκώδη οφθαλμό σε κάθε γόνατο. Ο οφθαλμός καλείται λανθάνων ή χειμέριος διότι εξακολουθεί να είναι σε λανθάνουσα κατάσταση κατά τη διάρκεια ολόκληρης της χειμερινής περιόδου που έπεται για να εμφανιστεί κατά την ερχόμενη περίοδο βλάστησης, το επόμενο έτος (Doshi et al., 2006).

Η γονιμότητα του οφθαλμού εξαρτάται από το πλήθος των ταξιανθιών που έχουν σχηματιστεί σε εκείνον. Επομένως, ανάλογα με το πλήθος των ταξιανθιών υπάρχουν άγονοι, λιγότερο γόνιμοι και περισσότερο γόνιμοι οφθαλμοί.

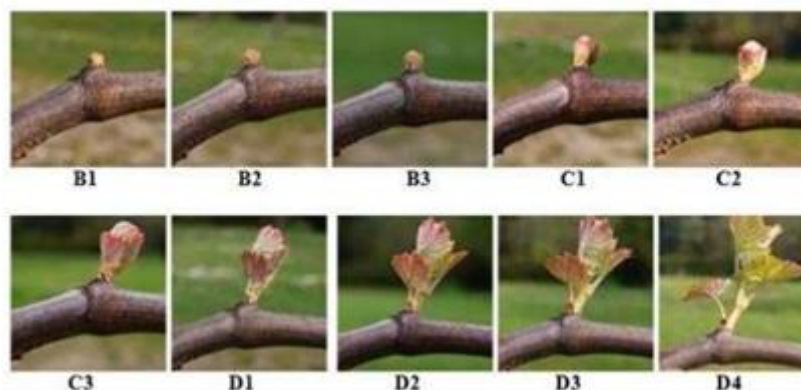
Στην πλειοψηφία, οι ποικιλίες φέρουν μεσοκάρδιους βλαστούς που αποδίδουν σταφύλια. Τα σταφύλια των μεσοκάρδιων βλαστών καλούνται καμπαναριό ή κουδούνια, είναι λιγότερα σε πλήθος και μικρότερα σε μέγεθος συγκριτικά με τα σταφύλια που προκύπτουν από τους χειμέριους οφθαλμούς και συνήθως ωριμάζουν

αργότερα αποφέροντας μια συμπληρωματική παραγωγή. Η εκβλάστηση των ταχυφυών οφθαλμών σχετίζεται με πληθώρα παραμέτρων όπως λόγου χάρη την ευρωστία και τη ζωηρότητα της ποικιλίας.

Τα άνθη της αμπέλου είναι πρασινωπά, μικρά, κυλινδρικά ή στρογγυλά. Τα άνθη αναπτύσσονται σε βοτρυώδη ταξιανθία που ονομάζεται φόβη και εμφανίζονται στο άνω τμήμα των κόμπων, σε αντίθετη κατεύθυνση από τα φύλλα. Πρόκειται για ακτινωτά, μικρά, αρσενικά, ερμαφρόδιτα ή θηλυκά, διαθέτουν στεφάνη με 5 πέταλα και μικρό κάλυκα. Κατά την περίοδο της ανθοφορίας τα πέταλα αποσπώνται από τη βάση τους και συνδέονται όλα μαζί στο άνω τμήμα, διαμορφώνοντας ένα τύπο καλύπτρας ή πηλιδίου το οποίο έπειτα αποχωρεί, για να αναδυθούν ο ύπερος και οι στήμονες έτσι ώστε να υλοποιηθεί η γονιμοποίηση και η επικονίαση. Η πλειοψηφία των ποικιλιών της ελληνικής αμπέλου αποτελούνται από ερμαφρόδιτα άνθη (Schoedl et al., 2011).

Η ταξικαρπία της αμπέλου καλείται βότρυς ή σταφύλι, εμπεριέχει τον κεντρικό άξονα, που διαχωρίζεται σε επιμέρους άξονες, τα γνωστά βοτρυόδια ή τσαμπιά, τα άκρα των οποίων φέρουν ποδίσκους όπου φυτρώνουν οι ράγες. Οι ράγες διαφέρουν από ποικιλία σε ποικιλία αλλά και μεταξύ τους ως προς το άρωμα, το σχήμα, το χρώμα και το μέγεθος.

Οι περισσότερες ποικιλίες ευρωπαϊκής αμπέλου ευδοκιμούν στην Ελλάδα από το μήνα Μάιο έως το μήνα Ιούνιο. Στα θερμά κλίματα, η άνθιση λαμβάνει χώρα πιο νωρίς και διαρκεί λιγότερο σε σύγκριση με ψυχρές περιοχές. Επιπλέον, σε εδάφη με θερμότερο κλίμα τα πρέμνα ανθίζουν νωρίτερα. Τα χαμηλά μορφολογικά συστήματα προκαλούν πρόωμη άνθιση.



**Εικόνα 1: Έκπτυξη λανθάνοντα ή αλλιώς χειμέριου οφθαλμού την άνοιξη, στην αρχή της βλαστικής περιόδου**

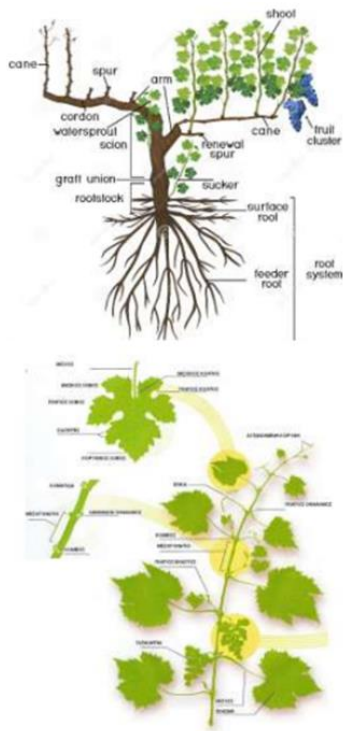
Πηγή: Νικολάου (2008).

Η σταφυλή φυτρώνει στο βλαστό με τον ποδίσκο, όπως καλείται το μέρος του βοστρύχου από τον κόμβο του βλαστού έως την πρώτη διακλάδωση. Οι χαρακτήρες του ποδίσκου είναι ο βαθμός ξυλοποίησης, το χρώμα και το μήκος. Σε ορισμένες ποικιλίες όπως λόγω χάρη οι ποικιλίες Πλυτό και Μανδηλαριά ο ποδίσκος είναι δυσδιάκριτος και βραχύς. Η γονιμότητα εξαρτάται από τη θρεπτική ισορροπία του φυτού, την ποικιλία, την κατάσταση της υγιεινής του και τις κλιματικές συνθήκες κατά το διάστημα της ανθοφορίας.

Έπειτα από τη φυσιολογική γονιμοποίηση οι σπερματικές βλάστες γίνονται γίγαρτα ή κουκούτσια. Οι ποικιλίες κουκουτσιών συνήθως περιέχουν 2 έως 3 κουκούτσια. Οι μορφολογικοί τύποι των κουκουτσιών, όπως το σχήμα, το μήκος, το πλάτος, το βάρος των κουκουτσιών και το πλήθος ανά ράγα, αξιοποιούνται στην περιγραφή για την ταξινόμηση των ποικιλιών της αμπέλου (Schultz, 2003).

Γυάλισμα ή περκασμός είναι το στάδιο εκείνο κατά το οποίο οι ράγες γυαλίζουν. Το στάδιο του περκασμού είναι εκείνο όπου οι ράγες των λευκών ποικιλιών αποκτούν γυαλάδα και των έγχρωμων ποικιλιών αποκτούν έγχρωμη απόχρωση.

Η ωρίμανση της σταφυλής είναι η χρονική περίοδος από τον περκασμό έως τον τρυγητό, έως ότου το σταφύλι να είναι ώριμο για να τρυγηθεί. Στα αμπέλια διακρίνονται η βιολογική ωρίμανση που πραγματοποιείται όταν τα γίγαρτα είναι έτοιμα να βλαστήσουν, η βιομηχανική ωρίμανση όταν έχει συντεθεί η ύψιστη ποσότητα σακχάρων στη ράγα και η τεχνολογική ωρίμανση που περιγράφεται ως τη στιγμή που το σταφύλι έχει χημική σύσταση ανάλογη του οίνου που είναι επιθυμητή (Griesser et al., 2015).



**Εικόνα 2: Όργανα αμπέλου**

Πηγή: Griesser et al. (2015).

## **2.2 Οι κυριότερες ασθένειες της Αμπέλου στη λεκάνη της Μεσογείου**

Οι μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες μπορούν να έχουν σοβαρές επιπτώσεις στην απόδοση και την ποιότητα όλων των καλλιεργούμενων φυτών. Το αμπέλι (*Vitis vinifera* L.) είναι ένα οπωροφόρο φυτό μεγάλης σημασίας, με 7,8 εκατομμύρια εκτάρια καλλιεργούμενα το 2011 παγκοσμίως και ετήσια παραγωγή 67,5 εκατομμυρίων τόνων ραγών. Παραδοσιακά το αμπέλι καλλιεργείται χωρίς άρδευση και έτσι η απόδοση και η ποιότητα των σταφυλιών εξαρτώνται από την ικανότητα του αμπελιού να αντιμετωπίζει περιόδους ξηρασίας με προσαρμογή του υποκειμένου και της κληματίδας στις εδαφολογικές συνθήκες (Lovisolo et al., 2010).

Τα φυτά έχουν αναπτύξει διάφορες προσαρμοστικές αντιδράσεις για την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων του καιρού, όπως για παράδειγμα κατά τη διάρκεια της ξηρασίας τα φυτά κλείνουν τα στόματά τους και συσσωρεύουν συμβατές διαλυτές ουσίες για να διατηρήσουν χαμηλό δυναμικό νερού και να αποφύγουν την αφυδάτωση (Skirycz & Inze, 2010). Το αμπέλι ρυθμίζει τη ροή του νερού προς το φύλλο και από το φύλλο προς την ατμόσφαιρα μέσω των ακουαπορινών (Vandeleur et al., 2009), της ανατομίας των αγγείων (Lovisolo et al., 2010) και της στοματικής αγωγιμότητας (Soar



et al., 2006). Κατά συνέπεια, τα φυτά μειώνουν ταχέως την ανάπτυξή τους. Στο αμπέλι παρατηρείται συνήθως μειωμένη ανάπτυξη των φύλλων και των βλαστών, η οποία μετριέται ως αναστολή της επέκτασης των μεσογονάτιων διαστημάτων, της επέκτασης των φύλλων, της επιμήκυνσης των μίσχων και της μείωσης της μέσης διαμέτρου των αγγείων του ξυλώματος (Lonisolo et al., 2002). Από την άλλη πλευρά, η ανάπτυξη των ριζών διεγείρεται σε ορισμένο αλλά μικρό βαθμό σε εδαφικά διαμερίσματα όπου το νερό εξακολουθεί να είναι διαθέσιμο (Dry et al., 2000). Επιπλέον, η μειωμένη ανάπτυξη αντικατοπτρίζεται από την καταστολή της φωτοσύνθεσης λόγω του κλεισίματος των στομάτων και των περιορισμών στη διάχυση του CO<sup>2</sup> εντός των ιστών των φύλλων (Flexas et al., 2004). Όταν η αγωγιμότητα των στομάτων πέφτει κάτω από 50 mmol H<sup>2</sup>O, οι περιορισμοί της φωτοσύνθεσης εξαρτώνται περισσότερο από μη στοματικές διεργασίες, ιδίως από τη μειωμένη αγωγιμότητα διάχυσης του μεσοφύλλου προς το CO<sup>2</sup> και τη μειωμένη φωτοσύνθεση (Flexas et al., 2004).

### **2.2.1 Οΐδιο**

Το οΐδιο (*Uncinula necator*) είναι μια από τις σημαντικότερες ασθένειες της αμπέλου (Caffi et al., 2011). Προσβάλλει τα πράσινα φύλλα και τους καρπούς, μειώνει την απόδοση των σταφυλιών και την ποιότητα του γλεύκους και του οίνου (Campbell et al., 2006). Αυτό το παθογόνο επηρεάζει την αναπαραγωγή και τους αγενείς κύκλους κατά τη διάρκεια του έτους, διαχειμάζει ως μυκήλιο σε μολυσμένους οφθαλμούς ή ως χασμοθέσια στο φλοιό των αμπελιών (Cortesi et al., 1995). Οι πρωτογενείς μολύνσεις προκαλούνται συνήθως από τα ασκοσπόρια. Στη συνέχεια, η ασθένεια εξελίσσεται κατά τη διάρκεια της περιόδου με αγενείς, δευτερογενείς κύκλους μόλυνσης που οδηγούνται από τα κονίδια (Carisse et al., 2009). Η σοβαρότητα της ασθένειας σχετίζεται με τον αριθμό των κύκλων της ασθένειας ανά εποχή, με την υγρασία του αέρα, διότι μια μέτρια υψηλή υγρασία του αέρα ευνοεί τη βλάστηση των κονιδίων και τη βροχόπτωση, διότι η βροχή εμποδίζει τη βλάστηση των κονιδίων (Bendek et al., 2007). Η μη αποδοτική αναπαραγωγή και ο ρυθμός της επιδημικής ανάπτυξης του οιδίου ελέγχονται κυρίως από τη θερμοκρασία (Chellemi & Marois, 1991). Το μήκος της "λανθάνουσας περιόδου" κάθε κύκλου, δηλαδή το χρονικό διάστημα μεταξύ της εναπόθεσης των σπορίων στην επιφάνεια του φυτού και της σποροποίησης της προκύπτουσας αποικίας, είναι ο κύριος παράγοντας που καθορίζει τον αριθμό των κύκλων της ασθένειας, ο οποίος με τη σειρά του επηρεάζεται από τη θερμοκρασία

(Calonnec et al., 2008). Αυτή η λανθάνουσα περίοδος είναι ελάχιστη όταν οι θερμοκρασίες βρίσκονται στο βέλτιστο εύρος μεταξύ 20 και 28 °C (Caffi et al., 2011).

Η διάρκεια της λανθάνουσας περιόδου είναι ιδιαίτερα σημαντική για το ωίδιο, του οποίου η μόλυνση δεν εξαρτάται αυστηρά από συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως η βροχόπτωση ή η παρουσία ελεύθερου νερού στα φυτικά όργανα. Η μόλυνση από αυτό το παθογόνο είναι πρακτικά συνεχής και επομένως η εξέλιξη της επιδημίας εξαρτάται κυρίως από την ημερήσια δόση του εμβολίου που είναι σε θέση να μολύνει τον ξενιστή, η οποία με τη σειρά της εξαρτάται από το πόσοι κύκλοι μόλυνσης έχουν ολοκληρωθεί, οδηγώντας σε σπορογόνες αποικίες ωιδίου (Xu, 1999).

Η εντονότερη μείωση του μέσου αριθμού κύκλων μόλυνσης στην περιοχή με το χαμηλό υψόμετρο μπορεί να σχετίζεται με την απόκριση της διάρκειας λανθάνουσας κατάστασης στη θερμοκρασία και όχι με τη διαφορά στη διάρκεια ευαισθησίας του ξενιστή. Η διάρκεια λανθάνουσας κατάστασης είναι ελάχιστη στις βέλτιστες θερμοκρασίες μεταξύ 20 και 28 °C και αυξάνεται σε θερμοκρασίες κάτω ή πάνω από αυτό το εύρος. Επομένως, καθώς το κλίμα σε χαμηλότερο υψόμετρο, βρίσκεται στο βέλτιστο εύρος θερμοκρασίας για την ανάπτυξη του ωιδίου κατά την ευαίσθητη περίοδο της αμπέλου (άνοιξη-καλοκαίρι), μια αύξηση της θερμοκρασίας θα αυξήσει αναπόφευκτα τη διάρκεια της λανθάνουσας κατάστασης. Από την άλλη πλευρά, στα υψηλότερα υψόμετρα της, μια αύξηση της θερμοκρασίας από τις ψυχρότερες συνθήκες δεν συνεπάγεται τόσο μεγάλη μετατόπιση από τις βέλτιστες θερμοκρασίες. Η προβλεπόμενη σοβαρότητα του ωιδίου μειώθηκε περισσότερο στη μελέτη χαμηλής-ενδιάμεσης έναντι της μελέτης για υψηλή παραγωγικότητα της ασθένειας, λόγω της διαφορετικής επίδρασης που έχει η μείωση του μέσου αριθμού των ετήσιων κύκλων στη σοβαρότητα της ασθένειας στις δύο περιπτώσεις. Ενώ στην περίπτωση της υψηλής ευνοϊκότητας η πρόωμη έναρξη της επιδημίας οδηγεί σε υψηλότερη σοβαρότητα της νόσου από τον 12ο έως 13ο κύκλο και μετά, στην περίπτωση της χαμηλής ευνοϊκότητας η μέγιστη προβλεπόμενη σοβαρότητα εμφανίζεται από τον 14ο έως 15ο κύκλο και μετά. Το γεγονός ότι η μείωση της προσομοιωμένης σοβαρότητας της νόσου είναι υψηλότερη, αλλά είναι παρόμοια σε όλες τις περιοχές είναι αντιφατικό, δεδομένης της προαναφερθείσας διαφοράς στις μειώσεις των κύκλων στις περιοχές. Για παράδειγμα, σε μια περιοχή παρουσιάζει μεγαλύτερη μείωση από ότι σε κάποια άλλη. Τα αποτελέσματα αυτά υποδηλώνουν ότι η κλιματική αλλαγή μπορεί να μειώσει την σοβαρότητα του ωιδίου, ιδίως κατά τη διάρκεια ακραίων ετών με ιδιαίτερα υψηλές θερμοκρασίες, όπως αυτές που προβλέπονται από ένα πιο απαισιόδοξο σενάριο, και

από ένα σενάριο με χαμηλή-ενδιάμεση παραγωγικότητα για την ασθένεια. Οι Calonnec et al., (2008) μοντελοποίησαν την αλληλεπίδραση μεταξύ της αμπέλου και του ωιδίου και διαπίστωσαν μικρότερη επίδραση του ωιδίου στο αμπέλι σε ένα ιδιαίτερα θερμό έτος σε σύγκριση με ένα μέσο έτος. Η κατάσταση αυτή μπορεί να συμβεί συχνότερα αν οι θερμοκρασίες αυξηθούν περαιτέρω, μειώνοντας τη συνολική σοβαρότητα του ωιδίου (Caffarra et al., 2012).



**Εικόνα 3: Ωίδιο Αμπελιού**

Πηγή: Αντωνόπουλος (2019)

### **2.2.2 Περονόσπορος**

Ο περονόσπορος της αμπέλου, που προκαλείται από το *Plasmopara viticola* πρόκειται για ένα μύκητα, που αποδίδεται στο βασίλειο των Chromista (Goeker et al., 2003) και θεωρείται η πιο σοβαρή μυκητολογική ασθένεια της αμπέλου. Επηρεάζει τόσο την ποσότητα της συγκομιδής όσο και την ποιότητα του οίνου που παράγεται από μολυσμένα σταφύλια. Προσβάλλει όλα τα νέα όργανα του φυτού, που είναι ακόμη πράσινα. Πρόκειται για μια ασθένεια με μεγάλες οικονομικές επιπτώσεις σε διάφορες περιοχές του κόσμου. Οι θερμοκρασίες μεταξύ 20 και 25°C και η διαβροχή των φύλλων αποτελούν βέλτιστες συνθήκες για την ανάπτυξη της ασθένειας (Caffi et al., 2016). Η ασθένεια εμφανίζεται σε όλες τις περιοχές με καλλιέργεια σταφυλιών και μπορεί να προκαλέσει απώλειες έως και 100% της παραγωγής. Οι Salinari et al. (2007) χρησιμοποίησαν μοντέλα προσομοίωσης και επαλήθευσαν μια πιθανή πρόοδο στις

επιδημίες περονόσπορου για το βόρειο και το νότιο ημισφαίριο. Η σοβαρότητα του περονόσπορου της αμπέλου (*Plasmopara viticola*) μειώνεται όταν αυξάνεται η θερμοκρασία του αέρα. Στο προβλεπόμενο σενάριο της κλιματικής αλλαγής, είναι δυνατόν να παρατηρηθεί αύξηση της ευνοϊκής κατάστασης του περονόσπορου στις παραγωγικές περιοχές, μείωση της ευνοϊκής κατάστασης για τις εύφορες περιοχές και διατήρηση των συνθηκών για ορισμένες άλλες περιοχές. Οι διάφορες περιοχές της Ελλάδας με καλλιέργεια αμπέλου παρουσιάζουν ποικιλομορφία όσον αφορά τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στον περονόσπορο.

Η ασθένεια αυτή επηρεάζει τόσο την ποσότητα των συγκομιζόμενων σταφυλιών όσο και την ποιότητα του οίνου που μπορεί να παραχθεί από αυτά (Gessler et al. 2011). Ο οργανισμός διαχειμάζει ως ωοσπόρια σε πεσμένα φύλλα σταφυλιών. Την άνοιξη, παράγει ζωοσποράγγια τα οποία, με την παρουσία νερού, εκτοξεύονται στα φύλλα ή στα τσαμπιά. Η υγρασία επιτρέπει τη μόλυνση από τα ζωοσποράγγια και οι ξηρές περίοδοι σκοτώνουν το παθογόνο. Το παθογόνο αναπτύσσεται σε θερμοκρασίες 9 C-34° C (Gessler et al. 2011). Οι Salinari (2006) μελέτησαν τις τρέχουσες και μελλοντικές επιπτώσεις του περονόσπορου σε αμπελώνες σε μια οινοπαραγωγική περιοχή του Πιεμόντε της Ιταλίας. Για να εκτιμηθούν οι πιθανές επιπτώσεις των προβλεπόμενων κλιματικών αλλαγών στον περονόσπορο, αναπτύχθηκε ένα εμπειρικό μοντέλο ασθένειας. Το μοντέλο αυτό χρησιμοποίησε σενάρια κλιματικών αλλαγών που δημιουργήθηκαν από το *Hadley Centre* (Pope et al. 2000), Devon, Ηνωμένο Βασίλειο, και το *National Aeronautic and Space Administration Goddard Institute for Space Studies* (Schmidt et al. 2005), Νέα Υόρκη, για τις δεκαετίες 2030, 2050 και 2080, τα οποία συγκρίθηκαν με μετεωρολογικά δεδομένα που συλλέχθηκαν μεταξύ 1955 και 2001 (Salinari et al. 2006). Προέβλεψαν αυξημένες θερμοκρασίες και μειωμένες βροχοπτώσεις στην περιοχή αυτή. Οι προσομοιώσεις που προέκυψαν από το συνδυασμό του μοντέλου ασθενειών με τα αποτελέσματα των δύο φορέων προέβλεψαν αυξημένα επίπεδα πίεσης ασθενειών σε καθεμία από τις τρεις εξεταζόμενες μελλοντικές δεκαετίες και ευνοϊκότερες συνθήκες θερμοκρασίας κατά τους μήνες Μάιο και Ιούνιο. Οι αυξημένες θερμοκρασίες προβλέπεται ότι θα ευνοήσουν τις επιδημίες με τρόπους που θα εξουδετερωθούν μόνο εν μέρει από τις επιπτώσεις της μειωμένης βροχόπτωσης, η οποία από μόνη της θα μείωνε την πίεση των ασθενειών. Οι ερευνητές προέβλεψαν ότι θα χρειαστούν δύο επιπλέον ψεκασμοί με μυκητοκτόνα στο πιο αρνητικό κλιματικό σενάριο σε σύγκριση με το τρέχον πρόγραμμα διαχείρισης (Elad & Pertot, 2014).



**Εικόνα 4: Περονόσπορος**

Πηγή: Ροδανάκης (2024).

### **2.2.3 Ενδεμίδα της αμπέλου**

Ο ευρωπαϊκός σκώρος της αμπέλου, *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae), είναι ένας από τους πιο επιβλαβείς εχθρούς της αμπελουργίας στην περιοχή της Παλαιαρκτικής (Thiéry et al. 2018).

Ποσοτικές και ποιοτικές ζημιές προκαλούνται από τις προνύμφες 3ής γενιάς ενώ προσβάλλουν τα καρποφόρα όργανα της αμπέλου (ανθοφόροι οφθαλμοί). Η σίτιση των προνυμφών στα ράγες προκαλεί σοβαρές απώλειες στην απόδοση λόγω της άμεσης κατανάλωσης της γεωργικής παραγωγής. Επιπλέον, επιτρέπει την εισχώρηση διαφόρων μυκητολογικών παραγόντων που ευθύνονται για την ανάπτυξη της σήψης των τσαμπιών (*Botrytis cinerea*, *Aspergillus carbonarius*, *A. niger*) και αυξάνει την ευαισθησία του φυτού σε άλλα παθογόνα των ράγων των σταφυλιών, όπως οι μύγες των φρούτων (Reineke & Thiéry 2016). Οι οικονομικές επιπτώσεις του *L. botrana* έχουν αξιολογηθεί ως "υψηλές", υπό την προϋπόθεση ότι μία ράγα μπορεί να προσβάλει από 2 έως 10 ράγες κατά τη διάρκεια της ανάπτυξής της και ότι η πυκνότητα μπορεί να φθάσει έως και 20-30 προνύμφες ανά τσαμπί σε αμπελώνες με έντονη προσβολή (Delbac & Thiéry 2016). Υψηλά επίπεδα οικονομικής ζημίας λόγω της δραστηριότητας του *L. botrana* υποδηλώνουν επίσης σημαντικές απώλειες αποδόσεων,

όπως αυτές που καταγράφηκαν στην Ελλάδα, οι οποίες ανήλθαν από 13,3 έως 27% της συνολικής παραγωγής σταφυλιών σε μια περίοδο 4 ετών (Ittis, et al., 2020).



**Εικόνα 5: Προνύμφες της Ευδεμίδας της αμπέλου**

Πηγή: Ροδανάκης (2019).

#### **2.2.4 Φόμοψη**

Παρά τα αρκετά εκτεταμένα προγράμματα μυκητοκτονίας, η συχνότητα εμφάνισης *Phomopsis (PCLS)* φαίνεται να αυξάνεται σε πολλούς αμπελώνες του κόσμου. Η ασθένεια αυτή, που προκαλείται από τον μύκητα *Phomopsis viticola*, εμφανίζεται παγκοσμίως όπου καλλιεργούνται σταφύλια, αλλά είναι οικονομικά πιο σημαντική στις μεσοδυτικές και βορειοανατολικές εύκρατες περιοχές των ΗΠΑ. Παρουσία ευνοϊκών περιβαλλοντικών συνθηκών, η *PCLS* είναι ικανή να μειώσει τις αποδόσεις κατά 30%. Όλοι οι υπέργειοι ιστοί της αμπέλου είναι ευαίσθητοι στη μόλυνση από το *P. viticola* σε κάποιο στάδιο της ανάπτυξής τους- ωστόσο, το *PCLS* έχει τη μεγαλύτερη αρνητική επίδραση στην απόδοση όταν προσβάλλει τους καρπούς και τις ράγες, οι οποίες παραμένουν ευαίσθητες για όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Οι ράγες που έχουν μολυνθεί από *P. viticola* αναπτύσσουν σήψη κοντά στη

συγκομιδή και καθίστανται μη εμπορεύσιμα. Οι ράχες με υψηλά επίπεδα *PCLS* αποδυναμώνονται, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια απόδοσης λόγω πρόωρης καρπόπτωσης. Τα φύλλα με αλλοιώσεις *PCLS* έχουν μειωμένη φωτοσυνθετική ικανότητα και, όταν είναι βαριά μολυσμένα, ρυτιδιάζουν και αποκόπτονται πρόωρα. Τα βαριά μολυσμένα πρέμνα αποδυναμώνονται, γεγονός που τα προδιαθέτει σε χειμερινές ζημιές (Hewitt & Pearson, 1988).

Οι κυκλικές κηλίδες, κίτρινες στην περιφέρεια και μαύρες στο κέντρο από τον *P. viticola* είναι μονοκυκλική ασθένεια (Anco et al., 2012). Κατά τη διάρκεια υγρών συνθηκών την άνοιξη, από την έκπτυξη των οφθαλμών έως λίγο μετά το τέλος της άνθησης, τα πυκνίδια σε πρέμνα και κληματίδες που έχουν μολυνθεί κατά την προηγούμενη καλλιεργητική περίοδο εξάγουν κίρρους. Αυτή η ζελατινώδης μήτρα διαλύεται παρουσία νερού, επιτρέποντας τη διασπορά των κονιδίων στους ευαίσθητους ιστούς του σταφυλιού, με αποτέλεσμα νέες μολύνσεις. Προς το τέλος της καλλιεργητικής περιόδου, όταν τα πρέμνα και οι ράχες αρχίζουν να παράγουν ένα στρώμα περιδέρματος, το *P. viticola* σχηματίζει πυκνίδια μέσα σε αυτούς τους ιστούς. Αυτά τα πυκνίδια, καθώς και οι υφές εντός των αδρανών οφθαλμών, λειτουργούν ως δομές διαχείμασης για τον μύκητα, αλλά τα πυκνιδιοσπόρια (π.χ. α-κονίδια) συνήθως δεν παράγονται μέχρι την επόμενη καλλιεργητική περίοδο (Anco et al., 2012).

Έχει δημοσιευθεί η επίδραση της θερμοκρασίας και της διάρκειας της υγρασίας στη μόλυνση των σταφυλιών και των φύλλων από α-κονίδια του *P. viticola* (Nita et al., 2006) ωστόσο, δεν έχει αναφερθεί η επίδραση της θερμοκρασίας και της διάρκειας της υγρασίας στην επιφάνεια του φυτού στη σποροποίηση του *P. viticola* στον αγρό. Πρόκειται για ένα εξαιρετικά σημαντικό στοιχείο του κύκλου της ασθένειας. Υπό περιβαλλοντικές συνθήκες που δεν είναι ευνοϊκές για τη σποροποίηση, δεν θα απαιτούνταν εφαρμογές μυκητοκτόνων για την καταπολέμηση της ασθένειας, ακόμη και αν οι συνθήκες για τη μόλυνση ήταν ευνοϊκές. Η κατανόηση των περιβαλλοντικών παραγόντων που ευνοούν τη σποροποίηση μπορεί να είναι οικονομικά επωφελής για τον έλεγχο της ασθένειας, είτε με τη βελτίωση του χρονισμού των εφαρμογών μυκητοκτόνων είτε με την εξάλειψη των μη αναγκαίων εφαρμογών. Η βελτίωση της χημικής καταπολέμησης αυτής της ασθένειας είναι σημαντική, επειδή δεν υπάρχουν επί του παρόντος ποικιλίες ανθεκτικές στην *PCLS* (Nita et al., 2007).

Το 2008 ξεκίνησε έρευνα για τον προσδιορισμό των συνθηκών θερμοκρασίας και διάρκειας υγρασίας που απαιτούνται για τη σποροποίηση του *P. viticola*. Οι μελέτες αυτές θα είναι χρήσιμες για την πρόβλεψη του χρόνου και της ποσότητας



σποροποίησης (κίνδυνος ασθένειας) του *P. viticola* σε αμπελώνες αμπέλου. Οι στόχοι αυτής της έρευνας ήταν να εξεταστούν οι επιδράσεις της θερμοκρασίας και της διάρκειας της υγρασίας στη σποροποίηση του *P. viticola* σε μολυσμένα σταφύλια και να αναπτυχθεί ένα μοντέλο πρόβλεψης για τη σποροποίηση στους αμπελώνες, να προσδιοριστούν οι επιδράσεις της διακοπτόμενης διάρκειας της υγρασίας (διαχωρισμένες περιόδους υγρασίας) στη σποροποίηση του *P. viticola*- και να μετρηθεί η πυκνότητα των σπορίων και οι περιβαλλοντικές μεταβλητές στον αμπελώνα προκειμένου να αξιολογηθεί το μοντέλο πρόβλεψης που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο του στόχου (Anco et al., 2012).



**Εικόνα 6: Φόμοψη**

Πηγή: Antonopoulos (2018).

### **2.2.5 Ίσκα**

Η ασθένεια οφείλεται σε ένα σύμπλεγμα παθογόνων μυκήτων σε αντίθεση με τις περισσότερες ασθένειες που συνήθως προκαλούνται από έναν μικροοργανισμό. Το όνομά της προέρχεται από τα λατινικά και σημαίνει «ξερό ξύλο». Οι μύκητες *Phaeomoniella chlamydospora*, *Phaeocremonium aleophilum*, *Eutypa lata* και *Botryosphaeria dothidea* θεωρούνται οι κύριοι υπεύθυνοι, οι οποίοι συνυπάρχουν στον



κορμό και προσβάλλουν το ξύλο. Το *Phytophthora cinnamomi* (*P. Cinnamomi*) και ορισμένα άλλα συγγενικά είδη προκαλούν σήψη των ριζών και των αγγείων του ξύλου, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε θάνατο των φυτών σε εύκρατες και υποτροπικές περιοχές του κόσμου. Οι μολύνσεις στο χωράφι λαμβάνουν χώρα από τις τομές κλαδέματος όπου εγκαθίστανται τα σπόρια και ελευθερώνουν τα παθογόνα. Η θερμοκρασία και η υγρασία είναι από τις σημαντικές παραμέτρους που επηρεάζουν την ανάπτυξη και την αναπαραγωγή αυτών των παθογόνων. Οι πλημμύρες και οι ξηρασίες συχνά ευνοούν την ανάπτυξη επιδημιών. Έτσι, μπορεί να αναμένεται πολλαπλασιασμός των κρουσμάτων ριζικής σήψης σε δασικά οικοσυστήματα στα οποία κυριαρχούν η οξιά (*Fagus*) και άλλα ευπαθή δέντρα, όπως η δρυς (*Quercus*), η σκλήθρα (*Alnus*), ο σφένδαμος (*Acer*) και τα πεύκα (*Pinus*), υπό τέτοιες συνθήκες (Sturrock et al. 2011).

Τα δέντρα που υφίστανται την αβιοτική επίδραση είναι ευάλωτα σε μολύνσεις από παθογόνα. Για το λόγο αυτό, η αυξημένη συχνότητα ξηρασίας αναμένεται να αυξήσει την πιθανότητα μόλυνσης των δέντρων από παθογόνα της ρίζας, αποικιστές πληγών και λανθάνοντες αποικιστές του σομού (Sturrock et al. 2011). Τα φυτά σε περιοχές στις οποίες αυξάνεται η συχνότητα εμφάνισης ξηρασίας και άλλων συνθηκών καταπόνησης ενδέχεται να αντιμετωπίσουν περισσότερες ασθένειες, όπως ριζομολύνσεις από *Armillaria spp.*, μολύνσεις από μύκητες που προκαλούν καρκίνο, όπως *Botryosphaeria* και *Diplodia*, και δασική παρακμή που προκαλείται από *Armillaria*, *Phytophthora spp.* και άλλα παθογόνα.

Ένα αντίθετο σενάριο έχει περιγραφεί για την ασθένεια των πευκοβελόνων που προκαλείται από το *C. ribicola*. Αυτό το παθογόνο προκαλεί σκωρίαση με φουσκάλες στα λευκά πεύκα, η οποία έχει ως αποτέλεσμα το θάνατο των κλαδιών, την αναπαραγωγική αποτυχία και τη θνησιμότητα των δέντρων (Sturrock et al. 2011). Η ασθένεια αυτή θεωρείται ασθένεια ψυχρού καιρού. Η βλάστηση των βασιδιοσπορίων του *C. ribicola* και η μόλυνση της βελόνας διαρκούν 48 ώρες και απαιτούν συνθήκες 100% RH και θερμοκρασίες όχι υψηλότερες από 20° C. Η συχνότητα των συνθηκών που είναι κατάλληλες για την *C. ribicola* για να προκαλέσει μόλυνση προβλέπεται να μειωθεί καθώς μειώνεται ο αριθμός των υγρών περιόδων την άνοιξη και στις αρχές του καλοκαιριού και, στη συνέχεια, αναμένονται λιγότερες μολύνσεις από σκουριά (Sturrock et al. 2011).



**Εικόνα 7: Ίσκα**

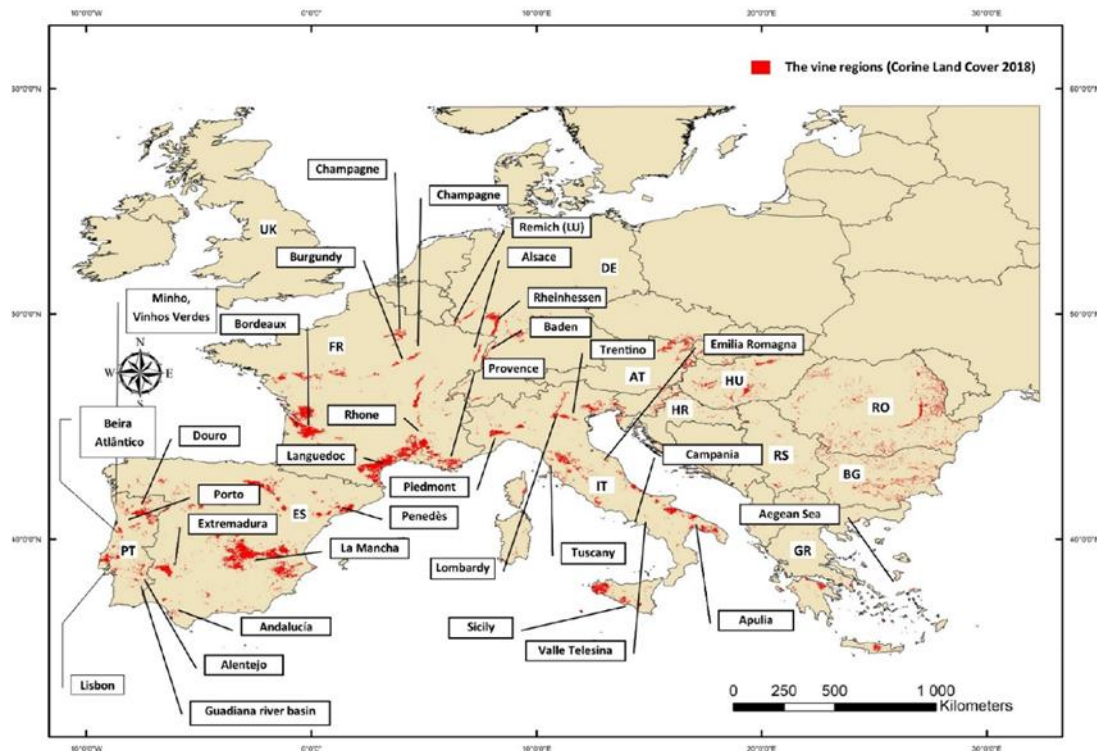
Πηγή: Περιφερειακό Κέντρο Προστασίας Φυτών Ποιοτικού & Φυτοϋγειονομικού Ελέγχου  
Ηρακλείου (2020).

### ***2.3 Το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής***

Η κλιματική αλλαγή ορίζεται ως οποιαδήποτε αλλαγή στην κατάσταση του κλίματος που επιμένει για παρατεταμένο χρονικό διάστημα και θεωρείται από τη συντριπτική πλειοψηφία της επιστημονικής κοινότητας ως μία από τις μεγάλες περιβαλλοντικές ανησυχίες που αντιμετωπίζει η ανθρωπότητα τον 21ο αιώνα. Η σταθερή αύξηση της θερμοκρασίας, ως το κύριο μετρήσιμο αποτέλεσμα της κλιματικής αλλαγής, αναμένεται να συνεχίσει να αυξάνεται σε παγκόσμιο επίπεδο και είναι πιθανό να επέλθουν σημαντικές αλλαγές στους παγκόσμιους υδρολογικούς και ενεργειακούς κύκλους με αποτέλεσμα την αύξηση της ακτινοβολίας τόσο της συχνότητας όσο και της σοβαρότητας των ακραίων καιρικών φαινομένων. Δεδομένων των αναμενόμενων σημαντικών επιπτώσεών της σε διάφορους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας (π.χ. γεωργία, δασοκομία, κατανάλωση ενέργειας, τουρισμός) η παγκόσμια κλιματική αλλαγή αποτελεί σημαντική πολιτική, οικονομική και κοινωνική πρόκληση (Bartolini et al., 2008).

Μεταξύ των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, η γεωργία είναι πιθανό να είναι ιδιαίτερα εκτεθειμένη στον κίνδυνο αυτό δεδομένου ότι οι καιρικές συνθήκες που επικρατούν κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής των καλλιεργειών αποτελούν τους κύριους αβιοτικούς παράγοντες για την ανάπτυξή τους καθορίζοντας, ως εκ τούτου, την ποσότητα και την ποιότητα της γεωργικής παραγωγής και τελικά την οικονομική βιωσιμότητα (Lavalle et al., 2009).

Η Ευρώπη αναδεικνύεται ως μια περιοχή που ανταποκρίνεται ιδιαίτερα στην αύξηση της θερμοκρασίας που προκαλείται από την αλλαγή του κλίματος, ιδίως κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου, ενώ προβλέπεται συνεχής αύξηση της θερμοκρασίας για όλη τη διάρκεια του 21ου αιώνα στην ήπειρο, όπου θα επικρατήσουν αρνητικές επιπτώσεις, συμπεριλαμβανομένων χαμηλότερων συγκομιζόμενων αποδόσεων, μεγαλύτερης μεταβλητότητας των αποδόσεων και μείωσης των κατάλληλων εκτάσεων για την καλλιέργεια παραδοσιακών καλλιεργειών. Προφανώς, στο πλαίσιο της προαναφερθείσας κλιματικής εξέλιξης, πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στις εξέχουσες πολυετείς καλλιέργειες που συνήθως καλλιεργούνται στην Ευρώπη, όπου οι μέσες θερμοκρασίες της καλλιεργητικής περιόδου έχουν ήδη αυξηθεί κατά 1,7 °C από το 1950 έως το 2004 (Jones et al., 2005).



**Εικόνα 8: Σημαντικά αμπελοινικά διαμερίσματα στην Ευρώπη**

Πηγή: Droulia & Charalampopoulos (2021).

Το αμπέλι (*Vitis vinifera* L.) αναγνωρίζεται σε μεγάλο βαθμό ως μία από τις σημαντικότερες καλλιέργειες που καλλιεργούνται σε ολόκληρη την Ευρώπη, διαδραματίζοντας βασικό κοινωνικοοικονομικό ρόλο. Η Ευρώπη είναι η ήπειρος, με τη μεγαλύτερη παραγωγή κρασιού και έκταση αμπελώνων στον κόσμο, φιλοξενεί μερικές από τις πιο σημαντικές και φημισμένες αμπελουργικές περιοχές και οίνους. Αυτά κυριαρχούν ιδιαίτερα στην περιοχή της Μεσογείου και ιδιαίτερα στις κορυφαίες οινοπαραγωγικές χώρες του κόσμου: Ιταλία, Γαλλία και Ισπανία (Droulia & Charalampopoulos, 2021).

## **2.4 Η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην αμπελοκαλλιέργεια**

Οι κλιματικές συνθήκες ελέγχουν σταθερά την ανάπτυξη της αμπέλου, τη φυσιολογία της αμπέλου, την απόδοση και τη σύνθεση των ραγών, διαδραματίζοντας έτσι ζωτικό ρόλο στην εδαφολογία μιας συγκεκριμένης αμπελουργικής περιοχής. Οι ισχυροί δεσμοί μεταξύ κλίματος και παραγωγής από άποψη ποιότητας και ποσότητας έχουν την πιο έντονη έκφρασή τους στον τομέα της αμπελουργίας και της επιστήμης της καλλιέργειας της αμπέλου. Αυτό αποδεικνύεται σαφώς από τη θέση των παγκόσμιων αμπελουργικών περιοχών εντός σχετικά στενών ζωνών γεωγραφικού πλάτους που παρέχουν μεσογειακές κλιματικές συνθήκες για την παραγωγή οίνων υψηλής ποιότητας, αλλά και από την αυξανόμενη αναγνώριση της οινοποιήσιμης αμπέλου ως βιοδείκτη για την ανασύσταση των παρελθουσών κλιματικών συνθηκών και την τεκμηρίωση της υπερθέρμανσης του πλανήτη λόγω της μεταβλητότητας του κλίματος, κυρίως λόγω της θερμικής διαθεσιμότητας που είναι ικανή να καθορίσει την απόδοσή της. Ο καθοριστικός ρόλος της κλιματικής αλλαγής στην αμπελοκαλλιέργεια μπορεί να γίνει αντιληπτός μέσω ιστορικών στοιχείων, δεδομένου ότι η έκταση των αμπελώνων έχει μεταβληθεί με την πάροδο του χρόνου. Είναι χαρακτηριστικό ότι οι αμπελώνες που φυτεύτηκαν στη νότια Αγγλία από τον 10ο έως τον 13ο αιώνα, εξαφανίστηκαν από το βρετανικό τοπίο κατά τη διάρκεια της ψύξης της Μικρής Εποχής των Παγετώνων, επανήλθαν εκεί μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο και έκτοτε επεκτάθηκαν. Πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι το κλίμα προβλέπεται να αλλάξει σημαντικά κατά τη διάρκεια της αναμενόμενης παραγωγικής ζωής ενός αμπελώνα, δεδομένου ότι το αμπέλι είναι ένα ξυλώδες πολυετές φυτό που μπορεί να παραμείνει οικονομικά παραγωγικό για 50 έως 60 χρόνια (Santos et al., 2020).

Μεταξύ των περιβαλλοντικών παραγόντων, το κλίμα επηρεάζει περισσότερο την ανάπτυξη της αμπέλου και τη σύνθεση των καρπών σε σύγκριση με το έδαφος και την ποικιλία αμπέλου. Πολλοί επιμέρους ατμοσφαιρικοί παράγοντες (π.χ. η ηλιακή ακτινοβολία, ο άνεμος, η υγρασία κ.λπ.) επηρεάζουν την ανάπτυξη και την παραγωγικότητα της αμπέλου, αλλά οι συγκεκριμένες θερμικές και υδρολογικές συνθήκες είναι από τις πιο σημαντικές. Στην πραγματικότητα, αυτοί είναι οι δύο παράγοντες που εξετάζονται συχνότερα σε προβληματισμούς σχετικά με τις πιθανές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην αμπελουργία (Schultz & Stoll, 2010).

Ως προς την απόκριση στην υδατική καταπόνηση, οι ποικιλίες αμπέλου έχουν ταξινομηθεί ως ισοϋδρικές ή ανισοϋδρικές (Schultz, 2003). Οι ισοϋδρικές ποικιλίες έχουν την ικανότητα να διατηρούν σταθερό το υδατικό δυναμικό των φύλλων τους και πάνω από το κατώφλι σπηλαίωσης ανεξάρτητα από τη διαθεσιμότητα του εδαφικού νερού ή τη ζήτηση ατμοσφαιρικού νερού (Lovisolo et al., 2010) μέσω της μείωσης της αγωγιμότητας των στομάτων, ενώ οι ανισοϋδρικές ποικιλίες διατηρούν τα στόματά τους ανοιχτά ακόμη και υπό μειούμενο υδατικό δυναμικό των φύλλων (Sade et al., 2012). Τα αμπέλια που κατατάσσονται ως ισοϋδρικά είναι το *Vitis labruscana*, το υποκείμενο Richter-110 (*Vitis berlandieri* Planch x *Vitis rupestris* Scheele) και οι ποικιλίες *V. vinifera* Grenache, Trincadeira, Petra, Tempranillo και άλλες. Πολλές παραδοσιακές ποικιλίες *V. vinifera*, όπως για παράδειγμα οι ποικιλίες Chardonnay, Cabernet Sauvignon, Syrah και Riesling, περιγράφονται ως ανισοϋδρικές (Lovisolo et al., 2010). Ωστόσο, η ταξινόμηση αυτή δεν είναι πάντα συνεπής, καθώς για παράδειγμα το *Pinot Noir* περιγράφεται ως ανισοϋδρικό πριν από τον περκασμό και ισοϋδρικό μετά από τον περκασμό. Οι υδατοπορίνες, οι οποίες βρίσκονται στα κυτταρικά τοιχώματα, έχουν αναγνωριστεί ως πρωτεΐνες-κλειδιά για την πρόσληψη και τη μεταφορά νερού στις ρίζες των φυτών και δύο γονίδια της αμπέλου, τα *VvPIP2;1* και *VvPIP2;2*, έχουν μελετηθεί λεπτομερώς σε συνθήκες καλού ποτίσματος και σε συνθήκες υδατικής καταπόνησης (Vandeleur et al., 2009) με το αμπισισικό οξύ (ABA) να είναι ένα βασικό σήμα στην επικοινωνία ρίζας-βλαστού καθώς σε συνθήκες υδατικής καταπόνησης ρυθμίζει τη στοματική αγωγιμότητα, κλείνοντας τα στόματα (Schachtman & Goodger, 2008).

Οι επιπτώσεις της ξηρασίας στην ωρίμανση και την ποιότητα των σταφυλιών χαρακτηριστικά έχουν διερευνηθεί σε επίπεδο μεταγραφώματος, πρωτεώματος (Grimplet et al., 2009) και μεταβολώματος (Grimplet et al., 2009). Οι βιοτικοί και αβιοτικοί παράγοντες καταπόνησης επηρεάζουν τον πρωτογενή και δευτερογενή

μεταβολισμό των φυτών, έχοντας επιπτώσεις στην περιεκτικότητα σε υδατάνθρακες και δευτερογενείς μεταβολίτες, όπως για παράδειγμα οι πολυφαινόλες και οι πτητικές οργανικές ενώσεις (*VOC*) (Grimplet et al., 2009- Schoedl et al., 2013). Όσον αφορά τους πρωτογενείς μεταβολίτες, παρατηρείται αύξηση της μυο-ινοσιτόλης και της σακχαρόζης υπό την καταπόνηση έλλειψης νερού, η οποία πιθανώς αντικατοπτρίζει τους αντίστοιχους ρόλους τους ως ωσμοπροστατευτικά και πρόδρομα για τον σχηματισμό σακχάρων της σειράς ραφινόζης, τα οποία είναι κρίσιμα για την ενισχυμένη ανοχή στο έλλειμμα νερού (Grimplet et al., 2009). Επιπλέον, έχει παρατηρηθεί σημαντική αύξηση της προλίνης στα φύλλα της αμπέλου (Doupis et al., 2011) και στις ράγες σε συνθήκες έλλειψης νερού, υποθέτοντας ότι το αμινοξύ αυτό συμμετέχει στην προστασία από το σχηματισμό υπερβολικών δραστικών ειδών οξυγόνου (*ROS*). Η παραγωγή *ROS*, όπως το μονήρες οξυγόνο, το υπεροξειδίο, το υπεροξειδίο του υδρογόνου και οι ρίζες υδροξυλίου, είναι μια γενική απόκριση των φυτών με τα μόρια αυτά να έχουν σημαντικό ρόλο στη σηματοδότηση για την πρόκληση αμυντικών αποκρίσεων (Vickers et al., 2009). Ως εκ τούτου, τα φυτά συνθέτουν διάφορες προστατευτικές πρωτεΐνες, όπως οι αφυδρίνες, αντιοξειδωτικά και δευτερογενείς μεταβολίτες για να αποτρέψουν τις βλάβες των *ROS* σε άλλες πρωτεΐνες και την κυτταρική μεμβράνη (Pardo, 2010).

Οι δευτερογενείς μεταβολίτες έχουν σημαντικές οικολογικές λειτουργίες στους μηχανισμούς άμυνας, προστασίας και σηματοδότησης των φυτών. Η επιλεκτική έλλειψη νερού αύξησε τη συσσώρευση ανθοκυανών στους φλοιούς των σταφυλιών και τα γονίδια του αντίστοιχου μονοπατιού βιοσύνθεσης των ανθοκυανών (Castellarin et al., 2007). Στα φυτά οι ουσίες αυτές έχουν επίσης την ικανότητα να απομακρύνουν τα αντιδραστικά είδη οξυγόνου που παράγονται κατά τις αβιοτικές καταπονήσεις και έχει αποδειχθεί ότι οι μίσχοι των ραγών για παράδειγμα περιέχουν υψηλότερες ποσότητες φλαβονοειδών και φλαβονολών από ό,τι οι ώριμες ράγες (Doshi et al., 2006). Πρόσφατα διερευνήθηκε η σύνθεση και η περιεκτικότητα συγκεκριμένων πολυφαινολών σε φύλλα αμπέλου ανάλογα με την ηλικία τους (Schoedl et al., 2012). Οι ουσίες *cis*- και *trans*-ρεσβερατρόλη-3-Ο-γλυκοζίτη, (+)-κατεχίνη, κερκετίνη-3-Ο-γλυκοζίτη, καφταρικό οξύ και κερκετίνη-3-Ο-γλυκουρονίδιο διέφεραν σημαντικά μεταξύ των ηλικιακών ομάδων των φύλλων σε τουλάχιστον τρεις από τις τέσσερις ημερομηνίες δειγματοληψίας (Schoedl et al., 2012). Τα φλαβονοειδή παράγονται επίσης κατά την ακτινοβολία *UV-B* ως μια προσαρμοστική διαδικασία των φυτών για τη μείωση των βλαβών από την *UV-B* (Ibanez et al., 2008) και έχει παρατηρηθεί

συσχέτιση μεταξύ της φυσιολογικής απόδοσης και του *quercetin-3-O-glucoside* και *kaempferol-3-O-glucoside* στα φύλλα αμπελιών που έχουν υποστεί πίεση ακτινοβολίας UV-B (Schoedl et al., 2013).

Τα φυτά παράγουν ένα ευρύ φάσμα βιογενών πτητικών οργανικών ενώσεων (VOC), οι οποίες είναι σε μεγάλο βαθμό λιπόφιλες και έχουν αρκετή πίεση ατμών ώστε να απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα (Loreto & Schnitzler, 2010). Τυπικές κατηγορίες ουσιών των πτητικών οργανικών ενώσεων είναι τα αλκάνια, τα αλκένια, οι αλδεΐδες, οι κετόνες, οι αρωματικές ενώσεις και τα τερπένια (Weingart et al., 2012). Μεταξύ αυτών, τα τερπένια αποτελούν την πιο σύνθετη ομάδα πτητικών ενώσεων στα φυτά (Loreto & Schnitzler, 2010). Η βιοσύνθεση των πτητικών τερπενίων φαίνεται να μην επηρεάζεται από ήπιες συνθήκες καταπόνησης από ξηρασία, αλλά μειώνεται σημαντικά όταν τα φυτά καταπονούνται έντονα από ξηρασία (Lavoie et al., 2009). Οι βιοτικές καταπονήσεις, όπως η προσβολή από φυτοφάγα ζώα, προκαλούν την εκπομπή πτητικών ουσιών των φυτών, ιδιαίτερα των πτητικών ουσιών των πράσινων φύλλων, οι οποίες είναι C6 αλδεΐδες, αλκοόλες και εστέρες από τη διάσπαση λιποξυγενάσης των λιπαρών οξέων, και τερπένια (Dudareva et al., 2006).

Η βαθιά γνώση των επιπτώσεων της έντονης ξηρασίας στο πρότυπο των φυτικών συστατικών που σχετίζονται με την ποιότητα του αμπελιού είναι ακόμη ανεπαρκής. Οι επιπτώσεις της έντονης ξηρασίας στην αφθονία επιλεγμένων κατηγοριών μεταβολιτών στα φύλλα προσδιορίζουν τις ουσίες που ανταποκρίνονται νωρίς καθώς και τις ουσίες με υψηλή ανταπόκριση στην εφαρμοζόμενη πίεση. Αρκετοί μεταβολίτες μπόρεσαν να προσδιοριστούν και χρησιμοποιήθηκαν περαιτέρω για τη δημιουργία ενός μοντέλου πρόβλεψης της φυσιολογικού παραμέτρου του υδατικού δυναμικού των φύλλων. Εξ όσων είναι γνωστά, αυτή αποτελεί την πρώτη προσπάθεια συνδυασμού μεταβολιτικών και φυσιολογικών δεδομένων με αυτή τη συγκεκριμένη χημειομετρική προσέγγιση για τον χαρακτηρισμό ειδικά της καταπόνησης ξηρασίας σε φύλλα αμπελιού με τελικό στόχο τη δημιουργία ενός μοντέλου πρόβλεψης για περαιτέρω εφαρμογή.

#### **2.4.1 Επίδραση της θερμοκρασίας στην φυσιολογία της αμπέλου**

Όπως συμβαίνει με πολλές πολυετείς καλλιέργειες, τα αμπέλια απαιτούν τόσο επαρκώς ψυχρές περιόδους για την καρποφορία όσο και επαρκώς θερμές περιόδους για την ωρίμανση ποιοτικών καρπών. Η θερμοκρασία είναι ένας κρίσιμος παράγοντας για

το θερμοφίλο και θερμοαπαιτητικό αμπέλι, το οποίο χρειάζεται τις κατάλληλες τιμές, όχι μόνο κατά τη διάρκεια της βλαστικής του ανάπτυξης και εξέλιξης αλλά και για την ωρίμανση των καρπών, καθώς είναι επίσης ιδιαίτερα ευαίσθητο σε όψιμες παγετογενέσεις. Πρόσφατες έρευνες αποκαλύπτουν την αρνητική συσχέτιση μεταξύ της θερμοκρασίας και, λόγω χάρη του βάρους των ραγών, της τιτλοδοτούμενης οξύτητας, των ανθοκυανών και τη θετική συσχέτιση με το pH και τη δυνητική αλκοόλη κατά την τεχνολογική ωρίμανση (Costa et al., 2020).

Η καλλιέργεια αυτή καλλιεργείται παραδοσιακά σε γεωγραφικές περιοχές όπου η μέση θερμοκρασία της καλλιεργητικής περιόδου είναι 12-22 °C, με βέλτιστη βλαστική ανταπόκριση σε μέσες ημερήσιες τιμές από 20 °C έως 35 °C. Η χειμερινή ψύξη με θερμοκρασία βάσης 10 °C απαιτείται για να σπάσει ο λήθαργος των οφθαλμών και να ξεκινήσει ο αυξητικός/βλαστικός κύκλος, αλλά και για την αποθήκευση των αποθεμάτων υδατανθράκων στα πολυετή όργανα (ρίζες, κορμός και καλάμια) για την ανάπτυξη του επόμενου έτους. Πάνω από τους 35 °C, η δραστηριότητα της βλάστησης μειώνεται και σε ορισμένες ακραίες περιπτώσεις, οι αμπελώνες μπορεί να υποστούν σοβαρές και μη αναστρέψιμες ζημιές. Η ωρίμανση των καρπών επηρεάζεται επίσης υπό υψηλές θερμοκρασίες, δεδομένης της επιτάχυνσης της περιεκτικότητας σε σάκχαρα έναντι της μείωσης της οξύτητας των σταφυλιών, της μεταβολής των δευτερογενών μεταβολιτών, όπως οι ανθοκυανίνες και, συνεπώς, του αρώματος και του χρωματισμού. Η παρατεταμένη έκθεση σε εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες (π.χ. άνω των 35-40 °C) μπορεί να επηρεάσει αρνητικά το φωτοσυνθετικό σύστημα του φυτού και να προκαλέσει σοβαρή βλάβη στο δέρμα με τη μορφή ηλιακού εγκαύματος, η οποία αυξάνει τη συχνότητα εμφάνισης, παραδείγματος χάρη της λανθάνουσας μυκητιασικής μόλυνσης στα σταφύλια. Από την άλλη πλευρά, οι εξαιρετικά χαμηλές αρνητικές θερμοκρασίες την άνοιξη μπορεί να βλάψουν σημαντικά την ανάπτυξη του αμπελιού. Ο χρόνος κατά τον οποίο τα αμπέλια αρχίζουν την έκπτυξη των οφθαλμών, την ανθοφορία και τον περκασμό (έναρξη της ωρίμανσης) καθορίζεται από τη θερμοκρασία, η οποία συνεπώς επηρεάζει την ημερομηνία συγκομιδής, την απόδοση και τη σύνθεση. Έτσι, οι θερμικές συνθήκες καθορίζουν τη διάρκεια των διαφόρων φαινολογικών σταδίων κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης και, συνεπώς, τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου (Asproudi et al., 2016).



#### **2.4.2 Επίδραση του διοξειδίου του άνθρακα στην φυσιολογία της αμπέλου**

Η φωτοσύνθεση διεγείρεται επίσης από τη συγκέντρωση του ατμοσφαιρικού CO<sup>2</sup>, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερη συσσώρευση συνολικής βιομάζας και συγκομιδή. Ωστόσο, η σχέση μεταξύ του αυξημένου CO<sup>2</sup> και της απόδοσης της αμπέλου μπορεί να είναι έντονα μη γραμμική, ενδεχομένως λόγω των συνολικών αρνητικών επιδράσεων της αυξημένης θερμοκρασίας. Παρόλο που το αμπέλι προσαρμόζεται σε διαφορετικές κλιματικές συνθήκες και είναι ανθεκτικό σε μέτριες καταπονήσεις από τη θερμότητα και το νερό, μπορεί να υποστεί σοβαρή καταπόνηση σε ακραία καιρικά φαινόμενα. Είναι πολύ ευαίσθητο στον παγετό και το χαλάζι κατά τη βλαστική περίοδο, ενώ οι καύσωνες μπορούν επίσης να επηρεάσουν σημαντικά τη φυσιολογία και τις αποδόσεις.

Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις CO<sup>2</sup> στο μέλλον αναμένεται να έχουν θετικές επιπτώσεις στον κύκλο ανάπτυξης της αμπέλου και στα χαρακτηριστικά της απόδοσης, αν και παραμένουν πολλές ασάφειες. Πειράματα που διεξήχθησαν σε συστήματα εμπλουτισμού με διοξείδιο του άνθρακα στον ελεύθερο αέρα (FACE) έχουν δείξει σημαντικές επιπτώσεις του αυξημένου CO<sup>2</sup>, για παράδειγμα, σε διάφορες παραμέτρους βλαστικής ανάπτυξης, στην πρωτογενή παραγωγικότητα, στη γονιμότητα των οφθαλμών της αμπέλου και στο δυναμικό απόδοσης. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις CO<sup>2</sup> μπορεί να συμβάλλουν σε μείωση των ρυθμών διαπνοής των φυτών, οι οποίοι μπορεί να τείνουν να αντισταθμίσουν την αυξημένη εξάτμιση του εδάφους, μετριάζοντας έτσι την αύξηση της εξαμισοδιαπνοής υπό μελλοντικές συνθήκες (Fraga et al., 2020).

#### **2.4.3 Επίδραση σχετικής υγρασίας και λοιπών μεταβλητών στην φυσιολογία της αμπέλου**

Οι ετήσιες βροχοπτώσεις και η εποχιακή κατανομή τους είναι επίσης κρίσιμες για την ανάπτυξη της αμπέλου. Υψηλή εδαφική υγρασία είναι απαραίτητη κατά την έκπτυξη των οφθαλμών, των βλαστών και των ταξιανθιών, ενώ ακολουθούν ξηρές και σταθερές ατμοσφαιρικές συνθήκες από την ανθοφορία έως την ωρίμανση των ραγών. Ωστόσο, η πλεονάζουσα εδαφική υγρασία κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου μπορεί να προάγει την υπερβολική ζοηρότητα, με αποτέλεσμα τη δημιουργία σκιασμένων στεφάνων, επιζήμιες επιπτώσεις στην απόδοση της αμπέλου, όπως η μικρότερη έκπτυξη οφθαλμών, η καθυστερημένη ωρίμανση, το αυξημένο βάρος ραγών

και η κακή ποιότητα καρπών και οίνου. Η υπερβολική βροχόπτωση οδηγεί σε πνιγμένα αμπέλια και η υπερβολική υγρασία μπορεί να προωθήσει την επιδημιολογία των φυτών, επηρεάζοντας έτσι αρνητικά την παραγωγικότητα. Τα υγρά καλοκαίρια μπορεί να συνδέονται με πιο εκτεταμένες ζημιές στα σταφύλια ή πιθανότητα απώλειας κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού που προηγείται του τρύγου, καθώς και με χαμηλότερες αποδόσεις σταφυλιών κατά την επόμενη ετήσια εκστρατεία λόγω ζημιών στα οφθαλμούς.

Παρόλο που το αμπέλι είναι σχετικά ανθεκτικό στην ξηρασία, υπάρχει σημαντικός κίνδυνος για τη διαθεσιμότητα του νερού σε συνθήκες έντονης ξηρασίας, ιδίως κατά τα πρώτα στάδια του ετήσιου κύκλου ανάπτυξής του, λαμβάνοντας επίσης υπόψη το γεγονός ότι η καλλιέργεια αυτή καλλιεργείται κυρίως με βροχή στην Ευρώπη. Το έλλειμμα νερού είναι ένας από τους κύριους περιβαλλοντικούς παράγοντες που περιορίζουν τη βλαστική ανάπτυξη και την απόδοση των ραγών, καθώς επηρεάζει τη φωτοσύνθεση, την ανάπτυξη των βλαστών και μειώνει το μέγεθος των ραγών, ενώ μπορεί να αυξήσει την περιεκτικότητα των σταφυλιών σε τανίνες και ανθοκυάνες αλλά και τη συγκέντρωση μηλικού οξέος.

Εφόσον το νερό δεν αποτελεί περιοριστικό παράγοντα, η φωτοσύνθεση της αμπέλου αυξάνεται με την ένταση του φωτός. Λόγω της δυσκολίας διαχωρισμού της επίδρασης του φωτός από την επίδραση της θερμοκρασίας, τα αποτελέσματα σχετικά με την επίδραση του φωτός στα φαινορικά συστατικά του σταφυλιού είναι αντιφατικά. Έχει αποδειχθεί, ωστόσο, ότι η ποσότητα ανθοκυανών στους φλοιούς των σταφυλιών αυξάνεται με το φως, αλλά επηρεάζεται αρνητικά από την υψηλή θερμοκρασία. Τόσο η φωτοσύνθεση όσο και η αγωγιμότητα των στομάτων ευνοούνται γενικά στα πιο εκτεθειμένα φύλλα σταφυλιών, αλλά τα τελευταία και τα τσαμπιά διατρέχουν μεγαλύτερο κίνδυνο ηλιακού εγκαύματος. Αντίθετα, οι λιγότερο εκτεθειμένες συστάδες έχουν ως αποτέλεσμα χαμηλότερες θερμοκρασίες στις ράγες, οι οποίες οδηγούν γενικά σε χαμηλότερη περιεκτικότητα σε σάκχαρα και χαμηλότερες συγκεντρώσεις ανθοκυανών (Agosta et al., 2012).

#### **2.4.4 Πιθανότητα αλλαγής γεωγραφικών ορίων αμπελοκαλλιέργειας**

Σε ορισμένες περιοχές, η κλιματική αλλαγή υποτίθεται ότι είναι ευεργετική για την αμπελουργία, για παράδειγμα λόγω της μεγαλύτερης ωρίμανσης των καρπών και του ανοίγματος νέων περιοχών για καλλιέργεια, ενώ οι επιπτώσεις μπορεί να είναι

επιζήμιες σε άλλες περιοχές, αμφισβητώντας την ικανότητα επαρκούς καλλιέργειας σταφυλιών και παραγωγής οίνου. Οι μεταβολές στα χωρικά πρότυπα και τα χρονικά καθεστώτα της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης ενδέχεται να τροποποιήσουν σημαντικά τις σημερινές βιοκλιματικές ζώνες της αμπελουργίας στην Ευρώπη. Μελέτες για την κλιματική αλλαγή στην Ιταλία, τη Γαλλία, την Ισπανία, την Πορτογαλία, τη Γερμανία, την Ελλάδα και το Λουξεμβούργο, μεταξύ άλλων, υποδηλώνουν αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της καλλιεργητικής περιόδου.

Σε μελλοντικά σενάρια, οι σημερινές αμπελουργικές περιοχές της νότιας Ευρώπης ενδέχεται να υποστούν μείωση της αμπελουργικής τους καταλληλότητας, κυρίως λόγω της έντονης ξηρασίας. Οι περιοχές αυτές μπορεί πράγματι να γίνουν υπερβολικά ξηρές για την οινοποίηση υψηλής ποιότητας και, σε ορισμένες πιο ακραίες περιπτώσεις, θα απαιτηθεί εντατική άρδευση. Περιοχές όπως η Ανδαλουσία, η *La Mancha* (Ισπανία), το *Alentejo* (Πορτογαλία), η Σικελία, η Απουλία και η Καμπανία (Ιταλία) είναι πολύ πιθανό να υποφέρουν από σοβαρές ελλείψεις νερού. Αποδείχθηκε επίσης ότι η αυξημένη καλοκαιρινή ξηρασία στη νότια Ευρώπη θα οδηγήσει σε μείωση της απόδοσης, κυρίως λόγω της συνεργιστικής επίδρασης της αύξησης της θερμοκρασίας και της ξήρανσης.

Τα μελλοντικά θερμότερα κλίματα μπορεί επίσης να έχουν θετικές επιπτώσεις για αρκετές παραδοσιακές αμπελουργικές περιοχές στη Δυτική και Κεντρική Ευρώπη, όπως η Βουργουνδία, η Καμπανία, η Αλσατία, η Κοιλιάδα του Λίγηρα, η περιοχή του Rheingau και του Mosel στην Γερμανία καθώς και για πιθανές νέες περιοχές βόρεια και ανατολικά αυτών των παραδοσιακών περιοχών, αν και εξακολουθούν να υπάρχουν πολλές αβεβαιότητες λόγω της πολύπλοκης αλληλεπίδρασης διαφόρων παραγόντων. Για παράδειγμα, με βάση την εξέλιξη της θερμοκρασίας προβλέφθηκε διπλασιασμός των εκτάσεων που είναι κατάλληλες για αμπελοκαλλιέργεια στην Αυστρία έως τη δεκαετία του 2050. Οι νότιες αμπελουργικές περιοχές της Ουγγαρίας αναμένεται επίσης να επεκταθούν. Επιπλέον, η αναμενόμενη αύξηση της θερμοκρασίας στην Κεντρική και Βόρεια Ευρώπη θα οδηγήσει σε μεγαλύτερες καλλιεργητικές περιόδους και περιόδους χωρίς παγετό, οι οποίες θα μειώσουν τις ζημιές από τον παγετό του φθινοπώρου και θα ευνοήσουν τη δυνητική ποιότητα των οίνων.

Ο αντίκτυπος της κλιματικής αλλαγής στον κίνδυνο ανοιξιάτικου παγετού αποτελεί ζήτημα προς αντιπαράθεση στην επιστημονική βιβλιογραφία τα τελευταία χρόνια. Γενικά, ο εαρινός παγετός εμφανίζεται όταν η έκπτυξη των οφθαλμών προηγείται της ημερομηνίας του τελευταίου παγετού την άνοιξη ενός συγκεκριμένου

έτους. Υπό μελλοντικές κλιματικές συνθήκες, και τα δύο γεγονότα προβλέπεται να συμβούν νωρίτερα. Παρόλο που ορισμένες μελέτες υποδεικνύουν ότι τα τελευταία γεγονότα παγετού θα μετακινηθούν σε προγενέστερες ημερομηνίες με ταχύτερο ρυθμό από την έκπτυξη των οφθαλμών και, ως εκ τούτου, θα μειωθεί ο κίνδυνος εαρινού παγετού στο μέλλον, άλλες μελέτες ήταν ασυνεπείς ή προέβλεπαν αυξημένους κινδύνους για ζημίες από εαρινό παγετό, υποδεικνύοντας υψηλό βαθμό αβεβαιότητας.

Αν και οι παγετοί του χειμώνα, της άνοιξης και του φθινοπώρου μπορεί να απειλήσουν την οικονομική βιωσιμότητα της αμπελουργίας σε μια συγκεκριμένη περιοχή/τοποθεσία και, ως εκ τούτου, η θέρμανση θεωρείται ως επί το πλείστο θετική, η παραγωγή παγωμένων οίνων τίθεται σε κίνδυνο. Οι παγωμένοι οίνοι είναι παραδοσιακοί οίνοι υψηλής ποιότητας πολλών περιοχών με ψυχρό κλίμα, οι οποίοι παράγονται όταν οι ράγες των σταφυλιών εκτίθενται το φθινόπωρο ή στις αρχές του χειμώνα σε παγετό θερμοκρασίας  $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$  ή χαμηλότερα και συμπιέζονται σε παγωμένη κατάσταση. Σε αυτή την περίπτωση, το νερό οι ράγες έχει τη μορφή κρυστάλλων πάγου και ο χυμός συμπυκνώνεται στη συνέχεια, οδηγώντας στην παραγωγή αυτών των μοναδικών επιδόρπιων κρασιών. Ωστόσο, οι συνθήκες αυτές αναμένεται να γίνουν όλο και πιο σπάνιες στο μέλλον. Αυτό οφείλεται κυρίως στο συνδυασμό δύο επιδράσεων, στις υψηλότερες θερμοκρασίες που οδηγούν σε προγενέστερη ωρίμανση και στην ημερομηνία των πρώτων σχετικών γεγονότων παγετού (ελάχιστη θερμοκρασία  $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$  ή χαμηλότερη) καθυστερεί. Ως εκ τούτου, τα ώριμα σταφύλια πρέπει να αντέξουν μια πολύ μεγαλύτερη περίοδο έως ότου συμβεί το γεγονός του παγετού και έτσι θα αυξηθεί ο κίνδυνος σοβαρής σήψης των ραγών και πλήρους απώλειας της απόδοσης.

Σε μια ολοκληρωμένη προσπάθεια μοντελοποίησης, όπου ένα μοντέλο καλλιέργειας βασισμένο σε διεργασίες συνδυάστηκε με βάσεις δεδομένων για το κλίμα και το έδαφος, λαμβάνοντας υπόψη τις φυσιολογικές επιδράσεις της παροχής νερού και της συγκέντρωσης του  $\text{CO}_2$ , αναλύθηκαν οι αποδόσεις, η φαινολογία, το νερό και οι πιέσεις αζώτου της ευρωπαϊκής αμπέλου, τόσο για τα σημερινά (1980-2005) όσο και για τα μελλοντικά (2041-2070) κλιματικά σενάρια. Για τα τρέχοντα κλίματα, τα προσομοιωμένα στοιχεία, όπως η απόδοση και η φαινολογία, επικυρώθηκαν σε σύγκριση με παρατηρήσεις πολλαπλών περιοχών. Για τα μελλοντικά κλίματα, οι προβλεπόμενες αλλαγές υποδηλώνουν επέκταση της κλιματικής καταλληλότητας για την καλλιέργεια της αμπέλου προς τα βόρεια μέχρι τον παράλληλο  $55^{\circ}\text{ B}$ , δημιουργώντας έτσι τις απαραίτητες προϋποθέσεις για την εμφάνιση νέων

αμπελουργικών περιοχών σε υψηλότερα γεωγραφικά πλάτη στην Ευρώπη. Τα κύρια φαινολογικά στάδια (έκπτυξη οφθαλμών, άνθηση, πεκασμός και ωρίμανση) προβλέπεται να υποστούν σημαντική πρόοδο (> 2 εβδομάδες νωρίτερα), με επιπτώσεις στα μήκη των φαινοφάσεων μεταξύ αυτών των σταδίων. Προβλέπεται επίσης αυξημένη ξηρασία σε όλη την Ευρώπη, αλλά με σοβαρή υδατική καταπόνηση σε αρκετές περιοχές της νότιας Ευρώπης (π.χ. νότια Ισπανία, Πορτογαλία και Ιταλία), με τοπική μείωση της απόδοσης και της φυλλικής επιφάνειας. Οι μελλοντικές μεταβολές της βιομάζας μπορεί να οδηγήσουν σε τροποποιήσεις των απαιτήσεων σε άζωτο (N). Υπό μελλοντικές κλιματικές συνθήκες, οι αμπελώνες στη Νότια Ευρώπη ενδέχεται να παρουσιάσουν μείωση της αύξησης της βιομάζας, λόγω σοβαρής υδατικής καταπόνησης. Αυτό θα οδηγήσει σε υψηλή τάση έλλειψης N στη Βόρεια/Κεντρική Ευρώπη, υπό θερμότερες και υγρές συνθήκες. Στο πλαίσιο αυτό, το αυξημένο ατμοσφαιρικό CO<sup>2</sup> μπορεί να αντισταθμίσει εν μέρει τις επιπτώσεις της ξηρότητας, προωθώντας την αύξηση της απόδοσης και του δείκτη φυλλικής επιφάνειας στην Κεντρική/Βόρεια Ευρώπη (Charalampopoulos et al., 2021).

#### **2.4.5 Ανθεκτικές ποικιλίες - προσαρμογή ή αλλαγή ποικιλιών**

Η προστασία των καλλιεργειών είναι μια άλλη κρίσιμη πτυχή της αλλαγής του κλίματος. Αντιμετωπίζει κυρίως δύο προκλήσεις, τους παθογόνους μικροοργανισμούς και τις ασθένειες από θερμότερες περιοχές που μπορεί να επιβιώνουν όλο και περισσότερο κατά τη διάρκεια θερμότερων χειμώνων και το φάσμα των υφιστάμενων παθογόνων και ασθενειών ενδέχεται να αλλάξει. Ένα παράδειγμα νέας πρόκλησης που θέτει ένα χωροκατακτητικό είδος στην αμπελουργία είναι η κηλιδωτή φτερωτή δροσόφιλα, μια μύγα των φρούτων που κατάγεται από τη Νοτιοανατολική Ασία, αλλά εξαπλώνεται στις ΗΠΑ και την Ευρώπη από το 2008. Ενώ η εξάπλωση είναι αποτέλεσμα της αυξανόμενης παγκοσμιοποίησης και όχι της κλιματικής αλλαγής, η επιβίωση και η συνεχής εξάπλωση αυτού του είδους σε νέες περιοχές οφείλεται στους όλο και πιο ήπιους χειμώνες. Δεδομένα από τρεις δεκαετίες για επιλεγμένους παθογόνους μικροοργανισμούς της αμπέλου υποδεικνύουν αλλαγές στη φαινολογία των ράγων της αμπέλου, μετατοπίσεις στις περιοχές κατανομής των φυλλορύχων ως φορέων ασθενειών της αμπέλου και επέκταση της περιοχής εξάπλωσης των αλευρώδων της αμπέλου. Από τη μία πλευρά, οι αυξήσεις της θερμοκρασίας που προκύπτουν από την κλιματική αλλαγή είναι πιθανό να επιτρέψουν περισσότερες

γενεές παθογόνων μικροοργανισμών ανά καλλιεργητική περίοδο, ωστόσο, ταυτόχρονα, η ωρίμανση των καρπών και, συνεπώς, οι ημερομηνίες συγκομιδής αναμένονται νωρίτερα, περιορίζοντας τις ζημιές από τις γενεές παθογόνων μικροοργανισμών που εμφανίζονται στα τέλη της καλλιεργητικής περιόδου. Η κλιματική αλλαγή μπορεί επίσης να οδηγήσει σε μείωση της πίεσης των ασθενειών και, κατά συνέπεια, σε μειωμένη ανάγκη χρήσης φυτοφαρμάκων, όπως αποδείχθηκε για τον αλευρώδη και τον περονόσπορο στην περιοχή της Βουργουνδίας. Ωστόσο, σε παγκόσμιο επίπεδο, το ωίδιο είναι πιθανό να παραμείνουν η σημαντικότερη φυτοϋγειονομική απειλή.

Οι μεταβολές της υπεριώδους ακτινοβολίας *UV-B* έχουν προκαλέσει ανησυχία στο παρελθόν, λόγω των μεταβολών του προστατευτικού στρώματος του όζοντος. Η ακτινοβολία *UV-B* έχει αντίκτυπο στη σύνθεση των σταφυλιών, με τροποποιήσεις στους δευτερογενείς μεταβολίτες, όπως τα φλαβονοειδή, τα αμινοξέα και τα καροτενοειδή. Ανεξάρτητα από την περαιτέρω μελλοντική αύξηση της ακτινοβολίας *UV-B*, ο συνδυασμός υψηλών επιπέδων ακτινοβολίας και υψηλών θερμοκρασιών, ιδίως υπό έντονη υδατική καταπόνηση, είναι συχνά υπεύθυνος για ζημιές από ηλιακά εγκαύματα τόσο στα φύλλα όσο και στους καρπούς, συνθήκες που αναμένεται να γίνουν συχνότερες στη Νότια Ευρώπη (Lazoglou, et al., 2018).

Σε μια άλλη μελέτη, τα αυξημένα επίπεδα  $\text{CO}_2$  αποδείχθηκε ότι αυξάνουν τα επίπεδα ανθεκτικότητας του ξενιστή σε δύο δασικές ασθένειες, το υποχρεωτικό παθογόνο *Cronartium quercuum f.sp. fusiforme* και τον μύκητα του πισσόκοκκου, το προαιρετικό παθογόνο *Fusarium circinatum*, στις νότιες Ηνωμένες Πολιτείες (Runion et al. 2010).

## **2.5 Επίδραση κλιματικών συνθηκών στους εχθρούς και τις ασθένειες των φυτών**

Η κλιματική αλλαγή έχει επηρεάσει τις τριτροφικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ φυτών, φυτοφάγων και ανταγωνιστών με διάφορους και πολύπλοκους τρόπους (Thomson et al. 2010). Θεωρώντας τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των επιβλαβών εντόμων και των φυσικών εχθρών τους ως έναν αγώνα δρόμου, ένα ερώτημα που προκύπτει είναι ποιος θα κερδίσει τον αγώνα στο πλαίσιο ενός μεταβαλλόμενου κλίματος. Ο κύριος περιοριστικός παράγοντας στην προσπάθεια απάντησης ενός τέτοιου ερωτήματος είναι ότι, αν και υπάρχουν ιστορικά δεδομένα σχετικά με τις ζημιές

από παθογόνους μικροοργανισμούς σε αμπελώνες, εκείνα που αφορούν τα ποσοστά ρύθμισης του βιοελέγχου λείπουν κρίσιμα για μεγαλύτερες χρονικές περιόδους. Τα παρασιτοειδή ή τα αρπακτικά των χελωνοειδών στους αμπελώνες είναι γνωστά εδώ και πολύ καιρό, όπως για παράδειγμα το *Campoplex capitator* που ονομάζεται επίσης *Campoplex majalis* επειδή είναι πολύ δραστήριο τον Μάιο ή τα μέλη της οικογένειας *Trichogramma*. Το παρασιτοειδές *C. capitator* έχει ήδη χαρακτηριστεί ως το πιο αποτελεσματικό προνυμφικό παρασιτοειδές του *L. botrana* το 1842 και εξακολουθεί να είναι μέχρι και σήμερα (Moreau et al. 2010). Από την άποψη αυτή, η αποτελεσματικότητά του ως φυσικού παράγοντα ελέγχου του *L. botrana* δεν έχει μάλλον αλλάξει τόσο πολύ τον τελευταίο ενάμιση αιώνα. Ωστόσο, τα ιστορικά δεδομένα δυναμικής των πληθυσμών για αυτούς τους φυσικούς εχθρούς δεν είναι διαθέσιμα εμποδίζοντας οποιαδήποτε ακριβή σύγκριση της αποτελεσματικότητας των ανταγωνιστών με την πάροδο του χρόνου.

Τα χαρακτηριστικά της ιστορίας ζωής των παρασιτοειδών και των θηρευτών των εντόμων-παράσιτων του αμπελιού, καθώς και το γεωγραφικό εύρος κατανομής τους μπορούν να επηρεαστούν από τις κλιματικές αλλαγές. Τα είδη του γένους *Trichogramma* ως παρασιτοειδή των ραγών του σταφυλιού είναι παρόντα παγκοσμίως στους αμπελώνες και αποτελούν καλά παραδείγματα μεταβλητών αντιδράσεων στις αλλαγές της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας με έντονες διαφορές ανάλογα με το είδος ή τη γεωγραφική περιοχή προέλευσης (Foerster & Foerster 2009). Όχι μόνο οι σταθερές ή εναλλασσόμενες θερμοκρασίες, αλλά και τα καθημερινά βραχυπρόθεσμα θερμικά σοκ επηρεάζουν χαρακτηριστικά όπως τα ποσοστά ανάπτυξης και παρασιτισμού, η μακροζωία, η αναλογία φύλων και σε αρκετές περιπτώσεις χαρακτηριστικά που σχετίζονται με τη συμπεριφορά αναζήτησης τροφής, όπως η κινητική δραστηριότητα και η συμπεριφορά αναζήτησης (Firake & Khan 2014). Όλα αυτά τα χαρακτηριστικά μπορούν να επηρεάσουν τα ποσοστά αναπαραγωγής και, συνεπώς, την επιτυχία του παρασιτισμού (Kalyebi et al. 2006).

Όσον αφορά τα επιβλαβή έντομα, οι περιοχές κατανομής των παρασιτοειδών και των θηρευτών μπορεί να αλλάξουν και αναμένονται μειώσεις ή επεκτάσεις των γεωγραφικών περιοχών. Η μύγα *Phytophthora nigrina* είναι ένα παράδειγμα πρόσφατης επέκτασης της γεωγραφικής περιοχής στους ευρωπαϊκούς αμπελώνες. Αυτό το αποτελεσματικό εκτοπαρασιτοειδές των προνυμφών του *L. botrana* εμφανιζόταν κλασικά στους ισπανικούς αμπελώνες και επέκτεινε το εύρος εξάπλωσής

του στους αμπελώνες της Νότιας Γαλλίας κατά τις δύο τελευταίες δεκαετίες (Vogelweith et al. 2013).

Ένα μεγάλο μέρος του βιολογικού ελέγχου κατά των εντόμων του αμπελιού επιτυγχάνεται επίσης από γενικευμένους θηρευτές που δρουν το φθινόπωρο/χειμώνα, όπως οι αράχνες ή οι ωτοφάγοι. Είναι επομένως πιθανό ότι οι θερμές συνθήκες του φθινοπώρου θα επηρεάσουν τη δραστηριότητά τους και συνεπώς τη θηρευτική τους ικανότητα, αλλά μέχρι στιγμής ελάχιστα είναι γνωστά σχετικά με τις κλιματικές απαιτήσεις αυτών των ειδών.

Μεταξύ των παραγόντων που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα του παρασιτισμού, η αντίσταση του ξενιστή, ιδίως μέσω του ανοσοποιητικού του συστήματος, έλαβε πρόσφατα αυξανόμενη προσοχή (Vogelweith et al. 2013). Η θερμοκρασία μπορεί να επηρεάσει άμεσα το ανοσοποιητικό σύστημα του νεαρού ξενιστή (Bauerfeind & Fischer 2014) και να μεταβάλει την ευαισθησία του επιβλαβούς οργανισμού στους φυσικούς εχθρούς (μυκητιασικούς, ιογενείς ή βακτηριακή λοίμωξη ή παρασιτοειδή). Αρκετά αποτελέσματα δείχνουν ότι η αύξηση της θερμοκρασίας επηρεάζει θετικά την ανοσία (Mandriolo 2012), η οποία στις περισσότερες περιπτώσεις πληρώνεται αντίστροφα με κόστος καταλληλότητας (Vogelweith et al. 2013). Για παράδειγμα, η δραστηριότητα της φαινολοξειδάσης, ενός ενζύμου που εμπλέκεται στον μελανισμό και την ενθυλάκωση των αυγών των παρασιτοειδών, αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Οι μεταβολές στο ανοσοποιητικό σύστημα σχετίζονται επίσης με την ποιότητα της τροφής του ξενιστή (Vogelweith et al. 2013), στην οποία επιδρούν έμμεσα οι κλιματικοί παράγοντες.

Η θερμοκρασία είναι ένας από τους θεμελιώδεις αβιοτικούς παράγοντες που περιορίζουν το εύρος εξάπλωσης ενός οργανισμού. Ειδικότερα, η εξάπλωση πολλών φυτοφάγων εντόμων περιορίζεται από τις χαμηλές χειμερινές θερμοκρασίες. Έτσι, η αύξηση των χειμερινών θερμοκρασιών, όπως προβλέπεται από τα σενάρια κλιματικής αλλαγής, αναμένεται να είναι ο κύριος παράγοντας που θα επηρεάσει τις μετατοπίσεις της εξάπλωσης των εντόμων, αυξάνοντας την επιβίωση των σταδίων διαχείμασης (Garrett et al. 2006). Κατά συνέπεια, τα θερμοφιλά αρθρόποδα ευνοούνται στην τρέχουσα περιοχή εξάπλωσής τους λόγω της υπερθέρμανσης του πλανήτη και ενδέχεται να είναι σε θέση να επεκτείνουν την εξάπλωσή τους σε νέες, μη αποικισμένες προς το παρόν περιοχές, εφόσον υπάρχουν τα φυτά ξενιστές τους. Ωστόσο, οι περιοχές εξάπλωσης των εντόμων δεν καθορίζονται μόνο από τις αντιδράσεις των μεμονωμένων ειδών στις επικρατούσες κλιματικές συνθήκες, αλλά επηρεάζονται επίσης σε μεγάλο



βαθμό από τις αλληλεπιδράσεις με άλλα είδη ή από τις παρουσία κατάλληλων φυτών ξενιστών στη νέα θέση. Οι Hannah et al. (2013) παρουσιάζουν προβλέψεις για παγκόσμιες γεωγραφικές μεταβολές στην καταλληλότητα για την καλλιέργεια του αμπελιού, με προβλεπόμενη μείωση για τις παραδοσιακές οινοπαραγωγικές περιοχές, όπως το Μπορντό στη Γαλλία και η Τοσκάνη στην Ιταλία και αύξηση για τις βόρειες περιοχές της Βόρειας Αμερικής και της Ευρώπης, καθώς και για περιοχές σε μεγαλύτερα υψόμετρα. Οι White (2006) εκτιμούν μείωση της έκτασης παραγωγής οινοποιήσιμων σταφυλιών υψηλής ποιότητας στις Ηνωμένες Πολιτείες και τονίζουν τη σημασία των ακραίων θερμοκρασιακών φαινομένων για την καταλληλότητα των σημερινών και μελλοντικών αμπελουργικών περιοχών.

Πρόσφατες μετατοπίσεις της περιοχής εξάπλωσης που αποδίδονται στην κλιματική αλλαγή έχουν παρατηρηθεί και είναι καλά αναγνωρισμένες για πολλά είδη εντόμων (Musolin 2007). Για τα έντομα-παθογόνους του σταφυλιού, αναμένεται ότι τα είδη που σήμερα περιορίζονται, όπως λόγω χάρη σε μεσογειακά περιβάλλοντα ή έχουν τροπική και υποτροπική προέλευση, μπορούν να επεκτείνουν τη δυνητική περιοχή εξάπλωσής τους σε εύκρατες περιοχές υπό τις προβλεπόμενες μελλοντικές κλιματικές συνθήκες. Μια προσομοίωση των κλιματικών συνθηκών του έτους 2055 έδειξε μια κλιματικά καθοδηγούμενη μετατόπιση προς τα βόρεια των περιοχών κατανομής κατά 11 μοίρες Β για τον ευρωπαϊκό σκώρο της αμπέλου. Επιπλέον, το παγκόσμιο εμπόριο, το οποίο θεωρείται σημαντικός παράγοντας που συμβάλλει στις πρόσφατες εισβολές (Monceau et al. 2014), έχει αυξηθεί σημαντικά κατά τις τελευταίες δεκαετίες. Αυτό επεκτείνει τον κίνδυνο να μεταφερθούν κατά λάθος ξένα χωροκατακτητικά είδη σε νέες περιοχές, ευνοώντας έτσι την εξάπλωση σε μεγάλες αποστάσεις φυτοφάγων εντόμων, παθογόνων και ειδών φορέων παθογόνων (Jeger & Pautasso, 2008). Από την άποψη αυτή, αρκετά πρόσφατα παραδείγματα περιστατικών αιφνίδιων μετατοπίσεων στις περιοχές εξάπλωσης των εντομολογικών εχθρών της αμπέλου δίνονται από την παρουσία του ευρωπαϊκού σκώρου της αμπέλου *L. botrana* σε αμπελώνες της Καλιφόρνιας (Gutierrez et al. 2012) ή από την εισαγωγή της Ασιατικής μύγας (*Drosophila suzukii*) από την Ασία στην Ευρώπη και τις Ηνωμένες Πολιτείες (Cini et al. 2012).

### **3 Επίδραση της κλιματικής αλλαγής στους παθογόνους μικροοργανισμούς που προκαλούν τις ασθένειες της Αμπέλου, στην παθογένεση, αλλά και στους εχθρούς της αμπέλου**

#### **3.1 Κλιματική αλλαγή και παθογόνα αμπέλου**

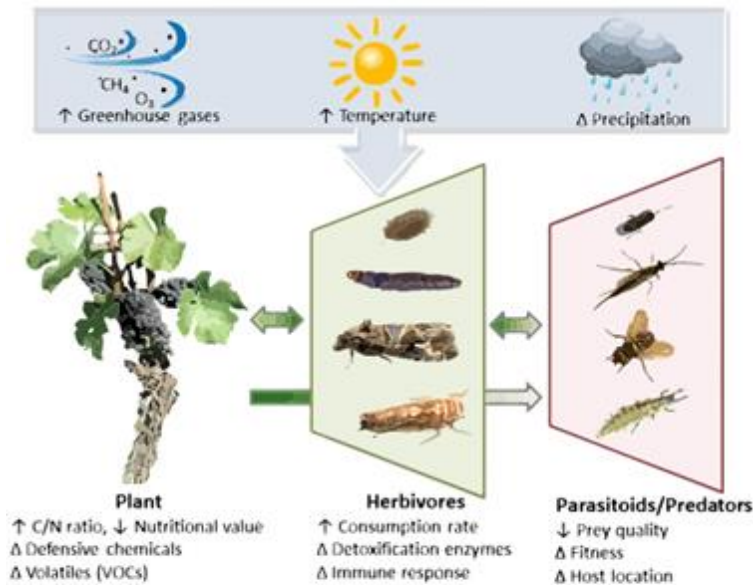
Τα αμπέλια φιλοξενούν διάφορα αρθρόποδα παθογόνα, τα οποία προσβάλλουν διάφορα μέρη του φυτού, όπως ρίζες, οφθαλμούς, ράγες ή φύλλα. Οι ζημιές που προκαλούνται από φυτοφάγα ακάρεα, *leafhoppers*, τρυπητά-μυζούντα έντομα ή από φυλλοφάγα ή συστάδες λεπιδόπτερα μπορεί να είναι είτε άμεσες λόγω των τροφικών δραστηριοτήτων είτε έμμεσες μέσω της μετάδοσης παθογόνων όπως βακτήρια ή ιοί (Bostanian et al. 2012). Σε γενικές γραμμές, οποιεσδήποτε άμεσες ή έμμεσες συνέπειες των αλλαγών στους αβιοτικούς παράγοντες που επηρεάζουν διαφορετικά την ανάπτυξη ή την καταλληλότητα της αμπέλου ή θα μεταβάλουν την καταλληλότητά της ως φυτό ξενιστή για φυτοφάγα παθογόνα έντομα. Οι αυξήσεις των ατμοσφαιρικών επιπέδων του CO<sup>2</sup> μπορούν να μεταβάλουν τους ρυθμούς φωτοσύνθεσης των φυτών καθώς και τη χημική σύνθεση των φυτικών ιστών (Gutschick, 2007). Τα φυτά που αναπτύσσονται σε αυξημένα επίπεδα CO<sup>2</sup> παρουσιάζουν συνήθως αύξηση των ρυθμών φωτοσύνθεσης και της παραγωγής βιομάζας, γνωστό ως το λεγόμενο φαινόμενο γονιμοποίησης. Η διέγερση της φωτοσύνθεσης υπό αυξημένα επίπεδα CO<sup>2</sup> οδηγεί σε χαμηλότερα επίπεδα ολικού αζώτου, ενώ οι υδατάνθρακες συσσωρεύονται στο φύλλωμα των φυτών, δημιουργώντας υψηλότερη αναλογία άνθρακα προς άζωτο (C:N) (Zavala et al. 2013). Ταυτόχρονα, ένας αυξημένος λόγος C:N στα φύλλα μειώνει τη θρεπτική ποιότητα του φυτού για τα φυτοφάγα έντομα, τα οποία με τη σειρά τους μπορεί να ανταποκριθούν σε αυτή τη μειωμένη ποιότητα τροφής επιταχύνοντας την πρόσληψη τροφής (Zavala et al. 2013). Για τα αμπέλια, οι μεταχειρίσεις εμπλουτισμού με CO<sup>2</sup> σε μια εγκατάσταση εμπλουτισμού με CO<sup>2</sup> ελεύθερου αέρα (FACE) που πραγματοποιήθηκε σε έναν ιταλικό αμπελώνα (Bindi et al. 2001) αποκάλυψαν ότι τα σταφύλια που καλλιεργήθηκαν υπό αυξημένα επίπεδα CO<sup>2</sup> συσσωρεύσαν καρπό και βλαστική βιομάζα με υψηλότερο ρυθμό. Ωστόσο, αυτή η επίδραση του CO<sup>2</sup> -λίπανσης μπορεί να μειωθεί από τις αρνητικές επιδράσεις άλλων κλιματικών παραγόντων ή αβιοτικών συνθηκών που αναμένονται στο πλαίσιο μελλοντικών σεναρίων κλιματικής αλλαγής. Οι Leibar et al., (2015) καλλιέργησαν αμπέλια υπό διάφορους αβιοτικούς παράγοντες καταπόνησης, όπως αυξημένη θερμοκρασία, αυξημένη ατμοσφαιρική συγκέντρωση CO<sup>2</sup> ή/και

υδατική καταπόνηση, εξετάζοντας έτσι τις πιθανές επιδράσεις ενός συνδυασμού πολλαπλών παραγόντων καταπόνησης στην απόδοση των φυτών. Για παράδειγμα, η φωτοσυνθετική δραστηριότητα των αμπελιών που αναπτύχθηκαν υπό συνδυασμό αυξημένου CO<sup>2</sup>, αυξημένης θερμοκρασίας και καλά ποτισμένων συνθηκών αυξήθηκε. Ωστόσο, αυτές οι θετικές επιδράσεις καταργήθηκαν υπό την παρουσία ελλείμματος νερού.

Οι μεταβολές στη χημική σύνθεση των φυτικών ιστών ως αποτέλεσμα των μεταβολών των αβιοτικών παραγόντων ενδέχεται επίσης να επηρεάζουν τους φυσικούς και χημικούς μηχανισμούς άμυνας των αμπελιών κατά των φυτοφάγων εντόμων. Οι αντιδράσεις χημικής άμυνας που βασίζονται στην παραγωγή δευτερογενών αμυντικών ενώσεων από τα αμπέλια έναντι των αρθροπόδων δεν είναι καλά κατανοητές μέχρι στιγμής και μόλις πρόσφατα αποτέλεσαν αντικείμενο μερικών μελετών (Timm & Reineke 2014), αλλά περιγράφονται καλά σε άλλα συστήματα φυτών-εντόμων (Barah & Bones 2015). Μελέτες σχετικά με τις επιπτώσεις των σεναρίων κλιματικής αλλαγής στους αμυντικούς μηχανισμούς των φυτών έχουν δείξει ότι η έκθεση σε αυξημένο CO<sup>2</sup> καταστέλλει την αμυντική ορμόνη των φυτών, το γιασμονικό οξύ (*JA*), ενώ διεγείρει την παραγωγή σαλικυλικού οξέος (*SA*) (DeLucia et al. 2012). Το μονοπάτι του *JA* θεωρείται ο βασικός οδηγός της ανθεκτικότητας έναντι των μασητικών εντόμων, ενώ το *SA* έχει σημασία για τους αμυντικούς μηχανισμούς έναντι των μικροβιακών παθογόνων. Κατά συνέπεια, αυτή η μετατόπιση στα επίπεδα των φυτικών ορμονών θα μπορούσε να οδηγήσει σε αυξημένη ευαισθησία των φυτών σε ζημιές από έντομα, ενώ ταυτόχρονα ενισχύεται η αντίσταση στα παθογόνα. Επιπλέον, περιβαλλοντικοί παράγοντες όπως η ένταση του φωτός, το ατμοσφαιρικό CO<sup>2</sup> συγκέντρωση, η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία και η θρεπτική κατάσταση του φυτού μπορούν να επηρεάσουν σε μεγάλο βαθμό τη βιοσύνθεση, το προφίλ εκπομπής και τον χρόνο εκπομπής των φυτικών βιογενών πτητικών ενώσεων (*BVOCs*) (Loreto & Schnitzler 2010). Οι *BVOCs* είναι σημαντικές στις διαδικασίες προσαρμογής των φυτών, ως ημιχημικές ουσίες στη δια- και ενδοειδική επικοινωνία, καθώς και στις αντιδράσεις άμυνας των φυτών και είναι γνωστό ότι η παραγωγή, η εκπομπή και η σταθερότητά τους επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από αβιοτικούς παράγοντες (Yuan et al. 2009). Μια μετα-ανάλυση από τους Robinson et al. (2012) επισήμανε μια συνολική σημαντική μείωση της συνολικής συγκέντρωσης τερπενίων λόγω του αυξημένου CO<sup>2</sup> σε διάφορα είδη φυτών, η οποία με τη σειρά της μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένη σύνθεση ορισμένων *BVOCs*. Ωστόσο, η πρόβλεψη μιας διαφοροποιημένης παραγωγής *BVOC*

υπό σενάρια κλιματικής αλλαγής είναι εξαιρετικά πολύπλοκη και δεν έχει κατανοηθεί πλήρως μέχρι στιγμής και θα πρέπει επίσης να λαμβάνει υπόψη τους πιθανούς μηχανισμούς προσαρμογής τόσο στα φυτά όσο και στα έντομα (DeLucia et al. 2012, Zavala et al. 2013).

Τα αυξημένα επίπεδα CO<sup>2</sup> έχουν επίσης την τάση να προκαλούν μεταβολές στη δομή των φυτών, οι οποίες μπορεί να εκδηλωθούν με αυξημένη επιφάνεια φύλλων, πάχος φύλλων ή μεγαλύτερο αριθμό φύλλων (Robinson et al. 2012). Τέτοιες τροποποιήσεις στην αρχιτεκτονική των φυτών αμπέλου μπορεί να επηρεάσουν τις οπτικές ενδείξεις που είναι γνωστό ότι είναι σημαντικές κατά τον εντοπισμό των φυτών ξενιστών από τα αρθρόποδα. Επιπλέον, μπορεί να επηρεαστεί η πυκνότητα και η ποσότητα των ευαίσθητων φυτικών ιστών καθώς και το μικροκλίμα του φυτού με αποτέλεσμα την αύξηση της υγρασίας της επιφάνειας των φύλλων και της διάρκειας της υγρασίας της επιφάνειας των φύλλων (Calonnec et al. 2008). Για τα παθογόνα, οι αλλαγές στο μικροκλίμα του φυτού θα διευρύνουν τον κίνδυνο μόλυνσης από ορισμένα παθογόνα του φυλλώματος, όπως το περονόσπορο *Plasmopara viticola* ή το οίδιο *Uncinula necator*. Ωστόσο, την ίδια στιγμή, μελέτες φυτοτρονίων έδειξαν ότι η αύξηση των επιπέδων CO<sup>2</sup> δεν επηρέασε την επίπτωση του οιδίου, γεγονός που είναι σύμφωνο με προσομοιώσεις της σοβαρότητας της ασθένειας για το ίδιο παθογόνο που δείχνουν μάλλον μείωση των μελλοντικών επιπέδων σοβαρότητας της ασθένειας (Caffarra et al. 2012). Η σχετική υγρασία είναι σημαντική για την ανάπτυξη πληθυσμών εντόμων, αλλά το νερό στην επιφάνεια των φυτών υποτίθεται ότι είναι λιγότερο κρίσιμη παράμετρος. Επιπλέον, τυχόν μεταβολές στη δομή των στεγάστρων της αμπέλου λόγω αβιοτικών παραγόντων ενδέχεται να επηρεάσουν την παρουσία επιβλαβών ή ωφέλιμων αρθροπόδων. Για τα ακάρεα της αράχνης, έχει αποδειχθεί ότι τα πρότυπα κατανομής στο θόλο της αμπέλου επηρεάζονται από τη ζωνρότητα των φυτών. Ωστόσο, η χωρική και χρονική δυναμική των αρθροπόδων σε ζώνες της κόμης της αμπέλου δεν είναι μέχρι στιγμής καλά κατανοητή, παρόλο που το κλάδεμα της αμπέλου προσφέρει ουσιαστικά δυνατότητες μεταβολής της αρχιτεκτονικής του φυτού και, συνεπώς, της καταλληλότητάς του ως ενδιαιτήματος για τα αρθρόποδα.



**Εικόνα 9: Σχηματική απεικόνιση παραδειγμάτων των πιθανών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στις τριτροφικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των αμπελιών, των σχετικών φυτοφάγων ζώων και των φυσικών εχθρών τους**

Πηγή: Reineke & Thiéry (2016).

- **Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στα αμπέλια, οι ράγες και το κρασί**

Τόσο η καλλιέργεια της αμπέλου όσο και η παραγωγή οίνου είναι ευάλωτες στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Η θερμική και υδατική καταπόνηση που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή μπορεί να επηρεάσει τη φαινολογία της αμπέλου, την πίεση από παθογόνους και ασθένειες, την απόδοση της καλλιέργειας και τη σύνθεση των ραγών και του κρασιού.

- **Φαινολογία της αμπέλου**

Η φαινολογία της αμπέλου έχει δύο αναπτυξιακούς κύκλους, γνωστούς ως βλαστικό και αναπαραγωγικό κύκλο. Αυτοί οι κύκλοι είναι πολύπλοκοι και περιλαμβάνουν την ανάπτυξη της αμπέλου και των καρπών για την τρέχουσα περίοδο καθώς και για την επόμενη. Αυτοί οι κύκλοι είναι υπεύθυνοι για τον σχηματισμό των β ραγών και την ανάπτυξη της αμπέλου. Υπάρχει ισχυρή συσχέτιση μεταξύ της φαινολογίας της αμπέλου και των περιβαλλοντικών παραγόντων, όπως η διάρκεια της ημέρας, η θερμότητα, το νερό, το έδαφος και το φως. Οι παράγοντες της κλιματικής αλλαγής, όπως το αυξημένο  $CO_2$ , οι αυξημένες θερμοκρασίες και η υδατική

καταπόνηση, έχουν διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στα πρότυπα ανάπτυξης της αμπέλου.

Το διοξείδιο του άνθρακα αποτελεί μείζονα ανησυχία για την κλιματική αλλαγή, καθώς η συγκέντρωση του ατμοσφαιρικού CO<sup>2</sup> αναμένεται να φθάσει τα 600 ppm. Τα υψηλά επίπεδα CO<sup>2</sup> μπορούν να προωθήσουν φυσιολογικές αλλαγές στα αμπέλια. Η αύξηση των επιπέδων του CO<sup>2</sup> θα περιορίσει την παραγωγή φυτικών ορμονών, όπως το αιθυλένιο και το γιασμονικό οξύ, τα οποία είναι και τα δύο σημαντικά στην αμυντική αντίδραση των φυτών.

Οι θερμοκρασίες μπορούν να επηρεάσουν την ποιότητα των σταφυλιών, καθώς οδηγούν σε πρόωρη έναρξη της καλλιεργητικής περιόδου, δημιουργώντας πρόωρη αποξήρανση από την πρόωμη ζέστη, η οποία μπορεί να επηρεάσει την ενεργοποίηση των ενζύμων ή να προκαλέσει κακή ωρίμανση. Αυτό θα προκαλούσε μείωση της καλλιεργητικής περιόδου και επιτάχυνση της ωρίμανσης των ραγών. Όταν η συσσώρευση σακχάρων αρχίζει νωρίτερα και εξελίσσεται ταχύτερα στις θερμότερες περιόδους της καλλιεργητικής περιόδου, η φαινολική σύνθεση και η συγκέντρωση ανθοκυανών στις ράγες μπορεί να επηρεαστούν αρνητικά, προκαλώντας λιγότερο από τα επιθυμητά επίπεδα συγκομιδής. Για παράδειγμα, κατά τη διάρκεια της ανθοφορίας και της περιόδου ανάπτυξης των ραγών, οι ακραίες θερμοκρασίες μπορεί να προκαλέσουν μαλάκωμα των ραγών και αλλαγές στο χρώμα των ραγών. Έχει αποδειχθεί ότι η συσσώρευση των ανθοκυανινών, οι οποίες είναι υπεύθυνες για τον χρωματισμό των ραγών, είναι χαμηλότερη όταν η ωρίμανση πραγματοποιείται σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Η πρόωρη αποξήρανση μπορεί να οδηγήσει σε λιγότερη συσσώρευση αρωματικών και γευστικών ενώσεων, η οποία μπορεί να επηρεάσει την ανάπτυξη της γεύσης των ραγών. Παρόμοιες παρατηρήσεις έχουν γίνει σε διάφορες αμπελουργικές περιοχές. Συνοπτικά, οι ολοένα και υψηλότερες θερμοκρασίες θα οδηγούσαν σε αρνητικά αποτελέσματα για την ποιότητα των σταφυλιών και του οίνου.

Ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την ανάπτυξη και την παραγωγικότητα της αμπέλου είναι η διαθεσιμότητα νερού. Η κλιματική αλλαγή συνδέεται με απρόβλεπτες βροχοπτώσεις και πιο σοβαρές συνθήκες ξηρασίας που αναμένεται να επηρεάσουν την απόδοση και τη συνολική ανάπτυξη της αμπέλου. Όταν η έλλειψη νερού εμφανίζεται νωρίς στην εποχή, μπορεί να μειώσει την απόδοση επηρεάζοντας τη γονιμότητα των οφθαλμών, καθώς οι αναπαραγωγικές δομές στο εσωτερικό των αδρανών οφθαλμών είναι ευαίσθητες κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου. Μόλις το αμπέλι ξεπεράσει την έκπτυξη των οφθαλμών, η αναπαραγωγική

ανάπτυξη είναι σχετικά ανεπηρέαστη. Μια άλλη επίπτωση της κλιματικής αλλαγής είναι ο συνδυασμός υψηλότερων θερμοκρασιών και απρόβλεπτων βροχοπτώσεων, που οδηγεί σε ελλείψεις νερού. Οι υψηλοί ρυθμοί εξατμισοδιαπνοής και οι αυξημένες απαιτήσεις των φυτών σε νερό προκαλούνται από τις υψηλότερες θερμοκρασίες. Όταν τα ελλείμματα νερού είναι μέχρι 50% του ορίου εξατμισοδιαπνοής, δεν υπάρχει σχεδόν καμία επίδραση στην απόδοση- ωστόσο, όταν το όριο ξεπεραστεί, η απόδοση μειώνεται. Το φαινόμενο αυτό είναι πιο εμφανές κατά τη διάρκεια της φαινολογικής φάσης από την έκπτυξη των οφθαλμών έως την άνθηση (Costa et al., 2020).

### **3.2 Μηχανισμοί άμυνας του Φυτού, παθογένεση και ο ρόλος του περιβάλλοντος**

- **Πίεση από παθογόνους μικροοργανισμούς και ασθένειες**

Μελέτες έχουν διαπιστώσει ότι η κλιματική αλλαγή προκαλεί μεγαλύτερη πίεση από παθογόνα και ασθένειες στους αμπελώνες. Ένα υγιές αμπέλι μπορεί να δημιουργήσει αντίσταση ή να καταπολεμήσει πιθανές επιθέσεις λόγω του αμυντικού συστήματος του φυτού. Οι εχθροί ή τα παθογόνα συνήθως προσβάλλουν την άμπελο κατά τη διάρκεια συγκεκριμένων εκτεθειμένων περιόδων του κύκλου ζωής της αμπέλου. Ωστόσο, η κλιματική αλλαγή μπορεί να τροποποιήσει την περίοδο που ένα φυτό θα εκτεθεί σε ένα παθογόνο. Για παράδειγμα, οι υψηλές θερμοκρασίες θα προωθούσαν την ανάπτυξη παθογόνων και θα αύξαναν τα ποσοστά επιβίωσης, γεγονός που μπορεί να αλλάξει την ευαισθησία ενός ξενιστή (φυτού) σε παθογόνα και ασθένειες.

Οι ασθένειες των φυτών μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δείκτης της κλιματικής αλλαγής. Αυτό μπορεί να περιπλέκεται με όλες τις βιολογικές αλληλεπιδράσεις που οδηγούν σε ασθένειες. Οι ασθένειες θα εμφανίζονται συχνότερα όταν τα αμπέλια καταπονούνται σε θερμότερα κλίματα. Υπάρχει μια ανησυχία σχετικά με τις ασθένειες ότι τα αυξημένα επίπεδα CO<sup>2</sup> θα μειώσουν την ικανότητα των φυτών να αποσυντίθενται, οπότε τα φύλλα ή το φυτικό υλικό στο έδαφος μπορεί να προκαλέσουν ανάπτυξη спорίων μυκήτων, εάν δεν γίνει σωστή διαχείριση. Αυτό, σε συνδυασμό με τις εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες που μπορεί να προκαλέσουν ηλιακά εγκαύματα στις ράγες και να βλάψουν το δέρμα των ραγών, θα μπορούσε να αυξήσει το ποσοστό μόλυνσης από *Botrytis cinerea* στα σταφύλια. Όταν η φαινολογία

του φυτού και του παθογόνου ευθυγραμμίζονται, μπορούν να εμφανιστούν περισσότερες ασθένειες των φυτών.

Ανάλογα με το μέγεθος της υπερθέρμανσης του πλανήτη, μπορεί να επηρεάσει τη φαινολογία των εντόμων επηρεάζοντας το χρόνο εμφάνισης και τα πρότυπα διατροφής τους. Δεδομένου ότι μπορεί να υπάρξει αλλαγή στη χρονική στιγμή της φαινολογίας του αμπελιού -για παράδειγμα, στην έκπτυξη των οφθαλμών ή στην ανάπτυξη του φυλλώματος- αυτό θα μπορούσε να οδηγήσει σε αλλαγή στην επιβίωση των εντόμων, δεδομένου ότι ο χρόνος των εντόμων καθορίζεται από το φυτό. Εάν δεν αναδύονται στα στάδια ανάπτυξης που απαιτούνται για την επιβίωση, αυτό θα μπορούσε να προκαλέσει στον πληθυσμό να υποστεί τροφική πείνα ή να μην είναι σε θέση να καλύψει τις ανάγκες επιβίωσης. Οι αυξημένες συγκεντρώσεις CO<sup>2</sup> μπορούν να οδηγήσουν στη συσσώρευση μη δομικών υδατανθράκων στο φυτό, γεγονός που οδηγεί σε χαμηλότερες συγκεντρώσεις αζώτου στους ιστούς. Αυτό μπορεί να οδηγήσει στην ανάγκη τα έντομα να καταναλώνουν περισσότερο φύλλωμα για να καλύψουν τις ανάγκες τους σε άζωτο. Έτσι, οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στα έντομα είναι πολύπλοκες και περιλαμβάνουν αρκετούς άγνωστους παράγοντες, όπως η εισαγωγή νέων παθογόνων μικροοργανισμών, ο ανταγωνισμός μεταξύ των παθογόνων μικροοργανισμών και η παρουσία ωφέλιμων εντόμων.

Ωστόσο, πολλά από τα εξαιρετικά κινητικά εχθρικά έντομα μπορούν να παρακολουθήσουν τις συνθήκες της κλιματικής αλλαγής, ενώ για τα λιγότερο κινητικά είδη αυτό μπορεί να πάρει λίγο χρόνο. Οι αλευρώδεις της αμπέλου, για παράδειγμα, είναι λιγότερο πιθανό να εγκαταλείψουν τις κρυψώνες τους κάτω από το φλοιό και στις ρίζες για να μεταναστεύσουν προς τα φύλλα και τους καρπούς κατά τη διάρκεια θερμών συνθηκών. Ωστόσο, εάν οι ημερήσιες θερμοκρασίες αυξηθούν κατά 2°C ή 4°C, οι περισσότερες περιοχές θα περίμεναν αύξηση της συνολικής πυκνότητας των αλευρωδών. Στην Καλιφόρνια για παράδειγμα, οι πυκνότητες των αλευρωδών προβλέπεται να είναι υψηλότερες στους ψυχρότερους αμπελώνες ενώ θα είναι χαμηλότερες στις θερμότερες περιοχές, όπως η κοιλάδα *Coachella*. Οι εξαιρετικά υψηλές καλοκαιρινές θερμοκρασίες στην κοιλάδα *Coachella* μπορεί να προκαλέσουν θνησιμότητα των αλευρωδών. Συγκριτικά, οι καλοκαιρινές θερμοκρασίες στην κοιλάδα *San Joaquin* δεν είναι αρκετά θερμές ώστε να προκαλούν υψηλά ποσοστά θνησιμότητας- έτσι, οι πληθυσμοί των αλευρωδών μπορούν να αυξηθούν σημαντικά κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Σε ψυχρότερες περιοχές, όπως οι παράκτιες περιοχές, η αφθονία των αλευρωδών ακολουθεί παρόμοιο μοτίβο με αυτό



της κοιλάδας *San Joaquin*, αλλά με λιγότερους καλοκαιρινούς κύκλους δημιουργίας. Καθώς πολλές από τις κατανομές των παρασίτων και των παθογόνων μικροοργανισμών θα αλλάξουν, θα πρέπει να παρακολουθούνται οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ αυτών και των φυτών. Επιπλέον, οι ερευνητές έχουν διαπιστώσει ότι η διαχείριση των παρασίτων και των ζιζανίων είναι οι κύριες εστίες εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στον κύκλο ζωής της παραγωγής σταφυλιών (Venios et al., 2020).

- **Απόδοση αμπέλου**

Η απόδοση της αμπέλου εξαρτάται από τη γονιμότητα του εδάφους και τις κλιματολογικές συνθήκες. Υψηλές αποδόσεις μπορούν να επιτευχθούν με μέτρια υψηλές θερμοκρασίες, επαρκείς συνθήκες φωτισμού και αρκετό άζωτο και νερό. Οι αυξημένες θερμοκρασίες είναι ευεργετικές για την απόδοση της καλλιέργειας σε ορισμένες περιοχές με ψυχρό κλίμα. Οι αποδόσεις και η ποιότητα των ραγών βελτιώθηκαν στις κοιλάδες *Napa* και *Sonoma* λόγω της μικρότερης εμφάνισης παγετού και της μεγαλύτερης καλλιεργητικής περιόδου. Ωστόσο, τα αμπέλια που καλλιεργούνται υπό υπερβολική θερμική καταπόνηση υφίστανται περιορισμό της φωτοσύνθεσης, συμβάλλοντας έτσι σε σημαντικές μειώσεις της απόδοσης. Οι καύσωνες μπορεί να οδηγήσουν σε μείωση της απόδοσης έως και 35% σε ορισμένες αμπελουργικές περιοχές. Οι συνθήκες ξηρασίας μειώνουν την απόδοση των σταφυλιών και η μείωση μπορεί να εξαρτάται από την ποικιλία. Κατά τη διάρκεια συνθηκών ξηρασίας, το κλείσιμο των στομάτων και η εξασθένηση του φωτοσυνθετικού μηχανισμού περιορίζουν τη φωτοσύνθεση. Το αυξημένο έλλειμμα νερού λόγω της μείωσης των βροχοπτώσεων σε συνδυασμό με την αύξηση της εξατμισοδιαπνοής επηρεάζει την απόδοση. Μελέτες έχουν διαπιστώσει ότι το έλλειμμα νερού επηρεάζει αρνητικά την απόδοση. Το βάρος των ραγών είναι ένα από τα συστατικά της απόδοσης που επηρεάζεται περισσότερο από τη διαθεσιμότητα νερού και χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της απόδοσης ενός αμπελώνα. Αμπέλια *Shiraz* με έλλειμμα νερού μετά την άνθηση παρουσίασαν σημαντικές μειώσεις στο βάρος των μούρων σε σύγκριση με τα επαρκώς ποτισμένα αμπέλια, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια εποχών υψηλής θερμοκρασίας. Μια άλλη πηγή μεταβλητότητας της απόδοσης είναι η θερμοκρασία. Μια μελέτη για το *Sangiovese* και το *Cabernet Sauvignon* στην Ιταλία σε σχέση με την κλιματική αλλαγή ανέφερε ότι ο θερμότερος καιρός είχε ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη μεταβλητότητα της απόδοσης (Agosta et al., 2012).

- **Σύσταση ραγών, γλευκούς και οίνου**

Οι ράγες σταφυλιών αποτελούνται από αρκετές εκατοντάδες χημικές ενώσεις, όπως νερό, ζυμώσιμα σάκχαρα, οργανικά οξέα, αζωτούχες ενώσεις, ανόργανα άλατα, πηκτίνες, φαινολικές ενώσεις και αρωματικές ενώσεις. Οι περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως το έδαφος, η τοπογραφία και το κλίμα, επηρεάζουν τις αποδόσεις, τη σύνθεση των σταφυλιών και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, καθώς και την ποιότητα των οίνων. Οι υψηλότερες θερμοκρασίες μπορούν να επιταχύνουν τον μεταβολισμό των σταφυλιών, οδηγώντας σε αλλαγές στη βιοσύνθεση βασικών συστατικών. Μια έκθεση διαπίστωσε ότι οι μεταβολικές οδοί στα σταφύλια άλλαξαν μόλις η θερμοκρασία περιβάλλοντος ήταν 30 °C. Πολλές μελέτες παρέχουν στοιχεία για αλλαγές στη σύνθεση των σταφυλιών και των οίνων, συμπεριλαμβανομένων δραματικών αλλαγών στο pH, την ολική οξύτητα και την αλκοόλη.

- **Σάκχαρα, οξέα και αλκοόλη**

Οι αυξημένες θερμοκρασίες έχουν συσχετιστεί με συσσώρευση σακχάρων και οργανική αποικοδόμηση, με αποτέλεσμα μια μη ισορροπημένη αναλογία σακχάρων-οξέων. Ο οίνος που παράγεται από αυτά τα είδη ραγών περιέχει υψηλότερη περιεκτικότητα σε αλκοόλη και υπολείπεται σε φρεσκάδα και αρωματική πολυπλοκότητα. Οι θερμότερες συνθήκες στη Σλοβενία οδήγησαν σε μεγάλη μείωση της ολικής οξύτητας στις ποικιλίες οίνου πρώιμης ωρίμανσης. Τα επίπεδα μηλικού οξέος σταφυλιών είναι συνήθως χαμηλά σε περιοχές με θερμό κλίμα, καθώς τείνει να αποικοδομείται σε υψηλές θερμοκρασίες. Οι Lecourieux κ.ά. διαπίστωσαν ότι η επιβολή θερμικής επεξεργασίας (+8 °C, 14 ημέρες) σε σταφυλοσυλλογές κατά τη διάρκεια της αποξήρανσης και κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης των ραγών μείωσε σημαντικά τη συγκέντρωση του μηλικού οξέος στις ράγες, ενώ αύξησε ορισμένα αμινοξέα, όπως η φαινυλαλανίνη, το γ-αμινοβουτυρικό οξύ, η προλίνη και η λευκίνη. Οι μεταβολές στις συγκεντρώσεις των οξέων θα μπορούσαν να οφείλονται στη βαθιά αναδιαμόρφωση του μεταγραφικού σώματος στις θερμαινόμενες ράγες (Chaves et al., 2010)

- **Ανθοκυανίνες**

Οι ανθοκυανίνες στις ράγες είναι φαινολικές ενώσεις που είναι υπεύθυνες για τον χρωματισμό των ραγών. Η θερμοκρασία έχει βρεθεί ότι είναι ένας κρίσιμος παράγοντας που επηρεάζει τη σύνθεση των ανθοκυανών λόγω του ότι τα ένζυμα της μεταβολικής οδού είναι ευαίσθητα στη θερμοκρασία. Εάν η συσσώρευση σακχάρων

αρχίζει νωρίτερα και προχωρά ταχύτερα κατά την καλλιεργητική περίοδο υπό υψηλές θερμοκρασίες, η συγκέντρωση ανθοκυανών στις ράγες δεν μπορεί να φθάσει στα επιθυμητά επίπεδα κατά τη συγκομιδή. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για τις αμπελουργικές περιοχές με θερμό κλίμα. Οι ράγες έχουν συνήθως μη ισορροπημένη σύνθεση, με υψηλότερα ολικά διαλυτά στερεά, χαμηλή οξύτητα και λιγότερες ανθοκυανίνες. Επιπλέον, οι ανθοκυανίνες είναι εξαιρετικά ασταθείς και ευαίσθητες στη θερμική αποικοδόμηση. Έρευνες έχουν δείξει ότι οι ανθοκυανίνες τείνουν να συσσωρεύονται καλύτερα στους 20 °C παρά στους 30 °C. Η συσσώρευση ανθοκυανών μειώνεται μόλις η θερμοκρασία αυξηθεί πάνω από τους 30 °C [63,64].

- **Άρωμα**

Οι αυξημένες θερμοκρασίες και η ηλιακή ακτινοβολία μεταβάλλουν τους δευτερογενείς μεταβολίτες στις ράγες, επηρεάζοντας έτσι την ανάπτυξη της γεύσης. Το εύρος θερμοκρασιών 20-22 °C φαίνεται να είναι το βέλτιστο για το σχηματισμό αρώματος κατά το στάδιο της ωρίμανσης των σταφυλιών για τις περισσότερες ποικιλίες. Έχει παρατηρηθεί αυξημένη εξάτμιση των αρωματικών ενώσεων σε υψηλές θερμοκρασίες. Η περιεκτικότητα σε τερπενόλη των ποικιλιών *Moscatel de Alejandria* (Μοσχάτο Αλεξανδρείας) και *Moscatel Rosada* (Μοσχάτο Ρόδο) ήταν χαμηλότερη ως αποτέλεσμα της υπερέκθεσης των αμπελιών στο ηλιακό φως και της υψηλότερης θερμοκρασίας των ραγών. Οι συγκεντρώσεις ορισμένων αρωματικών ενώσεων μπορεί να αυξηθούν λόγω των υψηλών θερμοκρασιών, αλλά αυτό προσδίδει αρνητικές επιπτώσεις στον οίνο, καθώς διαταράσσει την ισορροπία του αρωματικού προφίλ. Οι συγκεντρώσεις του 1,6-τριμεθυλο-1,2-διυδροναφθαλίνης (TDN) ποικίλλουν ανάλογα με τις κλιματικές περιοχές. Οι θερμές θερμοκρασίες αύξησαν τον σχηματισμό TDN, ο οποίος μπορεί να είχε αρνητική επίδραση στον οίνο *Riesling*, με υπερβολικές νότες βενζίνης. Οι ράγες (σταφύλια) *Cabernet Sauvignon* που εκτέθηκαν σε υψηλή θερμοκρασία παρουσίασαν μειωμένο αρωματικό δυναμικό λόγω απορρύθμισης πολλών γονιδίων που σχετίζονται με το άρωμα και τις πρόδρομες ουσίες του αρώματος. Τα αποτελέσματα υπέδειξαν ότι η θερμική επεξεργασία συνέβαλε στη μείωση των πτητικών τερπενοειδών που προκλήθηκε από την καταστολή πολλών βασικών ενζύμων στη βιοσυνθετική οδό. Η βιοσύνθεση των καροτενοειδών μειώθηκε επίσης με τη θερμική επεξεργασία. Η έκθεση σε υψηλή θερμοκρασία οδήγησε επίσης σε δραστική μείωση της περιεκτικότητας σε 2-μεθοξυ-3-ισοβουτυλοπυραζίνη (*IBMP*) στις ώριμες ράγες λόγω της καταστολής του βασικού γονιδίου *VviOMT3*. Το *VviOMT3* αναφέρθηκε ότι είναι υπεύθυνο για τη σύνθεση της *IBMP* (Gambetta, 2016).

### **3.3 Επίδραση της κλιματικής αλλαγής στους εντομολογικούς εχθρούς της αμπέλου**

Οι μεταβολές της θερμοκρασίας, των βροχοπτώσεων και άλλων κλιματικών παραγόντων αναμένεται να έχουν σημαντικές επιπτώσεις στους εχθρούς του αμπελιού, καθώς και στη σοβαρότητα των επιδημιών που προκαλούν στο φυτό ξενιστή τους. Για πολλά είδη εντόμων, η θερμοκρασία είναι ο βασικός αβιοτικός παράγοντας με άμεσες επιπτώσεις στη διάρκεια του κύκλου ζωής, τον βολτινισμό, τη φαινολογία και την εξάπλωση της περιοχής (Bale et al., 2002). Παραδείγματα για τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής σε αυτά τα χαρακτηριστικά δίνονται παρακάτω. Σύμφωνα με τα σενάρια κλιματικής αλλαγής, προβλέπεται αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας, με συσσώρευση ακραίων φαινομένων όπως καύσωνες κατά τους καλοκαιρινούς μήνες και αύξηση των ακραίων θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων κατά τη διάρκεια του χειμώνα (Horton et al., 2015). Ειδικότερα, οι υψηλές συνολικές θερμοκρασίες πέραν των ειδικών για τα είδη βέλτιστων ζωνών και ορίων ανοχής, καθώς και η αλληλεπίδραση μεταξύ της μέσης θερμοκρασίας και της μεταβλητότητας της θερμοκρασίας μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά τους ρυθμούς ανάπτυξης, την αναπαραγωγή ή την επιβίωση των αρθροπόδων (Colinet et al., 2015). Ταυτόχρονα, ο σημαντικός βαθμός φαινοτυπικής πλαστικότητας που εκφράζουν πολλά είδη εντόμων θα μπορούσε να επιτρέψει την ταχεία προσαρμογή στις φυσιολογικές προκλήσεις που συνδέονται με την υπερθέρμανση του πλανήτη (Bale et al., 2002). Αρκετά μέλη της οικογένειας των λεπιδοπτέρων Tortricidae είναι προσαρμοσμένα να αντέχουν στους ψυχρούς και ξηρούς χειμώνες και είναι γνωστό ότι μπορούν να επιβιώσουν σε χαμηλές χειμερινές θερμοκρασίες. Για παράδειγμα, τα σημεία υπόψυξης των ατόμων του *Lobesia botrana*, που ζουσαν με ράγες σταφυλιού, ήταν γύρω στους -24 και -22 °C, αντίστοιχα, με την επιβίωση σε χαμηλές θερμοκρασίες να αυξάνεται όσο αυξάνεται η διάρκεια της περιόδου προσκόλλησης (Andreadis et al., 2005). Οι εύκρατοι και υγροί χειμώνες, όταν συνδυάζονται, είναι καταστροφικοί ιδίως για τα έντομα που διαχειμάζουν ως νύμφες (κουκούλια), καθώς μπορεί να προβλεφθεί αύξηση της χειμερινής θνησιμότητας λόγω υψηλότερης μολυσματικότητας από εντομοπαθογόνους μύκητες ή βακτήρια (Bale et al., 2002). Επιπλέον, οι φυσικοί ανταγωνιστές των επιβλαβών εντόμων μπορεί να αντιδρούν διαφορετικά στις μεταβαλλόμενες αβιοτικές συνθήκες που επηρεάζουν τις πολυτροφικές αλληλεπιδράσεις και τις συνθέσεις των

κοινοτήτων. Τέτοιες μετατοπίσεις στις μικροβιακές κοινότητες θα μπορούσαν επίσης να επηρεάσουν, λόγω χάρη, την κατασταλτική για ασθένειες ποιότητα των εδαφών, γεγονός που έχει σημαντικές επιπτώσεις στον βιολογικό έλεγχο των εδαφογενών παρασίτων εντόμων.

Πρόσφατες αναλύσεις μακροχρόνιων συνόλων δεδομένων, μελέτες μοντελοποίησης και πειράματα που διεξήχθησαν τόσο στο εργαστήριο όσο και σε συνθήκες πεδίου υποδεικνύουν μερικά σημαντικά γενικά χαρακτηριστικά, στα οποία είναι ήδη εμφανής η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στα παθογόνα έντομα.

- **Φαινολογία εντόμων**

Η αύξηση της θερμοκρασίας του κλίματος αναμένεται να μεταβάλει τις ημερομηνίες των επαναλαμβανόμενων φυσικών φαινομένων και η ανάλυση των διαθέσιμων μακροχρόνιων αρχείων ορισμένων φαινολογικών γεγονότων που παρείχαν ενδείξεις αλλαγής του φυσικού ημερολογίου κατά το παρελθόν (Chuine et al. 2004). Για αρκετά είδη εντόμων, τέτοιες αλλαγές στη φαινολογία ως απόκριση στην αύξηση της θερμοκρασίας του κλίματος είναι καλά τεκμηριωμένες, για παράδειγμα, σε διάφορα είδη λεπιδοπτέρων, τα οποία παρουσιάζουν σημαντική πρόοδο στις ημερομηνίες της πρώτης εμφάνισής τους την άνοιξη (Stoekli et al. 2012). Για τον ευρωπαϊκό σκόρο της αμπέλου *L. botrana*, έχει παρατηρηθεί σημαντική πρόοδος της φαινολογίας κατά περισσότερες από 12 ημέρες για τους ισπανικούς πληθυσμούς, ενώ παρόμοια τάση είναι ορατή και σε άλλες περιοχές καλλιέργειας αμπέλου. Είναι επίσης σημαντικό για τα φυτοφάγα έντομα να συγχρονίζουν την ανάπτυξή τους με εκείνη του φυτού ξενιστή τους. Στο *L. botrana*, η επίδραση της φαινολογίας του σταφυλιού στη συμπεριφορά φωτοκίας και την καταλληλότητα είναι καλά τεκμηριωμένη (Thiery et al. 2018). Ένας συνδυασμός φαινολογικών μοντέλων τόσο για το φυτό ξενιστή αμπέλι όσο και για το επιβλαβές είδος *L. botrana* αποκάλυψε ότι η αύξηση της θερμοκρασίας μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένο ασυγχρονισμό μεταξύ των ανθεκτικών στα στάδια ανάπτυξης της προνύμφης του αμπελιού και των προνυμφών της πρώτης γενιάς του *L. botrana*, με αρνητικές επιπτώσεις στην απόδοση των σταφυλιών (Caffarra et al. 2012). Από την άλλη πλευρά, οι ημερομηνίες συγκομιδής του αμπελιού μπορεί επίσης να προηγηθούν, περιορίζοντας τις υποτιθέμενες ζημιές που οφείλονται στην πρόωρη εμφάνιση των γενεών της όψιμης περιόδου ή στον αυξημένο αριθμό γενεών του *L. botrana*. Οι φαινολογικές μεταβολές της αμπέλου κατά τις τελευταίες πέντε δεκαετίες ως αποτέλεσμα της κλιματικής αλλαγής είναι καλά τεκμηριωμένες για διάφορες τοποθεσίες και ποικιλίες. Συνολικά, τα αμπέλια ανταποκρίνονται στην υπερθέρμανση

του πλανήτη με πρωιμότερη έκπτυξη των οφθαλμών, άνθηση, συγκομιδή και συγκομιδή και μικρότερα διαστήματα μεταξύ αυτών των γεγονότων. Αυτό μπορεί να έχει συνέπειες για τη σύγχρονη ανάπτυξη των φυτών αμπέλου και των αντίστοιχων επιβλαβών εντόμων. Οι αλλαγές στις κλιματικές συνθήκες μπορούν επίσης να διαταράξουν πλήρως τον συγχρονισμό της φαινολογίας μεταξύ των διαφόρων τροφικών επιπέδων, όπως έχει αποδειχθεί για την εκκόλαψη των αυγών του χειμερινού σκώρου *Operophtera brumata* και την έκπτυξη των οφθαλμών του κύριου φυτού ξενιστή του, της δρυός (*Quercus robur*).

- **Βολτινισμός**

Ο βολτινισμός, ο αριθμός των γεννητόρων ή γενεών ενός εντόμου ανά έτος, ενδέχεται να αυξηθεί ως άμεση συνέπεια της αύξησης της θερμοκρασίας του πλανήτη. Έτσι, ο βολτινισμός θεωρείται συχνά ως ένα από τα πιο θεαματικά χαρακτηριστικά που επηρεάζονται από την υπερθέρμανση του πλανήτη. Σε αυτό το σενάριο, τα πολυβολταικά είδη θα μπορούσαν να έχουν μία ή περισσότερες πρόσθετες γενιές ανά έτος, καθώς η θερμοκρασία είναι ο πρωταρχικός παράγοντας που καθορίζει το χρόνο ανάπτυξης (Bale et al. 2002). Φυσικά, η βολτινικότητα έχει σημαντική επίδραση στην πληθυσμιακή δυναμική ενός συγκεκριμένου επιβλαβούς είδους εντόμου προσθέτοντας ικανές γενεές, οι οποίες θα αυξήσουν συνολικά την πληθυσμιακή πυκνότητα του είδους στο τέλος του έτους. Η προαναφερθείσα φαινολογική πρόοδος στους πληθυσμούς του *L. botrana* στην Ισπανία λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας συνέβαλε επίσης σε αυξημένο βολτινισμό κατά τα αντίστοιχα έτη προωθώντας μια ολόκληρη επιπλέον γενιά. Ωστόσο, καθώς ο χρόνος συγκομιδής επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, μια συγκομιδή που πραγματοποιείται πριν οι προνύμφες του *L. botrana* εγκαταλείψουν τα τσαμπιά σταφυλιών για νύμφωση θα μπορούσε να μειώσει τα επίπεδα των πληθυσμών, δεδομένου ότι οι προνύμφες απομακρύνονται κατά τη διάρκεια της συγκομιδής. Επίσης, σε θερμότερα κλίματα, η συγκομιδή των σταφυλιών πραγματοποιείται νωρίτερα το έτος, αντισταθμίζοντας έτσι πιθανά πλεονεκτήματα που αποκτά το παράσιτο έντομο λόγω της αυξημένης βολτινικότητας. Επιπλέον, η μικρή διάρκεια της ημέρας στα τέλη του καλοκαιριού χρησιμοποιείται από πολλά έντομα για να ρυθμίσουν την επαγωγή της διάπαυσής τους (μια αναπτυξιακή αναστολή) πολύ πριν από την πραγματική πτώση των θερμοκρασιών. Ενώ για ορισμένα είδη εντόμων, τα φωτοπεριδικά ερεθίσματα μπορεί να μην αλλάξουν ως απάντηση στην αύξηση της θερμοκρασίας του κλίματος, για άλλα είδη έχουν ήδη αποδειχθεί γενετικές μεταβολές

στη φωτοπεριοδική απόκριση και στο χρόνο της διάπαυσης, ακόμη και μέσα σε πολύ σύντομες χρονικές περιόδους. Επιπλέον, οι συνέπειες της ύπαρξης πρόσθετων γενεών ανά έτος μπορεί να αντισταθμιστούν από δυσμενείς επιπτώσεις που διακόπτουν τον βέλτιστο συγχρονισμό με τον πόρο, όπως έχει παρατηρηθεί σε αμπελώνες της Νότιας Ευρώπης στην περίπτωση του *Scaphoideus titanus* (Chuche & Thiery 2014). Αυτό καταδεικνύει ότι οι υποτιθέμενες αλλαγές στον βολτινισμό των εντόμων είναι πολύπλοκες και δύσκολο να προβλεφθούν για μελλοντικά σενάρια υπερθέρμανσης του πλανήτη .

## 4 Συζήτηση – Συμπεράσματα

Η κλιματική αλλαγή μπορεί να επηρεάσει τα πρότυπα των ασθενειών των φυτών και την ανάπτυξη των αρθροπόδων με πιο σύνθετους τρόπους από ό,τι αναμενόταν. Στην πραγματικότητα, ενώ τόσο οι καλλιέργειες όσο και τα παθογόνα των καλλιεργειών επηρεάζονται από τις κλιματικές μεταβλητές, ενδέχεται να επηρεάζονται από διαφορετικούς συνδυασμούς κινητήριων παραγόντων και να ανταποκρίνονται στην αλλαγή τους με διαφορετικούς ρυθμούς. Προκειμένου να διαχωριστούν αυτές τις επιδράσεις, πρέπει να βελτιωθεί η κατανόηση του συστήματος Περιβάλλον – ξενιστής - εχθρός/παθογόνο και να ληφθεί υπόψη η αλληλεπίδρασή τους. Μακροπρόθεσμος στόχος είναι να βελτιωθούν οι τρέχουσες εκτιμήσεις των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην πίεση των παρασίτων και των ασθενειών στα αμπέλια, λαμβάνοντας υπόψη τις αλληλεπιδράσεις παρασίτων/παθογόνου-ξενιστή. Συνεπώς, πρέπει να συνδυαστούν τα λεπτομερή φαινολογικά μοντέλα της αμπέλου με φαινολογικά μοντέλα ενός από τους βασικούς εχθρούς της (Ευδεμίδα της αμπέλου) και ενός από τους βασικούς παθογόνους οργανισμούς της (οΐδιο) (Bendek et al., 2007), να εφαρμοστούν τα μοντέλα σε σενάρια κλιματικής αλλαγής για μια επιλεγμένη περιοχή μελέτης στις ανατολικές ιταλικές Άλπεις και να εξεταστούν οι πιθανές αλλαγές στις αλληλεπιδράσεις τους. Οι προσομοιώσεις αυτές θα υποδείξουν εάν στις θερμότερες, πιο αποδοτικές αμπελουργικές περιοχές της περιοχής μελέτης η αύξηση της θερμοκρασίας ενδέχεται να έχει επιζήμιο αντίκτυπο στην απόδοση των καλλιεργειών λόγω αυξημένου ασυγχρονισμού μεταξύ των ανθεκτικών στα στάδια ανάπτυξης της αμπέλου και των προνυμφών της Ευδεμίδας της αμπέλου. Από την άλλη πλευρά, η αύξηση της επιβλαβούς πίεσης λόγω του αυξημένου αριθμού γενεών ενδέχεται να μην είναι τόσο σοβαρή όσο αναμενόταν μόνο βάσει του μοντέλου επιβλαβών οργανισμών, λόγω της πρόωρης ημερομηνίας συγκομιδής που περιορίζει τις ζημιές από τις γενεές που εμφανίζονται σε προχωρημένη εποχή. Οι προσομοιώσεις για το οΐδιο ανέδειξαν μείωση της προσομοιωμένης σοβαρότητας της ασθένειας, ιδίως κατά τα έτη με μεταγενέστερη έναρξη των συμπτωμάτων της ασθένειας και στο κλιματικό σενάριο με υψηλότερες αυξήσεις της θερμοκρασίας. (Caffarra et al., 2012).

Στην περιοχή της Μεσογείου, η κλιματική αλλαγή συνδέεται με την αύξηση της συγκέντρωσης του ατμοσφαιρικού CO<sup>2</sup>, την αύξηση της θερμοκρασίας και την έλλειψη νερού, περιορίζοντας σοβαρά την απόδοση των καλλιεργειών και μειώνοντας την ποιότητα. Η διερεύνηση των επιδράσεων του αυξημένου CO<sup>2</sup>, της αυξημένης



θερμοκρασίας και του ελλείμματος νερού, που δρουν μεμονωμένα ή/και αλληλοεπιδρούν, στη βλαστική και αναπαραγωγική ανάπτυξη, στην κατάσταση του υποστρώματος και του νερού των φυτών και στην ποιότητα του μούστου σε καρποφόρα μοσχεύματα δύο ποικιλιών αμπέλου (*Vitis vinifera* L.) (Griesser, et al., 2015) (κόκκινο και λευκό *Tempranillo*) (Leibar et al., 2015). είναι μείζονος σημασίας. Οι επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής στην απόδοση και την ποιότητα των σταφυλιών εξαρτώνται από την ποικιλία. Γενικά, το κόκκινο *Tempranillo* είχε μεγαλύτερη βλαστική ανάπτυξη και απόδοση σταφυλιών από την λευκή ποικιλία. Επίσης, η απόδοση σταφυλιών επηρεάστηκε λιγότερο από τις μεταχειρίσεις από ό,τι η βλαστική ανάπτυξη. Η ξηρασία, ιδίως υπό αυξημένη θερμοκρασία, μείωσε δραστικά τη βλαστική ανάπτυξη, το νωπό και ξηρό βάρος των τσαμπιών και στις δύο ποικιλίες. Είναι ενδιαφέρον ότι το αυξημένο CO<sup>2</sup> μετρίασε αυτές τις αρνητικές επιδράσεις της ξηρασίας. Οι επιδράσεις των κλιματικών παραγόντων στην απόδοση δεν συσχετίστηκαν με χειρότερη υδατική κατάσταση των βλαστικών ή αναπαραγωγικών οργάνων. Στο κόκκινο *Tempranillo*, ο συνδυασμός αυξημένου CO<sup>2</sup>, αυξημένης θερμοκρασίας και ξηρασίας μείωσε τον ολικό δείκτη πολυφαινόλων (TPI), το μηλικό οξύ και αύξησε την πυκνότητα χρώματος, αλλά δεν τροποποίησε τη συγκέντρωση ανθοκυανών. Στο λευκό *Tempranillo*, η συνδυασμένη δράση των τριών παραγόντων που συνδέονται με την κλιματική αλλαγή τροποποίησε μόνο το τρυγικό οξύ. Στην τελευταία αυτή ποικιλία, η ξηρασία αύξησε τον TPI σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, ανεξάρτητα από το επίπεδο του CO<sup>2</sup>, σε σύγκριση με τα φυτά που αρδεύονταν πλήρως (Thomson et al., 2010). Συμπερασματικά, οι παράγοντες που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή (αυξημένο CO<sup>2</sup>, αυξημένη θερμοκρασία και έλλειμμα νερού) μεμονωμένα (ιδίως η ξηρασία) ή/και αλληλοεπιδρώντας επηρέασαν σε διαφορετικό βαθμό τη βλαστική ανάπτυξη και την απόδοση του ερυθρού και λευκού *Tempranillo*. Η ξηρασία σε συνδυασμό με τις αυξημένες θερμοκρασίες μείωσε την απόδοση του αμπελιού και το αυξημένο CO<sup>2</sup> μετρίασε την εν λόγω επιβλαβή επίδραση (Bergot et al. 2004).

Στα φυτά της αμπέλου, μια γενική αντίδραση στην αύξηση του CO<sup>2</sup> είναι η αύξηση της ανάπτυξης και της απόδοσης των φυτών. Το αυξημένο CO<sup>2</sup> μπορεί να επηρεάσει όλες τις φάσεις της ανάπτυξης των ραγών και τη συσσώρευση συστατικών του σταφυλιού με πιθανές επιπτώσεις στην ποιότητα. Όταν καλλιεργήθηκαν σε αυξημένο CO<sup>2</sup>, τα οξέα και τα σάκχαρα επηρεάστηκαν θετικά στα πρώιμα στάδια της ανάπτυξης των σταφυλιών, αν και εξαφανίστηκαν κατά την ωρίμανση. (Bindi et al.,

2001). Επιπλέον, τα σάκχαρα σταφυλιών, οι ολικές ανθοκυανίνες και οι τανίνες, καθώς και ο χρωματικός τόνος και η ένταση του γλεύκους (Salazar-Parra et al., 2010), δεν επηρεάστηκαν από το αυξημένο CO<sup>2</sup>.

Η συγκέντρωση ανθοκυανών είναι ένα σημαντικό ποιοτικό χαρακτηριστικό του αμπελιού που επηρεάζει το χρώμα του σταφυλιού. Η θερμοκρασία επηρεάζει τη συσσώρευση ανθοκυανών επειδή πολλά ένζυμα αυτής της μεταβολικής οδού είναι ευαίσθητα στη θερμοκρασία (Cohen et al., 2008). Σε πειράματα με ελεγχόμενη υψηλή θερμοκρασία, η περιεκτικότητα σε ανθοκυανές μειώθηκε. Επιπλέον, η θερμοκρασία μπορεί να μειώσει την οξύτητα των σταφυλιών και ιδιαίτερα μπορεί να διαμορφώσει τη συγκέντρωση μηλικού οξέος στα σταφύλια. Κατά συνέπεια, τα επίπεδα μηλικού οξέος σταφυλιών είναι γενικά υψηλότερα σε ψυχρότερες από ό,τι σε θερμότερες περιοχές (Blouin & Guimberteau, 2000).

Η διαθεσιμότητα του εδαφικού νερού επηρεάζει τη βλαστική ανάπτυξη της αμπέλου. Η διακοπή της ανάπτυξης των βλαστών, η μείωση του μεγέθους των φύλλων και η υψηλή γήρανση των φύλλων είναι μερικά από τα αναφερόμενα συμπτώματα. Η απόδοση της αμπέλου και η ποιότητα των ραγών μειώνονται γενικά από την έντονη υδατική καταπόνηση. Μεταξύ ανθοφορίας και περκασμού, η υδατική καταπόνηση μειώνει το μέγεθος των μούρων λόγω περιορισμών στη διαίρεση των κυττάρων. Το μειωμένο μέγεθος των ραγών επηρεάζει έμμεσα την ποιότητα των ραγών μέσω της συγκέντρωσης των φαινολικών του μούστου, συμπεριλαμβανομένων των ανθοκυανών (Ojeda et al., 2002). Ορισμένες επιδράσεις της υδατικής καταπόνησης στην ποιότητα των ραγών που αναφέρονται στη βιβλιογραφία είναι μάλλον αντιφατικές, δείχνοντας ότι αυξήσεις στη συγκέντρωση μηλικού οξέος, στην περιεκτικότητα σε σάκχαρα και στις τιμές του pH επηρεάζουν αρνητικά την ποιότητα του οίνου και οι μειώσεις στη συγκέντρωση μηλικού οξέος, στον όγκο των ραγών, στα ολικά διαλυτά στερεά, στο κάλιο και στη συγκέντρωση τρυγικού οξέος ή καμία αλλαγή στη συγκέντρωση μηλικού οξέος (Salazar-Parra et al., 2010).

Η αύξηση τόσο των μέσων θερμοκρασιών όσο και των ακραίων θερμοκρασιών είχε ως αποτέλεσμα τη γενική προώθηση των κύριων φαινολογικών σταδίων, τη μείωση της καλλιεργητικής περιόδου και την αύξηση της συχνότητας της θερμικής καταπόνησης κατά τη διάρκεια της ανθοφορίας σε σχέση με τη βασική γραμμή (NATO, 2022).

Διαπιστώθηκε ότι οι χειμερινές και οι θερινές καλλιέργειες μπορεί να έχουν διαφορετική ικανότητα προσαρμογής στις κλιματικές αλλαγές. Ορισμένες

παραλλαγές, που καλλιεργούνται στις νότιες περιοχές των μεσογειακών χωρών, ήταν πιο επιρρεπής στην άμεση επίδραση της θερμικής καταπόνησης κατά την ανθοφορία και της ξηρασίας κατά τη διάρκεια του κύκλου ανάπτυξής του. Οι παράγοντες αυτοί είχαν ως αποτέλεσμα σοβαρή μείωση της απόδοσης. Αντίθετα, η χαμηλότερη συχνότητα της θερμικής καταπόνησης και της ξηρασίας επέτρεψε σε άλλες παραγωγές καλλιέργεια για την επίτευξη αυξημένων αποδόσεων σε σχέση με την περίοδο αναφοράς. Μπορεί να συναχθεί το συμπέρασμα ότι οι επιπτώσεις των ακραίων φαινομένων θα πρέπει να περιλαμβάνονται στις προσεγγίσεις μοντελοποίησης καλλιεργειών, διαφορετικά υπάρχει ο κίνδυνος υποεκτίμησης των απωλειών στις αποδόσεις των καλλιεργειών, γεγονός που με τη σειρά του θα έχει ως αποτέλεσμα την εφαρμογή εσφαλμένων πολιτικών για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.

Είναι πλέον καθολικά αποδεκτό ότι οι αυξημένες ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις των "αερίων του θερμοκηπίου" είναι η κύρια αιτία της τρέχουσας κλιματικής αλλαγής και ότι οι αλλαγές αυτές αναμένεται να έχουν σημαντικές επιπτώσεις σε διάφορους οικονομικούς τομείς (π.χ. γεωργία, δασοκομία, κατανάλωση ενέργειας, τουρισμός κ.λπ.) (Hanson et al. 2007). Δεδομένου ότι οι γεωργικές πρακτικές εξαρτώνται από το κλίμα και οι αποδόσεις ποικίλλουν από έτος σε έτος ανάλογα με την κλιματική μεταβλητότητα, ο γεωργικός τομέας είναι ιδιαίτερα εκτεθειμένος στις κλιματικές αλλαγές. Στην Ευρώπη, η σημερινή κλιματική τάση δείχνει ότι στις βόρειες περιοχές η κλιματική αλλαγή μπορεί να έχει κυρίως θετικές επιπτώσεις μέσω της αύξησης της παραγωγικότητας και του εύρους των καλλιεργούμενων ειδών, ενώ στις νότιες περιοχές (π.χ. στη λεκάνη της Μεσογείου) θα επικρατήσουν τα μειονεκτήματα με χαμηλότερες συγκομιζόμενες αποδόσεις, μεγαλύτερη μεταβλητότητα των αποδόσεων και μείωση των κατάλληλων εκτάσεων για τις παραδοσιακές καλλιέργειες (Alcamo et al. 2007).

Ενώ η επιβλαβής επίδραση των ακραίων κλιματικών φαινομένων στα ευαίσθητα στάδια ανάπτυξης έχει αναγνωριστεί εδώ και καιρό ως ένας σημαντικός παράγοντας που καθορίζει την απόδοση για ορισμένες περιοχές στο μέλλον, η εκτίμηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην απόδοση έχει επισήμως εξετάσει μόνο την αναμενόμενη αλλαγή του μέσου κλίματος ή της κλιματικής μεταβλητότητας, ενώ τα ακραία φαινόμενα έχουν αναλυθεί από την άποψη της συχνότητας κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης των καλλιεργειών. Ωστόσο, στις τελευταίες αυτές έρευνες δεν παρέχεται άμεση μέτρηση της απώλειας αποδόσεων,

λόγω της έλλειψης άμεσης προσέγγισης μοντελοποίησης των επιπτώσεων των ακραίων συμβάντων (Moriondo & Bindi, 2006).

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι όταν η θερμική καταπόνηση δεν λαμβανόταν υπόψη στις προσομοιώσεις, η απόδοση στα μελλοντικά σενάρια υπερεκτιμάται με διαφορετικό μέγεθος ανάλογα με την καλλιέργεια και την περιοχή. Οι επιπτώσεις των ακραίων φαινομένων μείωσαν σημαντικά την απόδοση της αμπέλου, ιδίως στις βόρειες περιοχές που προηγουμένως θεωρούνταν λιγότερο εκτεθειμένες στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής.

Η εφαρμογή αυτόνομων στρατηγικών προσαρμογής, όπως η μετατόπιση των ημερομηνιών καλλιέργειας, η επιλογή ποικιλιών με μακρύτερο/βραχύτερο κύκλο ανάπτυξης, θα πρέπει να αξιολογείται προσεκτικά, λαμβάνοντας υπόψη ότι οι αλλαγές στη συχνότητα των ακραίων φαινομένων και στο μέσο κλίμα μπορεί να έχουν την ίδια σημασία με τους περιοριστικούς παράγοντες της απόδοσης των καλλιεργειών.

Η κλιματική αλλαγή προσθέτει ένα επιπλέον επίπεδο πολυπλοκότητας στη φυτοπροστασία. Δυστυχώς, δεν υπάρχουν σχεδόν καθόλου μελέτες σχετικά με το πώς η κλιματική αλλαγή μπορεί να επηρεάσει τη χημική καταπολέμηση. Ωστόσο, λόγω των αλλαγών στη σχετική σημασία και την κατανομή των διαφόρων παθογόνων, η αγορά θα αλλάξει σημαντικά.

Στη χειρότερη περίπτωση, πολλές καλλιέργειες μπορεί να απαιτούν περισσότερες επεμβάσεις, αυξάνοντας έτσι το κόστος για τους καλλιεργητές, τις τιμές για τους καταναλωτές και την πιθανότητα ανάπτυξης ανθεκτικότητας στα μυκητοκτόνα (Jurczek & von Tiedemann 2011). Ορισμένα γεωργικά συστήματα μπορεί να είναι πιο ευέλικτα από άλλα όσον αφορά την υιοθέτηση νέων ποικιλιών και καλλιεργητικών πρακτικών για την αντιμετώπιση του αυξημένου κινδύνου ορισμένων ασθενειών. Οι ετήσιες καλλιέργειες θα έχουν πλεονέκτημα έναντι των πολυετών, καθώς παρέχουν μεγαλύτερη ευελιξία όσον αφορά την υιοθέτηση νέων ποικιλιών και καλλιεργητικών πρακτικών. Οι πιθανές στρατηγικές προσαρμογής πρέπει να συνοδεύονται από αναλύσεις κόστους-οφέλους. Η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των σημερινών φυσικών, χημικών και βιολογικών μεθόδων καταπολέμησης υπό μεταβαλλόμενες κλιματικές συνθήκες και η έρευνα σχετικά με νέα εργαλεία και στρατηγικές για την αντιμετώπιση των προβλεπόμενων αλλαγών θα είναι μεγάλης στρατηγικής σημασίας.

Οι γεωπονικές πρακτικές, όπως η αμειψισπορά, η κατεργασία του εδάφους, η λίπανση, η άρδευση, η επιλογή του τόπου παραγωγής, η χρήση ανθεκτικών/ανθεκτικών ποικιλιών και η υγιεινή για τη μείωση της ποσότητας των εμβολίων που διαχειμάζουν,

μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόληψη ή τη μείωση των αυξημένων κινδύνων ασθενειών που συνδέονται με την προβλεπόμενη κλιματική αλλαγή (Juroszek & von Tiedemann 2011). Τα μυκητοκτόνα είναι μια αποτελεσματική μέθοδος ελέγχου των ασθενειών των φυτών, παρά τις αρνητικές αντιλήψεις του κοινού. Τα μυκητοκτόνα μπορούν να συνεχίσουν να χρησιμεύουν ως κοινά μέσα καταπολέμησης των ασθενειών, αν και θα πρέπει να αναπτυχθούν εναλλακτικά μέτρα, όπως οι καλλιεργητικές μέθοδοι και η βιολογική καταπολέμηση. Η παραμονή των χημικών ουσιών φυτοπροστασίας στη φυλλόσφαιρα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις καιρικές συνθήκες. Οι αλλαγές στη διάρκεια, την ένταση και τη συχνότητα των βροχοπτώσεων θα επηρεάσουν την αποτελεσματικότητα των χημικών φυτοφαρμάκων και το πόσο γρήγορα ξεπλένονται τα ενεργά μόρια. Η θερμοκρασία μπορεί να επηρεάσει άμεσα την αποικοδόμηση των χημικών ουσιών και να μεταβάλει τη φυσιολογία και τη μορφολογία των φυτών, επηρεάζοντας έμμεσα τη διείδυση, τη μετατόπιση, την ανθεκτικότητα και τους τρόπους δράσης πολλών συστηματικών μυκητοκτόνων (Ghini et al. 2008).

Δεν υπάρχουν σχεδόν καθόλου πληροφορίες σχετικά με τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στον βιολογικό έλεγχο των φυτικών ασθενειών. Ορισμένοι μικροοργανισμοί έχουν αναπτυχθεί για χρήση ως παράγοντες βιοελέγχου των ασθενειών των φυτών. Οι παράγοντες βιοελέγχου μπορούν να χρησιμεύσουν ως εναλλακτικές λύσεις για τα χημικά μυκητοκτόνα όταν εφαρμόζονται μόνοι τους ή σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους ελέγχου. Επειδή είναι ζωντανοί οργανισμοί, αυτοί οι παράγοντες βιοελέγχου επηρεάζονται επίσης από το αβιοτικό περιβάλλον.

Η αποτελεσματικότητα των θεραπειών βιοελέγχου μπορεί να ποικίλλει υπό διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες. Οι περισσότερες από τις εξεταζόμενες επεμβάσεις βιοελέγχου (διάφορες απομονώσεις βακτηρίων και ζυμομυκήτων) μείωσαν τη σοβαρότητα των ασθενειών κατά 30%-60%. Συνεπώς, η μείωση των ποσοτήτων των ασθενειών που προκαλούνται από την ασθένεια ήταν πολύ μεγάλη, όταν οι περιβαλλοντικές συνθήκες είναι ευνοϊκές για την ανάπτυξη της οψιμότητας, οι εξεταζόμενοι παράγοντες βιοελέγχου είναι λιγότερο αποτελεσματικοί.

Είναι δύσκολο να προβλεφθούν οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, επειδή, μέχρι σήμερα, τα πειράματα στον τομέα αυτό έχουν εξετάσει μόνο μία ή λίγες από τις παραμέτρους που προβλέπεται να αλλάξουν. Τα περισσότερα από αυτά τα πειράματα έχουν διεξαχθεί υπό ελεγχόμενες συνθήκες, οι οποίες μπορεί να διαφέρουν σημαντικά από εκείνες του πεδίου, και έχουν πραγματοποιηθεί σε μικρή κλίμακα για σχετικά

μικρά χρονικά διαστήματα. Οι αλληλεπιδράσεις με άλλες μεταβαλλόμενες κλιματικές μεταβλητές μπορεί να επηρεάσουν άμεσα, να καλύψουν ή να ενισχύσουν τις επιδράσεις ενός συγκεκριμένου παράγοντα (Chakraborty & Newton 2011).

Η συνήθης προσέγγιση για την πρόβλεψη της δυναμικής μιας φυτικής ασθένειας βασίζεται στη μοντελοποίηση της συμπεριφοράς του παθογόνου ή/και της επιδημίας υπό γνωστές συνθήκες και, στη συνέχεια, στη χρήση του μοντέλου αυτού για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς του παθογόνου/του μοτίβου της επιδημίας υπό μια προβλεπόμενη κλιματική χρονοσειρά ή σε περιοχές στις οποίες το παθογόνο δεν έχει ακόμη εισαχθεί. Γενικά χρησιμοποιούνται εμπειρικά επιδημιολογικά μοντέλα, στα οποία οι κλιματικές μεταβλητές είναι προγνωστικοί παράγοντες και οι επιδημιολογικές παράμετροι είναι μεταβλητές. Αυτά τα εμπειρικά μοντέλα χρησιμοποιούνται ως μοντέλα προσομοίωσης για την πραγματοποίηση προβλέψεων για συγκεκριμένα σενάρια. Τα μοντέλα γενικής κυκλοφορίας (*GCM*) έχουν χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία σεναρίων και την πρόβλεψη των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής (Bergot et al. 2004).

Ενώ η μεταβολή της θερμοκρασίας είναι σχετικά εύκολο να προβλεφθεί, δεν υπάρχει συνολική τάση για μεταβολή της ποσότητας των βροχοπτώσεων, αν και υπάρχουν σαφείς ιστορικές ενδείξεις για μεταβαλλόμενα πρότυπα κατανομής τόσο σε περιφερειακό όσο και σε εποχιακό επίπεδο. Η επιλογή των κατάλληλων χωρικών και χρονικών κλιμάκων για τις καιρικές συνθήκες και τις ασθένειες παραμένει μια πρόκληση. Ειδικότερα, η αναγωγή των προβλέψεων του καιρού στη μεσοκλίμακα για την πρόβλεψη ασθενειών και η πρόβλεψη του μικροκλίματος σε επίπεδο φυτικών οργάνων αποτελούν βασικά ζητήματα (Chakraborty & Newton 2011). Επιπλέον, τα μοντέλα θα πρέπει να περιλαμβάνουν οικολογικές αλληλεπιδράσεις υψηλότερου επιπέδου και να λαμβάνουν υπόψη τις πολύπλοκες αλλαγές που μπορεί να προκύψουν τόσο στις καλλιέργειες όσο και στις γεωργικές πρακτικές. Επειδή πολλά παθογόνα καταλαμβάνουν οποιαδήποτε τροφική θέση που δεν προστατεύεται επαρκώς από μηχανισμούς ανθεκτικότητας των φυτών ή πρακτικές φυτοπροστασίας, η πρόβλεψη του πότε και πού θα εμφανιστούν τέτοιες θέσεις είναι επίσης πολύ σημαντική. Η διαθεσιμότητα μακροχρόνιων συνόλων δεδομένων είναι ζωτικής σημασίας για την κατασκευή αξιόπιστων μοντέλων ασθενειών (Jeger & Pautasso 2008).

## Βιβλιογραφία

### Ελληνόγλωσση

- Αντωνόπουλος, Η. 2019. *Ωίδιο Αμπελιού*. Ανακτήθηκε 14 Μαρτίου 2024 από: <https://www.kalliergo.gr/exthroi-asthenies-fyton/oidio-ampeliou/>
- Ροδανάκης, Μ. 2019. *Ευδεμίδα της αμπέλου*. Ανακτήθηκε 11 Ιουλίου 2024 από: <https://www.rodanakis.gr/ευδεμίδα-της-αμπέλου/>
- Καπώνη, Κ. 2016. *Βοτρύτης αμπέλου*. Ανακτήθηκε 14 Μαρτίου 2024 από: <https://www.c-gaia.gr/votritis-ampelou/>
- Νικολάου Α.Ν. 2008. *Αμπελουργία*. Αθήνα: Εκδόσεις Σύγχρονη Παιδεία.
- Ροδανάκης, Μ. 2024. *Περονόσπορος στο αμπέλι: το πάθημα που μας έγινε μάθημα*. Ανακτήθηκε 14 Μαρτίου 2024 από: <https://www.rodanakis.gr/περονόσπορος-στο-αμπέλι-το-πάθημα-που/>
- Περιφερειακό Κέντρο Προστασίας Φυτών Ποιοτικού & Φυτοϋγειονομικού Ελέγχου Ηρακλείου, 2020. *Ισκα στα Αμπέλια - τώρα είναι ο καιρός να επισημανθούν τα προσβεβλημένα πρέμνα!* Ανακτήθηκε 14 Μαρτίου 2024 από: <https://blog.farmacon.gr/katigories/texniki-arthrografia/fytoproستasia/item/2734-iska-sta-ampelia-tora-einai-o-kairos-na-episimanthoyn-ta-prosvevlimena-premna>

### Ξενόγλωσση

- Agosta, E., Canziani, P., & Cavagnaro, M. 2012. Regional Climate Variability Impacts on the Annual Grape Yield in Mendoza, Argentina. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 51(6), pp. 993-1009.
- Alcamo, J., Florke, M. & Marker, M. (2007). Future long-term changes in global water resources driven by socio-economic and climatic changes. *Hydrological Sciences Journal*, 52(2), pp. 247–275.
- Anco, D. J., Madden, L. V. & Ellis, M. A. 2012. Temporal patterns of sporulation potential of *Phomopsis viticola* on infected grape shoots, canes, and rachises. *Plant Dis.*, 96(6), pp. 1297-1302.
- Anco, D. J., Madden, L. V. & Ellis, M. A. 2012. Effects of temperature and wetness duration on the sporulation of *Phomopsis viticola* on infected grape canes. *Plant Health Progress*, 97(5), pp. 579-589.

- Andreadis, S.S., Milonas, P.G., Savopoulou-Soultani, M. 2005. Cold hardiness of diapausing and non-diapausing pupae of the European grapevine moth, *Lobesia botrana*. *Entomol Exp Appl*, 117, pp. 113–118.
- Antonopoulos 2018. *Phomopsis*. Retrieved March 14 2024 from: <https://www.kalliergo.gr/en/plant-diseases-pests/phomopsis/>
- Asproudi, A., Petrozziello, M., Cavalletto, S. & Guidoni, S. 2016. Grape aroma precursors in cv. *Nebbiolo* as affected by vine microclimate. *Food Chemistry*, 211, pp. 947-956.
- Bale, J.S., Masters, G.J., Hodkinson, I.D., Awmack, C., Bezemer, T.M., Brown, V.K., Butterfield, J., Buse, A., Coulson, J.C., Farrar, J., Good, J.E.G., Harrington, R., Hartley, S., Jones, T.H., Lindroth, R.L., Press, M.C., Symrnioudis, I., Watt, A.D. & Whittaker, J.B. 2002. Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Glob Change Biol*, 8, pp. 1–16.
- Bartolini, G., Morabito, M., Crisci, A., Grifoni, D., Torrigiani, T., Petralli, M., Maracchi, G. & Orlandini, S. 2008. Recent trends in tuscany (Italy) summer temperature and indices of extremes. *Int. J. Climatol.*, 28(13), pp. 1751–1760.
- Barah, P. & Bones, A.M. 2015. Multidimensional approaches for studying plant defence against insects: from ecology to omics and synthetic biology. *J Exp Bot*, 66, pp. 479–493.
- Bauerfeind, S.S. & Fischer, K. 2014. Integrating temperature and nutrition—environmental impacts on an insect immune system. *J Insect Physiol*, 64, pp. 14–20.
- Bendek, C., Campbell, P., Torres, R., Donoso, A. & Latorre, B.A. 2007. The risk assessment index in grape powdery mildew control decisions and the effect of temperature and humidity on conidial germination of *Erysiphe necator*. *SJAR*, 5, pp. 522–532.
- Bergot, M., Cloppet, E., Perarnaud, V., Deque, M., Marcais, B. & Desprez-Loustau, M.L. 2004. Simulation of potential range expansion of oak disease caused by *Phytophthora cinnamomi* under climate change. *Global Change Biology*, 10(9), 1539-1552.
- Bindi, M., Fibbi, L. & Miglietta, F. 2001. Free air CO<sub>2</sub> enrichment (FACE) of grapevine (*Vitis vinifera* L.): II. Growth and quality of grape and wine in response to elevated CO<sub>2</sub> concentrations. *Eur J Agron*, 14, pp. 145–155.



- Blouin, J. & Guimberteau, G. 2000. *Maturation et Maturité des Raisins*. Féret, Bordeaux, France.
- Bostanian, N.J., Vincent, C. & Isaacs, R. 2012. *Arthropod management in vineyards: pests, approaches, and future directions*. Springer, Dordrecht
- Caffarra, A., Rinaldi, M., Eccel, E., Rossi, V., Pertot, I. 2012. Modelling the impact of climate change on the interaction between grapevine and its pests and pathogens: European grapevine moth and powdery mildew. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 148, pp. 89-101.
- Caffi, T., Rossi, V., Leger, S.E. & Bugiani, R. 2011. A mechanistic model simulating ascospore infections by *Erysiphe necator*, the powdery mildew fungus of grapevine. *Plant Pathol.* 60, pp. 522–531.
- Caffi, T., Legler, S.E. & González-Domínguez, E. 2016. Effect of temperature and wetness duration on infection by *Plasmopara viticola* and on post-inoculation efficacy of copper. *Eur J Plant Pathol*, 144, pp. 737–750.
- Calonnec, A., Cartolaro, P., Naulin, J.M., Bailey, D. & Langlais, M. 2008. A host-pathogen simulation model: powdery mildew of grapevine. *Plant Pathol.*, 57, pp. 493–508.
- Campbell, P., Bendek, C. & Latorre, B.A. 2006. Risk of powdery mildew (*Erysiphe necator*) outbreaks on grapevine in relation to cluster development. *Cien. Inv. Agr.* 34, pp. 1–6.
- Carisse, O., Bacon, R., Lefebvre, A. & Lessard, K. 2009. A degree-day model to initiate fungicide spray programs for management of grape powdery mildew (*Erysiphe necator*). *Can. J. Plant Pathol.*, 31, pp. 186–194.
- Castellarin, S.D., Matthews, M.A., Di Gaspero, G. & Gambetta, G.A. 2007. Water deficits accelerate ripening and induce changes in gene expression regulating flavonoid biosynthesis in grape berries. *Planta*, 227, 101-112.
- Chakraborty, S. & Newton, A.C. 2011. Climate change, plant diseases and food security: an overview. *Plant Pathology*, 60(1), 2-14.
- Charalampopoulos, I., Polychroni, I., Psomiadis, E. & Nastos, P. 2021. Spatiotemporal Estimation of the Olive and Vine Cultivations' Growing Degree Days in the Balkans Region. *Atmosphere*, 12(2), 148.
- Chaves, M.M., Zarrouk, O., Francisco, R., Costa, J.M., Santos, T., Regalado, A.P., Rodrigues, M.L. & Lopes, C.M. 2010. Grapevine under deficit irrigation: hints from physiological and molecular data. *Annals of Botany*, 105(5), pp. 661–676.

- Chellemi, D.O. & Marois, J.J. 1991. Development of a demographic growth model for *Uncinula necator* by using a microcomputer spreadsheet program. *Phytopathology*, 81, pp. 250–254.
- Chuche, J. & Thiery, D. 2014. Biology and ecology of the *Flavescence dorée* vector *Scaphoideus titanus*: a review. *Agron Sustain Dev*, 34, pp. 381–403.
- Chuine, I., Yiou, P., Viovy, N., Seguin, B., Daux, V. & Ladurie, E.L. 2004. Historical phenology: grape ripening as a past climate indicator. *Nature*, 432, pp. 289–290.
- Cini, A., Ioriatti, C. & Anfora, G. 2012. A review of the invasion of *Drosophila suzukii* in Europe and a draft research agenda for integrated pest management. *Bull Insectol*, 65, pp. 149–160.
- Colinet, H., Sinclair, B.J., Vernon, P., Renault, D. 2015. Insects in fluctuating thermal environments. *Annu Rev Entomol*, 60, pp. 123–140.
- Cohen, S.D., Tarara, J.M. & Kennedy, J.A. 2008. Assessing the impact of temperature on grape phenolic metabolism. *Analytica Chimica Acta*, 621(1), pp. 57–67.
- Cortesi, P., Gadoury, D.M., Seem, R.C. & Pearson, R.C. 1995. Distribution and retention of *cleistothecia* of *Uncinula necator* on the bark of grapevines. *Plant Dis.*, 79, pp. 15–19.
- Costa, C., Graça, A., Fontes, N., Teixeira, M., Gerós, H. & Santos, J.A. 2020. The Interplay between Atmospheric Conditions and Grape Berry Quality Parameters in Portugal. *Appl. Sci*, 10(14), 4943.
- Delbac, L. & Thiéry, D. 2016. Damage to grape flowers and berries by *Lobesia botrana* larvae (Denis & Schiffernüller) (*Lepidoptera: Tortricidae*), and relation to larval age. *Aust J Grape Wine Res*, 22, pp. 256–261.
- DeLucia, E.H., Nabity, P.D., Zavala, J.A. & Berenbaum, M.R. 2012. Climate change: resetting plant–insect interactions. *Plant Physiol*, 160, pp. 1677–1685.
- Doshi, P., Adsule, P. & Banerjee, K. 2006. Phenolic composition and antioxidant activity in grapevine parts and berries (*Vitis vinifera* L.) cv. *Kishmish Chornyi* (Sharad Seedless) during maturation. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 41, 1–9.
- Doupis, G., Chartzoulakis, K., Beis, A. & Patakas, A. 2011. Allometric and biochemical responses of grapevines subjected to drought and enhanced ultraviolet-B radiation. *Aust. J. Grape Wine Res.*, 17, 36–42.

- Droulia, F. & Charalampopoulos, I. 2021. Future Climate Change Impacts on European Viticulture: A Review on Recent Scientific Advances. *Atmosphere*, 12(4), p. 495.
- Dry, P.R., Loveys, B.R. & During, H. 2000. Partial drying of the rootzone of grape. II. Changes in the pattern of root development. *Vitis*, 39, pp. 9-12.
- Dudareva, N., Negre, F., Nagegowda, D.A. & Orlova, I. 2006. Plant volatiles: recent advances and future perspectives. *Crit. Rev. Plant Sci.*, 25, 417-440.
- Elad, Y. & Pertot, I. 2014. Climate Change Impacts on Plant Pathogens and Plant Diseases. *Journal of Crop Improvement*, 28(1), pp. 99-139.
- Firake, D.M. & Khan, M.A. 2014. Alternating temperatures affect the performance of *Trichogramma* species. *J Insect Sci*, 14, p. 41.
- Flexas, J., Bota, J., Loreto, F., Cornic, G. & Sharkey, T.D. (2004). Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C(3) plants. *Plant Biol. (Stuttg)*, 6, pp. 269-279.
- Foerster, M.R. & Foerster, L.A. 2009. Effects of temperature on the immature development and emergence of five species of *Trichogramma*. *Biocontrol*, 54, pp. 445–450.
- Fraga, H., Molitor, D., Leolini, L. & Santos, J.A. 2020. What Is the Impact of Heatwaves on European Viticulture? A Modelling Assessment. *Appl. Sci.*, 10(9), 3030.
- Garrett, K.A., Dendy, S.P., Frank, E.E., Rouse, M.N. & Travers, S.E. 2006. Climate change effects on plant disease: genomes to ecosystems. *Annu Rev Phytopathol*, 44, pp. 489–509
- Gambetta, G. A. 2016. Water Stress and Grape Physiology in the Context of Global Climate Change. *Journal of Wine Economics*, 11(1), pp. 168–180.
- Gessler, C., Pertot, I. & Perazzolli, M. 2011. *Plasmopara viticola*: A review of knowledge on downy mildew of grapevine and effective disease management. *Phytopathol. Mediterr.*, 50, pp. 3–44.
- Ghini, R., Bettiol, W. & Hamada, E. 2008. Diseases in tropical and plantation crops as affected by climate changes: current knowledge and perspectives. *Plant Pathology*, 60(1), pp. 122-132.
- Goeker, M., Voglmayr, H. & Riethmueller, A. 2003. Taxonomic aspects of Peronosporaceae inferred from Bayesian molecular phylogenetics. *Canadian Journal of Botany*, 81, pp. 672–683.

- Griesser, M., Weingart, G., Schoedl-Hummel, K., Neumann, N., Becker, M., Varmuza, K., Liebner, F., Schuhmacher, R. & Forneck, A. 2015. Severe drought stress is affecting selected primary metabolites, polyphenols, and volatile metabolites in grapevine leaves (*Vitis vinifera* L. cv. *Pinot noir*). *Plant Physiology and Biochemistry*, 88, pp. 17-26.
- Grimplet, J., Wheatley, M.D., Jouira, H.B., Deluc, L.G., Cramer, G.R. & Cushman, J.C. 2009. Proteomic and selected metabolite analysis of grape berry tissues under well-watered and water-deficit stress conditions. *Proteomics*, 9, pp. 2503-2528.
- Gutierrez, A.P., Ponti, L., Cooper, M.L., Gilioli, G., Baumgartner, J. & Duso, C. 2012. Prospective analysis of the invasive potential of the European grapevine moth *Lobesia botrana* (Den. & Schiff.) in California. *Agric For Entomol*, 14, pp. 225–238.
- Gutschick, V.P. 2007. Plant acclimation to elevated CO<sub>2</sub>- From simple regularities to biogeographic chaos. *Ecol Model*, 200, pp. 433–451.
- Hannah, L., Roehrdanz, P.R., Ikegami, M., Shepard, A.V., Shaw, M.R., Tabor, G., Zhi, L., Marquet, P.A. & Hijmans, R.J. 2013. Climate change, wine, and conservation. *Proc Natl Acad Sci USA*, 110, pp. 6907–6912.
- Hanson, R. K., Harris, A. J. R., Scott, T.-L. & Helmus, L. 2007. *Assessing the risk of sexual offenders on community super-vision: The Dynamic Supervision Project (User Report No. 2007-05)*. Ottawa, Ontario: Public Safety Canada.
- Harvell, C. D., C. E. Mitchell, J. R. Ward, S. Altizer, A. P. Dobson, R. S. Otsfeld, and M. D. Samuel. 2002. *Climate warming and disease risks for terrestrial and marine biota. Science* 296:2158–2162.
- Hewitt, W. B. & Pearson, R. C. 1988. Phomopsis cane and leaf spot. Pages 17-18 in: *Compendium of Grape Diseases*. R. C. Pearson and A. Goheen, eds. The American Phytopathological Society Press, St. Paul, MN.
- Horton, D.E., Johnson, N.C., Singh, D., Swain, D.L., Rajaratnam, B. & Diffenbaugh, N.S. 2015. Contribution of changes in atmospheric circulation patterns to extreme temperature trends. *Nature*, 522, pp. 465–469.
- Ibanez, S., Rosa, M., Hilal, M., Gonzalez, J.A. & Prado, F.E. 2008. Leaves of Citrus aurantifolia exhibit a different sensibility to solar UV-B radiation according to development stage in relation to photosynthetic pigments and UV-B absorbing compounds production. *J. Photochem. Photobiol.*, 90, pp. 163-169.

- Iltis, C., Moreau, J. & Pecharová, K. 2020. Reproductive performance of the European grapevine moth *Lobesia botrana* (Tortricidae) is adversely affected by warming scenario. *Journal of Pest Science*, 93, pp. 679–689.
- Jeger, M.J. & Pautasso, M. 2008. Plant disease and global change—the importance of long-term data sets. *New Phytol*, 177, pp. 8–11.
- Jones, G.V., White, M.A. & Cooper, O.R. 2005. Climate Change and Global Wine Quality. *Climatic Change*, 73, pp. 319–343.
- Juroszek, P. & von Tiedemann, A. 2011. Potential strategies and future requirements for plant disease management under a changing climate. *Plant Pathology*, 60(1), pp. 100-112.
- Kalyebi, A., Overholt, W.A., Schulthess, F., Mueke, J.M. & Sithanatham, S. 2006. The effect of temperature and humidity on the bionomics of six African egg parasitoids (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Bull Entomol Res*, 96, pp. 305–314.
- Lavalle, C., Micale, F. & Houston, T.D. 2009. Climate change in Europe. 3. Impact on agriculture and forestry. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 29, pp. 433–446.
- Lavoir, A.-V., Staudt, M., Schnitzler, J. P., Landais, D., Massol, F., Rocheteau, A., Rodriguez, R., Zimmer, I. & Rambal, S. 2009. Drought reduced monoterpene emissions from the evergreen Mediterranean oak *Quercus ilex*: results from a throughfall displacement experiment, *Biogeosciences*, 6, pp. 1167–1180,
- Lazoglou, G., Anagnostopoulou, C. & Koundouras, S. 2018. Climate change projections for Greek viticulture as simulated by a regional climate model. *Theor Appl Climatol*, 133, pp. 551–567.
- Leibar, U., Aizpurua, A., Unamunzaga, O., Pascual, I. & Morales, F. 2015. How will climate change influence grapevine cv. Tempranillo photosynthesis under different soil textures? *Photosynth Res*, 124, pp. 199–215.
- Loreto, F. & Schnitzler, J.P. 2010. Abiotic stresses and induced BVOCs. *Trends Plant Sci.*, 15, pp. 154-166.
- Lovisol, C., Perrone, I., Carra, A., Ferrandino, A., Flexas, J., Medrano, H. & Schubert, A. 2010. Drought-induced changes in development and function of grapevine (*Vitis spp.*) organs and in their hydraulic and non-hydraulic interactions at the whole-plant level: a physiological and molecular update. *Funct. Plant Biol.*, 37, pp. 98-116.

- Lovisol, C., Schubert, A. & Sorce, C. 2002. Are xylem radial development and hydraulic conductivity in downwardly growing grapevine shoots influenced by perturbed auxin metabolism? *New Phytol.*, 156, pp. 65-74.
- Mandriolo, M. 2012. Someone like it hot? Effects of global warming on insect immunity and microbiota. *Invert Surv J*, 9, pp. 58–63.
- Monceau, K., Bonnard, O. & Thiery, D. 2014. *Vespa velutina*: a new invasive predator of honeybees in Europe. *J Pest Sci*, 87, pp. 1–16.
- Moriondo, M. & Bindi, M. 2006. Comparison of temperatures simulated by GCMs, RCMs and statistical downscaling: potential application in studies of future crop development. *Clim Res*, 30, pp. 149–160.
- Musolin, D.L. 2007. Insects in a warmer world: ecological, physiological and life-history responses of true bugs (*Heteroptera*) to climate change. *Glob Change Biol*, 13, pp. 1565–1585.
- NATO 2022. *Climate Change & Security Impact Assessment*. Retrieved March 14 2024 from: [https://www.nato.int/nato\\_static\\_fl2014/assets/pdf/2022/6/pdf/280622-climate-impact-assessment.pdf](https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/2022/6/pdf/280622-climate-impact-assessment.pdf)
- Nita, M., Ellis, M. A., Wilson, L. L. & Madden, L. V. 2006. Evaluation of a disease warning system for *Phomopsis* cane and leaf spot of grape: A field study. *Plant Dis.*, 90, pp. 1239-1246.
- Nita, M., Ellis, M. A., Wilson, L. L. & Madden, L. V. 2007. Evaluations of new and current management strategies to control *Phomopsis* cane and leaf spot of grape. Online. *Plant Health Progress*, 8(1).
- Ojeda, H.I., Andary, C., Kraeva, E., Carbonneau, A. & Deloire, A. 2002. Influence of pre- and post-veraison water deficit on synthesis and concentration of skin phenolic compounds during berry growth of *Vitis Vinifera* cv. Shiraz. *American Journal of Enology and Viticulture*, 53(4), 261 – 267.
- Pardo, J.M. 2010. Biotechnology of water and salinity stress tolerance. *Curr. Opin. Biotechnol.*, 21, pp. 185-196.
- Pope, V. D., Gallani, M.L., Rowntree, P.R. & Stratton, R.A. 2000. The impact of new physical parametrizations in the Hadley Centre climate model – hadam3. *Clim. Dyn.* 16, pp. 123–146.
- Reineke, A. & Thiéry, D. 2016. Grapevine insect pests and their natural enemies in the age of global warming. *Journal of Pest Science*, 89, pp. 313–328.

- Robinson, E.A., Ryan, G.D. & Newman, J.A. 2012. A meta-analytical review of the effects of elevated CO<sub>2</sub> on plant-arthropod interactions highlights the importance of interacting environmental and biological variables. *New Phytol.*, 194, pp. 321–336.
- Runion, G. B., Prior, S.A., Rogers, H.H. & Mitchell, R.J. 2010. Effects of elevated atmospheric CO<sub>2</sub> on two southern forest diseases. *New Forests*, 39, pp. 275–285.
- Sade, N., Gebremedhin, A. & Moshelion, M. 2012. Risk-taking plants: anisohydric behavior as a stress-resistance trait. *Plant Signal. Behav.*, 7, pp. 767-770.
- Salazar-Parra, C., Aguirreolea, M., Sanchez-Diaz, J.J., Irigoyen, F.M. 2010. Photosynthetic response of Tempranillo grapevine to climate change scenarios. *Annals of Applied Biology*, 161(3), pp. 277-292.
- Salinari, F., Giosue, S., Rossi, V., Tubiello, F.N., Rosenzweig, C. & Gullino, M.L. 2006. Downy mildew (*Plasmopara viticola*) epidemics on grapevine under climate change. *Glob. Change Biol.* 12, pp. 1299–1307.
- Salinari, F., Giosue, S., Rossi, V., Tubiello, F.N., Rosenzweig, C. & Gullino, M.L. 2007. Downy mildew outbreaks on grapevine under climate change: elaboration and application of an empirical-statistical model. *Wiley Online Library*, 37(2), pp. 317-326.
- Santos, J.A., Fraga, H., Malheiro, A.C., Moutinho-Pereira, J., Dinis, L.-T., Correia, C., Moriondo, M., Leolini, L., Dibari, C. & Costafreda-Aumedes, S. 2020. A Review of the Potential Climate Change Impacts and Adaptation Options for European Viticulture. *Appl. Sci.*, 10(9), 3092.
- Schachtman, D.P. & Goodger, J.Q. 2008. Chemical root to shoot signaling underdrought. *Trends Plant Sci.* 13, pp. 281-287.
- Schmidt, G. A., Hoffmann, G., Shindell, D.T. & Hu, Y. 2005. Modeling atmospheric stable water isotopes and the potential for constraining cloud processes and stratosphere-troposphere water exchange. *J. Geophys. Res.* 110.
- Schoedl, K., Forneck, A., Sulyok, M. & Schuhmacher, R. 2011. Optimization, in-house validation, and application of a liquid chromatography-tandem mass spectrometry (LC MS/MS)-based method for the quantification of selected polyphenolic compounds in leaves of grapevine (*Vitis vinifera* L.). *J. Agric. Food Chem.* 59, 10787-10794.

- Schultz, H.R. 2003. Differences in hydraulic architecture account for near-isohydric and anisohydric behaviour of two field-grown *Vitis vinifera* L. cultivars during drought. *Plant Cell Environ.*, 26, pp. 1393-1405.
- Schultz, H.R. & Stoll, M. 2010. Some critical issues in environmental physiology of grapevines: Future challenges and current limitations. *Aust. J. Grape Wine Res.*, 16, pp. 4–24.
- Skirycz, A. & Inze, D. 2010. More from less: plant growth under limited water. *Curr. Opin. Biotechnol.*, 21, pp. 197-203.
- Soar, C.J., Speirs, J., Maffei, S.M., Penrose, A.B., McCarthy, M.G. & Loveys, B.R. 2006. Grape vine varieties Shiraz and Grenache differ in their stomatal response to VPD: apparent links with ABA physiology and gene expression in leaf tissue. *Aust. J. Grape Wine Res.*, 12, 2-12.
- Stoeckli, S., Hirschi, M., Spirig, C., Calanca, P., Rotach, M.W. & Samietz, J. 2012. Impact of climate change on voltinism and prospective diapause induction of a global pest insect—*Cydia pomonella* (L.). *PLoS One*, 7, e35723.
- Sturrock, R. N., Frankel, S.J., Brown, A.V., Hennon, P.E., Kliejunas, J.T., Lewis, K.J., Worrall, J.J. & Woods, A.J. 2011. Climate change and forest diseases. *Plant Pathol.* 60, pp. 133–149.
- Thiéry, D., Louâpre, P. & Muneret, L. 2018. Biological protection against grape berry moths. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 38, p. 15.
- Thomson, L.J., Macfadyen, S. & Hoffmann, A.A. 2010. Predicting the effects of climate change on natural enemies of agricultural pests. *Biol Control*, 52, pp. 296–306.
- Timm, A.E. & Reineke, A. 2014. First insights into grapevine transcriptional responses as a result of vine mealybug *Planococcus ficus* feeding. *Arthropod Plant Interact*, 8, pp. 495–505.
- Vandeleur, R.K., Mayo, G., Shelden, M.C., Gilliam, M., Kaiser, B.N. & Tyerman, S.D. 2009. The role of plasma membrane intrinsic protein aquaporins in water transport through roots: diurnal and drought stress responses reveal different strategies between isohydric and anisohydric cultivars of grapevine. *Plant Physiol.*, 149, pp. 445-460.
- Venios, X., Korkas, E., Nisiotou, A. & Banilas, G. 2020. Grapevine Responses to Heat Stress and Global Warming. *Plants*, 9, 1754.



- Vickers, C.E., Gershenzon, J., Lerdau, M.T. & Loreto, F. 2009. A unified mechanism of action for volatile isoprenoids in plant abiotic stress. *Nat. Chem. Biol.*, 5, pp. 283-291.
- Vogelweith, F., Moret, Y., Thiery, D. & Moreau, J. 2013. *Lobesia botrana* larvae develop faster in the presence of parasitoids. *PLoS One*, 8(8), e72568.
- Walton V, Daane K, Addison P (2012) Biological control arthropods and its application in vineyards. In: Bostanian NJ, Vincent C, Isaacs R (eds) Arthropod management in Vineyards: pests, approaches, and future directions. Springer, Dordrecht, pp 91–117
- Weingart, G., Kluger, B., Forneck, A., Krska, R. & Schuhmacher, R. 2012. Establishment and application of a metabolomics workflow for identification and profiling of volatiles from leaves of *Vitis vinifera* L. by HS-SPME-GC-MS. *Phytochem. Anal.*, 23, pp. 345-358.
- White, M.A., Diffenbaugh, N.S., Jones, G.V., Pal, J.S., Giorgi, F. 2006. Extreme heat reduces and shifts United States premium wine production in the 21st century. *Proc Natl Acad Sci USA*, 103, pp. 11217–11222.
- Xu, L. 1999. Effects of temperature on the latent period of the rose powdery mildew pathogen, *Sphaerotheca pannosa*. *Plant Pathol.*, 48, pp. 662–667.
- Yuan, J.S., Himanen, S.J., Holopainen, J.K., Chen, F. & Stewart, C.N. 2009. Smelling global climate change: mitigation of function for plant volatile organic compounds. *Trends Ecol Evol*, 24, pp. 323–331.
- Zavala, J.A., Nability, P.D. & DeLucia, E.H. 2013. An emerging understanding of mechanisms governing insect herbivory under elevated CO<sub>2</sub>. *Annu Rev Entomol*, 58, pp. 79–97.