

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΩΝ
ΓΕΩΠΟΝΩΝ



TECHNOLOGICAL
EDUCATIONAL
INSTITUTE of CRETE
DEPARTMENT of PLANT
SCIENCES

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

«Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΛΛΕΙΜΜΑΤΙΚΗΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ
ΣΤΗΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΗΣ ΑΜΠΕΛΟΥ (*VITIS VINIFERA L.*)
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΩΝ, ΑΝΑΤΟΜΙΚΩΝ,
ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΙ ΒΙΟΧΗΜΙΚΩΝ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΩΝ ΤΩΝ
ΚΥΡΙΟΤΕΡΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΩΝ ΠΟΙΚΙΛΙΩΝ»

ΜΑΡΙΝΑ ΚΑΡΑΝΤΙΝΑΚΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΔΟΥΠΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΗΡΑΚΛΕΙΟ

ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2014

ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ ΤΡΙΜΕΛΟΥΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ

ΚΑΘ.

ΚΑΘ.

ΚΑΘ.

Στον Μηνά και την Άννα, που δεν παραιτήθηκαν ποτέ.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διατριβή ξεκίνησε και ολοκληρώθηκε στο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, στο τμήμα Τεχνολόγων Γεωπόνων, της Σχολής Τεχνολόγων Γεωπονίας, στο Ηράκλειο Κρήτης. Αυτή τη στιγμή που το έργο έχει ολοκληρωθεί, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου Δρ Δούπη Γεώργιο, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε και την ανάθεση της παραπάνω εργασίας, για τις ώρες που μου αφιέρωσε αλλά και την συμπαράσταση του σε επιστημονικό και προσωπικό επίπεδο.

Επιπροσθέτως, σεβασμό και ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στον εργοδότη μου κ. Νικόλαο Μπουνάκη, πρόεδρο και διευθύνων σύμβουλο της εταιρείας “Proactive A.E”, όπου εκπλήρωσα την πρακτική μου άσκηση, καθώς επίσης και στην προϊσταμένη του τμήματος, Καλαϊτζάκη Κλαίρη, και την συνάδελφο μου Σμυρνωτάκη Μαρία, για την απεριόριστη κατανόηση και διευκόλυνση σε όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της πτυχιακής μου.

Τέλος, αναμφίβολα πολλά ευχαριστώ αξίζουν για την ολοκλήρωση της εργασίας μου αλλά και για την ολοκλήρωση των σπουδών μου η οικογένεια μου και οι φίλοι μου που με την καθημερινή τους παρουσία και τη συναισθηματική τους υποστήριξη μου έδιναν συνεχώς κίνητρα για να προχωρήσω.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	IV
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	V
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	1
1. ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΣΑΓΩΓΗ	2
1.1 ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ-ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΗΣ ΑΜΠΕΛΟΥ.....	2
1.1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	
1.1.2 ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΑΜΠΕΛΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΚΑΙ ΕΘΝΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ. ΚΥΡΙΟΤΕΡΕΣ ΕΠΙΤΡΑΠΕΖΙΕΣ ΚΑΙ ΟΙΝΟΠΟΙΗΣΙΜΕΣ ΠΟΙΚΙΛΕΣ	3
1.1.3 Η ΑΜΠΕΛΟΥΡΓΙΑ ΣΤΗΝ ΚΡΗΤΗ	12
1.2 ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΚΑΙ ΕΛΛΕΙΨΗ ΝΕΡΟΥ	12
1.3 ΤΟ ΚΛΙΜΑ ΤΗΣ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	
1.4 ΦΥΤΙΚΗ ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΑΒΙΟΤΙΚΟΥ ΣΤΡΕΣ	14
2. Η ΑΡΔΕΥΣΗ ΣΤΗ ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΑΜΠΕΛΟΥΡΓΙΑ	18
2.1 ΑΡΔΕΥΤΙΚΕΣ ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΜΠΕΛΩΝΑ ΣΕ ΝΕΡΟ	18
2.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΕΛΛΕΙΜΜΑΤΙΚΗΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ (REGULATED DEFICIT IRRIGATION-RDI)21	
2.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΤΗΣ ΜΕΡΙΚΗΣ ΞΗΡΑΝΣΗΣ ΤΟΥ ΡΙΖΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ (PARTIAL ROOT ZONE DRYING-PRD)	23
3. ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΜΠΕΛΟΥ ΣΤΗΝ ΥΔΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ.....	25
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΥΔΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ ΚΑΙ ΦΥΤΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ.....	25
3.2 ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΚΑΙ ΕΚΦΡΑΣΗ ΣΗΜΑΤΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΥΔΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ.....	27
3.2.1 ΧΗΜΙΚΑ ΚΑΙ ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΣΗΜΑΤΑ.....	27
3.2.2 ΤΟ ΑΜΠΙΣΙΣΣΙΚΟ ΟΞΥ-ΑΒΑ ΩΣ ΣΗΜΑ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗΣ.....	28
3.2.3 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΚΥΤΟΚΙΝΙΝΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΡΥΘΜΙΣΗ ΤΗΣ ΣΤΟΜΑΤΙΚΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....	29
3.2.4 Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΤΙΜΩΝ ΡΗ ΤΟΥ ΑΓΩΓΟΥ ΙΣΤΟΥ ΣΤΗ ΜΕΤΑΓΩΓΗ ΣΗΜΑΤΩΝ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΣΤΡΕΣ ΑΠΟ ΤΗ ΡΙΖΑ ΣΤΟ ΒΛΑΣΤΟ.	30
3.3 ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΣΗ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΛΛΕΙΨΗΣ ΝΕΡΟΥ	32
3.4 ΟΞΕΙΔΩΤΙΚΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΛΛΕΙΨΗΣ ΝΕΡΟΥ	34
3.4.1 ΕΝΕΡΓΕΣ ΡΙΖΕΣ ΟΞΥΓΟΝΟΥ (REACTIVE OXYGEN SPECIES-ROS)	34
3.4.2 ΑΝΤΙΟΞΕΙΔΩΤΙΚΟΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ	35

4 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΠΡΑΚΤΙΚΩΝ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΕΠΙ ΤΩΝ	
ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΤΩΝ ΠΡΕΜΝΩΝ	37
4.1 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ	37
4.2 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ ΤΩΝ ΑΛΛΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ	39
4.3 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΑΝΤΑΛΛΑΓΗΣ ΑΕΡΙΩΝ	42
4.4 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ ΤΩΝ ΦΥΤΟΡΜΟΝΩΝ	43
4.5 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΕΩΝ ΣΤΟΥΣ ΟΡΓΑΝΟΛΗΠΤΙΚΟΥΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΕΣ ΤΟΥ ΠΡΟΙΟΝΤΟΣ	44
5 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΠΡΑΚΤΙΚΩΝ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΕΠΙ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ	
ΚΑΙ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΩΝ ΚΑΡΠΩΝ ΤΩΝ ΠΡΕΜΝΩΝ	41
5.1 RDΙ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΣΤΗΝ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΠΡΟΙΟΝΤΟΣ	41
5.2 PRD ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΣΤΗΝ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΠΡΟΙΟΝΤΟΣ	42
6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ	43
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	48

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η άμπελος θεωρείται παραδοσιακά μια μη αρδευόμενη καλλιέργεια η οποία καταλαμβάνει σημαντικές γεωργικές εκτάσεις σε ξηρές και ημίξηρες περιοχές της Μεσογειακής ζώνης. Τα τελευταία χρόνια όμως πραγματοποιείται άρδευση με διάφορες αρδευτικές μεθόδους σε πολλές αμπελουργικές περιοχές, με σκοπό να αυξηθεί η μειωμένη παραγωγή. Σημειώνεται ότι η χρήση της άρδευσης στην παραδοσιακή αμπελοκαλλιέργεια αποτελούσε πάντοτε αντικείμενο διαμάχης καθώς, ενώ η συμπληρωματική εφαρμογή νερού δύναται να αυξήσει την παραγωγή και να βελτιώσει την ποιότητα των καρπών, η υπερβολική όμως άρδευση μπορεί να επιφέρει υπέρμετρη βλαστική ανάπτυξη και να υποβαθμίσει τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά της παραγωγής. Από την άλλη, με βάση τα κλιματικά μοντέλα πρόβλεψης, η συχνότητα των ακραίων καιρικών φαινομένων, οι καύσωνες, το μήκος των περιόδων ανομβρίας, καθώς και οι περιορισμένες και ακανόνιστες βροχοπτώσεις προβλέπεται να αυξηθούν, με αρνητικές επιπτώσεις, ευρύτερα για τις κοινωνίες και το περιβάλλον, και ειδικότερα για την απόδοση και την ποιότητα των καλλιεργούμενων ποικιλιών αμπέλου. Σύμφωνα με τους ειδικούς η ποιότητα και η διαθεσιμότητα του νερού, θα αποτελέσουν κρίσιμα προβλήματα που απαιτούν την αντίστοιχη διαχείριση από τους παραγωγούς. Για να μειωθούν οι αρνητικές συνέπειες της υπερ-άρδευσης στην παραγωγή κρασιού και, ταυτόχρονα, να αυξηθεί η αποτελεσματικότητα χρήσης νερού (Water Use Efficiency-WUE) της καλλιέργειας, εφαρμόστηκαν νέες τεχνικές ελλειμματικής άρδευσης όπως είναι οι μέθοδοι PRD (Partial Root zone Drying -μερική ξήρανση του ριζικού συστήματος) και DI (Deficit Irrigation-εφαρμογή ήπιας υδατικής καταπόνησης με την χορήγηση αρδευτικού νερού σε ποσότητες μικρότερες του 100% της εξατμισοδιαπνοής).

Η παρούσα πτυχιακή μελέτη αποσκοπεί στη βιβλιογραφική ανασκόπηση των μηχανισμών αναγνώρισης και μεταγωγής των σημάτων υδατικής καταπόνησης (ρυθμός φωτοσύνθεσης, στοματική λειτουργία, φθορισμός χλωροφύλλης, συγκέντρωση φωτοσυνθετικών χρωστικών, ολικές πρωτεΐνες, φυτοορμόνες (ABA, κυτοκινίνες), αντιοξειδωτικά ένζυμα) καθώς και των μεταβολών σε ανατομικό επίπεδο (μήκος βλαστού, νωπό και ξηρό βάρος φύλλου, φυλλική επιφάνεια) και σε επίπεδο παραγωγής (οργανοληπτικά χαρακτηριστικά προϊόντος, όγκος παραγωγής) των κυριότερων οινοποιήσιμων και επιτραπέζιων ποικιλιών του παγκόσμιου αμπελώνα, κατά την εφαρμογή διαφόρων μεθόδων ελλειμματικής άρδευσης στη σύγχρονη αμπελοκαλλιέργεια.

1. ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΣΑΓΩΓΗ

«ήρξατο Νώε άνθρωπος γεωργός
της και εφύτευσεν αμπελώνα»

Γένεσις, θ' 20

1.1 Προέλευση-Καλλιέργεια της αμπέλου

1.1.1 Ιστορική αναδρομή

Σύμφωνα με αναφορές, η χρήση του καρπού της αμπέλου ξεκίνησε κατά τη διάρκεια της Νεολιθικής εποχής (6000-5000 π.Χ.) κατά μήκος των ανατολικών ακτών της Μαύρης Θάλασσας στην περιοχή που είναι γνωστή με το όνομα Τρανσκαυκάσια . Άλλα αρχαιολογικά αποτυπώματα γιγάρτων σταφυλιών δείχνουν ότι το *Vitis vinifera L.* ή ο πρόγονος του *Vitis sylvestris* ήταν κατανεμημένο σε όλη την Ευρώπη κατά τη διάρκεια της Ατλαντικής παλαιοκλιματικής περιόδου. Το φυτό της αμπέλου, εμφανίστηκε από Βόρεια μέχρι το Βέλγιο και πρόσφατες αρχαιολογικές έρευνες στην Ισπανία αποκάλυψαν σπόρους σταφυλιού οι οποίοι σύμφωνα με τη ραδιοχρονολόγηση είναι ηλικίας 4350-3950 χρόνων (Walker, 1985) Είναι πιθανό ότι οι προϊστορικοί άνθρωποι έτρωγαν σταφύλια από άγρια είδη. Από το 4000 π.Χ., η αμπελουργία και η οινολογία εξαπλώθηκαν από την Τρανσκαυκάσια στην Μεσοποταμία μέσω της εύφορης κοιλάδας και το Δέλτα του Νείλου. Η αμπελουργία απεικονίστηκε σε μωσαϊκά στην 4^η δυναστεία της Αιγύπτου το 2440 π.χ.

Οι νόμοι του εμπορίου και του κρασιού, και της κατανάλωσης αυτού, θεσπίστηκαν από τον Χαμουραμί της Βαβυλωνίας το 1700 π.Χ. Λέγεται ότι η καλλιέργεια της αμπέλου πρωτοεμφανίστηκε στην Κίνα, περίπου το 2000 π.Χ., αλλά απαγορεύτηκε από τον αυτοκράτορα. Είναι περισσότερο πιθανόν οι καλλιεργούμενες ποικιλίες στην Κίνα να ξεκίνησαν από τη Μεσοποταμία κατά τη διάρκεια της δυναστείας του Χαν τον 2^ο αιώνα π.Χ. (Σταυρακάκης, 2013).

Παρ'όλα αυτά, δεν μπορεί κανείς να πει με βεβαιότητα ποιος είναι ο τόπος καταγωγής της

αμπέλου αφού σύμφωνα με τους παλαιοντολόγους η καταγωγή του φυτού είναι παλαιότερη του ανθρώπου και έχει προϊστορία πολλών εκατομμυρίων χρόνων.

Το αμπέλι είναι μία από τις αρχαιότερες καλλιέργειες. Η καταγωγή της αμπέλου χάνεται στα βάθη των αιώνων. Σύμφωνα με τους παλαιολόγους η ιστορία της αμπέλου αρχίζει το πρώτο μισό του Καινοζωικού αιώνα. Αν σκεφτεί κανείς ότι ο αιώνας αυτός διήρκεσε 55 εκατομμύρια χρόνια, καταλαβαίνει ότι η ιστορία της αμπέλου ξεπερνά αυτήν του ανθρώπου, ο οποίος εμφανίζεται στο δεύτερο μισό του καινοζωικού αιώνα. Δεν μπορεί να ισχυριστεί κανείς με βεβαιότητα ποιος είναι ο τόπος καταγωγής της αμπέλου, καθώς έχει όπως προείπαμε, κατά τους παλαιοντολόγους προϊστορία πολλών εκατομμυρίων χρόνων (Τσακίρης,2003). Μια παλαιότερη άποψη υποστηρίζει ότι η άμπελος πρωτοεμφανίστηκε στη Δυτική Ασία. Πριν από την εποχή των μεγάλων παγετώνων υπήρχαν αμπέλια ακόμα και στις σημερινές πολικές περιοχές. Μετά τους παγετώνες, η άμπελος περιορίστηκε σε περιοχές με ευνοϊκότερο κλίμα, όπως εκείνες του Καυκάσου και της Μεσοποταμίας. Έτσι, σύμφωνα με ορισμένους ερευνητές, ο Καύκασος, η Μεσοποταμία, και η Αρχαία Αίγυπτος θεωρούνται οι κοιτίδες της αμπελοργίας και του κρασιού. Μια νεώτερη άποψη όμως που βασίζεται σε απολιθώματα ηλικίας τριών εκατομμυρίων ετών θεωρεί την Ευρώπη σαν τόπο καταγωγής της αμπέλου. Εν κατακλείδι, κυριαρχεί η άποψη ότι πριν από την εποχή των παγετώνων ευδοκίμωσε στην πολική ζώνη (Ισλανδία, βόρεια Ευρώπη, βορειοδυτική Ασία, αλλά και στην Αλάσκα. Οι παγετώνες όμως περιόρισαν την εξάπλωση της και «επέβαλαν» γεωργική απομόνωση μεταξύ ποικιλιών, που τελικά εξελίχθηκαν σε διαφορετικά είδη.

Αρχικά, διάφοροι πληθυσμοί άγριων αμπελώνων απωθήθηκαν προς θερμότερες ζώνες, όπως την κεντρική-ανατολική Ασία, (απ' όπου τελικά πέρασαν κάποια στελέχη και στην Αμερική), την κεντρική-νότια Ευρώπη, αλλά και προς την ευρύτερη περιοχή του νότιου Καυκάσου. Εκεί, μεταξύ Εύξεινου Πόντου, Κασπίας θάλασσας και Μεσοποταμίας, γεννήθηκε το είδος *Vitis vinifera* (Άμπελος η οиноφόρος), που καλλιεργείται σήμερα σχεδόν αποκλειστικά, σε διάφορες ποικιλίες και υβρίδια.

Στην Ελλάδα, πρέπει να εμφανίστηκε την 4^η χιλιετία π.Χ. Πιστεύεται ότι οι Έλληνες έμαθαν και γνώρισαν το κρασί από τους ανατολικούς λαούς (Φοίνικες και Αιγύπτιους) με τους οποίους είχαν εμπορικές σχέσεις και οι Κυκλαδίτες και οι Μινωίτες αλλά και οι Μυκηναίοι αργότερα. Σημασία έχει ότι η αμπελοκαλλιέργεια έγινε γνωστή πολύ γρήγορα σε όλη την Ελλάδα. Αυτό αποδεικνύεται από πλήθος νομισμάτων που απεικονίζουν σταφύλια στη μια

όψη και το θεό Διόνυσο στην άλλη. Στην πραγματικότητα, δεν είναι ακριβώς γνωστό πότε άρχισε η καλλιέργεια της αμπέλου καθώς και ο δρόμος που ακολούθησε για να φτάσει στη χώρα μας. Οι Έλληνες οι οποίοι διέπρεψαν στην οινοποιία μονοπωλώντας σχεδόν την αγορά για αιώνες, γνώρισαν το κρασί πιθανότατα από την αρχή της εγκατάστασης τους στο σημερινό τους τόπο, δηλαδή τουλάχιστον πριν το 1700 π.Χ (Βέκιος κ.α 2001), ενώ στην Κρήτη την περίοδο 1750-1450 π.Χ φαίνεται ότι η άμπελος, καλλιεργούταν συστηματικά. (Τσακίρης, 2003).

Σύμφωνα με την ιστορία λοιπόν, οι Έλληνες έμαθαν το κρασί από τους ανατολικούς λαούς (Φοίνικες ή/και Αιγύπτιους), με τους οποίους τόσο οι Μυκηναίοι, όσο και οι προγενέστεροι Κυκλαδίτες και Μινωίτες είχαν ανεπτυγμένες εμπορικές σχέσεις. Η σχετική με το κρασί μυθολογία (Διονυσιακοί, Ορφικοί κ.α μύθοι) είναι πλουσιότατη, δεν δίνει όμως συγκεκριμένες ενδείξεις. Αλλού η άμπελος εμφανίζεται ξαφνικά από μόνη της ή τη χαρίζει ο θεός Διόνυσος στους «Ελλαδίτες», με τρόπο που δημιουργεί σκέψεις για παρουσία της αμπέλου στον ελλαδικό χώρο πολύ πριν την έλευση των Ελλήνων. Αλλού το κρασί συνδέεται με την Κρήτη και τη Νάξο (μύθος «Διόνυσου και Αριάδνης», ενισχύοντας την εκδοχή περί φοινικικής ή αιγυπτιακής προέλευσης, ενώ αλλού πάλι η άμπελος φέρεται ερχόμενη από τη Θράκη, που σύμφωνα με κάποιες πηγές ήταν ο βασικός προμηθευτής των Ελλήνων στους Μυκηναϊκούς χρόνους(άλλωστε η λατρεία του Διονύσου θεωρείται θρακικής-μικρασιατικής καταγωγής).

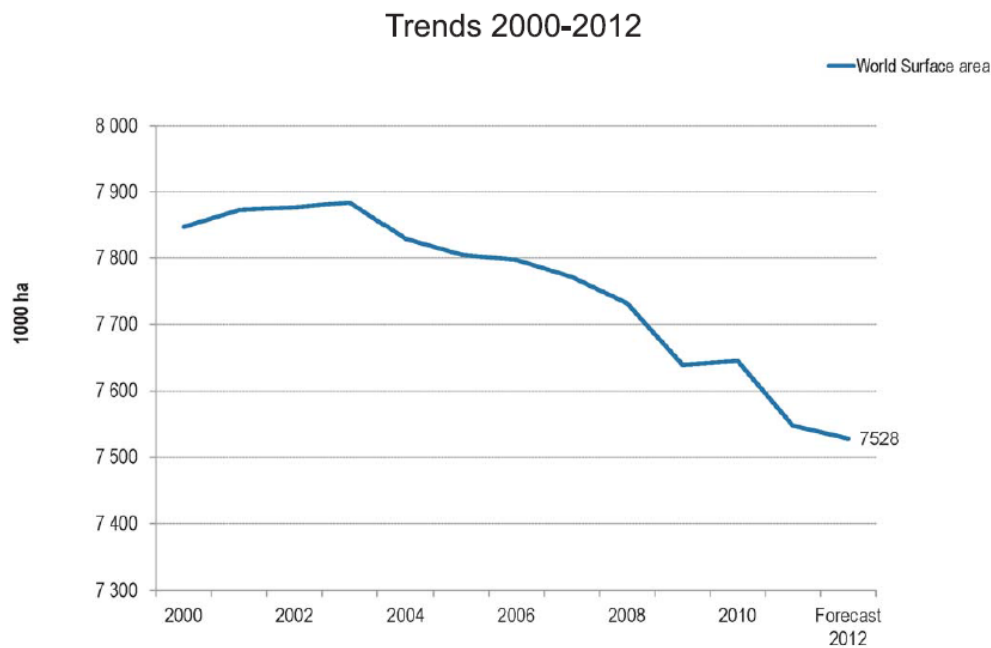
Η περίοδος της τουρκοκρατίας δεν περιόρισε σημαντικά την ελληνική αμπελουργία, παρά τις γενικότερες δυσκολίες και την υψηλή φορολογία. Σχετικά ευνοημένα βρέθηκαν τα μοναστηριακά κτήματα, αλλά και οι νησιώτικες περιοχές, όπου η περίοδος της τουρκικής κυριαρχίας σε πολλές περιπτώσεις ήταν συντομότερη και η επιβολή φόρων κάπως πιο χαλαρή. Την ίδια περίοδο στη Δύση, η τέχνη του κρασιού, γνώρισε μεγάλη ανάπτυξη που οδήγησε στη σημερινή της ακμή. Από τον 13^ο αιώνα οι Άραβες προώθησαν την αμπελουργία στην κατεκτημένη Ιβηρική χερσόνησο, έτσι τον 16^ο αιώνα έχει πλέον εξαπλωθεί σχεδόν παντού στην Ισπανία αλλά και στην Γαλλία, στην οποία η σημαντικότερη ανάπτυξη οδήγησε (το 1730) ακόμα και σε νόμους για τον περιορισμό της καλλιέργειας. Με την εξερεύνηση των θαλάσσιων οδών από τους μεγάλους Ισπανούς και Πορτογάλους εξερευνητές, άνοιξαν νέοι ορίζοντες, καθώς το εμπόριο συνέβαλε, όπως και παλαιότερα στην ανάπτυξη της οινοποιίας, ενώ επιχειρήθηκε η αμπελοκαλλιέργεια στη Νότιο Αφρική, την Αυστραλία και το Νέο Κόσμο (Ρουμπελάκη-Αγγελάκη Κ., 1998).

Το τελευταίο αυτό εγχείρημα είχε απρόβλεπτες συνέπειες, οφειλόμενες κυρίως σε ένα μικρό και άγνωστο μέχρι τότε έντομο, τη φυλλοξήρα στον αμερικανικό περονόσπορο καθώς και στον επίσης αμερικανικής προέλευσης μύκητα οΐδιο. Η ευρωπαϊκή άμπελος (*Vitis vinifera*) δε μπορούσε να επιβιώσει στη νέα ήπειρο, ιδίως στο βόρειο τμήμα της. Αυτό ανάγκασε τους αποίκους να χρησιμοποιήσουν ενδημικά, ανθεκτικά αμερικάνικα είδη (άγρια μέχρι τότε, καθώς οι ινδιάνοι ουδέποτε επιδόθηκαν στην αμπελουργία), όπως τα *Vitis rotundifolia*, *Vitis alicata*, *Vitis riparia* κ.α., συνήθως μετά από υβριδισμό με ευρωπαϊκές ποικιλίες *Vitis vinifera*. Όταν, από τον 18^ο αιώνα και έπειτα, μεταφέρθηκαν τέτοιες υβριδικές ποικιλίες στην Ευρώπη, το οΐδιο και ο περονόσπορος προκάλεσαν μεγάλες καταστροφές στους Γαλλικούς αμπελώνες (μέσα 19^ο αιώνα). Η εισαγωγή καθαρών αμερικανικών ποικιλιών για να αντιμετωπιστεί το κακό, συνοδεύτηκε από την εισαγωγή της φυλλοξήρας, που πλέον σχεδόν εξολόθρευσε τα γαλλικά αμπέλια, και όχι μόνο, καθώς στο πρώτο μισό του 20^ο αιώνα έπληξε πολύ σοβαρά τη Βόρειο Ελλάδα. Τα προβλήματα αυτά λύθηκαν με την μελέτη και καλλιέργεια των ευρωπαϊκών ποικιλιών, εμβολιασμένες με ανθεκτικά αμερικάνικα υποκείμενα και «διηπειρωτικά» υβρίδια (Σταυρακάκης, 2013).

Όσον αφορά τη νεότερη ελληνική αμπελουργία, αυτή υπέστη σχεδόν ολοκληρωτική καταστροφή κατά την επανάσταση του 1821, αλλά στη συνέχεια οι καλλιεργούμενες εκτάσεις αποκαταστάθηκαν και μάλιστα αυξήθηκαν, πολύ γρήγορα. Στις επόμενες δεκαετίες η αμπελουργία συνολικά αναπτύχθηκε και οι αντίστοιχες εκτάσεις στην ελληνική επικράτεια αυξήθηκαν, έως τα μέσα όμως του 20^ο αιώνα είχε επέλθει ξανά σημαντική πτώση, οφειλόμενη στην επιδημία της φυλλοξήρας. Από την επανάσταση και μετά, μπήκαν οι βάσεις της ελληνικής οινολογίας και της, επιστημονικού πλέον επιπέδου, παραγωγής κρασιού ελεγχόμενης και υψηλής ποιότητας. Η ποιότητα μπορεί να μην είναι ακόμη πλήρως αντιπροσωπευτική των καλύτερων δυνατοτήτων της τοποθεσίας σε κάθε περίπτωση, όμως η Ελλάδα σιγά σιγά μπορεί να ξανακερδίσει τη φήμη που είχαν αποκτήσει τα κρασιά της ήδη από την αρχαιότητα (Τσακίρης, 2003).

1.1.2 Υφιστάμενη κατάσταση της αμπελοκαλλιέργειας σε παγκόσμιο και εθνικό επίπεδο. Κυριότερες επιτραπέζιες και οινοποιήσιμες ποικιλίες

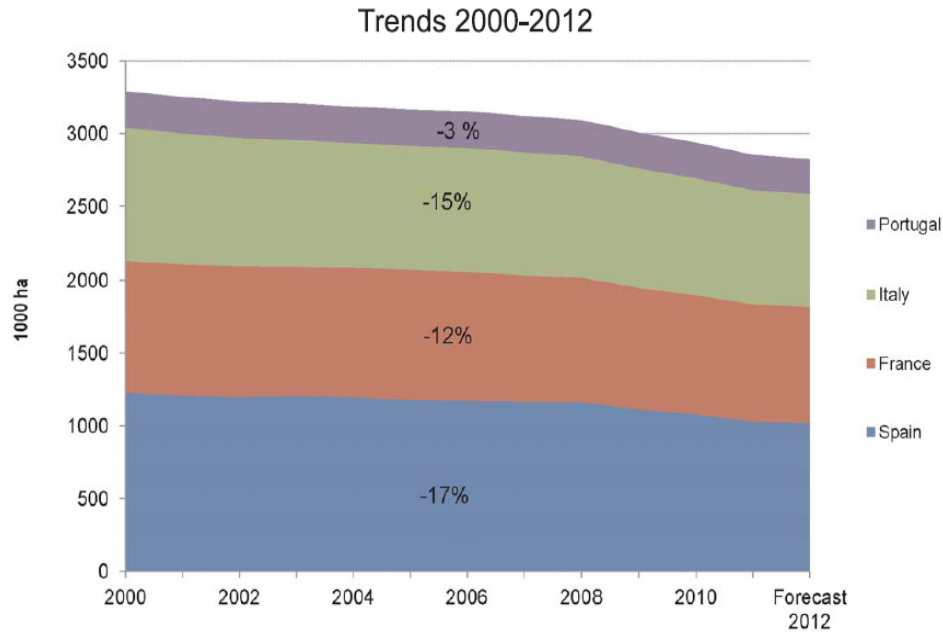
World vineyards



Εικόνα 1: Παγκόσμια απογραφή καλλιεργητικών εκτάσεων αμπελώνων κατά τα έτη 2000-2012 (OIV, 2013).

Τα τελευταία χρόνια έχει σημειωθεί μείωση των καλλιεργούμενων εκτάσεων αμπελώνων παγκοσμίως. Ωστόσο η πτώση αυτή κατά το καλλιεργητικό έτος 2011-2012 είναι μικρότερη συγκριτικά με τα προηγούμενα καλλιεργητικά έτη (Εικόνα 1)

European vineyards



Εικόνα 2: Απογραφή καλλιεργητικών εκτάσεων αμπελώνων κατά τα έτη 2000-2012 στην Ευρώπη (OIV, 2013).

Στην Ευρώπη το μεγαλύτερο ποσοστό καλλιεργούμενων εκτάσεων αμπελιού κατέχει η Ισπανία ενώ άλλες χώρες με μεγάλες εκτάσεις σταφυλιών είναι η Ιταλία η Πορτογαλία και η Γαλλία. Αξίζει ωστόσο να σημειωθεί, ότι αν και οι περισσότερες εκτάσεις επιτραπέζιου σταφυλιού τοποθετούνται στην Ισπανία, έχουν μειωθεί σε μεγαλύτερο ποσοστό σε σχέση με τις προαναφερθείσες χώρες (Εικόνα 2). Στην Ελλάδα, τα περισσότερα οινοποιήσιμα σταφύλια καλλιεργούνται στην Πελοπόννησο, τη Δυτική Ελλάδα αλλά και στην Κρήτη (Πίνακας 1)

Απογραφή αμπελουργικών εκτάσεων					
Κράτος μέλος:		ΕΛΛΑΔΑ			
Αμπελουργική περίοδος:		2011-2012			
Ημερομηνία ανακοίνωσης:		ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2013			
Περιφέρεια	Πραγματικά φυτευμένη έκταση (ha)				
	οίνος με προστατευόμενη ονομασία προέλευσης	οίνος με προστατευόμενη γεωγραφική ένδειξη	υποσύνολο για οίνους με ΠΟΠ/ΠΓΕ	οίνοι χωρίς προστατευόμενη ονομασία προέλευσης / γεωγραφική ένδειξη	Σύνολο
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1. ΑΝ. ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΘΡΑΚΗΣ	0,00	1.111,80	1.111,80	872,65	1.984,45
2. Κ. ΜΑΚ/ΝΙΑΣ	950,00	1.287,80	2.237,80	2.532,22	4.770,02
3. Δ. ΜΑΚ.ΝΙΑΣ	510,00	525,00	1.035,00	1.568,00	2.603,00
4. ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	600,00	860,00	1.460,00	2.872,50	4.332,50
5. ΗΠΕΙΡΟΥ	150,00	185,00	335,00	371,10	706,10
6. ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΙΩΝ	350,00	352,00	702,00	1.968,42	2.670,42
7. ΔΥΤ. ΕΛΛΑΔΑΣ	750,00	1.250,00	2.000,00	7.015,60	9.015,60
8. ΣΤΕΡ. ΕΛΛΑΔΑΣ	0,00	2.455,00	2.455,00	4.932,05	7.387,05
9. ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ	2.957,00	3.170,00	6.127,00	5.360,10	11.487,10
10. ΑΤΤΙΚΗΣ	0,00	2.143,00	2.143,00	4.670,28	6.813,28
11. ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	2.200,00	215,00	2.415,00	627,15	3.042,15
12. ΝΟΤΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	2.100,00	230,00	2.330,00	1.571,72	3.901,72
13. ΚΡΗΤΗΣ	1.480,00	1.750,00	3.230,00	4.530,43	7.760,43
Σύνολο κράτους μέλους	12.047,00	15.534,60	27.581,60	38.892,22	66.473,82

Πίνακας 1: Απογραφή οινοποιήσιμων αμπελουργικών εκτάσεων στην Ελλάδα (ΥΠΑΑΤ, 2013).

Επιτραπέζια σταφύλια	2012
Εκτάσεις αμπελώνων	17,960
Εκτάσεις συγκομιδής σταφυλιών	17,820
Παραγωγή	292,700
Εισαγωγές	1,138
Εγχώρια κατανάλωση	230,833
Εξαγωγές	63,005

Πίνακας 2: Οικονομικά στοιχεία και επιγραφή επιτραπέζιων σταφυλιών στην Ελλάδα (USDA,2013).

Από τους παραπάνω δύο πίνακες, προκύπτει ότι το σύνολο των οινοποιήσιμων εκτάσεων σταφυλιού στην Ελλάδα, είναι μεγαλύτερο από το σύνολο των επιτραπέζιων. Επίσης, σύμφωνα με τον πίνακα 2, οι εξαγωγές στην Ελλάδα ήταν περισσότερες από τις εισαγωγές ενώ και η παραγωγή επιτραπέζιων σταφυλιών στη χώρα μας, δύναται να καλύψει τις απαιτήσεις της εγχώριας κατανάλωσης.

Απογραφή κύριων οινοποιήσιμων ποικιλιών αμπέλου		
Κράτος μέλος:	ΕΛΛΑΔΑ	ΕΛΛΑΔΑ
Αμπελουργική περίοδος:	2011-2012	
Ημερομηνία ανακοίνωσης:	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2013	
Ποικιλία	Πραγματικά φυτευμένη έκταση (ha)	Ποσοστό (%)
(1)	(2)	(3)
1. ΣΑΒΒΑΤΙΑΝΟ	11.306,30	17,01
2. ΡΟΔΙΤΗΣ	9.127,89	13,73
3. ΑΓΙΩΡΓΙΤΙΚΟ	3.619,52	5,45
4. ΞΥΝΟΜΑΥΡΟ	2.239,77	3,37

5. ΛΙΑΤΙΚΟ	2.218,00	3,34
6. CABERNET SAUVIGNON	2.113,64	3,18
7. ΑΣΥΡΤΙΚΟ	1.821,97	2,74
άλλες	34.026,73	51,19
Σύνολο	66.473,82	100,00

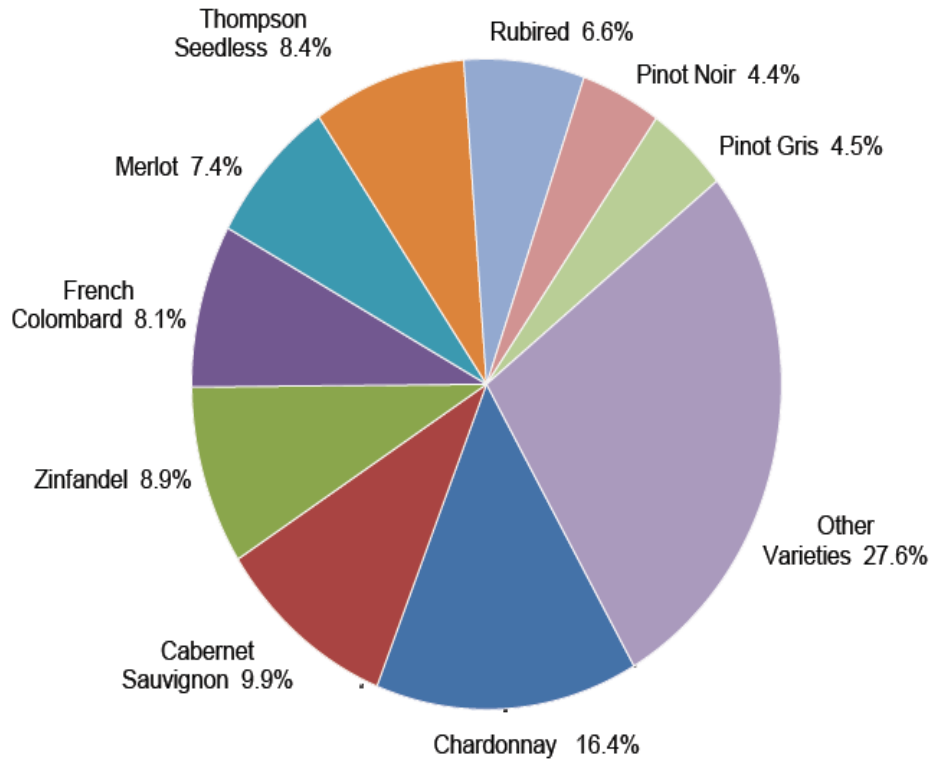
Πίνακας 3: Κυριότερες οινοποιήσιμες ποικιλίες αμπέλου στην Ελλάδα (ΥΠΑΑΤ,2013)

Η κυριότερη οινοποιήσιμη ποικιλία σταφυλιών στην Ελλάδα σύμφωνα με τον πίνακα 3 είναι το Σαββατιανό σε ποσοστό 17,01% και η κυριότερη επιτραπέζια ποικιλία είναι η Thomson seedless (κοινώς γνωστή ως σουλτανίνα).(USDA,2013).

BLACK SEEDED	WHITE SEEDED	WHITE SEEDLESS
Alphonse Lavallée	Almeria	Centennial
Barlinka	Bellevue (Peridot)	Dawn
Black Emperor	Bien Donnè	Grapes (Early Sweet)
Bonheur	Datal	Ice Seedless
Bonita (Sonita)	Dauphine	Mystery
Dan Ben Hannah (Black Emperor) Ebony Star	Erlihane	Muscat Seedless
La Rochelle	Italia	Prime
Evening Pearl	Majestic	Regal Seedless
Ronelle (Black Gem)	Moonballs	
	Muska	
BLACK SEEDLESS	Muscat Delight	Sugraone (Superior Seedless)
Autumn Royal	Muscat Supreme	Coachella (Sugra twelve)
Desert Seedless	New Cross	Sundance seedless
Eclipse Seedless	Olivette	Thompson seedless
	Queen of the Vineyard	
	Victoria	
	Waltham Cross	
	White Gem	

Πίνακας 4 :Κυριότερες επιτραπέζιες ποικιλίες σταφυλιών παγκοσμίως(UNECE,2011)

Leading Varieties Crushed Percentage of Total 2011 Crush



Source: USDA, NASS, California Field Office

Εικόνα 3 : Κυριότερες οινοποιήσιμες ποικιλίες παγκοσμίως (NASS, USDA 2013)

Οι κυριότερες επιτραπέζιες και οινοποιήσιμες ποικιλίες σταφυλιού, αναφέρονται στον πίνακα 4 και εικόνα 3 αντιστοίχως. Η ποικιλία “Chardonnay”, φαίνεται ότι καταλαμβάνει την πρώτη θέση σε σχέση με τις υπόλοιπες οινοποιήσιμες ποικιλίες, με το σύνολο όμως των διαφόρων ποικιλιών να βρίσκονται στην υψηλότερη θέση συνολικά.

1.1.3 Η αμπελουργία στην Κρήτη

Στην Κρήτη, η καλλιέργεια της αμπέλου χρονολογείται από τη νεολιθική εποχή (6000-2600 π.Χ) όταν ήρθαν οι πρώτοι άποικοι από τα Δωδεκάνησα και τις Κυκλάδες και έφεραν μαζί τους το ποντιακό αμπέλι, απ' όπου προήλθαν οι περισσότερες καλλιεργούμενες ποικιλίες αμπελιού εδώ και αιώνες στην Ανατολική Μεσόγειο. Τα υπολείμματα σταφυλιών που βρέθηκαν στην Κάτω Ζάκρο, καθώς και οι εγκαταστάσεις οινοποιίας (χρονολογούμενα από

της 2^{ης} π.Χ χιλιετίας), μαρτυρούν ότι η μινωική οινοποιία ήταν τεχνικά πιο προηγμένη από οπουδήποτε αλλού στην εποχή της. Οι Μινωίτες αμπελουργοί, ήξεραν να καλλιεργούν το αμπέλι με θαυμαστή δεξιοτεχνία. Η παραγωγή κρασιών, συνεχίστηκε στην Κρήτη και μετά την παρακμή του Μινωικού πολιτισμού, όμως τον πρώτο ρόλο έπαιζαν άλλα εμπορικά κέντρα, κυρίως κατά τον 5^ο αιώνα π.Χ και τους Ελληνιστικούς χρόνους. Κατά τη Βυζαντινή περίοδο η καλλιέργεια του αμπελιού στην Κρήτη ήταν εξαιρετικά εκτεταμένη όπως και επί Ενετοκρατίας, το αμπέλι στην Κρήτη είχε εκτοπίσει όλες τις άλλες γεωργικές δραστηριότητες και λήφθηκαν περιοριστικά μέτρα εξάπλωσης της καλλιέργειας για να μην καταναλωθούν σημαντικές εκτάσεις που προορίζονταν για σιταροχώραφα και προκληθεί έλλειψη σιταριού.

Γεγονός είναι ότι οι αρχαίοι Έλληνες ανήγαγαν την αμπελουργία και την παραγωγή του κρασιού σε τέχνη. Τα παλαιότερα κουκούτσια σταφυλιών βρέθηκαν σε περιοχές του Μινωικού πολιτισμού και χρονολογούνται από την εποχή του χαλκού, ενώ στο Βαθύπετρο, ένα χωριό του Νομού Ηρακλείου, βρίσκεται το αρχαιότερο πατητήρι που έχει βρεθεί στον κόσμο. Η ιστορία του κρητικού αμπελώνα αφορά πρωτίστως τον κλάδο οινοποιίας και δευτερευόντως την σταφίδα και τα επιτραπέζια σταφύλια, τα οποία παράγονταν σε μικρότερες ποσότητες για επιτόπια κατανάλωση. (Καλλιόπη Α. Ρουμπελάκη-Αγγελάκη, 1998).

1.2 Κλιματική αλλαγή και έλλειψη νερού

Οι περισσότερες οινοπαραγωγικές περιοχές του κόσμου βιώνουν εποχιακή ξηρασία. Με την αύξηση της ξηρασίας, προβλέπεται ότι στο κοντινό μέλλον, σύμφωνα με τα παγκόσμια κλιματικά μοντέλα, πως η έλλειψη νερού μπορεί να αποτελέσει ένα περιοριστικό παράγοντα στην οινοπαραγωγή και την ποιότητα (Chaves et al. 2010). Η υπερθέρμανση του πλανήτη, επηρεάζει επίσης την ανάπτυξη της αμπέλου, όπως φαίνεται από τις φαινολογικές αλλαγές και τις πρώιμες συγκομιδές που παρατηρούνται σε όλο τον κόσμο, με ορισμένες Ευρωπαϊκές περιφέρειες να πλησιάζουν τα κατώτερα όρια θερμοκρασίας και βροχοπτώσεων για την καλύτερη δυνατή ανάπτυξη της αμπέλου. Κατά τα τελευταία έτη, το υδατικό έλλειμμα παρατηρείται επίσης σε ψυχρές περιοχές που εμφανίζουν ιδιαίτερη τοπογραφία. Η συχνότητα των ακραίων καιρικών φαινομένων, οι καύσωνες, και οι καταρρακτώδεις βροχές προβλέπεται να αυξηθούν, με αρνητικές επιπτώσεις στην απόδοση και την ποιότητα των σταφυλιών. Οι δυσχέρειες εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής απαιτούν προσαρμοστική διαχείριση. Συγκεκριμένα, οι μέθοδοι άρδευσης κρίνεται αναγκαίο να σταθεροποιήσουν την απόδοση,

και αφ'ετέρου να διατηρήσουν ή και να βελτιώσουν την ποιότητα των παραγόμενων σταφυλιών και του κρασιού. Η βελτίωση της παραγωγικής χρήσης νερού είναι αυτή που ως εκ τούτου απαιτείται για τη διαχείριση των αμπελώνων, με εξαιρετικά συντονισμένα αρδευτικά ελλείμματα που θα είναι σε θέση να εκπληρώσουν αυτό τον ρόλο. (Chaves et al., 2010)

Στη λεκάνη της Μεσογείου, οι βροχοπτώσεις είναι λιγιστές, και ακανόνιστα κατανομημένες κατά τη διάρκεια του έτους, και τα μοντέλα κλιματικών αλλαγών προβλέπουν όπως προείπαμε, ακόμα πιο άνυδρες συνθήκες στο άμεσο μέλλον. Ως εκ τούτου, η αύξηση της αποτελεσματικής χρήσης νερού (Water Use Efficiency- WUE), θα πρέπει να αποτελέσει ένα βασικό ζήτημα για την αμπελουργική πρακτική.

Το αμπέλι, αποτελεί παραδοσιακά μια μη αρδευόμενη καλλιέργεια που καταλαμβάνει μια αρκετά εκτενή γεωργική έκταση σε ξηρές και ημίξηρες περιοχές. Πρόσφατα, η άρδευση καθιερώθηκε για να αυξήσει την χαμηλή απόδοση των αμπελοκομικών εκτάσεων. Η πρόσφατη γενίκευση της άρδευσης της αμπέλου σε περιοχές με ξηρό καλοκαίρι, έχει οδηγήσει σε κάποια διαμάχη εξαιτίας των όχι πλήρως κατανοητών σχέσεων μεταξύ της φωτοσύνθεσης των αμπελιών και της απόδοσης και της ποιότητας των καρπών. Η άρδευση αυξάνει σημαντικά την φωτοσύνθεση και η απόδοση των σταφυλιών αυξάνεται κατά 1,5-4 φορές περίπου, ανάλογα με τον χρόνο άρδευσης, την ποσότητα νερού που εφαρμόζεται, την ποικιλία, τις περιβαλλοντικές συνθήκες ,και τις λοιπές καλλιεργητικές πρακτικές. (J. Sifre et al., 2005)

Από την άλλη, φαίνεται ότι μέχρι ένα ορισμένο ποσό του προστιθέμενου νερού, δεν παρατηρούνται επιδράσεις στο σταφύλι και την ποιότητα του κρασιού, ακόμα και όταν η απόδοση των σταφυλιών αυξάνεται. Ωστόσο, οι μεγαλύτερες ποσότητες νερού, αν και αυξάνουν την απόδοση των σταφυλιών έχουν αρνητική επίδραση επί της ποιότητας, κυρίως λόγω των απωλειών χρώματος και της ανισοροπίας μεταξύ των χαμηλών επιπέδου σακχάρων και της οξύτητας. Επομένως, μια βαθιά γνώση των μηχανισμών που ρυθμίζουν την αφομοίωση του άνθρακα του φυτού, και το διαμερισμό των φωτοσυνθετικών προϊόντων υπό την εφαρμογή διαφορετικών αρδευτικών πρακτικών, έχει μεγάλο ενδιαφέρον στο πλαίσιο της γεωργίας ακριβής προσέγγισης , αφού αυτοί οι μηχανισμοί παίζουν σημαντικό ρόλο στη ρύθμιση της ευαίσθητης ισορροπίας μεταξύ της απόδοσης και της ποιότητας των σταφυλιών.

1.3 Το κλίμα της Μεσογειακής λεκάνης και της Ελλάδας

Η λεκάνη της Μεσογείου εκτείνεται σε απόσταση περίπου 3800 χλμ. από τα δυτικά μέχρι τα ανατολικά, από το άκρο της Πορτογαλίας μέχρι τις ακτές του Λιβάνου, και σε απόσταση περίπου 1000 χλμ. από τα βόρεια προς τα νότια, από την Ιταλία έως το Μαρόκο και τη Λιβύη. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση η περιοχή της Μεσογείου περιλαμβάνει επτά κράτη-μέλη είτε μερικώς (Γαλλία, Πορτογαλία, Ιταλία, Ισπανία) είτε πλήρως (Ελλάδα, Μάλτα, Κύπρος). Το κλίμα χαρακτηρίζεται από ζεστά ξηρά καλοκαίρια και υγρούς ήπιους χειμώνες, αλλά φημίζεται επίσης για τις ξαφνικές αλλαγές του καθώς και από τις καταρρακτώδεις βροχές ή τους πολύ ισχυρούς ανέμους που εκδηλώνονται σε διάφορες εποχές του χρόνου. Αυτές οι κλιματικές συνθήκες ασκούν βαθιά επίδραση στη βλάστηση και στην άγρια ζωή στην περιοχή .



Εικόνα 4: Οι πέντε περιοχές του πλανήτη στις οποίες επικρατούν κλιματικές συνθήκες μεσογειακού κλίματος (Γ.Α Καραμπουρνιώτης κ.α., 2009)

Η Μεσόγειος διαθέτει πολύ πλούσια βιοποικιλότητα αλλά και μεγάλο αριθμό ειδών τα οποία υπάρχουν μόνο εκεί και πουθενά αλλού στον κόσμο. Όπως και άλλα είδη στη λεκάνη της Μεσογείου τα φυτά, ανέπτυξαν πολλούς τρόπους για την αντιμετώπιση των καυτών καλοκαιριών και των μακρόχρονων περιόδων ξηρασίας. Πολλά ανθίζουν πολύ νωρίς στην αρχή της περιόδου ώστε να προλάβουν να δώσουν σπόρο προτού ο ήλιος γίνει υπερβολικά ζεστός. Άλλα, αναπτύσσουν δερματώδη, αρωματικά φύλλατα οποία συμβάλλουν στη μείωση της απώλειας νερού. Οι αμπελώνες και οι αρχαίοι ελαιώνες αποτελούν χαρακτηριστικό γνώρισμα του μεσογειακού τοπίου. Τόσο το αμπέλι όσο και η ελιά, είναι είδη καλά

προσαρμοσμένα σε δύσκολες κλιματικές συνθήκες, στην περιορισμένη άρδευση και σε φτωχά εδάφη (Καραμπουρνιώτης, 2009).

Το κλίμα της Ελλάδας είναι τυπικά Μεσογειακό: ήπιοι και υγροί χειμώνες, σχετικά θερμά και ξηρά καλοκαίρια, και γενικά μακρές περιόδους ηλιοφάνειας κατά τη μεγαλύτερη διάρκεια του έτους. Η Ελλάδα, βρίσκεται μεταξύ των παραλλήλων 340 και 420 του Βόρειου ημισφαιρίου και βρέχεται από την Ανατολική Μεσόγειο. Το κλίμα της, σε γενικές γραμμές έχει τα χαρακτηριστικά του Μεσογειακού κλίματος, δηλαδή ήπιους και βροχερούς χειμώνες, σχετικώς θερμά και ξηρά καλοκαίρια, και μεγάλη ηλιοφάνεια σχεδόν όλο τον χρόνο. Λεπτομερέστερα, στις διάφορες περιοχές της Ελλάδας, παρουσιάζεται μια μεγάλη ποικιλία κλιματικών τύπων, πάντα βέβαια μέσα στα πλαίσια του Μεσογειακού κλίματος. Αυτό οφείλεται στην τοπογραφική διαμόρφωση της χώρας που έχει μεγάλες διαφορές υψομέτρου (υπάρχουν μεγάλες οροσειρές κατά μήκος της κεντρικής χώρας και άλλοι ορεινοί όγκοι) και εναλλαγής ξηράς και θάλασσας. Έτσι, από το ξηρό τμήμα της Αττικής και γενικά της Ανατολικής Ελλάδας, μεταπίπτουμε στο υγρό της Βόρειας και Δυτικής Ελλάδας. Τέτοιες κλιματικές διαφορές συναντώνται ακόμη και σε τόπους που βρίσκονται σε μικρή απόσταση μεταξύ τους, πράγμα που παρουσιάζεται σε λίγες μόνο χώρες στον κόσμο.

Από κλιματολογικής πλευράς, το έτος μπορεί να χωριστεί κυρίως σε δύο εποχές. Την ψυχρή και βροχερή χειμερινή περίοδο που διαρκεί από τα μέσα Οκτωβρίου μέχρι και το τέλος Μαρτίου, και τη θερμή και άνομβρη εποχή που διαρκεί από τον Απρίλιο έως τον Οκτώβριο. Κατά την πρώτη περίοδο οι ψυχρότεροι μήνες είναι ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος όπου κατά μέσο όρο η μέση ελάχιστη θερμοκρασία κυμαίνεται από 5-10° C στις παραθαλάσσιες περιοχές, από 0-5° C στις ηπειρωτικές περιοχές, και με χαμηλότερες τιμές κάτω από το 0 στις βόρειες περιοχές. Οι βροχές στη χώρα μας ακόμη και τη χειμερινή περίοδο δεν διαρκούν για πολλές ημέρες και ο ουρανός της Ελλάδας δεν μένει συνεφιασμένος για αρκετές συνεχόμενες ημέρες όπως συμβαίνει σε πολλές άλλες περιοχές της γης. Οι χειμερινές κακοκαιρίες διακόπτονται συχνά κατά τον Ιανουάριο και το πρώτο δεκαπενθήμερο του Φεβρουαρίου από ηλιόλουστες ημέρες, τις γνωστές από την αρχαιότητα «Αλκυονίδες Μέρες». Η χειμερινή εποχή είναι γλυκύτερη στα νησιά του Αιγαίου και του Ιονίου απ'ότι στη Βόρεια και Ανατολική Ελλάδα. Κατά τη θερμή και άνομβρη εποχή, ο καιρός είναι σταθερός, ο ουρανός σχεδόν αίθριος, ο ήλιος λαμπερός και δεν βρέχει εκτός από σπάνια διαλλείματα με ραγδαίες βροχές ή καταιγίδες μικρής όμως διάρκειας. Η θερμότερη περίοδος είναι το

τελευταίο δεκαήμερο του Ιουλίου και το πρώτο του Αυγούστου οπότε η μέγιστη θερμοκρασία κυμαίνεται από 29-35° C. Κατά τη θερμή εποχή, οι υψηλές θερμοκρασίες μετριάζονται από τη δροσερή θαλάσσια αύρα στις παράκτιες περιοχές της χώρας και από τους βόρειους ανέμους που φυσούν κυρίως στο Αιγαίο. Η Άνοιξη έχει μικρή διάρκεια διότι ο μεν Χειμώνας είναι όνιμος, το δε Καλοκαίρι αρχίζει πρώιμα. Το Φθινόπωρο είναι μακρύ και θερμό και πολλές φορές παρατείνεται στη Νότια Ελλάδα μέχρι και τα μέσα Δεκεμβρίου (Χρονοπούλου-Σερέλη Αικ., κ.α 2011, Ε.Μ.Υ,2014).

1.4 Φυτική κοινότητα και συνθήκες αβιοτικού στρες

Η μεγάλη ποικιλότητα των περιβαλλοντικών συνθηκών, εκθέτει τα φυτά σε μια πληθώρα περιβαλλοντικών καταπονήσεων, οι οποίες διακρίνονται σε βιοτικές, και σε αβιοτικές ή περιβαλλοντικές. Οι βιοτικές καταπονήσεις προκαλούνται με προσβολή ή ανταγωνισμό από άλλους οργανισμούς, όπως μύκητες, βακτήρια και ιούς, ενώ οι αβιοτικές προκαλούνται από ένα πλεόνασμα ή μια έλλειψη στο φυσικό ή χημικό περιβάλλον.

Οι περιβαλλοντικές συνθήκες που μπορούν να καταπονήσουν τα φυτά, είναι η υψηλή ή χαμηλή θερμοκρασία, η περίσσεια ή έλλειψη νερού, η ύπαρξη ή μη αλάτων, ιόντων, βαρέων μετάλλων, αέριων ρύπων και βιοκτόνων (χημικές) η συσσώρευση ενεργών μορφών οξυγόνου (οξειδωτικές), η επίδραση ανέμου, βαρύτητας, ήχου, μαγνητικών πεδίων, συμπίεσης (μηχανικές) και τέλος η έκθεση σε υπέρυθρη, ορατή, υπεριώδη και ιοντίζουσα ακτινοβολία. Οι σημαντικότερες αβιοτικές καταπονήσεις βάση των αλλαγών που προκάλεσαν στις μοριακές, βιοχημικές, φυσιολογικές και μορφολογικές αντιδράσεις των φυτών είναι : η οξειδωτική καταπόνηση, η έλλειψη νερού που μπορεί να προκληθεί από ξηρασία, αλατότητα, υψηλή θερμοκρασία και παγετό, η περίσσεια νερού που μπορεί να προκαλέσει ανοξία ή υποξία και η παρουσία βαρέων μετάλλων (Ρουμπελάκη-Αγγελάκη κ.α, 2011).

Οι περιβαλλοντικές καταπονήσεις, δημιούργησαν συνθήκες ισχυρής επιλεκτικής πίεσης που συντέλεσαν στην προσαρμογή και στην επιβίωση των φυτών στις δυσμενείς συνθήκες. Οι αβιοτικές συνθήκες, προκαλούν στα φυτά ποικίλες αντιδράσεις που αφορούν τα χαρακτηριστικά αύξησης και ανάπτυξης τους. Τα στάδια αντιδράσεων του φυτού σε συνθήκες αβιοτικής καταπόνησης είναι: το στάδιο του συναγεμού, το στάδιο της αντοχής, το στάδιο της εξάντλησης και το στάδιο της ανάνηψης ή αναγέννησης.

Οι αβιοτικές καταπονήσεις όχι μόνο μειώνουν σημαντικά την παραγωγή, αλλά δημιουργούν

σοβαρά προβλήματα ,απειλούν την γεωργία και συμβάλλουν στη χειροτέρευση του περιβάλλοντος.

2. Η ΑΡΔΕΥΣΗ ΣΤΗ ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΑΜΠΕΛΟΥΡΓΙΑ

2.1 Αρδευτικές πρακτικές και απαιτήσεις του αμπελώνα σε νερό

Αν και το αμπέλι θεωρείται φυτό που προσαρμόζεται σε ξηρά και θερμά εδάφη, για την παραγωγή σταφυλιών ποιότητας και σε ικανοποιητικές ποσότητες, είναι αναγκαία η άρδευση του, ιδιαίτερα στα ευαίσθητα στάδια της ανάπτυξης, της βλάστησης και της παραγωγής. Τα πρέμνα απορροφούν με το ριζικό σύστημα μεγάλες ποσότητες νερού για να επιτελέσουν σημαντικές φυσιολογικές λειτουργίες όπως είναι η φωτοσύνθεση, οι διάφορες βιοχημικές αντιδράσεις, η αύξηση, η παραγωγή κτλ. Το μεγαλύτερο ποσοστό του νερού μεταφέρεται στην ατμόσφαιρα με το φαινόμενο της διαπνοής και μόνο το 1% περίπου των ποσοτήτων αυτών παραμένει στο φυτικό σώμα. Υπολογίζεται ότι για την παραγωγή ενός κιλού ξηρής ουσίας από το πρέμνο απαιτούνται περίπου 500-700 λίτρα νερού. Το νερό αποτελεί στοιχείο δομής των φυτών και αντιπροσωπεύει το βάρος τους σε ποσοστό 60-95%. Το νερό, είναι απαραίτητο για τη διαλυτοποίηση των ανόργανων συστατικών του εδάφους τα οποία και μεταφέρονται από τις ρίζες στα φύλλα για τη θρέψη των φυτών. Επιπρόσθετα, το νερό αποτελεί ρυθμιστικό παράγοντα της θερμοκρασίας των φυτών και τα προστατεύει από τον καύσωνα. Οι καλλιεργούμενες ποικιλίες αμπελιού προσλαμβάνουν σχεδόν το 100% του αναγκαίου νερού από τα επιφανειακά 0-60 cm του εδάφους, συνεπώς κατά την άρδευση δεν πρέπει να εφοδιάζουμε το αμπέλι με νερό σε μεγαλύτερο βάθος από 90 cm αφού το βάθος του ενεργού του ριζοστρώματος φτάνει τα 60-80 cm (Σταυρακάκης.2013)

Οι ανάγκες των πρέμνων κατά τον ετήσιο κύκλο βλάστησης εξαρτώνται από το βλαστικό στάδιο. Έλλειψη ή υπερβολική ξηρασία μπορεί να προκαλέσουν βλάβες σε διάφορα όργανα του πρέμνου, σε διαφορετική ένταση. Ο ρυθμός απορρόφησης νερού, είναι μέγιστος το καλοκαίρι (κυρίως μεταξύ 9πμ και 4μμ) οπότε κυμαίνεται από τα 4-12 λίτρα(σε φυτά μικρής ζωηρότητας) έως τα 20 λίτρα ανά πρέμνο την ημέρα (σε ζωηρά φυτά). Ετήσια κατανάλωση

(βλαστική περίοδος) για έναν αμπελώνα 400 φυτών/στρέμμα κανονικής ζωηρότητας (0,5-1 kg ξύλου/φυτό) και παραγωγής (2-3 kg σταφυλιών/φυτό ή 800-1200 kg/στρέμμα) κυμαίνεται στα 250-700 mm (500-1000 λίτρα/πρέμνο). Σε ζωηρούς αμπελώνες σε γόνιμα εδάφη, μπορεί να φτάσει και τα 1000-1500 λίτρα/πρέμνο. Για την καλύτερη κατανόηση, θα γίνει μια μικρή περιγραφή των υδατικών αναγκών της αμπέλου ανά βλαστικό στάδιο, καθ'όλη τη διάρκεια του εκάστοτε βλαστικού σταδίου για όλη τη βλαστική περίοδο (Κουνδουράς,2010).

Κατά την εκβλάστηση-ανθοφορία, περίοδος κατά την οποία υπάρχει έντονη βλαστική ανάπτυξη (καθορίζει το φύλλωμα για όλη τη βλαστική περίοδο) αλλά και αύξησης των ταξιανθιών, απαιτείται επάρκεια νερού ($\Psi_{soil} < 30kPa$).

Κατά την ανθοφορία και την καρπόδεση, που είναι ένα ευαίσθητο στάδιο, η έλλειψη νερού μπορεί να προκαλέσει κακή καρπόδεση (ανθόρροια), μικρορραγία αλλά και περιορισμένη ανθική καταβολή. Στη συγκεκριμένη περίπτωση απαιτείται επάρκεια νερού ($\Psi_{soil} < 10kPa$).

Κατά την καρπόδεση-περκασμό, γίνεται η ολοκλήρωση της αύξησης του φυλλώματος και η 1^η φάση αύξησης της ράγας (πράσινη ράγα). Η υδατική κατάσταση σε αυτή τη φάση επηρεάζει το χρόνο αναστολής της αύξησης και το μέγεθος της ράγας και της παραγωγής. Έμμεσα επηρεάζει και το μικροκλίμα στη ζώνη των σταφυλιών.

Κατά τον περκασμό-τρύγο, το πρέμνο μπορεί να αντέξει μειωμένη υγρασία κατά την ωρίμανση (μερική ξήρανση φυλλώματος). Η μεγιστοποίηση όμως της παραγωγής σακχάρων και δευτερογενών μεταβολιτών (φωτοσύνθεση) απαιτεί την εξασφάλιση ενός επαρκούς επιπέδου υγρασίας (ράγες κύρια δεξαμενή μετά τον περκασμό), έως $\Psi_{soil} \sim 80kPa$ σε αμμώδη εδάφη και $\sim 200kPa$ σε αργιλώδη.

Τέλος, κατά την φυλλόπτωση-τρύγο, είναι απαραίτητη η ικανοποιητική υγρασία για την εξασφάλιση της ξυλοποίησης των κληματίδων. Η άρδευση είναι αναγκαία εφόσον δεν βρέξει.

Η εφαρμοζόμενη ανά πότισμα ποσότητα νερού εξαρτάται από την ενεργή φυλλική επιφάνεια των πρέμνων, το φορτίο των σταφυλιών και τις κλιματικές συνθήκες. Τα υψηλά σχήματα διαμόρφωσης και αμπέλια με μεγάλες στρεμματικές αποδόσεις είναι πιο απαιτητικά σε νερό. Οι κλιματικές παράμετροι που καθορίζουν τις ανάγκες του αμπελιού σε νερό είναι η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία της ατμόσφαιρας και η βροχόπτωση. Η συνδυασμένη επίδραση τους προσδιορίζεται από την εξατμισοδιαπνοή, η οποία εκφράζει τις συνολικές απώλειες νερού από μια καλλιέργεια και υπολογίζεται από ειδικά μαθηματικά μοντέλα με δεδομένα από μετεωρολογικούς σταθμούς. Συνεπώς, σε περιοχές με υψηλή εξατμισοδιαπνοή,

οι εφαρμοζόμενες ποσότητες νερού ανά άρδευση πρέπει να είναι μεγαλύτερες. Όσον αφορά στη συχνότητα άρδευσης, αυτή εξαρτάται από τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους, την παροχή νερού του αρδευτικού συστήματος και την εξατμισοδιαπνοή. Αμπελώνες σε βαθιά γόνιμα εδάφη μπορούν να συμπεριφέρονται καλά και με λιγότερα ποτίσματα. Μετρήσεις που έγιναν σε ξηροθερμικές περιοχές έδειξαν ότι από την εκβλάστηση μέχρι τα τέλη Απριλίου η διαπνοή των πρέμων ανέρχεται στα 10 κυβικά μέτρα νερού/στρέμμα. Ενώ η εξάτμιση από το έδαφος σε 70 κυβικά μέτρα. Οι αντίστοιχες τιμές για την περίοδο Μαΐου-Οκτωβρίου είναι 65 και 110 κυβικά μέτρα/στρέμμα αντίστοιχα. Τα κρίσιμα βλαστικά στάδια των πρέμων είναι εκείνα από την καρπόδεση μέχρι το γυάλισμα των σταφυλιών και θα πρέπει να γίνονται τουλάχιστον 2-3 αρδεύσεις το συγκεκριμένο διάστημα., ανεξάρτητα από την εφαρμογή χειμερινής άρδευσης (Σταυρακάκης,2013).

Η απαιτούμενη ποσότητα νερού εξαρτάται από την υδατοχωρητικότητα του εδάφους και τη μέθοδο άρδευσης και κυμαίνεται από 30-80 κυβικά μέτρα/στρέμμα. Ο ακριβής όμως προγραμματισμός της συχνότητας, του χρόνου και της ποσότητας άρδευσης θα πρέπει να προσδιορίζεται με τις διάφορες μεθόδους προσδιορισμού της εδαφικής υγρασίας από τις οποίες πιο πρακτική είναι εκείνη των τασίμετρων (τενσιόμετρα). Γενικά, τα ποτίσματα θα πρέπει να ρυθμίζονται σύμφωνα με τις ανάγκες του αμπελώνα. Η υπερβολική υγρασία του εδάφους μπορεί να συντελέσει στη διήθηση των θρεπτικών στοιχείων και η υπερβολική χρήση νερού είναι σπάταλη. Σε αμπελώνες όπου το πότισμα είναι απαραίτητο, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η ποσότητα νερού της βροχής και να υπολογίζεται η ποσότητα που υπολείπεται.

Κατά τα προηγούμενα χρόνια χρησιμοποιήθηκαν διάφορες μέθοδοι άρδευσης όπως η άρδευση με λεκάνες, κατά λωρίδες, με αυλάκια, με τεχνητή βροχή οι οποίες όμως παρουσίασαν πολλά προβλήματα (πχ φυτοπροστασία) με κυριότερο όμως τις μεγάλες απαιτήσεις σε νερό, σε περίοδο που η έλλειψη του ήταν χαρακτηριστική. Έτσι, επικράτησε η μέθοδος της στάγδην άρδευσης που βασίζεται στην αρχή της συχνότερης παροχής νερού σε περιορισμένο όγκο εδάφους. Τα πολλά πλεονεκτήματα της στάγδην άρδευσης συνέβαλλαν στην ταχεία επέκταση της μεθόδου, με πολλές παραλλαγές ως προς τον εξοπλισμό και τις επιμέρους λειτουργίες. Μεταξύ των πλεονεκτημάτων περιλαμβάνονται: οικονομία νερού άρδευσης με την μείωση των απωλειών από την εξάτμιση, ομοιόμορφη κατανομή νερού κατά μήκος της γραμμής φύτευσης, καλύτερη διήθηση του νερού στο έδαφος, αποφυγή ύγρανσης του φυλλώματος άρα και περιορισμός των μυκητολογικών ασθενειών, διευκόλυνση της

κυκλοφορίας μεταξύ των γραμμών φύτευσης, μείωση των εργατικών λόγω της αυτοματοποίησης του συστήματος, δυνατότητα άρδευσης μεγάλων εκτάσεων λόγω της χαμηλής πίεσης λειτουργίας των σταλακτήρων, δυνατότητα άρδευσης εδαφών με κλίση ή ανώμαλο ανάγλυφο, δυνατότητα οικονομικής άρδευσης χαλικωδών εδαφών που απαιτούν συχνή άρδευση, δυνατότητα ταυτόχρονης εφαρμογής της υδρολίπανσης. Στα μειονεκτήματα, περιλαμβάνονται το υψηλό κόστος εγκατάστασης, το κόστος συντήρησης των σωληνώσεων και απόφραξης των σταλακτήρων, και η δυσχέρεια καταπολέμησης των ζιζανίων που αναπτύσσονται επί της γραμμής (Σταυρακάκης,2013). Ανεξαρτήτως των επιμέρους τεχνικών που εφαρμόζονται, η στάγδην άρδευση παρουσιάζει το πλεονέκτημα της αξιοποίησης της ελλειμματικής, και κυρίως της μεθόδου της μερικής ξήρανσης του ριζικού συστήματος με την εγκατάσταση δύο γραμμών άρδευσης κατά μήκος και εκατέρωθεν της γραμμής φύτευσης. Η στάγδην άρδευση είναι η άρδευση που χρησιμοποιείται ως επί το πλείστον στις μέρες μας από παραγωγούς, παρόλα αυτά, οι κλιματικές αλλαγές και η έλλειψη του νερού ειδικά στο χώρο της Μεσογείου, έχουν οδηγήσει στην αναζήτηση μεθόδων ήπιας ελλειμματικής άρδευσης καθώς παραμένει ζητούμενο η ανάπτυξη μιας στρατηγικής άρδευσης η οποία θα κατατείνει στη βελτίωση της ποιότητας και της ποσότητας του παραγόμενου προϊόντος, σε συνδυασμό με την αποτελεσματική χρήση του αρδευτικού νερού (Σταυρακάκης, 2013).

2.2 Περιγραφή της μεθόδου ελλειμματικής άρδευσης (Regulated Deficit Irrigation-RDI)

Η μέθοδος της ελλειμματικής άρδευσης RDI (Regulated deficit irrigation), είναι μια τεχνική προγραμματισμού άρδευσης που αρχικά αναπτύχθηκε για οπωρώνες φρούτων, και στη συνέχεια προσαρμόστηκε με επιτυχία για την παραγωγή οινοποιήσιμων σταφυλιών. Η RDI συνήθως αναφέρεται σε οποιαδήποτε στρατηγική άρδευσης που διατηρεί τα φυτά σε κάποιο βαθμό ελλειμματικής άρδευσης για κάποιες συγκεκριμένες φάσεις της καλλιεργητικής περιόδου, με στόχο να ελέγχει την αναπαραγωγική ανάπτυξη και εξέλιξη, τη βλαστική ανάπτυξη, και την βελτίωση της αποδοτικότητας χρήσης νερού (WUE) .

Σύμφωνα με την RDI, η υδατική κατάσταση του φυτού, διατηρείται εντός των προκαθορισμένων ορίων του ελλείμματος (σε σχέση με το μέγιστο υδατικό δυναμικό), κατά τη διάρκεια ορισμένων φάσεων της εποχιακής ανάπτυξης, συνήθως, όταν η ανάπτυξη του καρπού είναι λιγότερο ευαίσθητη στις μειώσεις του νερού. Η λογική που διέπει αυτή την πρακτική είναι ότι η βελτιστοποίηση των αριθμών των καρπών, το μέγεθος του καρπού, και

της ποιότητας θα επιτευχθούν διατηρώντας την ισορροπία ανάμεσα στην ενεργητικότητα της αμπέλου και του παραγωγικού δυναμικού (Sifre et al., 2005). Η ελλειμματική άρδευση εφαρμόζεται σε δύο διακριτές περιόδους για τον έλεγχο της ζωηρότητας των βλαστών και την βελτίωση της ποιότητας των σταφυλιών, ανάλογα με την ποικιλία (Σταυρακάκης, 2013).

Όπως προείπαμε, η μέθοδος ελλειμματικής άρδευσης RDI, συνίσταται στη διατήρηση της υδατικής κατάστασης των πρέμων εντός προκαθορισμένων -για κάθε φαινολογικό στάδιο- ορίων υδατικού ελλείμματος τα οποία, προσδιορίζονται πειραματικά, με κριτήρια την ποικιλία, τις καλλιεργητικές συνθήκες, και τον προορισμό του τελικού προϊόντος. Η επιτυχής εφαρμογή του συστήματος αυτού, προϋποθέτει πλήρως αναπτυγμένα φυτά με εκτεταμένο και βαθύ ριζικό σύστημα. Υπό τέτοιες συνθήκες, ο ρυθμός μεταβολής της υδατικής κατάστασης των πρέμων, είναι αργός καθιστώντας ασφαλέστερη και περισσότερο ελεγχόμενη την εφαρμογή και διατήρηση των επιθυμητών επιπέδων υδατικού ελλείμματος. Αντίθετα, σε πρέμνα με περιορισμένο και ως επί το πλείστον επιφανειακό ριζικό σύστημα δεδομένου ότι ευνοούνται οι ταχύτερες μεταβολές της υδατικής κατάστασης αυξάνονται οι πιθανότητες υποβολής των φυτών σε υψηλότερη της επιθυμητής ένταση υδατικής καταπόνησης με αρνητικές συνέπειες στα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος (Oliveira 2013).

Όταν εφαρμόζεται σε οινοποιήσιμα αμπέλια, η υδατική καταπόνηση εφαρμόζεται λίγο πριν τον σχηματισμό των καρπών, προκειμένου να μειωθεί η ανάπτυξη των βλαστών και η πρώιμη ανάπτυξη των μούρων, πράγμα το οποίο οδηγεί έμμεσα σε καλύτερη ποιότητα. Μετά τον περκασμό, η άρδευση συνεχίζεται προκειμένου να διατηρηθεί η δραστηριότητα των φύλλων και να προαχθεί η σύνθεση των σακχάρων, και η μετατόπιση τους στα μούρα. Οι μέθοδοι άρδευσης RDI, στηρίζονται στη διαρκή παρακολούθηση ορισμένων ενδεικτικών φυσιολογικών παραμέτρων της υδατικής καταπόνησης της αμπέλου. Η άρδευση, θα πρέπει να εφαρμόζεται μόνο όταν μια τέτοια παράμετρος πέσει κάτω από ένα συγκεκριμένο όριο. Αν και το υδατικό δυναμικό των φύλλων (Ψ_{pd}) προτάθηκε σαν μια τέτοια παράμετρος, για τα προγράμματα RDI στα αμπέλια, η σχεδόν ισο-υδρική συμπεριφορά αρκετών ποικιλιών πιθανόν θα αποκλείσει τη χρήση της, ειδικά για τον εντοπισμό ήπιων έως μέτριων καταστάσεων υδατικής καταπόνησης, στις οποίες συμβαίνουν μεγάλες μειώσεις της φωτοσύνθεσης και της απόδοσης χωρίς πολλές επιπτώσεις. Τα ισοδρικά χαρακτηριστικά των φυτών είναι εμφανή στον έλεγχο του υδατικού δυναμικού με τα προερχόμενα από τη ρίζα προς το βλαστό χημικά ή υδραυλικά σήματα, πραγματοποιώντας έτσι τη διαχείριση της

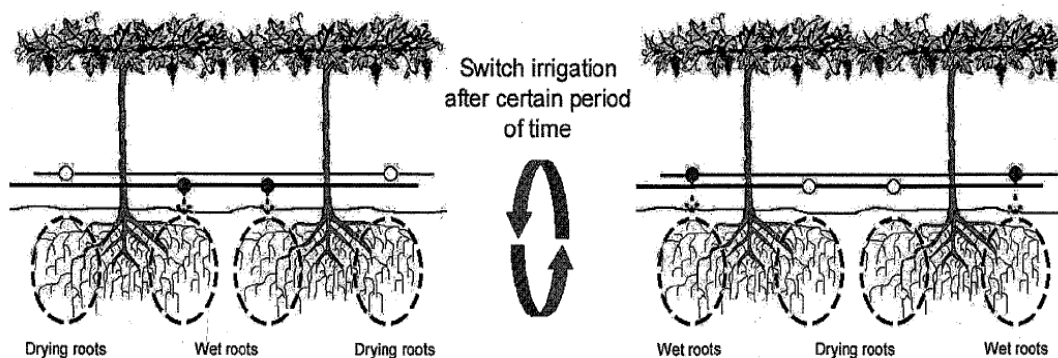
απώλειας νερού μέσω των στοματίων, ιδιαίτερα κατά την αρχική εκδήλωση της έλλειψης νερού. Τα φυτά που παρουσιάζουν ισουδρική συμπεριφορά (π.χ πιπεριά, πατάτα), έχουν μέσω του ελέγχου των στοματίων ομοιόσταση στο υδατικό δυναμικό. Αυτό σημαίνει ότι συνεχώς ρυθμίζουν την απώλεια νερού σε συγκεκριμένα όρια για την αποφυγή των επιβλαβών επιδράσεων των υδατικών καταπονήσεων που συμβαίνουν στα φυτά. Τα φυτά που εμφανίζουν ανισουδρική συμπεριφορά (π.χ μελιτζάνα, τομάτα) διατηρούν τον έλεγχο του υδατικού δυναμικού σε μειωμένα όμως ποσοστά σε σχέση με τα φυτά που παρουσιάζουν ισουδρική συμπεριφορά (Sarah Limpus et al., 2009). Προς το παρόν, και βασιζόμενοι στις γνώσεις των αποκρίσεων της αμπέλου σε σταδιακά υποβαλλόμενες υδατικές καταπονήσεις, κρίνεται εύλογο ότι η συνεχής παρακολούθηση μερικών άμεσων ή έμμεσων δεικτών της καλλιέργειας μπορούν να δείξουν πότε και πόσο νερό πρέπει να εφαρμοστεί για την ορθολογική χρήση του αρδευτικού νερού. Για να δοθεί προτεραιότητα στην αποδοτικότερη χρήση νερού, για μέγιστη απόδοση, η άρδευση θα πρέπει να εφαρμόζεται μόνο όταν οι τιμές της παραμέτρου πέσουν κάτω από μία συγκεκριμένη οριακή τιμή (για παράδειγμα όταν οι τιμές της Στοματικής Αγωγιμότητας (Gs) κυμαίνονται μεταξύ 0,05 και 0,15 mol H₂O m⁻² s⁻¹). Σύμφωνα με τις ισχύουσες γνώσεις, σχετικά με τις επιδράσεις της υδατικής καταπόνησης στη φωτοσύνθεση της αμπέλου, την απόδοση και την ποιότητα, διατηρώντας τα αμπέλια σε αυτές τις κυμαινόμενες τιμές μπορούμε να έχουμε:

1. Μέγιστη αποτελεσματική χρήση νερού.
2. Άμεση επανάκαμψη της φωτοσυνθετικής λειτουργίας κατά την επανάρδευση.
3. Σχετικά σταθερές στρεμματικές αποδόσεις και διατήρηση των βέλτιστων χαρακτηριστικών των σταφυλιών (Sifre et al., 2005).

2.3 Περιγραφή της μεθόδου της μερικής ξήρανσης του ριζικού συστήματος (Partial Root zone Drying-PRD)

Η μέθοδος της μερικής ξήρανσης του ριζικού συστήματος (Partial Root zone Drying-PRD), αποτελεί σήμερα ένα πολλά υποσχόμενο πρόγραμμα ρυθμιζόμενης ελλειμματικής άρδευσης. Βασίζεται στον τεχνητό διαχωρισμό του ριζικού συστήματος των φυτών σε δύο λιγότερο ή περισσότερο ισοδύναμα τμήματα και στην ανά τακτά χρονικά διαστήματα εναλλαγή άρδευσης σε κάθε ένα από αυτά. Αυτό έχει σαν συνέπεια, σε κάθε χρονική στιγμή, το ένα μέρος του ριζικού συστήματος των πρέμων να βρίσκεται υπό συνθήκες επάρκειας νερού

(αρδευόμενο τμήμα) ενώ το άλλο υπό συνθήκες έλλειψης νερού (ξηραινόμενο τμήμα). Θεωρητικά, οι ρίζες που βρίσκονται στο αρδευτικό τμήμα του εδάφους, θα διατηρήσουν ευνοϊκές σχέσεις με το φυτικό νερό, ενώ η αφυδάτωση στην άλλη πλευρά θα προκαλέσει χημική σηματοδότηση, που θα φτάσει στα φύλλα μέσω του ανοδικού ρεύματος της αναπνοής, μειώνοντας την στοματική αγωγιμότητα ή και την ανάπτυξη. Αυτό, θα επιφέρει αύξηση της αποδοτικότητας μέσω της κατανάλωσης ύδατος. Η μέθοδος ελλειμματικής άρδευσης PRD, μπορεί επίσης να έχει επιπτώσεις στην ανάπτυξη των ριζών, που οδηγεί στην ενίσχυση της ανάπτυξης της ρίζας στα βαθύτερα στρώματα του εδάφους. Καθώς το ένα μέρος του ριζικού συστήματος των φυτών, υποβάλλεται σε συνθήκες έλλειψης νερού, οι παραγόμενες χημικές ουσίες στις ξηραινόμενες ρίζες μεταφέρονται στα φύλλα με το ανοδικό ρεύμα της διαπνοής προκαλώντας μερικό κλείσιμο των στοματίων και επομένως μείωση των απωλειών νερού μέσω της διαπνοής.



Εικόνα 5: Μερική ξήρανση του ριζικού συστήματος (PRD)

Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι η μείωση της στοματικής αγωγιμότητας επηρεάζει σε μεγαλύτερο βαθμό την απώλεια του νερού παρά το ρυθμό της φωτοσύνθεσης, επιτυγχάνεται σημαντική αύξηση της αποδοτικότητας χρήσης νερού (WUE). Παράλληλα με την αύξηση της αποδοτικότητας χρήσης νερού, προκαλείται μείωση της βλαστικής ανάπτυξης και συνεπώς, αλλαγές στην αρχιτεκτονική του φυτοκαλύμματος των φυτών. Η τελευταία, επηρεάζει θετικά το φωτεινό μικροκλίμα, και συνεπώς την ποιότητα των σταφυλιών (Chaves et al., 2010)

Οι ποικιλίες που είναι ευαίσθητες στην ξηρασία, αναφέρεται να αποκρίνονται καλύτερα στην PRD. Ο τύπος του εδάφους, θα επηρεάσει την ανακατανομή του νερού, η οποία θα ρυθμίσει τη αφυδάτωση στην ξηρά ζώνη των ριζών. Κάποιοι επιστήμονες προτείνουν ότι η PRD μπορεί να μην είναι επιτυχής όταν το πορώδες του εδάφους ευνοεί την εξάπλωση του αρδευτικού νερού σε οριζόντια διεύθυνση, ή όταν εφαρμόζεται μια ανεπαρκής αρδευτική ποσότητα αποκατάστασης της υγρής πλευράς κατά τη στιγμή της εναλλαγής. Εν τούτοις, ερευνητικές αναφορές παρατηρούν ότι όταν η υγρασιακή κατάσταση του εδάφους στο υγρό τμήμα του ριζικού συστήματος είναι χαμηλή, υπάρχει ανεπαρκές νερό στο έδαφος στο ξηρό μέρος του ριζικού συστήματος με συνέπεια τη μεγιστοποίηση της μεταφοράς του αμπισισικού οξέος (ABA- ορμόνη που επιδρά επί της στοματικής λειτουργίας) προς το υπέργειο μέρος του φυτού (Πατάκας,2009).

Προϋπόθεση για την επιτυχή εφαρμογή του συστήματος αυτού είναι αφενός η ύπαρξη δύο διακριτών και ισοδύναμων τμημάτων του ριζικού συστήματος σε κάθε πρέμνο, και αφετέρου ο πειραματικός καθορισμός του άριστου χρονικού διαστήματος για την εναλλαγή της άρδευσης μεταξύ του αρδευόμενου και του ξηραινόμενου τμήματος. Με βάση τα παραπάνω, προκύπτει ότι η εμφάνιση των θετικών αποτελεσμάτων από την εφαρμογή του συγκεκριμένου συστήματος μπορεί να καθυστερήσει σε ήδη αρδευόμενους με την κλασσική μεθοδολογία αμπελώνες, κυρίως λόγω της διαφορετικής, σε σχέση με την επιθυμητή, δομής του ριζικού συστήματος. Γι' αυτόν τον λόγο, κρίνεται προτιμότερη η εξ' αρχής εφαρμογή της μεθόδου PRD σε νέους αμπελώνες στους οποίους υπάρχει η δυνατότητα διαμόρφωσης της επιθυμητής δομής του ριζικού συστήματος μέσω της εγκατάστασης κατάλληλου διατάξεως αρδευτικού συστήματος. Επιπροσθέτως, ιδιαίτερη προσοχή είναι απαραίτητο να δοθεί στο χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ της εναλλαγής αρδευόμενου-ξηραινόμενου τμήματος, το οποίο αν είναι πολύ σύντομο, τότε η παραγόμενη ποσότητα χημικών ουσιών στο ξηραινόμενο τμήμα της ρίζας μπορεί να μην είναι αρκετή για να επάγει μερικό κλείσιμο των στοματίων, ενώ αν το χρονικό διάστημα είναι μεγάλο, τότε η έκθεση μέρους του ριζικού συστήματος των πρέμων σε συνθήκες έντονης ξηρασίας μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις στις φυσιολογικές λειτουργίες των φυτών (Σταυρακάκης,2013).

3. ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΜΠΕΛΟΥ ΣΤΗΝ ΥΔΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ

3.1 Εισαγωγή-Υδατική καταπόνηση και φυτική παραγωγή

Η διαθεσιμότητα του νερού στο περιβάλλον επηρεάζει την ανάπτυξη και την επιβίωση των φυτικών οργανισμών. Οι δυσμενείς επιδράσεις της υδατικής καταπόνησης, εξετάζονται συνήθως υπό το πρίσμα της έλλειψης και όχι της περίσσειας νερού. Η υδατική καταπόνηση, εμφανίζεται είτε με τη μορφή της αφυδάτωσης, είτε της οσμωτικής καταπόνησης. Το κοινό χαρακτηριστικό και των δύο περιπτώσεων είναι η διαμόρφωση χαμηλού υδατικού δυναμικού του νερού (και επομένως ελλείμματος νερού) στους φυτικούς ιστούς.

Τα φυτά, έχουν αναπτύξει τρεις κυρίως στρατηγικές για την αντιμετώπιση της υδατικής καταπόνησης: την διαφυγή, την ανθεκτικότητα, και την αποφυγή.

Η **διαφυγή** αφορά την ολοκλήρωση του βιολογικού κύκλου με επάρκεια νερού εντός της ευνοϊκής περιόδου. Η **ανθεκτικότητα**, αναφέρεται στη διατήρηση στοιχειώδους μεταβολικής δραστηριότητας ακόμη και σε πολύ χαμηλά επίπεδα υδατικού δυναμικού. Τέλος, η **αποφυγή** της οποίας οι κύριες παραλλαγές της στρατηγικής αυτής είναι η αποφυγή με οικονομία νερού και η αποφυγή με κατανάλωση νερού, αφορά τη διατήρηση του υδατικού δυναμικού των κυττάρων σε σχετικά υψηλά επίπεδα με αποτέλεσμα τα κύτταρα των ιστών τους να μην αφυδατώνονται. Η άμπελος, αντιμετωπίζει την υδατική καταπόνηση με τη στρατηγική της ανθεκτικότητας (Καραμπουρνιώτης, 2003).

Οι επιπτώσεις της υδατικής καταπόνησης στη φυσιολογία της αμπέλου συνοψίζονται ως εξής:

1. Στη φωτοσυνθετική λειτουργία:

Κλείσιμο στοματίων: Το κλείσιμο των στοματίων είναι η αμεσότερη απόκριση της αμπέλου στην υδατική καταπόνηση και η κυριότερη (σχεδόν αποκλειστική), αιτία επιβράδυνσης της φωτοσύνθεσης σε συνθήκες ήπιου υδατικού στρες. Η υδατική καταπόνηση, μειώνει την

διαπνοή, τη φωτοσύνθεση, καθώς και τη συγκέντρωση του CO₂ στο μεσόφυλλο.

2. Στη βλαστική ανάπτυξη της αμπέλου:

Η κυτταρική μεγέθυνση εξαρτάται από τη σπαργή του κυττάρου. Συνεπώς, η αναστολή της αύξησης των βλαστών και των φύλλων αποτελεί την πρώτη αντίδραση της αμπέλου στην υδατική καταπόνηση. Αντίθετα, η αύξηση της ρίζας αναστέλλεται σε μικρότερο βαθμό. Η ρίζα συγκεντρώνει ιόντα K⁺ καθώς και σάκχαρα και αμινοξέα ώστε να διατηρεί ένα χαμηλό υδατικό δυναμικό που της επιτρέπει να συντηρεί αφενός την απορρόφηση νερού (και να αποφεύγει τις εμβολές των αγγείων) και αφετέρου την είσοδο του κατεργασμένου χυμού (και να συνεχίζει την αύξηση της προς βαθύτερα στρώματα).

3. Στη φυσιολογία της αναπαραγωγής της αμπέλου:

Το υδατικό στρες μειώνει την παραγωγή στην ίδια και την επόμενη βλαστική περίοδο ιδιαίτερα όταν επέρχεται νωρίς στην βλαστική περίοδο. Περισσότερο ευαίσθητο στάδιο για τις ταξιανθίες είναι λίγο πριν και κατά τη διάρκεια της άνθησης, οπότε η έλλειψη νερού επηρεάζει αρνητικά την παραγωγή γύρης, την επικονίαση και την γονιμοποίηση. Ακόμη, το υδατικό στρες επιδρά αρνητικά επί της διαφοροποίησης ανθικών καταβολών στους λανθάνοντες οφθαλμούς παρότι το ήπιο υδατικό στρες μπορεί να έχει θετικό αποτέλεσμα. Στην περίπτωση εφαρμογής ήπιου υδατικού στρες, κατά την εκβλάστηση των λανθανόντων οφθαλμών, η ταχύτητα αύξησης του βλαστού μειώνεται, οι νέοι έλικες που σχηματίζονται έχουν μικρό μήκος, ενώ σε σοβαρότερη υδατική καταπόνηση η ανασχέση της αύξησης του βλαστού συνεχίζεται με αποτέλεσμα τα νέα φύλλα να επικαλύπτουν την αυξανόμενη κορυφή του βλαστού. Στην περίπτωση αυτή, οι μεν αυξανόμενες κορυφές παίρνουν χρώμα πράσινο σκούρο, οι δε μη ξυλοποιημένες έλικες καθίστανται ιδιαίτερα ευαίσθητες στην έλλειψη νερού και αρχίζουν να μαραίνονται πριν από τα φύλλα. Επομένως, η ζωνρότητα του βλαστού και οι χαρακτηριστές της αυξανόμενης κορυφής του βλαστού και των ελίκων, μπορούν να αποτελέσουν μακροσκοπικούς δείκτες της υδατικής κατάστασης των πρέμων και της έναρξης της υδατικής καταπόνησης. Υποστηρίζεται ότι πρώιμη, μετά την εκβλάστηση των λανθανόντων οφθαλμών, σχετική έλλειψη νερού, επηρεάζει σημαντικά την ανάπτυξη των ταξιανθιών οι οποίες εξαιτίας και της μείωσης της ζωνρότητας των βλαστών είναι σε θέση να ανταγωνισθούν για την απορρόφηση των θρεπτικών στοιχείων (Σταυρακάκης, 2013). Επιπροσθέτως, η έλλειψη νερού κατά τη φάση 1 της αύξησης της ράγας μειώνει το τελικό βάρος της ράγας λόγω της μείωσης των κυτταροδιαιρέσεων.

4. Στη φυσιολογία της ωρίμανσης της ράγας:

Σοβαρή υδατική καταπόνηση ιδιαίτερα κατά την περίοδο της έντονης κυτταροδιαίρεσης, προκαλεί ανάσχεση του ρυθμού αύξησης, που συνεπάγεται σημαντική μείωση του μεγέθους των ραγών και συνολικά του φορτίου, αφού μειώνεται η ταχύτητα της φωτοσύνθεσης ή αποφύλλωσης του βασικού τμήματος του βλαστού, μειώνεται ο αριθμός των μεσοκαρδίων, μαραίνονται και ακολούθως ξηραίνονται οι έλικες, νεκρώνεται πρώιμα ο επάκριος οφθαλμός, καθώς και τμήματα των σταφυλών, ενώ σημαντικές είναι και οι επιπτώσεις στο χρόνο ωρίμανσης και στην ποιότητα των σταφυλιών. Αντίθετα, ήπια έως μέτρια υδατική καταπόνηση κάτω από ορισμένες συνθήκες είναι δυνατόν να βελτιώσει τους ποιοτικούς χαρακτήρες και να επιταχύνει την ωρίμανση των σταφυλιών μέσω της μείωσης της ζοηρότητας της βλάστησης και της αύξησης της συγκέντρωσης των σακχάρων στις ράγες, της δημιουργίας ευνοϊκού μικροκλίματος στη ζώνη καρποφορίας, της άμβλυσης του ανταγωνισμού μεταξύ βλάστησης και καρποφορίας, άρα και της καλύτερης θρέψης των ραγών και της μέχρι ενός ορίου μείωσης του μεγέθους των ραγών. Η βελτίωση του χρώματος των ερυθρών ποικιλιών που παρατηρείται σε ήπια υδατική καταπόνηση οφείλεται κυρίως στη μείωση του μεγέθους των ραγών (βελτίωση του λόγου φλοιός: σάρκα) αλλά και στην αύξηση της βιοσύνθεσης των ανθοκυανών. Ανάλογα με την καλλιεργούμενη ποικιλία, ήπια έως μέτρια υδατική καταπόνηση κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης, γενικά βελτιώνει τους χαρακτήρες ποιότητας οίνων. Επισημαίνεται όμως ότι ίδιας έντασης υδατική καταπόνηση που βελτιώνει την παραγωγή των ερυθρών ποικιλιών οινοποιίας μπορεί να προκαλέσει σημαντική υποβάθμιση των οίνων των λευκών ποικιλιών. Επομένως, τα ερευνητικά δεδομένα που αφορούν τις ερυθρές ποικιλίες αμπέλου δεν μεταφέρονται μηχανιστικά και στις λευκές ποικιλίες (Ρουμπελάκη Α. κ.α 2011, Σταυρακάκης, 2013).

3.2 Αναγνώριση και έκφραση σημάτων κατά την υδατική καταπόνηση

3.2.1 Χημικά και Υδραυλικά σήματα

Τα χημικά σήματα είναι σημαντικά για την προσαρμογή των φυτών στην υδατική καταπόνηση. Με τη μείωση της εδαφικής υγρασίας, τα προερχόμενα από τη ρίζα σήματα μεταφέρονται μέσω του ξυλώματος στα φύλλα, με σκοπό τη διατήρηση της υδατικής οικονομίας. Το αμπισισικό οξύ (ABA), το pH, οι κυτοκινίνες, ένα παράγωγο του αιθυλενίου, το μηλικό οξύ αλλά και άλλοι άγνωστης ταυτότητας παράγοντες είναι κάποια από τα σήματα ριζικής προέλευσης προς το υπέργειο μέρος του φυτού που δραστηριοποιούνται υπό συνθήκες ξηρασίας (Schachtman and Goodger, 2008).

Πολυάριθμες μελέτες έχουν δείξει ότι οι ρίζες των φυτών μπορούν να αισθανθούν αλλαγές σε αβιοτικούς παράγοντες όπως η περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό, η φαινομενική πυκνότητα ή συμπίκνωση του εδάφους, το περιεχόμενο σε οξυγόνο του εδάφους, αλλά και αλλαγές στη σύνθεση των θρεπτικών στοιχείων του εδάφους. Τα χημικά σήματα, μπορούν να διαφοροποιηθούν από τα υδραυλικά σήματα, αλλά και τα δύο είναι σημαντικά, διότι μειώνουν την στοματική αγωγιμότητα και την ανάπτυξη των φύλλων υπό συνθήκες υδατικού ελλείμματος. Τα χημικά σήματα πιθανότατα κυριαρχούν κατά τα πρώιμα στάδια του υδατικού στρες προτού παραχθούν τα υδραυλικά σήματα, ενώ θεωρείται να καθίσταντο λιγότερο σημαντικά κάτω από σοβαρή ξηρασία όταν το υδατικό δυναμικό των φύλλων μειωθεί και μαραθούν τα φύλλα.

3.2.2 Το αμπισισικό οξύ-ABA ως σήμα καταπόνησης

Το ABA ως ορμόνη, προκαλεί πολυάριθμες μεταβολές, που έχουν αντίκτυπο στην αύξηση των φυτών. Μερικές από τις μεταβολές αυτές είναι: η αποκοπή των φύλλων, ο λήθαργος σπερμάτων και οφθαλμών, το κλείσιμο των στοματίων, καθώς και η επίδραση στην ενζυμική δραστηριότητα και τη φωτοσύνθεση (Καράταγλης, 1999).

Όσον αφορά την υδατική πρόσληψη, πειραματικά, έχει βρεθεί ότι η προσθήκη ABA σε ριζικούς ιστούς αυξάνει την υδατική πρόσληψη καθώς και την πρόσληψη των ιόντων, πράγμα που δείχνει ότι το ABA ρυθμίζει τη σπαργή των κυττάρων όχι μόνο με την ελάττωση της διαπνοής αλλά και με αύξηση της πρόσληψης του νερού μέσα στις ρίζες. Η αύξηση αυτή της υδατικής πρόσληψης, οφείλεται στη μείωση της αντίστασης των μεμβρανών προς τα

μόρια του νερού και στην αύξηση της πρόσληψης των ιόντων. Τα δύο αυτά φαινόμενα προκαλούν αύξηση της διαβάθμισης του υδατικού δυναμικού μεταξύ ρίζας και εδάφους με αποτέλεσμα τη ροή του νερού στις ρίζες. Επιπλέον, το ABA, προκαλεί αύξηση των ριζών, διεγείροντας παράλληλα την εμφάνιση των πλευρικών ριζών, ενώ καταστέλλει την αύξηση της επιφάνειας των φύλλων. Οι δύο αυτές ανταγωνιστικές επιδράσεις του ABA, που εκδηλώνονται στις ρίζες και στα φύλλα, έχουν ως αποτέλεσμα μια ελάττωση της επιφάνειας των φύλλων, επομένως μείωση της διαπνοής και μια αντίστοιχη αύξηση στην υδατοαπορροφητική επιφάνεια των ριζών. Κατά συνέπεια το ABA με την πολλαπλή δράση του, βοηθάει τα φυτά να ανταπεξέρχονται στις δύσκολες συνθήκες ξηρασίας (.Καράταγλης,1999).

Το ABA αποτελεί ένα βασικό ρυθμιστή της στοματικής αγωγιμότητας των φύλλων. Η παραγωγή του ABA στις ρίζες και η μεταφορά του στα φύλλα, παρέχεται στο φυτό με ένα μηχανισμό διαβίβασης, ενός χημικού σήματος που “μεταφράζει” την υδατική κατάσταση του εδάφους. Αυτό το σύστημα, θα μπορούσε να έχει εξελιχθεί ειδικά γι’ αυτό το σκοπό, ή το χημικό σήμα θα μπορούσε απλά να είναι μια συνέπεια της αυξημένης παραγωγής ABA που απαιτείται για τη διατήρηση της ανάπτυξης της ρίζας κάτω από υδατικό έλλειμμα. Το ABA, συντίθεται και στις ρίζες και στα φύλλα. Η περιεκτικότητα του ABA στις ρίζες, συσχετίζεται τόσο με την υγρασία του εδάφους, όσο και με την περιεκτικότητα νερού των ριζών. Ορισμένες αναφορές δείχνουν ότι το ABA συντίθεται στα άκρα των ριζών, αλλά η σύνθεση έχει κυρίως αξιολογηθεί με τη μέτρηση του περιεχομένου του ABA και όχι της συνθετικής δραστηριότητας, έτσι ώστε τα συμπεράσματα που σχετίζονται με το θέμα της σύνθεσης, να πρέπει να εξεταστούν πιο προσεκτικά. Το ABA, υπάρχει στον αγωγό ιστό και σε συζευγμένες μορφές όπως το ABA-γλυκόζη. Φαίνεται, ότι μία τέτοια μορφή σύζευξης του ABA, μπορεί να χρησιμεύσει σαν ένας μεταφορέας της ορμόνης και επιπλέον, σαν ένα σήμα καταπόνησης. Η σημασία των συζευγμένων μορφών του ABA σε συνθήκες ξηρασίας και οι μηχανισμοί υδρόλυσης του οξέος στον αποπλάστη, εξακολουθούν μέχρι σήμερα να είναι ελάχιστα κατανοητές. Τέλος, οι τιμές του pH του αγωγού ιστού, είναι δυνατό να επηρεάσουν την ευαισθησία των στομάτων στο ABA, μεταβάλλοντας τη διαμερισματοποίηση του με τρόπο ώστε η συγκέντρωση του να αυξηθεί αποτελεσματικά στους υποδοχείς των καταφρακτικών κυττάρων. Η υδατική καταπόνηση, επιφέρει αλλαγές στο pH του αγωγού ιστού, το οποίο από μόνο του αποτελεί σήμα καταπόνησης ή παράγοντα που επηρεάζει την ευαισθησία της στοματικής συσκευής. Σε επόμενο κεφάλαιο, γίνεται εκτενέστερη περιγραφή για το pH του

αγωγού ιστού ως σήμα υδατικής καταπόνησης (Schachtman and Goodger, 2008).

3.2.3 Ο ρόλος των κυτοκινίνων κατά τη ρύθμιση της στοματικής λειτουργίας

Οι κυτοκινίνες αποτελούν παραλλαγές του μορίου της αδενίνης (βάση πυρίνης η οποία αποτελεί δομικό συστατικό των DNA και RNA). Διακρίνονται σε 4 κατηγορίες: α) cis-ζεατίνη, β) ισοπεντενυλ-αδενίνη, γ) διυδρο-ζεατίνη και δ) trans-ζεατίνη και απαντούν με 3 χημικές μορφές, ως βάσεις, ως ενώσεις της ριβόζης με σάκχαρα (ribosides) και ως νουκλεοτίδια. Οι κυτοκινίνες πήραν την ονομασία τους από την ικανότητα τους να προάγουν τη διαίρεση των κυττάρων και γενικά χαρακτηρίζονται ως ορμόνες που προωθούν την φυτική αύξηση. Η ομάδα των κυτοκινίνων θεωρείται ότι συμμετέχει ενεργά, στην επικοινωνία μεταξύ του ριζικού συστήματος και του υπέργειου τμήματος του φυτού. Είναι πιθανό, ο λόγος ABA/κυτοκινίνων στο ξύλωμα να είναι σημαντικός στη μεταγωγή σημάτων καταπόνησης. Οι κυτοκινίνες στο ξύλωμα μπορεί να μειώνουν τη στοματική ευαισθησία στο ABA. Επίσης, η υψηλή συγκέντρωση τους στο διαπνευστικό ρεύμα συμβάλει άμεσα στο άνοιγμα των στοματικών πόρων στα φύλλα. Παρόλο που οι τελευταίες αναφορές, δείχνουν μείωση στη συγκέντρωση των κυτοκινίνων σε συνθήκες έλλειψης νερού, δεν έχει διευκρινιστεί άμεσα αν όλα τα φυτά αντιδρούν με τον ίδιο τρόπο στις συγκεντρώσεις των κυτοκινίνων του φυλλώματος ή των καταφρακτικών κυττάρων. Πολλές φορές, οι κυτοκινίνες είναι δυνατό να ενεργούν οι ίδιες ως αγγελιοφόροι του σήματος της καταπόνησης κατά τη μετακίνηση τους από τη ρίζα στο βλαστό. Ακόμη, είναι δυνατόν, να δρουν συνεργιστικά ή ανταγωνιστικά, με άλλους μηχανισμούς αντίληψης και μεταγωγής περιβαλλοντικών σημάτων. Έχουν υπάρξει αρκετές πληροφορίες σχετικά με την περιεκτικότητα των κυτοκινίνων στον αγωγό ιστό και πως αυτή η περιεκτικότητα αλλάζει κάτω από συνθήκες ξηρασίας. Στο αμπέλι, παρατηρήθηκε μια μείωση 50% σε ζεατίνη και ζεατίνη του ριβοζίτη σε φυτά που είχαν υποβληθεί σε ελλειμματική άρδευση με τη μέθοδο PRD. Τα συμπεράσματα σχετικά με το περιεχόμενο της κυτοκινίνης είναι πρόωρα, επειδή η πολυπλοκότητα των παραγώγων της κυτοκινίνης δεν έχει διερευνηθεί πλήρως (Schachtman and Goodger, 2008).

3.2.4 Η επίδραση των τιμών pH του αγωγού ιστού στη μεταγωγή σημάτων υδατικού στρες από τη ρίζα στο βλαστό.

Τα τελευταία χρόνια, φαίνεται να γίνεται κατανοητός ο ρόλος του pH του ανιόντος χυμού κατά τη μεσολάβηση του στο σύστημα μεταγωγής σημάτων από τη ρίζα στο βλαστό των φυτών. Ωστόσο, είναι σημαντικό να τονιστεί πως είναι εξαιρετικής σημασίας η προσοχή που

πρέπει να δοθεί στην ιδιαίτερη επίδραση του pH στη ρύθμιση της στοματικής λειτουργίας, λόγω του ότι διαφορετικά φυτικά είδη ή ακόμη, διαφορετικοί γενότυποι μέσα στο ίδιο είδος, συνήθως παρουσιάζουν διαφορετική συμπεριφορά στο pH κατά τη διάρκεια μιας υδατικής καταπόνησης.

Οι αλλαγές στις τιμές του pH του αγωγού ιστού που παρατηρούνται συνήθως σε συνθήκες ξηρασίας, μπορούν να αποτελέσουν ένα σημαντικό παράγοντα στη μεταγωγή σημάτων από τη ρίζα στο βλαστό και μπορούν να δράσουν συνεργιστικά με το αμπισισικό οξύ (ABA). Σε πολλά φυτικά είδη, το pH του αγωγού ιστού, γίνεται πιο αλκαλικό όταν τα φυτά βρίσκονται σε συνθήκες υδατικής καταπόνησης και αυτό οδηγεί σε μειωμένη ανάπτυξη και σε αύξηση του κλεισίματος των στοματίων. Κάποιες πιθανές επιπτώσεις του pH έχουν περιγραφεί και περιλαμβάνουν: α) αλλαγές στο μεταβολισμό του ABA με αποτέλεσμα την αυξημένη συγκέντρωση του ABA στα φύλλα, β) άμεσες επιπτώσεις στην κατάσταση του υδατικού δυναμικού των φύλλων, το οποίο θα μπορούσε να μεταβάλλει την σπαργή των παραφρακτικών κυττάρων ή την ευαισθησία των φύλλων στις συγκεντρώσεις του ABA, γ) άμεσες επιπτώσεις στις ιοντικές ροές των παραφρακτικών κυττάρων στην κυτταρική μεμβράνη και δ) μεταβολή της κατανομής του ABA στα φύλλα, ειδικά μια αύξηση της συγκέντρωσης του ABA στον αποπλάστη στο εξωτερικό μέρος των παραφρακτικών κυττάρων. Αυτή η αλλαγή στο pH του αποπλάστη έχει ίσως το σημαντικότερο ρόλο στη μεταγωγή σημάτων (Μπέης., 2010).

Το ABA, σαν ασθενές οξύ, μπορεί να πρωτονιωθεί ή αποπρωτονιωθεί στην περιοχή τιμών pH που βρέθηκε στον αποπλάστη των φύλλων. Αυτό φάνηκε ξεκάθαρα στις αρχές της δεκαετίας του 1980, σε πειράματα στους πρωτοπλάστες του μεσόφυλλου, όπου βρέθηκαν υψηλά ποσοστά πρόσληψης ABA σε όξινο pH, και σχεδόν καμμία πρόσληψη δεν έγινε στο περισσότερο αλκαλικό pH=7,5. Σε ορισμένα φυτικά είδη, το pH του αποπλάστη του φύλλου αυξάνει καθώς το έδαφος στεγνώνει εξαιτίας του ότι η παροχή του αγωγού ιστού προϋποθέτει πιο αλκαλικό pH. Το ABA που φτάνει από τις ρίζες μέσω των ξυλώδων αγγείων στο μεσόφυλλο θα παραμείνει αποπρωτονιωμένο κάτω από τις πιο αλκαλικές συνθήκες, και δεν θα απορροφηθεί από τα κύτταρα του μεσόφυλλου. Το αποτέλεσμα είναι να μεταφέρεται λιγότερο ABA στα κύτταρα του μεσόφυλλου, και να συσσωρεύεται το ABA στον αποπλάστη ενισχύοντας έτσι, το κλείσιμο των στοματίων (Schachtman and Goodger, 2008).

Κάτω από καλά αρδευόμενες συνθήκες όταν ο αποπλάστης είναι περισσότερο όξινος το ABA θα μπορούσε να εισαχθεί παθητικά στο συμπλάστη, και οι συγκεντρώσεις του αποπλάστη με

αυτόν τον τρόπο δεν θα αυξηθούν τόσο γρήγορα όσο το κάνουν κάτω από υδατική καταπόνηση. Ως εκ τούτου, η επίδραση του pH είναι έμμεση λόγω του ότι οδηγεί στη συσσώρευση του ABA στον αποπλάστη και ενισχύει την επίδραση του ABA στα παραφρακτικά κύτταρα. Πρόσφατα, βρέθηκαν τρεις υποδοχείς του ABA. Οι δύο από αυτούς διαμένουν μέσα στο κύτταρο, αλλά ο τρίτος βρέθηκε στην κυτταρική επιφάνεια. Επομένως, τα φυτικά κύτταρα, θα μπορούσαν να ανιχνεύουν τόσο εξωτερικές όσο και ενδοκυτταρικές συγκεντρώσεις ABA. Υπό συνθήκες ξηρασίας, το αυξημένο κλείσιμο των στοματίων που συμβαίνει λόγω του αυξημένου pH του αγωγού ιστού, υποδηλώνει ότι το εξωκυτταρικό ABA ανιχνεύεται από τα προστατευτικά κύτταρα μέσω υποδοχέων της κυτταρικής μεμβράνης. Αρκετές μελέτες έχουν δείξει ότι το pH δεν ενεργεί μόνο του στα παραφρακτικά κύτταρα ή τον έλεγχο της ανάπτυξης των φύλλων. Ο μηχανισμός της ανταλλαγής του pH μπορεί ακόμα να περιλαμβάνει τη διαθεσιμότητα σε νιτρικά. Καθώς τα εδάφη γίνονται ξηρά, η διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων μειώνεται, λόγω των φυσικοχημικών μεταβολών. Υπό συνθήκες μειωμένης διαθεσιμότητας νιτρικών, η διαθεσιμότητα της νιτρικής ρεδουκτάσης μετατοπίζεται προς τις ρίζες, προκαλώντας αλλαγές στο pH.

Σύμφωνα με τις ισχύουσες πληροφορίες, παρατηρείται πως η επίδραση των τιμών του pH του αγωγού ιστού στη μεταγωγή σημάτων υδατικού στρες από τη ρίζα στο βλαστό, φαίνεται ιδιαίτερα σημαντική σε αρκετά φυτικά είδη που υποβάλλονται σε συνθήκες υδατικής καταπόνησης.

3.3 Φωτοσύνθεση σε συνθήκες έλλειψης νερού

Η φωτοσυνθετική λειτουργία, παρουσιάζεται εξαιρετικά ευαίσθητη σε συνθήκες έλλειψης νερού και υδατικής καταπόνησης. Η διαθέσιμη ποσότητα νερού στο φυτό είναι ένας από τους βασικούς παράγοντες που ρυθμίζουν την φωτοσυνθετική απόδοση, αφού η απόδοση αυτή μειώνεται με την έλλειψη νερού.

Η έλλειψη νερού, μπορεί να αναστείλει τη φωτοσύνθεση με α) την ελάττωση της επιφάνειας των φύλλων, β) το κλείσιμο των στοματίων και γ) την ελάττωση της υδάτωσης του πρωτοπλάσματος. Το κλείσιμο των στοματίων, περιορίζει την πρόσληψη του CO₂ και μειώνει τη φωτοσύνθεση. Δεν είναι ασύνηθες για τα φυτά να εμφανίζουν αρχόμενο μαρασμό κατά τη θερμή περίοδο της ημέρας προκαλώντας κλείσιμο των στοματίων και προσωρινό σταμάτημα πρόσληψης CO₂. Η έλλειψη του νερού, μπορεί επίσης να αλλάξει την ενυδάτωση των πρωτεϊνών, επηρεάζοντας έτσι τη δραστηριότητα τους. Τέτοιες επιδράσεις έχουν ως

αποτέλεσμα την αλλαγή του μεταβολισμού και ειδικά για την περίπτωση της φωτοσύνθεσης, την ελάττωση της απόδοσης της (Καράταγλης, 1999). Στα αμπέλια, όπως και σε άλλα φυτικά είδη, έχει περιγραφεί μια καμπυλόγραμμη συσχέτιση μεταξύ της στοματικής αγωγιμότητας και της καθαρής φωτοσύνθεσης. Λόγω αυτής της συσχέτισης και στο γεγονός ότι το κλείσιμο των στοματίων είναι από τα πρώτα γεγονότα που συμβαίνουν κάτω από συνθήκες έλλειψης νερού-ξηρασίας, θεωρήθηκε ότι η ξηρασία που προκαλεί μείωση της φωτοσύνθεσης γίνεται μέσω του κλεισίματος των στοματίων (Schachtman and Goodger, 2008).

Κάτω από ήπιο υδατικό στρες, είναι πιθανό ότι η φωτοσύνθεση της αμπέλου καταστέλλεται σχεδόν αποκλειστικά από το κλείσιμο των στοματίων, όπως φαίνεται από την αύξηση της αποδοτικής χρήσης νερού (WUE). Αυτό πιθανώς να είναι ένα γενικό χαρακτηριστικό για τα περισσότερα είδη. Χρησιμοποιώντας την στοματική αγωγιμότητα (gs) σαν μια ολοκληρωμένη παράμετρο που αντικατοπτρίζει τη βαρύτητα της υδατικής καταπόνησης, διαφορετικές ποικιλίες αμπελιού ή ακόμη και διαφορετικά είδη C3, ακολούθησαν μια παρόμοια πορεία, της προς τα κάτω ρύθμισης των διαφορετικών φωτοσυνθετικών παραμέτρων στο πλαίσιο της σταδιακής εξάντλησης νερού του εδάφους (Κανάκης, 2007).

Στην περίπτωση της αμπέλου, αυτή η παρατήρηση είναι σύμφωνη, με την παραπάνω περιγραφή μιας σχεδόν ισοδρικής συμπεριφοράς σε πολλές προσαρμοσμένες στην ξηρασία ποικιλίες, και με την υπόδειξη πως το αμπισισικό οξύ (ABA) του οποίου η σύνθεση επάγεται με το κλείσιμο των στοματίων και χωρίς τη μείωση του υδατικού δυναμικού των φύλλων είναι η πιο άμεση απόκριση των φύλλων στην ξηρασία. Χρησιμοποιώντας την στοματική αγωγιμότητα (gs), ως μια ολοκληρωμένη παράμετρο της ξηρασίας, τρεις φάσεις της φωτοσυνθετικής απόκρισης μπορούν να διαχωριστούν ανάλογα τη βαθμίδα του υδατικού στρες τις οποίες μοιράζονται από κοινού διαφορετικές ποικιλίες αμπέλου.

Η πρώτη φάση του ήπιου υδατικού στρες, ορίζεται για τιμές της στοματικής αγωγιμότητας (gs) μικρότερες ή ίσες των $0,15 \text{ mol H}_2\text{O/m}^2 \text{ sec}$. Η φωτοσυνθετική δραστηριότητα στη φάση αυτή, μειώνεται αργά και δεν παρατηρείται μεταβολή στο ρυθμό μεταφοράς ηλεκτρονίων και η αποδοτικότητα της χρήσης νερού αυξάνεται. Η συγκεκριμένη φάση χαρακτηρίζεται από μια σχετικά μικρή μείωση της φωτοσύνθεσης η οποία οδηγεί σε μια προοδευτική αύξηση της εγγενούς αποδοτικής χρήσης νερού και στη μείωση της συγκέντρωσης του CO_2 στα στομάτια. Ως συνέπεια της μειωμένης διαθεσιμότητας του CO_2 στο μεσόφυλλο, το ποσοστό της φωτοαναπνοής αυξάνεται γεγονός το οποίο επιτρέπει, τη διατήρηση του ρυθμού μεταφοράς ηλεκτρονίων των θυλακοειδών. Σε αυτό το στάδιο το κλείσιμο των στοματίων,

είναι ίσως ο μόνος περιορισμός στη φωτοσύνθεση.

Η δεύτερη φάση, χαρακτηρίζεται σαν μια μέτρια φάση υδατικού στρες με ενδιάμεσες τιμές στοματικής αγωγιμότητας $0,15 > g_s > 0,05 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ sec}$. Κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης, συμβαίνει συνήθως μια περαιτέρω μείωση της φωτοσύνθεσης, διότι η παροχή του διοξειδίου του άνθρακα μειώνεται δραστικά λόγω του κλεισίματος των στοματίων, η αποδοτικότητα της χρήσης νερού αυξάνεται, φτάνοντας σε ένα μέγιστο για τιμή $g_s = 0,05 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ sec}$ αλλά σε ορισμένες ποικιλίες μπορεί να μειωθεί. Παράλληλα, μειώνεται ο ρυθμός μεταφοράς ηλεκτρονίων, ως συνέπεια της μειωμένης αγωγιμότητας του μεσόφυλλου σε αυτό το στάδιο. Σ' αυτή τη φάση, οι στοματικοί περιορισμοί φαίνεται να κυριαρχούν και η φωτοσύνθεση μπορεί να αντιστραφεί ραγδαία μετά από ενυδάτωση του φυτικού ιστού.

Τέλος, μια φάση σοβαρής υδατικής καταπόνησης λαμβάνει χώρα όταν η στοματική αγωγιμότητα είναι πολύ χαμηλή. Δηλαδή, η τιμή της είναι κάτω από $0,05 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ sec}$. Σε αυτή τη φάση, η φωτοσύνθεση δεν ανακάμπτει μετά την άρδευση. και οι τιμές του ρυθμού μεταφοράς ηλεκτρονίων μειώνονται δραστικά (το οποίο μπορεί να οφείλεται στη μειωμένη δραστηριότητα της Rubisco). Παρατηρείται ακόμη, μια γενική μείωση της δραστηριότητας και της ποσότητας των φωτοσυνθετικών ενζύμων και οι τιμές της αποδοτικότητας χρήσης νερού όπως και ο ρυθμός φωτοαναπνοής, πέφτουν σε πολύ χαμηλά επίπεδα (Cifre et al., 2005).

3.4 Οξειδωτική καταπόνηση σε συνθήκες έλλειψης νερού

3.4.1 Ενεργές ρίζες οξυγόνου (Reactive Oxygen Species-ROS)

Η συσσώρευση ενεργών μορφών οξυγόνου προκαλεί οξειδωτική καταπόνηση. Οι αερόβιοι οργανισμοί χρησιμοποιούν το οξυγόνο ως δείκτη ηλεκτρονίων προκειμένου να επιτύχουν υψηλότερη ενεργειακή απόδοση από τον καταβολισμό σακχάρων ή άλλων μορίων. Ωστόσο, συγχρόνως παράγονται ανηγμένες, ενδιάμεσες μορφές οξυγόνου. Αυτές οι ανηγμένες μορφές οξυγόνου είναι ισχυρότερα οξειδωτικά από το ίδιο το οξυγόνο, όταν αυτό βρίσκεται στη βασική του κατάσταση, και ονομάζονται συλλογικά ενεργές μορφές οξυγόνου (ROS) και είναι τοξικές. Οι ενεργές μορφές οξυγόνου, είναι ελεύθερες ρίζες, δηλαδή μόρια με ασύζευκτα ηλεκτρόνια στην εξωτερική ηλεκτρονιακή τους στοιβάδα, σχετικώς σταθερά, που μπορούν να υφίστανται αυτόνομα. Προσβάλλουν πρωτεΐνες, λιπίδια των κυτταρικών

μεμβρανών, νουκλειικά οξέα και πολλά μικρά μόρια. Οι βλάβες που προξενούν, εκδηλώνονται με μεταβολή των ιδιοτήτων και της λειτουργικότητας των μεμβρανών, εκροή ενδοκυτταρικών συστατικών, μεταλλάξεις DNA, διάσπαση χρωστικών, μείωση φωτοσυνθετικής και αναπνευστικής ικανότητας, γήρανση και νέκρωση.

Για την αντιμετώπιση πιθανής οξειδωτικής βλάβης στα κυτταρικά συστατικά, οι οργανισμοί έχουν αναπτύξει έναν εντυπωσιακό αντιοξειδωτικό μηχανισμό, που περιλαμβάνει πολλά αντιοξειδωτικά ένζυμα, και μη ενζυμικά μικρά μόρια. Κύριος ρόλος τους είναι η απόσβεση και η εξουδετέρωση των ενεργών ριζών οξυγόνου ή της βλάβης που αυτές προξενούν. Αναλόγως της συγκέντρωσης τους, οι ενεργές ρίζες οξυγόνου οδηγούν σε τρεις αποκρίσεις : ενεργοποίηση του αντιοξειδωτικού μηχανισμού, προγραμματισμένο κυτταρικό θάνατο και γενικευμένη νέκρωση, όταν η συγκέντρωσή τους είναι υψηλή. Εκτός από τη συγκέντρωση, άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την απόκριση του φυτού είναι το είδος των ενεργών μορφών οξυγόνου, η διαμερισματοποίηση του, η διάρκεια της καταπόνησης και η ηλικία του φυτού. Όταν η παραγωγή των ενεργών ριζών οξυγόνου υπερβαίνει την απόσβεση τους από τον αντιοξειδωτικό μηχανισμό, που το φυτό ενεργοποιεί, προκαλείται οξειδωτική καταπόνηση (Δ. Μπουράνης, Σ. Χωριανοπούλου, 2010).

3.4.2 Αντιοξειδωτικοί μηχανισμοί

Η προσαρμογή των φυτών σε μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες όπως η υδατική καταπόνηση είναι απαραίτητη για την επιβίωση και την ανάπτυξη τους. Το μέλλον των κυττάρων υπό συνθήκες υδατικού στρες, καθορίζεται από την ένταση της καταπόνησης, τη διάρκεια του στρες καθώς και από την ενεργοποίηση των αντιοξειδωτικών μηχανισμών του φυτού. Οι ενεργές μορφές οξυγόνου (ROS), παίζουν καθοριστικό ρόλο στην πρόκληση κυτταρικής βλάβης, σε συνθήκες υδατικής καταπόνησης.

Η αλληλουχία των γεγονότων στον φυτικό ιστό που υποβάλλεται σε συνθήκες υδατικής καταπόνησης είναι : α) η αύξηση της παραγωγής των ενεργών μορφών οξυγόνου (ROS) και των οξειδωμένων μορίων-στόχων β) επαγωγή της έκφρασης γονιδίων υπεύθυνων για αντιοξειδωτικές λειτουργίες γ) αύξηση των επιπέδων των αντιοξειδωτικών συστημάτων και των αντιοξειδωτικών μορίων και δ) δημιουργία ενισχυμένης ικανότητας δέσμευσης ROS, με αποτέλεσμα την ανοχή του φυτού έναντι του υδατικού στρες. Παρά το γεγονός ότι μια σειρά από ρυθμιστικούς μηχανισμούς έχουν εξελιχθεί εντός του φυτικού κυττάρου για να

περιορίσουν την παραγωγή αυτών των τοξικών μορίων, η οξειδωτική βλάβη παραμένει ένα δυνητικό πρόβλημα, δεδομένου ότι προκαλεί διαταραχές στο μεταβολισμό, όπως η απώλεια συντονισμού μεταξύ της παραγωγής ενέργειας και της διαδικασίας αξιοποίησης της ενέργειας κατά τη διεργασία της φωτοσύνθεσης. Οι μηχανισμοί που ενεργοποιούν τα φυτά για να καταστείλουν την δράση των ενεργών μορφών οξυγόνου (ROS) κατηγοριοποιούνται σε ενζυμικούς και μη-ενζυμικούς. Οι **ενζυμικοί** μηχανισμοί περιλαμβάνουν: την σουπεροξειδική δισμουτάση (SOD), την καταλάση (CAT), την περοξειδάση του ασκορβικού οξέος (APX), την υπεροξειδάση (POD), την αναγωγή της γλουταθειόνης (GR), την αναγωγή του μονοδευδροασκορβικού οξέος (MDAR) και την αναγωγή του δευδροασκορβικού οξέος (DHAR). Οι **μη-ενζυμικοί** μηχανισμοί αποτελούνται από τις φλαβονόλες, τις ανθοκυάνες, τα καροτενοειδή και το ασκορβικό οξύ (AA). Ο βαθμός στον οποίο αυξάνονται οι δραστηριότητες των αντιοξειδωτικών ενζύμων και η ποσότητα των αντιοξειδωτικών κάτω από συνθήκες υδατικής καταπόνησης είναι εξαιρετικά μεταβαλλόμενος μεταξύ των διάφορων φυτικών ειδών, ακόμη και μεταξύ δύο ποικιλιών του ίδιου είδους. Το επίπεδο της απόκρισης, εξαρτάται από το είδος, την ανάπτυξη και την κατάσταση του μεταβολισμού του φυτού, καθώς και από την διάρκεια και την ένταση του στρες. Ο λόγος για τις διαφορετικές συμπεριφορές μεταξύ των φυτικών ειδών μπορεί να οφείλεται στη σταδιακή προσαρμογή των φυτών σε μεταβαλλόμενες συνθήκες, επιτρέποντας έτσι μια μέθοδο εγκλιματισμού τους (Ramachandra et al., 2004)

4. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΠΡΑΚΤΙΚΩΝ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΕΠΙ ΤΩΝ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΤΩΝ ΠΡΕΜΝΩΝ

4.1 Ανασκόπηση της διακύμανσης των υδατικών παραμέτρων

Η εφαρμογή προγραμμάτων RDI και PRD, εξακολουθούν να είναι από τα χρησιμότερα εργαλεία για τη βελτίωση της αποδοτικής χρήσης νερού (WUE), και της παραγωγικότητας των αμπελώνων σε ημιάνυδρες περιοχές. Η σχετικά πρόσφατη γενίκευση της άρδευσης της αμπέλου σε περιοχές με ξηρό καλοκαίρι, έχει οδηγήσει σε κάποια διαμάχη εξαιτίας των όχι πλήρως κατανοητών σχέσεων μεταξύ της φωτοσύνθεσης των αμπελιών και της απόδοσης/ποιότητας των καρπών. Η άρδευση, αυξάνει σημαντικά την φωτοσύνθεση, και η απόδοση των σταφυλιών αυξάνεται κατά 1,5-4 φορές περίπου, ανάλογα με τον χρόνο άρδευσης, την ποσότητα νερού που εφαρμόζεται, την ποικιλία, τις περιβαλλοντικές συνθήκες και άλλες καλλιεργητικές πρακτικές (Cifre et al., 2005). Από την άλλη, φαίνεται ότι μέχρι ένα ορισμένο ποσό του προστιθέμενου νερού, δεν παρατηρούνται επιδράσεις στο σταφύλι και την ποιότητα του κρασιού, ακόμα και όταν η απόδοση των σταφυλιών αυξάνεται (Cifre et al., 2005). Ωστόσο, οι μεγαλύτερες ποσότητες νερού, αν και αυξάνουν την απόδοση των σταφυλιών, έχουν αρνητική επίδραση σχετικά με την ποιότητα, κυρίως λόγω απώλειας του χρώματος και της ανάπτυξης ανισοροπίας μεταξύ των χαμηλών επιπέδου σακχάρων και της οξύτητας. Ως εκ τούτου, μια βαθειά γνώση των μηχανισμών που ρυθμίζουν την αφομοίωση του άνθρακα του φυτού, έχει μεγάλο ενδιαφέρον στο πλαίσιο της γεωργίας ακριβής προσέγγισης, αφού αυτοί οι μηχανισμοί παίζουν σημαντικό ρόλο στη ρύθμιση της ευαίσθητης ισορροπίας μεταξύ της απόδοσης και της ποιότητας των σταφυλιών. (Cifre et al.,

2005)

Μελέτες αγρού, χρησιμοποιώντας τις ποικιλίες “Moscatel”, “Castellao”, και “Aragonez” έδειξαν ότι οι τεχνικές της ελλειμματικής άρδευσης προώθησαν την αύξηση της WUE, σε σύγκριση με πλήρως αρδευόμενα αμπέλια, μακροπρόθεσμα και βραχυπρόθεσμα. Αύξηση της WUE και αντίστοιχα εξοικονόμηση νερού, υπό την εφαρμογή ελλειμματικής άρδευσης, αναφέρθηκαν σε διάφορες ποικιλίες αμπελιού και σε διαφορετικές τοποθεσίες. (Chaves et al., 2009). Επίσης, μελέτη που διεξήχθη με την ποικιλία “Moscatel” έδειξε ότι τα πρέμνα που μεγάλωσαν σε συνθήκες PRD άρδευσης παρουσίασαν μεγαλύτερη φωτοσυνθετική πυκνότητα ροής φωτονίων (αριθμός εισερχομένων φωτονίων στην περιοχή του ορατού φάσματος ανά μονάδα επιφάνειας και χρόνου) (Santos et al., 2007). Το ίδιο παρατηρήθηκε και σε φυτά ποικιλίας “Castelao” μεγαλωμένα στον αγρό, όπως και το ότι η αποδοτικότητα χρήσης νερού (WUE), ήταν διπλάσια των πλήρως αρδευόμενων (Santos et al., 2005)

Σε πειράματα που διεξήχθησαν σε φυτά της ποικιλίας Σουλτανίνας εφαρμόζοντας ελεγχόμενες συνθήκες θερμοκρασίας και τεχνητού φωτός, υπό συνθήκες PRD, παρατηρήθηκε σημαντική μείωση της στοματικής αγωγιμότητας σε σχέση με τα αρδευόμενα φυτά (Stoll, 2011). Το υδατικό δυναμικό σε συνθήκες PRD και σε συνθήκες πλήρους άρδευσης ήταν υψηλότερο σε σχέση με το μη αρδευόμενα ενώ δεν παρατηρήθηκαν διαφορές στο υδατικό δυναμικό των πρέμνων που δέχθηκαν πλήρη άρδευση σε σχέση με τα φυτά που είχαν υποβληθεί σε συνθήκες PRD. Το πολύ χαμηλό υδατικό δυναμικό στα μη αρδευόμενα φυτά είχε σαν αποτέλεσμα την μείωση της στοματικής αγωγιμότητας με συνέπεια την μεγάλη αύξηση του αμπισισικού οξέος. Η στοματική αγωγιμότητα των PRD φυτών μειώθηκε έως και 80 % και η αύξηση του ABA σε σχέση με τα μη αρδευόμενα φυτά είναι πολύ μικρότερη όπως παρατηρήθηκε και σε ανάλογο πείραμα στην ποικιλία Cabernet Sauvignon. (Stoll, 2011). Το pH στα ξυλώδη αγγεία του Cabernet Sauvignon, ήταν κατά 0,24 μονάδες υψηλότερο σε συνθήκες PRD σε σύγκριση με τα πλήρως αρδευόμενα πρέμνα. Ωστόσο, αξίζει να αναφερθεί ότι το pH στα PRD πρέμνα ήταν υψηλότερο το πρωί σε σύγκριση με το απόγευμα. Η ροή του ABA από τη ρίζα στο φυτό αυξήθηκε περίπου 30% στο Cabernet Sauvignon υπό συνθήκες PRD σε σύγκριση και με τα αρδευόμενα αλλά και με τα μη αρδευόμενα πρέμνα. Τα παραπάνω, υποδηλώνουν πως η συγκέντρωση του ABA στα φύλλα υπό συνθήκες PRD, μπορεί να επηρεάσει την προσαρμογή τους σε εξωτερικά ερεθίσματα, όπως και το ότι το pH του ξυλώδη ιστού μπορεί να ρυθμίσει τη στοματική αγωγιμότητα υπό συνθήκες PRD (Collins, 2006) .

Στη ποικιλία Shiraz πραγματοποιήθηκε σύγκριση των μεθόδων PRD και RDI και παρατηρήθηκε σημαντική μείωση της φωτοσύνθεσης (που συσχετίστηκε με τη θέση των φύλλων στο πρέμνο και με την ηλικία των φύλλων) μόνο σε περιόδους προ-περκασμού. Στο ίδιο πείραμα, αναφέρεται πως τα PRD φυτά, μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν καλύτερα το νερό από τα βαθύτερα στρώματα του εδάφους, και οι μετρήσεις της φωτοσύνθεσης, και της στοματικής αγωγιμότητας έδειξαν ότι τα PRD φυτά διατηρούσαν ικανοποιητικά τη φωτοσυνθετική λειτουργία των φύλλων. (Collins,2006)

Στην ποικιλία “Aragonez”(Tempranillo), το υδατικό δυναμικό των φύλλων στα RDI ήταν σε όλες τις περιόδους (περκασμού, ωρίμανσης) υψηλότερο από ότι στα μη αρδευόμενα. Με την πάροδο του χρόνου, και σε αυτή την περίπτωση το υδατικό δυναμικό μειωνόταν, και το ABA ήταν στα υψηλότερα επίπεδα κατά τον περκασμό. (Zarrouka et al., 2012)

Σε ανάλογο πείραμα στη ποικιλία “Sangiovese”,η οποία θεωρείται στην Ιταλία η καλύτερη κόκκινη ποικιλία καταλαμβάνοντας έκταση περίπου 69000 εκταρίων, ανάμεσα σε φυτά αρδευόμενα υπό συνθήκες μερικής ξήρανσης των ριζών (PRD) και σε φυτά κανονικά αρδευόμενα παρατηρήθηκε ότι το υδατικό δυναμικό βλαστών και φύλλων , ήταν χαμηλότερο στα PRD φυτά απ’ ότι στα κανονικά αρδευόμενα και η αποδοτικότητα της χρήσης νερού (WUE), στα PRD φυτά ήταν πολύ υψηλότερη σε σχέση με τα αρδευόμενα. Επίσης, παρόλο που η φωτοσύνθεση στα PRD φυτά ήταν μειωμένη, τα παραγόμενα σταφύλια είχαν βελτιωμένα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και η παραγωγή δεν μειώθηκε, γεγονός που επιβεβαιώνει τον στόχο του συγκεκριμένου πειράματος που ήταν να μπορεί να ελεγχθεί η ζωηρότητα των πρέμνων, χωρίς όμως να μειωθεί η παραγωγή και να παραχθούν σταφύλια καλύτερης ποιότητας (Poni et al., 2007)

4.2 Ανασκόπηση της διακύμανσης των αλλομετρικών παραμέτρων

Στην ποικιλία “Tempranillo”, σε πρέμνα που αρδευόντουσαν με ρυθμιζόμενη ελλειμματική άρδευση (RDI), σε σύγκριση με κανονικά αρδευόμενα πρέμνα, βρέθηκε ότι τα RDI φυτά, είχαν μειωμένη βλαστική ανάπτυξη καθώς και υποβαθμισμένο βάρος ράγας εξαιτίας του στρες από την έλλειψη νερού κατά την αρχή της περιόδου ανάπτυξης των ραγών. Τα RDI φυτά είχαν μικρότερη ανάπτυξη και από άποψη κορμού του πρέμνου αλλά και από άποψη ετήσιου βλαστού. Επιπρόσθετα, μείωση στον αριθμό ανθέων και τσαμπιών παρουσιάστηκε

όταν η περίοδος ελλειμματικής άρδευσης εφαρμόστηκε μεταξύ άνθησης και ωρίμανση (Santesteban et al., 2011). Ανάλογα στην ποικιλία “Castellao”, σε πείραμα ανάμεσα σε φυτά που αρδεύτηκαν με την μέθοδο μερικής ξήρανσης των ριζών (PRD), σε μη αρδευόμενα φυτά και σε φυτά αρδευόμενα με ελλειμματική άρδευση (RDI), το βάρος των βλαστών και των κλάδων μειώθηκε στα PRD και στα μη αρδευόμενα φυτά συγκριτικά με αυτά της ελλειμματικής άρδευσης ενώ συνέβη το αντίθετο στην περίπτωση των ολικών φαινολών και των ανθοκυανών (Santos et al., 2005, Chaves et al., 2007). Πειραματικές μελέτες που έγιναν σε τρεις διαφορετικές ποικιλίες (Thomson Seedles/σουλτανίνα, Chardonnay, Cabernet Sauvignon), αρδευόμενες υπό συνθήκες PRD έδειξαν επίσης ότι στα PRD φυτά η βλαστική ανάπτυξη ήταν μειωμένη σύμπτωμα το οποίο αποδόθηκε στη μειωμένη διαθεσιμότητα κυτοκινίνων (Stoll,2011). Σημειώνεται ότι η ποικιλία Cabernet Sauvignon αναφέρεται να εμφανίζει μειωμένη βλαστική ανάπτυξη χωρίς όμως να έχει επιπτώσεις στην παραγωγή ως συνέπεια της αποτελεσματικότερης χρήσης νερού. (Toir., 2003)

Στην ποικιλία “Sangiovese” σε φυτά αρδευόμενα υπό συνθήκες PRD, δεν παρουσιάστηκαν σημαντικές διαφορές στις μετρήσεις που αφορούσαν το μέγεθος των φύλλων, την παραγωγή ανά σειρά, τον αριθμό τσαμπιών ανά σειρά, το βάρος των ραγών και των τσαμπιών και τα οργανικά οξέα (Poni et al., 2007). Ενδιαφέρον παρουσιάζει και αναφορά για την ποικιλία “Moscatel”, όπου τα PRD πρέμνα παρουσίασαν μια τάση για ανάπτυξη βαθύτερου ριζικού συστήματος ενώ τα πρέμνα τα οποία αναπτύχθηκαν σε συνθήκες πλήρης ή ελλειμματικής άρδευσης στο ίδιο πείραμα, είχαν μεγαλύτερη ομοιογένεια στην κατανομή των ριζών σε διαφορετικά στρώματα εδάφους (Santos et al., 2007). Η πιο πρόσφατη μελέτη σε φυτά ποικιλίας “Monastrell”, αρδευόμενα υπό συνθήκες ελεγχόμενης ελλειμματικής άρδευσης (RDI) σε σχέση με συμβατικά αρδευόμενα φυτά έδειξε μείωση της ζωηρότητας των πρέμνων και της βλαστικής ανάπτυξης γεγονός που ισχυροποιεί την άποψη πως οι μέθοδοι ελλειμματικής άρδευσης σε φυτά αμπελιού περιορίζουν τη βλαστική ανάπτυξη, χωρίς να αποτελούν περιοριστικό παράγοντα ως προς τα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά της παραγωγής (Romero et al., 2013).

4.3 Ανασκόπηση της διακύμανσης των παραμέτρων ανταλλαγής αερίων

Η ελλειμματική άρδευση, αναφέρεται να συνοδεύεται από κλείσιμο των στοματίων. Σε πείραμα που διεξήχθη σε 4 κόκκινες ποικιλίες (Cabernet Sauvignon, Garnacha, Merlot, Tempranillo), προσδιορίστηκε η ανταλλαγή αερίων και η διαπνοή που παρουσίασαν τα φυτά

σε συνθήκες ελλειμματικής άρδευσης και τα αποτελέσματα έδειξαν ότι καλύτερη προσαρμογή στην ελλειμματική άρδευση είχε η ποικιλία Garnacha. Το ανωτέρω συμπέρασμα προκύπτει από το γεγονός ότι η ποικιλία Garnacha είχε μεγαλύτερες τιμές WUE (αποδοτικότητας χρήσης νερού) καθώς επίσης και μεγαλύτερη αποταμίευση του νερού στα φύλλα. Το αντίθετο παρατηρήθηκε στη ποικιλία Tempranillo που εμφάνισε τη λιγότερο αποτελεσματική προσαρμογή στην ελλειμματική άρδευση. Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι η ποικιλία Tempranillo παρουσίασε την ταχύτερη επαναφορά των τιμών των παραμέτρων ανταλλαγής αερίων μετά από επανάρδευση (Santesteban et al., 2009) .

Η διαφορετική αντίδραση των ποικιλιών Αμπέλου είναι αποτέλεσμα της διαφορετικής μορφολογίας και ανατομίας των φύλλων, των διαφορετικών τιμών υδραυλικής αγωγιμότητας, καθώς και διαφορών στην αποδοτικότητα χρήσης νερού, στη φωτοσύνθεση και στην αναπνοή (Santesteban et al., 2009) . Στο συγκεκριμένο πείραμα, οι εξεταζόμενες ποικιλίες μετά την εφαρμογή της ελλειμματικής άρδευσης είχαν μειωμένη διαπνοή και απορρόφηση διοξειδίου του άνθρακα αλλά αυξημένη WUE, αν και σε διαφορετικό βαθμό η κάθε μια. Κατά τα πρώτα στάδια εφαρμογής της μεθόδου RDI, η μεγαλύτερη μείωση του Ρυθμού Φωτοσύνθεσης (A) σημειώθηκε για τις ποικιλίες “Cabernet Sauvignon” και “Merlot”, ενώ η ποικιλία “Merlot” επέδειξε και τη μεγαλύτερη μείωση της διαπνοής. Στα μεταγενέστερα στάδια της υδατικής καταπόνησης, τη μεγαλύτερη μείωση της παραμέτρου A παρουσίασε η ποικιλία “Tempranillo” και αμέσως μετά η ποικιλία “Granacha”. Η “Tempranillo”, είχε τη μεγαλύτερη μείωση διαπνοής, ενώ όλες οι υπόλοιπες ποικιλίες δεν είχαν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους (Santesteban et al., 2009).

Στην ποικιλία “Sangiovese”, σε φυτά αρδευόμενα υπό συνθήκες μερικής ξήρανσης των ριζών (PRD), αξιολογήθηκαν τρεις παράμετροι για την ανταλλαγή των αερίων. Αυτές ήταν ο ρυθμός αφομοίωσης του CO₂ (A), η στοματική αγωγιμότητα (Gs) και η διαπνοή (E). Ως προς το Ρυθμό Φωτοσύνθεσης (A), τα PRD φυτά παρουσίασαν μείωση σε σχέση με τα επαρκώς αρδευόμενα σε ποσοστό 16,2%. Ουσιαστικά, η αφομοίωση του διοξειδίου του άνθρακα, άρχισε να μειώνεται σημαντικά, 5 ημέρες μετά την έναρξη του υδατικού στρες. Ωστόσο, μια εβδομάδα μετά την επανάρδευση, η παράμετρος A επανερχόταν σε φυσιολογικές τιμές. Κατά τη διάρκεια της εφαρμογής της μεθόδου PRD , η στοματική αγωγιμότητα των φυτών, ήταν κατά μέσο όρο 41% μικρότερη σε σύγκριση με τα επαρκώς αρδευόμενα φυτά και η μείωση της διαπνοής ήταν της τάξης του 34,6%. Και η διαπνοή όμως όπως και η στοματική αγωγιμότητα επανερχόταν μετά την επανάρδευση στα φυσιολογικά επίπεδα (Poni et al.,

2007). Η ποικιλία λοιπόν και στην συγκεκριμένη περίπτωση της διακύμανσης της ανταλλαγής αερίων αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την συμπεριφορά των φυτών σε συνθήκες υδατικής καταπόνησης (Chaves M.M et al., 2007).

4.4 Ανασκόπηση της διακύμανσης των φυτορμονών

Οι ρίζες που βρίσκονται σε υδατική καταπόνηση παράγουν αρκετή ποσότητα αμπισισικού οξέος (ABA), ώστε η φυτορμόνη να επηρεάσει τη λειτουργία των στοματίων και να μειώσει την διαπνοή. Κρίσιμο σημείο της μεθόδου PRD αποτελεί ο προγραμματισμός του χρόνου εναλλαγής της άρδευσης των τμημάτων του ριζικού συστήματος προκειμένου οι ρίζες που βρίσκονται σε ξηρασία να διατηρούν πλήρως τη λειτουργικότητά τους και να συνθέτουν την απαραίτητη ποσότητα ABA (Fuentes, et al., 2014).

Η ροή του ABA από τη ρίζα στο βλαστό σε φυτά ποικιλίας “ Cabernet Sauvignon” που είχαν υποβληθεί σε συνθήκες PRD αυξήθηκε περίπου 30% σε σύγκριση με πλήρως αρδευόμενα (Stoll et al., 2011). Σε φυτά της ίδιας ποικιλίας που είχαν υποβληθεί σε συνθήκες άρδευσης PRD και RDI κατά τη διάρκεια της νύχτας, το ABA ήταν επίσης υψηλότερο σε αυτά τα φυτά από ότι στα πλήρως αρδευόμενα (Fuentes, et al., 2014). Ανάμεσα σε φυτά της ποικιλίας “Tempranillo” που αρδευόνταν σε συνθήκες ρυθμιζόμενης ελλειμματικής άρδευσης (RDI) και σε μη αρδευόμενα φυτά παρατηρήθηκε ότι το ABA ήταν στα υψηλότερα επίπεδα κατά τη διάρκεια του περκασμού (Zarrouka et al., 2012). Σε διαφορετική μελέτη όπου μελετήθηκαν δύο διαφορετικές ποικιλίες (Cabernet Sauvignon, Shiraz) υποβαλλόμενες και οι δύο σε συνθήκες PRD σε σύγκριση με κανονικά αρδευόμενα φυτά (μάρτυρες) των εκάστοτε ποικιλιών παρατηρήθηκε ότι τα φυτά και των δύο ποικιλιών που είχαν υποβληθεί σε PRD μέθοδο, είχαν αυξημένη συγκέντρωση ABA στα φύλλα μεγέθους 60% σε σύγκριση με των πλήρως αρδευομένων. Η αυξημένη συγκέντρωση του ABA στα φύλλα αλλά και το αυξημένο pH του αγωγού ιστού που βρέθηκε σύμφωνα με τους ερευνητές είναι οι αιτίες της μειωμένης στοματικής αγωγιμότητας που παρουσίασαν τα PRD φυτά σε σχέση με τα κανονικά αρδευόμενα. Στο ίδιο πείραμα βρέθηκε ότι στα PRD πρέμνα ήταν μειωμένη και η συγκέντρωση της ζεατίνης (φυτορυθμιστική ουσία που ανήκει στην οικογένεια των κυτοκινίνων), αλλά και της ζετινο-ριβοσίδης και στις ρίζες και στις άκρες των βλαστών κατά 60% και 50% αντιστοίχως (Toit , 2003).

4.5 Ανασκόπηση των διακυμάνσεων στους οργανοληπτικούς χαρακτήρες του προϊόντος

Αρκετές μελέτες, δείχνουν ότι η ελλειμματική άρδευση μεταβάλλει αρκετά ποιοτικά χαρακτηριστικά του οίνου, καθώς επίσης και τη συγκέντρωση των καροτενοειδών και των παραγώγων τους στα μούρα, σε σύγκριση με το βασικό τρόπο άρδευσης στα αμπέλια. Ο Chapman 1998, ανέφερε ότι η ελλειμματική άρδευση οδήγησε σε οίνο με περισσότερο φρουτώδες άρωμα απ' ότι σε αμπέλια με υψηλή υδατική κατάσταση στην ποικιλία "Cabernet Sauvignon". Στο ίδιο πείραμα, η συγκέντρωση των φλαβονοειδών στην ράγα δεν αυξήθηκε, αλλά παρατηρήθηκε μια σημαντική αύξηση της περιεκτικότητας σε σάκχαρα σε αντίθεση με τις ποικιλίες "Merlot" και "Chardonnay" γεγονός που υποδεικνύει ότι η περιεκτικότητα των σακχάρων στο σταφύλι, υπό την εφαρμογή των μεθόδων PRD και RDI, εξαρτάται και από την ποικιλία.(Chaves et al., 2010)

Επιπροσθέτως, σε πείραμα, με τις ποικιλίες "Moscatel" και "Castelao", συγκρίνοντας αρδευόμενα φυτά με τη μέθοδο PRD, φυτά αρδευόμενα με ελλειμματική άρδευση (DI) καθώς και κανονικά αρδευόμενα φυτά, παρατηρήθηκε ότι κυρίως τα PRD πρέμνα και δευτερευόντως τα DI πρέμνα, παρουσίασαν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις ανθοκυάνων στη ράγα αλλά και αυξημένη περιεκτικότητα σε φαινόλες σε σχέση με τα πλήρως αρδευόμενα (Chaves et al., 2007). Ο Singleton το 1972, είχε παρατηρήσει πως μια μείωση του μεγέθους της ράγας κατά 10% παρουσιάζει μια αύξηση στο άρωμα, στο χρώμα, τις τανίνες και την ποιότητα χωρίς να επηρεάζει την συγκέντρωση των brix βαθμών, του pH και των διαλυτών σακχάρων (P.G du Toir, 2003). Επιπλέον, σύμφωνα με ερευνητικές, τα ελεγχόμενα υδατικά ελλείμματα μπορούν να οδηγήσουν σε μια μεγαλύτερη ροή του άνθρακα μέσω εναλλακτικών βιοσυνθετικών «μονοπατιών», προκαλώντας μια αύξηση των αμινοξέων και των καροτενοειδών που οδηγούν σε ένα πιο φρουτώδες άρωμα. (Chaves et al., 2010)

Σε πείραμα που έγινε στην ποικιλία "Aragonez", έγινε σύγκριση της επίδρασης της ρυθμιζόμενης ελλειμματικής άρδευσης (RDI), της ελλειμματικής άρδευσης (DI) και της μη εφαρμογής αρδευτικού νερού. Στο φλοιό της ράγας οι ανθοκυάνες των RDI και DI φυτών ήταν υψηλότερες κατά την περίοδο της πλήρους ωρίμανσης απ' ότι στα μη αρδευόμενα πρέμνα., όμως η αναλογία φλούδας/σάρκας ήταν μεγαλύτερη στα μη αρδευόμενα φυτά συγκριτικά με τα RDI και DI πρέμνα. Στο πρώτο έτος του πειράματος δεν βρέθηκαν διαφορές στην περιεκτικότητα σε σάκχαρα καθώς και στην αναλογία σακχάρων/οξέων. Στο δεύτερο έτος όμως παρατηρήθηκε ότι τα RDI φυτά συσσωρεύαν σάκχαρα πιο αργά μετά τον

περκασμό και κατά την πλήρη ωρίμανση η αναλογία σάκχαρα/οξέα ήταν μικρότερη σε σύγκριση με τα μη αρδευόμενα πρέμνα. Οι ολικές φαινόλες, και η αντιοξειδωτική δραστηριότητα στο πείραμα αυτό, έδειξαν να είναι υψηλότερες στα RDI φυτά απ'ότι στα DI. (Zarrouka et al., 2012)

Σε ανάλογο πείραμα με την ίδια ίδια ποικιλία (Aragonez) αναφέρθηκε μια σημαντική αύξηση του περιεχομένου σε φαινόλες και ανθοκυάνες στα RDI πρέμνα (σε σχέση με τα συμβατικά αρδευόμενα φυτά) κατά την περίοδο της συγκομιδής που κράτησε έως και 30 μέρες μετά. Στη συγκέντρωση των σακχάρων, δεν υπήρξαν μεγάλες μεταβολές αλλά όσον αφορά την οξύτητα, τα RDI φυτά είχαν μειωμένη οξύτητα που αποδόθηκε στη μειωμένη συγκέντρωση του ταρταρικού και μαλικού οξέος. Η μειωμένη συγκέντρωση των οξέων αυτών οφείλεται στη μειωμένη συσσώρευση τους καθώς και στη μεγαλύτερη μείωση του μαλικού οξέος κατά τη διαπνοή τους ζεστούς μήνες στα στρεσαρισμένα φυτά. (Santesteban et al., 2011).

Στην ποικιλία “Castelao” σε πείραμα που διεξήχθη στον αγρό ανάμεσα σε φυτά αρδευόμενα υπό συνθήκες PRD, σε μη αρδευόμενα πρέμνα και σε φυτά πλήρως αρδευόμενα, οι μετρήσεις έδειξαν ότι τα PRD φυτά είχαν μειωμένη ογκομετρούμενη οξύτητα και δεν παρουσίασαν διαφορές από τα άλλα φυτά στα σάκχαρα. Ωστόσο, είχαν περισσότερες ανθοκυάνες και φαινόλες (Santos et al., 2005). Αντίθετα, στη ποικιλία “Sangiovese”, τα PRD φυτά σε σχέση με τα κανονικά αρδευόμενα είχαν μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε σάκχαρα (21 brix έναντι 19), παρά το γεγονός ότι η φωτοσύνθεση τους ήταν μειωμένη. Δεν παρουσιάστηκαν όμως διαφορές στις ολικές φαινόλες, τα οργανικά οξέα (όσον αφορά το μαλικό και το ταρταρικό οξύ), στο pH και στην ογκομετρούμενη οξύτητα (S.Poni et al., 2007). Στην ποικιλία Shiraz , δεν παρατηρήθηκε καμία διαφοροποίηση στο περιεχόμενο σε σάκχαρα, οργανικά οξέα και ανθοκυάνες μεταξύ φυτών που αρδευόντουσαν υπό συνθήκες PRD και φυτών που αρδευόντουσαν υπό συνθήκες ρυθμιζόμενης ελλειμματικής άρδευσης (RDI). (Collins,2006) Επιπροσθέτως, πρόσφατη μελέτη που διεξήχθη σε ώριμα σταφύλια της ποικιλίας “Moscatel”, έδειξε ότι οι ράγες των σταφυλιών των φυτών που δέχθηκαν την εφαρμογή μεθόδου PRD ήταν καλύτερης ποιότητας (καλύτερη γεύση, συγκέντρωση φαινολών) σε σύγκριση με φυτά που βρίσκονταν σε συνθήκες πλήρους άρδευσης, με φυτά που βρίσκονταν σε συνθήκες ελλειμματικής άρδευσης και με μη αρδευόμενα φυτά χωρίς να μειώνεται σημαντικά η παραγωγικότητα τους σε σχέση με τα υπόλοιπα (Santos et al., (2007). Η ποικιλία “Monastrell”, υπό συνθήκες ρυθμιζόμενης ελλειμματικής άρδευσης (RDI) και υπό συνεχή ελλειμματική άρδευση (SDI: sustained deficit irrigation) παρουσίασε βελτιωμένο μικροκλίμα

γύρω από το τσαμπί (μεγαλύτερες θερμοκρασίες αλλά και μεγαλύτερες εντάσεις φωτός), μεγαλύτερη συγκέντρωση φαινολών, καλύτερη συγκέντρωση σακχάρων και μεγαλύτερη ένταση χρώματος. Ο παραγόμενος οίνος της συγκεκριμένης ποικιλίας παρουσίασε παραπλήσια ποιοτικά χαρακτηριστικά και αυξημένες αλκοόλες (Romero et al., 2013).

5. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΠΡΑΚΤΙΚΩΝ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΕΠΙ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΩΝ ΚΑΡΠΩΝ ΤΩΝ ΠΡΕΜΝΩΝ

5.1 RDI και μεταβολές στην ποσότητα και ποιότητα του προϊόντος

Η διαπίστωση σε ερευνητικό και αμπελοκομικό επίπεδο ότι η ήπια έως μέτρια υδατική καταπόνηση των πρέμνων κατά την περίοδο μετά την καρπόδεση έως την έναρξη ωρίμανσης των σταφυλιών, μειώνει την ταχύτητα αύξησης των βλαστών, το μέγεθος των ραγών και συνολικά του φορτίου, ενισχύει τον φαινολικό χαρακτήρα των ραγών και επιταχύνει την ωρίμανση, αποτέλεσε το υπόβαθρο της ανάπτυξης νέας μεθόδου άρδευσης των αμπελώνων, ειδικά των ερυθρών ποικιλιών οινοποιίας, γνωστής ως ρυθμιζόμενη ελλειμματική άρδευση (RDI). Με την RDI, επιδιώκεται ο έλεγχος της αύξησης της βλάστησης και της παραγωγής σε συνδυασμό με τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας χρήσης νερού (Σταυρακάκης,2013). Χρησιμοποιώντας κανονικά αρδευόμενα φυτά και δύο διαφορετικές τεχνικές RDI σε φυτά αμπέλου στην ποικιλία “Tempranillo”, οι ερευνητές κατέληξαν ότι τα φυτά που είχαν υποβληθεί και στις δύο διαφορετικές μεθόδους RDI σε σχέση με τα κανονικά αρδευόμενα φυτά, έδωσαν καρπούς καλύτερης ποιότητας. Στη μία από τις δύο τεχνικές RDI, αποδείχτηκε ότι ήταν αποτέλεσμα του μικρότερου μεγέθους ραγών που είχαν. Τα RDI πρέμνα, είχαν μειωμένη παραγωγή σε σχέση με τα κανονικά αρδευόμενα, γεγονός που αποδόθηκε στη μείωση των τσαμπιών, της βλαστικής ανάπτυξης αλλά και του αριθμού των ραγών. Οι συγκεκριμένοι ερευνητές καταλήγουν σύμφωνα με αυτό το πείραμα ότι η μέθοδος RDI είναι ένα χρήσιμο εργαλείο όταν επιθυμούμε μειωμένη παραγωγή είτε εξαιτίας κανονισμών

παραγωγής ανά περιοχή είτε επειδή επιθυμούμε καρπούς καλύτερης ποιότητας με ένα οικονομικό τρόπο (Santesteban et al., 2011). Σε παρόμοιο πείραμα σε φυτά αμπέλου ποικιλίας “Monastrell” αρδευόμενα υπό συνθήκες ελεγχόμενης ελλειμματικής άρδευσης (RDI) και σε φυτά της ίδιας ποικιλίας αρδευόμενα υπό κανονικές συνθήκες, βρέθηκε επίσης ο αριθμός των τσαμπιών ανά βλαστό και ανά πρέμνο να είναι μικρότερος στα RDI φυτά όπως και ο αριθμός των μούρων ανά τσαμπί σε σύγκριση με τα κανονικά αρδευόμενα (Romero et al., 2013). Τέλος, σε φυτά της ποικιλίας “Syrah”, υπήρξε μείωση του μεγέθους και του βάρους των ραγών σε όλα τα στάδια της βλαστικής περιόδου σε φυτά αρδευόμενα υπό συνθήκες RDI σε σχέση με κανονικά αρδευόμενα φυτά (Toit , 2003).

5.2 PRD και μεταβολές στην ποσότητα και ποιότητα του προϊόντος

Βασικοί στόχοι της μεθόδου άρδευσης PRD όπως και της ρυθμιζόμενης ελλειμματικής άρδευσης είναι ο έλεγχος της ζωηρότητας της βλάστησης και η βελτίωση της αποτελεσματικότητας χρήσης νερού. Η καθοριστική διαφορά μεταξύ των δύο μεθόδων έγκειται στο γεγονός ότι με την RDI η εφαρμογή της άρδευσης γίνεται σε σχέση με το χρόνο, ενώ με την PRD η εφαρμογή της άρδευσης αναφέρεται στο χώρο. Η μέθοδος PRD, αν και μπορεί να εφαρμοσθεί σε συγκεκριμένο βλαστικό στάδιο συνήθως διατηρείται σε όλη την περίοδο βλάστησης και μάλιστα με τρόπο ώστε το ήμισυ του ριζικού συστήματος να διατηρείται σε κατάσταση ξηρότητας, ενώ κατά τον ίδιο χρόνο το άλλο ήμισυ να αρδεύεται με την απαιτούμενη αρδευτική δόση. Η συχνότητα εναλλαγής της άρδευσης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες μεταξύ των οποίων περιλαμβάνονται η καλλιεργούμενη ποικιλία αμπέλου και ο προορισμός χρήσης της παραγωγής, οι φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους, το σύστημα διαμόρφωσης των πρέμνων, η βροχόπτωση, και η μεταβολή της θερμοκρασίας (Σταυρακάκης, 2013).

Σε φυτά ποικιλίας “Moscatel”, που είχαν υποβληθεί σε συνθήκες PRD σε σύγκριση με κανονικά αρδευόμενα φυτά και με φυτά αρδευόμενα με συνθήκες ελλειμματικής άρδευσης, οι ράγες των σταφυλιών ήταν καλύτερης ποιότητας (καλύτερη γεύση, συγκέντρωση φαινολών), χωρίς να μειώνεται σημαντικά η παραγωγή σε σχέση με τα κανονικά αρδευόμενα φυτά αλλά και με φυτά που βρίσκονταν σε συνθήκες ελλειμματικής άρδευσης (Santos et al., 2007). Στα φυτά της ποικιλίας “Cabernet Sauvignon” αρδευόμενα υπό συνθήκες PRD παρατηρήθηκε ότι η παραγωγή ήταν η ίδια με τα κανονικά αρδευόμενα φυτά, αλλά οι ράγες των PRD φυτών ήταν μικρότερες. Ωστόσο, η ποιότητα των καρπών ήταν καλύτερη στα PRD

πρέμνα. Στο ίδιο πείραμα, στην ποικιλία “Shiraz”, το μέγεθος των ραγών των PRD φυτών δεν επηρεάστηκε και η παραγωγή των πρέμνων ήταν σημαντικά υψηλότερη από εκείνη των κανονικά αρδευόμενων (Toit et al., 2003). Η ποικιλία “Castelao” φαίνεται να παρουσιάζει ενδιαφέρον καθώς σε πείραμα που έγινε ανάμεσα σε φυτά αρδευόμενα με την μέθοδο ελλειμματικής άρδευσης (RDI), σε φυτά κανονικά αρδευόμενα και σε φυτά αρδευόμενα με την μέθοδο PRD δεν παρατηρήθηκε καμμία διαφορά στην παραγωγή και στην ποιότητα των καρπών των πρέμνων. Τέλος, σε πείραμα που διεξήχθη σε φυτά αμπέλου της ποικιλίας “Sangiovese” αρδευόμενα υπό συνθήκες PRD, και σε κανονικά αρδευόμενα φυτά δεν παρουσιάστηκαν σημαντικές διαφορές στην παραγωγή, τον αριθμό των τσαμπιών και το βάρος των ραγών. Το συγκεκριμένο πείραμα, θεωρήθηκε επιτυχές αφού μπορούσε να ελεγχθεί η ζωηρότητα των πρέμνων χωρίς να μειωθεί η παραγωγή (Poni et al., 2007).

6 . ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

Στην εργασία αυτή, μελετήθηκαν οι επιδράσεις των δύο μεθόδων ελλειμματικής άρδευσης των κυριότερων καλλιεργούμενων ποικιλιών σε πειράματα που έγιναν κυρίως στις χώρες της λεκάνης της Μεσογείου. Οι χώρες αυτές, προβλέπεται ότι στο άμεσο μέλλον θα υποστούν αρνητικές επιπτώσεις στην απόδοση και την ποιότητα των σταφυλιών λόγω των ακραίων καιρικών φαινομένων και της κλιματικής αλλαγής. Τα περισσότερα πειράματα αφορούσαν ερυθρές οινοποιήσιμες ποικιλίες με εξαίρεση την Thomson Seedles (Σουλτανίνα), και το Chardonnay.

Όπως προαναφέρθηκε στην παρούσα εργασία οι μέθοδοι ρυθμιζομενης ελλειμματικής άρδευσης (RDI) και μερικής ξήρανσης των ριζών (PRD) μπορούν να αποτελέσουν ένα σημαντικό δείκτη αξιολόγησης στην ποσότητα και την ποιότητα του παραγόμενου προϊόντος στην καλλιέργεια του αμπελιού. Από τα αποτελέσματα των πειραμάτων προκύπτει ότι:

- Με τη μέθοδο **RDI** που πραγματοποιήθηκε στις ποικιλίες *Tempranillo*, *Monastrell Shirah* και *Castellao* παρατηρήθηκε :
 - Καλύτερη ποιότητα καρπών (μεγαλύτερη συγκέντρωση ανθοκυανίνων και φαινολών, καλύτερο άρωμα, χρώμα, αύξηση αμινοξέων και φωτοσυνθετικών χρωστικών).
 - Μειωμένη ποσότητα παραγωγής.
 - Μικρότερο μέγεθος ραγών.
 - Μικρότερος αριθμός ραγών.
 - Αύξηση στην αποδοτικότητα χρήσης νερού (WUE) λόγω μείωσης της στοματικής διαπνοής.
 - Μειωμένη βλαστική ανάπτυξη και ζωηρότητα.

➤ Με την μέθοδο **PRD** παρατηρήθηκε:

- Καλύτερη ποιότητα καρπών στις ποικιλίες : *Shiraz, Moschatel*. Ενώ στις ποικιλίες *Cabernet Sauvignon, Castelao και Sangiovese*, δεν υπήρχε διαφορά στην ποιότητα των καρπών των φυτών που αρδεύτηκαν με PRD μέθοδο σε σχέση με τους καρπούς κανονικά αρδευόμενων ή καθόλου αρδευόμενων πρέμων.
- Αύξηση παραγωγής στην ποικιλία *Shiraz*. Όμως, στις ποικιλίες *Cabernet Sauvignon, Castelao, Sangiovese και Moschatel*, η στρεμματική απόδοση παρέμεινε σταθερή.
- Μειωμένη βλαστική ανάπτυξη και ζωηρότητα.
- Σημαντική αύξηση της αποδοτικότητας χρήσης νερού.

Στις λευκές οινοποιήσιμες ποικιλίες *Thomson Seedless και Chardonnay*, πραγματοποιήθηκαν πειραματικές μελέτες σε φυτά υποβαλλόμενα σε συνθήκες PRD, όπου ελέγχθηκε μόνο η ζωηρότητα των πρέμων. Στις συγκεκριμένες μελέτες, παρατηρήθηκε μειωμένη βλαστική ανάπτυξη και ζωηρότητα χωρίς να αξιολογηθεί όμως η ποσότητα και ποιότητα αυτών των ποικιλιών.

Συμπερασματικά, μπορούμε να καταλήξουμε πως οι μέθοδοι αυτοί αποτελούν πολλά υποσχόμενα εργαλεία στα πλαίσια της γεωργίας. Η εφαρμογή των μεθόδων αυτών, μπορεί να μειώσει την ταχύτητα αύξησης των βλαστών, συνεπώς και τη ζωηροτητα των πρέμων, να ενισχύσει το φαινολικό χαρακτήρα των ραγών δίνοντας καρπούς καλύτερης ποιότητας χωρίς να προκληθεί μείωση παραγωγής καθώς και να εξασφαλίσει την μέγιστη αποδοτική χρήση νερού. Σημαντικοί παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν τις επιδράσεις αυτές αποτελούν η καλλιεργούμενη ποικιλία, το φαινολογικό στάδιο των πρέμων που εφαρμόζεται η άρδευση, η ένταση της υδατικής καταπόνησης και οι κλιματικές συνθήκες.

Ως εκ τούτου, θα είχε μεγάλο ενδιαφέρον η υλοποίηση περισσότερων πειραμάτων σε μεγαλύτερο εύρος ποικιλιών, (οινοποιήσιμων αλλά και επιτραπέζιων) σε ελεγχόμενες και μη ελεγχόμενες συνθήκες την ίδια χρονική περίοδο, σε όλα τα βλαστικά στάδια και σε διαφορετικές κλιματικές ζώνες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Acevedo-Opazo C., Ortega-Farias S., Fuentes S., 2010. Effects of grapevine (*Vitis vinifera* L) water status on water consumption, vegetative growth and grape quality: An irrigation scheduling application to achieve regulated deficit irrigation. *Agricultural Water management* 97:956-964.
- Chaves M.M, Zarrouk O., Francisco R., Costa J.M., Santos T., Regalado A.P., Podrigues M.L., Lopes C.M., 2010. Grapevine under deficit irrigation: Hints from physiological and molecular data. *Annals of Botany* 105: 661-676.
- Chaves M.M, Santos T.P., Souza C.R., Ortuno M.F., Podrigues M.L., Lopes C.M., Maroco J.P., Pereira J.S., 2007. Deficit irrigation in grapevine improves water use efficiency while controlling vigour and production quality. *Annals of Applied Biology* 150: 237-252.
- Chaves M.M., Oliveira M.M, 2004. Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: prospects for water-saving agriculture. *Journal of Experimental Botany* 55.
- Cifre J., Bota J., Escalona J.M., Medrano H., Flexas I., 2005. Physiological tools for irrigation scheduling in grapevine (*Vitis vinifera* L.) . An open gate to improve water-use efficiency? *Agricultural Ecosystems and Environment* 106: 159-170.
- Collins M.J., 2006. Physiological responses of field grown Shiraz grapevines to partial rootzone drying and deficit irrigation. *Agriculture and Food Systems*. Faculty of Land and Food Resources.
- Dry P.R., Loveys B.R., 1998. Factors influencing grapevine vigour and the potential for control with partial rootzone drying. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 4: 140-148.
- Escalona J.M, Flexas J., Medrano H., 1999. Stomatal and non-stomatal limitations of photosynthesis under water stress in field grown grapevines. *Australian Journal of Plant Physiology* 26: 421-433.
- Ferrandino Al., Lorisolo C., 2013. Abiotic stress effects on grapevine (*Vitis vinifera* L.) : Focus on abscisic acid-mediated consequences on secondary metabolism and berry quality. *Environmental and Experimental Botany*. 103: 138-147.

- Fuentes S., De Bei R., Collins M.J, Escalona J.M, Medrano H., Tyerman S., 2014. Night time responses to water supply in grapevines (*Vitis vinifera* L.) under deficit irrigation and partial root-zone drying. *Agricultural Water management*. 138: 1-9.
- International Organisation of Vine and Wine (OIV), 2013. Statistical report on world vitiviniculture.
- Kimpus Sarah., 2009. Isohydric and anisohydric characterization of vegetables crops.
- National Agricultural Statistics Service_United States Department of Agriculture (NASS,USDA) <http://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/fruit.pdf> Τελευταία πρόσβαση: (02/10/2014)
- Ojeda H., Deloire A., Carbonneay A., 2001. Influence of water deficits on grape berry growth. *Vitis* 44(3): 141-145.
- Oliveira F., Nieddu G., 2013. Deficit irrigation strategies in *Vitis vinifera* L. c.v Cannonay under Mediterranean Climate. Part 1. Physiological responses, growth, yield and berry composition. Available at: <http://journals.sun.ac.za/index.php/sajer/index>
- Oliveira F., Nieddu G., 2013. Deficit irrigation strategies in *Vitis vinifera* L. c.v Cannonay under Mediterranean Climate. Part 2. Cluster microclimate and anthocyanin accumulation patterns. Available at: <http://journals.sun.ac.za/index.php/sajer/index>
- Poni S., Bernizzoni F., Cirardi S., 2007. Response of “Sangiovese” grapevines to partial rootzone drying: Gas exchange, growth and grape composition. *Scientia Horticulture* 114: 96-103.
- Ramachandra Reddy At., Kolluru V., Vinekanendan M., 2004. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology* 161: 1189-1202.
- Romero P., Munoz P.G. Amor F., Valdes E., Fernandez J., Cutillous A., 2013. Regulated deficit irrigation based upon optimum water status improves phenolic composition in “Monastrell” grapes and wines. *Agricultural Water Management* 121: 85-101.
- Santesteban L.G., Miranda C., Royo J.B., 2011. Regulated deficit irrigation effects on growth, yield, grape quality and individual anthocyanin composition in *Vitis vinifera* L. c.v “Tempranillo”. *Agricultural water management* 98: 1171-1179.

- Santesteban L.G., Miranda C., Royo J.B, 2009. Effect of water deficit and rewatering on leaf gas exchange and transpiration decline of excised leaves of four grapevine (*Vitis vinifera* L.) cultivars. *Scientia Horticulture* 121: 434-439.
- Santos T.P, Lopes C.M, Rodrigues M., De Souza C., Da Silva R., Maroco J., Pereira J.S., Chaves M.M., 2007. Effects of deficit irrigation strategies on cluster microclimate for improving fruit composition of Moscatel field grown grapevines. *Scientia Horticulture* 112: 321-330.
- Santos T.P., Lopez C.M., Rodrigues M.C., de Souza C.R., da Silva Ricardo J.M, Maroco J.P., Pereira J.S., Chaves M.M, 2005. Effects of partial root-zone drying irrigation on cluster microclimate and fruit composition on field grown Castelao grapevines. *Vitis*44 (3) : 117-125.
- Santos T.P, Lopez C.M, Rodrigues M.C, Souza C., Maroco J.P., Pereira J.S., Silva J.R., Chaves M.M., 2003. Partial rootzone drying: effects on growth and fruit quality of field grown grapevines (*Vitis vinifera* L.). *Functional Plant Biology* 30: 663-671 available at: www.publish.csiro-au/journals/fpb
- Schachtman D.P., Goodger O.D., 2008. Chemical root to shoot signaling under drought.
- Schultz H.R, 2007. Climate change: implications and potential adaptation of vine growth and wine composition. In: proceedings Congres on Climate and Viticulture. Saragoza : Centro transferencia Agroalimentaria 87-92.
- Stoll M., Loveys b., Dry P., 2000. Hormonal changes induced by partial rootzone drying of irrigated grapevine. *Journal of Experimental Botany* 51: 1627-1634.
- Texeira A., Eiras-Dias J., Castellarin S., Gros H., 2013. Berry phenolics of grapevine under Challenging environment. *International Journal of Molecular Sciences* 14: 18711-18739
- Toit P.G, Dry P.R, Loveys B.R, 2003. A preliminary investigation on Partial Rootzone Drying (PRD). Effects on grapevine performance. Nitrogen Assimilation and Berry Composition. *S.Afr.Enol.Vitic.* 24(2).
- Tomas m., Medrano h., Escalona J.M, Martorell S, Pou A, Ribas-Carbo M, Flexas J., 2014. Variability of water use efficiency in grapevines. *Environmental and Experimental Botany* 103: 148-157

Tramontini S., Vitali M, Centioni L, Schubert A, Lorisolo C., 2013. Rootstock control of scion response to water stress in grapevine. *Environmental and Experimental Botany* 93:20-26.

United Nations Economic Commission for Europe (UNECE) : http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trade/agr/promotion/2011_Mexico/TableGrapes_UNECE_Codex.pdf Τελευταία πρόσβαση : (01/09/14)

Zarrouk O., Francisco R, Pinto-Marijvan M., Ricard B., Santos R., Pinheiro C., Costa J.M, Lopes C, Chaves M.M, 2012. Impact of irrigation regime on berry development and flavonoids composition in Aragonez (Syn. Tempranillo) grapevine. *Agricultural Water Management* 114:18-29.

Βέκιος Γεώργιος, Κούκης Διονύσης και Τσακίρης Αργύρης, 2001. Το βιβλίο του κρασιού. Εκδόσεις : Ελληνική ακαδημία οίνου.

Καραμπουρνιώτης Γ.Α και Λιακόπουλος Γ., 2009. Οικοφυσιολογία Μεσογειακών Φυτικών Ειδών. Εργαστήριο Φυσιολογίας και Μορφολογίας Φυτών-Τμήμα Γεωπονικής Βιοτεχνολογίας-Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Καραμπουρνιώτης Γεώργιος, 2003. Φυσιολογία καταπονήσεων των φυτών. Εκδόσεις έμβρυο.

Καράταγλης Στυλιανός, 1999. Φυσιολογία Φυτών Εκδόσεις Art of Text.

Κουνδουράς Στέφανος, 2010. Σημειώσεις Αμπελουργίας. Εργαστήριο Αμπελουργίας-Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Μπέης Αλέξανδρος, 2010. Προσαρμοστική αποτελεσματικότητα της φυσιολογίας παραγωγής ποικιλιών της αμπέλου υπό συνθήκες υδατικής καταπόνησης.

Νικολάου Ν.Α, 2011. Αμπελουργία. Εκδόσεις Τροπή.

Πάτακας Α., 2009. Αριστοποίηση χρήσης νερού σε αμπελώνα. Πρακτικά 23^{ου} Συνεδρίου της Ελληνικής Εταιρείας της Επιστήμης των Οπωροκηπευτικών-Τεύχος Α.

Ρουμπελάκη-Αγγελάκη Καλλιόπη, 2011. Φυσιολογία Φυτών. Από το μόριο στο περιβάλλον. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.

- Ρουμπελάκη-Αγγελάκη Καλλιόπη, 1998. Η αμπελουργία στην Κρήτη, προβλήματα και προοπτικές. Περιφέρεια Κρήτης, Περιφερειακό Επιχειρησιακό Πρόγραμμα 1989-1994, ΓΕΩ.Τ.Ε.Ε Παράρτημα Κρήτης, Ηράκλειο Κρήτης.
- Σταυρακάκης Μανώλης Ν., 2013. Αμπελουργία. Εκδόσεις Τροπή.
- Τσακίρης Α., 2003. Ελληνική Οινογνωσία. Εκδόσεις Ψυχάλου.
- Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και τροφίμων (ΥΠΑΑΤ), <http://www.minagric.gr/index.php/el/for-farmer-2/crop-production/ampeli/787-apografiampelektaseon> Τελευταία πρόσβαση : (20/08/2014)
- Φυσαράκης Ι. 2008. Προτάσεις αναδιάρθρωσης αμπελώνων Ν. Ηρακλείου. Σε: Μελέτη Αμπελουργίας Τ.Ε.Ι Κρήτης με θέμα «Το αμπέλι και οι νέες καλλιέργειες στο Νομό Ηρακλείου, Αναγκαιότητες Αναδιάρθρωσης-Προτάσεις Εφαρμογής»
- Χρονοπούλου-Σερέλη Αικατερινη και Χρονόπουλος Ιωάννης, 2011. Βιομετεωρολογία-Βιοκλιματολογία. Εφαρμογές στη διαμόρφωση υπαίθριων χώρων. Εκδόσεις Ζήτη.