



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

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Κλιματική Αλλαγή στον Ελληνικό Αμπελώνα & Τρόποι
Αντιμετώπισης των Επιπτώσεων**

Γκίνη Γρηγόρης

ΑΜ: 18685064

Τσαρμακλής-Λιβανίδης Λεωνίδας-Νικόλαος

ΑΜ: 18685108

Επιβλέπων

Όνοματεπώνυμο: Θεοδώρου Νικόλαος

ΑΘΗΝΑ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2022



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

BACHELOR THESIS

**Climate Change in the Greek Vineyard & Ways of Addressing
its Effects**

Gjini Grigoris

Registration Number: 18685064

Tsarmaklis-Livanidis Leonidas-Nikolaos

Registration Number: 18685108

**Supervisor
Name & Surname: Theodorou Nikolaos**

ATHENS, SEPTEMBER 2022



**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:

“Κλιματική Αλλαγή στον Ελληνικό Αμπελώνα και Τρόποι Αντιμετώπισης των Επιπτώσεων”

και βεβαιώνουμε ότι γίνεται δεκτή.

Ψηφιακή Υπογραφή Υπεύθυνου Διδάσκοντος ΕΔΒΜ96 (1^{ου} Μέλους Επιτροπής)	
Ψηφιακή Υπογραφή Καθηγητή (2^{ου} Μέλους Επιτροπής)	
Ψηφιακή Υπογραφή Αναπληρωτή Καθηγητή (3^{ου} Μέλους Επιτροπής)	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΩΝ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Οι κάτωθι υπογεγραμμένοι, **Γκίνη Γρηγόρης** με αριθμό μητρώου **18685064** & **Τσαρμακλής-Λιβανίδης Λεωνίδας-Νικόλαος** με αριθμό μητρώου **18685108**, φοιτητές του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Επιστημών Τροφίμων του Τμήματος Επιστημών Οίνου, Αμπέλου και Ποτών δηλώνουμε 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».

ΓΚΙΝΗ ΓΡΗΓΟΡΗΣ



ΤΣΑΡΜΑΚΛΗΣ-ΛΙΒΑΝΙΔΗΣ ΛΕΩΝΙΔΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματεύεται την βιβλιογραφική ανασκόπηση του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής και της σημασίας των επιπτώσεων αυτής στην αμπελοκαλλιέργεια, με έμφαση τις ποικιλίες που προορίζονται για την παραγωγή οίνου.

Γίνεται αναφορά στις πρώτες περιγραφές στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και παρατίθεται ο ορισμός της υπερθέρμανσης του πλανήτη, καθώς και οι επιπτώσεις που αφορούν την αμπελοκαλλιέργεια και έχουν παρατηρηθεί σε περιοχές τόσο της Ευρώπης όσο και του παγκόσμιου αμπελώνα.

Γίνεται αναφορά στην μακρόχρονη ιστορία της αμπελοκαλλιέργειας στον Ευρωπαϊκό και κατ' επέκταση Ελληνικό αμπελώνα καθώς επίσης και στις γηγενείς ποικιλίες αμπέλου, που δίνουν και οίνους υψηλής ποιοτικής στάθμης (Π.Ο.Π και Π.Γ.Ε.).

Μέσω της της ανάπτυξης πολυάριθμων μοντέλων πρόβλεψης που αφορούν την μεταβολή των κλιματικών συνθηκών για τις επόμενες δεκαετίες, γίνεται περιγραφή των άμεσων και έμμεσων επιπτώσεων τόσο στις φυσιολογικές διεργασίες των φυτών της αμπέλου όσο και στα ποιοτικά χαρακτηριστικά της ράγας καθώς επίσης αναφέρονται και μεθοδολογίες που αφορούν τις κλιματικές συνθήκες και καθορίζουν είτε την εγκατάσταση νέων αμπελώνων είτε την διαχείριση υφιστάμενων.

Ακολούθως γίνεται αναφορά στα προτεινόμενα βραχυπρόθεσμα και μεσοπρόθεσμα μέτρα που μπορούν να εφαρμοστούν με κύριο στόχο την εξομάλυνση των αρνητικών επιπτώσεων στην ποιότητα και τα χαρακτηριστικά οίνων που παράγονται σε διάφορες φημισμένες αμπελο-οινικές περιοχές.

Λέξεις κλειδιά: κλιματική αλλαγή, άμπελος, οίνος, γηγενείς ποικιλίες, ελληνικός αμπελώνας, terroir, βιοκλιματικοί δείκτες

ABSTRACT

The present dissertation deals with the literature review of the phenomenon of climate change and the importance of its effects on viticulture, with emphasis on the varieties intended for wine production.

Reference is made to the first descriptions of the greenhouse effect and the definition of global warming is given, as well as the effects on viticulture that have been observed in areas of both Europe and the world vineyard.

Reference is made to the long history of viticulture in the European and consequently Greek vineyard as well as to the indigenous vine varieties, which give wines of high quality (PDO and PGI).

Through the development of numerous prediction models concerning climate change for the coming decades, the direct and indirect effects on both the physiological processes of the vine plants and the qualitative characteristics of the wine are described, as well as methodologies concerning the climatic conditions. conditions and determine either the establishment of new vineyards or the management of existing ones.

The following is a reference to the proposed short-term and medium-term measures that can be implemented with the main goal of smoothing out the negative effects on the quality and characteristics of wines produced in various renowned wine-growing regions.

Keywords: climate change, vine, wine, indigenous varieties, Greek vineyard, terroir, bioclimatic indicators

Ευχαριστίες

Για την εκπόνηση της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας θα θέλαμε να εκφράσουμε τις θερμές μας ευχαριστίες στον κ. Νικόλαο Θεοδώρου για την συνεχή καθοδήγηση και ανατροφοδότησή του για την καλύτερη ανάλυση του θέματος.

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
ABSTRACT	6
Ευχαριστίες	7
Περιεχόμενα	8
Ευρετήριο Πινάκων	11
Ευρετήριο Εικόνων	12
Εισαγωγή	13
1. Η ιστορία & η εξάπλωση και της αμπέλου	14
1.1 Ζώνες ΠΟΠ Ελλάδος	15
1.2 Ζώνες ΠΓΕ	17
1.3 Γηγενείς ποικιλίες Ελλάδος	18
2. Βιολογία της Αμπέλου & Κλιματικές συνθήκες	19
3. Κλιματικές συνθήκες στον Ελληνικό αμπελώνα	23
3.1 Ιστορική επισκόπηση του κλίματος της Ελλάδας για την περίοδο 1981 - 2010 (μέσοι όροι και τάσεις)	24
4. Η κλιματική αλλαγή ως φαινόμενο	28
5. Ελλάδα & Κλιματική Αλλαγή	32
5.1 Κλιματικές τάσεις στην Ελλάδα	32
6. Μέσα παρακολούθησης και πρόβλεψης των κλιματικών παραμέτρων	35
6.1 Βιοκλιματικοί Δείκτες	35
6.2 Βιοκλιματικοί δείκτες στην Ελλάδα	42
6.3 Μοντέλο παρακολούθησης της εξέλιξης της κλιματικής αλλαγής	44
6.4 Προοπτικές	45
7. Επιπτώσεις και προβλέψεις για την κλιματική αλλαγή	46
7.1 Επίδραση της υδατικής καταπόνησης στη φυσιολογία της αμπέλου	46
7.2 Επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην φωτοσύνθεση	49
7.3 Επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην επιδημιολογία μυκήτων & εντόμων	50
7.4 Επιπτώσεις στον παγκόσμιο αμπελώνα	51
7.4.1 Ευρώπη	56
7.4.2 Βόρεια Αμερική	57
7.4.3 Νότια Αμερική	57
7.4.4 Ν.Αφρική	58
7.4.5 Ωκεανία	58
7.5 Επιπτώσεις στον Ελληνικό αμπελώνα	59
7.6 Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των οίνων	61
8. Terroir	62

9. Επιπτώσεις στα ποιοτικά χαρακτηριστικά της ράγας	63
9.1 Ταννίνες	63
9.2 Ανθοκυάνες	64
9.3 Φαινόλες	66
9.4 Σάκχαρα	66
9.5 Οξύτητα	67
9.6 Πρόδρομες Αρωματικές Ενώσεις	69
9.7 Τερπένια	70
9.8 Μεθοξυπυραζίνες	71
9.9 Θειούχες Ενώσεις	73
10. Μέτρα αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής	74
10.1 Τρύγος	74
10.2 Διαχείριση Βλαστικού Τείχους	74
10.3 Διαχείριση Εδάφους	76
10.4 Προστασία από Παγετό	77
10.5 Κλωνική Επιλογή	77
10.6 Επιλογή τοποθεσίας & ποικιλίας	78
10.7 Επιλογή υποκειμένων & ποικιλιών	79
10.8 Άρδευση	80
10.9 Καλλιεργητικές πρακτικές που αφορούν την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής	81
10.10 Οινολογικές πρακτικές που αφορούν την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής	82
11. Συμπέρασμα	83
12. Βιβλιογραφία	84
12.1 Ξενόγλωσση βιβλιογραφία	84
12.2 Ελληνική βιβλιογραφία	91
12.3 Πηγές	92

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1: Στοιχεία ημερομηνίας συγκομιδής και θερμοκρασίας αέρα για τις 29 ποικιλίες *V.vinifera* που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή τη μελέτη (16 γηγενείς και 13 διεθνείς) για τις μεγάλες αμπελοοινικές περιοχές στην Ελλάδα. Στις 2 πρώτες στήλες παρουσιάζονται οι ποικιλίες & οι περιοχές. Στην τρίτη στήλη παρουσιάζονται οι μέσοι όροι και η τυπική απόκλιση,(οι οποίες βρίσκονται σε παρένθεση). Στην τέταρτη στήλη παρουσιάζονται η κατεύθυνση τάσης (- ή +) και κλίση (συντελεστής b) για τις ημερομηνίες τρυγητού. Στην 5η στήλη παρουσιάζονται οι σχέσεις μεταξύ των ημερομηνιών συγκομιδής και του TXMarchJuly [για τις πρώιμες (E) ποικιλίες ωρίμανσης] και TXRP [για ποικιλίες μέσης (M) και όψιμης (L) ωρίμανσης], με τις τιμές να αντιπροσωπεύουν ημέρες ανά 1 °C. Η περίοδος καταγραφής για τις ημερομηνίες συγκομιδής δίνεται στην τελευταία στήλη. 21

Πίνακας 2: Κατεύθυνση και κλίση των γραμμικών παλινδρομήσεων μεταξύ των κλιματικών μεταβλητών κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου και του χρόνου για τις 8 επιλεγμένες περιοχές αμπέλου 31

Πίνακας 3: Συχνότητα σημαντικών σχέσεων αμπελοκαλλιέργειας - κλίματος για τους 3 ορισμούς της «αποτελεσματικής» καλλιεργητικής περιόδου 32

Πίνακας 4: Όρια κατηγοριών των βιοκλιματικών δεικτών 38

Πίνακας 5: Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία για τις κλιματικές μεταβλητές για την καλλιεργητική περίοδο (GS) για τις 8 επιλεγμένες περιοχές αμπελοκαλλιέργειας 40

Πίνακας 6: Μελλοντικές ανάγκες προσαρμογής 51

Πίνακας 7: Η επίδραση της έκθεσης της ηλιακής ακτινοβολίας σε βόστρυχους σταφυλιών (σκιασμένους και εκτεθειμένους) στην ανάλυση οίνου της ποικιλίας Sauvignon Blanc το 2013, το 2014 και το 2015. Οι τιμές P προέρχονται από τα Student's t-tests. 70

Ευρετήριο Εικόνων

- Εικόνα 1: Σύγκριση της μέσης μηνιαίας μέγιστης θερμοκρασίας αέρα (TX, °C) μεταξύ δεδομένων παρατήρησης (συμπαγείς γραμμές) και των προερχόμενων στοιχείων από το μοντέλο περιφερειακού κλίματος (διακεκομμένες γραμμές) RegCM4 κατά την περίοδο 1980–2004. Οι κάθετοι άξονες αντιπροσωπεύουν τη μέση μηνιαία μέγιστη θερμοκρασία αέρα (TX) που κυμάνθηκε από 2 έως 36°C, ενώ οι οριζόντιοι άξονες δείχνουν τους μήνες που ξεκινούν από τον Ιανουάριο.
- 25
- Εικόνα 2: Σύγκριση της μέσης μηνιαίας ελάχιστης θερμοκρασίας αέρα (TN, °C) μεταξύ των δεδομένων παρατήρησης (συμπαγείς γραμμές) και των προερχόμενων στοιχείων από το μοντέλο περιφερειακού κλίματος (διακεκομμένες γραμμές) RegCM4 κατά την περίοδο 1980–2004. Οι κάθετοι άξονες αντιπροσωπεύουν τη μέση μηνιαία ελάχιστη θερμοκρασία αέρα (TN) που κυμάνθηκε από – 5 έως 25°C, ενώ οι οριζόντιοι άξονες δείχνουν τους μήνες που ξεκινούν από τον Ιανουάριο.
- 26
- Εικόνα 3: Εξέλιξη της παγκόσμιας θερμοκρασίας για διάφορα κλιματικά μοντέλα και σενάρια διαμόρφωσης των επιπέδων CO₂ (IPCC / IPCC 2007)
- 29
- Εικόνα 4: Χάρτης ισόθερμων ζωνών μέσης θερμοκρασίας 12°-22 °C καλλιεργητικής περιόδου (Βόρειο ημισφαίριο, Απρ-Οκτ) (Νότιο Ημισφαίριο, Οκτώβριος-Απρ) για το 1999 και το 2049 που προέρχονται από παρατηρήσεις και το Μοντέλο Κοινοτικού Κλιματικού Συστήματος (CCSM). Οι μελλοντικές προβλέψεις βασίζονται στο σενάριο εκπομπών A1B (μέτρια μελλοντική κατανάλωση). Οι ισοθερμικές ζώνες αντιπροσωπεύουν τα παγκόσμια γεωγραφικά όρια περιοχών αμπελοκαλλιέργειας (Gladstones, 2005· Jones, 2006).
- 29
- Εικόνα 5: Ο δείκτης Huglin για όλη την Ευρώπη από το 1951 έως το 2000 (παρατηρούμενα μετεωρολογικά δεδομένα) και οι υπολογισμοί μοντέλων έως το 2050. Τα δεδομένα CRU και τα αποτελέσματα PCM αφορούν στον ευρωπαϊκό χάρτη
- 35
- Εικόνα 6: Βiplot των δύο κύριων συνιστωσών της μέσης θερμοκρασίας κατά την βλαστική περίοδο σε 46 μετεωρολογικούς σταθμούς (όπου οι ανοιχτοί κύκλοι αντιπροσωπεύουν τους παράκτιους και περιφερειακούς σταθμούς, τα X αντιπροσωπεύουν τους σταθμούς της ηπειρωτικής χώρας και οι συμπαγείς κουκκίδες αντιπροσωπεύουν τους υπόλοιπους σταθμούς)
- 40
- Εικόνα 7: Βιοκλιματικοί δείκτες για το κλίμα το 1950 και τις κλιματικές συνθήκες το 2099. Και οι δύο κατασκευάστηκαν με προσομοιώσεις του μοντέλου GCM GFDL-ESM2M ISIMIP2 Φάση B και καθοδηγούνται από το σενάριο εκπομπής RCP6. Το ισχυρό μέγεθος των δεικτών προκύπτει μέσω της προσαρμοσμένης γραμμικής παλινδρόμησης στην υπολογισμένη τιμή των δεικτών, με τις εξόδους της αντίστοιχης προσομοίωσης GCM.
- 50

Εισαγωγή

Η κλιματική αλλαγή αποτελεί ένα φαινόμενο που έχει εξελιχθεί συγκριτικά με τα προηγούμενα χρόνια και αποτελεί σήμερα ένα αντικείμενο μελέτης για πολλές επιστημονικές ομάδες. Αναφέρεται στις σημαντικές αλλαγές των κλιματικών παραμέτρων που πραγματοποιούνται παγκοσμίως και πιο συγκεκριμένα στις σημαντικές αυξήσεις του μέσου όρου θερμοκρασίας και των συγκεντρώσεων διοξειδίου του άνθρακα, καθώς και στην απότομη μεταβολή του καιρού και στα ακραία καιρικά φαινόμενα. Επηρεάζει σε πολύ σημαντικό βαθμό τις γεωργικές καλλιέργειες παγκοσμίως και βεβαίως και την Ελλάδα. Η πρόβλεψη των αρνητικών συνεπειών του φαινομένου στην αμπελοκαλλιέργεια είναι πολύ σημαντική για την ποσοτική και ποιοτική παραγωγή του σταφυλιού, με συνέπειες σε τομείς όπως η ποιότητα των οίνων, οι περιοχές που χαρακτηρίζονται από ιδιότυπες εδαφοκλιματικές συνθήκες 'terroir', ο ορισμός ζωνών ΠΟΠ, ΠΓΕ κλπ.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματεύεται στο φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής και τον τρόπο που θα επηρεάσει την ποιότητα των σταφυλιών στον Ελληνικό αμπελώνα και τους τρόπους με τους οποίους μπορούν να αντιμετωπιστούν. Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στις έννοιες κλίμα και καιρός καθώς και μια περιγραφή του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής. Παρατίθεται ο ορισμός της υπερθέρμανσης του πλανήτη, καθώς και οι επιπτώσεις που επιδρούν στην καλλιέργεια της αμπέλου και έχουν παρατηρηθεί σε περιοχές τόσο της Ευρώπης όσο και του παγκόσμιου αμπελώνα. Στην συνέχεια γίνεται αναφορά στην ιστορία της αμπελοκαλλιέργειας στον Ευρωπαϊκό και κατ' επέκταση ελληνικό αμπελώνα, με ιστορική επισκόπησή του για την περίοδο 1981 - 2010. καθώς επίσης και στις γηγενείς ποικιλίες αμπέλου, που δίνουν και οίνους προστατευόμενης προέλευσης (Π.Ο.Π και Π.Γ.Ε.). Έπειτα γίνεται αναφορά στους βιοκλιματικούς δείκτες, οι οποίοι θα αποτελέσουν ένα μέσο παρακολούθησης των παραμέτρων, με τα οποία προσδιορίζουμε μια περιοχή κατάλληλη για αμπελοκαλλιέργεια και θα συμβάλλουν στην παρατήρηση του φαινομένου και στον προσδιορισμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής.

Στο επόμενο κεφάλαιο αναλύονται οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής και παρουσιάζονται οι επιπτώσεις της στον παγκόσμιο αμπελώνα (Βόρεια Αμερική, Ευρώπη, Νότια Αμερική, Νότια Αφρική, Ωκεανία) και στην Ελλάδα. Ύστερα αναλύονται βασικά συστατικά του οίνου (τανίνες, ανθοκυάνες, σάκχαρα, οξέα, φαινόλες, πρόδρομες αρωματικές ενώσεις, τερπένια, μεθοξυπυραζίνες, θειούχες ενώσεις) καθώς και το πως επηρεάζονται από το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής, με αναφορά στην βιολογία της αμπέλου σε σχέση με τις κλιματικές συνθήκες.

Τέλος προσδιορίζονται βραχυπρόθεσμα & μακροπρόθεσμα μέτρα για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής με αναφορές στην διαχείριση του βλαστικού τείχους και του εδάφους, στην προστασία από τον παγετό, στην διαχείριση του μικροκλίματος και στην άρδευση, τα οποία έχουν ως σκοπό την μετρίαση των επιπτώσεων στα χαρακτηριστικά των οίνων που παράγονται σε γνωστές αμπελοοινικές περιοχές.

1. Η ιστορία & η εξάπλωση και της αμπέλου

Η άμπελος *V.vinifera* καλλιεργήθηκε στη Μ.Ανατολή από το 4.000 π.Χ. και πιθανότατα νωρίτερα. Οι αρχαιότερες μαρτυρίες της οινοποίησης προέρχονται από την σημερινή Συρία και από την σημερινή Γεωργία στα νότια του Καύκασου, όπου βρέθηκαν πήλινα αγγεία θαμμένα στο έδαφος, που χρησίμευαν ήδη 6000 χρόνια π.Χ. στην συντήρηση του οίνου. Αρχαίες αναφορές που προέρχονται από την Αίγυπτο και χρονολογούνται από το 2.500 π.Χ. αναφέρονται στη χρήση της αμπέλου για την παραγωγή οίνου και πολλές αναφορές υποδεικνύουν την πρώιμη προέλευση και τη σημασία της οινοποίησης στην Μ.Ανατολή.

Οι Έλληνες ασχολήθηκαν με την αμπελοκαλλιέργεια και με την παραγωγή οίνου και επέκτειναν την αμπελοκαλλιέργεια και στις αποικίες τους, που επεκτείνονταν από τη Μαύρη Θάλασσα μέχρι την Ισπανία. Οι Ρωμαίοι μεταφύτευσαν αμπέλια στις κοιλάδες του Ρήνου και του Mosel (που εξελίχθηκαν στις μεγάλες οινοπαραγωγικές περιοχές της Γαλλίας και της Γερμανίας αντίστοιχα), του Δούναβη, της Ρουμανίας, της Σερβίας, της Κροατίας, της Ουγγαρίας, της Αυστρίας και του Ροδανού, του ποταμού Saone, του Garonne, του Λίγηρα και του Μάρνη (που ορίζουν τις μεγάλες γαλλικές περιοχές του Ροδανού, της Βουργουνδίας, του Μπορντό, του Λίγηρα και της Καμπανίας). Η σημασία του οίνου για τους χριστιανικούς πληθυσμούς ακόμα και μετά την πτώση της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας έπαιξε σημαντικό ρόλο στη διατήρηση της οινοπαραγωγής με αποτέλεσμα να αναπτυχθεί σε μεγάλο βαθμό η παραγωγή οίνου στην Ευρώπη και να αναπτυχθούν πολλές οινοπαραγωγικές περιοχές.

Στην συνέχεια αφού ανακαλύφθηκε ο Νέος Κόσμος, η τεχνογνωσία της αμπελοκαλλιέργειας και της οινοπαραγωγής μεταφέρθηκαν στον Νέο Κόσμο. Συγκεκριμένα κατά τον 16ο αιώνα η αμπελοκαλλιέργεια ξεκίνησε στην Χιλή και στην Αργεντινή και συγκεκριμένα η αμπελοκαλλιέργεια ξεκίνησε στους πρόποδες των Άνδεων. Στην Καλιφόρνια οι κύριες αμπελοοινικές περιοχές που βρίσκονταν αρχικά στις νότιες περιοχές και στην συνέχεια οι κύριες περιοχές αμπελοκαλλιέργειας αποτελούν περιοχές που βρίσκονται στην Κεντρική Κοιλάδα, στην Sonoma County, στην Napa Valley, και στην Mendocino.

Κατά τον 19ο αιώνα ξεκίνησε η αμπελοκαλλιέργεια στην Αυστραλία και στην Νέα Ζηλανδία και Ολλανδοί έποικοι μεταφύτευσαν αμπέλια από την περιοχή του Ρήνου στη Νότια Αφρική ήδη από το 1654. Η είσοδος της φυλλοξήρας στον υπόλοιπο κόσμο οδήγησε στην καταστροφή των περισσότερων αμπελώνων στην Ευρώπη, όπου κυριαρχούσε το είδος *V.vinifera*, αλλά και αρκετούς αμπελώνες στον Νέο Κόσμο, όπως στην California και σε περιοχές της Αυστραλίας. Για την καταπολέμηση του εντόμου εμβολιάστηκε η ευρωπαϊκή άμπελος *V.vinifera* πάνω σε αμερικάνικα είδη αμπέλου, που χρησιμοποιήθηκαν ως υποκείμενα.

Μετά την ανάκαμψη των αμπελώνων, οι ευρωπαϊκές κυβερνήσεις προστάτευσαν το κύρος της παραγωγής ιστορικών οινοπαραγωγικών περιοχών θεσπίζοντας νόμους που απονέμουν τοπικές ονομασίες και ταξινομήσεις ποιότητας μόνο σε εκείνους τους οίνους που παράγονται σε συγκεκριμένες τοποθεσίες με αυστηρά ρυθμιζόμενες διαδικασίες. Σήμερα, οι νεότερες οινοπαραγωγικές χώρες έχουν θεσπίσει παρόμοιους κανονισμούς.

1.1 Ζώνες ΠΟΠ Ελλάδος

Οι κύριες οινοπαραγωγικές ζώνες στην Ελλάδα βρίσκονται στην Πελοπόννησο, στην Μακεδονία και στην Κρήτη. Το κλίμα της Ελλάδος είναι κατάλληλο για την αμπελοκαλλιέργεια και συνεπώς υπάρχουν λίγα σημεία στην χώρα όπου δεν έχει καλλιεργηθεί η άμπελος. Υπάρχουν 33 ζώνες Προστατευόμενης Ονομασίας Προέλευσης στην Ελλάδα και σε αυτές καλλιεργούνται αποκλειστικά Ελληνικές ποικιλίες. Οι πιο γνωστές είναι η ΠΟΠ Νεμέα, όπου καλλιεργείται το Αγιωργίτικο, η ΠΟΠ Νάουσσα, όπου καλλιεργείται η ποικιλία Ξινόμαυρο, και η ΠΟΠ Σαντορίνη, όπου καλλιεργείται η ποικιλία Ασύρτικο. Παρακάτω βρίσκονται οι 33 ζώνες ΠΟΠ της Ελλάδος:

- ΠΟΠ Μεσενικόλας - Καρδίτσα (Μαύρο Μεσενικόλα, Syrah, Cargnan)
- ΠΟΠ Νάουσα - Ημαθία (Ξινόμαυρο)
- ΠΟΠ Νεμέα - Κορινθία, Αργολίδα (Αγιωργίτικο)
- ΠΟΠ Πάρος - (Μανδηλαριά, Μονεμβασιά)
- ΠΟΠ Πάτρα - Αχαΐα (Ροδίτης)
- ΠΟΠ Πεζά - Ηράκλειο (Κοτσιφάλι, Μανδηλαριά)
- ΠΟΠ Πλαγιές Μελίτων - Χαλκιδική (Λημιό, Cabernet-Sauvignon, Cabernet franc)
- ΠΟΠ Ραψάνη - Λάρισα (Ξινόμαυρο, Κρασάτο, Σταυρωτό)
- ΠΟΠ Ρόδος - (Μανδηλαριά)
- ΠΟΠ Ρομπόλα Κεφαλληνίας - Κεφαλονιά (Ρομπόλα)

- ΠΟΠ Σητεία - Λασιθί (Λιάτικο, Μανδηλαριά)
- ΠΟΠ Χάνδακας Candia - Ηράκλειο (Κοτσιφάλι, Μανδηλαριά)
- ΠΟΠ Αμύνταιο - Φλώρινα (Ξινόμαυρο)
- ΠΟΠ Αρχάνες - Ηράκλειο (Κοτσιφάλι, Μαντηλαριά)
- ΠΟΠ Αγχίαλος – Μαγνησία (Ροδίτης, Σαββατιανό)
- ΠΟΠ Γουμένισσα - Κιλκίς (Ξινόμαυρο, Νεγκόσκα)
- ΠΟΠ Δαφνές - Ηράκλειο (Λιάτικο)
- ΠΟΠ Ζίτσα - Ιωάννινα (Ηπειρος) Ντεμπίνα
- ΠΟΠ Λήμνος - (Λημνιό)
- ΠΟΠ Μαντινεία - Μαντινεία (Πελοπόννησος) Μοσχοφίλερο
- ΠΟΠ Μονεμβασία Malvasia - Λακωνία (Μονεμβασιά, Ασύρτικο, Ασπρούδες, Κυδωνίτσα)
- ΠΟΠ Malvasia Πάρος - (Μονεμβασιά, Ασύρτικο)
- ΠΟΠ Malvasia Σητεία - Λασιθί (Αθήρι, Ασύρτικο, Θραψαθήρι, Μοσχάτο άσπρο, Λιάτικο, Malvasia di Candia aromatica)
- ΠΟΠ Malvasia Χάνδακας Candia - Ηράκλειο (Αθήρι, Ασύρτικο, Θραψαθήρι, Βιδιανό, Μοσχάτο άσπρο, Λιάτικο, Malvasia di Candia aromatica)
- ΠΟΠ Vinsanto Σαντορίνης - (Ασύρτικο, Αηδάνι άσπρο)
- ΠΟΠ Μοσχάτος Κεφαλληνίας - (Μοσχάτο άσπρο)
- ΠΟΠ Μοσχάτος Λήμνου - (Μοσχάτο Αλεξανδρείας)
- ΠΟΠ Μοσχάτος Πατρών - Αχαΐα (Μοσχάτο άσπρο)
- ΠΟΠ Μοσχάτος Ρίου Πατρών - Αχαΐα (Μοσχάτο άσπρο)
- ΠΟΠ Μοσχάτος Ρόδου - (Μοσχάτο άσπρο)
- ΠΟΠ Σάμος - (Μοσχάτο άσπρο)
- ΠΟΠ Μαυροδάφνη Κεφαλληνίας - (Μαυροδάφνη, Κορινθιακή σταφίδα)
- ΠΟΠ Μαυροδάφνη Πατρών - Αχαΐα (Μαυροδάφνη, Κορινθιακή σταφίδα)

1.2 Ζώνες ΠΓΕ

Στην Ελλάδα υπάρχουν 58 ζώνες Προστατευόμενης Γεωγραφικής Ένδειξης (ΠΓΕ) και απαρτίζονται από μεγαλύτερη γεωγραφική έκταση συγκριτικά με τις ζώνες ΠΟΠ. Για κάθε ζώνη ΠΓΕ υπάρχει ένα σύνολο επιτρεπόμενων ποικιλιών, από τις οποίες ο οίνος πρέπει να προέρχεται προκειμένου να αποκτήσει την ονομασία ΠΓΕ, καθώς και ένα σύνολο συνιστώμενων ποικιλιών, στις οποίες έχει διαπιστωθεί ότι εκφράζουν περισσότερο τον χαρακτήρα της περιοχής. Παρακάτω βρίσκονται οι 58 ζώνες ΠΓΕ της Ελλάδος:

- ❖ ΠΓΕ Άβδηρα
- ❖ ΠΓΕ Άγιον Όρος
- ❖ ΠΓΕ Αγορά
- ❖ ΠΓΕ Αδριανή
- ❖ ΠΓΕ Πλαγιές Πάρνηθας
- ❖ ΠΓΕ Πλαγιές Πετρωτού
- ❖ ΠΓΕ Πυλία
- ❖ ΠΓΕ Ριτσώνα Αυλίδας
- ❖ ΠΓΕ Σιάτιστα
- ❖ ΠΓΕ Σιθωνία
- ❖ ΠΓΕ Σπάτα
- ❖ ΠΓΕ Σύρος
- ❖ ΠΓΕ Τεγέα
- ❖ ΠΓΕ Τριφυλία
- ❖ ΠΓΕ Τύρναβος
- ❖ ΠΓΕ Χαλικούνα.
- ❖ ΠΓΕ Ανάβυσσος
- ❖ ΠΓΕ Βελβεντός
- ❖ ΠΓΕ Βίλιτσα
- ❖ ΠΓΕ Βόρειες Πλαγιές Πεντελικού
- ❖ ΠΓΕ Γεράνια
- ❖ ΠΓΕ Ελασσόνα
- ❖ ΠΓΕ Επανομή
- ❖ ΠΓΕ Θαψανών Πάρου
- ❖ ΠΓΕ Θήβα
- ❖ ΠΓΕ Ικαρία
- ❖ ΠΓΕ Ίλιον
- ❖ ΠΓΕ Ίσμαρος
- ❖ ΠΓΕ Κάρυστος
- ❖ ΠΓΕ Κίσσαμος
- ❖ ΠΓΕ Κλημέντι
- ❖ ΠΓΕ Κοιλάδα Αταλάντης
- ❖ ΠΓΕ Κορωπί
- ❖ ΠΓΕ Κρανιά
- ❖ ΠΓΕ Κραννώνας
- ❖ ΠΓΕ Κως
- ❖ ΠΓΕ Λετρίνα
- ❖ ΠΓΕ Ληλάντιο Πεδίο
- ❖ ΠΓΕ Μαντζαβινάτα
- ❖ ΠΓΕ Μαρκόπουλο
- ❖ ΠΓΕ Μαρτίνο
- ❖ ΠΓΕ Μεταξάτα
- ❖ ΠΓΕ Μετέωρα
- ❖ ΠΓΕ Μέτσοβο
- ❖ ΠΓΕ Νέα Μεσημβρία
- ❖ ΠΓΕ Οπούντια Λοκρίδας
- ❖ ΠΓΕ Παγγαίο
- ❖ ΠΓΕ Παιανία
- ❖ ΠΓΕ Παλλήνη
- ❖ ΠΓΕ Παρνασσός
- ❖ ΠΓΕ Πισάτις
- ❖ ΠΓΕ Πλαγιές Αιγιαλείας
- ❖ ΠΓΕ Πλαγιές Αίνου
- ❖ ΠΓΕ Πλαγιές Αμπέλου
- ❖ ΠΓΕ Πλαγιές Βερτίσκου
- ❖ ΠΓΕ Πλαγιές Κιθαιρώνα
- ❖ ΠΓΕ Πλαγιές Κνημίδας
- ❖ ΠΓΕ Πλαγιές Πάικου

1.3 Γηγενείς ποικιλίες Ελλάδος

Υπάρχουν περίπου 200 γηγενείς ποικιλίες στην Ελλάδα (Lacombe et al., 2011)., από τις οποίες ελάχιστες καλλιεργούνται κάπου αλλού. Οι ποικιλίες αυτές προσαρμόζονται και επιβιώνουν στις ξηρές, θερμές συνθήκες της χώρας και πολλές συμβάλλουν στην παραγωγή κρασιών υψηλής ποιότητας. Υπάρχουν ορισμένες φυτεύσεις ερυθρών καθώς και λευκών

διεθνών ποικιλιών, αλλά οι περισσότεροι οίνοι ΠΟΠ πρέπει να προέρχονται από γηγενείς ποικιλίες. Παρακάτω παρουσιάζονται μερικές από τις ελληνικές γηγενείς ποικιλίες:

- Αγιωργίτικο
- Ξινόμαυρο
- Μαυροδάφνη
- Κοτσιφάλι
- Λημινό
- Μανδηλαριά
- Μαυροτράγανο
- Μαυρούδι
- Κρασάτο
- Μοσχόμαυρο
- Σταυρωτό
- Αγιαννιώτικο
- Βλάχικο
- Φωκιανό
- Μπεκιάρι
- Λημιώνα
- Βερτζαμί
- Λιάτικο
- Ρωμέικο
- Φιλέρι
- Μαύρο Μεσενικόλα
- Νεγκόσκα
- Σκυλοπνίχτης
- Κορφιάτης
- Θράψα
- Αηδάνι μαύρο
- Αθήρι μαύρο
- Βραδιανό
- Κορίθι μαύρο
- Μαυροκόρακας
- Ρεφόσκο
- Αρακλινό
- Γλυκοπάτι
- Θειακό μαύρο
- Κοκκινοβοστίτσα
- Λακιδινό
- Μοσχάτο Μαύρο
- Σεριφιώτικο
- Αμφιόνι
- Βιολεντό
- Αυγουσιιάτης
- Διμηνίτης
- Καραμπραΐμης
- Κοκκινόρομπόλα
- Παπαδικό
- Ρητινό
- Αρμελετούσα
- Ζαλοβίτικο
- Κατσακούλιας
- Μπακούρι
- Τουρκοπούλα
- Φειδιά
- Συκιώτης
- Πατρινό
- Αθήρι
- Ασπρορομπόλα
- Ασπρούδες
- Ασύρτικο
- Αηδάνι
- Αθήρι
- Βηλάνα
- Θραψαθήρι
- Βιδιανό
- Γλυκάδι

- Γουστολίδι
- Ζουμιάτικο
- Κυδωνίτσα
- Μαλαγουζιά
- Μονεμβασιά
- Μοσχοφίλερο
- Μπατίκι
- Ντεμπίνα
- Ροδίτης
- Ρομπόλα
- Σαββατιανό

2. Βιολογία της Αμπέλου & Κλιματικές συνθήκες

Η οινοπαραγωγή έχει μεγάλη σημασία σε πολλές χώρες στον οικονομικό και στον κοινωνικό τομέα και επομένως έχουν πραγματοποιηθεί περισσότερες μελέτες για την πρόληψη προβλημάτων που αφορούν την άμπελο (π.χ. Teslić et al., 2018). Έχει διαπιστωθεί ότι οι παράμετροι που αφορούν το κλίμα και ιδίως η θερμοκρασία θα καθορίσει σε μεγάλο βαθμό την συσταση των ραγών σε διάφορες ενώσεις κατά τον τρυγητό (Arrizabalaga-Arriazu et al., 2020). Ένα μεγάλο μέρος των ερευνών επικεντρώνονται στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στη ανάπτυξη της αμπέλου (διάρκεια κύκλου ανάπτυξης και πρωιμότητα), και έχουν δείξει ότι μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά τη φυσιολογία και τα στάδια ανάπτυξης των φυτών, αναφέροντας σημαντική πρόωρη ανάπτυξη του φυτού, λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας κατά την καλλιεργητική περίοδο (Webb et al., 2011), με αποτέλεσμα την πρωίμιση της ωρίμανσης.

Η θερμοκρασία αποτελεί το πιο σημαντικό παράγοντα για την ανάπτυξη της αμπέλου, σε σημείο που μπορούμε να προβλέψουμε την ημερομηνία τεχνολογικής ωριμότητας ενός αμπελιού βασισμένοι μόνο σε μοντέλα που έχουν ως βάση την θερμοκρασία. Ως γνωστόν, η καλλιέργεια της αμπέλου λαμβάνει χώρα σε περιοχές όπου η μέση θερμοκρασία της καλλιεργητικής περιόδου είναι 12 έως 22 °C, με βέλτιστες τιμές για την ανάπτυξη των βλαστών να βρίσκεται στους 20 °C έως 35 °C. Χρειάζονται επίσης θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 10°C τον χειμώνα για να σπάσει ο λήθαργος των οφθαλμών και να ξεκινήσει ο βλαστικός κύκλος, αλλά και για την αποθήκευση υδατανθράκων σε πολυετή όργανα (ρίζες, κορμός και κληματίδες) για το επόμενο έτος.

Έχει υπολογιστεί ότι μια αύξηση της θερμοκρασίας περίπου 1,0-3,7 °C που προβλέπεται κατά μέσο όρο μέχρι το τέλος του αιώνα (IPCC, 2014), θα αλλάξει ριζικά την αμπελοκαλλιέργεια και την κατανομή της αμπελοκαλλιέργειας σε πολλές περιοχές, θέτοντας μάλιστα περιοχές που έχουν ήδη θερμό κλίμα σε μεγάλο κίνδυνο (Fraga et al., 2016). Αναμένεται να υπάρχει μια πρωίμιση των φαινολογικών σταδίων. Συγκεκριμένα η έκπτυξη οφθαλμών αναμένεται να “μεταφερθεί” από 3 έως 18 μέρες νωρίτερα από το σύνηθες κατά

το δεύτερο μισό του αιώνα που διανύουμε, συμπαρασύροντας και την περίοδο ωρίμανσης κατά 20-40 μέρες, σε σύγκριση με τα τελευταία 30 χρόνια, ανάλογα την περιοχή και τις κλιματικές συνθήκες της εκάστοτε χρονιάς. Σε θερμοκρασίες υψηλότερες των 35 °C, η ικανότητα βλάστησης μειώνεται και υπερβολικά υψηλές θερμοκρασίες μπορούν να μειώσουν την ικανότητα βλάστησης και να προκαλέσουν σοβαρές βλάβες στο φυτό. Είναι πολύ πιθανό να οδηγήσουν σε αναστολή της ανάπτυξης της αμπέλου (Duchêne and Schneider, 2005). Επιπρόσθετα, οι υψηλές θερμοκρασίες επηρεάζουν την ωρίμανση και την σύνθεση των ραγών, αυξάνοντας την σακχαροπεριεκτικότητα, μειώνοντας την οξύτητα και μεταβάλλοντας την σύνθεση και την δομή των δευτερογενών μεταβολιτών. Η συνεχής έκθεση του φυτού σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες (π.χ. >35–40°C) μπορεί να προκαλέσει δυσμενείς επιπτώσεις στο φωτοσυνθετικό σύστημα της αμπέλου και να προκαλέσει σοβαρά εγκαύματα στο σταφύλι. Παρά την ανθεκτικότητα της αμπέλου στην ξηρασία, οι υψηλές θερμοκρασίες, ειδικά κατά τα πρώτα στάδια του ετήσιου κύκλου ανάπτυξης, μπορεί να δημιουργήσουν δυσμενείς επιπτώσεις στο φυτό και στην παραγωγικότητά του (Cifreet al., 2005). Επίσης οι υπερβολικά χαμηλές θερμοκρασίες θα επηρεάσουν το ίδιο αρνητικά τον ρυθμό ανάπτυξης της αμπέλου, καθώς σε θερμοκρασίες χαμηλότερες των 10 °C η άμπελος βρίσκεται σε λήθαργο και μένει αδρανής. Οι συνολικές ώρες της ηλιοφάνειας, κατά την εξέλιξη των σταδίων του βλαστικού κύκλου της αμπέλου, αποτελούν σημαντική παράμετρο αφού η ηλιακή ακτινοβολία και ενέργεια παίζουν καθοριστικό ρόλο στην ωρίμανση. Επίσης είναι σημαντική για την φωτοσύνθεση, ώστε οι ράγες να φτάσουν στην επιθυμητή τεχνολογική ωριμότητα και η άμπελος να αναπτυχθεί, με τη διατήρηση της παραγωγής να εξαρτάται άμεσα από την κατάλληλη έκθεση της στο φως του ηλίου (Ventikasamy et al., 2019). Μάλιστα ο ρυθμός φωτοσύνθεσης αυξάνεται αναλογικά με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας μέχρι ενός ποσοστού 33%. Έχει παρατηρηθεί πως υψηλότερη ένταση ηλιακής ακτινοβολίας, αυξάνει την περιεκτικότητα σε ανθοκυάνες & σε τανίνες στις ερυθρές ποικιλίες. Βέβαια με την πιο έντονη ηλιοφάνεια επηρεάζεται σημαντικά η μικροχλωρίδα του φυτού και υπάρχει ο κίνδυνος δημιουργίας αναγωγικών οσμών στις λευκές ποικιλίες.

Επιπλέον η διαθεσιμότητα του φυτού σε νερό και το ποσοστό υγρασίας σε κάθε στάδιο της καλλιεργητικής περιόδου διαδραματίζει μεγάλο ρόλο στην φυσιολογία του φυτού. Η διαθεσιμότητα νερού στο αμπέλι βασίζεται στην σύσταση του εδάφους, στο ποσοστό των χαλικιών στο έδαφος, στο βάθος του ριζικού συστήματος, στις βροχοπτώσεις, στην εξατμισοδιαπνοή και στην φυλλική επιφάνεια. Η έλλειψη νερού θα οδηγήσει σε μείωση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας, επιδρώντας στην ανάπτυξη του βλαστού και στην διόγκωση των κυττάρων του σταφυλιού επιδρώντας στο μέγεθος τους και στην σύσταση τους. Υπερβολική έλλειψη νερού θα οδηγήσει σε αναστολή ανάπτυξης του ριζικού συστήματος της αμπέλου και στην καταστροφή των φύλλων. Στην περίοδο του τρυγητού,

πολλές βροχοπτώσεις & υψηλό ποσοστό υγρασίας μπορούν να προκαλέσουν προσβολή μυκητολογικών ασθενειών στην ράγα, όπως η προσβολή από τον *B.cinerea*. Επίσης η υγρασία του εδάφους απαιτείται να κυμαίνεται σε συγκεκριμένα επίπεδα (FAO, 2009) όπως π.χ. για τις ποικιλίες του γένους *Muscadinia* που έχει παρατηρηθεί ότι μπορούν να αναπτυχθούν καλύτερα σε συνθήκες με περισσότερη υγρασία σε σχέση με τις ποικιλίες του γένους *Euveitis* (Ventikasamy et al., 2019). Επομένως η σωστή διαχείριση του νερού είναι ένα πολύ σημαντικό ζήτημα.

Μια σημαντική παράμετρος που μπορεί να επηρεάσει την ανάπτυξη της αμπέλου αποτελούν οι ανοιξιάτικοι παγετοί (< -1 °C), οι οποίοι μπορούν να εμφανιστούν την άνοιξη μετά την έκπτυξη των οφθαλμών και υπάρχει αυξημένος κίνδυνος να μειώσουν σημαντικά την παραγωγή, καταστρέφοντας τους βλαστούς (FAO, 2009). Σημαντικές επίσης είναι οι μεταβολές στο μικροκλίμα, με την τοποθεσία και την τοπογραφία μεμονωμένων αμπελώνων να συμβάλλουν στην διαμόρφωση της ποικιλίας και της ποιότητά του οίνου (FAO, 2009).

Πίνακας 1: Στοιχεία ημερομηνίας συγκομιδής και θερμοκρασίας αέρα για τις 29 ποικιλίες *V. vinifera* που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή τη μελέτη (16 γηγενείς και 13 διεθνείς) για τις μεγάλες αμπελοοικονομικές περιοχές στην Ελλάδα. Στις 2 πρώτες στήλες παρουσιάζονται οι ποικιλίες & οι περιοχές. Στην τρίτη στήλη παρουσιάζονται οι μέσοι όροι και η τυπική απόκλιση, (οι οποίες βρίσκονται σε παρένθεση). Στην τέταρτη στήλη παρουσιάζονται η κατεύθυνση τάσης (- ή +) και κλίση (συντελεστής b) για τις ημερομηνίες τρυγητού. Στην 5η στήλη παρουσιάζονται οι σχέσεις μεταξύ των ημερομηνιών συγκομιδής και του TXMarchJuly [για τις πρώιμες (E) ποικιλίες ωρίμανσης] και TXRP [για ποικιλίες μέσης (M) και όψιμης (L) ωρίμανσης], με τις τιμές να αντιπροσωπεύουν ημέρες ανά 1 °C. Η περίοδος καταγραφής για τις ημερομηνίες συγκομιδής δίνεται στην τελευταία στήλη.

Variety	Region	Average (Standard Deviation)	Harvest Date Trends	Harvest Date/ TX- marchJuly and TXRP Slope	Period of Record
Muscad blanc ^{1,2,3}	Samos	5 August (5.8)	-0.35	-5.43	1985-2017
Sylvaner ^{1,2,3}	Crete	18 August (9.8)	-1.76	-11.97	2003-2013
	Drama	16 August (6.0)	-1.07	-5.87	2004-2017
	Kavala	20 August (4.2)	-0.15	-3.59	2001-2017
Sauvignon blanc ^{1,2,3}	Maronia	19 August (3.0)	-0.47	-2.55	2005-2017
	Crete	17 August (10.2)	-2.05	-12.26	2003-2013
	Drama	22 August (7.7)	-1.15	-7.19	2004-2017
	Kavala	29 August (5.3)	-0.30	-4.82	2002-2017
Chardonnay ^{1,2,3}	Tripoli	9 September (7.3)	-0.43	-4.79	2001-2017
	Maronia	15 August (3.8)	-0.32	-2.78	2005-2017
	Crete	14 August (9.4)	-1.88	-11.81	2003-2013
Malagouzia ^{1,2,3}	Chalkidiki	19 August (4.2)	-0.48	-3.13	2001-2017
Tzaminer ^{1,2,3}	Tripoli	15 September (7.4)	-0.29	-4.58	2001-2017
Liatiko ^{1,2,3}	Crete	26 August (9.5)	-0.92	-11.09	2003-2011
Malvasia Aromatica ^{1,2,3}	Crete	25 August (11.7)	-1.84	-13.66	2003-2013
Riesling ^{1,2,3}	Tripoli	20 September (8.7)	-0.77	-2.24	2001-2017
Muscad of Alexandria ^{1,2,3}	Limnos	4 September (9.3)	-0.56	-4.46	1974-2017
Vilana ^{1,2,3}	Crete	31 August (8.8)	-1.02	-5.70	2003-2016
	Drama	1 September (5.0)	-0.19	-2.65	2004-2017
Merlot ^{1,2,3}	Kavala	29 August (6.1)	-0.66	-3.70	2001-2017
	Naousa	27 August (7.5)	-0.21	-2.81	1991-2017
	Maronia	26 August (6.3)	-0.40	-2.07	2005-2017
Athiri ^{1,2,3}	Rodos	23 August (4.8)	0.36	2.36	1990-2017
Moschofilero ^{1,2,3}	Tripoli	2 October (6.5)	-0.55	-2.11	2001-2017
Plyto ^{1,2,3}	Crete	2 September (5.1)	-0.72	-4.38	2006-2016
Sangiovese ^{1,2,3}	Drama	8 September (12.2)	-1.18	-4.94	2004-2017
Vidiano ^{1,2,3}	Crete	4 September (12.0)	-0.23	-6.61	2008-2016
	Santorini	10 August (5.2)	-0.41	-2.08	1993-2017
Assyrtiko ^{1,2,3}	Drama	8 September (8.0)	-0.50	-4.27	2004-2017
	Kavala	18 September (7.2)	-1.14	-3.75	2002-2017
	Chalkidiki	25 August (5.5)	-0.21	-2.11	2001-2017
	Kavala	10 September (7.8)	-1.23	-4.17	2002-2017
Syrah ^{1,2,3}	Naousa	8 September (10.3)	-0.48	-4.68	1991-2017
	Nemea	10 September (9.9)	-1.82	-5.28	2004-2017
	Crete	4 September (10.6)	-1.11	-8.94	2003-2013
Cabernet-Sauvignon ^{1,2,3}	Drama	18 September (6.5)	-0.79	-3.13	2004-2017
	Kavala	10 September (8.3)	-1.42	-4.41	2002-2017
Kotsifali ^{1,2,3}	Crete	15 September (8.3)	0.12	-8.97	2003-2013
	Drama	23 September (9.8)	-1.20	-3.70	2005-2016
Agiorgitiko ^{1,2,3}	Kavala	17 September (6.8)	-1.07	-3.54	2002-2017
	Nemea	17 September (9.5)	-1.76	-4.29	2004-2017
Limnio ^{1,2,3}	Maronia	10 September (9.9)	-0.12	-4.88	2005-2017
Mandilari ^{1,2,3}	Crete	17 September (8.5)	-0.98	-8.01	2003-2016
Nebbiolo ^{1,2,3}	Drama	20 September (12.7)	-1.69	-4.44	2004-2017
	Nemea	19 September (9.4)	-0.61	-3.55	1998-2016
Roditis ^{1,2,3}	Aigialia	1 October (8.1)	-0.45	-3.56	2005-2017
Daphni ^{1,2,3}	Crete	23 September (6.7)	-0.02	-5.70	2006-2015
Mavrodaphni ^{1,2,3}	Pyrgos	16 September (9.7)	-0.75	-4.48	1989-2017
Xinomavro ^{1,2,3}	Naousa	23 September (6.3)	-0.17	-2.75	1980-2017
	Early	24 August (7.1)	-0.88	-6.73	
	Mid	3 September (7.8)	-0.64	-3.81	
	Late	19 September (8.6)	-0.78	-4.67	
	Red	11 September (8.6)	-0.83	-4.78	
Summary	White	29 August (7.1)	-0.70	-5.21	
	International	30 August	-0.90	-5.53	
	Indigenous	10 September	-0.58	-4.38	
	Overall	4 September (7.8)	-0.76	-5.01	

3. Κλιματικές συνθήκες στον Ελληνικό αμπελώνα

Η Ελλάδα βρίσκεται στο νότιο τμήμα της Βαλκανικής Χερσονήσου και σε γενικές γραμμές έχει θερμό μεσογειακό κλίμα. Λόγω της μοναδικής γεωγραφίας της και των επιμέρους τοπογραφικών διαφοροποιήσεων της, υπάρχει μια ποικιλομορφία στο μικροκλίμα κάθε περιοχής. Γενικά οι βόρειες περιοχές της Ελλάδος έχουν πιο ψυχρό κλίμα σε σχέση με τις νότιες περιοχές της Ελλάδος που έχουν θερμότερο κλίμα. Βέβαια το κλίμα κάθε περιοχής καθορίζεται και από άλλους παράγοντες, όπως η γειτνίση με υδάτινους όγκους, το υψόμετρο, και άλλα τοπογραφικά χαρακτηριστικά, όπως ο προσανατολισμός της περιοχής.

Το καλοκαίρι η θερμοκρασία μπορεί να ξεπεράσει τους 30 °C, παρότι το κλίμα των παράκτιων περιοχών τείνει να μετριάζεται από την θάλασσα. Το υψόμετρο και οι άνεμοι, είναι ικανά να μετριάσουν σε αξιοσημείωτο βαθμό τις θερμοκρασίες, ανάλογα με την εποχή, όπως παρατηρείται και σε διάφορα νησιά της χώρας. Οι περισσότεροι αμπελώνες βρίσκονται σε ψυχρότερες τοποθεσίες με σκοπό να μετριαστεί η ζέστη που συναντάται συχνά στην Ελλάδα. Τα επίπεδα βροχοπτώσεων μπορεί να διαφέρουν, αλλά και στις πιο υγρές περιοχές στα δυτικά της χώρας, η σχεδόν ολοκληρωτική έλλειψη βροχοπτώσεων κατά την καλλιεργητική περίοδο μπορεί να δημιουργήσει υδατικό στρες στα φυτά. Η ξηρασία δημιουργεί ιδιαίτερο πρόβλημα στην ανατολική πλευρά της Ελλάδος, που βρίσκεται στην σκιά βουνών όπου υπάρχει ελάχιστο διαθέσιμο νερό για άρδευση.

Η Ελλάδα είναι μια μικρή οινοπαραγωγική χώρα, στην οποία υπάρχουν 615.000 στρέμματα, τα οποία στα επόμενα χρόνια θα αυξηθεί ο αριθμός των καλλιεργούμενων στρεμμάτων. Υπάρχουν περίπου 180.000 αμπελοκαλλιεργητές, δηλαδή μόνο το 1/5 των ιδιοκτητών γης ασχολούνται με την αμπελοκαλλιέργεια. Υπάρχουν περισσότερα από 1290 οινοποιεία που παράγουν οίνο, με τον αριθμό αυτό να αυξάνεται.

Η ετήσια παραγωγή οίνου στην Ελλάδα το 2017 ήταν 2,5 εκατομμύρια hL, καθιστώντας την 17η οινοπαραγωγική χώρα στον κόσμο. Σήμερα, η περιοχή που καλλιεργείται με αμπέλια καλύπτει περίπου 67.000 εκτάρια (από τα οποία περίπου 29,000 εκτάρια είναι υπό Προστατευόμενη Γεωγραφική Ένδειξη-ΠΓΕ), όπου καλλιεργούνται περίπου 200 αυτόχθονες ποικιλίες (Lacombe et al., 2011). Η παραγωγή ερυθρού οίνου αποτελεί το 1/3 της συνολικής παραγωγής στην Ελλάδα, με την παραγωγή λευκού οίνου να υπερिशύει. Οι οίνοι στην Ελλάδα παράγονται κυρίως από ελληνικές γηγενείς ποικιλίες, των οποίων η παραγωγή τους καλύπτει το 90% την συνολικής παραγωγής. Η συνολική παραγωγή κρασιού έφτασε τα 2.660.050 hL το 2012, με την αυξανόμενη σημασία της οινοβιομηχανίας για την ελληνική οικονομία να τεκμηριώνεται από την Εθνική Στατιστική Υπηρεσία της Ελλάδος (ΕΣΥΕ), η οποία δείχνει ότι η συμβολή της οινοποιίας στην

ακαθάριστη αξία της ελληνικής παραγωγής ποτών ήταν 20,4% το 2007 (NSSG, 2008) Οι πιο σημαντικές ποικιλίες είναι το Σαββατιανό, ο Ροδίτης και το Αγιωργίτικο, το Ασύρτικο και το Ξινόμαυρο.

3.1 Ιστορική επισκόπηση του κλίματος της Ελλάδας για την περίοδο 1981 - 2010 (μέσοι όροι και τάσεις)

Στην Ελλάδα και για την περίοδο 1981-2010, η μέση θερμοκρασία κατά την καλλιεργητική περίοδο (Απρίλιος–Οκτώβριος) κυμάνθηκε από 22,7 °C (Μεθώνη) έως 27,4 °C (Πύργος), με τις ηπειρωτικές και τις παράκτιες τοποθεσίες να έχουν κατά μέσο όρο υψηλότερες θερμοκρασίες (25,5 °C και 25,4 °C) σε σχέση με τις νησιωτικές τοποθεσίες (24,6 °C κατά μέσο όρο) (Πίνακας 2).

Ωστόσο, η υψηλότερη θερμοκρασία ανέμου εντοπίστηκε κυρίως σε νησιωτικές και παράκτιες τοποθεσίες σε σύγκριση με εκείνες της ηπειρωτικής χώρας (17,1 °C-14,7 °C έναντι 12,0 °C κατά μέσο όρο), παρουσιάζοντας με λίγες εξαιρέσεις τις χαμηλότερες τιμές στα νησιά (7,4 °C κατά μέσο όρο), μέτριες τιμές σε παράκτιες περιοχές (10,6 °C κατά μέσο όρο) και υψηλότερες τιμές στην ενδοχώρα (13,4 °C κατά μέσο όρο).

Επίσης, η συνολική βροχόπτωση κυμάνθηκε από 56 mm/έτος (Σαντορίνη) έως 391 mm/έτος (Ιωάννινα). Υψηλότερες βροχοπτώσεις παρατηρήθηκαν στη δυτική και βόρεια Ελλάδα (περίπου 250 mm κατά μέσο όρο), ενώ τα περισσότερα νησιά παρουσίασαν ξηρότερες συνθήκες (<120 mm κατά μέσο όρο).

Οι τιμές του Δείκτη Μέσης Θερμοκρασίας (GST) κυμαίνονταν από 17,3 °C (Ιωάννινα) έως 22,3 °C (Πάρος και Αθήνα). Όσον αφορά στο Δείκτη Βαθμοημερών (GDD), 18 τοποθεσίες ταξινομήθηκαν ως «Περιοχές IV και V», 4 ως «Περιοχή III» (Τρίπολη, Μεθώνη, Καβάλα και Φλώρινα) και μόνο μία ως «Περιοχή II» (Ιωάννινα). Ως «Θερμό Εύκρατο» και «Θερμό» χαρακτηρίστηκαν σύμφωνα με το HI (Heat Index) 18 τοποθεσίες, 4 ως «Πολύ Θερμές» και μόνο η Μεθωνία «Εύκρατο».

Όσον αφορά στο Δείκτη Βιολογικά Ενεργών Ημερών (BEDD), 21 τοποθεσίες ταξινομήθηκαν από Εύκρατες ως Θερμές και μόνο η Φλώρινα και τα Ιωάννινα ταξινομήθηκαν στην κατηγορία Δροσερό (Cool) (1200–1400). Συγκεκριμένα, 13 τοποθεσίες ταξινομήθηκαν ως «Ζεστές Εύκρατες Νύχτες» (Warm Nights) και 5 ως «Ζεστές Νύχτες» (Hot Nights). Πέντε τοποθεσίες ταξινομήθηκαν στις χαμηλότερες κατηγορίες και συγκεκριμένα η Λάρισα και τα Τρίκαλα Ημαθίας παρουσίασαν τιμές μεταξύ 12,0 °C και 14,0 °C [«Δροσερές νύχτες» (Cool

Nights)], ενώ η Φλώρινα, η Τρίπολη και τα Ιωάννινα κατατάχθηκαν στην κατηγορία «Ψυχρές Νύχτες» (Cold Nights) με τις νυχτερινές θερμοκρασίες κατά μέσο όρο στους $11,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($<12\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Επιπλέον και όσον αφορά στο Δείκτη Ξηρασίας (DI), 21 τοποθεσίες ταξινομήθηκαν ως «Μέτρια Ξηρές» (Moderately Dry), ενώ μόνο η Φλώρινα και τα Ιωάννινα θεωρήθηκαν ως «Χαμηλής Υγρασίας» (Sub-Humid).

Η κατεύθυνση και το μέγεθος των τάσεων σε κάθε δείκτη που σχετίζεται με τη θερμοκρασία μαζί με τη στατιστική σημασία παρουσιάζονται επίσης στον Πίνακα 1. Συνολικά, στην ανάλυση όλων των μονάδων κατά την περίοδο 1981 - 2001 αποκαλύφθηκαν στατιστικά σημαντικές θετικές τάσεις τόσο για τη μηνιαία μέγιστη θερμοκρασία αέρα (TX) όσο και για την μηνιαία ελάχιστη θερμοκρασία αέρα (TN) (σε 13 και 18 αντίστοιχα από τις 19 τοποθεσίες).

Όσον αφορά στο μέσο εύρος των τάσεων για όλες τις τοποθεσίες, η μηνιαία ελάχιστη θερμοκρασία αέρα (TN) αυξήθηκε κατά $+0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ σε σχέση με την μέγιστη θερμοκρασία (TX) ($1,7$ έναντι $0,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ανά 30 έτη, κατά μέσο όρο). Ειδικότερα, η Σάμος, ο Πύργος και η Δράμα παρουσίασαν τους υψηλότερους ρυθμούς μεταβολής στην μηνιαία ελάχιστη θερμοκρασία αέρα (TN) ($0,09\text{ }^{\circ}\text{C}$ και $0,13\text{ }^{\circ}\text{C}$ έτος⁻¹, αντίστοιχα), ενώ το Ηράκλειο και η Μεθώνη παρουσίασαν τους χαμηλότερους ρυθμούς μεταβολής ($0,03\text{ }^{\circ}\text{C}$ έτος⁻¹).

Αντίθετα, μέτριες μεταβολές των τιμών μηνιαίας μέγιστης θερμοκρασίας αέρα TX ($0,05\text{ }^{\circ}\text{C}$ έτος⁻¹) εντοπίστηκαν στην Αλεξανδρούπολη, την Αθήνα, το Ηράκλειο και τα Τρίκαλα Ημαθίας. Θετικές τάσεις παρατηρήθηκαν μόνο στο Ηράκλειο (σημαντικές) και στην Αθήνα (μη σημαντικές).

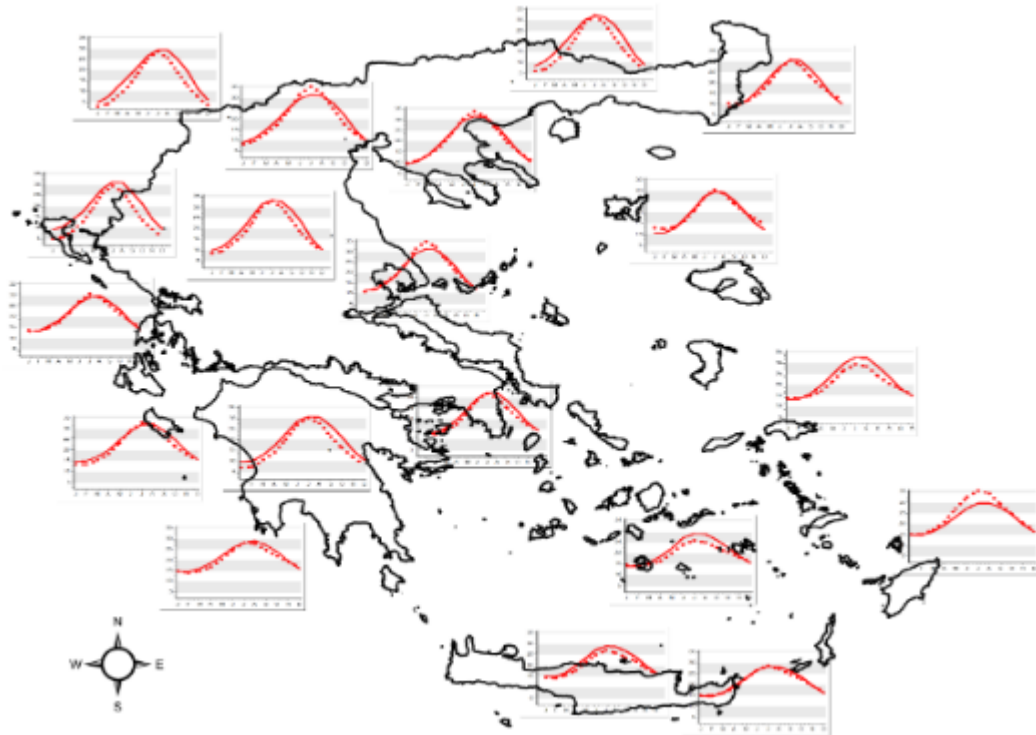
Ωστόσο, η Λήμνος και η Δράμα ήταν οι μόνες τοποθεσίες με σταθερές και σημαντικά αυξητικές τάσεις στους ετήσιους δείκτες από $0,02\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Τρίπολη και Ιωάννινα) σε $0,07\text{ }^{\circ}\text{C}$ έτος⁻¹ (Δράμα).

Παρόμοιες τάσεις παρουσιάζει και ο Δείκτης Βιολογικά Ενεργών Ημερών (GDD), με την αντίστοιχη συνολική τάση για την BP (Baseline Period) τις $+276$ GDD. Οι κατευθύνσεις των τάσεων HI ήταν παρόμοιες με τις τάσεις του Δείκτη Θερμοκρασίας της Περιόδου Ανάπτυξης (GST) και του Δείκτη Βαθμοημερών (GDD), αλλά η συνολική τάση σε όλες τις τοποθεσίες ήταν χαμηλότερη ($+211$ μονάδες Δείκτη Huglin (HI)).

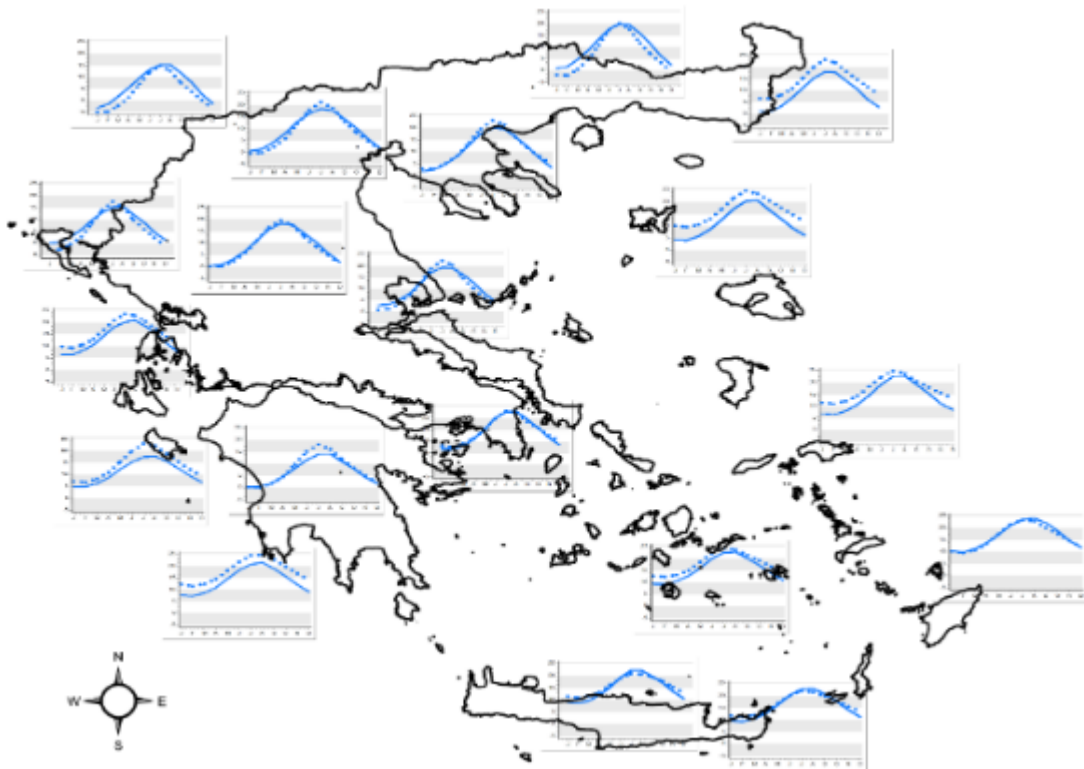
Επίσης, ο Δείκτης Βιολογικά Ενεργών Ημερών (BEDD) παρουσίασε τον μικρότερο αριθμό στατιστικά σημαντικών τάσεων (6 περιπτώσεις). Ο δε συνδυαστικός δείκτης (Composite Index CI) παρουσίασε θετικές αλλαγές σχεδόν παντού, με 10 τοποθεσίες να

παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές τάσεις που κυμαίνονται κατά τη διάρκεια της BP από 0,05 - 0,1 °C / έτος⁻¹.

Ο δείκτης ξηρασίας (DI) έδειξε πέντε θετικές και 14 αρνητικές τάσεις, με όλα τα νησιά εκτός από ένα (Λήμνος) να αντιμετωπίζουν ολοένα και πιο ξηρές συνθήκες, με το Ηράκλειο και τη Σαντορίνη να είναι στατιστικά οι πιο επιβαρυνμένες τοποθεσίες (1,0 mm/έτος⁻¹ και στις δύο περιπτώσεις).



Εικόνα 1: Σύγκριση της μέσης μηνιαίας μέγιστης θερμοκρασίας αέρα (TX, °C) μεταξύ δεδομένων παρατήρησης (συμπαγείς γραμμές) και των προερχόμενων στοιχείων από το μοντέλο περιφερειακού κλίματος (διακεκομμένες γραμμές) RegCM4 κατά την περίοδο 1980–2004. Οι κάθετοι άξονες αντιπροσωπεύουν τη μέση μηνιαία μέγιστη θερμοκρασία αέρα (TX) που κυμάνθηκε από 2 έως 36°C, ενώ οι οριζόντιοι άξονες δείχνουν τους μήνες που ξεκινούν από τον Ιανουάριο.



Εικόνα 2: Σύγκριση της μέσης μηνιαίας ελάχιστης θερμοκρασίας αέρα (TN, °C) μεταξύ των δεδομένων παρατήρησης (συμπαγείς γραμμές) και των προερχόμενων στοιχείων από το μοντέλο περιφερειακού κλίματος (διακεκομμένες γραμμές) RegCM4 κατά την περίοδο 1980–2004. Οι κάθετοι άξονες αντιπροσωπεύουν τη μέση μηνιαία ελάχιστη θερμοκρασία αέρα (TN) που κυμάνθηκε από – 5 έως 25°C, ενώ οι οριζόντιοι άξονες δείχνουν τους μήνες που ξεκινούν από τον Ιανουάριο.

4. Η κλιματική αλλαγή ως φαινόμενο

Ως κλίμα ορίζεται ο μέσος όρος των καιρικών συνθηκών που επικρατούν σε μια ευρύτερη περιοχή μακροπρόθεσμα. Είναι εξαιρετικά σημαντική παράμετρος καθώς επηρεάζει την ανάπτυξη & τη φυσιολογία των φυτών και πιο συγκεκριμένα της αμπέλου και επομένως την ομαλή εξέλιξη των φαινολογικών σταδίων, την έκπτυξη των οφθαλμών και την ανθοφορία, μέχρι τον περκασμό και τον τρύγο.

Ως κλιματική αλλαγή ορίζεται ως η οποιαδήποτε αλλαγή στην κατάσταση του κλίματος μιας συγκεκριμένης περιοχής, η οποία διατηρείται για παρατεταμένο χρονικό διάστημα. Αποτελεί ένα φαινόμενο του 21ου αιώνα που έχει προκαλέσει μεγάλο προβληματισμό στον κόσμο και προκαλείται από την αύξηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στην ατμόσφαιρα.

Οι πρώτες παρατηρήσεις για το φαινόμενο αυτό πραγματοποιήθηκαν από τον Jacques Fourier το 1824, και στην συνέχεια οι Claude Pouillet, John Tyndall και Svante Arrhenius μελέτησαν εκτενέστερα το φαινόμενο αυτό. Η πρώτη ποσοτικοποίηση του φαινομένου του θερμοκηπίου πραγματοποιήθηκε από τον S. Arrhenius στα τέλη του 19ου αιώνα.

Παρατηρήθηκε ότι όσο αυξάνεται η συγκέντρωση του ατμοσφαιρικού αέρα σε διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), τόσο μεγαλύτερη ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας μπορεί να συγκρατήσει, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα ο ατμοσφαιρικός αέρας να έχει μεγαλύτερη θερμοκρασία. Μετά από μελέτες διαπιστώθηκε ότι λόγω των πολλών βιομηχανικών δραστηριοτήτων, όπου εκλύονται μεγάλες ποσότητες CO_2 , ο ατμοσφαιρικός αέρας αποκτά μεγαλύτερες συγκεντρώσεις CO_2 , και συνεπώς θα εγκλωβίζονται μεγαλύτερες ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας και η θερμοκρασία του αέρα θα αυξηθεί.

Μέχρι εκείνη την εποχή, οι πρώτες εκτιμήσεις έγιναν από τον Arrhenius και άλλους επιστήμονες και προέβλεπαν ότι εάν η συγκέντρωση του CO_2 στην ατμόσφαιρα διπλασιαστεί, η μέση θερμοκρασία της Γης θα αυξανόταν κατά $5\text{ }^\circ\text{C}$. Το 1901, χρησιμοποιήθηκε ο όρος «φαινόμενο του θερμοκηπίου», από τον Gustaf Ekholm.

Όμως αυτές οι εκτιμήσεις δεν ελήφθησαν σοβαρά υπόψιν στην επιστημονική κοινότητα για δεκαετίες, καθώς εκείνη την εποχή, υπήρχε η θεωρία πως η φύση μπορούσε να αυτορυθμιστεί στις αλλαγές που θα προκαλούνταν από ανθρώπινους παράγοντες και ότι η επίδραση του ανθρώπου ήταν ελάχιστη. Πολλοί επιστήμονες θεωρούσαν πως η περίσσεια CO_2 , που θα δημιουργούνταν από τις ανθρώπινες εργασίες, θα εγκλωβιζόταν από τον ωκεανό, κάτι που ισχύει εντός συγκεκριμένων ορίων.

Ωστόσο, η θεωρία πως η συγκέντρωση των αερίων του θερμοκηπίου και του CO_2 , αποδείχτηκε πως ισχύει και συγκεκριμένα επικυρώθηκε από τον Gilbert Plass τη δεκαετία του 1940. Σήμερα, με τις σύγχρονες τεχνολογίες, έχει αποδειχτεί πως το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής συνδέεται με την συγκέντρωση του ατμοσφαιρικού αέρα σε CO_2 , και στην ικανότητα του ατμοσφαιρικού αέρα να συγκρατεί την ηλιακή ακτινοβολία.

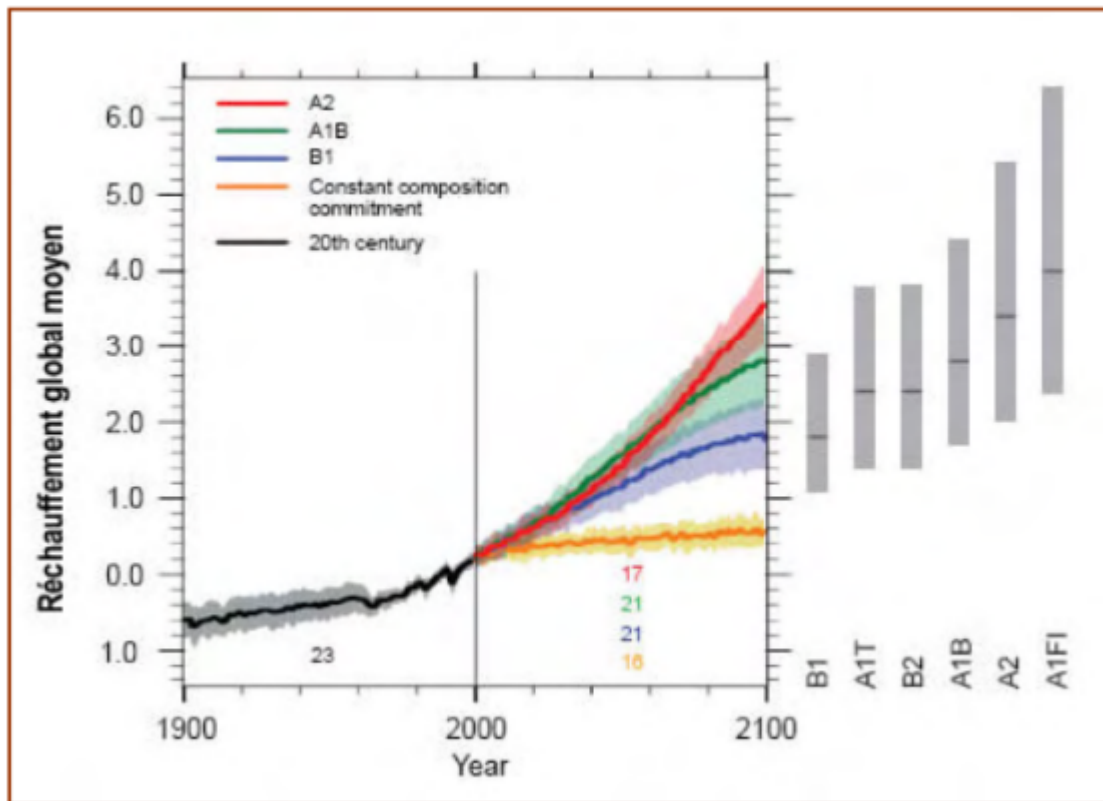
Η κατανόηση της κλιματικής αλλαγής και των πιθανών επιπτώσεών της στα φυσικά και ανθρωπογενή συστήματα έχει γίνει ολοένα και πιο σημαντική, καθώς τα μεταβαλλόμενα επίπεδα αερίων του θερμοκηπίου όπως και οι αλλαγές στα χαρακτηριστικά της επιφάνειας της γης επιφέρουν αλλαγές στην ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, στην σύσταση της ατμόσφαιρας και στον υδρολογικό κύκλο (Houghton et al., 2001).

Είναι σημαντικό να γνωρίζουμε ότι η σταδιακή αύξηση της θερμοκρασίας αναμένεται να συνεχιστεί σε όλη την υφήλιο, και μάλιστα η παγκόσμια μέση θερμοκρασία της επιφάνειας της Γης αναμένεται να αυξηθεί από 2 έως 6 °C μέχρι το τέλος του 21ου αιώνα, λόγω της ενίσχυσης του φαινομένου του θερμοκηπίου. Είναι επίσης πιθανό να συμβούν σημαντικές αλλαγές στους υδρολογικούς και ενεργειακούς κύκλους, λόγω της αύξησης των επιδράσεων της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της γης και της πρόκλησης ακραίων καιρικών φαινομένων (IPCC / IPCC, 2007). Επιπλέον και σε ότι αφορά στην αύξηση των συγκεντρώσεων του όζοντος, σχετίζεται και αυτή με την κλιματική αλλαγή (Meleux et al., 2007) και αναμένεται να έχει σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις στη γεωργία, κυρίως στα βόρεια γεωγραφικά πλάτη (Reilly et al., 2007).

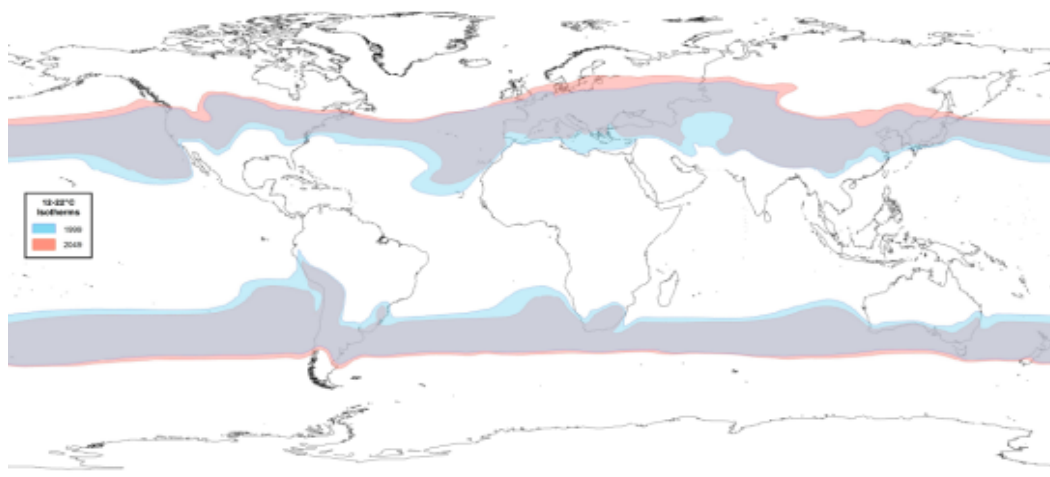
Αυτές οι θερμοκρασιακές τάσεις και οι πιθανές μελλοντικές μεταβολές τους επηρεάζουν σημαντικά τη βιωσιμότητα της γεωργικής παραγωγής, λόγω αλλαγών στην ξυλοποίηση της αμπέλου τον χειμώνα από την εμφάνιση παγετού, όπως και στη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου (Carter et al., 1991· Menzel et al, 1999· Easterling et al., 2000· Nemani et al., 2000 · Moonen et al., 2002· Jones et al, 2005).

Στις περισσότερες περιπτώσεις, η συνεχής αύξηση της θερμοκρασίας στην ατμόσφαιρα είναι εποχιακά και ημερήσια δυσανάλογη με την υψηλότερη θερμοκρασία κατά τη διάρκεια του χειμώνα και της άνοιξης, όπως και τη νύχτα (Karl et al., 1993). Ο ενισχυμένος υδρολογικός κύκλος (δηλαδή η αύξηση των ρυθμών εξάτμισης και των ατμοσφαιρικών υδρατμών) μπορεί επίσης να επηρεάσει σημαντικά αυτή την ασύμμετρη θέρμανση (Raval and Ramanathan, 1989· Chahine, 1992· Dai et al., 1997).

Ωστόσο, οι τελικές συνολικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στη γεωργία θα εξαρτηθούν από το χρονοδιάγραμμα των φυσιολογικών απαιτήσεων των φυτών, όπως και από τις γεωγραφικές διακυμάνσεις, την εποχικότητα και την ένταση της υπερθέρμανσης του πλανήτη (Butterfield et al., 2000· McCarthy et al., 2001).



Εικόνα 3: Εξέλιξη της παγκόσμιας θερμοκρασίας για διάφορα κλιματικά μοντέλα και σενάρια διαμόρφωσης των επιπέδων CO₂ (IPCC / IPCC 2007)



Εικόνα 4: Χάρτης ισόθερμων ζωνών μέσης θερμοκρασίας 12°-22 °C καλλιεργητικής περιόδου (Βόρειο ημισφαίριο, Απρ-Οκτ) (Νότιο Ημισφαίριο, Οκτώβριος-Απρ) για το 1999 και το 2049 που προέρχονται από παρατηρήσεις και το Μοντέλο Κοινοτικού Κλιματικού Συστήματος (CCSM). Οι μελλοντικές προβλέψεις βασίζονται στο σενάριο εκπομπών A1B (μέτρια μελλοντική κατανάλωση). Οι ισοθερμικές ζώνες αντιπροσωπεύουν τα παγκόσμια γεωγραφικά όρια περιοχών αμπελοκαλλιέργειας (Gladstones, 2005· Jones, 2006).

5. Ελλάδα & Κλιματική Αλλαγή

5.1 Κλιματικές τάσεις στην Ελλάδα

Η τάση θέρμανσης των τελευταίων 30 ετών που είναι ιδιαίτερα ορατή στο Βόρειο Ημισφαίριο, εμφανίζεται μόνον από τις αρχές της δεκαετίας του 1990 στην περιοχή της ανατολικής Μεσογείου και ιδιαίτερα στην Ελλάδα (Saaroni et al., 2003; Feidas et al., 2004; Repapis et al., 2007). Επιπλέον και κατά τον Feidas et al. (2004), για την Ελλάδα ειδικά παρατηρείται μια συνολική τάση μείωσης της θερμοκρασίας το χειμώνα κατά την περίοδο 1955–2001.

Πρόσφατες μελέτες του 20ου αιώνα δείχνουν επίσης μεγάλες μειώσεις των βροχοπτώσεων στην περιοχή, ξεκινώντας από τη δεκαετία του 1960 (π.χ. Giorgi, 2002; Dunkeloh and Jacobeit, 2003; Maheras et al., 2004; Χορλακή 2004; 2005 Feidas et al., 2007). Ειδικά για την Ελλάδα, υπάρχουν ελάχιστες μελέτες μέχρι στιγμής για την αλλαγή του κλίματος και πως αναμένεται να εξελιχθεί, και αυτές βασίζονται κυρίως σε δεδομένα από GCMs.(General Circulation Models). Ο Tolika et al. (2006) απέδειξε ότι η κατανομή της χειμερινής βροχόπτωσης στην Ελλάδα δεν υπολογίζεται σωστά από το ατμοσφαιρικό μοντέλο GCM του Κέντρου Hadley (HadAM3P), το οποίο επιπλέον υποβαθμίζει τα ποσά των βροχοπτώσεων. Σε άλλη μελέτη του Anagnostopoulou et al. (2006) διαπιστώθηκε επίσης ότι το μοντέλο HadAM3P υποβαθμίζει και τη συχνότητα των κυκλώνων υψηλής εντάσεως στην περιοχή της Μεσογείου. Σύμφωνα με τα ευρήματά, προκύπτει ότι στατιστικά σημαντικές τάσεις θέρμανσης επικρατούν κατά την άνοιξη και το καλοκαίρι στην επιφάνεια και ειδικά στην ξηρά, ενώ ασθενέστερες και πιο αραιά κατανεμημένες τάσεις εντοπίζονται το φθινόπωρο και το χειμώνα.

Η πλειονότητα των κλιματικών μεταβλητών κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου παρουσίασε στατιστικά σημαντικές θετικές τάσεις στις περισσότερες τοποθεσίες (Πίνακας IV), εκτός από το ημερήσιο θερμοκρασιακό εύρος (αρνητικές τάσεις στη Σάμο, την Αγχιάλο, τον Πύργο και τη Νάουσα) και το T_{max} (αρνητική τάση στη Νάουσα).

Παρόμοιος αριθμός κλιματικών μεταβλητών με σημαντικές τάσεις με την πάροδο του χρόνου εντοπίστηκε σε νησιωτικές (13) έναντι ηπειρωτικών περιοχών (12). Επιπλέον, σε νησιωτικές περιοχές, 10 από 13 σημαντικές περιπτώσεις εντοπίστηκαν σε δύο νησιά, τη Λήμνο και τη Σάμο. Η αύξηση του T_{min} με το χρόνο ήταν η πιο συχνά παρατηρούμενη σημαντική κλιματική τάση (σε 6 από τις 8 περιπτώσεις) (Εικόνα 5). Αντίθετα, δεν εντοπίστηκαν σημαντικές τάσεις για $T_{min} < 0^{\circ} C$.

Η ανάλυση δεδομένων αμπελοκαλλιέργειας έδειξε επίσης μια στατιστικά σημαντική πρώιμη περίοδο συγκομιδής (ΔΗ) σε 5 από τις 8 τοποθεσίες. Η Νάουσα και η Νεμέα παρουσίασαν θετικές αλλά μη σημαντικές τάσεις με την πάροδο του χρόνου, ενώ μόνο η Ρόδος παρουσίασε καθυστερημένη ωρίμανση της αμπέλου κατά 0,4 ημέρες/ετος⁻¹ κατά την εξεταζόμενη χρονική περίοδο.

Οι ημερομηνίες τρυγητού για τις άλλες 3 νησιωτικές τοποθεσίες (Λήμνος, Σάμος και Σαντορίνη) επεκτάθηκαν κατά 0,31 έως 0,55 ημέρες/έτος⁻¹, ενώ οι ημερομηνίες τρυγητού σε 2 από τις 4 ηπειρωτικές τοποθεσίες (Αγχίαλος και Πύργος) προωθήθηκαν κατά 0,35 και 0,77 ημέρες/έτος⁻¹. Μεταξύ των 2 τοποθεσιών για τις οποίες υπήρχαν διαθέσιμα στοιχεία ωρίμανσης αμπέλου (BD), παρατηρήθηκε σημαντική καθοδική τάση στη Λήμνο, ενώ δεν διαπιστώθηκε σαφής τάση κατά την ίδια χρονική περίοδο για τον Πύργο.

Πίνακας 2: Κατεύθυνση και κλίση των γραμμικών παλινδρομήσεων μεταξύ των κλιματικών μεταβλητών κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου και του χρόνου για τις 8 επιλεγμένες περιοχές

	T_{mean}	T_{max}	T_{min}	GDD	DTR	$T_{max} > 35^{\circ}C$	$T_{min} < 0^{\circ}C$	Prec.
Limnos	+ (0.01)	+ (0.03)	+ (0.03)	+ (4.1)	-	+	+	+
Samos	+ (0.04)	+	+ (0.08)	+ (8.2)	- (0.05)	+ (0.66)	0	+ (3.1)
Santorini	+	+	+	+	+	-	0	+ (4.2)
Rodos	+	+ (0.05)	+ (0.03)	+	+	+	0	-
Anchialos	+ (0.05)	+	+ (0.09)	+ (11.6)	- (0.07)	+ (0.34)	+	
Nemea	+ (0.10)	+	+	+ (21.6)	-	+	+	-
Pyrgos	-	+	+ (0.1)	-	- (0.08)	+	+	
Naoussa	+	- (0.06)	+ (0.04)	+	- (0.10)	+	+	

Το ΔΗ έδειξε σημαντικές αποκλίσεις μεταξύ T_{mean} , T_{min} , T_{max} και GDD για την βλαστική περίοδο σε τρία (Λήμνος, Σάμος, Σαντορίνη) από τα 4 νησιά, με τις παρατηρούμενες αυξανόμενες θερμοκρασίες (Πίνακας 6) να οδηγούν σε πρωιμότερη συγκομιδή, όπως φαίνεται παραπάνω. Παρόμοια συμπεριφορά παρουσίασαν οι ηπειρωτικές τοποθεσίες (με εξαίρεση τη Νεμέα), αλλά εντονότερα στην Αγχίαλο και τη Νάουσα. Σε όλες τις περιοχές η ΔΗ συσχετίστηκε αρνητικά με $T_{max} > 35^{\circ}C$ (αλλά σημαντικά μόνο στη Σάμο, την Αγχίαλο και τη Νάουσα).

Η σχέση αμπελοκαλλιέργειας-κλίματος διερευνήθηκε επιπρόσθετα κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου, χρησιμοποιώντας τον συντελεστή Pearson. Οι κλιματικές μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτήν την περίπτωση ήταν T_{mean} , DTR, $T_{max} > 35^{\circ}C$,

$T_{\min} < 0 \text{ } ^\circ\text{C}$. Η σχέση $\Delta H - T_{\text{mean}}$ παρέμεινε σημαντική στη Λήμνο, στη Σάμο και στη Σαντορίνη, ενώ η διαφορά μεταξύ του DTR και του ΔH επιβεβαιώθηκε και στη Νάουσα.

Η ανάλυση που βασίζεται στο GS, που περιγράφεται λεπτομερώς παρακάτω, παρουσίασε τις πιο συχνές σημαντικές σχέσεις αμπελοκαλλιέργειας - κλίματος (26 περιπτώσεις), (Πίνακας 4). Οι T_{mean} , T_{max} , T_{min} και GDD ήταν οι κυρίαρχοι κλιματικοί παράγοντες για τις νησιωτικές τοποθεσίες, ενώ οι T_{mean} , T_{min} , GDD, DTR και $T_{\text{max}} > 35^\circ \text{C}$ ήταν οι πιο σημαντικοί παράγοντες για τις ηπειρωτικές τοποθεσίες.

Ο αριθμός των σημαντικών σχέσεων αμπελοκαλλιέργειας – κλίματος μειώθηκε όταν η ανάλυση βασίστηκε σε CY (Calendar Year) και RP (Ripening Period) (24 και 15 σημαντικές περιπτώσεις, αντίστοιχα). Το T_{\min} και το T_{max} ήταν οι κυρίαρχοι κλιματικοί παράγοντες στην ανάλυση που βασίζεται σε RP (Ripening Period). Αυτές οι μεταβλητές συσχετίστηκαν αρνητικά με τη διακύμανση της ημερομηνίας συγκομιδής κατά τη διάρκεια της Περιόδου Ωρίμανσης εκτός από το T_{\min} στη Νάουσα (δεν φαίνεται).

Πίνακας 3: Συχνότητα σημαντικών σχέσεων αμπελοκαλλιέργειας - κλίματος για τους 3 ορισμούς της «αποτελεσματικής» καλλιεργητικής περιόδου

	CY:tot ^a (mnl. ^b /isl. ^c)	GS:tot ^a (mnl. ^b /isl. ^c)	RP:tot ^a (mnl. ^b /isl. ^c)
T_{mean}	5(2/3)	5(2/3)	2(0/2)
T_{max}	4(1/3)	4(1/3)	3(1/2)
T_{min}	5(2/3)	5(2/3)	4(2/2)
GDD	4(1/3)	6(2/4)	2(0/2)
DTR	1(1/0)	2(2/0)	2(2/0)
Prec.	0(0/0)	1(1/0)	0(0/0)
$T_{\text{max}} > 35^\circ\text{C}$	3(2/1)	3(2/1)	2(1/1)
$T_{\text{min}} < 0^\circ\text{C}$	2(1/1)	0(0/0)	0(0/0)
Total	24(10/14)	26(12/14)	15(6/9)

Στη Νεμέα παρατηρήθηκε $T_{\min} < 0 \text{ } ^\circ\text{C}$ όπως και στη Λήμνο, στον Πύργο και στη Νάουσα όπως και Ημερήσιο Θερμοκρασιακό Εύρος (DTR) στην Αγχίαλο. Ελάχιστες αποκρίσεις συγκομιδής βρέθηκαν με τάσεις GDD και $T_{\text{max}} > 35 \text{ } ^\circ\text{C}$. Συγκρίνοντας τους ορισμούς της «αποτελεσματικής» καλλιεργητικής περιόδου (CY, GS και RP), ελαφρώς ασθενέστερα μεγέθη του μέσου όρου αποκρίσης συγκομιδής σε πρόσφατες κλιματικές τάσεις του T_{mean} , T_{max} και T_{min} παρατηρήθηκαν σε 3 τοποθεσίες (Λήμνος, Σάμος και Σαντορίνη), όταν η ανάλυση βασίστηκε στο GS σε σύγκριση με τις CY περιόδους (7 έναντι 8 ημερών, κατά μέσο όρο).

Η ανάλυση που βασίζεται σε RP οδήγησε σε ακόμη πιο αδύναμες αποκρίσεις συγκομιδής (σχεδόν 4 ημέρες κατά μέσο όρο).

6. Μέσα παρακολούθησης και πρόβλεψης των κλιματικών παραμέτρων

6.1 Βιοκλιματικοί Δείκτες

Η ποσοτικοποίηση και η έκφραση των κλιματικών μεταβλητών μπορεί να πραγματοποιηθεί με την παρατήρηση δεικτών, που θα αποτελέσουν μέσο παρακολούθησης του κλίματος της εκάστοτε περιοχής και θα συμβάλλουν στην πρόβλεψη μεταβολής των κλιματικών παραμέτρων. Η ανάγκη παρακολούθησης των κλιματικών παραμέτρων αναγνωρίστηκε πρώτη φορά από τον Buttner το 1938, και στην συνέχεια πολλοί επιστήμονες μελέτησαν, ανέλυσαν και βελτίωσαν τους δείκτες αυτούς.

Οι βιοκλιματικοί δείκτες, είναι αποτέλεσμα συνδυασμού κλιματικών παραμέτρων, όπως η θερμοκρασία και η ατμοσφαιρική υγρασία, η ταχύτητα του ανέμου και η ηλιακή ακτινοβολία. Σε ορισμένους από τους δείκτες εισάγονται επιπλέον τα χαρακτηριστικά της περιοχής, όπως και δεδομένα που αφορούν στην επίδραση των περιβαλλοντικών συνθηκών.

1. Δείκτης Μέσης Θερμοκρασίας Περιόδου Ανάπτυξης - Growing Season Average Temperature (GSTavg)

Ο δείκτης GSTavg παρουσιάζει την μέση θερμοκρασία κατά την περίοδο ανάπτυξης του φυτού, δηλαδή από τον Απρίλιο έως τον Οκτώβριο για το βόρειο ημισφαίριο (Badr et al., 2018). Ο υπολογισμός του δείκτη γίνεται μέσω της ακόλουθης εξίσωσης:

$$\text{GSTavg} = \frac{1}{N} \sum_{01/04}^{31/10} \frac{T_{max} + T_{min}}{2}$$

T_{max} : μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία (°C)

T_{min} : ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία (°C)

N: αριθμός ημερών της περιόδου ανάπτυξης

2. Δείκτης Βαθμομερών ή Δείκτης Winkler-Winkler Index (WI) ή Growing Degree Days (GDD)

Ο δείκτης αθροιστικής θερμότητας, γνωστός ως βαθμομέρες ανάπτυξης (growing degree days - GDD), ορίζεται ως η μέση ημερήσια θερμοκρασία ενός τόπου σε καθημερινή βάση κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου των επτά μηνών ανά έτος (Απρίλιο-Οκτώβριο στο Βόρειο Ημισφαίριο, Οκτώβριο-Απρίλιο στο Νότιο Ημισφαίριο) έως το όριο των 10 °C, κάτω από το οποίο το φυτό δεν αναπτύσσεται. Ο υπολογισμός του δείκτη γίνεται μετά από την αποδοχή ότι η ανάπτυξη του φυτού πραγματοποιείται μόνο σε θερμοκρασίες >10 °C. Η τιμή του δείκτη υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση παρακάτω:

$$GDD = \sum_{01/04}^{31/10} \max\left[\frac{(T_{max} + T_{min})}{2} - 10, 0\right]$$

T_{max} : μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία (°C)

T_{min} : ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία (°C)

3. Δείκτης Βιολογικά Ενεργών Ημερών-Biologically Effective Degree Days (BEDD)

Ο δείκτης BEDD υπολογίζει την συσσώρευση θερμότητας κατά την περίοδο Απρίλιο - Οκτώβριο για το Βόρειο Ημισφαίριο. Η τιμή του δείκτη είναι μικρότερη από την τιμή του δείκτη βαθμομερών (GDD) και για την τιμή του δείκτη BEDD χρησιμοποιείται άνω όριο. (Κ.Λαζόγλου, 2015). Αποτελεί ένα δείκτη κατηγοριοποίησης των οινοπαραγωγικών περιοχών, λαμβάνοντας υπόψη ότι η ανάπτυξη της αμπέλου πραγματοποιείται μέσα σε συγκεκριμένα όρια (Κ.Λαζόγλου, 2015).

$$BEDD = \sum_{01/04}^{31/10} \min(GDD, 9^{\circ}C)$$

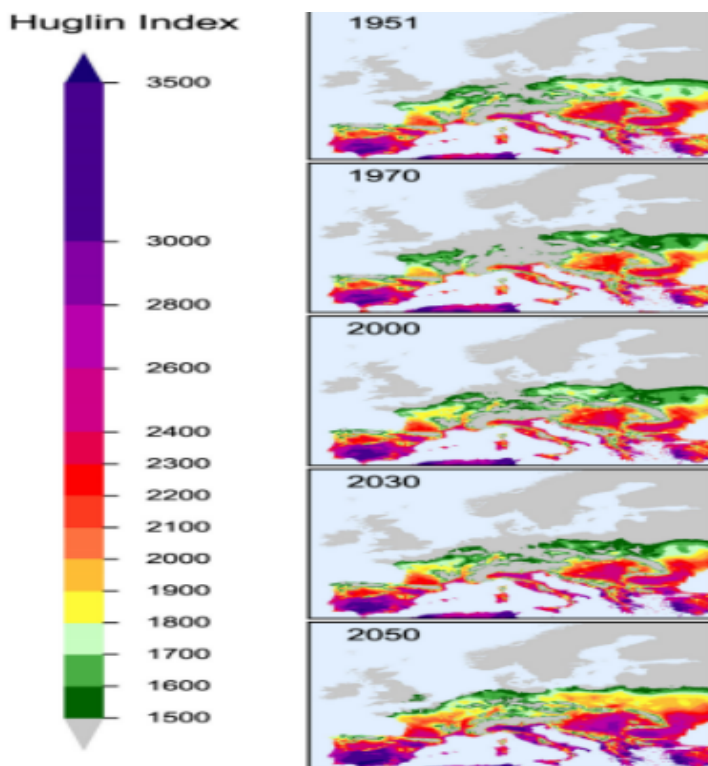
4. Ηλιοθερμικός δείκτης του Huglin-Huglin Index (HI)

Ο δείκτης Huglin συνδυάζει την ηλιοφάνεια με την θερμοκρασία. Για τον υπολογισμό του πρέπει να είναι γνωστή η μέση και η μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία. Επίσης ο δείκτης λαμβάνει υπόψη και τη διάρκεια της ημέρας, μέσω του συντελεστή d. Επιπλέον και ανάλογα με τις ποικιλίες, παρέχει καλύτερη αντίληψη για το δυναμικό σακχάρου και ως εκ τούτου παρέχει και ποιοτικές πληροφορίες.

Σε συνδυασμό με τον δείκτη νυχτερινών θερμοκρασιών (CI), επιτρέπει μια καλή διάκριση του κλίματος της περιοχής σε ότι αφορά στις παγκόσμιες ηλιοθερμικές συνθήκες κατά τη διάρκεια του βλαστικού κύκλου του σταφυλιού, όπως και στις δροσερές νυχτερινές συνθήκες κατά την περίοδο ωρίμανσης.

Για το Βόρειο Ημισφαίριο, ο υπολογισμός του δείκτη χρησιμοποιείται για την καλλιεργητική περίοδο της αμπέλου, η οποία ξεκινά την 1η Απριλίου και τελειώνει στις 30 Σεπτεμβρίου, στις ημέρες όπου η μέση θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από 10°C. Αντίστοιχα, για τις περιοχές του Νότιου Ημισφαιρίου ο υπολογισμός ξεκινά την 1η Οκτωβρίου και τελειώνει στις 30 Μαρτίου.

$$HI = \sum_{01/04}^{30/9} \max\left(\frac{(T_{mean}-10)+(T_{max}-10)}{2}, 0^{\circ}\text{C}\right) * d$$



Εικόνα 5: Ο δείκτης Huglin για όλη την Ευρώπη από το 1951 έως το 2000 (παρατηρούμενα μετεωρολογικά δεδομένα) και οι υπολογισμοί μοντέλων έως το 2050. Τα δεδομένα CRU και τα αποτελέσματα PCM αφορούν στον ευρωπαϊκό χάρτη

5. Μήκος της Περιόδου Ανάπτυξης-Length of Growing Season (LGS)

Είναι το άθροισμα των ημερών, των οποίων η μέση θερμοκρασία ξεπερνά τους 10 °C, κατά την βλαστική περίοδο (1 Απριλίου έως 31 Οκτωβρίου στο βόρειο ημισφαίριο) (Badr et.al., 2018). Από τον υπολογισμό του δείκτη προκύπτουν σημαντικά συμπεράσματα σχετικά με τις ποικιλίες που μπορούν να καλλιεργηθούν. Με βάση τον δείκτη LGS είναι δυνατόν να βγουν συμπεράσματα σχετικά με την καλληλότητα της κάθε περιοχής για αμπελοκαλλιέργεια, και στις ποικιλίες που μπορούν να καλλιεργηθούν, καθώς όσο αυξάνεται ο δείκτης, τόσο κατάλληλη είναι η περιοχή για αμπελοκαλλιέργεια και τόσες περισσότερες ποικιλίες μπορούν να καλλιεργηθούν (Κ.Λαζόγλου, 2015).

6. Δείκτης Νυχτερινών Θερμοκρασιών-Cool night Index (CI)

Καθορίζει το σχετικό μέτρο του δυναμικού ωρίμανσης, το οποίο είναι ίσο με τη μέση ελάχιστη θερμοκρασία κατά τη διάρκεια του μήνα πριν από τη συγκομιδή.

Στο βόρειο ημισφαίριο, CI = μέση ελάχιστη θερμοκρασία Σεπτεμβρίου

Στο νότιο ημισφαίριο, CI = μέση ελάχιστη θερμοκρασία Μαρτίου

Στο βόρειο ημισφαίριο, CI = ελάχιστη θερμοκρασία αέρα το μήνα Σεπτέμβριο (μέσος όρος ελάχιστης) σε °C.

Στο νότιο ημισφαίριο, CI = ελάχιστη θερμοκρασία αέρα το μήνα Μάρτιο (μέσος όρος ελάχιστης) σε °C.

Σύμφωνα με τον Tonietto (1999), οι νυχτερινές θερμοκρασίες μπορούν να αποτελέσουν έναν σημαντικό δείκτη, που θα συμβάλλουν στην τελική ποιότητα του οίνου, καθώς σε χαμηλές θερμοκρασίες επηρεάζονται οι συγκεντρώσεις των δευτερογενών μεταβολιτών μέσα στην ράγα, οι οποίες συμβάλλουν στο άρωμα και στο χρώμα του οίνου (Kliewer & Tores, 1972; Kliewer, 1973; Tomana et al., 1979).

7. Δείκτης Ξηρασίας-Dryness Index (DI)

Ο δείκτης ξηρασίας (DI) εκφράζει πόσο ξηροθερμικό είναι ένα έδαφος λαμβάνοντας υπόψη τις τις κλιματικές συνθήκες ενός αμπελώνα, την εξάτμιση νερού από το έδαφος, όπως και τις βροχοπτώσεις και την αποστράγγιση του νερού από το έδαφος.

Υποδεικνύει επίσης την πιθανή διαθεσιμότητα νερού, που συσχετίζεται με το επίπεδο ξηρότητας σε μια περιοχή, που είναι ουσιώδες για την ποιοτική ωρίμανση των

σταφυλιών (Jackson and Cherry, 1988· Seguin, 1983· Méroutge et al., 1998· Carbonneau, 1998).

Ο υπολογισμός του δείκτη γίνεται σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση, όπου W_0 είναι η αρχική τιμή του νερού που περιέχεται στο έδαφος, η οποία για ένα τυπικό αμπελώνα ορίζεται στα 200 mm (Tonietto & Carbonneau 2004).

Ο δείκτης υπολογίζεται κατά την καλλιεργητική περίοδο, η οποία ξεκινά τον Απρίλιο και τελειώνει τον Σεπτέμβριο (Κ.Λαζόγλου, 2015).

$$DI = W_0 + \sum_{01/04}^{31/09} P + Et + Tv$$

8. Υδροθερμικός Δείκτης (Hyl)

Ο υδροθερμικός δείκτης προσδιορίζει το πλεόνασμα ή το έλλειμμα υγρασίας στο έδαφος που μπορεί να επηρεάσει την στρεμματική απόδοση της αμπέλου και την ποιότητα του οίνου. Ο υπολογισμός του δείκτη συνδυάζει τις τιμές μέσης θερμοκρασίας (°C) κάθε μήνα και το ύψος των βροχοπτώσεων μεταξύ Απριλίου και Αυγούστου. Τιμές που βρίσκονται κάτω από 2.500 °C/mm σε μια περιοχή είναι μειωμένος ο κίνδυνος μυκητολογικών προσβολών, ενώ τιμές που βρίσκονται πάνω από 5.100 °C/mm είναι αυξημένος ο κίνδυνος μυκητολογικών προσβολών (Branas et al. 1946, Malheiro et al. 2010).

$$Hyl = \sum_{01/04}^{31/09} T_{avg} * P$$

Tavg: Μέση ημερήσια θερμοκρασία (°C)

P: Ποσό ημερήσιας βροχόπτωσης (mm)

9. Συνδυαστικός δείκτης-Composite Index (Compl)

Ο συνδυαστικός δείκτης (Composite Index) συνδέει τους 3 βιοκλιματικούς δείκτες (Δείκτης Huglin, Δείκτης Νυχτερινών Θερμοκρασιών, Δείκτης Ξηρασίας), με σκοπό να επιτευχθεί ο χαρακτηρισμός μιας περιοχής ως κατάλληλης για αμπελοκαλλιέργεια, με την χρήση πολλών κλιματικών παραμέτρων.

Ο συνδυαστικός δείκτης δίνει την δυνατότητα να βρεθεί ο αριθμός των ιδανικών ετών για αμπελοκαλλιέργεια. Προκειμένου να υπολογιστεί ο δείκτης θα πρέπει η ελάχιστη θερμοκρασία να μην είναι μικρότερη από -17°C, ο δείκτης HI (Huglin) να είναι μεγαλύτερος

των 900 °C, ο δείκτης ξηρασίας (DI) να είναι μεγαλύτερος από -100 mm, και ο υδροθερμικός δείκτης (Hyl) να είναι μικρότερος από 7500 °C/mm (Κ. Λαζόγλου, 2015).

Πίνακας 4: Όρια κατηγοριών των βιοκλιματικών δεικτών

ΔΕΙΚΤΗΣ	ΟΡΙΑ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	ΕΡΜΗΝΕΙΑ	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ
BIOLOGICALLY EFFECTIVE DEGREE DAYS	≤1000		TOO COOL	Gladstones et al. (1992)
	1000-1200		VERY COOL	
	1200-1400		COOL	
	1400-1600		TEMPERATE	
	1600-1800		TEMPERATE WARM	
	1800-2000		WARM	
	2000-2200		VERY WARM	
>2200		TOO HOT		
AVERAGE GROWING SEASON TEMPERATURE	≤13		TOO COOL	Jones (2006)
	13 - 15		COOL	
	15 - 17		INTERMEDIATE	
	17-19		WARM	
	19-21		HOT	
	21-24		VERY HOT	
>24		TOO HOT		
WINKLER INDEX OR GROWING DEGREE DAYS	<1390	REGION 1		Amerine & Winkler (1944)
	1391-1670	REGION 2		
	1671-1940	REGION 3		
	1941-2220	REGION 4		
	>2220	REGION 5		
HYDROTHERMIC INDEX	<2500		NO RISK	Branas et al (1946)
	2500 - 5100		MODERATE RISK	
	>5100		HIGH RISK	
DRYNESS INDEX	>150	DI-2	HUMID	Tonietto και Carbonneau (2004) (adapted from Riou et al 1994)
	50-150	DI-1	SUB-HUMID	
	-100 - 50	DI+1	MODERATELY DRY	
	< -100	DI+2	VERY DRY	
COLD NIGHT INDEX	>18	CI-2	HOT NIGHTS	Tonietto (1999)
	14 - 18	CI-1	WARM NIGHTS	
	12 - 14	CI+1	COOL NIGHTS	
	<12	CI+2	COLD NIGHTS	
HUGLIN INDEX	<1500	HI-3	VERY COOL	Huglin (1978)
	1500-1800	HI-2	COOL	
	1800-2100	HI-1	TEMPERATE	
	2100-2400	HI+1	TEMPERATE WARM	
	2400-2700	HI+2	WARM	
	>2700	HI+3	VERY WARM	

6.2 Βιοκλιματικοί δείκτες στην Ελλάδα

Χαρακτηριστικά στατιστικά στοιχεία για τις βασικές και συμπληρωματικές παραμέτρους της βλαστικής περιόδου (GS) για 8 επιλεγμένους αμπελώνες της Ελλάδας συνοψίζονται στον Πίνακα II. Χαμηλότερες μέσες θερμοκρασίες κατά την βλαστική περίοδο εντοπίζονται κυρίως στην Νεμέα ($T_{\text{mean}} = 18,9 \text{ } ^\circ\text{C}$, 1934 GDD) και υψηλότερες στο νησιά (όλα εκτός από τη Λήμνο, που παρουσίασε θερμοκρασίες και GDD $>22,5 \text{ } ^\circ\text{C}$ και 2600, αντίστοιχα). Από την άλλη πλευρά, οι υψηλότερες και οι χαμηλότερες τιμές μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας εντοπίστηκαν σε περιοχές με ηπειρωτικό κλίμα.

Αυτά τα αποτελέσματα δείχνουν τη συνολική μετριαστική επίδραση των νησιωτικών τοποθεσιών, όπου το ημερήσιο εύρος θερμοκρασίας (DTR) είναι χαμηλότερο από τις τοποθεσίες της ηπειρωτικής χώρας ($5,8\text{--}9,5^\circ\text{C}$ vs $11,2\text{--}14,9 \text{ } ^\circ\text{C}$, αντίστοιχα). Η βροχόπτωση κατά την περίοδο ανάπτυξης κυμάνθηκε από 66 mm (Σαντορίνη) έως 240 mm (Νεμέα), εμφανίζοντας μεγάλη μεταβολή σε όλες τις τοποθεσίες.

Τα συμβάντα καύσωνα με μέγιστες ημερήσιες θερμοκρασίες πάνω από $35 \text{ } ^\circ\text{C}$ έδειξαν επίσης μια γενικότερη διαφοροποίηση μεταξύ ηπειρωτικών περιοχών και νήσων, με 7–10 ημέρες καύσωνα στην ηπειρωτική χώρα έναντι <1 ημέρας στα νησιά. Η μόνη εξαίρεση αποτελεί η Σάμος που παρουσίασε θερμοκρασίες $>35 \text{ } ^\circ\text{C}$ για 20 μέρες μόνο κατά την περίοδο ανάπτυξης.

Τα ψυχρά συμβάντα κατά τη διάρκεια της περιόδου ανάπτυξης ήταν σπάνια στους περισσότερους αμπελώνες, με 5 τοποθεσίες άνευ συμβάντων, 3 τοποθεσίες με λιγότερα από ένα συμβάντα ανά GS, και τη Νεμέα με 4 συμβάντα ανά GS κατά μέσο όρο.

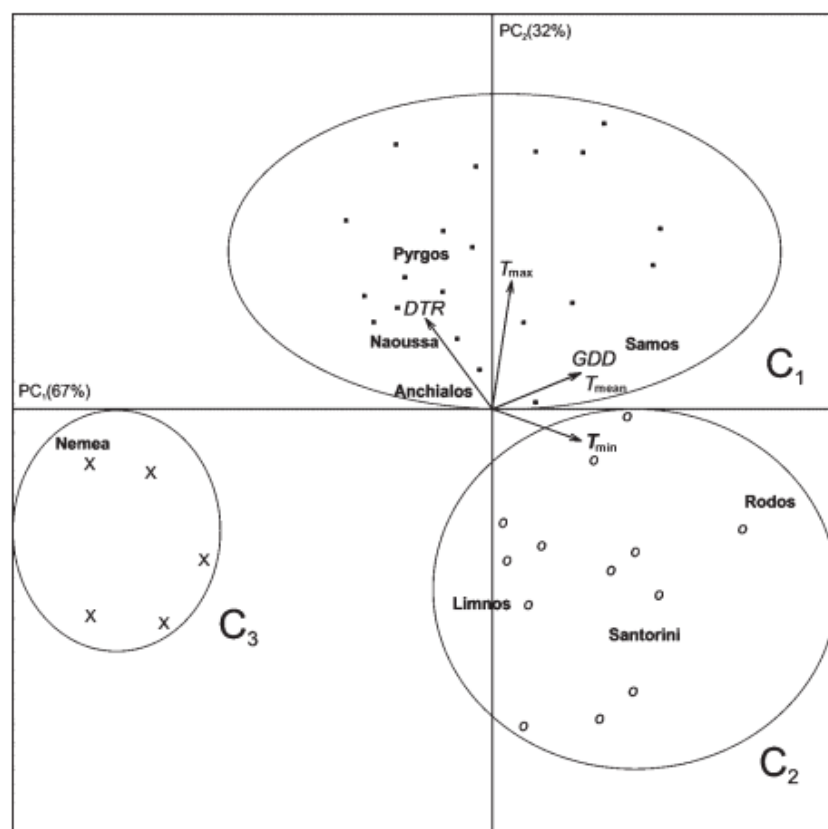
Δεδομένου ότι τα στοιχεία για βροχόπτωση δεν ήταν εκτενή και ότι τα μακροπρόθεσμα δεδομένα βροχοπτώσεων ήταν διαθέσιμα μόνο σε πέντε από τις οκτώ περιοχές (Πίνακας II), στο PCA των 46 μετεωρολογικών σταθμών συμπεριελήφθησαν μόνο μεταβλητές που σχετίζονται με τη θερμοκρασία (T_{mean} , T_{max} , T_{min} , GDD και DTR).

Η χωρική κατανομή των 46 μετεωρολογικών σταθμών (συμπεριλαμβανομένων των οκτώ σημείων μελέτης αμπελώνων) παρουσιάζεται στο Σχήμα 2. Η Νεμέα, μια αμπελουργική περιοχή που βρίσκεται σε ορεινή περιοχή, χαρακτηρίζεται από τις χαμηλές τιμές T_{min} , T_{mean} και GDD, ενώ η Σάμος εμφανίζει την ακριβώς αντίθετη εικόνα.

Ως προς τον δεύτερο άξονα (PC2), τρεις ηπειρωτικές περιοχές (Πύργος, Νάουσα και σε μικρότερο βαθμό, Αγχιάλος) χαρακτηρίστηκαν ως περιοχές με υψηλό θερμοκρασιακό εύρος, ενώ αντίθετα η Ρόδος και η Σαντορίνη είναι περιοχές με μικρό θερμοκρασιακό εύρος.

Πίνακας 5: Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία για τις κλιματικές μεταβλητές για την καλλιεργητική περίοδο (GS) για τις 8 επιλεγμένες περιοχές αμπελοκαλλιέργειας

	T_{mean} (°C)	T_{max} (°C)	T_{min} (°C)	GDD (°C)	DTR (°C)	Prec. (mm)	$T_{max} > 35^{\circ}\text{C}$ (d)	$T_{min} < 0^{\circ}\text{C}$ (d)
Limnos	20.8 (0.6)	24.4 (0.6)	15.6 (0.6)	2308 (118)	8.8 (0.4)	181 (125)	0.6 (1.4)	0.0 (0.0)
Samos	23.7 (0.7)	27.7 (0.7)	18.2 (0.8)	2933 (138)	9.5 (0.5)	112 (58)	20.5 (9.9)	0
Santorini	22.6 (0.5)	25.3 (0.6)	19.4 (0.6)	2693 (111)	5.9 (0.4)	66 (48)	1.1 (1.3)	0
Rodos	23.4 (0.5)	26.2 (0.5)	20.4 (0.5)	2873 (103)	5.8 (0.3)	110 (93)	1.1 (1.6)	0
Anchialos	20.7 (0.7)	26.5 (0.7)	15.2 (0.9)	2301 (150)	11.2 (0.7)		7.1 (6.4)	0.1 (0.3)
Nemea	18.9 (1.6)	25.6 (1.0)	10.7 (1.2)	1934 (319)	14.9 (1.0)	240 (87)	10.4 (6.2)	4.0 (4.2)
Pyrgos	21.9 (0.7)	27.4 (0.7)	14.7 (0.9)	2551 (143)	12.8 (0.9)		9.5 (7.9)	0.0 (0.2)
Naoussa	20.8 (0.6)	26.2 (1.2)	14.2 (0.7)	2325 (121)	12.0 (1.6)		8.5 (6.0)	0.7 (1.3)



Εικόνα 6: Βiplot των δύο κύριων συνιστωσών της μέσης θερμοκρασίας κατά την βλαστική περίοδο σε 46 μετεωρολογικούς σταθμούς (όπου οι ανοιχτοί κύκλοι αντιπροσωπεύουν τους παράκτιους και περιφερειακούς σταθμούς, τα Χ αντιπροσωπεύουν τους σταθμούς της ηπειρωτικής χώρας και οι συμπαγείς κουκκίδες αντιπροσωπεύουν τους υπόλοιπους σταθμούς)

6.3 Μοντέλο παρακολούθησης της εξέλιξης της κλιματικής αλλαγής

Η κλιματική αλλαγή αποτελεί ένα πολυπαραγοντικό πρόβλημα για την αμπελοκαλλιέργεια. Επομένως προκειμένου να κατανοηθεί το φαινόμενο & οι επιπτώσεις του στις διεργασίες των φυτών της αμπέλου, έχουν πραγματοποιηθεί πολυάριθμα μοντέλα πρόβλεψης που αφορούν την μεταβολή των κλιματικών συνθηκών για τις επόμενες δεκαετίες & να προλαμβάνει τις επιπτώσεις τους στην φυσιολογία της αμπέλου. Στο μοντέλο που ανέπτυξε η LIFE-ADVCLIM, η οποία αναπτύχθηκε στην Κοιλάδα του Λίγηρα στην Γαλλία, σκοπός του είναι να αναπαραστήσει τα αποτελέσματα της κλιματικής αλλαγής στα φυτά την αμπέλου και στις αμπελουργικές πρακτικές.

Αρχικά ζητήθηκε από τους αμπελουργούς να περιγράψουν πότε διήρκησε η καλλιεργητική περίοδος, ποιες πρακτικές καθώς και ποια μηχανήματα χρησιμοποιήθηκαν, κυρίως για να οριστούν οι περιβαλλοντικές μεταβλητές. Στην συνέχεια οι αμπελουργοί περιέγραψαν γενικά στοιχεία σχετικά με τον αμπελώνα τους & τις πρακτικές που πραγματοποιούν. Επίσης τους ζητήθηκαν να περιγράψουν τις κλιματικές συνθήκες που ευνοούν ή αναστέλλουν την ανάπτυξη της αμπέλου καθώς και ποιες πρακτικές πραγματοποιούν για να μετριάσουν τις αρνητικές επιπτώσεις. Τέλος τους ζητήθηκε να περιγράψουν αν έχουν παρατηρήσει τυχόν αλλαγές στο κλίμα τα τελευταία χρόνια και ζητήθηκε να αναφέρουν τα μέτρα που θα μπορούσαν να εξομαλύνουν τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής.

Στόχος αυτών των προσομοιώσεων είναι να συσχετιστεί η φυσιολογία της αμπέλου με την κλιματική αλλαγή και τις καλλιεργητικές πρακτικές που πρέπει να υιοθετηθούν στο πλαίσιο αυτής. Οι καλλιεργητικές πρακτικές προσαρμόζονται σύμφωνα με 3 είδη καλλιέργειας, τη συμβατική, τη βιοδυναμική και τη βιολογική. Επομένως οι προσομοιωμένες αμπελουργικές πρακτικές θα εξαρτηθούν από την πορεία των φαινολογικών σταδίων της αμπέλου, τις περιβαλλοντικές συνθήκες καθώς και από τις είδος της καλλιέργειας (συμβατική, βιοδυναμική ή βιολογική καλλιέργεια).

Ανάλογα με την τοποθεσία του αμπελώνα, τα χαρακτηριστικά του, καθώς και με την παραγωγή, κάθε οίνοποιός θα χρησιμοποιήσει συγκεκριμένες αμπελουργικές πρακτικές και η απόφαση θα πρέπει να συσχετιστεί με το κλίμα που θα επικρατεί στην περιοχή κατά την καλλιεργητική περίοδο, καθώς και με τους στόχους του παραγωγού σχετικά με το στυλ του οίνου που θα παραχθεί.

Στην διαχείριση της αμπελοκαλλιέργειας περιλαμβάνονται πολλές καλλιεργητικές τεχνικές (π.χ. χειμερινό κλάδεμα, βλαστολόγημα, αραίωση φύλλων κτλ) αλλά και τεχνικές

που έχουν σκοπό την προσαρμογή του φυτού σε συγκεκριμένες συνθήκες (π.χ. διαχείριση εδάφους, αντιμετώπιση ασθενειών & εχθρών). Επομένως, η επιλογή μιας παραμέτρου δεν καθορίζεται μόνο από την συμπεριφορά της αμπέλου στις κλιματικές συνθήκες, αλλά εξαρτάται επίσης σε μεγάλο βαθμό και από τους στόχους της παραγωγής, οι οποίοι ποικίλλουν μεταξύ των παραγωγών.

Το δεύτερο βήμα ήταν η ενσωμάτωση σεναρίων της κλιματικής αλλαγής. Αντίστοιχα στο μοντέλο πραγματοποιήθηκαν διάφορες εκτιμήσεις στην κοιλάδα του Λίγηρα, ενσωματώνοντας τις περιφερειακές κλιματικές προβλέψεις 3 Αντιπροσωπευτικών Διαδρομών Συγκέντρωσης (Representative Concentration Pathways RCP) (δηλαδή RCP 2.6, 4.5 και 8.5), που περιγράφουν πιθανά μελλοντικά κλίματα σύμφωνα με το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Ανάλογα με το κλιματικό σενάριο, τα αποτελέσματα δείχνουν μια σημαντική μεταβολή στον φαινολογικό κύκλο της αμπέλου και αφορούν στην αύξηση των θερμοκρασιών επηρεάζοντας σημαντικά την πρωιμότητα και την ωρίμανση των σταφυλιών.

Ωστόσο, για το RCP 8.5, η συγκομιδή των σταφυλιών δεν θα συσχετιστεί με τη μεταβολή στη φαινολογία της αμπέλου, επειδή εξαρτάται και από την επιλογή των αμπελουργών κατά πόσο θα προχωρήσουν σε τρύγο ή όχι. Ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες και το είδος του οίνου που θέλουν να παράγουν, θα πρέπει να διαχειριστούν και τις ημερομηνίες τρυγητού.

Τα δε αποτελέσματα δείχνουν ότι σε μεταβαλλόμενες κλιματικές συνθήκες, η εκτίμηση τους είναι μη προβλέψιμη και συνεπώς οι παραγωγοί δεν μπορούν να αντιληφθούν τις μακροπρόθεσμες αλλαγές στο κλίμα.

Αυτό σημαίνει αβεβαιότητα για τους παραγωγούς, ενώ καταβάλλουν προσπάθεια να προσαρμόσουν τις αποδόσεις και την ποιότητα των ραγών, ρυθμίζοντας τις ετήσιες καλλιεργητικές πρακτικές. Ο κίνδυνος είναι ότι ορισμένες μακροπρόθεσμες πρακτικές θα περιοριστούν, λόγω της μεταβολής του κλίματος υποχρεώνοντας τους παραγωγούς να εντείνουν ακόμα περισσότερο τις προϋπάρχουσες πρακτικές διαχείρισης εδάφους και θόλου.

6.4 Προοπτικές

Στο μοντέλο που αναφέρθηκε, εξετάζεται ο αντίκτυπος των περιβαλλοντικών συνθηκών στη συμπεριφορά της αμπέλου και στη δυναμική των αμπελουργικών πρακτικών για την διαχείρισή τους. Για την ανάλυση αυτής της μοντελοποίησης και την επίδραση της μεταβολής του κλίματος στην απόδοση της αμπέλου και στην παραγωγή ελήφθησαν υπόψη οι παράμετροι του χώρου και του χρόνου.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το μοντέλο είναι σε θέση να αναπαραστήσει την πραγματικότητα στους τομείς της αμπελοκαλλιέργειας και των αμπελουργικών πρακτικών σε σχέση με τη μεταβολή του κλίματος. Στο πλαίσιο της κλιματικής αλλαγής, ένα παρόμοιο πιο σύνθετο μοντέλο θα βοηθούσε στην καλύτερη αξιολόγηση των πιθανών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην αμπελοκαλλιέργεια για τον προσδιορισμό τρόπων αντιμετώπισής της σε διαφορετικές τοποθεσίες και χρονιές.

Πέραν των ανωτέρω, ερευνώνται και άλλοι τρόποι που εστιάζουν στην προσαρμογή της ανάπτυξης της αμπέλου και στην ποιότητα των ραγών. Εξετάζεται επίσης & η ενσωμάτωση και άλλων δεικτών, συμπεριλαμβανομένης της μέτρησης της ποιότητας της αμπέλου κατά τη συγκομιδή. Η ανταλλαγή πληροφοριών με τοπικούς οινοπαραγωγούς είναι βεβαίως απαραίτητη προϋπόθεση για την επικύρωση και την βελτίωση του μοντέλου, αλλά και για τη δημιουργία έγκυρων σεναρίων προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή.

7. Επιπτώσεις και προβλέψεις για την κλιματική αλλαγή

7.1 Επίδραση της υδατικής καταπόνησης στη φυσιολογία της αμπέλου

Μια από τις αρχικές αποκρίσεις των φυτών της αμπέλου κάτω από συνθήκες υδατικής καταπόνησης & αύξησης της θερμοκρασίας είναι το κλείσιμο των στομάτων των φύλλων (Gomez del Campo κ.α., 2004), που οδηγεί σε περιορισμό των απωλειών νερού, μείωση του ρυθμού διαπνοής, ενώ παρατηρείται μειωμένος ρυθμός ενσωμάτωσης του άνθρακα στην οργανική ύλη (Schultz κ.α., 2003) μέσω της μειωμένης διαθεσιμότητας του στο μεσόφυλλο (Ci). Πράγματι, η μειωμένη στοματική αγωγιμότητα (gs) έχει αναφερθεί ως ένας μηχανισμός αποφυγής των αρνητικών συνεπειών της υδατικής καταπόνησης (Düring και Stoll, 1996) και φαίνεται να επηρεάζει άμεσα τη φωτοσυνθετική δραστηριότητα. Παρόλα αυτά, η φωτοσύνθεση (A) φαίνεται να είναι περισσότερο ανθεκτική (Chaves κ.α., 2007, Tomás κ.α., 2014) στην έλλειψη νερού & στις υψηλές θερμοκρασίες σε σχέση με την gs. Οι διακυμάνσεις των τιμών και η συσχέτιση των παραπάνω παραμέτρων είναι σε θέση να χρησιμοποιηθούν τόσο για την παρακολούθηση της υδατικής κατάστασης των φυτών αλλά και ως εργαλείο αποτύπωσης της επίδρασης της καταπόνησης (αβιοτική-βιοτική) στην αύξηση και παραγωγή της αμπέλου. Τα επίπεδα της υδατικής καταπόνησης είναι σε θέση να μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια της ημέρας με αποτέλεσμα οι τιμές των gs και A να μεταβάλλονται εξίσου. Οι Flexas κ.α. (2002) αναφέρουν πως η μείωση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας σχετίζεται με τις διακυμάνσεις των τιμών της ημερήσιας στοματικής αγωγιμότητας gs, ενώ οι Ciffre κ.α. (2005) καθορίσαν διάφορα στάδια μείωσης της A,

σύμφωνα με την προοδευτική μείωση της διαθεσιμότητας του νερού στην άμπελο. Έτσι, κατά τα αρχικά στάδια της υδατικής καταπόνησης ($g_s > 0,15 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), παρατηρείται μια ελαφρά μείωση της A με ταυτόχρονη μείωση της g_s , ενώ οι μεσοκυττάριοι χώροι πληρούνται με CO_2 . Αποτέλεσμα αυτού είναι η αύξηση της ενδογενούς αποδοτικότητας χρησιμοποίησης νερού AXN_E (A/g_s). Σε αυτό το στάδιο, το κλείσιμο των στοματίων των φύλλων αποτελεί το μόνο περιοριστικό παράγοντα για την A μέσω της μείωσης της διαθεσιμότητας του CO_2 . Για τιμές της g_s , που κυμαίνονται από $0,15$ έως $0,05 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, παρατηρήθηκε μείωση της συγκέντρωσης του CO_2 στο μεσόφυλλο (C_i), που επαγωγικά επιδρά αρνητικά στους ρυθμούς της A . Στο στάδιο αυτό, η δραστηριότητα ενζύμων όπως η Rubisco δεν επηρεάζονται σημαντικά (Bota κ.α., 2004). Οι μειώσεις του ρυθμού της φωτοσύνθεσης, που οφείλονται σε παράγοντες πέραν του στοματικού περιορισμού, αντιστοιχούν σε τιμές της g_s που κυμαίνονται κάτω από τα $0,05 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Κατά το στάδιο αυτό, παρατηρείται περαιτέρω μείωση των A , AXN_E , της μεταφοράς ηλεκτρονίων και της αφομοίωσης του άνθρακα, ενώ η απόδοση του φωτοσυστήματος II τελικά μειώνεται, ιδιαίτερα τις θερμότερες ημέρες (Medrano κ.α., 2002). Ενώ η AXN_E μειώνεται, η C_i σταδιακά αυξάνεται υποδεικνύοντας έτσι ότι μη στοματικοί παράγοντες είναι περιοριστικοί της A .

Σημαντικό ρόλο στη λειτουργία των στοματίων των φύλλων υπό συνθήκες έλλειψης νερού & υψηλών θερμοκρασιών φαίνεται να διαδραματίζει το αμψισικό οξύ (ABA). Ενώ κατά τα αρχικά στάδια της υδατικής καταπόνησης τα υδραυλικά σήματα ευθύνονται για το κλείσιμο των στοματίων των φύλλων, η επίδραση του ABA φαίνεται πως σχετίζεται με τη διατήρησή τους σε αυτήν την κατάσταση για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα (Christmann κ.α., 2007). Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται από την παρατήρηση πως οι συγκεντρώσεις του ABA στα φύλλα παρουσίασαν αύξηση της τάξεως του 566% για την ποικιλία Monterulciano (Tombesi κ.α., 2015), η οποία συνοδεύτηκε από σημαντική μείωση της g_s . Παρόμοιες επιδράσεις αναφέρουν και οι Dodd κ.α. (2006) και Davies κ.α. (2005), με αποτέλεσμα να θεωρείται πως η αύξηση της συγκέντρωσης του ABA στα φύλλα, σε συνδυασμό με τη μειωμένη συγκέντρωση της κυτοκινίνης και τις αλλαγές στη συγκέντρωση σε ανιόντα (Jiang και Hartung, 2008, Stoll κ.α., 2000), ευθύνονται κυρίως για τη διατήρηση του κλεισίματος των στοματίων με σκοπό τη μείωση των απωλειών νερού κατά την ανταλλαγή αερίων. Οι Brodribb και McAdam (2011) αναφέρουν πως η λειτουργία των στοματίων, υπό συνθήκες υδατικής καταπόνησης, ελέγχεται από την μετακίνηση ανιόντων, από και προς τα καταφρακτικά κύτταρα των στοματίων, σε μεγαλύτερο βαθμό από ότι η υδραυλική τους ρύθμιση μέσω των αλλαγών του υδατικού δυναμικού.

Μεταξύ των έμμεσων επιδράσεων της υδατικής καταπόνησης, η μειωμένη ανάπτυξη της φυτοστοιβαδας (Santos κ.α., 2007) καθώς και οι αλλαγές προσανατολισμού των φύλλων

σε σχέση με την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία (Pallioti κ.α., 2008), επηρεάζουν σημαντικά τη φωτοσυνθετική απόδοση. Σε συνδυασμό με τις υψηλές θερμοκρασίες είναι δυνατόν να οδηγήσουν σε μείωση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας (Greer κ.α., 2011), μέσω της επίδρασης στη λειτουργία των ενζύμων που εμπλέκονται στις βιοχημικές διεργασίες των ιστών του φύλλου. Ενώ σύμφωνα με τους Flexas κ.α. (2001), η άμπελος θεωρείται είδος που παρουσιάζει ανθεκτικότητα στη φωτοαναστολή, τόσο η καρβοξυλίωση όσο και ο ρυθμός αναγέννησης της Rubisco, εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη θερμοκρασία (Warren, 2008), ενώ ο λόγος καρβοξυλίωσης/αναγέννησης φαίνεται να μειώνεται καθώς η θερμοκρασία του φύλλου αυξάνεται (Dillaway και Kruger 2010). Επιπρόσθετα, η ηλιακή ακτινοβολία σχετίζεται άμεσα με τη φωτοσυνθετική απόδοση με αποτέλεσμα υπό συνθήκες υψηλών εντάσεων ακτινοβολίας, να παρατηρείται απώλεια της λειτουργίας των φωτοσυστημάτων (Bertamini κ.α., 2007, Bertamini και Nedunchezian, 2003). Οι Pallioti κ.α. (2009) αναφέρουν μη αντιστρεπτές βλάβες των φωτοσυστημάτων κάτω από τη συνεργιστική επίδραση υψηλών εντάσεων ακτινοβολίας με ταυτόχρονη εφαρμογή υδατικής καταπόνησης.

Η αποτελεσματικότητα χρήσης του νερού (AXN) αποτελεί ένα σύνθετο χαρακτηριστικό που εξαρτάται άμεσα από φυσιολογικές λειτουργίες όπως η φωτοσύνθεση (A), η διαπνοή (E) και η στοματική αγωγιμότητα (gs) (Gago κ.α., 2014). Υπό συνθήκες ελαφράς υδατικής καταπόνησης, λόγω της μεγαλύτερης μείωσης της gs σε σχέση με την A, η ενδογενής αποτελεσματικότητα χρησιμοποίησης νερού $AXN_E (A/gs)$ αυξάνεται. Ο αυξημένος αυτός ρυθμός ενσωμάτωσης στην οργανική ύλη του άνθρακα ανά μονάδα κατανάλωσης νερού αποτελεί στόχο των διαφόρων στρατηγικών διαχείρισης του αρδευτικού νερού (Gaudillère κ.α., 2002). Ενώ αρκετές έρευνες έχουν ως αντικείμενο τους την αύξηση της στιγμιαίας αποτελεσματικότητας χρήσης του νερού (AXN_z), οι μετρήσεις των επιμέρους παραμέτρων όπως οι gs και A, λαμβάνουν χώρα σε μεμονωμένα φύλλα με αποτέλεσμα να αμφισβητείται η ικανότητα της παραμέτρου αυτής να χρησιμοποιηθεί για την καταγραφή της υδατικής κατάστασης σε επίπεδο ολόκληρου του φυτού (Medrano κ.α., 2015).

Οι επιμέρους αποκρίσεις της φυσιολογίας της αμπέλου στην αύξηση της θερμοκρασίας, πέραν όλων των άλλων παραγόντων, εξαρτώνται σε σημαντικό βαθμό από τη γενετική σύσταση. Έτσι για ορισμένες ποικιλίες αμπέλου έχει παρατηρηθεί πως διαθέτουν αποτελεσματικότερους μηχανισμούς ελέγχου της λειτουργίας των στοματίων των φύλλων και επομένως της στοματικής αγωγιμότητας, ενώ αντίθετα κάποιες άλλες λιγότερο. Η επέκταση της αμπελοκαλλιέργειας ανά τον κόσμο έχει οδηγήσει στην καλλιέργεια μεγάλου αριθμού ποικιλιών και κλώνων (Schultz, 1996). Ενώ η γενετική αυτή διαφοροποίηση δεν είναι μια επαρκής παράμετρος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη χαρτογράφηση των

φυσιολογικών αποκρίσεων υπό συνθήκες έλλειψης νερού, λόγω υψηλών θερμοκρασιών, ορισμένες ποικιλίες όπως οι Syrah και Grenache noir αναφέρεται πως παρουσιάζουν σχετικά σταθερές μεταβολές της φυσιολογίας υπό τα διάφορα επίπεδα υδατικής καταπόνησης (Rogiers κ.α. 2009, Soar κ.α. 2009).

Με βάση την ευαισθησία του μηχανισμού των στοματίων των φύλλων υπό συνθήκες έλλειψης νερού, οι ποικιλίες αμπέλου έχουν κατηγοριοποιηθεί ως ισουδρικές και ανισουδρικές. Ως ισουδρικές χαρακτηρίζονται ποικιλίες (Grenache noir, Lambrusco, Semillon κ.α.) που είναι σε θέση να ελέγχουν τις απώλειες νερού μέσω της διαπνοής, με το κλείσιμο των στοματίων των φύλλων, όταν τα διαθέσιμα υδατικά αποθέματα μειώνονται με αποτέλεσμα οι τιμές του Ψ_{LEAF} να παραμένουν σταθερές και να μην παρατηρείται διαφορά ανάμεσα στις αρδευόμενες και μη αρδευόμενες επεμβάσεις (Tardieu και Simonneau, 1998). Αντίθετα, ως ανισουδρικές χαρακτηρίζονται ποικιλίες (Syrah, Montepulciano, Touriga Nacional κ.α.) που παρά τη μειωμένη διαθεσιμότητα νερού συνεχίζουν να παρουσιάζουν υψηλές τιμές στοματικής αγωγιμότητας και διαπνοής ακόμα και σε υψηλές θερμοκρασίες, ως απόρροια του αναποτελεσματικού ελέγχου της λειτουργίας των στοματίων των φύλλων. Βέβαια, νεότερες έρευνες παρουσιάζουν δεδομένα που οδηγούν υπό αμφισβήτηση αυτόν τον διαχωρισμό. Πράγματι, οι Hulgade κ.α. (2018) αναφέρουν πως υπό συνθήκες υδατικής καταπόνησης, η ποικιλία Grenache επέδειξε ανισουδρική συμπεριφορά, ενώ η Syrah ισουδρική, όταν για την παραπάνω κατηγοριοποίηση χρησιμοποιήθηκαν ως κριτήριο η ανταλλαγή αερίων και οι τιμές του υδατικού δυναμικού του φύλλου. Αντίθετα οι Chouzouri και Schultz, (2005) δεν ήταν σε θέση να κατηγοριοποιήσουν πλήρως τις παραπάνω ποικιλίες. Οι Soar κ.α. (2006) αναφέρουν διαφορές που δικαιολογούν την κατηγοριοποίησή τους σε ισουδρικές και μη ισουδρικές. Παρόμοια αποτελέσματα έχουν αναφερθεί για ποικιλίες όπως οι Cabernet Sauvignon (Williams και Baeza, 2007, Chalmers, 2007), Sangiovese (Poni κ.α., 2007, Silvestroni κ.α., 2005), Tempranillo (Medrano κ.α., 2003, Sousa κ.α., 2005).

7.2 Επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην φωτοσύνθεση

Η φωτοσύνθεση είναι μια διαδικασία, κατά την οποία τα φυτά μέσω της φωτεινής ενέργειας μετατρέπουν το CO₂ και το νερό σε συστατικά, τα οποία είναι απαραίτητα για την θρέψη τους, απελευθερώνοντας οξυγόνο. Η διαδικασία της φωτοσύνθεσης επηρεάζεται άμεσα από την θερμοκρασία και την ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται το φυτό. Στην άμπελο η θερμοκρασία όπου ο ρυθμός της φωτοσύνθεσης είναι βέλτιστος κυμαίνεται τους 25-35°C. Σε θερμοκρασίες μικρότερες των 10°C, η φωτοσύνθεση σταματά, ενώ σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 35°C, μειώνεται ο ρυθμός της φωτοσύνθεσης και ενεργοποιούνται μηχανισμοί, με σκοπό να εγκλιματιστούν στο θερμικό στρες. Ένας

μηχανισμός εγκλιματισμού είναι το κλείσιμο των στοματίων που θα οδηγήσει σε περιορισμό των απωλειών νερού & μείωση του ρυθμού διαπνοής. Σε θερμοκρασίες πολύ υψηλές (>40°C), θα οδηγήσουν στην παύση της φωτοσυνθετικής διαδικασίας.

Σύμφωνα με τους Greer & Weedon (2012), παρατηρήθηκε ότι η μείωση του ρυθμού της φωτοσύνθεσης οφείλεται κυρίως στην μείωση της στοματικής αγωγιμότητας των φύλλων. Βέβαια μεταβολές στις βιοχημικές διαδικασίες που μπορούν να πραγματοποιηθούν στο κύτταρο, όπως η μείωση της παραγωγής της 1,5-διφωσφορικής ριβουλόζης (RuBP) και η ενεργοποίηση της καρβοξυλάσης της διφωσφορικής ριβουλόζης μπορούν να οδηγήσουν σε μείωση του ρυθμού της φωτοσύνθεσης.

7.3 Επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην επιδημιολογία μυκήτων & εντόμων

Η αύξηση της θερμοκρασίας που θα επιφέρει η κλιματική αλλαγή, σε συνδυασμό με τα ποσοστά υγρασίας που διακατέχει η εκάστοτε περιοχή, θα μεταβάλλει το μικροκλίμα των αμπελώνων, και αυτό μπορεί να οδηγήσει στην προσβολή διαφόρων μυκητολογικών ασθενειών, στην αύξηση των γενεών των εντόμων, συνεπώς στην αύξηση του πληθυσμού τους, και στην αύξηση της παρουσίας φορέων που ευθύνονται για την πρόκληση ασθενειών (Karaoglan, 2018). Οι μεταβολές των θερμοκρασιών, η αύξηση της έκθεσης των φυτών στην ηλιακή ακτινοβολία, το ποσοστό υγρασίας και το ποσοστό βροχοπτώσεων θα επιδρούν σημαντικά στην ανάπτυξη των μυκήτων και ιδιαίτερα του μύκητα *Botrytis cinerea*. Σύμφωνα με τους Steel και Greer το 2008, οι υψηλές θερμοκρασίες (35-42 °C), οδηγούν σε εγκαύματα στον φλοιό της σταφυλής, που σχετίζονται με τον *B.cinerea* (Steel and Greer, 2008). Επίσης, η αύξηση της θερμοκρασίας μπορεί να αποτελεί κίνδυνος προσβολής της αμπέλου από την ευδεμίδα και το ωίδιο, 2 ασθένειες που προσβάλλουν την άμπελο (Mozel & Thach, 2014). Το είδος *Homalodisca vitripennis* γνωστό και ως Glassy – winged Sharpshooter είναι ένα έντομο, το οποίο αποτελεί φορέας του βακτηρίου *Xylella fastidiosa*, που προκαλεί στην άμπελο την ασθένεια του Pierce. Το συγκεκριμένο είδος προκαλεί σοβαρά προβλήματα στις ΗΠΑ, στις περιοχές της Καλιφόρνιας, του Τέξας και της Φλόριντας. Με την αύξηση των θερμοκρασιών στις βορειότερες περιοχές, σύμφωνα με τον Tate είναι πολύ πιθανόν η συγκεκριμένη ασθένεια να μεταφερθεί σε βορειότερες περιοχές (Tate, 2001). Συνεπώς η κλιματική αλλαγή θα οδηγήσει τους αμπελοκαλλιεργητές να είναι όλο και πιο σχολαστικοί στην εφαρμογή πρακτικών που θα προλαμβάνουν τις συγκεκριμένες ασθένειες και στην αντιμετώπιση τους.

7.4 Επιπτώσεις στον παγκόσμιο αμπελώνα

Οι επιπτώσεις της μεσοπρόθεσμης και μακροπρόθεσμης κλιματικής αλλαγής στη γεωργία και τη δασοκομία είναι συχνά δύσκολο να αναλυθούν ξεχωριστά από τις μη κλιματικές επιρροές που σχετίζονται με τη διαχείριση των απαραίτητων καλλιεργητικών πόρων (Hafer, 2003). Ωστόσο, προκύπτουν αυξανόμενες ενδείξεις ότι διεργασίες όπως οι αλλαγές στη φαινολογία, η διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου και η μετατόπιση των καλλιεργειών προς τα βόρεια είναι δυνατό να σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή (IPCC, 2007). Βέβαια αξίζει να σημειωθεί ότι η κλιματική αλλαγή έχει επιφέρει και θετικές επιπτώσεις. Λόγω της κλιματικής αλλαγής υπάρχουν περιοχές, οι οποίες έχουν μεγάλες εκτάσεις για αμπελοκαλλιέργεια, των οποίων παλαιότερα το κλίμα τους δεν τους επέτρεπε την αμπελοκαλλιέργεια. Παραδείγματος χάριν στην Αλσατία, η οποία έχει ψυχρό ηπειρωτικό κλίμα, οι θερμότερες συνθήκες οδηγούν σε σταφύλια, με καλύτερη τεχνολογική ωριμότητα, χωρίς όμως να αντιμετωπίζουν οι παραγωγοί τα προβλήματα που αντιμετώπιζαν, λόγω των καιρικών συνθηκών κατά τον φθινόπωρο. Στην Αλσατία, συγκεκριμένα, μέσα στα τελευταία 70 χρόνια, η έκπτυξη των οφθαλμών λαμβάνει χώρα 10 ημέρες νωρίτερα από το συνηθισμένο, η άνθησης 23 ημέρες, ο περκασμός 39 ημέρες ενώ ο τρύγος 25 ημέρες νωρίτερα. Αυτά τα οφέλη αντισταθμίζονται από δυνητικά αρνητικές επιπτώσεις που περιλαμβάνουν αυξημένη ζήτηση νερού και περιόδους λειψυδρίας, απαιτήσεις σε μεγαλύτερες ποσότητες φυτοφαρμάκων, ζημιές στις καλλιέργειες καθώς και περιορισμένες ευκαιρίες καλλιέργειας σε ορισμένες περιοχές της νότιας Ευρώπης (Olesen and Bindí, 2002· Maracchi et al., 2005 Chmielewski et al., 2004· Menzel et al., 2003).

Έχει παρατηρηθεί πως ο δείκτης Huglin είναι δυνατό να αυξηθεί σε όλες τις αμπελοοινικές περιοχές. Για τις νότιες περιοχές της Ευρώπης, των ΗΠΑ και της Κίνας, καθώς και για τις βόρειες περιοχές της Αργεντινής και της Νότιας Αφρικής η αναμενόμενη αύξηση του δείκτη μπορεί να οδηγήσει σε θερμικό στρες των σταφυλιών.

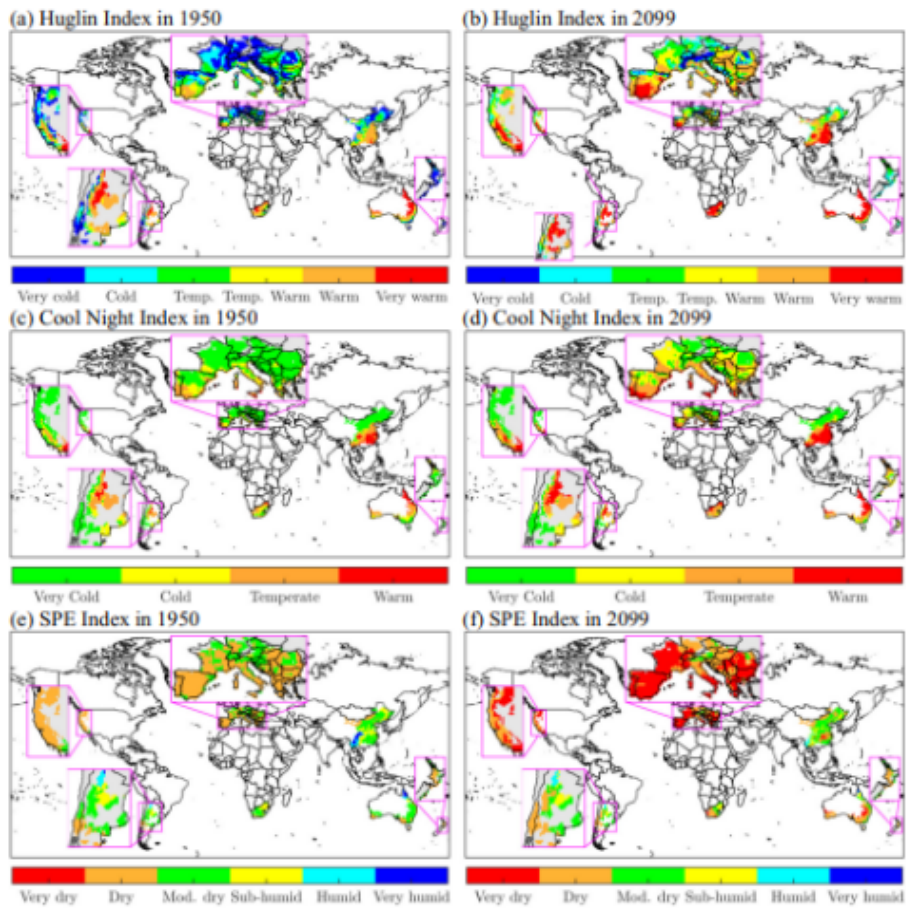
Αποτέλεσμα αυτής της μεταβολής είναι αφενός η παραγωγή οίνων υποδεέστερης ποιότητας, αφετέρου η ανάγκη εγκατάστασης πιο θερμοανθεκτικών ποικιλιών στις ίδιες περιοχές. Στις βόρειες περιοχές της Ευρώπης, των ΗΠΑ, της Κίνας και της Νέας Ζηλανδίας, καθώς και στις νότιες περιοχές της Χιλής και στις περιοχές που βρίσκονται ανατολικά της Νοτίου Αφρικής μέχρι τις εύκρατες και εύκρατες-θερμές περιοχές ο δείκτης αναμένεται επίσης να αυξηθεί, επιτρέποντας έτσι την επέκταση του αμπελώνα.

Η ζημιά από τον παγετό μπορεί να περιοριστεί σε μεγάλο βαθμό και η άνοδος της θερμοκρασίας μπορεί να συμβάλλει στην καλλιέργεια περισσότερων ποικιλιών σταφυλιού σε κάθε αμπελοοινική περιοχή. Ο δείκτης νυχτερινών θερμοκρασιών (CI) αναμένεται επίσης να

αυξηθεί στις περισσότερες περιοχές της νότιας Ευρώπης, της Κίνας και της βόρειας Νέας Ζηλανδίας, καταλήγοντας σε πιθανές απώλειες ποιότητας, καθώς οι ποικιλίες σταφυλιών θα ωριμάζουν νωρίτερα.

Η αύξηση των νυχτερινών θερμοκρασιών μπορεί επιπλέον να οδηγήσει σε ράγες με χαμηλότερο αρωματικό δυναμικό και πιο ανοιχτό χρώμα. Ωστόσο, ορισμένες ψυχρές περιοχές (π.χ. βόρειες περιοχές των Η.Π.Α.) ενδέχεται να επωφεληθούν από την μεταβολή των νυχτερινών θερμοκρασιών. Επίσης αναμένεται να παρατηρηθεί μεγάλη έλλειψη νερού κατά την καλλιεργητική περίοδο στις περισσότερες περιοχές του κόσμου.

Αυτό θα είναι ιδιαίτερα εμφανές κυρίως στην Ευρώπη και στις ΗΠΑ, το οποίο θα έχει ως αποτέλεσμα η άρδευση να καταστεί απαραίτητη. Επίσης σε άλλες περιοχές όπου θα παρατηρηθεί εμφανής έλλειψη νερού, αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα μια καλύτερη ωρίμανση των σταφυλιών καθώς και μια καλύτερη αντιμετώπιση μυκητολογικών ασθενειών, πλην όμως η άρδευση θα πρέπει να υιοθετηθεί για την αντιμετώπιση του υδατικού στρες του φυτού. Επιπρόσθετα, η σοβαρή έλλειψη νερού θα επηρεάσει την ωρίμανση των σταφυλιών και θα οδηγήσει σε μείωση των επιπέδων πρόδρομων πτητικών ενώσεων θειόλης στα σταφύλια (Peyrot des Gachons et al., 2005).



Εικόνα 7: Βιοκλιματικοί δείκτες για το κλίμα το 1950 και τις κλιματικές συνθήκες το 2099. Και οι δύο κατασκευάστηκαν με προσομοιώσεις του μοντέλου GCM GFDL-ESM2M ISIMIP2 Φάση B και καθοδηγούνται από το σενάριο εκπομπής RCP6. Το ισχυρό μέγεθος των δεικτών προκύπτει μέσω της προσαρμοσμένης γραμμικής παλινδρόμησης στην υπολογισμένη τιμή των δεικτών, με τις εξόδους της αντίστοιχης προσομοίωσης GCM.

Οι προσπάθειες προσαρμογής του φυτού, ως συνέπεια των μεταβολών στους βιοκλιματικούς δείκτες, σύμφωνα με τους Tonietto και Carbonneau (2004), είναι ανάλογη με το μέγεθος των ρυθμίσεων που συμβαίνει σε κάθε κύτταρο. Για αυτό έχουν εντοπιστεί κλιματικά σενάρια που περιλαμβάνουν τις χαμηλότερες και υψηλότερες μεταβολές των δεικτών, όπου το σενάριο χαμηλότερου αντίκτυπου αναφέρεται στις περιοχές που πραγματοποιείται χαμηλότερη μεταβολή της θερμοκρασίας και μείωση των βροχοπτώσεων, που επιφέρουν μικρότερες αλλαγές στις τιμές των βιοκλιματικών δεικτών. Το σενάριο υψηλότερου αντίκτυπου αναφέρεται στις περιοχές που πραγματοποιείται μεγαλύτερη αλλαγή της θερμοκρασίας με μειωμένες βροχοπτώσεις, με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν μεγαλύτερες μεταβολές στους δείκτες.

Βάσει των Tonietto και Carbonneau (2004), οι μελλοντικές ανάγκες προσαρμογής κατηγοριοποιούνται σε χαμηλές, μέσες και υψηλές.:

Πίνακας 6: Μελλοντικές ανάγκες προσαρμογής

Index value in 1950	Adaptation effort					
	Index value in 2099					
Huglin Index	Very warm	Warm	Temperate warm	Temperate	Cool	Very cool
Very warm	No change					
Warm	High	No change				
Temperate warm	High	Medium	No change			
Temperate	High	Medium	Low	No change		
Cool	High	Medium	Low	Low	No change	
Very cool	High	High	Medium	Medium	No effort	No change
Cool Night Index	Warm	Temperate	Cool	Very cool		
Warm	No change					
Temperate	High	No change				
Cool	High	Medium	No change			
Very cool	High	Medium	Low	No change		
SPE Index	Very dry	Dry	Moderately dry	Sub-humid	Humid	Very humid
Very dry	No change					
Dry	High	No change				
Moderately dry	High	Medium	No change			
Sub-humid	High	Medium	Low	No change		
Humid	High	Medium	Low	Low	No change	
Very humid	High	High	Medium	Low	No effort	No change

Η κλιματική αλλαγή μπορεί να μετατοπίσει την αμπελοκαλλιέργεια εκτός των περιοχών που εξελίσσεται σήμερα, και πιθανότατα να αλλάξει και τις πρακτικές καλλιέργειας των ποικιλιών (Mozell et al, 2014). Η υπερθέρμανση δεν είναι ομοιόμορφη και θα υπάρξει μεγαλύτερη θέρμανση στην ενδοχώρα (IPPC, 2013α). Με την δε άνοδο της θερμοκρασίας θα συνεχιστεί το λιώσιμο των πολικών πάγων και του χιονιού σε μεγάλο υψόμετρο, σε σημείο που δεν θα επηρεαστεί μόνο η παγκόσμια στάθμη της θάλασσας, αλλά σε μεγάλο βαθμό και τα ωκεάνια ρεύματα και η θερμοκρασία τους (Tate, 2001). Συγκεκριμένα με το λιώσιμο των πάγων, αναμένεται ότι θα καταλήξουμε σε ψύξη του θερμού Ρεύματος του Κόλπου, που με τη σειρά του θα ψύξει τις ακτές της Δυτικής και Βόρειας Ευρώπης.

Η αλλαγή της θερμοκρασίας, αναμένεται να προκαλέσει μια τεράστια αλλαγή στην γεωγραφική κατανομή των οινοπαραγωγικών περιοχών στα επόμενα 50 χρόνια (Hannah et al., 2013). Σύμφωνα με στον Tate (2001), η συνέπεια της θέρμανσης θα είναι η ικανότητα του *Vitis vinifera* να «ευδοκιμεί σε πιο πολικές τοποθεσίες από ό,τι σήμερα», στις οποίες σήμερα δεν θα μπορούσε να ευδοκιμήσει. Κάποιες περιοχές επίσης θα σταματήσουν την παραγωγή οίνου.

Η μελέτη επίσης καταλήγει στον εμπειρικό κανόνα της μετακίνησης των περιόδων φύτευσης αμπέλου κατά έναν ισόθερμο Κελσίου προς τον Πόλο για κάθε βαθμό της μέσης αύξησης της θερμοκρασίας (Kenney and Shao, 1992), με την αλλαγή να αναφέρεται σε παγκόσμιο επίπεδο.

Επιπλέον δρώντας συνεργατικά με την αύξηση της θερμοκρασίας & την μείωση της υγρασίας, φαίνεται ότι και η αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ της ατμόσφαιρας θα επηρεάσει σημαντικά την σύσταση των ραγών, με αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης των σακχάρων & την μείωση της συγκέντρωσης των οξέων. Έχει διαπιστωθεί ότι η αύξηση του ατμοσφαιρικού CO₂ θα έχει ως αποτέλεσμα την γρηγορότερη ανάπτυξη των ραγών, το οποίο συνεπάγεται με μεγαλύτερη συγκέντρωση σακχάρων και μεγαλύτερη ανάπτυξη του φλοιού, με μεγαλύτερες συγκεντρώσεις ανθοκυανών & υψηλότερα επίπεδα τανινών (Tate, 2001). Η κλιματική αλλαγή αναμένεται επίσης να εκθέσει τα αμπέλια σε αυξημένες συνθήκες ξηρασίας, είτε λόγω περιορισμού των βροχοπτώσεων, είτε λόγω της αυξημένης εξατμισοδιαπνοής εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών. Κατά συνέπεια, είναι πιθανό να υπάρχει μείωση στις στρεμματικές αποδόσεις, λόγω του μικρότερου μεγέθους των ραγών. Αυτό που αναμένεται επίσης να αλλάξει είναι η κατανομή των βροχοπτώσεων στην διάρκεια του έτους.

Οι μεταβολές που πραγματοποιούνται στην φαινολογία των αμπέλων θα έχουν μεγάλη επίδραση στο μέγεθος, αλλά και στην σύσταση των ραγών, επομένως θα υπάρξουν μεταβολές στις συγκεντρώσεις σακχάρων, οργανικών οξέων, φαινολών και αρωματικών ενώσεων (Sallis et al., 2010). Οι προκύπτουσες υψηλότερες θερμοκρασίες κατά τη φάση της ωρίμανσης είναι πολύ πιθανό να οδηγήσουν σε αύξηση της περιεκτικότητας των σακχάρων και μείωση της συγκέντρωσης των οργανικών οξέων (Neethling et al., 2012). Πρόσφατη έρευνα στοιχειοθετεί επίσης τη συσχέτιση της θερμοκρασίας και των ποιοτικών χαρακτηριστικών της ράγας όπως το βάρος, την ογκομετρούμενη οξύτητα, την συγκέντρωση ανθοκυανών, το pH και τον Δυναμικό Αλκοολικό Τίτλο (Δ.Α.Τ.). Επιπλέον, οι υψηλότερες νυχτερινές θερμοκρασίες έχει αποδειχθεί ότι βλάπτουν τη σύνθεση των ραγών και ευνοούν τη διάσπαση δευτερογενών μεταβολιτών σε αυτές (Kliewer, 1973· Gaiotti et al., 2018). Με βάση τα παραπάνω μπορεί να γίνει κατανοητό ότι το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής μπορεί να μεταβάλλει σημαντικά την ποιότητα των παραγόμενων οίνων. Επίσης από τη βιβλιογραφία προκύπτει ότι οι περιοχές παραγωγής premium οίνων θα στραφούν προς τις βορειότερες περιοχές, προκειμένου να εξομαλυνθούν οι συνέπειες της κλιματικής αλλαγής. Πολλές από τις περιοχές που θεωρούνται ιδανικές για την ανάπτυξη της αμπέλου θα καταστούν ακατάλληλες και οι βορειότερες περιοχές θα μετατραπούν σε μεγάλες ζώνες παραγωγής οίνων ποιότητας. Έχει επίσης δημοσιευθεί ότι πολλοί οινοπαραγωγοί της

Καμπανίας ενδιαφέρονται να αγοράσουν εκτάσεις γης ειδικά από το Ηνωμένο Βασίλειο, λόγω του ψυχρότερου κλίματος του (Karaoglan, 2018).

7.4.1 Ευρώπη

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι αλλαγές που παρατηρούνται στο κλίμα προκαλούν πολυάριθμες επιπτώσεις στις περιόδους των φαινολογικών σταδίων της αμπέλου & στις ημερομηνίες ωρίμανσης των ποικιλιών (οι οποίες επηρεάζονται από την θερμοκρασία, Mullins et al. 1992), με συνέπεια την μετάθεση των ημερομηνιών του τρύγου σε πολλές περιοχές στην Ευρώπη (Jones et al. 2005b; Tomasi et al. 2011).

Επομένως οι μεταβολές στην θερμοκρασία μπορούν να έχουν θετικό αντίκτυπο στις βορειότερες περιοχές της Ευρώπης. Θα μειωθεί ο παγετός, η ωρίμανση των σταφυλιών θα είναι πρωιμότερη και μάλιστα θα μπορούσε να ξεκινήσει η αμπελοκαλλιέργεια σε περιοχές, που σήμερα είναι πολύ ψυχρές.

Όμως οι υψηλότερες θερμοκρασίες στην Νότια Ευρώπη θα συντελέσουν σε πρωιμότερη ωρίμανση, το οποίο θα έχει ως αποτέλεσμα ιδίως για τις πρώιμες ποικιλίες την ένταση του χρώματος και την μείωση του δυναμικού αρώματος στους παραγόμενους οίνους. Στην συγκεκριμένη περίπτωση θα απαιτηθούν εναλλακτικές τεχνικές με καλλιέργεια πρωιμότερων ποικιλιών, χρήση διαφορετικού υποκειμένου κτλ.

Η άρδευση θα γίνει υποχρεωτική στη νότια Ευρώπη και οι αρδευόμενες περιοχές ενδέχεται να επεκταθούν και στην Βόρεια Ευρώπη, λαμβάνοντας όμως υπόψη ότι η μείωση των βροχοπτώσεων στη Βόρεια Ευρώπη μπορεί να αυξήσει την ποιότητα και να μειώσει τις ασθένειες που ευνοούνται με την υγρασία.

Σύμφωνα με τον Kay (2006), η ψύχρανση του Ρεύματος του Κόλπου θα οδηγούσε σε χαμηλότερες θερμοκρασίες στο Bordeaux της Γαλλίας και στην γειτονική Ισπανία, με αποτέλεσμα την ανάγκη για εφαρμογή μεταφύτευσης αμπελώνων σε θερμότερα κλίματα. Όμως άλλες περιοχές θα γίνουν πιο θερμές. Για παράδειγμα στην Αλσατία, η περίοδος της ωρίμανσης έχει ήδη γίνει πιο σύντομη τις τελευταίες δεκαετίες, λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας (Furer, 2006). Το κλίμα της Βουργουνδίας θα παρομοιάζει με το κλίμα του Bordeaux. Επίσης η καλλιέργεια της ποικιλίας Pinot Noir στην περιοχή θα αρχίζει να μειώνεται επειδή δεν θα μπορέσει να ανταπεξέλθει στις νέες συνθήκες (Tate, 2001). Στην Ιταλία, στην περιοχή Chianti της Τοσκάνης, θα παρατηρηθεί πρώιμη ωρίμανση, με αποτέλεσμα την απαίτηση αλλαγής στις καλλιεργούμενες ποικιλίες (Wine News, 2006). Στην δε Ισπανία λόγω των υψηλών θερμοκρασιών και λειψυδρίας μπορεί η αμπελοκαλλιέργεια να καταστεί αδύνατη (Furer, 2006).

7.4.2 Βόρεια Αμερική

Οι αλλαγές στην θερμοκρασία θα οδηγήσουν σε ταχύτερη ωρίμανση των ραγών, ακόμα και στις βορειότερες περιοχές της Αμερικής, με διευκόλυνση της αμπελοκαλλιέργειας σε περιοχές με ψυχρότερο κλίμα. Στις θερμότερες περιοχές (Central Valley, Imperial Valley), όπου οι θερμοκρασίες θα υπερβούν τις επιθυμητές τιμές για ποιοτική παραγωγή οίνου, χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή και ταχεία προσαρμογή των αμπελώνων στα επόμενα χρόνια.

Ωστόσο, στις ψυχρότερες περιοχές οι αυξημένες θερμοκρασίες αναμένεται να έχουν θετική επίδραση λόγω της μείωσης του παγετού, ευνοώντας την καλύτερη ωρίμανση. Οι αναμενόμενες αυξήσεις στον δείκτη νυχτερινών θερμοκρασιών δείχνουν επίσης ότι οι αρνητικές επιπτώσεις μπορούν να αποφευχθούν με κατάλληλες οινολογικές τεχνικές ή τεχνικές διαχείρισης οίνου για την προσαρμογή της ωρίμανσης.

Η διαθεσιμότητα νερού θα καταστεί περιοριστικός παράγοντας στην Central Valley, όπου οι ανάγκες άρδευσης ενδέχεται να αυξηθούν. Ωστόσο, η μείωση των βροχοπτώσεων στις βόρειες περιοχές θα μπορούσε να ενισχύσει την ποιότητα, με τις μυκητολογικές ασθένειες που ευνοούνται από την παρουσία υγρασίας να μειώνονται.

Παρά ταύτα και σύμφωνα με τον Kay (2006), οι Ηνωμένες Πολιτείες θα μπορούσαν να έχουν απώλεια έως και το 81% των εκτάσεων που παράγουν ποιοτικούς οίνους. Ειδικότερα, στην Καλιφόρνια οι υψηλές θερμοκρασίες και η μείωση του νερού στον επόμενο μισό αιώνα μπορεί να προκαλέσει τεράστιες απώλειες περιοχών που παράγουν premium οίνους, ειδικά στις περιοχές Napa Valley και Santa Barbara County όπου η απώλεια υπολογίζονται κοντά στο 50% της τρέχουσας έκτασης (Kirkpatrick, 2011). Σε μια άλλη μελέτη αναφέρεται ότι αυτές οι περιοχές θα γίνονταν ακατάλληλες για παραγωγή οίνων στο σύνολό τους και ότι μόνο οι παράκτιες περιοχές και η περιοχή της Sierra Nevada θα παραμείνουν κατάλληλες.

7.4.3 Νότια Αμερική

Στις περιοχές της Βόρειας Αργεντινής (La Plata River basin) οι βέλτιστες θερμοκρασίες για ορισμένες ποικιλίες μπορεί να παρουσιάσουν αυξητικές τάσεις. Σε ψυχρότερες περιοχές η αλλαγή της θερμοκρασίας μπορεί να έχει θετικά αποτελέσματα λόγω της μείωσης του παγετού, με βελτίωση της ποιότητας λόγω πιο κατάλληλων συνθηκών ωρίμανσης. Η άρδευση μπορεί να μην καταστεί απαραίτητη και η μείωση της βροχόπτωσης ενδέχεται να βελτιώσει την ποιότητα, λόγω της μέτριας υδατικής καταπόνησης της αμπέλου κατά τις περιόδους ωρίμανσης. Η αύξηση της θερμοκρασίας θα οδηγήσει σε πρόωμη ωρίμανση της ποικιλίας Cabernet Sauvignon (Hadaris et al, 2010), οπότε και θα χρειαστεί η

μεταφύτευση αμπελώνων σε μεγαλύτερο υψόμετρο παρά η επιλογή πιο πρώιμων ποικιλιών (Hadaris et al, 2010).

7.4.4 N.Αφρική

Σε ορισμένες περιοχές στην Βόρεια Αφρική (Orange and Vaal Basins, Kalahari Desert and Kaap Plateau) η ποιότητα των οίνων μπορεί να μειωθεί λόγω αυξημένων νυχτερινών θερμοκρασιών κατά την ωρίμανση. Οι αρνητικές αυτές επιδράσεις μπορούν να μειωθούν είτε με την εφαρμογή νέων καλλιεργητικών πρακτικών βραχυπρόθεσμα είτε με την αλλαγή τοποθεσίας της αμπελοκαλλιέργειας και των ποικιλιών μακροπρόθεσμα. Οι μεταβολές της θερμοκρασίας θα μπορούσαν επίσης να έχουν θετικά αποτελέσματα σε περιοχές κοντά σε ακτές, λόγω της μείωσης των παγετών. Η άρδευση μπορεί να καταστεί απαραίτητη εκτός από τις πεδιάδες του Λιμπόπο. Η Νότιος Αφρική θα χρειαστεί να στραφεί σε ποικιλίες πιο θερμοαπαιτητικές.

7.4.5 Ωκεανία

Έχει παρατηρηθεί από το Πανεπιστήμιο της Αδελαΐδας, βάσει μελετών ότι στην Νότια Αυστραλία η θερμοκρασία θα αυξηθεί κατά 21°C και το διαθέσιμο νερό θα μειωθεί κατά 30%, λόγω της κλιματικής αλλαγής (Ecos, 2013). Στις θερμότερες νότιες περιοχές, η άμπελος θα εκτεθεί σε υπερβολικά θερμές περιόδους ανάπτυξης, με κίνδυνο την υποβάθμιση της ποιότητας των οίνων. Η άρδευση μπορεί να καταστεί υποχρεωτική στην Νότια Αυστραλία, ενώ η μείωση των βροχοπτώσεων θα μπορούσε να έχει θετικές συνέπειες στις βόρειες περιοχές όπως το Κουίνσλαντ, λόγω μέτριας υδατικής καταπόνησης κατά την καλλιεργητική περίοδο και μείωσης των ασθενειών υγρασίας. Επίσης έχει παρατηρηθεί από τον Richard Smart, έναν διάσημο αμπελουργό της Αυστραλίας, ότι λόγω της κλιματικής αλλαγής, υπάρχει κίνδυνος να καταστεί ακατάλληλο για την καλλιέργεια της αμπέλου ένα μεγάλο μέρος της περιοχής Murray River της Αυστραλίας (Furer, 2006). Αυτό σε συνδυασμό με τις παγκόσμιες οικονομικές αλλαγές, θα έχει ως αποτέλεσμα οι περιοχές αυτές να αλλάξουν τακτική παραγωγής και μάρκετινγκ (Ecos, 2013). Επίσης η Νέα Ζηλανδία ήδη βιώνει πρώιμα σημάδια των επικείμενων κλιματικών μετατοπίσεων (Shanmuganathan et al., 2012), με ορισμένες περιοχές να ενδέχεται να χρειαστούν σύντομα στροφή σε ποικιλίες πιο θερμοανθεκτικές (Mozell et al, 2014).

7.5 Επιπτώσεις στον Ελληνικό αμπελώνα

Παρά τις παρατηρούμενες τάσεις των κλιματικών παραγόντων και τη σημασία του αμπελοοινικού τομέα στην ελληνική οικονομία, υπήρξε έλλειψη μελετών για τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην ελληνική αμπελουργία. Επιπλέον, ελάχιστα είναι γνωστά για την κλιματική-παραγωγική απόκριση των γηγενών ποικιλιών αμπέλου στην Ελλάδα.

Λαμβάνοντας υπόψη τη σημασία και την κατάσταση της οινοποιίας στην Ελλάδα και προκειμένου να δοθούν περισσότερες πληροφορίες για το αυξανόμενο ενδιαφέρον για τα χαρακτηριστικά ανάπτυξης της αμπέλου, στόχος είναι αφενός να προσδιοριστούν τα κλιματικά χαρακτηριστικά σε αμπελουργικές περιοχές της Ελλάδας που έχουν ιστορικό οινοπαραγωγής & τις προϋποθέσεις για να ωριμάσουν πολλές λιγότερο γνωστές αυτόχθονες ποικιλίες, αφετέρου να αξιολογηθεί ο αντίκτυπος της κλιματικής αλλαγής στις τάσεις της συγκομιδής σε ένα ήδη θερμό κλίμα για την παραγωγή οίνου, όπως της Ελλάδας.

Γενικά, η κλιματική αλλαγή επηρεάζει τις βέλτιστες συνθήκες ωρίμανσης της αμπέλου σε γεωγραφικά στενότερες ζώνες, τόσο στις παρούσες (Jones et al., 2005a) όσο και στις μελλοντικές κλιματολογικές συνθήκες (Kenny and Harrison, 1992). Ειδικά, οι θερμές αμπελοκαλλιεργητικές περιοχές (όπως η Ελλάδα) αναμένεται να επηρεαστούν αρνητικά από τις αυξημένες θερμοκρασίες κατά την περίοδο της ωρίμανσης, εμποδίζοντας την ανάπτυξη ισορροπημένων ραγών και την παραγωγή ποιοτικού οίνου (Hall and Jones, 2009).

Η θερμοκρασία της Αθήνας παρουσιάζει ανοδική τάση από τα τέλη της δεκαετίας του '70 έως πρόσφατα, η οποία είναι εμφανής τόσο στη χρονοσειρά παρατήρησης όσο και κατά την επικαιροποίησή της, με την ανοδική τάση να είναι πιο έντονη την άνοιξη και το καλοκαίρι. Πρόσφατη έρευνα έχει δείξει ότι οι επιφανειακές θερμοκρασίες του αέρα στην Ελλάδα παρουσίασαν αυξητική τάση (Matzarakis et al., 2007) κυρίως από το 1990 έως το 2000 και παρέμειναν έκτοτε στα ίδια επίπεδα (Nastos et al., 2011). Η αύξηση του ετήσιου αριθμού των τροπικών ημερών (θερμοκρασία αέρα μεγαλύτερη από 30 °C) επίσης εντοπίστηκε (Nastos and Matzarakis, 2008), ενώ δεν καταγράφηκε σημαντική τάση για διαδοχικές ξηρές ημέρες (Νάστος και Ζερεφός, 2009) ή βροχοπτώσεις (Μαυρομάτης και Σταθής, 2008). Παρόλο που τα δεδομένα επιφανειακής παρατήρησης παρουσιάζουν συστηματικά υψηλότερες τάσεις από τα δεδομένα της επικαιροποίησης της, ο υψηλός συντελεστής συσχέτισης που υπολογίστηκε είναι ενδεικτικός μιας ισχυρής γραμμικής συσχέτισης και μιας ικανοποιητικής συνάφειας μεταξύ των δύο συνόλων δεδομένων, η οποία είναι πιο εμφανής πάνω από τα 700hPa.

Επιπλέον, οι θερμοκρασίες της τροπόσφαιρας ακολουθούν ανοδική τάση η οποία είναι ισχυρότερη στο επίπεδο των 1000 hPa στην κατώτερη τροπόσφαιρα και στο επίπεδο

των 250 hPa στην ανώτερη τροπόσφαιρα, ειδικά το καλοκαίρι. Στην κάτω τροπόσφαιρα, τα βόρεια τμήματα της περιοχής που μελετήθηκαν τείνουν να θερμαίνονται ταχύτερα, όπως φαίνεται και στη χωρική κατανομή των ετήσιων τάσεων της θερμοκρασίας. Επιπρόσθετα ο Χορλακί et al. (2003) διαπίστωσε ότι η κυκλοφορία των αέριων μαζών στην τροπόσφαιρα παρουσίασε μετάπτωση κατά μήκος των Μεσημβρινών (σε άξονα Βορράς - Νότος), καταλήγοντας ότι ευθύνεται για την εμφάνιση ακραίων μεταβολών στη θερμοκρασία του καλοκαιριού στην Ελλάδα, με μείωση της θερμοκρασίας στην αρχές της δεκαετίας του 1960 και αύξηση της στις αρχές της δεκαετίας του 1990.

Οι θερμοκρασίες της στρατόσφαιρας ακολουθούν καθοδικές τάσεις, με τις ισχυρότερες από αυτές να παρατηρούνται στην ανώτερη στρατόσφαιρα και συγκεκριμένα στα 3 hPa, με στατιστικά σημαντικές καθοδικές τάσεις ακρίβειας 95-99% να εντοπίζονται κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού σε όλα τα επίπεδα.

Σε ότι αφορά στην υγρασία, αυτή έχει αυξηθεί στην κάτω τροπόσφαιρα πιθανώς λόγω της αυξημένης θερμοκρασίας και της εντατικοποίησης της εξάτμισης από τη Μεσόγειο Θάλασσα. Οι ειδικές τάσεις υγρασίας είναι μεγαλύτερες και στατιστικά σημαντικές το καλοκαίρι στα 1.000 hPa στο νοτιοανατολικό τμήμα του υπό εξέταση τομέα και στα 850 hPa στο βορειοδυτικό του τμήμα. Από την άλλη πλευρά, οι χρονοσειρές σχετικής υγρασίας χαρακτηρίζονται από θετικές και αρνητικές τάσεις που ποικίλλουν εποχικά και γεωγραφικά, αναδεικνύοντας τη σχέση της με τις αντίστοιχες θερμοκρασιακές τάσεις (G. Tzanisa et al, 2019).

Σύμφωνα με τα σενάρια που πραγματοποιήθηκαν από τους Koufos et al. (2020), προβλέφθηκαν οι μελλοντικές ημερομηνίες τρυγητού για τις περιόδους 2041-2065 και 2071-2095. Παρατηρήθηκε ο τρόπος με τον οποίο οι θερμοκρασίες που επικρατούν κατά την καλλιεργητική περίοδο συσχετίζονται με τις ημερομηνίες τρυγητού κάθε περιοχής της Ελλάδος και συνεπώς με την σύσταση που θα αποκτήσει το σταφύλι, και διαπιστώθηκαν και οι επιπτώσεις που θα προκαλέσει η αύξηση της θερμοκρασίας. Χρησιμοποιήθηκαν γηγενείς και διεθνείς ποικιλίες, οι οποίες καλλιεργούνται κυρίως στις οινοπαραγωγικές περιοχές της Ελλάδας. Υπολογίστηκε ο δείκτης βαθμομερών (GDD) από την 1η Απριλίου έως την ημερομηνία τρυγητού κάθε ποικιλίας και ομαδοποιήθηκαν οι ποικιλίες ανάλογα με την ανθεκτικότητα τους σε ξηροθερμικές συνθήκες. Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή IPCC (2013) εισήγαγε τέσσερα μελλοντικά σενάρια εκπομπών (RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0, RCP8.5). Στις μελέτες αυτές προέβλεψαν τις ημερομηνίες τρυγητού που θα έχουν οι ποικιλίες στο μέλλον, και υπό 2 διαφορετικά σενάρια (RCP4.5 και RCP8.5). Το RCP8.5 υποθέτει ότι το φαινόμενο αυτό θα συνεχιστεί χωρίς περιορισμούς θα οδηγήσει σε αύξηση των αερίων κατά 8,5 Watt/ m² για το έτος 2100. Το σενάριο RCP4.5 θεωρεί ότι η

αύξηση της θερμοκρασίας δε θα ξεπεράσει τους 2 °C (IPPC, 2013). Συμπερασματικά τα σενάρια έδειξαν ότι οι ημερομηνίες τρυγητού αναμένεται να μετατοπιστούν νωρίτερα κατά 40 μέρες, στις χρονικές περιόδους 2041-2065 & 2071-2095, σε συνάρτηση και με την ποικιλία (Koufos et al., 2013).

7.6 Επίπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των οίνων

Γενικά η σύνθεση του οίνου έχει μεταβληθεί αρκετά τα τελευταία 30 χρόνια παγκοσμίως. Έχει παρατηρηθεί στο Languedoc της Γαλλίας ότι μέσα σε 35 έτη, το επίπεδο αλκοόλ στους οίνους αυξήθηκε από 11% σε 14%, το pH μειώθηκε από 3,50 σε 3,75 και η ολική οξύτητα μειώθηκε από 6,0 σε 4,5 g / L.. Αυτό βέβαια έχει παρατηρηθεί και σε πολλές περιοχές σε όλο τον κόσμο (Van Leeuwen et al, 2019). Οι αλλαγές στην μέση ημερήσια θερμοκρασία μπορούν να διαφοροποιήσουν έναν εξαιρετικό οίνο από έναν καλό οίνο. Χαμηλές θερμοκρασίες κατά την περίοδο ωρίμανσης (<16,5°C) μπορούν να οδηγήσουν σε ατελή ωρίμανση των σταφυλιών, με υψηλότερη οξύτητα, χαμηλότερη περιεκτικότητα σε σάκχαρα & απουσία σύνθεσης αρωματικών ενώσεων, ενώ υψηλές θερμοκρασίες (>21°C) θα οδηγήσουν σε υπερώριμα σταφύλια με υψηλότερη περιεκτικότητα σε σάκχαρα, χαμηλότερη συγκέντρωση σε οξέα, συνεπώς και υψηλότερο pH στον οίνο, μεταβολή στην συγκέντρωση και στην δομή των φαινολών, και ανθοκυανών στις ερυθρές ποικιλίες, στην περιεκτικότητα αμινοξέων και στις συγκεντρώσεις μεθοξυπυραζινών. Οι οίνοι με υψηλότερο pH είναι πιο στρογγυλά & λιγότερο επιθετικά, αλλά στερούνται την φρεσκάδα και μπορεί να παρουσιαστεί πρόβλημα στην σταθερότητα τους. Αν δεν αυξηθεί η οξύτητα στους οίνους, είναι αναγκαία η προσθήκη μεγαλύτερης ποσότητας θειώδους για την σταθεροποίηση των οίνων (Van Leeuwen & Darriet, 2016). Συγκεκριμένα στους λευκούς οίνους, η μικρότερη συγκέντρωση μηλικούς οξέος, σε περίπτωση που δεν έχει πραγματοποιηθεί μηλογαλακτική ζύμωση, μπορεί να οδηγήσει σε αναγκαστική αύξηση της οξύτητας με προσθήκη οξέος, ώστε να επιτευχθεί ισορροπία γεύσεων και μικροβιακή σταθερότητα (Keller, 2009). Εκτός από την σακχαροπεριεκτικότητα και την οξύτητα, φαίνεται πως θα επηρεαστούν ποσοτικά και ποιοτικά και δευτερογενείς μεταβολίτες στον οίνο, όπως οι πολυφαινόλες & οι αρωματικές ενώσεις, οι οποίες συμβάλλουν και αυτές στην ποιότητα του παραγόμενου οίνου. Έχει παρατηρηθεί πως πολύ υψηλές θερμοκρασίες μεταξύ του περκασμού και του τρύγου, έχουν οδηγήσει στην μη ισορροπημένη σύσταση της ράγας, με υπερβολική συγκέντρωση σακχάρων, πλαδαρή οξύτητα και ένα μπουκέτο αρωμάτων στο οποίο κυριαρχούν αυτά των ώριμων, μαρμελαδοποιημένων φρούτων, οδηγώντας στην δημιουργία οίνων με έλλειψη φρεσκάδας και αρωματικής πολυπλοκότητας. Βέβαια στα ερυθρά σταφύλια παρατηρείται επίσης και αλλαγή στην συγκέντρωση και στην δομή των ανθοκυανών, παρατηρώντας

ιδιαίτερη αστάθεια στο χρώμα και την σύσταση, ενώ περιορίζονται σημαντικά οι αντιοξειδωτικές ιδιότητες του οίνου.

8. Terroir

Ο ακριβής προσδιορισμός της επίδρασης της κλιματικής αλλαγής στην ποιότητα και την παραγωγή της αμπέλου είναι ουσιώδες για την προσαρμογή των οινοπαραγωγών. Η παραγωγή οίνου υψηλής ποιότητας συνδέεται στενά με την έννοια του «Terroir». Το terroir είναι μία έννοια που έχει υιοθετηθεί ευρέως. Σύμφωνα με το OIV (Ψήφισμα OIV / VITI 333/2010) : «Το Terroir είναι μια έννοια που αναφέρεται σε έναν τομέα στον οποίο αναπτύσσεται η συλλογική γνώση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ του αναγνωρίσιμου φυσικού και βιολογικού περιβάλλοντος και των 31 εφαρμοσμένων αμπελουργικών και οινολογικών πρακτικών, παρέχοντας διακριτικά χαρακτηριστικά για προϊόντα που προέρχονται από αυτήν την περιοχή. Το terroir περιλαμβάνει συγκεκριμένα εδάφη, τοπογραφία, κλίμα, χαρακτηριστικά τοπίου και χαρακτηριστικά βιοποικιλότητας ». Επομένως η ανάπτυξη της αμπέλου και η σύσταση των ραγών καθορίζεται από το terroir της κάθε περιοχής (Santos et al., 2020). Απαιτούνται συγκεκριμένες κλιματικές συνθήκες (θερμικές και υδρολογικές) κατά τη διάρκεια του ετήσιου καλλιεργητικού κύκλου, προκειμένου να αναπτυχθεί η άμπελος και να αποφέρει ποιοτική συγκομιδή (Jones et al., 2005), δεδομένου ότι η άμπελος απαιτεί θερμότητα για να αναπτυχθεί φυσιολογικά. Αυτό περιλαμβάνει την επιλογή των ποικιλιών, που θα αντιστοιχούν σε ένα κατάλληλο συνδυασμό κλίματος, εδάφους, και διαφόρων τοπογραφικών παραγόντων για την παραγωγή ενός συγκεκριμένου στυλ οίνου.

Η κλιματική αλλαγή θα προκαλέσει μεγάλες μεταβολές στο μεσόκλιμα κάθε περιοχής, με συνέπεια να διαφοροποιηθεί το terroir κάθε περιοχής και θα επηρεαστεί η ποιότητα των παραγόμενων οίνων (Webb et al., 2008). Υπάρχουν παλαιότερες μελέτες που έχουν αναφερθεί στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην βιομηχανία οίνου, χωρίς όμως να υπάρχουν εκτενέστερες μελέτες σχετικά με αυτό το φαινόμενο, όπως την μοντελοποίηση των επιπτώσεων που προβλέπονται από την κλιματική αλλαγή {Dry (1988), Smart (1989), Schultz (2000), Pincus (2003) & Webb et al. (2008)}.

Η μεταβολή των κλιματικών παραμέτρων και οι διαρκείς μεταβολές στο κλίμα και στα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα θα οδηγήσει στο να προκληθούν αλλαγές στη σύσταση των ραγών όπως και στην την ποιότητα του οίνου (Karaoglan, 2018). Σε πολλές περιοχές με θερμό κλίμα, οι οποίες δεν αντιμετώπιζαν προβλήματα με την ωρίμανση, η κλιματική αλλαγή

θα οδηγήσει σε ταχύτερη ωρίμανση από το σύνηθες, για να μην υπάρχει πρόβλημα με υπερωρίμανση των σταφυλιών. Επίσης θα οδηγήσει σε ξηρότερες συνθήκες όχι μόνο λόγω μείωσης των βροχοπτώσεων αλλά και αυξημένης εξατμισοδιαπνοής λόγω θερμοκρασίας. Η σακχαροπεριεκτικότητα θα αυξηθεί, με αποτέλεσμα οι οίνοι να έχουν υψηλότερο αλκοολικό βαθμό, & η οξύτητα θα μειωθεί, με αποτέλεσμα να προκύψουν οίνοι πιο “μαλακοί”. Τα αρώματα που συνθέτουν τον οργανοληπτικό χαρακτήρα του οίνου θα επηρεαστούν από την αύξηση της θερμοκρασίας. Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής θα επηρεάσουν το μεσόκλιμα και το μικροκλίμα των αμπελώνων κάθε περιοχής και οι παραπάνω παράμετροι θα οδηγήσουν στην σύνθεση ενός οίνου που θα έχει διαφορετικό χαρακτήρα από τον χαρακτήρα terroir, που είναι άρρηκτα με τον κλίμα της περιοχής στην οποία καλλιεργούνται.

Το πρόβλημα που υπάρχει κυρίως στην Ευρώπη είναι ότι η νομοθεσία έχει δομηθεί με τέτοιο τρόπο ώστε, η δυνατότητα επέμβασης να είναι αρκετά περιορισμένη, με αποτέλεσμα να μην επιτρέπονται επεμβάσεις όπως την μετακίνηση αμπελώνων, την αύξηση αποδόσεων και ορισμένες πρακτικές όπως την άρδευση. Οι περισσότεροι αμπελώνες που παράγουν οίνους με ονομασία προέλευσης, βρίσκονται εντός θεσμοθετημένων γεωγραφικών ορίων, επομένως δεν μπορεί να γίνει μετακίνηση τους. Στον Νέο Κόσμο από την άλλη, παρατηρείται αρκετός δισταγμός προς επέκταση σε νέες ποικιλίες που ξεφεύγουν από τις ήδη γνωστές και ευρέως διαδεδομένες με υπάρχουσα θέση στην αγορά. Κάτω από την πίεση ενός κλίματος που συνεχώς αλλάζει, ωστόσο, γίνεται κατανοητό ότι η προσαρμογή στα νέα δεδομένα κρίνεται απολύτως απαραίτητη. Είναι προφανές όμως πως ακόμα και έτσι η κλιματική αλλαγή επηρεάζει το μεσοκλίμα και το μικροκλίμα κάθε οινοπαραγωγικής περιοχής, & αποτελεί σοβαρό πρόβλημα για τους οίνους “terroir”, οι οποίοι έχουν έναν χαρακτήρα, που συνδέεται με την συγκεκριμένη περιοχή.

9. Επιπτώσεις στα ποιοτικά χαρακτηριστικά της ράγας

9.1 Ταννίνες

Είναι οι ενώσεις που θα δώσουν την στυφή γεύση στον οίνο. Ανάλογα με τη δομή των μορίων τους, οι ταννίνες διακρίνονται σε υδρολυόμενες και συμπυκνωμένες. Οι υδρολυόμενες δεν περιέχονται στη ράγα, αλλά μπορούν να εντοπιστούν σε εμπορικές ταννίνες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατεργασία των οίνων. Οι συμπυκνωμένες ταννίνες περιέχονται στον φλοιό της ράγας και παράγονται από τον πολυμερισμό της φλαβονόλης-3 (κατεχίνης) και κυρίως της φλαβονοδιόλης-3,4 (λευκοανθοκυάνης).

Οι ταννίνες των σταφυλιών μπορούν να παραληφθούν και να μεταφερθούν στο γλεύκος είτε με εκχύλιση είτε με συμπύεση. Η ποσότητα ταννινών στον οίνο κυμαίνεται μεταξύ 1,5 – 4 g/L για τους ερυθρούς οίνους και για τους λευκούς μεταξύ 40 – 200 mg/L.

Οι ερυθροί οίνοι μπορούν να προστατευτούν καλύτερα από την επίδραση του οξυγόνου, λόγω της μεγαλύτερης συγκέντρωσης ταννινών. Η ποικιλία των σταφυλιών, οι κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στην συγκεκριμένη άμπελο και η διαδικασία της οινοποίησης μπορούν να καθορίσουν μεγάλο ρόλο στην δομή που θα έχουν οι ταννίνες.

Οι λευκοί οίνοι ως επί τον πλείστον δεν αντέχουν στην παλαίωση, η δε ικανότητα παλαίωσης εξαρτάται από την ωρίμανση των σταφυλιών που συναρτάται από τον βαθμό πολυμερισμού των ταννινών. Η επίδραση της θερμοκρασίας στη βιοσύνθεση των ταννινών δεν είναι ακόμη πλήρως κατανοητή. Ωστόσο, μπορεί να σημειωθεί ότι η αυξημένη θερμοκρασία μπορεί να ενισχύσει την παραγωγή μονομερών ταννινών, των φλαβαν-3-ολών (Shah et al, 2021).

Άλλες μελέτες όμως αναφέρουν ως μη σημαντική την επίδραση της θερμοκρασίας στην παραγωγή ταννινών, καθώς το επίπεδό τους δεν επηρεάστηκε ιδιαίτερα από το θερμικό στρες στην ποικιλία Sangiovese στο στάδιο του περκασμού. Πιο πρόσφατα, επιστήμονες κατέληξαν σε παρόμοια αποτελέσματα, που δεν έδειξαν καμία επίδραση της θερμοκρασίας στα επίπεδα της φλαβαν-3-όλης ή της ταννίνης (Shah et al, 2021)

9.2 Ανθοκυάνες

Οι ανθοκυάνες του σταφυλιού είναι φλαβονοειδείς φαινόλες, οι οποίες έχουν δομή φλαβυλίου. Βρίσκονται σε μορφή ετεροζιτών, οι οποίοι υδρολύονται προς ένα άγλυκο μόριο που ονομάζεται ανθοκυανιδίνη, που είναι κοινό για όλες φλαβονοειδείς φαινόλες, όπως και σε 1 ή περισσότερα μόρια σακχάρων. Στην Ευρωπαϊκή άμπελο απαντώνται ίχνη μονογλυκοζιτών ανθοκυανών, σε αντίθεση με την Αμερικανική και τα υβρίδια (Riberau-Gayon, 1959).

Ο μηχανισμός σχηματισμού τους γίνεται μέσω μιας χαλκόνης που επηρεάζεται από τον ενζυμικό δυναμικό της κάθε ποικιλίας (Roggero et al, 1986). Οι ανθοκυάνες βρίσκονται στα 3-4 πρώτα κυτταρικά στρώματα της υποδερμίδας και στους ανθοκυανοπλάστες των χυμοτοπίων (Pecket & Small, 1980).

Κατά την ωρίμανση του σταφυλιού, τα κύτταρα που βρίσκονται πιο κοντά στην σάρκα θα αποκτήσουν μεγαλύτερη συγκέντρωση ανθοκυανών, σε σχέση με αυτά που βρίσκονται στην επιδερμίδα (Amrani-Joutei et al, 1974). Η σύσταση τους είναι διαφορετική ανάλογα με

την ποικιλία (Maza & Miniati, 1993 Baldi et al, 1995). Η συγκέντρωση & η δομή των ανθοκυανών διαφοροποιούνται ανάλογα με την χρονιά και το αμπέλι (Larice et al, 1989 Rigaud et al., 1986 Vivas et al., 2001). Το χρώμα τους εξαρτάται από την σύσταση του οίνου (Brouillard, 1982 Vivar-Quintana et al., 2002) και κυρίως από το pH. Στις λευκές ποικιλίες δεν συναντάται μεγάλη συγκεντρωση ανθοκυανών.

Δημιουργούνται στα φύλλα και δίνουν το χρώμα στην ράγα των σταφυλιών κατά τον περκασμό. Ερευνητές διαπίστωσαν ότι η περιεκτικότητα σε ανθοκυανίνη στις ράγες του σταφυλιού μειώνεται μετά τη σκίαση. Διαπιστώθηκε επίσης ότι οι αναλογίες της δελφινιδίνης, των παραγώγων της και των αντίστοιχων ακυλιωμένων ανθοκυανινών αυξήθηκαν στο σύνολο των ανθοκυανινών μετά την σκίαση των σταφυλιών (Cheng, et al., 2014; Downey, Harvey, & Robinson, 2004; Ristic et al. , 2007). Οι υψηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης είναι δυνατόν να επηρεάσουν σημαντικά τη βιοσύνθεση των ανθοκυανινών, με αποτέλεσμα στο να μην συσσωρευτούν αρκετές ανθοκυάνες στα σταφύλια, ενώ οι χαμηλές θερμοκρασίες τη νύχτα θα μπορούσαν να προάγουν τη βιοσύνθεση της ανθοκυανίνης (Mori, Goto Yamamoto, Kitayama, & Hashizume, 2007).

Οι καλλιεργητικές πρακτικές δεν έλεγξαν μόνο την ανάπτυξη του σταφυλιού και τη βιοσύνθεση της ανθοκυανίνης αλλάζοντας το εξωτερικό περιβάλλον (φως, θερμοκρασία, νερό κ.λπ.), αλλά ρύθμισαν και τη βιοσύνθεση της ανθοκυανίνης αλλάζοντας το εσωτερικό περιβάλλον (περιεκτικότητα σε ενδογενείς ορμόνες, επίπεδο συσσώρευσης σακχάρου κ.λπ.) (Cortell, Halbleib, Gallagher, Righetti, & Kennedy, 2005; Greven, Bennett, & Neal, 2014; Prajitna et al., 2007).

Έχει παρατηρηθεί σε πειραματικούς αμπελώνες πως η περιεκτικότητα των σταφυλιών σε ανθοκυάνες, αυξάνεται με το φως, αλλά μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Υψηλότερα επίπεδα υπεριώδους ακτινοβολίας, τα οποία σχετίζονται με την εξασθένηση της στιβάδας του όζοντος, προκαλούν βελτίωση του χρώματος στον φλοιό. Μια μέτρια έλλειψη νερού θα μπορούσε να αυξήσει τη συνολική περιεκτικότητα σε ανθοκυανίνες στα σταφύλια κατά 30-50% και να βελτιώσει τον βαθμό μεθυλίωσης των ανθοκυανινών όπως και την αναλογία μεθυλιωμένων ανθοκυανινών στο σύνολο των ανθοκυανινών (Ju et al., 2019). Ωστόσο, αν και έχουν γίνει πολλές μελέτες για αυτούς τους βιοχημικούς δείκτες, εξακολουθεί να υπάρχει έλλειψη συστηματικών μελετών σχετικά με τον μηχανισμό παραγωγής ανθοκυανίνης στα σταφύλια Cabernet Sauvignon (*Vitis vinifera* L.), κάτι που είναι πολύ σημαντικό για την αποσαφήνιση του μηχανισμού της επίδρασης στις ανθοκυανίνες της ρυθμιζόμενης ελλειμματικής άρδευσης (RDI) .

9.3 Φαινόλες

Οι φαινόλες αποτελούν πιθανώς τη μεγαλύτερη ομάδα φυτικών δευτερογενών μεταβολιτών, που ποικίλουν σε μέγεθος από απλή δομή με αρωματικό δακτύλιο σε πολύπλοκες δομές. Οι φαινόλες είναι ενώσεις που έχουν μία ή περισσότερες υδροξυλομάδες συνδεδεμένες σε έναν δακτύλιο βενζολίου. Τα σταφύλια περιέχουν τεράστιο αριθμό διαφορετικών φαινολικών ενώσεων που είναι σημαντικοί και καθοριστικοί παράγοντες για την ποιότητα του οίνου (Castellarin et al., 2012).

Η βιοσύνθεση όλων των φαινολικών ενώσεων ξεκινά με την παραγωγή του αμινοξέος φαιουλαλανίνης. (Castellarin et al., 2012). Στη συνέχεια, η σχηματιζόμενη φαιουλαλανίνη χρησιμοποιείται για τη σύνθεση φλαβονοειδών και στιλβενίων (Sparvoli et al., 1994). Όπως για όλα τα συστατικά του σταφυλιού, η συγκέντρωση των φαινολικών ενώσεων επηρεάζεται από κλιματικούς παράγοντες. Ειδικότερα, η έλλειψη νερού μπορεί να καταλήξει σε αύξηση της συγκέντρωσης στιλβενίων στην ποικιλία Cabernet Sauvignon, τα οποία απουσιάζουν στην ποικιλία Chardonnay, υποδεικνύοντας έτσι τη σημασία του παράγοντα “ποικιλία” στην τελική συγκέντρωση φαινολικών ενώσεων (Deluc et al., 2011).

Άλλες μελέτες αναφέρουν αρνητική επίδραση υψηλών θερμοκρασιών (>35°C) στη συγκέντρωση ανθοκυανινών στις ποικιλίες Cabernet Sauvignon (Mori et al., 2007) και Pinot Noir (Mori et al., 2007), λόγω της μείωσης του ρυθμού σύνθεσης ανθοκυανίνης και της αποδόμησης των υπαρχουσών ανθοκυανινών (Castellarin et al., 2012).

Επιπλέον η συγκέντρωση των προανθοκυανιδινών της φλούδας της ποικιλίας Merlot σχετίζεται επίσης ισχυρά με την θερμοκρασία, καθώς τόσο η υπερβολικά χαμηλότερη όσο και η υψηλότερη θερμοκρασία μειώνουν την περιεκτικότητα σε προανθοκυανιδίνες στη φλούδα κατά τη τρύγο (Cohen et al., 2008).

9.4 Σάκχαρα

Τα σάκχαρα του σταφυλιού σχηματίζονται στα πράσινα μέρη του φυτού, και στις ράγες όσο αυτές είναι πράσινες, μέσω της φωτοσύνθεσης από το CO₂ της ατμόσφαιρας και το H₂O του εδάφους με την βοήθεια της ηλιακής ενέργειας. Η σακχαρόζη μεταφέρεται από τα φύλλα στην ράγα, όπου υδρολύεται από το ένζυμο ιμπερτάση σε γλυκόζη και φρουκτόζη.

Η συσσώρευση των σακχάρων στην ράγα είναι το αποτέλεσμα του πλεονάσματος της διατροφής των γιγάρτων που είναι τα όργανα αναπαραγωγής του φυτού. Τα σάκχαρα του σταφυλιού αποτελούνται κυρίως από γλυκόζη & φρουκτόζη, οι οποίες μπορούν να

μεταβολιστούν από τις ζύμες κατά την αλκοολική ζύμωση και να παράγουν αιθυλική αλκοόλη.

Η συγκέντρωση σακχάρων στις ράγες, εκτός από την προφανή επίδραση στη γλυκύτητα των σταφυλιών / κρασιών και στο επίπεδο αλκοόλης των κρασιών, μπορεί επίσης να επηρεάσει την αφομοίωση των δευτερογενών μεταβολιτών (Davies et al., 2012).

Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην περιεκτικότητα των ραγών σε σάκχαρα και στην περιεκτικότητα των οίνων σε αιθανόλη μπορεί να οφείλεται σε διάφορους παράγοντες όπως η συγκέντρωση CO₂ στην ατμόσφαιρα, οι υψηλότερες θερμοκρασίες και η μέτρια υδατική καταπόνηση. Συγκεκριμένα, η αύξηση της θερμοκρασίας και η αυξημένη συγκέντρωση CO₂ του αέρα (έως 30°C και 800 ppm CO₂, αντίστοιχα) (Greer and Weedon, 2012; Long et al., 2004) μπορούν να ενισχύσουν τη φωτοσυνθετική διαδικασία και να επιταχύνουν τον ρυθμό των φαινολογικών σταδίων της αμπέλου (Duchêne και Schneider, 2005· Jones, 2012).

Αυτός ο επιταχυνόμενος ρυθμός των φαινολογικών γεγονότων προκαλεί ταχύτερη συσσώρευση σακχάρων, καθώς η σύνθεσή τους είναι προτιμότερη σε σύγκριση με την πορεία σύνθεσης δευτερογενών μεταβολιτών, όπως οι ανθοκυανίνες (Martínez-Lüscher et al., 2016). Επιπλέον, ο επιταχυνόμενος ρυθμός των φαινολογικών σταδίων κάνει τα σταφύλια να φτάνουν νωρίτερα στην τεχνολογική ωριμότητα (βέλτιστη αναλογία μεταξύ περιεκτικότητας σε σάκχαρα σταφυλιού και οξύτητας), ενώ το άρωμα και οι φαινολικές ενώσεις παραμένουν ανεπαρκείς.

Από την άλλη πλευρά, εάν οι αμπελουργοί περιμένουν να αναπτυχθούν αρώματα και φαινολικές ενώσεις, οι τιμές οξύτητας μπορεί να φτάσουν κάτω από το βέλτιστο επίπεδο λόγω της αποδόμησης του μηλικού οξέος, ενώ η περιεκτικότητα σε σάκχαρα φτάνει σε υψηλότερο από το βέλτιστο επίπεδο (Jones, 2012), γεγονός που τελικά θα προκαλέσει την παραγωγή μη ισορροπημένου οίνου.

9.5 Οξύτητα

Η οξύτητα είναι το σύνολο των οργανικών οξέων που υπάρχουν στον οίνο και είναι το χαρακτηριστικό που θα δώσει το αίσθημα της φρεσκάδας. Οι αντιμικροβιακές ιδιότητες των οίνων οφείλονται σε οργανικά οξέα. Τα οξέα που βρίσκονται σε μεγαλύτερη συγκέντρωση στο σταφύλι είναι το τρυγικό, το μηλικό και το κιτρικό οξύ.

Το τρυγικό οξύ βρίσκεται μόνο στην σάρκα του σταφυλιού. Σε περιοχές με ψυχρό κλίμα βρίσκεται σε υψηλές συγκεντρώσεις στο σταφύλι (μέχρι τα 6 g/L), ενώ σε περιοχές με

θερμότερο κλίμα βρίσκεται σε χαμηλότερες συγκεντρώσεις (μέχρι τα 2-3 g/L). Είναι ένα ισχυρό οξύ και είναι υπεύθυνο και για την διαμόρφωση του pH στον οίνο. Μόλις γίνει η σύνθεσή του, το L-τρυγικό οξύ συσσωρεύεται στα κενοτόπια των ραγών στα οποία η συγκέντρωση του είναι γενικά σταθερή (Ford, 2012). Ωστόσο, ο Ford (2012) πρότεινε πιθανή μείωση της συγκέντρωσης τρυγικού οξέος στα σταφύλια όταν εκτίθενται σε υψηλές θερμοκρασίες ημέρας (40 °C) και νύχτας (30 °C) για αρκετές ημέρες. Επίσης έχει παρατηρηθεί ότι η έλλειψη νερού στο αμπέλι πριν από τον περκασμό, έχει οδηγήσει στην περιορισμένη συγκέντρωση τρυγικού οξέος, και η περιεκτικότητα των ραγών σε κάθε ράγα παραμένει σταθερή. Κατά την ωρίμανση των ραγών η συγκέντρωση τρυγικού οξέος μειώνεται κυρίως διότι τα κύτταρα των ραγών διογκώνονται με νερό, που έχει ως αποτέλεσμα την αραιώση των συστατικών τους. (Duchene et al. , 2020 Mira de Orduna, 2010). Επίσης λόγω της αδιαλυτοποίησης των τρυγικών αλάτων σε χαμηλές θερμοκρασίες, καταβυθίζεται μια μικρή ποσότητα τρυγικών αλάτων, με αποτέλεσμα να μειώνεται η οξύτητα του οίνου.

Το μηλικό οξύ προέρχεται από τον μεταβολισμό των σακχάρων και απαντάται σε μεγάλες συγκεντρώσεις στις ράγες των σταφυλιών. Η συσσώρευση μηλικού οξέος στα σταφύλια λαμβάνει χώρα κατά το στάδιο του περκασμού και συσσωρεύεται στο βέλτιστο ρυθμό σε θερμοκρασίες 20-25 °C. Σε θερμοκρασίες >38 °C, ο ρυθμός σύνθεσης του μηλικού οξέος μειώνεται αρκετά (Keller, 2020). Πηγή άνθρακα για την αναπνοή στις ράγες μετά το περκασμό μετατρέπει την γλυκόζη σε μηλικό οξύ (Keller, 2020). Οι υψηλές θερμοκρασίες κατά την διάρκεια των σταδίων ωρίμανσης και του περκασμού μειώνουν την περιεκτικότητα σε μηλικό οξύ, σύμφωνα με αποτελέσματα που συνήθως παρατηρούνται σε θερμές εποχές (Sweetman, Sadras, Hancock, Soole, & Ford, 2014). Ωστόσο, έχει παρατηρηθεί ότι οι μεταβολικές οδοί, όπου συνθέτεται ο μηλικό οξύ είναι διαφορετικές κατά την ημέρα και κατά την νύχτα, καθώς η περιεκτικότητα των ραγών σε μηλικό οξύ δεν άλλαξε (Sweetman et al., 2014). Συνεπώς κατά την φάση της ωρίμανσης η θερμοκρασία παίζει καθοριστικό ρόλο στην παραγωγή μηλικού οξέος, αφού μεταβάλλεται ο μεταβολισμός των σακχάρων για την παραγωγή μηλικού οξέος (Rienth, Torregrosa, Sarah, Ardisson, Brillouet, & Romieu, 2016).

Το κιτρικό οξύ επίσης είναι διαδεδομένο στη φύση και είναι 3ο μεγαλύτερο σε συγκέντρωση στα σταφύλια. Στο γλεύκος συνήθως περιέχονται 0,5-1,0 g/L κιτρικού οξέος. Η προσθήκη κιτρικού οξέος στον οίνο αποφεύγεται διότι μπορεί να μετατραπεί σε οξικό οξύ από τα γαλακτικά βακτήρια. Έχει βρεθεί ότι η σύνθεση κιτρικού οξέος είναι μειωμένη σε μεγαλύτερα υψόμετρα και αυξημένη σε χαμηλότερα (Barreto de Oliveira, 2019). Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η περιεκτικότητα σε κιτρικό οξύ στα σταφύλια σχετίζεται με τρεις παράγοντες, δηλαδή μπορεί να μειωθεί είτε μετατρεπόμενο σε μηλικό οξύ στον κύκλο του

Krebs είτε λόγω του σχηματισμού αλάτων οξέος, και επίσης μπορεί να αραιωθεί με αυξημένο όγκο ραγών (Moreno & Peinado, 2012; Riberéau-Gayon et al., 2006).

9.6 Πρόδρομες Αρωματικές Ενώσεις

Οι αρωματικές ενώσεις που βρίσκονται στο σταφύλι θα καθορίσουν σημαντικό ρόλο στην ποιότητα του οίνου και στον χαρακτήρα που θα αποκτήσει. Αυτές οι ενώσεις θα δημιουργήσουν τα “πρωτογενή” αρώματα του σταφυλιού. Οι πρόδρομες αρωματικές ενώσεις είναι μη οσμηρές ενώσεις, οι οποίες μέσω αντιδράσεων και διαφόρων εξωτερικών παραγόντων βιολογικών & φυσικοχημικών δημιουργούνται ενώσεις, οι οποίες απελευθερώνουν το χαρακτηριστικό τους άρωμα.

Οι ενώσεις αυτές αποτελούνται από ένα άγλυκο μέρος, το οποίο είναι ενωμένο με ένα μόριο σακχάρου με γλυκοζιτικό δεσμό (γλυκοζίτες). Το άγλυκο μέρος κυρίως αποτελείται από τερπενόλες, αλκοόλες, νορισοπρενοειδή, αρωματικές αλκοόλες, καθώς & πτητικές φαινόλες (π.χ. βανιλίνη) (Williams, 1981; Di Stefano, 1982, Gunata, Bayonove, 1985).

Όλες οι ποικιλίες περιέχουν γλυκοζίτες. Συγκεκριμένα τα Μοσχάτα έχουν πολύ υψηλότερες συγκεντρώσεις γλυκοζιτών. Έχει εντοπιστεί πως μεγαλύτερες συγκεντρώσεις τερπενίων (ελεύθερων ή και γλυκοζίτες) βρίσκονται στον φλοιό, σε σχέση με την σάρκα του σταφυλιού. Οι πρόδρομες αρωματικές ενώσεις δεν είναι απαραίτητα όλες γλυκοζυλιωμένες.

Σε ότι αφορά στις σημαντικότερες κατηγορίες ενώσεων που συμμετέχουν στο ποικιλιακό άρωμα, η σύνθεση και η συσσώρευση των αρωματικών προδρόμων σταφυλιών λαμβάνει χώρα στην ράγα του σταφυλιού και για ορισμένες ενώσεις (π.χ. 3-ισοβουτυλ-2-μεθοξυπυραζίνη, IBMP) ξεκινά με την καρπόδεση, κορυφώνεται πριν από την ωρίμανση και αποικοδομείται καθώς προχωρά η ωρίμανση (Ryona et al., 2008).

Οι κλιματικοί παράγοντες καθορίζουν σημαντικό ρόλο στην τελική συγκέντρωση αρωματικών προδρόμων ουσιών στο σταφύλι. Ειδικότερα, η ισοβουτυλ-μεθοξυπυραζίνη (IBMP) που υπάρχει σε Cabernet Franc, Cabernet Sauvignon, Sauvignon blanc, Semillon κτλ συμβάλλει στο άρωμα της “πιπεριάς” & μειώνεται η συγκέντρωση της σε υψηλότερες θερμοκρασίες (Allen and Lacey, 1993). Πρόσφατη μελέτη ανέφερε ότι η συγκέντρωση της ροτοντόνης σχετίζεται με το άρωμα «μαύρου πιπεριού» που υπάρχει στην ποικιλία Syrah και μειώνεται όσο αυξάνεται η θερμοκρασία (Zhang et al., 2015). Επίσης στο Bordeaux, συγκεκριμένα σε ορισμένα οίνους του Pomerol, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται στα οίνους από Merlot μια αύξηση στις λακτόνες που συνήθως βρίσκονται σε υπερώριμα σταφύλια, και που δίνει χαρακτηριστικές σύκου και καρύδας, ανεξάρτητα από το αν τα σταφύλια προέρχονται από ξηρή ή υγρή χρονιά.

Οι υψηλές θερμοκρασίες στις ράγες σχετίζονται επίσης με χαμηλότερη συγκέντρωση τερπενίων (π.χ. λιανόλη, νερόλη, γερανιόλη) στις ποικιλίες Moscatel de Alejandria και Moscatel rosada (Belancic et al., 1997). Ο Vršić et al. (2014) ανέφερε επίσης ότι η χαμηλότερη διαθεσιμότητα νερού μπορεί να προκαλέσει μείωση των αρωματικών ενώσεων, επιβεβαιώνοντας τη σημασία των διαφορετικών κλιματικών παραγόντων στην τελική συγκέντρωση των πρόδρομων αρωματικών ενώσεων σταφυλιού.

9.7 Τερπένια

Η ομάδα των τερπενίων αποτελείται από 4000 ενώσεις και οι περισσότερες ενώσεις που βρίσκονται στις ποικιλίες της αμπέλου έχει διαπιστωθεί πως ανήκουν στην ομάδα των τερπενίων. Το άρωμα των τερπενίων είναι το χαρακτηριστικό άρωμα των Μοσχάτων ποικιλιών, παρόλο που έχουν εντοπιστεί και σε ποικιλίες που δεν είναι αρωματικές. Τα τερπένια που έχουν άρωμα είναι κυρίως τα μονοτερπένια (με 10 άτομα άνθρακα) και τα σεσκιτερπένια (με 15 άτομα άνθρακα). Τα μονοτερπένια συναντώνται κυρίως σε μορφή υδρογονανθράκων (λεμονένιο), αλδεϋδών (λιναλάλη, γερανιάλη), αλκοολών (λιναλοόλη, γερανιόλη), οξέων (λιναλικό και γερανικό οξύ) και των εστέρων τους.

Στα σταφύλια έχουν εντοπιστεί τερπένια σε ελεύθερη και σε μορφή γλυκοζιτών, η οποία η μορφή γλυκοζίτη είναι άοσμη. Έχει βρεθεί ότι τα περισσότερα τερπένια που βρίσκονται στο σταφύλι βρίσκονται με την μορφή γλυκοζιτών. Οι γλυκοζίτες δεν προσφέρουν κάποιο άρωμα στον οίνο, αλλά αποτελούν προδρόμες αρωματικές ενώσεις (Câmara, 2007; Câmara, 2004).

Έχουν εντοπιστεί αρκετές μονοτερπενικές και σεσκιτερπενικές ενώσεις με χαρακτηριστικό το άρωμα της ρητίνης, όπως τα α -terpinene, p-cimene και myrcene, αλλά και ορισμένες τερπενικές αλκοόλες όπως η φαρνεσόλη, παρόλο που δεν έχει διαευκρινιστεί πλήρως πως οι ενώσεις αυτές συμβάλλουν οργανοληπτικά στον οίνο (Schreier et al., 1976; Bayonove, 1993).

Έκθεση των σταφυλιών στην ηλιακή ακτινοβολία φαίνεται πως μεταβάλλει την τελική συγκέντρωση τερπενίων στα σταφύλια, αφού η σκίαση τους θα μείωνε τις συγκεντρώσεις των τερπενίων (Bureau et al., 2000· Zhang et al., 2017). Το επίπεδο της λιναλοόλης στις ράγες επηρεάζεται αρνητικά από τις υψηλές θερμοκρασίες ενώ αντίστοιχα αυτά της γερανιόλης δεν δείχνουν να επηρεάζονται. Τα σταφύλια σε περιοχές με δροσερό κλίμα είχαν συνήθως υψηλότερες συγκεντρώσεις αλδεϋδης C6, ενώ τα σταφύλια θερμής περιοχής είχαν συνήθως υψηλότερες συγκεντρώσεις τερπενίων (Wen et al., 2015; Xu et al., 2015b).

Οι βροχοπτώσεις και η άρδευση επηρέασαν επίσης τη συσσώρευση αρώματος στα σταφύλια. Η ρυθμιζόμενη ελλειμματική άρδευση (RDI) κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης των ραγών θα προωθούσε τη συσσώρευση τερπενίων (Savoi et al., 2016).

Άλλες ενώσεις που συνεισφέρουν στο πρωτογενές άρωμα των σταφυλιών είναι τα νορισοπρενοειδή, που συμβάλλουν σημαντικά στο πρωτογενές άρωμα των οίνων, παρόλο που δεν χαρακτηρίζονται ως τερπένια και σχηματίζονται μέσω της χημικής ή ενζυμικής υδρόλυσης των καροτενοειδών τερπενίων που υπάρχουν στο σταφύλι. Εντοπίζονται επίσης στην πρόδρομη γλυκοζυλιωμένη μορφή.

Η οξειδωτική διάσπαση των καροτενοειδών τερπενίων, που έχουν 40 άτομα C θα δώσει νορισοπρενοειδή παράγωγα με 13 άτομα C, τα οποία συνεισφέρουν στο αρωματικό “μπουκέτο” των οίνων. Οι πιο γνωστές ενώσεις που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία είναι η β-δαμασκηνόνη και η β-ιονόνη που δίνουν ένα χαρακτηριστικό άρωμα άνθεων & τροπικών φρούτων. (Handbook of Oenology, Volume 2,2006).

9.8 Μεθοξυπυραζίνες

Οι μεθοξυπυραζίνες είναι ενώσεις γνωστές για τον χορτώδη χαρακτήρα, που δίνουν λίγες ποικιλίες (π.χ. Sauvignon blanc). Είναι ετεροκυκλικές ενώσεις, οι οποίες στο δακτύλιο τους περιέχουν ένα άτομο N & παράγονται από τον μεταβολισμό των αμινοξέων. Συγκεκριμένα οι ενώσεις 3-ισοπροπυλ-2-μεθοξυπυραζίνη, 3-sec-βουτυλ-μεθόξυπυραζίνη και 3-ισοβουτυλ-2-μεθοξυπυραζίνη έχουν την χαρακτηριστική οσμή πράσινης πιπεριάς και σπαραγγιού. Στους ερυθρούς οίνους που παράγονται στο Bordeaux, όπου καλλιεργείται ευρέως η ποικιλία C.Sauvignon, το κατώφλι αντίληψης της ισο-βουτυλο-μεθόξυπυραζίνης είναι γύρω στα 15 ng/L. Έχει παρατηρηθεί όμως ότι υψηλότερες συγκεντρώσεις μεθόξυπυραζινών είναι έντονος ο χορτώδης χαρακτήρας, με αποτέλεσμα να συμβάλει αρνητικά στον αρωματικό χαρακτήρα των οίνων (Handbook of Oenology, Volume 2,2006).

Γενικότερα ισχύει ότι σε αμπέλια που βρίσκονται σε δροσερές περιοχές, οι οίνοι που προκύπτουν τείνουν να έχουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις μεθόξυπυραζινών (Y.Lei et al, 2018). Τα αμπέλια σε ψυχρότερες περιοχές εκμεταλλεύονται περισσότερο την διαθεσιμότητα του νερού και την γονιμότητα του εδάφους, με αποτέλεσμα την αυξημένη ευρωστία του φυτού, που έχει επίδραση στην σύνθεση ισοβουτυλ-μεθόξυπυραζίνης (IBMP)(D.Sidhu et al, 2015).

Ωστόσο έχει παρατηρηθεί ότι στην θερμότερη περιοχή Central Valley στην Καλιφόρνια, οι οίνοι περιέχουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις ισοβουτυλ-μεθόξυπυραζίνης (IBMP) από τους οίνους του Bordeaux. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, η αυξημένη άρδευση

σε συνδυασμό με τις υψηλές θερμοκρασίες συνέβαλαν σε αυτό το αποτέλεσμα (Y. Lei et al, 2018).

Στα τελευταία στάδια της ωρίμανσης, οι κλιματικές συνθήκες οδηγούν στην μειωμένη σύνθεση ισοβουτυλ-μεθόξυπυραζίνης (IBMP), το οποίο επηρεάζει την τελική συγκέντρωση μεθόξυπυραζινών, που θα υπάρχουν στα σταφύλια κατά τον τρύγο (D.Sidhu et al, 2015). Σε ότι αφορά στην υγρασία, υψηλά ποσοστά αυτής πριν τον περκασμό θα καταλήξουν σε υψηλότερες συγκεντρώσεις μεθοξυπυραζινών (D.Sidhu et al, 2015).

Έρευνες έχουν δείξει ότι αυξημένη ηλιοφάνεια πριν τον περκασμό μειώνει την συγκέντρωση ισοβουτυλ-μεθόξυπυραζίνης (IBMP) (D.Martin et al., 2016). Η έκθεση του φυτού στην ηλιακή ακτινοβολία μετά το *véraison* είχε μικρή ή καθόλου επίδραση στις συγκεντρώσεις ισοβουτυλ-μεθόξυπυραζίνης (IBMP), δεδομένου ότι η έκθεση του φυτού στο φως πριν το περκασμό είναι κρίσιμη για την μεταβολή των συγκεντρώσεων ισοβουτυλ-μεθόξυπυραζίνης (IBMP) στα σταφύλια κατά τον τρύγο (D.Martin et al., 2016).

Επίσης, έχει αναφερθεί ότι οι συγκεντρώσεις των μεθοξυπυραζινών στις ράγες μειώνονται περισσότερο σε συνθήκες που επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες και υψηλή ηλιοφάνεια, οι οποίες επηρεάζονται από καλλιεργητικές πρακτικές όπως το κλάδεμα των φύλλων της αμπέλου (D.Sidhu et al.,2015).

Έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές μελέτες για την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας στα σταφύλια της ποικιλίας Sauvignon Blanc και στην συνέχεια στον παραγόμενο οίνο. Βεβαίως τα αποτελέσματα διέφεραν και συχνά είναι δύσκολο να συγκριθούν μεταξύ τους, καθώς κατά την αφαίρεση των φύλλων μειώνεται η ικανότητα του φυτού να μεταφέρει τα σάκχαρα και τους μεταβολίτες που παράγονται κατά την φωτοσύνθεση.

Στην μελέτη των Damian Martin et al, μελετήθηκε η επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των σταφυλιών σε 3 χρονιές (2013, 2014 & 2015) στις αρωματικές τους ενώσεις, συμπεριλαμβανομένης και της ισοπροπυλ-μεθόξυπυραζίνης (IPMP). Η ανάλυση της ισοπροπυλ-μεθόξυπυραζίνης (IPMP) πραγματοποιήθηκε με την μέθοδο SPME-GC- MS.

Πίνακας 7: Η επίδραση της έκθεσης της ηλιακής ακτινοβολίας σε βόστρυχους σταφυλιών (σκιασμένους και εκτεθειμένους) στην ανάλυση οίνου της ποικιλίας Sauvignon Blanc το 2013, το 2014 και το 2015. Οι τιμές P προέρχονται από τα Student's t-tests.

Vintage	2013			2014			2015		
	Exposed	Shaded	P value	Exposed	Shaded	P value	Exposed	Shaded	P value
Alcohol (Ev/v)	13.6	13.2	0.037	12.9	11.5	0.001	12.4	11.8	0.014
Reducing sugar (g L ⁻¹)	13.1	4.97	0.016	7.94	2.08	0.016	5.99	2.3	0.083
Acidity (pH)	3.03	2.93	0.002	3.02	2.98	0.024	3.05	2.95	0.004
Titratable acidity (g L ⁻¹)	9.4	11.5	<0.001	9.0	10.4	<0.001	10.7	12.0	0.004
3-MH (ng L ⁻¹)	583	741	0.086	668	687	0.51	644	563	0.062
3-MHA (ng L ⁻¹)	144	171	0.26	163	210	0.042	131	180	0.082
IBMP (ng L ⁻¹)	13.7	22.9	<0.001	10.2	23.7	<0.001	3.67	7.57	0.003
Thiol sum (nmol L ⁻¹)	5.16	6.49	0.10	5.9	6.31	0.20	5.54	5.21	0.37
3-MHA:3-MH ratio	0.19	0.18	0.095	0.19	0.23	0.018	0.15	0.24	0.026

3-Mercaptohexanol = 3-MH, 3-mercaptohexyl acetate = 3-MHA, 3-isobutyl-2-methoxypropazine = IBMP.

Έχει παρατηρηθεί ότι η έκθεση των σταφυλιών στον ήλιο μείωσε τις συγκεντρώσεις ισοπροπυλ-μεθοξυπυραζίνης (IPMP) στον οίνο το 2013, το 2014 και το 2015 κατά 40%, 57% και 52% αντίστοιχα. Άλλες μελέτες έχουν καταλήξει στο συμπέρασμα ότι η έκθεση των σταφυλιών στην ηλιακή ακτινοβολία μετά την περίοδο του περκασμού είχε ελάχιστη έως καμία επίδραση στις συγκεντρώσεις ισοβουτυλ-μεθοξυπυραζίνης (IBMP), υποδηλώνοντας ότι στην περίοδο πριν τον περκασμό η έκθεση στο φως είναι ένας κρίσιμος παράγοντας για την μεταβολή της συγκέντρωσής της (IBMP) στα σταφύλια κατά τον τρύγο (Suklje et al., 2016).

9.9 Θειούχες Ενώσεις

Οι θειούχες ενώσεις αποτελούνται από τις θειόλες, τις μερκαπτάνες, τους θειοεστέρες και τα σουλφίδια. Οι περισσότερες ενώσεις που περιέχουν θείο συμβάλλουν αρνητικά στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, δίνοντας ανεπιθύμητα αρώματα σκόρδου, λάχανου κλπ. Όμως ορισμένες θειούχες ενώσεις προσδίδουν συχνά αρώματα τροπικών φρούτων και μαύρου πιπεριού και έχουν εντοπιστεί κυρίως στην ποικιλία Sauvignon blanc. Μερικές από αυτές είναι η 4-μερκαπτο-4-μεθυλ-πενταν-2-ονη, η 3-μερκαπτοεξανόλη, η 4-μερκαπτο-4-μεθυλπεντανόλη και η 3-μερκαπτο-3-μεθυλ-βουτανόλη.

Σε ότι αφορά στις πτητικές πρόδρομες ουσίες θειόλης, έχει αποδειχθεί η σχέση μεταξύ της παρουσίας μέτριου ελλείμματος νερού αμπέλου και της συσσώρευσης προδρόμων συζυγών S. Η έλλειψη νερού οδηγεί σε παύση της ανάπτυξης των βλαστών και της συσσώρευσης δευτερογενών μεταβολιτών στις ράγες. Επιπρόσθετα η μεγάλη έλλειψη νερού επηρεάζει την ωρίμανση των σταφυλιών και οδηγεί σε μείωση των επιπέδων πρόδρομης ουσίας της πτητικής θειόλης στα σταφύλια (Peyrot des Gachons et al., 2005).

10. Μέτρα αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής

Η κλιματική αλλαγή πρόκειται να έχει σοβαρές επιδράσεις τόσο στην ανάπτυξη της αμπέλου όσο και στα οινοποιεία και στη διαχείρισή τους. Το πρόβλημα δεν είναι μόνο ότι η κλιματική αλλαγή είναι ήδη γεγονός, αλλά ότι η παγκόσμια βιομηχανία οίνου θα πρέπει προσαρμοστεί σε αυτή το συντομότερο δυνατό. Επομένως θα πρέπει να βρεθούν λύσεις για τη διαχείριση τόσο της αμπέλου όσο και των οινοποιείων, με ορισμένες εξ αυτών να παρατίθενται ακολούθως:

10.1 Τρύγος

Για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής μπορούν να παρθούν 2 αποτελεσματικά μέτρα.

- 1) Προσαρμογή των ημερομηνιών τρυγητού και της διαχείρισης του ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν.
- 2) Μεταφορά των σταφυλιών στο οινοποιείο σε χαμηλές θερμοκρασίες με σκοπό να επιβαρυνθούν οι αντιδράσεις οξείδωσης και βιοχημικές αλλοιώσεις των ραγών. Επίσης ο αμπελουργός θα μπορούσε να πραγματοποιήσει τον τρύγο τη νύχτα όπου η θερμοκρασία είναι χαμηλότερη από την μέρα ή να επιλέξει τη μεταφορά των ραγών σε φορτηγά ψυγεία όταν η απόσταση του αμπελώνα από το οινοποιείο είναι μεγάλη.

Τα τελευταία χρόνια και οι δύο πρακτικές έχουν εξελιχθεί σημαντικά και οι καινοτομίες στη διαχείριση της συγκομιδής, της μεταφοράς των σταφυλιών και της οινοποίησης θα επεκταθούν, λαμβάνοντας υπόψη ότι η αντιμετώπιση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής με τη διασφάλιση της σωστής διαχείρισης των σταφυλιών, της διάρκειας του τρύγου και τον έλεγχο της θερμοκρασίας μεταφοράς είναι παράγοντες κομβικής σημασίας.

10.2 Διαχείριση Βλαστικού Τείχους

Η σωστή διαχείριση του βλαστικού τείχους θα έχει ως αποτέλεσμα την καθυστέρηση των ημερομηνιών του κύκλου ανάπτυξης της αμπέλου κατά την καλλιεργητική περίοδο. Παρακάτω παρουσιάζονται ορισμένα μέτρα που αφορούν την διαχείριση του βλαστικού τείχους:

- Όψιμο κλάδεμα.
- Ψηλή στήριξη των κλημάτων της αμπέλου.

- Κόψιμο των βλαστών ή αφαίρεση των φύλλων με σκοπό τη μείωση της φυλλικής επιφάνειας για την μεγιστοποίηση της ωρίμανσης της ράγας. Η αφαίρεση των κεφαλών των αμπέλων αργά το χειμώνα (περίπου κατά την έκπτυξη των οφθαλμών) συνιστάται να καθυστερήσει:

- Την έναρξη της έκπτυξης των οφθαλμών κατά 8 έως 11 ημέρες, με αποτέλεσμα την μετατόπιση της ανθοφορίας και των ημερομηνιών του περκασμού μέχρι και 4-5 ημέρες. Βέβαια αυτό συνεπάγεται και ότι τα αμπέλια πρέπει να κλαδευτούν σε τακτά χρονικά διαστήματα, γεγονός που να μην μπορεί να υλοποιηθεί από μικρούς παραγωγούς, λόγω κόστους τους, επίσης αυτή η πρακτική είναι ανέφικτη για παραγωγές μεγάλης κλίμακας, λόγω εκτάσεων.

- Την μείωση της φυλλικής επιφάνειας της αμπέλου λίγο μετά την καρπόδεση, με σκοπό να μειωθεί η φυλλική επιφάνεια σε λιγότερο από 0,75 m²/kg ραγών, μπορεί να παρατείνει το χρόνο από την ανθοφορία έως τον περκασμό κατά περίπου 5 ημέρες. η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείται μόνο σε λευκές ποικιλίες, καθώς σε ερυθρές ποικιλίες μπορεί να μειωθεί την συγκέντρωση των ανθοκυανών.

- Τη σκίαση των τσαμπιών αυξάνοντας την φυλλική επιφάνεια, προκειμένου να μειωθεί σημαντικά η θερμοκρασία των ραγών και να αυξηθεί η συγκέντρωση του μηλικού οξέος, με συνέπεια την αύξηση της ογκομετρούμενης οξύτητας.

- Την μείωση της πυκνότητας φύτευσης. Μεγάλες πυκνότητες φύτευσης επιλέγονται σε περιπτώσεις όπου το νερό βρίσκεται σε μεγάλη περίσσεια με σκοπό την μέγιστη εκμετάλλευση του νερού & της επιφάνειας. Όταν όμως, το νερό είναι περιορισμένο, η πυκνή φύτευση αυξάνει τις ανάγκες σε νερό μιας και αυξάνεται ο ρυθμός διαπνοής.

- Την ανάπτυξη ενός συστήματος διαμόρφωσης, κατάλληλου για τις κλιματικές συνθήκες της κάθε περιοχής. Γενικότερα το σύστημα διαμόρφωσης θα πρέπει να έχει μειωμένη φυλλική επιφάνεια ανά στρέμμα, που θα οδηγήσει σε μικρότερα επίπεδα διαπνοής και σχετικά χαμηλές αποδόσεις. Έχει διαπιστωθεί πως το κύπελλο περιορίζει σημαντικά την κατανάλωση νερού από το αμπέλι, συνδυάζοντας την μικρή φυλλική επιφάνεια ανά στρέμμα και σχετικά χαμηλότερες αποδόσεις, κάνοντας το ιδανικό για ξηροθερμικές περιοχές. Δεν απαιτεί υποσύλωση σε αντίθεση με άλλα συστήματα διαμόρφωσης και το κόστος συντήρησης του είναι σχετικά μικρότερο. Παρουσιάζει όμως ένα σημαντικό μειονέκτημα. Σε αμπελώνες που είναι διαμορφωμένοι με κύπελλο, δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί μηχανικός τρύγος, κάνοντας τον χειρωνακτικό τρύγο μονόδρομο.

Παρότι οι ανωτέρω πρακτικές μπορούν να υιοθετηθούν ανάλογα με την ανάπτυξη της αμπέλου ανεξαρτήτως εποχής, η επίδρασή τους στα φαινολογικά στάδια της αμπέλου ενδέχεται να μην είναι σημαντική σε σύγκριση με άλλες τεχνικές που έχουν πιο μακροπρόθεσμο αντίκτυπο.

10.3 Διαχείριση Εδάφους

Η διαχείριση του εδάφους έχει ως σκοπό την αποφυγή της διάβρωσης τους, την βέλτιστη παροχή νερού & θρεπτικών συστατικών στην άμπελο & την ρύθμιση της ζωηρότητας τους. Στην διαχείριση του εδάφους περιλαμβάνονται:

- Εδαφο-γεωλογικές πρακτικές.
- Φύτευση καλλιεργητικών ειδών.

Σε ότι αφορά στην Ευρώπη και υπό την πίεση των περιβαλλοντικών μέτρων που λαμβάνονται τα τελευταία χρόνια, έχουν εμφανιστεί νέες λύσεις για την αντιμετώπιση των ζιζανίων, έναντι της χρήσης χημικών σκευασμάτων, που περιλαμβάνουν είτε ρηχή άρωση του εδάφους ή με κάλυψη του εδάφους με χλοοτάπητα, ανάλογα με τον τύπο του εδάφους και τις κλιματικές συνθήκες.

Η ρηχή άρωση καθιστά δυνατό τον περιορισμό των προβλημάτων της καλοκαιρινής ξηρασίας, μειώνοντας την εξάτμιση της υγρασίας του εδάφους. Η δε κάλυψη του εδάφους με χλοοτάπητα έχει δώσει λύσεις σε περιόδους ισχυρών βροχοπτώσεων, βελτιώνοντας την απορροφητική ικανότητα του εδάφους και περιορίζοντας την ζωηρότητα της αμπέλου.

Γενικά, οι ανωτέρω πρακτικές αναμένεται ότι θα εξελιχθούν ανάλογα με τα επεισόδια ξηρασίας και καύσινα.

Άλλες μέθοδοι περιλαμβάνουν τεχνικές πολτοποίησης πχ. φυτικών ινών, με σκοπό τον περιορισμό της χρήσης ζιζανιοκτόνων κάτω από τη γραμμή φύτευσης, καθώς και για τη μείωση της εξατμισοδιαπνοής του εδάφους προς αποφυγή σοβαρών υδατικών πιέσεων στην άμπελο κατά τη διάρκεια ενδεχόμενης ξηρασίας.

Επίσης οι ιδιότητες του εδάφους, όπως η υφή & το βάθος του εδάφους αποτελούν σημαντικά στοιχεία για τον αμπελουργό για την μετρίαση των επιπτώσεων. Με την αυξανόμενη ξηρασία, θα προτιμώνται βαθύτερα εδάφη με υψηλότερη υδατοχωρητικότητα, τα δε βαθύτερα και πιο ανθεκτικά στο νερό εδάφη θα πρέπει να προορίζονται για εκείνα τα αμπέλια που είναι πιο ευαίσθητα στο υδατικό στρες, ενώ οι πιο ανθεκτικές ποικιλίες θα μπορούσαν να μεταναστεύσουν σε πιο ξηρά εδάφη.

10.4 Προστασία από Παγετό

Η ύπαρξη στενής σχέσης μεταξύ της τοπικής τοπογραφίας και των ζημιών από παγετό παραπέμπει σε μεθόδους προστασίας που ποικίλλουν χωρικά και μπορούν να είναι είτε παθητικές είτε ενεργητικές.

Η παθητική προστασία περιλαμβάνει έμμεσες μεθόδους (π.χ. επιλογή τοποθεσίας, τεχνικές κλαδέματος), που εφαρμόζονται προληπτικά για τη μείωση της ευαισθησίας των αμπελώνων σε ζημιές από παγετό.

Η ενεργητική προστασία αναφέρεται στη χρήση άμεσων μεθόδων (π.χ. αιολικές μηχανές, θερμάστρες, ψεκαστήρες πάνω από αμπέλια), που εφαρμόζονται αμέσως πριν ή κατά την εμφάνιση παγετού.

Οι πιο σημαντικές προστατευτικές ενέργειες για τους όψιμους παγετούς της άνοιξης είναι οι παθητικές μέθοδοι, όπως η επιλογή τοποθεσίας και ποικιλίας αμπέλου. Γενικότερα, οι αμπελουργοί πρέπει να αποφεύγουν τη φύτευση αμπελώνων σε περιοχές που είναι επιρρεπείς στον παγετό.

Καθώς η συχνότητα των παγετών της όψιμης άνοιξης είναι απρόβλεπτη, οι θερμαντήρες καυσίμων και οι αιολικές μηχανές συνιστούν απαραίτητο εξοπλισμό για έναν αμπελώνα. Οι τελευταίες χρησιμοποιούνται για την ανάμιξη θερμού με τον ψυχρό αέρα που βρίσκεται πιο κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, αυξάνοντας τη συνολική θερμοκρασία του αέρα γύρω από τα αμπέλια. Παρά ταύτα η υιοθέτηση αυτών των μεθόδων ενεργητικής προστασίας μπορεί να είναι ιδιαίτερα δαπανηρή (εγκατάσταση και λειτουργία) ιδιαίτερα σε γεωγραφικά εξαπλωμένους αμπελώνες.

10.5 Κλωνική Επιλογή

Μεσοπρόθεσμα η κλιματική αλλαγή θα οδηγήσει σε αλλαγή ορισμένων πρακτικών διαχείρισης.

Η κλωνική επιλογή είναι ένα μέτρο, που θα συμβάλλει στην εξομάλυνση των αρνητικών επιπτώσεων του φαινομένου. Για τις περισσότερες από τις κύριες ποικιλίες σταφυλιών παρατηρείται διαφορά κατά 8 έως 10 ημέρες στην ωρίμανση μεταξύ των κλώνων της ίδιας ποικιλίας. Μετά από πείραμα σε διαφορετικούς κλώνους της ποικιλίας Cabernet Franc, τα δεδομένα έδειξαν ότι με χρήση των πιο όψιμων κλώνων καταλήγουμε κάποιες φορές σε γλευκή με έως και 17g/L λιγότερα σάκχαρα (1% αλκοολικός βαθμός), και διάφορες στις ημερομηνίες κατά τον περκασμό που κυμαίνονται από 6 έως 9 μέρες ανάλογα την χρονιά. Αυτή η φυσική μεταβολή μπορεί να αξιοποιηθεί κατά τη διάρκεια νέων φυτεύσεων,

έτσι ώστε να μετατεθεί ο κύκλος παραγωγής, να καθυστερήσει η ωρίμανση και να αποφευχθεί ο τρύγος σε πολύ ζεστές περιόδους. Σημαντική προϋπόθεση είναι να υπάρχει δυνατότητα να εμβολιάζονται ποικιλίες σταφυλιού σε μεταγενέστερους κλώνους των ιδίων ποικιλιών. Δεν θα μεταβληθούν τα τυπικά χαρακτηριστικά του οίνου, ωστόσο μακροπρόθεσμα η ωρίμανση μπορεί να καθυστερήσει σημαντικά με την καλλιέργεια όψιμων ποικιλιών.

10.6 Επιλογή τοποθεσίας & ποικιλίας

Ακόμα και σε μια περιοχή περιορισμένης έκτασης είναι να δυνατό να υπάρχουν τοπογραφικά ή & εδαφικά χαρακτηριστικά, που επιτρέπουν στους αμπελουργούς να προσαρμοστούν στην κλιματική αλλαγή. Πράγματι, διαφορές στη φαινολογία της αμπέλου καθώς και στην ποιότητα των σταφυλιών και του οίνου παρατηρούνται συχνά σε μικρές αποστάσεις εντός μιας αμπελουργικής περιοχής και σχετίζονται με χαρακτηριστικά όπως ο προσανατολισμός και ο τύπος του εδάφους, με αποτέλεσμα η ανάλυση του μικροκλίματος να συνιστά σημαντική μέθοδο προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή.

Αυτές οι τοπικές παραλλαγές είναι ζωτικής σημασίας για την αξιολόγηση της επίδρασης της κλιματικής αλλαγής στην αμπελοκαλλιέργεια, καθώς οι επιπτώσεις της θα εξαρτώνται τόσο από την περιοχή όσο και από την ποικιλία. Για αυτό το λόγο θα πρέπει να αξιολογούνται συστηματικά, προκειμένου να λαμβάνονται υπόψη στον αμπελουργικό σχεδιασμό και στη διαρκή βελτίωση της προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή.

Η τοπογραφία, η κλίση και ο προσανατολισμός είναι παράγοντες που μπορούν να βοηθήσουν τον αμπελουργό να προσαρμοστεί τοπικά. Για παράδειγμα, οι εποχιακές θερμοκρασίες στην κορυφή μιας πλαγιάς απέχουν αρκετούς °C από ό,τι στη βάση της πλαγιάς, οπότε ο αμπελουργός μπορεί να τροποποιήσει τις καλλιεργητικές του πρακτικές σύμφωνα με αυτή τη διαφορά θερμοκρασίας. Σε περιοχές όπως η Ελλάδα, η οποία έχει θερμό μεσογειακό κλίμα, η συνεχής αύξηση της θερμοκρασίας θα οδηγήσει τους αμπελουργούς στην καλλιέργεια αμπελώνων σε υψηλότερα υψόμετρα (Koufos et al., 2017).

Για την παραγωγή κρασιού με γνώμονα την ποιότητα ενός ποικιλιακού ή τοπικού χαρακτηριστικού, η καλλιεργούμενη ποικιλία αμπέλου ιδίως κατά την περίοδο ωρίμανσης της πρέπει να προσαρμοστεί στις κλιματικές συνθήκες του περιβάλλοντος. Οι υψηλές θερμοκρασίες κατά την ωρίμανση των ραγών θα οδηγήσει σε ποιοτική υποβάθμιση του οίνου. Αυτό μπορεί να προληφθεί με την καθυστέρηση της ωρίμανσης των σταφυλιών. Σε αυτές τις συνθήκες το φυτικό υλικό αποτελεί σημαντικό εργαλείο για την αντιμετώπιση του προβλήματος.

10.7 Επιλογή υποκειμένων & ποικιλιών

Ένα επιπλέον μακροπρόθεσμο μέτρο είναι η δυνατότητα επιλογής υποκειμένου. Με την επιλογή σωστού υποκειμένου για την συγκεκριμένη τοποθεσία δίνεται η δυνατότητα στον αμπελουργό να ρυθμίσει ορισμένα χαρακτηριστικά της αμπέλου, όπως η ζωηρότητα, ανάγκη σε νερό, πρωιμότητα ποικιλίας και ανθεκτικότητα σε ασθένειες. Η επιλογή υποκειμένου είναι σημαντικό εργαλείο για την προσαρμογή των αμπελώνων σε περιοχές με μεγαλύτερη έλλειψη νερού. Ορισμένα υποκείμενα, όπως 140 Ruggeri ή 110 Richter, είναι πολύ ανθεκτικά στην ξηρασία, για αυτό και μία από τις προτεραιότητες της σημερινής Αμπελουργίας είναι η δημιουργία νέων υποκειμένων που παρουσιάζουν μεγαλύτερη αντοχή στην ξηρασία. Το δε μεγάλο πλεονέκτημα της προσαρμογής των αμπελώνων στην αυξημένη ξηρασία μέσω της επιλογής του υποκειμένου είναι ότι δεν αυξάνει το κόστος παραγωγής. Όμως επειδή δεν έχουν μελετηθεί πλήρως τα θετικά χαρακτηριστικά αυτής της πρακτικής, η κλωνική επιλογή είναι επί του παρόντος υπό διερεύνηση.

.Επίσης οι ποικιλίες μεταξύ τους παρουσιάζουν διαφορές στα χαρακτηριστικά τους, όπως είναι η τεχνολογική ωρίμανση τους και την ταχύτητα της φαινολικής ωρίμανσης. Παραδείγματος χάριν, η ποικιλία Grenache έχει μεγάλη ανθεκτικότητα στην ξηρασία και προτιμάται να καλλιεργείται σε εδάφη ξηροθερμικά. Η ποικιλία Cabernet Sauvignon είναι μια οψιμη ποικιλία και για αυτό άρχισε να δίνεται περισσότερη βαρύτητα στην καλλιέργεια του στο Bordeaux. Μπορούν να βρεθούν όψιμες ποικιλίες σε ορισμένες αμπελουργικές περιοχές μεταξύ των γηγενών ποικιλιών και φυσικά μπορεί να χρειαστεί να χρησιμοποιηθούν και διεθνείς ποικιλίες. Αυτή η προσαρμογή είναι προφανώς δύσκολη σε ευρωπαϊκές αμπελουργικές περιοχές με προστατευόμενη ονομασία προέλευσης, καθόσον σε αυτές οι αμπελουργοί μπορούν να χρησιμοποιούν μόνο συγκεκριμένες ποικιλίες, που επιτρέπονται κατά την νομοθεσία. Για αυτό το λόγο, είναι σημαντικό να αρχίσει ο πειραματισμός με ένα μικρό ποσοστό διεθνών ποικιλιών, προκειμένου να αποκτηθεί τεχνογνωσία ώστε σε κατάλληλο χρόνο να μπορεί να γίνει μια σημαντική αλλαγή στην επιλογή ποικιλιών (Van Leewen και Darriet 2016). Σε κάποιες περιοχές έχουν εγκατασταθεί ήδη πειραματικοί αμπελώνες που περιλαμβάνουν διάφορες ποικιλίες, με κοινό χαρακτηριστικό τον όψιμο χαρακτήρα τους, προκειμένου να διερευνηθεί η δυνατότητα προσαρμογής τους στο ιδιαίτερο κλίμα της περιοχής, και το πώς μπορούν να συμβάλουν στην τυπικότητα των οινών. Για παράδειγμα στο Bordeaux έγινε εισαγωγή 7 νέων ποικιλιών, όπως της Touriga Nacional, για φύτευση έως και 5%, προκειμένου να εξεταστεί η προσαρμοστικότητα τους στο κλίμα, οι ανάγκες τους κτλ. Το ποσοστό αυτό αναμένεται βέβαια να αυξηθεί στο μέλλον όταν η ανάγκη για επέμβασης θα είναι πια αναπόφευκτη, ανάλογα και με τα αποτελέσματα που θα προκύψουν. Επίσης έχει αρχίσει να δίνεται περισσότερη έμφαση στην καλλιέργεια και στην

οινοποίηση όψιμων ποικιλιών, και στην μεταβολή των χαρμανιών στους οίνους προκειμένου να διατηρήσουν την τυπικότητα του κάθε οίνου.

10.8 Άρδευση

Η άρδευση είναι η διαδικασία παροχής νερού στο φυτό της αμπέλου, με την ποσότητα του διαθέσιμου νερού να επηρεάζει τη φωτοσύνθεση και συνεπώς την ανάπτυξη των ραγών. Χρησιμοποιείται για την μείωση του υδατικού στρες στο φυτό σε περιόδους ξηρασίας. Σε αντίθεση με άλλες λύσεις που υπάρχουν για την αντιμετώπισης της ξηρασίας, η άρδευση έχει οικονομικό, περιβαλλοντικό και κοινωνικό κόστος. Όταν το νερό γίνεται ολοένα και πιο σπάνιο, η άρδευση ενός φυτού που είναι ανθεκτικό στην ξηρασία όπως τα αμπέλια, δεν πρέπει να αποτελεί προτεραιότητα. Επιπλέον, η άρδευση μπορεί να οδηγήσει στη συσσώρευση αλάτων στα εδάφη του αμπελώνα, όταν η βροχή του χειμώνα είναι ανεπαρκής για την έκπλυση τους από το έδαφος. Τα αμπέλι είναι πολύ ευαίσθητο στα άλατα, επομένως η μεγάλη συγκέντρωσή τους τελικά θα κάνει το έδαφος ακατάλληλο για την παραγωγή σταφυλιού.

Ενώ το κλίμα και η υγρασία παίζουν σημαντικό ρόλο, τυπικά ένα αμπέλι χρειάζεται τουλάχιστον 250 mm νερό κατά τη βλαστική περίοδο για να αποφύγει το υδατικό στρές, με το αμπέλι που δεν λαμβάνει την απαραίτητη ποσότητα νερού να αντιμετωπίζει σημαντικές δυσχέρειες ανάπτυξης. Στην αμπελοκαλλιέργεια όταν η άρδευση αποτελεί μοναδική μέθοδος, μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες μέθοδοι άρδευσης ανάλογα με την επιθυμητή ποσότητα ελέγχου και διαχείρισης του νερού.

- Η μέθοδος της πλημμύρα είναι η πιο κοινή μέθοδος με την οποία χρησιμοποιείται η βαρύτητα μιας πλαγιάς για να απελευθερωθεί σημαντική ποσότητα νερού στον αμπελώνα.

- Το σύστημα άρδευσης με σταγόνες (στάγδην) παρέχει τον καλύτερο έλεγχο στη διαχείριση του νερού, αν και είναι ακριβό στην εγκατάσταση. Με αυτό το σύστημα, ένας αμπελουργός μπορεί να ελέγξει την ακριβή ποσότητα νερού που παίρνει κάθε αμπέλι μέχρι και την τελευταία σταγόνα.

- Επίσης για την μέγιστη εξοικονόμηση νερού μπορεί να εφαρμοστούν μέθοδοι όπως η ρυθμιζόμενη ελλειμματική άρδευση (RDI) , η μερική ξήρανση ριζών (RDI) και η παρατεταμένη ελλειμματική άρδευση (SDI) (Fraga et al., 2012) .

10.9 Καλλιεργητικές πρακτικές που αφορούν την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής

Συνοπτικά παρατίθενται οι παρακάτω πρακτικές ως συνοπτικές λύσεις για την αντιμετώπιση του προβλήματος:

- Εφαρμογή αμπελουργικών πρακτικών με σκοπό την σκίαση του αμπελώνα, που θα έχει ως αποτέλεσμα την μείωση των σακχάρων και την αύξηση των οξέων (Mozell et al, 2014). Είναι σημαντικό να σημειωθεί επίσης, ότι αρκετές μελέτες τεχνικών διαχείρισης, συμπεριλαμβανομένης της διαχείρισης σκίασης του φυτού, του κλαδέματος και των ζιζανίων, ήταν ανεπαρκείς την τελευταία δεκαετία για να καταπολεμηθούν υψηλότερες θερμοκρασίες και ξηρότερες συνθήκες (Lereboullet et al., 2013).

- Εφαρμογή νυχτερινού τρύγου ώστε τα σταφύλια να μαζεύονται σε πιο ψυχρές θερμοκρασίες και κατά την μετακίνηση τους να καταλήγουν με λιγότερες αλλοιώσεις (Mozell et al, 2014).

- Επαναχρησιμοποίηση, επεξεργασία και ανακύκλωση του αρδευτικού νερού με σκοπό να αντισταθμιστεί η μειωμένη παροχή νερού (Mozell et al, 2014). Στην περιοχή McLaren Vale της Αυστραλίας ήδη εξετάζεται το ενδεχόμενο εφαρμογής ανακυκλωμένου αρδευτικού νερού για την αντιμετώπιση του ξηρού κλίματος της (Ecos, 2013).

- Εφαρμογή άρδευσης με μερική ξήρανση ριζών (RDI), παρατεταμένη ελλειμματική άρδευση (SDI) και ρυθμιζόμενη ελλειμματική άρδευση (RDI) (Fraga et al., 2012), με σκοπό την μεγαλύτερη απόδοση του νερού και την εξομάλυνση των ξηροθερμικών συνθηκών.

- Εφαρμογή συστημάτων διαμόρφωσης με σκοπό την σκίαση του φυτού και την αντιμετώπιση θερμών συνθηκών (Πέργκολα) (Mozell et al, 2014).

- Πλήρης επανεγκατάσταση του αμπελώνα, με την ποικιλία και το υποκείμενο να προσαρμόζονται στις νέες κλιματικές συνθήκες για την αντιμετώπιση δυσμενών παραγόντων και ασθενειών, αλλά κυρίως και για την παραγωγή οίνων ποιότητας (Mozell et al, 2014).

- Τοποθέτηση αμπελώνα σε πλάγιο προσανατολισμό με σκοπό την μεγαλύτερη εκμετάλλευση και την πιο ομοιόμορφη έκθεση του θόλου στην ηλιακή ακτινοβολία (Mozell et al, 2014).

- Τοποθέτηση αμπελώνων σε υψηλότερα υψόμετρα επειδή κρύες αέριες μάζες έρχονται από τα υψηλότερα σημεία μειώνοντας την θερμοκρασία. Επίσης με αυτόν τον

τρόπο παρατείνεται η περίοδος ωρίμανσης, με αποτέλεσμα να διατηρούνται τα αρώματα της ποικιλίας και να μετριάζεται η συσσώρευση σακχάρων.

10.10 Οινολογικές πρακτικές που αφορούν την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής

Συνοπτικά παρατίθενται και ορισμένες οινολογικές πρακτικές ως μέτρα που αφορούν την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής:

- Χρήση ψυκτικού εξοπλισμού για τη διασφάλιση ολοκληρωμένης αλκοολικής ζύμωσης διότι ο πρώιμος τρύγος και οι υψηλότερες θερμοκρασίες περιβάλλοντος μπορεί να επηρεάσουν σημαντικά τα αρώματα, παρατείνοντας τις οξειδωτικές αντιδράσεις σε προζυμωτικά στάδια (Mira de Orduña, 2010).

- Χρήση στελεχών ζυμομυκήτων που είναι ανθεκτικά σε υψηλές συγκεντρώσεις αλκοόλ

- Χρήση τεχνικών όπως η αντίστροφη ώσμωση με σκοπό την μείωση της συγκέντρωσης των σακχάρων στο γλεύκος,

11. Συμπέρασμα

Συμπερασματικά η κλιματική αλλαγή είναι προφανές πως θα επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό το περιβάλλον και άμεσα τον κλάδο της αμπελουργίας και της οινοποίησης τα επόμενα χρόνια. Χώρες και περιοχές, οι οποίες βασίζονται στον πρωτογενή τομέα, θα χρειαστεί να προσαρμοστούν άμεσα στις επιπτώσεις του φαινομένου αυτού. Η κλιματική αλλαγή θα έχει πιο σημαντικές συνέπειες σε οικονομικά αδύναμες χώρες, καθώς οι μεταβολές που θα πρέπει να αντιμετωπίσουν θα είναι λιγότερο διαχειρίσιμες και πιθανόν να μην μπορέσουν να προσαρμοστούν σε αυτές τις αλλαγές. Συνεπώς οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής θα επηρεάσουν αρνητικά την παραγωγή αμπελοοινικών προϊόντων. Συνεπώς θα πρέπει να παρθούν μέτρα, τα οποία θα αντιμετωπίσουν τις δυσμενείς επιδράσεις κατά την εγκατάσταση του αμπελώνα, κατά την καλλιέργεια του και κατά την παραγωγή του οίνου στο οινοποιείο. Με τις τεχνικές που θα εφαρμοστούν σκοπός θα είναι η προσαρμογή του κάθε οινοπαραγωγού σε ένα πιο ξηροθερμικό κλίμα και η παραγωγή οίνων υψηλής ποιότητας. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό στον Ευρωπαϊκό αμπελώνα, όπου είναι οριοθετημένες περιοχές & δεν μπορούν να αλλάξουν για την διατήρηση της ποιότητας, λόγω των περιοχών ΠΟΠ.

12. Βιβλιογραφία

12.1 Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

1. Alexandre Pons, Lucile Allamy, Armin Schüttler, Doris Rauhut, Cécile Thibon, Philippe Darriet, (2017).What is the expected impact of climate change on wine aroma compounds and their precursors in grape? OENO One Vol. 51 No. 2 pp.141-146 [10.20870/oeno-one.2016.0.0.1868](https://doi.org/10.20870/oeno-one.2016.0.0.1868)
2. B.Seguin, INRA Avignon (2007).` Le changement climatique et son impact sur la viticulture [1f0enCYDzydGL3AyteOjuv9K5xJgBz64L9c9](https://doi.org/10.1007/978-2-7470-5111-1_10)
3. Bernard Seguin and Inaki Garcia de Cortazar. Climate Warming: Consequences for Viticulture and the Notion of 'Terroirs' in Europe Proc. VIIIth IS on Grapevine Ed. L.E. Williams Acta Hort. 689, ISHS 2005 pp. 61-70 [10.17660/ActaHortic.2005.689.3](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2005.689.3)
4. Branas J, Bernon G, Levadoux L. (1946) : Eléments de viticulture générale. Imp Dehan, Montpellier
5. Carlo Lavallo, Fabio Micale, Tracy Durrant Houston, Andrea Camia, Roland Hiederer, Catalin Lazar, Costanza Conte, Giuseppe Amatulli, Giampiero Genovese (2009). Climate change in Europe. Impact on agriculture and forestry. A review Agronomy for Sustainable Development 29 (2009) 433–446 [10.1051/agro/2008068](https://doi.org/10.1051/agro/2008068)
6. Céline Vignault, Magali Vachaud, Birsen Cakir, David Glissant, Fabienne Dédaldéchamp, Michael Büttner, Rossitza Atanassova, Pierrette Fleurat-Lessard, Rémi Lemoine, Serge Delrot, (2005). VvHT1 encodes a monosaccharide transporter expressed in the conducting complex of the grape berry phloem Journal of Experimental Botany, Vol. 56, No. 415, pp. 1409–1418 [10.1093/jxb/eri142](https://doi.org/10.1093/jxb/eri142)
7. C.Pastenes, L.Villalobos, N.Ríos, F.Reyes, R.Turgeon, N.Franck (2014) ,Carbon partitioning to berries in water stressed grapevines: The role of active transport in leaves and fruits Environmental and Experimental Botany, Volume 107 Pages 154-166 doi.org/10.1016/j.envexpbot.2014.06.009
8. Damian Martin, Claire Grose, Bruno Fedrizzi, Lily Stuart, Abby Alright, Andrew McLachlan (2016), Grape cluster microclimate influences the aroma composition of Sauvignon blanc wine Food Chemistry 210 pp.640-7 [10.1016/j.foodchem.2016.05.010](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.010).
9. David Santillán, Ana Iglesias , Isabelle La Jeunesse, Luis Garrote, Vicente Sotes (2018). Vineyards in transition: A global assessment of the adaptation needs of grape producing regions under climate change The Science of the Total environment 2019 Mar 20;657:839-852. [10.1016/j.scitotenv.2018.12.079](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.079)

10. Davinder Sidhu, Jensen Lund, Yorgos Kotseridis & Cedric Saucier (2015) Methoxypyrazine Analysis and Influence of Viticultural and Enological Procedures on their Levels in Grapes, Musts, and Wines *Critical Reviews in Food Science & Nutrition* 55(4) pp.485-502. doi: [10.1080/10408398.2012.658587](https://doi.org/10.1080/10408398.2012.658587).
11. Dry, P.R. (1988). Climate change and the Australian grape and wine industry, *Aust Grapegrower Winemaker* December, Winetitles, Adelaide, pp. 14-15
12. Ecos, 2013. Australian wine producers lead climate change adaptation. Retrieved from URL: Ecos.com
13. E.J. Edwards and P.R. Clingeleffer, (2013), Interseasonal effects of regulated deficit irrigation on growth, yield, water use, berry composition and wine attributes of Cabernet Sauvignon grapevines *Australian Journal of Grape & Wine Research* Volume 19, Issue 2 pp.261-276 <https://doi.org/10.1111/ajgw.12027>
14. Etienne Neethling, Gérard Barbeau, Cyril Tissot, Mathias Rouan, Céline Le Coq, Renan Le Roux & Hervé Quénot (2016). Adapting Viticulture to climate change. Guidance Manual to support wine grower's decision-making. <http://www.adviclim.eu/>
15. Fabrice Bodin & René Morlat (2005). Characterization of viticultural terroirs using a simple field model based on soil depth I. Validation of the water supply regime, phenology and vine vigour, in the Anjou vineyard (France). *Plant and Soil* (2006) 281:55–69 [10.1007/s11104-005-3769-z](https://doi.org/10.1007/s11104-005-3769-z)
16. Filip Rolland, Elena Baena-Gonzalez, Jen Sheen (2006), Sugar sensing and planting in plants: Conserved and novel mechanisms *Annual Review of Plant Biology* Vol.57: 675-709 [10.1146/annurev.arplant.57.032905.105441](https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.57.032905.105441)
17. Fotoula Droulia, Ioannis Charalampopoulos (2021). Future Climate Change Impacts on European Viticulture: A Review on Recent Scientific Advances. *Atmosphere*, 12, 495, 2. doi.org/10.3390/atmos12040495
18. Georgios C. Koufos, Theodoros Mavromatis¹, Stefanos Koundouras, Gregory V. Jones (2020). Adaptive capacity of winegrape varieties cultivated in Greece to climate change: current trends and future projections *OENO One* 54(4) 1202-1204 doi.org/10.20870/oenone.2020.54.4.3129
19. G.C. Koufos, T. Mavromatis, S. Koundouras, G. V. Jones (2018). Response of viticulture-related climatic indices and zoning to historical and future climate conditions in Greece. *International Journal of Climatology* 38: 2097–2111 [10.1002/joc.5320](https://doi.org/10.1002/joc.5320)
20. Gladstones, J.S. (2004) :Climate and Australian Viticulture. In: P.R. Dry and B.G. Coombe (Eds), *Viticulture Volume 1 - Resources*. (Winetitles: Adelaide, Australia) pp.90-118. *Grapegrower Winemaker* Feb., 40–47.

21. Gregory V. Jones, Michael A. White, Owen R. Cooper, Karl Storchmann. Climate change and Global wine quality *Climatic Change* (2005) 73: 319–343 [10.1007/s10584-005-4704-2](https://doi.org/10.1007/s10584-005-4704-2)
22. Gregory V. Jones. Climate Change in the Western United States Grape Growing Regions *Proc. VIIth IS on Grapevine Ed. L.E. Williams Acta Hort.* 689, ISHS 2005 pp.41-60 [10.17660/ActaHortic.2005.689.2](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2005.689.2)
23. Gregory V. Jones. Climate change: observations, projections, and general implications for viticulture and wine production. *Proc. VIIth IS on Grapevine Ed. L.E. Williams Acta Hort.*689,ISHS2005pp.55-66 [253713937](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2005.689.2)
24. Guo Cheng, Yan-Nan He, Tai-Xin Yue, Jun Wang, Zheng-Wen Zhang, (2014). Effects of Climatic Conditions and Soil Properties on Cabernet Sauvignon Berry Growth and Anthocyanin Profiles *Molecules* 19(9): 13683–13703 [10.3390/molecules190913683](https://doi.org/10.3390/molecules190913683)
25. Hall, A., & Jones, G. V. (2010): Spatial analysis of climate in winegrape - growing regions in Australia. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 16(3), 389 404. Australian Society of Viticulture and Oenology Inc. [10.1111/j.1755-0238.2010.00100.x](https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2010.00100.x)
26. IPCC, 2013a. Warming of the Climate System is Unequivocal. Report on Climate Change 2013: The Physical Science Basis – Summary for Policymakers, Observed Changes in the Climate System. [y2H0Jwzev8hW0KdZbO](https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/)
27. Jessica M. Cortell, Michael Halbleib, Andrew V. Gallagher, Timothy L. Righetti, James A. Kennedy (2005). Influence of vine vigor on grape (*Vitis vinifera* L. cv. Pinot Noir) and wine proanthocyanidins *Journal of Agricultural & Food Chemistry* 54, 8510–8520 [10.1021/jf0616560](https://doi.org/10.1021/jf0616560)
28. Jon Anderson , Paraskevi Dimou, Gregory V. Jones , Dionissios Kalivas , George Koufos , Theodoros Mavromatis , Stefanos Koundouras , and Nikolaos M. Fyllas. Harvest dates, climate and viticultural zoning in Greece. [215665355](https://doi.org/10.1016/j.scs.2015.05.010)
29. João A. Santos, Helder Fraga, Aureliano C. Malheiro, José Moutinho-Pereira, Lia-Tânia Dinis, Carlos Correia, Marco Moriondo, Luisa Leolini, Camilla Dibari, Sergi Costafreda-Aumedes, Thomas Kartschall, Christoph Menz, Daniel Molitor, Jürgen Junk , Marco Beyer and Hans R. Schultz (2020). A Review of the Potential Climate Change Impacts and Adaptation Options for European Viticulture. *Applied Sciences* 10, 3092, 2-28 [10.3390/app10093092](https://doi.org/10.3390/app10093092)
30. João A. Santos,, Aureliano C. Malheiro , Joaquim G. Pinto , Gregory V. Jones. (2012). Macroclimate and viticultural zoning in Europe: observed trends and atmospheric forcing *Vol.51(1):89-103* [10.3354/cr01056](https://doi.org/10.3354/cr01056)

31. João A. Santos & Aureliano C. Malheiro & Melanie K. Karremann & Joaquim G. Pinto. (2010). Statistical modelling of grapevine yield in the Port Wine region under present and future climate conditions. *International Journal of Biometeorology*, 55(2):119-131 [10.1007/s00484-010-0318-0](https://doi.org/10.1007/s00484-010-0318-0)
32. Jorge Tonietto, Alain Carbonneau (2004). A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide *J. Tonietto, A. Carbonneau / Agricultural and Forest Meteorology* 124 (2004) 81–97 [10.1016/j.](https://doi.org/10.1016/j.agrfor.2004.05.001)
33. Juliane Barreto de Oliveira, , Ricardo Egipto, Olga Laureano , Rogério de Castro , Giuliano Elias Pereira , Jorge Manuel Ricardo-da-Silva (2019), Climate effects on physicochemical composition of Syrah grapes at low and high altitude sites from tropical grown regions of Brazil *Food Research International* 121:870-879 [10.1016/j.foodres.2019.01.011](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.01.011)
34. J Moreno, R. Peinado (2012). *Enological chemistry*. USA: Elsevier 443 Katja Šuklje, Guillaume Antalick, Astrid Buica, Jennifer Langlois, Zelmari A Coetzee, Julia Gouot, Leigh M Schmidtke, Alain Deloire (2015), Clonal differences and impact of defoliation on Sauvignon blanc (*Vitis vinifera* L.) wines: a chemical and sensory investigation *Journal of the Science of Food and Agriculture* Volume 96, Issue 3 pp. 915-926 <https://doi.org/10.1002/jsfa.7165>
35. Kay, Jane, 11 July 2006. Now's the time to cellar wine/Scientists fear/Scientists fear that rising temperatures due to global warming will harm the wine industry in Napa, Sonoma and Santa Barbara counties. *San Francisco Chronicle*, p. 2. Available *Wine Economics and Policy* 3 (2014) 81-89 <http://dx.doi.org/10.1016/j.wep.2014.08.001>
36. Karaoglan, S.Y. (2018). The expected impact of climate change on grape flavor components - A Review. *Annals of the University of Craiova- Agriculture, Montanology. Cadastre Series* 48: 215-220 [734/694](https://doi.org/10.1016/j.auc.2018.05.001)
37. Kentaro Mori, Nami Goto-Yamamoto, Masahiko Kitayama, Katsumi Hashizume Author Notes, (2007). Loss of anthocyanins in red-wine grape under high temperature [10.1093/jxb/erm055](https://doi.org/10.1093/jxb/erm055) *Journal of Experimental Botany*, Volume 58, Issue 8, June 2007, Pages 1935–1945
38. Kirkpatrick Noel (2011). Will Global Warming Affect the Wine Industry? pp. 239–246 [10.1016/j.wep.2014.08.001](https://doi.org/10.1016/j.wep.2014.08.001)
39. Kliewer, W.M. (1973): Berry composition of *Vitis vinifera* cultivars as influenced by photo and nycto-temperatures during maturation. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 2,153-159. [201303245835](https://doi.org/10.1093/jhs/2.3.153)
40. Kliewer, W.M., Torres, R.E. (1972): Effect of controlled day and night temperatures on grape coloration. *American Journal of Oenology and Viticulture* Vol 23 Issue 2 pp.71-77 <https://www.ajevonline.org/content/23/2/71>

41. Lee Hannah, Patrick R. Roehrdanz, Makihiko Ikegami, Anderson V. Shepard, M. Rebecca Shaw (2013), Climate change, wine, and conservation 26. A.B. Tate (2001), Global warming's impact on wine pp.6907-6912 [pnas.1210127110](https://doi.org/10.1073/pnas.1210127110)
42. Malheiro AC, Santos JA, Fraga H, Pinto JG. (2010) :Climate change scenarios applied to viticultural zoning in Europe. *Clim Res* 43: 163–177 [10.3354/cr00918](https://doi.org/10.3354/cr00918)
43. Manfred Stock, Friedrich-W. Gerstengarbe, Thomas Kartschall and Peter C. Werner. (2005). Reliability of Climate Change Impact Assessments for Viticulture 689(689):29-40 [10.17660/ActaHortic.2005.689.1](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2005.689.1)
44. Matthew A. Hayes, Christopher Davies, Ian B. Dry, (2007). Isolation, functional characterization, and expression analysis of grapevine (*Vitis vinifera* L.) hexose transporters: differential roles in sink and source tissues *Journal of Experimental Botany*, Volume 58, Issue 8, Pages 1985–1997 [10.1093/jxb/erm061](https://doi.org/10.1093/jxb/erm061)
45. Michelle Renée Mozell, Liz Thach (2014), The impact of climate change on the global wine industry: Changes & Solutions *Wine Economics and Policy*, 3 pp.81-89, <http://dx.doi.org/10.1016/j.wep.2014.08.001>
46. Monis Hussain Shah, Rizwan Rafique, Tanzila Rafique, Mehwish Naseer, Uzman Khalil and Rehan Rafique (2021), Effect of Climate Change on Polyphenols Accumulation in Grapevine Phenolic Compounds pp. 1-22 [10.5772/intechopen.99779](https://doi.org/10.5772/intechopen.99779)
47. M. Hadarits, B. Smit and H. Diaz (2010), Adaptation in viticulture: a case study of producers in the maule region of Chile 21(2-3):167-178 [10.1080/09571264.2010.530109](https://doi.org/10.1080/09571264.2010.530109)
48. M.M. Greven, J.S. Bennett and S.M. Neal,0 (2014). Influence of retained node number on sauvignon blanc grapevine vegetative growth and yield *Australian Journal of Grape and Wine Research* 20, 263–271 <https://doi.org/10.1111/ajgw.12074>
49. M.O. Downey, J.S. Harvey and S.P. Robinson (2004), The effect of bunch shading on berry development and flavonoid accumulation in shiraz grapes *Australian Journal of Grape and Wine Research* 10: 55-73 <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2004.tb00008.x>
50. Nancy Terrier, David Glissant, Jérôme Grimplet, François Barrieu, Philippe Abbal, Carole Couture, Agnès Ageorges, Rossitza Atanassova, Céline Léon, Jean-Pierre Renaudin, Fabienne Dédaldéchamp, Charles Romieu, Serge Delrot, Saïd Hamdi, (2005). Isogene specific oligo arrays reveal multifaceted changes in gene expression during grape berry (*Vitis vinifera* L.) development *Planta* volume 222, pages 832–847 [10.1007/s00425-005-0017-y](https://doi.org/10.1007/s00425-005-0017-y)

51. Nemanja Teslic, (2018). Climate change vs Wine industry in the Emilia-Romagna: Assessment of the climate change, influence on wine industry and mitigation techniques Environmental Science [10.6092/unibo/amsdottorato/8404](https://doi.org/10.6092/unibo/amsdottorato/8404)
52. Pascal Ribéreau-Gayon, Denis Dubourdieu, B. Donèche, A. Lonvaud, (2006). Handbook of enology, Volume 1: The microbiology of wine and vinifications (2nd ed.). Chichester, UK: John Wiley & Sons.
53. Peyrot des Gachons C., Van Leeuwen C., Tominaga T., Soyer J., Gaudillere J. Dubourdieu D., 2005. Influence of water and nitrogen deficit on fruit ripening and aroma potential of *Vitis vinifera* L. cv Sauvignon blanc in field conditions. Journal of the Science of Food and Agriculture Volume 85, Issue 1 pp.73-85 <https://doi.org/10.1002/jsfa.19>
54. Prajitna A., Dami I.E., Steiner T.E., Ferree D.C., Scheerens J.C., Schwartz S.J. (2007). Influence of cluster thinning on phenolic composition, resveratrol, and antioxidant capacity in chambourcin wine American Journal of Enology and Viticulture Volume 58, Issue 3, Pages 346-350 [22.0351488566352f1147](https://doi.org/10.1002/ajev.200703034)
55. Pincus, R. (2003) Wine, place and identity in a changing climate. Gastronomica 3:87-93 [10.1525/gfc.2003.3.2.87](https://doi.org/10.1525/gfc.2003.3.2.87).
56. Ramón Mira de Orduña (2010). Climate change associated effects on grape and wine quality and production Food Research International 43 (2010) 1844–1855 [10.1016/j.foodres.2010.05.001](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.05.001)
57. Recent climate trends over Greece Chris G. Tzanisa, , Ioannis Koutsogiannisa , Kostas Philippopoulos, Despina Deligiorgi (2019) <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.104623>
58. Renata Ristic, Mark O. Downey, Patrick G. Iland, Keren Bindon, I Leigh Francis, Markus Herderich, Simon P. Robinson, (2008). Exclusion of sunlight from Shiraz grapes alters wine colour, tannin and sensory properties Australian Journal of Grape and Wine Research 13, 53–65 <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2007.tb00235.x>
59. Rene Morlat & Fabrice Bodin (2005). Characterization of viticultural terroirs using a simple field model based on soil depth – II. Validation of the grape yield and berry quality in the Anjou vineyard (France) Plant and Soil (2006) 281:37–54 [10.1007/s11104-005-3769-z](https://doi.org/10.1007/s11104-005-3769-z)
60. Santisi J. (2003), Warming up the wine industry pp.2-15 [10.1016/j.wep.2014.08.001](https://doi.org/10.1016/j.wep.2014.08.001)
61. Schultz, H.R. (2000). Climate change and viticulture: a European perspective on climatology, carbon dioxide and UV-B, effects. Aust. J. Grape Wine Res. 6:2-12 <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2000.tb00156.x>
62. Shanmuganathan, S., Narayanan, A., Sallis, P., November 2012. Climate Change and Grape Wine Quality: A GIS Approach to Analysing New Zealand Wine Regions.

- In: Human and Social Dimensions of Climate Change (Chapter 11). Human and Social Dimensions of Climate Change pp.227-242 <http://dx.doi.org/10.5772/51252>
63. Sheng Teng, Joost Keurentjes, Leónie Bentsink, Maarten Koornneef, Sjef Smeekens Author Notes, (2005), Sucrose-Specific Induction of Anthocyanin Biosynthesis in Arabidopsis Requires the MYB75/PAP1 Gene Plant Physiology, Volume 139, Issue 4, Pages 1840–1852 [10.1104/pp.105.066688](https://doi.org/10.1104/pp.105.066688)
64. Smart, R.E. (1989). Climate change and the New Zealand wine industry-prospects for the third millennium. Wine Ind. J. 4:8-11
65. Tara Holland & Barry Smit (2010). Climate Change and the Wine Industry: Current Research Themes and New Directions. 21:2-3, 125-136, DOI: [10.1080/09571264.2010.530095](https://doi.org/10.1080/09571264.2010.530095)
66. Tomana, T., Utsunomiya, N., Dataoka, I.(1979): The effect of environmental temperatures on fruit on ripening on the tree. II. The effect of temperatures around whole vines and clusters on the coloration of 'Kyoho' grapes. J. Jap. Soc. Hort. Sci. 48,261–266. [1925/48/3/48_3_261](https://doi.org/10.1080/00137177908738261)
67. Tonietto, J. (1999): Les macroclimats viticoles mondiaux et l'influence du mésoclimat sur la typicité de la Syrah et du Muscat de Hambourg dans le sud de la France: méthodologie de caractérisation. Thèse Doctorat. Ecole Nationale Supérieure Agronomique, Montpellier, pp. 233 [145727/1](https://doi.org/10.1080/00137179908738261)
68. Van Leeuwen Cornelis, Bois Benjamin, Pieri Philippe, Gaudilliere Jean-Pierre (2008). Climate as a terroir component VIIth International terroir Congress pp.455-462. [hal-00719903](https://doi.org/10.1080/00137170802548261)
69. Van Leeuwen, C., Destrac-Irvine, A., Dubernet, M., Duchene E., Gowdy, M., Marguerit, El., Pieri, P., Parker, A., de Resseguier, L. and Ollat, N. An Update of the Impact of Climate Change in Viticulture and Potential Adaptations. Agronomy 2019, 9 (9), 514.
70. Vittorio Alba, Giovanni Gentilesco, Luigi Tarricone (2021). Climate change in a typical Apulian region for table grape production: spatialisation of bioclimatic indices, classification and FutureScenarios. OENO One 55(3),317–336. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2021.55.3.4733>
71. Winkler A. J., Cook A., Kliewere W. M., Lider L. A. (1974):.General Viticulture, (4th ed.), University of California Press, Berkeley, 740 p.
72. Yan-lun Ju, Bo-han Yang, Shuang He, Ting-yao Tu, Zhuo Min, Yu-lin Fang, Xiang-yu Sun, (2018). Anthocyanin accumulation and biosynthesis are modulated by regulated deficit irrigation in Cabernet Sauvignon (Vitis Vinifera L.) grapes and wines 135:469-479. doi: [10.1016/j.plaphy.2018.11.013](https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.11.013).

73. Yujuan Lei, Sha Xie, Huangzhao Chen, Xueqiang Guan, Zhenwen Zhang, (2018) Behavior of 3-isobutyl-2-methoxypyrazine biosynthesis related to proposed precursor and intermediate in wine grape Food Chemistry 277 pp.609-616. doi: [10.1016/j.foodchem.2018.10.121](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.10.121).

12.2 Ελληνική βιβλιογραφία

1. Λαζόγλου Κ.Ειρήνη (2015), Περιοχική μελέτη της επίδρασης των κλιματικών αλλαγών στην ελληνική αμπελουργία [10.26262/heal.auth.ir.281666](https://doi.org/10.26262/heal.auth.ir.281666)
2. Φλεσούρα Ειρήνη (2021). Οι συνέπειες της κλιματικής αλλαγής στην ποιότητα των σταφυλιών (Πτυχιακή εργασία). [11400/49813213](https://doi.org/10.11400/49813213).

12.3 Πηγές

1. https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/3734/1/02_chapter_05.pdf?fbclid=IwAR01Ai3fhmGeQjQSbF6KaYmbu4XKXsG4Str6LUBNRcbtck5816nWgooo2PA
2. <http://geolib.geo.auth.gr/index.php/grelit/article/view/12346>
3. https://www.bankofgreece.gr/RelatedDocuments/EMEKA_tourismos_2014_kef%203.pdf?fbclid=IwAR3L0MiKLSZlyQwF792YZO6W3_RqnGgQWo74O6A6dv8qyljAP_vqP71Jc5c
4. https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/3734/1/02_chapter_05.pdf?fbclid=IwAR07cdk9QVbIIejuFW8c0zzhmZ7q7ffJZBw5NWtfxYAZvahB4pLY7NMKP4k
5. <https://www.nature.com/articles/s41597-020-00726-5.pdf>
6. <https://www.worldclim.com/bioclim>
7. <https://www.nature.com/articles/s41597-020-00726-5>
8. https://youmatter.world/en/definition/climate-change-meaning-definition-causes-and-consequences/?fbclid=IwAR0jBYBh56j_B8yupRZ8xyZ9ZaNocrFLA9RzPeU969It38uEvh3-Pvod89A
9. <https://www.britannica.com/topic/wine#ref66638>
10. https://ilmasto-opas.fi/en/ilmastonmuutos/ilmio?fbclid=IwAR33QXjw6BI_tggL3kHjvTZ1pWp8vPqZ3JqR5eolvKZLOoPqztIP6-D5EwI
11. <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/wcc/home/climateSupport/wetlandsClimateTables/growingSeasonDatesLength/>
12. http://gisc.gr/sac/docs/proceedings_sac1/39_Kalivas_Dimou_SAC1.pdf
13. <https://getefento.com/application/vineyards-measurement-of-climatic-parameters/#:~:text=THE%20LENGTH%20OF%20THE%20GROWING%20SEASON%20%28LGS%29%20is,Quick%20and%20easy%20implementation%20Complete%20remote%20monitoring%20system>
14. <https://www.climatefruitandwine.co.za/>
15. <https://www.winebusiness.com/>
16. <https://oeno-one.eu/article/view/1868>
17. https://oeno-one.eu/article/view/1868?fbclid=IwAR2JXb8FJgzZDnUNT_2WOFCSqk9F1RDVI7mh2IkK3zfdA8_aQPM8E__3JWM

