



# ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ UNIVERSITY OF WEST ATTICA

## ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

“ Ο πολύτιμος ρόλος των αντιοξειδωτικών ουσιών στα τρόφιμα και την διατροφή του ανθρώπου”



**ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ ΜΑΓΓΙΝΑ ΑΜ: 19684113**

**ΞΑΝΘΑΚΗ ΑΘΗΝΑ ΑΜ:19684174**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΑΝΤΩΝΟΠΟΥΛΟΣ ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ**

ΑΘΗΝΑ 2023



**UNIVERSITY OF WEST ATTICA  
DEPARTMENT OF FOOD SCIENCE  
AND TECHNOLOGY**

**DIPLOMA THESIS**

**"The valuable role of antioxidants in food and human nutrition"**



**KONSTANTINA MANGINA R.N: 19684113**

**ATHENA XANTHAKI R.N: 19684174**

**SUPERVISOR: ANTONOPOULOS DIONISIOS**

**ATHENS 2023**

Οι υπογράφοντες δηλώνουμε ότι έχουμε εξετάσει τη πτυχιακή εργασία με τίτλο 'Ο πολύτιμος ρόλος των αντιοξειδωτικών ουσιών στα τρόφιμα και την διατροφή του ανθρώπου' που παρουσιάστηκε από τον ή την ΜΑΓΓΙΝΑ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ και ΞΑΝΘΑΚΗ ΑΘΗΝΑ και βεβαιώνουμε ότι γίνεται δεκτή.

	ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ	
<b>1</b>	<b>ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ ΑΝΤΩΝΟΠΟΥΛΟΣ</b>	
<b>2</b>	<b>ΔΗΜΗΤΡΑ ΧΟΥΧΟΥΛΑ</b>	
<b>3</b>	<b>ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ ΚΑΝΕΛΛΟΥ</b>	

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΩΝ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Οι κάτωθι υπογεγραμμένες Κωνσταντίνα Μαγγίνα και Αθηνά Ξανθάκη του Γεωργίου και του Μιχαήλ με αριθμό μητρώου 19684113 και 19684174 , φοιτήτριες του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Επιστημών Τροφίμων του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων, δηλώνουμε υπεύθυνα ότι: «Είμαστε συγγραφείς αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχαμε για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες κάναμε χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνουμε ότι η εργασία έχει συγγραφεί αποκλειστικά από εμάς και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μας, όσο και του Ιδρύματος. Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μας ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο/Η Δηλών/ούσα



## Δήλωση περί λογοκλοπής/Copyright

Έχοντας πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικής ιδιοκτησίας, δηλώνω ότι είμαι αποκλειστική συγγραφέας της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Δηλώνω, επίσης, ότι αναλαμβάνω όλες τις συνέπειες, όπως αυτές νομίμως ορίζονται, στην περίπτωση που διαπιστωθεί διαχρονικά ότι η εργασία μου αυτή ή τμήμα αυτής αποτελεί προϊόν λογοκλοπής.

Ονόματα φοιτητριών: Κωνσταντίνα Μαγγίνα, Αθηνά Ξανθάκη

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Για τη διεκπεραίωση της παρούσας πτυχιακής εργασίας, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον επιβλέπων καθηγητή μας Διονύσιο Αντωνόπουλο, για την ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος καθώς και για την ανεκτίμητη βοήθειά του και τις πολύτιμες συμβουλές του για την ολοκλήρωσή της.

Επίσης, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τις οικογένειες μας για την υποστήριξή τους καθ' όλη τη διάρκεια διεκπεραίωσης της πτυχιακής εργασίας.

Στην αδελφή μου, Δήμητρα

Κωνσταντίνα Μαγγίνα

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ...</b>	<b>10</b>
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ...</b>	<b>11</b>
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ...</b>	<b>11</b>
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ...</b>	<b>12</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>13</b>
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ...</b>	<b>14</b>
<b>Κεφάλαιο 1: Αντιοξειδωτικές ουσίες και Διατροφή</b>	<b>16</b>
1.1 Ιστορική αναδρομή αντιοξειδωτικών ουσιών	16
1.2 Έννοια των αντιοξειδωτικών	18
1.3 Συσχετισμός αντιοξειδωτικών με τη διατροφή	19
<b>Κεφάλαιο 2: Ελεύθερες ρίζες...</b>	<b>20</b>
2.1 Γενικά	20
2.2 Έννοια των Ελεύθερων ριζών	21
2.3 Οξειδωτικό Στρες	23
2.4 Ενεργές Μορφές	26
<b>Κεφάλαιο 3: Κατηγορίες και Χαρακτηριστικά των αντιοξειδωτικών ουσιών</b>	<b>30</b>
3.1 Ταξινόμηση Αντιοξειδωτικών	30
3.2 Ενζυματικά Αντιοξειδωτικά	32
3.2.1 Δισμουτάσες υπεροξειδίου- Sueroxide Dismutase- SOD	32
3.2.2 Καταλάση	33
3.2.3 Υπεροξειδάση γλουταθειόνης- GPxs	34
3.3 Μη Ενζυματικά Αντιοξειδωτικά	37
3.3.1 Βιταμίνη E (Τοκοφερόλη)	37
3.3.2 Βιταμίνη C (Ασκορβικό Οξύ)	40
3.3.3 Γλουταθειόνη	43
3.3.4 Μελατονίνη	44
3.3.5 Ουρικό Οξύ	45

3.4 Φυσικά αντιοξειδωτικά.....	46
3.4.1 Καροτενοειδή.....	47
3.4.2 Σελήνιο.....	50
3.4.3 Ψευδάργυρος.....	51
3.5 Τεχνητά-Συνθετικά Αντιοξειδωτικά .....	54
<b>Κεφάλαιο 4: Φαινολικές Ενώσεις... ..</b>	<b>55</b>
4.1 Γενικά .....	55
4.2 Πολυφαινόλες .....	57
4.3 Φλαβονοειδή .....	62
4.3.1 Φλαβονόλες.....	64
4.3.2 Φλαβόνες.....	64
4.3.3 Ισοφλαβόνες.....	65
4.3.4 Ανθοκυανίνες... ..	65
4.3.5 Κατεχίνες - Φλαβαν-3-όλες .....	66
4.3.6 Φλαβανόνες.....	67
4.4 Μη φλαβονοειδή .....	68
4.4.1 Φαινολικά Οξέα.....	68
4.4.2 Τανίνες.....	68
4.4.3 Στιλβеноοειδή.....	69
4.4.4 Λιγνάνες... ..	69
<b>Κεφάλαιο 5: Αντιοξειδωτικά και η επίδραση τους στον ανθρώπινο οργανισμό... ..</b>	<b>71</b>
5.1 Εισαγωγή.....	71
5.2 Αντιοξειδωτικά και καρδιαγγειακά νοσήματα.....	71
5.3 Αντιοξειδωτικά και καρκίνος.....	75
5.4 Αντιοξειδωτικά και νευροεκφυλιστικές ασθένειες .....	81
5.5 Αντιοξειδωτικά και οφθαλμολογικές ασθένειες .....	84
<b>Κεφάλαιο 6: Μέθοδοι Μέτρησης και Εφαρμογές Αντιοξειδωτικών στα Τρόφιμα. ....</b>	<b>91</b>
6.1 Γενικά .....	91
6.2 Μέθοδοι μέτρησης αντιοξειδωτικής δράσης στα τρόφιμα .....	91



6.2.1 Μέθοδος DPPH.....	92
6.2.2 Μέθοδος ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity / Ικανότητα Απορροφητικότητας Ριζών Οξυγόνου).....	93
6.2.3 Μέθοδος TRAP (Total Peroxyl Radical-Trapping Potential / Συνολικό Δυναμικό Παγίδευσης Ριζών Υπεροξειδίου).....	95
6.2.4 Μέθοδος TEAC (Trolox Equivalent Antioxidant Capacity / Αντιοξειδωτική Ικανότητα σε Ισοδύναμα Trolox).....	96
6.2.5 Μέθοδος FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power / Αντιοξειδωτική Ισχύς Αναγωγής Τρισθενούς Σιδήρου).....	98
6.3 Βασικές τροφές που λειτουργούν ως αντιοξειδωτικά στα τρόφιμα .....	99
<b>Κεφάλαιο 7: Βιβλιογραφία.....</b>	<b>104</b>

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Δράση των ελεύθερων ριζών στο κύτταρο.....	21
Εικόνα 2: Απλοποιημένη απεικόνιση ομολυτικής και ετερολυτικής διάσπασης ενός ομοιοπολικού δεσμού στην χημική ένωση A-B.....	22
Εικόνα 3: Ελεύθερες ρίζες- Δραστικές οξυγονούχες ενώσεις ROS .....	23
Εικόνα 4: Αντιδράσεις ελεύθερων ριζών με βασικά κυτταρικά συστατικά και οι επιπτώσεις τους.....	24
Εικόνα 5: Υπεροξειδωση των λιπιδίων .....	25
Εικόνα 6: Απεικονίσεις των δομών των τριών ενζύμων SOD του ανθρώπου .....	33
Εικόνα 7: Αναπαράσταση της δομής καταλάσης .....	34
Εικόνα 8: Αναπαράσταση των δομών της GPx1 (αριστερά) και της GR (δεξιά).....	36
Εικόνα 9: Ενζυμικό αντιοξειδωτικό σύστημα .....	36
Εικόνα 10: Χημικοί τύποι των τοκοφερολών .....	38
Εικόνα 11: Δομή ασκορβικού οξέος .....	40
Εικόνα 12: Οξειδωση ασκορβικού οξέος σε δευδρο-ασκορβικό οξύ.....	41
Εικόνα 13: Δομή γλουταθειόνης .....	44
Εικόνα 14: Δομή μελατονίνης .....	45
Εικόνα 15: Δομή Καροτενοειδών(αριστερά) - Ξανθοφυλλών(δεξιά).....	48
Εικόνα 16: Πηγές σεληνίου .....	50
Εικόνα 17: Δομές συνθετικών αντιοξειδωτικών.....	54
Εικόνα 18: Βενζόλιο (η πιο απλή φαινόλη).....	56
Εικόνα 19: Δομή φλαβονοειδών .....	61
Εικόνα 20: Δομή ανθοκυανίνων .....	65
Εικόνα 21: Δομή κατεχινών.....	66
Εικόνα 22: Δομή ρεσερβατρόλης.....	69
Εικόνα 23: Πηγές Ωμέγα-3.....	73
Εικόνα 24: Επιδράσεις καρκίνου .....	79
Εικόνα 25: Δομή DHHP.....	91
Εικόνα 26: Μηχανισμός του 2,2-διφαινυλο-1-πικρυλ-υδραζύλου (DPPH) με αντιοξειδωτικό και αποχρωματισμός.....	91
Εικόνα 27: Δομή AAPH.....	93

Εικόνα 28: Δομή φλουροσκεΐνης.....	93
Εικόνα 29: Δομή ABTS.....	96
Εικόνα 30: Δομή Trolox.....	96
Εικόνα 31: Δομή του συμπλόκου του σιδήρου με TPTZ.....	98
Εικόνα 32: Μοντέλο Μεσογειακής Διατροφής.....	99

## **ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ**

Πίνακας 1: Κυριότερες ενεργές μορφές οξυγόνου .....	28
Πίνακας 2: Κύρια αντιδραστικά είδη αζώτου.....	28
Πίνακας 3: Συνιστώμενη Ημερήσια Πρόσληψη Βιταμίνης C.....	43
Πίνακας 4: Σύνοψη τροφίμων πλούσιων στα βασικότερα αντιοξειδωτικά συστατικά .....	53
Πίνακας 5: Ταξινόμηση Των Φαινολικών Ενώσεων .....	56
Πίνακας 6: Ταξινόμηση και χημικές δομές των φλαβονοειδών... ..	62
Πίνακας 7 : Ολική αντιοξειδωτική ικανότητα φρούτων και λαχανικών .....	100
Πίνακας 8: Ολική αντιοξειδωτική ικανότητα ομάδων τροφίμων .....	101

## **ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ**

Σχήμα 1: Ταξινόμηση αντιοξειδωτικών ουσιών .....	31
Σχήμα 2: Κατηγορίες πολυφαινολών .....	58
Σχήμα3: Τα οφέλη των πολυφαινολών .....	59
Σχήμα 4: Ανταλλαγή υδρογόνου ή ηλεκτρονίου με ρίζες λιπιδίων... ..	62
Σχήμα 5: Τερματισμός αλυσιδωτών αντιδράσεων... ..	62

## Περίληψη

Ο ανθρώπινος οργανισμός αποτελείται από δεκάδες τρισεκατομμύρια κύτταρα. Αντιμετωπίζει όμως πολλές απειλές είτε από έλλειψη τροφής είτε από επιμολύνσεις. Η σημαντικότερη όμως απειλή που εξετάζουμε στην παρούσα εργασία είναι οι ελεύθερες ρίζες. Οι ελεύθερες ρίζες μπορούν να βλάψουν ανεπανόρθωτα τον οργανισμό προκαλώντας οξειδωτικές βλάβες. Τα αντιοξειδωτικά που αναλύονται στην παρούσα εργασία καταπολεμούν τις ελεύθερες ρίζες και καταπολεμούν το οξειδωτικό στρες. Ο σκοπός αυτής της μελέτης είναι η διερεύνηση του ρόλου και της ξεχωριστής σημασίας των αντιοξειδωτικών για τον ανθρώπινο οργανισμό και τα τρόφιμα που περιέχουν αντιοξειδωτικά. Επιμέρους στόχος της εργασίας είναι η κατηγοριοποίηση και εκτενής ανάλυση των αντιοξειδωτικών και των πλεονεκτημάτων του. Επιπλέον, αναλύονται οι μέθοδοι μέτρησης αντιοξειδωτικής ικανότητας στα τρόφιμα, καθώς και μελέτες που συνδέουν την μεσογειακή διατροφή με τη λήψη των απαραίτητων αντιοξειδωτικών ημερησίως. Είναι ιδιαίτερα σημαντικό ο άνθρωπος να καταναλώνει ποικιλία τροφίμων πλούσιων σε αντιοξειδωτικά συστατικά, όπως φρούτα, λαχανικά, χυμοί, τσάι κ.ά., διότι το καθένα από αυτά παρέχει πολλές διαφορετικές ουσίες που τον βοηθούν στην καταπολέμηση των ελευθέρων ριζών και στη διατήρηση της καλής υγείας των κυττάρων του, ενώ ταυτόχρονα τον προστατεύουν από τον κίνδυνο εμφάνισης νευροεκφυλιστικών ασθενειών, καρκίνου και καρδιαγγειακών παθήσεων. Τέλος, η παρούσα μελέτη στηρίζεται σε επιστημονικά άρθρα, βιβλία αλλά και μελέτες που στηρίζονται σε επιστημονικά δεδομένα.

**Λέξεις κλειδιά:** αντιοξειδωτικά, αντιοξειδωτική δράση, ελεύθερες ρίζες, οξειδωτικό στρες, πολυφαινόλες, ασθένειες, φαινολικές ενώσεις, φυσικά αντιοξειδωτικά, συνθετικά αντιοξειδωτικά, ενζυματικά, μη ενζυματικά

## **Abstract**

The human body is made up of tens of trillions of cells. But it faces many threats from either lack of food or from possible contaminations. However, the most important threat that we examine in this work is free radicals. Free radicals can irreversibly damage the body by causing oxidative damage. The antioxidants analyzed in this work fight free radicals and causing oxidative stress. The purpose of this study is to investigate the role and special importance of antioxidants for the human body and foods containing antioxidants. A partial objective of the work is the categorization and extensive analysis of antioxidants and their benefits. In addition, the methods of measuring antioxidant capacity in foods are discussed, as well as studies that link the Mediterranean diet with the daily intake of necessary antioxidants. It is particularly important for humans to consume a variety of foods rich in antioxidants, such as fruit, vegetables, juices, tea, etc., because each of these foods provides many different substances that help them fight free radicals and maintain good cellular health, while protecting him from the risk of neurodegenerative diseases, cancer and cardiovascular diseases. Finally, this study is based on scientific articles, books and studies based on scientific data.

**Key words:** antioxidants, antioxidant activity, free radicals, oxidative stress, polyphenols, diseases, phenolic compounds, natural antioxidants, synthetic antioxidants, enzymatic, non-enzymatic

## Εισαγωγή

Το θέμα το οποίο πραγματεύεται η παρούσα εργασία αφορά στο ρόλο των αντιοξειδωτικών ενώσεων των τροφίμων στον ανθρώπινο οργανισμό. Συγκεκριμένα, η παρούσα εργασία περιλαμβάνει την περιγραφή φυσικών και συνθετικών αντιοξειδωτικών καθώς και τα οφέλη τους στον ανθρώπινο οργανισμό και την συμβολή τους σε διάφορες παθήσεις.

Επιπλέον, αναλύεται η απειλή του ανθρώπινου οργανισμού από τις ελεύθερες ρίζες οι οποίες είναι πολύ ασταθείς και ενεργές ενώσεις καθώς προσπαθούν να αποσπάσουν ηλεκτρόνια από άλλα άτομα ή μόρια ώστε να σχηματιστεί ζεύγος στην εξωτερική στιβάδα. Η δράση τους μπορεί να είναι υπεύθυνη για την οξειδωτική βλάβη των λιπιδίων των μεμβρανών, τον κερματισμό του DNA, τη μετουσίωση των πρωτεϊνών καθώς και για την υπεροξείδωση των λιποπρωτεϊνών και των LDL σωμάτων. Οι ελεύθερες ρίζες είτε παράγονται από τον ίδιο τον οργανισμό είτε προέρχονται από το περιβάλλον. Οι ελεύθερες ρίζες συνδέονται με πολλές ασθένειες του ανθρώπου όπως καρδιαγγειακές, νευροεκφυλιστικές παθήσεις, διαβήτη κ.α.

Κυρίαρχη επίδραση των ελεύθερων ριζών είναι το οξειδωτικό στρες. Ως οξειδωτικό στρες ορίζουμε την κατάσταση του κυττάρου ή του οργάνου όπου η ισορροπία μεταξύ παραγωγής ελεύθερων ριζών και δράσης των αντιοξειδωτικών μηχανισμών έχει διαταραχθεί. Το οξειδωτικό στρες έχει βρεθεί ότι παίζει ρόλο στην παθογένεση πολλών ασθενειών όπως το Alzheimer, το Parkinson, ο ζαχαρώδης διαβήτης, τη ρευματοειδή αρθρίτιδα, παθήσεις της καρδιάς, τον καρκίνο αλλά και τη γήρανση. Επομένως, αποτελεί επιτακτική ανάγκη η εξάλειψη των ελεύθερων ριζών. Τον ρόλο αυτό τον κατέχουν τα αντιοξειδωτικά. Τα αντιοξειδωτικά αναγνωρίζουν και καταστρέφουν τις ελεύθερες ρίζες, για αυτό και διαδραματίζουν κυρίαρχο ρόλο στην διατροφή του ανθρώπου. Ο σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η διερεύνηση του ρόλου και της σημαντικότητας των αντιοξειδωτικών για τον ανθρώπινο οργανισμό, η αναζήτηση των τροφίμων που περιέχουν αντιοξειδωτικά καθώς και οι ποσότητες των αντιοξειδωτικών που περιέχονται σε αυτά. Η εργασία περιλαμβάνει την περιγραφή ενζυματικών, μη ενζυματικών αντιοξειδωτικών. Επιπλέον, αναλύονται οι πολυφαινόλες και οι κατηγορίες τους.

Στη συνέχεια, ακολουθεί η ανάλυση που σχετίζεται με τα οφέλη αντιοξειδωτικών έναντι παθήσεων όπως καρδιαγγειακά νοσήματα, καρκίνος, νευροεκφυλιστικές

ασθένειες, οφθαλμολογικές ασθένειες, διαβήτης αλλά και τον κίνδυνο που προκύπτει από τη λήψη αντιοξειδωτικών συμπληρωμάτων.

Επιπλέον, αναφέρονται οι μέθοδοι μέτρησης της ολικής αντιοξειδωτικής ικανότητας των τροφίμων όπου βασίζονται στη μέτρηση της αναστολής της οξείδωσης ορισμένων υποστρωμάτων, όπου η αλλαγή αυτή προσδιορίζεται μέσα από χημικές ή αναλυτικές μεθόδους. Με τη βοήθεια των συγκεκριμένων μεθόδων βρέθηκαν μελέτες όπου επιβεβαίωσαν ότι τα φρούτα και τα λαχανικά αποτελούν την μεγαλύτερη πηγή αντιοξειδωτικών. Συμπερασματικά, μελέτες έδειξαν ότι το πρότυπο της Μεσογειακής διατροφής είναι το αποτελεσματικότερο για τη διατήρηση της καλής υγείας του ανθρώπου και τη σωστή λήψη των απαραίτητων αντιοξειδωτικών για τη διατήρηση της υγείας και της ευεξίας του ανθρώπινου οργανισμού.

## Κεφάλαιο 1: Αντιοξειδωτικές ουσίες και Διατροφή

### 1.1 Ιστορική αναδρομή αντιοξειδωτικών ουσιών

Οι αντιοξειδωτικές ουσίες ανακαλύφθηκαν για πρώτη φορά στις αρχές της δεκαετίας του 1900 από Γάλλους επιστήμονες, οι οποίοι παρατήρησαν ότι η προσθήκη ελάχιστων ποσοτήτων κρασιού στο βούτυρο είχε ως ιδιότητα να μην γίνει η τάγγιση του κρασιού. Αυτό οδήγησε στον εντοπισμό των αντιοξειδωτικών ιδιοτήτων της βιταμίνης E τη δεκαετία του 1920. Οι ερευνητές ανακάλυψαν αργότερα και άλλα είδη αντιοξειδωτικών, όπως η βιταμίνη C, στις δεκαετίες του 1930 και 1940. Η έννοια του οξειδωτικού στρες, που είναι η ανισορροπία μεταξύ της παραγωγής αντιδραστικών ειδών οξυγόνου (ROS) και των αντιοξειδωτικών μηχανισμών άμυνας του οργανισμού, εφευρέθηκε τη δεκαετία του 1950. Η ανακάλυψη της δισμουτάσης του υπεροξειδίου, όπου είναι ένα σημαντικό αντιοξειδωτικό ένζυμο, το 1968 επέκτεινε περαιτέρω την κατανόηση των αντιοξειδωτικών αμυντικών μηχανισμών. Από τότε και έπειτα, η έρευνα σχετικά με τα αντιοξειδωτικά συνέχισε να εξελίσσεται και πλέον είναι ευρέως γνωστό ότι τα αντιοξειδωτικά διαδραματίζουν σημαντικό και κρίσιμο ρόλο στη μείωση του οξειδωτικού στρες και στην προστασία από χρόνιες ασθένειες από ιατρική άποψη.

Η ανακάλυψη των αντιοξειδωτικών έχει πολυπύρηνη ιστορία που εντάσσεται από τα τέλη του 19ου αιώνα. Οι επιστήμονες παρατήρησαν ότι ορισμένες ενώσεις μπορούσαν να αποτρέψουν την αλλοίωση των τροφίμων και να επεκτείνουν τη διάρκεια ζωής τους. Λόγω αυτού, επινοήθηκε ο όρος "αντιοξειδωτικό" και άρχισε να ερευνάται σοβαρά ο ρόλος των αντιοξειδωτικών στην υγεία. (Catoni, Peters, & Schaefer, 2008)

Στις αρχές της δεκαετίας του 1900, ο Βρετανός επιστήμονας Frederick Gowland Hopkins ανακάλυψε ότι ορισμένα θρεπτικά συστατικά ήταν απαραίτητα για την υγεία και ότι η απουσία αυτών των θρεπτικών συστατικών θα μπορούσε να οδηγήσει σε ασθένειες. Αποκάλεσε αυτά τα θρεπτικά συστατικά "βοηθητικούς παράγοντες" και αργότερα αναγνώρισε ορισμένα από αυτά ως βιταμίνες. Το έργο του Hopkins έθεσε τα θεμέλια για τη σύγχρονη επιστήμη της διατροφής και πυροδότησε ένα κύμα ερευνών σχετικά με το ρόλο των θρεπτικών συστατικών στην υγεία.



Στις δεκαετίες του 1920 και 1930, η έρευνα για τις βιταμίνες και άλλα θρεπτικά συστατικά συνεχίστηκε και οι επιστήμονες άρχισαν να διερευνούν τα πιθανά οφέλη των αντιοξειδωτικών για την υγεία. Το 1928, ο Ούγγρος βιοχημικός Albert Szent-Györgyi απομόνωσε μια ένωση από εσπεριδοειδή την οποία ονόμασε "εξουρονικό οξύ". Αργότερα ανακάλυψε ότι αυτή η ένωση, την οποία σήμερα γνωρίζουμε ως βιταμίνη C, είχε αντιοξειδωτικές ιδιότητες. Το έργο του Szent-Györgyi ήταν πρωτοποριακό και άνοιξε το δρόμο για περαιτέρω έρευνες σχετικά με τα αντιοξειδωτικά.

Στις δεκαετίες του 1940 και 1950, οι επιστήμονες άρχισαν να διερευνούν τους μηχανισμούς με τους οποίους τα αντιοξειδωτικά προστατεύουν τα κύτταρα από βλάβες. Το 1954, ο Αμερικανός βιοχημικός Nathan P. Kaplan πρότεινε ότι τα αντιοξειδωτικά εξουδετερώνουν τις ελεύθερες ρίζες, ασταθή μόρια που μπορούν να βλάψουν τα κύτταρα και να συμβάλουν στην εμφάνιση ασθενειών. Η υπόθεση του Kaplan βασίστηκε σε έρευνες που έδειξαν ότι τα αντιοξειδωτικά μπορούσαν να αποτρέψουν τις βλάβες που προκαλούνταν από την ακτινοβολία και παρείχε ένα πλαίσιο για περαιτέρω έρευνα σχετικά με το ρόλο των αντιοξειδωτικών στην υγεία.

Στις δεκαετίες του 1960 και του 1970, η έρευνα για τα αντιοξειδωτικά συνέχισε να επεκτείνεται, με τους επιστήμονες να εντοπίζουν πολλές διαφορετικές ενώσεις με αντιοξειδωτικές ιδιότητες και να διερευνούν τα πιθανά οφέλη τους για την υγεία. Το 1962, ο βρετανός χημικός Denham Harman πρότεινε τη "θεωρία των ελεύθερων ριζών της γήρανσης", η οποία πρότεινε ότι η γήρανση προκαλείται από τη συσσώρευση βλαβών που προκαλούνται από τις ελεύθερες ρίζες. Η θεωρία του Harman ήταν αμφιλεγόμενη εκείνη την εποχή, αλλά έκτοτε έχει γίνει ευρέως αποδεκτή και έχει εμπνεύσει πολλές έρευνες σχετικά με τον ρόλο των αντιοξειδωτικών στη γήρανση και στις ασθένειες που σχετίζονται με την ηλικία.

Στις δεκαετίες του 2000 και του 2010, η έρευνα για τα αντιοξειδωτικά συνέχισε να επεκτείνεται και να εξελίσσεται, με τους επιστήμονες να εντοπίζουν νέες ενώσεις με αντιοξειδωτικές ιδιότητες και να διερευνούν τα πιθανά οφέλη τους για την υγεία. Ωστόσο, ο τομέας έχει επίσης γίνει πιο πολύπλοκος και αμφιλεγόμενος, με ορισμένες μελέτες να υποδηλώνουν ότι οι υψηλές δόσεις ορισμένων αντιοξειδωτικών μπορεί στην πραγματικότητα να είναι επιβλαβείς. Παρ' όλα αυτά, η μελέτη των αντιοξειδωτικών παραμένει ένας ενεργός και σημαντικός τομέας έρευνας, με τους επιστήμονες να εργάζονται για την καλύτερη κατανόηση των μηχανισμών με τους οποίους τα αντιοξειδωτικά προστατεύουν τα κύτταρα από βλάβες και να διερευνούν

τις δυνατότητές τους ως εργαλείο για την πρόληψη και τη θεραπεία ασθενειών.  
("History of Polymeric Composites," n.d.),

## **1.2 Έννοια των αντιοξειδωτικών**

Οι αντιοξειδωτικές ουσίες αποτελούν μία σημαντική κατηγορία θρεπτικών συστατικών που έχουν καταφέρει να κερδίσουν την προσοχή του ανθρώπου λόγω του ρόλου τους στη διατήρηση της υγείας και την πρόληψη ασθενειών. Η έννοια των αντιοξειδωτικών βασίζεται στην ικανότητά τους να προστατεύουν τον οργανισμό μας από τις βλαβερές επιπτώσεις των ελεύθερων ριζών οι οποίες είναι αναπόφευκτα προϊόντα του μεταβολισμού μας.

Οι ελεύθερες ρίζες είναι ακατέργαστα ηλεκτρικά φορτισμένα μόρια που μπορούν να προκαλέσουν βλάβη στα κύτταρα και στο γενετικό υλικό. Επίσης, μπορούν να σχηματιστούν και μετά από την έκθεση στο καπνό του τσιγάρου, το ηλιακό φως, την ακτινοβολία και την ατμοσφαιρική ρύπανση. Αυτή η βλάβη σχετίζεται με πολλές ασθένειες, μέσα σε αυτές τα καρδιαγγειακά προβλήματα, ο καρκίνος, ο διαβήτης κ.α. Οι αντιοξειδωτικές ουσίες λειτουργούν ως « προστάτες » των κυττάρων του ανθρώπου από αυτές τις βλαβερές επιπτώσεις, μειώνοντας κατά αυτόν τον τρόπο την οξειδωτική βλάβη.

Οι ουσίες αυτές, που προέρχονται από τη διατροφή μας περιλαμβάνουν βιταμίνες, μέταλλα, φυτικά εκχυλίσματα κ.α. Ορισμένες από τις πιο γνωστές αντιοξειδωτικές ουσίες είναι η Βιταμίνη C, η Βιταμίνη E, τα καροτενοειδή καθώς και μέταλλα όπως το σελήνιο, ο ψευδάργυρος και ο χαλκός. Αυτές, βρίσκονται στα περισσότερα τρόφιμα που καταναλώνουμε και έχουν τη δυνατότητα να αποτρέψουν την οξείδωση των κυττάρων ή να προστατέψουν τον οργανισμό από επιβλαβείς παράγοντες. (Carlsen et al., 2010)

## **1.3 Συσχετισμός αντιοξειδωτικών με τη διατροφή**

Τα αντιοξειδωτικά είναι μόρια που μπορούν να αναστείλουν ή να επιβραδύνουν την οξείδωση άλλων μορίων. Η οξείδωση είναι μια χημική αντίδραση που περιλαμβάνει την απώλεια ηλεκτρονίων από ένα άτομο ή μόριο. Όταν η οξείδωση συμβαίνει στο σώμα, μπορεί να οδηγήσει στο σχηματισμό ελεύθερων ριζών.

Τα αντιοξειδωτικά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε διάφορες κατηγορίες με βάση τη χημική τους δομή και τον μηχανισμό δράσης τους. Τα κυριότερα αντιοξειδωτικά περιλαμβάνουν βιταμίνες, μέταλλα και πολυφαινόλες. (Andersen & Markham, 2005)

Τα διατροφικά αντιοξειδωτικά είναι γνωστά για τα πολλά και σημαντικά οφέλη τους για την υγεία του ανθρώπινου οργανισμού. Διαδραματίζουν κυρίαρχο ρόλο στη ρύθμιση του οξειδωτικού στρες διατηρώντας έτσι την ισορροπία μεταξύ της δραστηριότητας των ελεύθερων ριζών και του αντιοξειδωτικού δυναμικού. Πολλές μελέτες δείχνουν ότι μία διατροφή πλούσια σε αντιοξειδωτικά μπορεί να μειώσει τον κίνδυνο εμφάνισης ασθενειών ή να αποτρέψει σοβαρές συνέπειες μειώνοντας τις οξειδωτικές βλάβες. (Petrucci et al., 2022), (Andersen & Markham, 2005)

## Κεφάλαιο 2: Ελεύθερες ρίζες

### 2.1 Γενικά

Οι ελεύθερες ρίζες, μόρια που περιέχουν αδέσμευτα ηλεκτρόνια, έχουν απασχολήσει ευρέως την επιστημονική κοινότητα τα τελευταία χρόνια. Είναι προϊόντα των φυσικών χημικών αντιδράσεων στον οργανισμό μας, καθώς και αποτέλεσμα εκθέσεων σε διάφορες περιβαλλοντικές συνθήκες. Η ισορροπία μεταξύ αυτών των ελεύθερων ριζών και των αντιοξειδωτικών είναι κρίσιμη για τη φυσιολογική λειτουργία του οργανισμού. Όταν οι ελεύθερες ρίζες υπερβούν την ικανότητα του οργανισμού να τις ελέγχει, μπορεί να προκύψει μια κατάσταση που ονομάζεται οξειδωτικό στρες.

Οι ελεύθερες ρίζες, λοιπόν, αποτελούν πρόκληση για τον οργανισμό, καθώς μπορούν να προκαλέσουν ζημιές στα κύτταρα, επηρεάζοντας λιπίδια, πρωτεΐνες και το DNA. Αυτό έχει συσχετιστεί με μια σειρά από ανθρώπινες ασθένειες, όπως καρδιαγγειακά προβλήματα, καρκίνος, προβλήματα γήρανσης και νευρολογικές διαταραχές.

Για να αντιμετωπίσουμε αυτό το πρόβλημα, αναζητούμε φυσικές ενώσεις που λειτουργούν ως αντιοξειδωτικά. Αυτά τα αντιοξειδωτικά δεσμεύουν τις ελεύθερες ρίζες, αποτρέποντάς τις από την πρόκληση ζημιών στον οργανισμό. Είναι σημαντικό να αναζητήσουμε αυτά τα αντιοξειδωτικά από φυσικές πηγές, αντί να βασιζόμαστε σε συνθετικές ενώσεις που μπορεί να είναι επιβλαβείς.

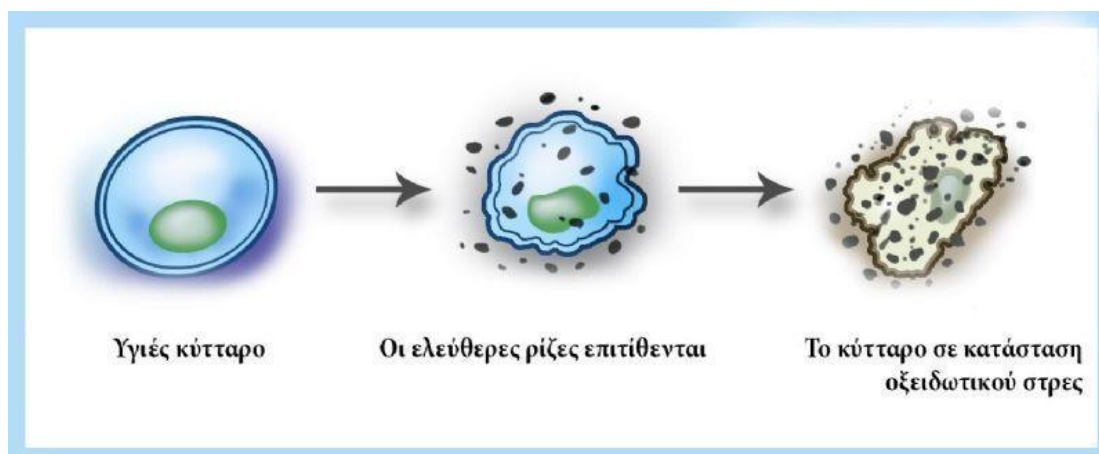
Η πρόσφατη αύξηση της κατανόησης μας για τις ελεύθερες ρίζες και τα δραστικά είδη οξυγόνου (ROS) στη βιολογία έχει οδηγήσει σε μια αληθινή ιατρική επανάσταση, η οποία υπόσχεται να ανοίξει νέους δρόμους για την διατήρηση της υγείας και την αντιμετώπιση ασθενειών. Ενδιαφέρονται για το γεγονός ότι το οξυγόνο, το οποίο είναι ουσιώδες για τη ζωή, μπορεί να έχει επιβλαβείς επιπτώσεις στον ανθρώπινο οργανισμό σε συγκεκριμένες περιπτώσεις. Πολλές από αυτές τις δυνητικά επιβλαβείς επιπτώσεις οφείλονται στον σχηματισμό και τη δράση ενός συγκεκριμένου είδους χημικών ενώσεων, που είναι γνωστές ως ROS (Reactive Oxygen Species), και έχουν την τάση να προκαλούν οξειδωτικό στρες στον οργανισμό.

Σήμερα, οι όροι "ελεύθερες ρίζες" και "αντιοξειδωτικά" έχουν καθιερωθεί στις σύγχρονες συζητήσεις σχετικά με τους μηχανισμούς των ασθενειών. Είναι σημαντικό να κατανοήσουμε την ισορροπία ανάμεσα σε αυτά τα δύο και πώς οι

αντιοξειδωτικές ουσίες μπορούν να βοηθήσουν στη διατήρηση της υγείας μας και στην πρόληψη των ασθενειών. (Lobo, Patil, Phatak, & Chandra, 2010)

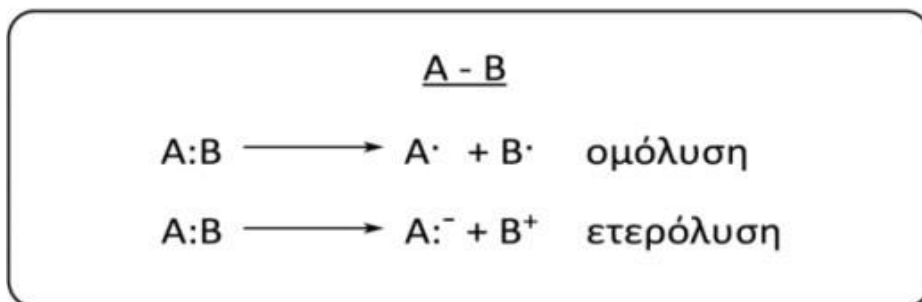
## 2.2 Έννοια των Ελεύθερων Ριζών

Οι ελεύθερες ρίζες αποτελούν μοριακά είδη που διαθέτουν ένα ατομικό ηλεκτρόνιο που βρίσκεται σε μη σταθερή κατάσταση. Αυτό το ασύζευκτο ηλεκτρόνιο τους καθιστά υψηλά αντιδραστικά, και ως αποτέλεσμα, έχουν τη δυνατότητα να αλληλεπιδρούν με άλλα μόρια στον οργανισμό. Αυτή η αλληλεπίδραση μπορεί να έχει δύο μορφές: Μπορούν είτε να δωρίσουν ένα ηλεκτρόνιο σε άλλα μόρια (οξείδωση) είτε να δεχτούν ένα ηλεκτρόνιο από άλλα μόρια (αναγωγή). Αυτή η ικανότητα να προσφέρουν ή να δεχτούν ηλεκτρόνια τις καθιστά οξειδωτικές ή αναγωγικές ουσίες. (Young, 2001) Οι πιο σημαντικές ελεύθερες ρίζες που περιέχουν οξυγόνο είναι η ρίζα υδροξυλίου, η ρίζα ανιόντων υπεροξειδίου, το υπεροξείδιο του υδρογόνου, το μονήρες οξυγόνο, το υποχλωριώδες, η ρίζα οξειδίου του αζώτου και η ρίζα υπεροξυνιτρώδους. Αποτελούν αντιδραστικά είδη ικανά να προκαλέσουν βλάβες στα μόρια (DNA, πρωτεΐνες, λιπίδια, υδατάνθρακες). (Lobo, Patil, Phatak, & Chandra, 2010)



*Εικόνα 1: Δράση των ελεύθερων ριζών στο κύτταρο*

Οι κύριοι μηχανισμοί σύνθεσης των ελεύθερων ριζών στον οργανισμό μπορεί να προέλθουν είτε από αντιδράσεις οξειδοαναγωγής είτε από ομολυτική ή ετερολυτική διάσπαση.



*Εικόνα 2: Απλοποιημένη απεικόνιση ομολυτικής και ετερολυτικής διάσπασης ενός ομοιοπολικού δεσμού στην χημική ένωση A-B*

Η ομολυτική ή ετερολυτική διάσπαση ενός ομοιοπολικού δεσμού για τη δημιουργία ελεύθερων ριζών μπορεί να συμβεί με την βοήθεια μεγάλης ποσότητας ενέργειας είτε μέσω της θερμότητας είτε μέσω της υπεριώδους ακτινοβολίας ή είτε μέσω ενέργειας ιοντισμού.

Η ενεργότητα αυτών των ελεύθερων ριζών μπορεί να οδηγήσει σε αλυσιδωτές αντιδράσεις όπου μεταδίδονται ηλεκτρόνια από ένα μόριο σε ένα άλλο, δημιουργώντας έτσι ακόμα περισσότερες ελεύθερες ρίζες. Αυτές οι αντιδράσεις, αποτελούν τα αντιδραστικά είδη οξυγόνου ROS, τα οποία ανήκουν σε έναν τύπο ελεύθερων ριζών, που παράγονται κατά τη διάρκεια της κανονικής διαδικασίας του μεταβολισμού στα κύτταρα. Ωστόσο, όταν η παραγωγή ROS υπερβαίνει την ικανότητα του οργανισμού να τις εξουδετερώνει, μπορεί να εμφανιστεί οξειδωτικό στρες, που οδηγεί σε βλάβες σε βιολογικά σημαντικά μόρια, όπως το DNA, οι πρωτεΐνες και τα λιπίδια, προκαλώντας κυτταρική βλάβη και διαταραχή της ομοιοστασίας. (Sinbad, Folorunsho, Olabisi, Ayoola & Temitope, 2019)

Ο τρόπος δημιουργίας των ελεύθερων ριζών σε έναν ανθρώπινο οργανισμό, μπορεί να γίνει είτε από φυσιολογικές μεταβολικές διεργασίες σε αυτόν, είτε από εξωτερικές πηγές, όπως είναι η έκθεση σε ακτίνες X, οι περιβαλλοντικοί ρύποι, ο καπνός τσιγάρου και προϊόντα μεταβολισμού.

Η δημιουργία ελεύθερων ριζών συμβαίνει συνεχώς στα κύτταρα, εξαιτίας ενζυματικών και μη ενζυματικών αντιδράσεων. Στις ενζυματικές αντιδράσεις, περιλαμβάνονται ρίζες που συμμετέχουν στην αναπνευστική αλυσίδα, στην φαγοκυττάρωση, στην σύνθεση προσταγλανδινών και στο σύστημα του κυτοχρώματος P-450. Από την άλλη, στις μη ενζυματικές αντιδράσεις, οι ελεύθερες ρίζες μπορούν να προκύψουν με οργανικές ενώσεις, καθώς και μέσω ιοντιστικών

αντιδράσεων. Ενσωματώνονται σε βασικές βιολογικές διαδικασίες, όπως η αναπνοή, η πέψη τροφίμων, η σύνθεση ορμονών και η ανοσολογική απάντηση. (Lobo, Patil, Phatak, & Chandra, 2010).

Σε ανθρώπινο οργανισμό, οι ελεύθερες ρίζες συνδέονται με πολλές παθήσεις και φαινόμενα, συμπεριλαμβανομένων του οξειδωτικού στρες, των φλεγμονών, των καρδιαγγειακών παθήσεων, της γήρανσης και ακόμα και της δημιουργίας καρκίνων.

Σε γενικές γραμμές, οι ελεύθερες ρίζες αποτελούν αναπόφευκτο παραπροϊόν των βιοχημικών διεργασιών στον οργανισμό, αλλά με την πρόοδο της έρευνας, έχει γίνει σαφές ότι μπορούν να ελαχιστοποιηθούν ή ακόμα και να αντιμετωπιστούν με τη βοήθεια αντιοξειδωτικών συστατικών όπως βιταμίνες, μέταλλα και φυτοχημικά. (Lobo, Patil, Phatak, & Chandra, 2010)



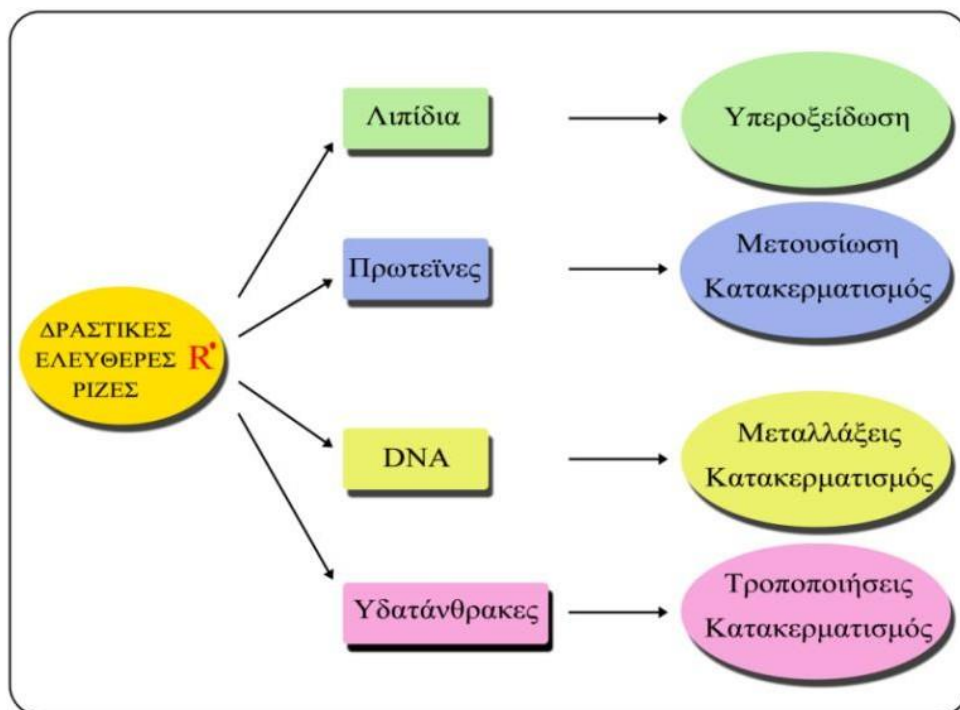
Εικόνα 3: Ελεύθερες ρίζες- Δραστικές οξυγονούχες ενώσεις ROS

### 2.3 Οξειδωτικό Στρες

Ο όρος "οξειδωτικό στρες" χρησιμοποιείται για να περιγράψει την κατάσταση όπου η ισορροπία μεταξύ της παραγωγής ελεύθερων ριζών και της αντιοξειδωτικής άμυνας στον ανθρώπινο οργανισμό είναι ανεπαρκής.

Το οξειδωτικό στρες μπορεί να προκύψει σε διάφορες καταστάσεις, όπως τραυματισμοί, λοίμωξη, θερμική βλάβη, υπερτοξίνες, τοξίνες και υπερβολική άσκηση. Σε αυτές τις καταστάσεις, οι ιστοί παράγουν αυξημένα ενζύματα και άρα ελεύθερες ρίζες, όπως η οξειδάση της ξανθίνης, η λιπογενάση, και η κυκλοοξυγενάση, ενεργοποιώντας τα φαγοκύτταρα και απελευθερώνοντας ελεύθερο σίδηρο και άλλα ιόντα όπως το χαλκό, με αποτέλεσμα Αυτό οδηγεί την μεγαλύτερη παραγωγή ελεύθερων ριζών.

Όπως προαναφέρθηκε η ανεξέλεγκτη δημιουργία ελεύθερων ριζών στα κύτταρα θα οδηγήσει σε βλάβες στα μόρια. Οι επιπτώσεις αναφέρονται και παρακάτω. Βλ. Εικ. 4

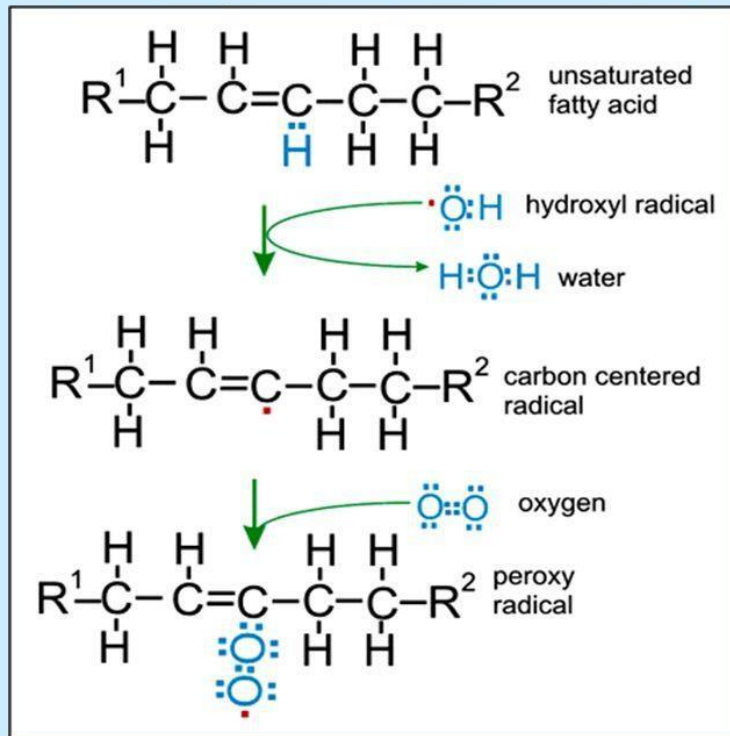


Εικόνα 4: Αντιδράσεις ελεύθερων ριζών με βασικά κυτταρικά συστατικά και οι επιπτώσεις τους

Η **υπεροξειδωση των λιπιδίων** αποτελεί μία διαδικασία στην οποία οι ελεύθερες ρίζες προκαλούν βλάβες στα λιπίδια. Συμβαίνει συνήθως σε πολυακόρεστα λιπαρά οξέα που βρίσκονται στις κυτταρικές μεμβράνες. Η ρίζα του υπεροξειδίου αποτελεί την πρώτη ρίζα που ξεκινάει τη διαδικασία για τη δημιουργία ελεύθερων ριζών. Στη συνέχεια, οι ρίζες αυτές αφαιρούν άτομα υδρογόνου παράγοντας έτσι τη ρίζα λιπιδίων η οποία με την προσθήκη οξυγόνου δημιουργεί τη ρίζα υπεροξυλίου. Η ρίζα υπεροξυλίου είναι ιδιαίτερα αντιδραστική και η οποία μπορεί να επιτεθεί σε άλλα λιπαρά οξέα δημιουργώντας έτσι το υδρουπεροξειδίο λιπιδίων (LOOH) και άλλες ρίζες. Κατά τη διάρκεια της υπεροξειδωσης των λιπιδίων πολλά είδη ενώσεων παράγονται πολλά είδη ενώσεων (αλκάνια, ισοπροτάνια και μαλανοαλδεύδη), οι οποίες λειτουργούν ως δείκτες για την αξιολόγηση της υπεροξειδωσης. (Lobo, Patil, Phatak, & Chandra, 2010)



## Υπεροξείδωση των λιπιδίων



12

Εικόνα 5: Υπεροξείδωση των λιπιδίων

Η οξειδωτική τροποποίηση των πρωτεϊνών είναι μια διαδικασία όπου οι πρωτεΐνες μπορούν να υποστούν αλλαγές λόγω της επίδρασης ελεύθερων ριζών. Αυτή η διαδικασία μπορεί να συμβεί με τρεις βασικούς τρόπους. Ο πρώτος είναι η οξειδωτική τροποποίηση συγκεκριμένων αμινοξέων, όπου ορισμένα αμινοξέα, όπως η μεθειονίνη, η κυστεΐνη, η αργινίνη και η ιστιδίνη, είναι ευαίσθητα στην οξειδωτική επίδραση και μπορούν να τροποποιηθούν από τις ελεύθερες ρίζες. Η διάσπαση πεπτιδίων με τη μεσολάβηση ελεύθερων ριζών, αποτελεί και αυτή μία διαδικασία, στην οποία οι ελεύθερες ρίζες μπορούν να προκαλέσουν τον διακλαδισμό και την κατακρημνισμένη διάσπαση των πρωτεϊνών, δημιουργώντας μικρότερα κομμάτια πεπτιδίων. Τέλος, έχουμε τον σχηματισμό πρωτεϊνικών σταυροδεσμών, όπου οι πρωτεΐνες μπορούν να αντιδράσουν με προϊόντα υπεροξείδωσης των λιπιδίων, δημιουργώντας σταυροδεσμούς μεταξύ τους.

Οι πρωτεΐνες που υποστούν οξειδωτικές αλλαγές μπορεί να περιέχουν ομάδες που προκαλούν βλάβη στα κύτταρα και στη μεμβράνη, επηρεάζοντας πολλές

λειτουργίες τους, καθώς και να επηρεάσουν τη λειτουργία των ενζύμων, των υποδοχέων και της μεμβρανικής μεταφοράς.

Οι ελεύθερες ρίζες, ειδικότερα η ρίζα υπεροξυλίου, συνήθως θεωρούνται ως η πηγή που προκαλεί την οξειδωτική τροποποίηση των πρωτεϊνών. Οι ελεύθερες ρίζες μπορούν να προκαλέσουν αλλαγές στις πρωτεΐνες, συμπεριλαμβανομένης της δημιουργίας καρβονυλικών ομάδων και άλλων τροποποιήσεων στα αμινοξέα, που μπορεί να επηρεάσουν διάφορες λειτουργίες των πρωτεϊνών, μαζί με την ικανότητα τους να μεταδίδουν σήματα, να εκτελούν ενζυμικές δραστηριότητες, να διατηρούν τη θερμική σταθερότητα και να συμμετέχουν στη διαδικασία πρωτεόλυσης, η οποία αφορά την αποσύνθεση των πρωτεϊνών. Όλα αυτά τα ανωτέρω επηρεάζουν την κατάσταση της πρωτεΐνης και μπορούν να συμβάλουν στην παραγωγή βλάβης στα κύτταρα και στη γήρανση. (Lobo, Patil, Phatak, & Chandra, 2010)

Σχετικά με την **τροποποίηση του DNA**, έρευνες υποστηρίζουν ότι είναι ευαίσθητο στην οξειδωτική βλάβη, προκαλούμενη από ελεύθερες ρίζες. Αυτές οι βλάβες μπορούν να συμβούν κατά τη διάρκεια φυσιολογικών διεργασιών, όπως η γήρανση και η εξέλιξη του καρκίνου. Τα οξειδωτικά νουκλεοτίδια, όπως η γλυκόλη, η dTG και η 8-υδροξυ-2-δεοξυγουανοσίνη, μπορούν να αυξηθούν στο DNA όταν υποστούν οξειδωτική βλάβη από παράγοντες όπως η υπεριώδη ακτινοβολία ή οι ελεύθερες ρίζες. Αυτά τα νουκλεοτίδια λειτουργούν ως βιολογικοί δείκτες του οξειδωτικού στρες. (Lobo, Patil, Phatak, & Chandra, 2010) . Το οξυγόνο στο μεταβολισμό παράγει ελεύθερες ρίζες, όπως το  $\cdot\text{OH}$ , που είναι ιδιαίτερα επιθετικές και μπορούν να αντιδράσουν με το DNA, τις πρωτεΐνες και τα λιπίδια, προκαλώντας χημικές αλλαγές σε αυτά. Οι αλλαγές στο DNA μπορούν να έχουν σημαντικές επιπτώσεις, όπως μεταλλαξιγένεση, αυξημένος κίνδυνος καρκινογένεσης και επιτάχυνση της διαδικασίας γήρανσης. (Nimse & Pal, 2015).

## 2.4 Ενεργές Μορφές

Στις κυριότερες ενεργές μορφές των ελεύθερων ριζών ανήκουν οι ενεργές μορφές οξυγόνου, αζώτου, θείου, καρβονυλίου και σεληνίου. Τα δραστικά είδη οξυγόνου (ROS) και τα δραστικά είδη αζώτου (RNS) είναι τα υποπροϊόντα που προκύπτουν από την κυτταρική οξειδοαναγωγική διαδικασία και παίζουν διπλό ρόλο στον άνθρωπο ως τοξικές και ωφέλιμες ενώσεις. Σε χαμηλά ή μέτρια επίπεδα, τα αντιδραστικά είδη ασκούν ευεργετικές επιδράσεις στην κυτταρική οξειδοαναγωγική

σηματοδότηση και την ανοσολογική λειτουργία, αλλά σε υψηλές συγκεντρώσεις παράγουν οξειδωτικό στρες. (Sen & Chakraborty, 2011)

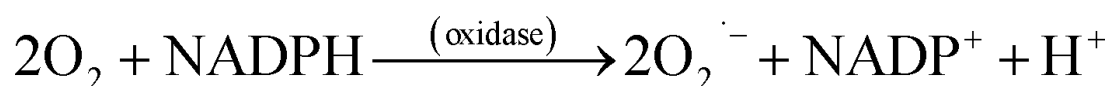
• ROS (Reactive Oxygen Species):

Οι ROS αποτελούν τη σημαντικότερη κατηγορία ελεύθερων ριζών. Αποτελεί ένας συλλογικός όρος που περιέχει τόσο τις ρίζες του οξυγόνου, όπως το υπεροξειδίο, το υδροξύλιο (-OH), το υπεροξύλιο (ROO-), κ.λπ. όσο και αντιδραστικά μόρια, όπως υπεροξειδίο του υδρογόνου (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), υποχλωριώδες οξύ (HClO), οξυγόνο (O<sub>2</sub>) κ.α., που δεν ανήκουν στις ενεργές μορφές αλλά είναι οξειδωτικοί παράγοντες και μετατρέπονται εύκολα σε ρίζες.

Οι ROS μπορούν να παραχθούν τόσο από ενδογενείς όσο και από εξωγενείς ουσίες.

Οι πιο συχνές ενδογενείς ουσίες είναι τα μιτοχόνδρια και το κυτόχρωμα P450, ενώ στις εξωγενείς ουσίες ανήκουν ο καπνός του τσιγάρου, η U.V. ακτινοβολία, χημικοί παράγοντες, η μόλυνση κ.α. (Buonocore, Perrone, & Tataranno, 2010)

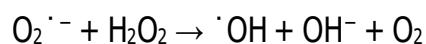
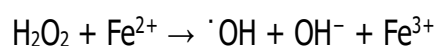
Η δημιουργία ενεργών μορφών οξυγόνου (ROS), ξεκινάει με γρήγορη πρόσληψη οξυγόνου, την ενεργοποίηση της οξειδάσης NADPH, που οδηγεί στην παραγωγή της ρίζας ανιόντων υπεροξειδίου (O<sub>2</sub><sup>·-</sup>), η οποία είναι μία βλαβερή ρίζα που μπορεί να προκαλέσει επιπτώσεις στα κύτταρα και τα μόρια του οργανισμού. (Nimse & Pal, 2015)



Το ανιόν υπεροξειδίου (O<sub>2</sub><sup>·-</sup>) μετατρέπεται έπειτα σε υπεροξειδίο του υδρογόνου (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), παρουσία SOD (υπεροξειδίο της δισμουτάσης), ένζυμο που προστατεύει τα κύτταρα από τις ελεύθερες ρίζες.

Είναι σημαντικό επίσης να τονισθεί ότι, τα αντιδραστικά είδη ROS μπορούν να παραχθούν και από την δράση του ενζύμου μυελοπεροξειδάση (MPO), το οποίο το συναντάμε στους κυτταροπλασματικούς κόκκους των ουδετερόφιλων.

Οι ROS παράγονται, επιπλέον και από ανιόντα υπεροξειδίου (O<sub>2</sub><sup>·-</sup>) και υπεροξειδίο του υδρογόνου (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) μέσω αντίδρασης Fenton και Haber-Weiss



Σύμβολο	Ονομασία
$^1\text{O}_2$	Singlet οξυγόνο
$\text{O}_2^{\cdot-}$	Ρίζα ανιόντων υπεροξειδίου
$\cdot\text{OH}$	Ρίζα υδροξυλίου
$\text{RO}\cdot$	Ρίζα αλκοξυλίου
$\text{ROO}\cdot$	Ρίζα υπεροξυλίου
$\text{H}_2\text{O}_2$	Υπεροξείδιο του υδρογόνου
$\text{LOOH}$	Υδροϋπεροξείδιο των λιπιδίων

Πίνακας 1: Κυριότερες ενεργές μορφές οξυγόνου

(Young, 2001), (Nimse & Pal, 2015)

• RNS (Reactive Nitrogen Species):

Οι δραστικές μορφές αζώτου είναι οι ελεύθερες ρίζες που περιέχουν στο μόριό τους άζωτο (N). Τα αντιδραστικά είδη αζώτου (RNS) αποτελούν και αυτά έναν συλλογικό όρο που περιλαμβάνει ρίζες όπως το οξειδίο του αζώτου ( $\text{NO}\cdot$ ) και το διοξειδίο του αζώτου ( $\text{NO}_2\cdot$ ), καθώς και μη ρίζες όπως το νιτρώδες οξύ ( $\text{HNO}_2$ ) και το τετροξείδιο του διναζώτου ( $\text{N}_2\text{O}_4$ ).

Ελεύθερες Ρίζες	Μη ελεύθερες ρίζες
Οξειδίο του Αζώτου ( $\text{NO}\cdot$ )	Νιτρώδες οξύ ( $\text{HNO}_2$ )
Διοξειδίο του Αζώτου ( $\text{NO}_2\cdot$ )	Κατιόν νιτροσονίου ( $\text{NO}^+$ )
Νιτρική Ρίζα ( $\text{NO}_3\cdot$ )	Ανιόν νιτροξυλίου ( $\text{NO}_2^-$ )
	Υπεροξνιτρώδες ( $\text{ONOO}\cdot$ )
	Τριοξείδιο του διναζώτου ( $\text{N}_2\text{O}_3$ )

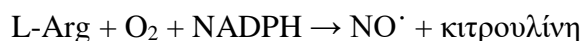
	Τετροξειδίο του αζώτου (N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> )
--	---

Πίνακας 2: Κύρια αντιδραστικά είδη αζώτου

(Nimse & Pal, 2015)

Οι RNS παράγονται επίσης στα φυτά, αν και τα συστήματα παραγωγής τους δεν έχουν ακόμη χαρακτηριστεί πλήρως. Το μονοξειδίο του αζώτου (NO<sup>-</sup>) έχει σημαντική λειτουργία ως βασικό μόριο (Del Rio, 2015).

Η ρίζα του μονοξειδίου του αζώτου (NO<sup>.</sup>) προκύπτει από το μεταβολισμό του αμινοξέος L-αργινίνη. Τα ένζυμα που διαδραματίζουν ρόλο στην παραγωγή, είναι οι συνθάσες του μονοξειδίου του αζώτου (NOS), που μετατρέπουν την L-αργινίνη σε L-κιτρουλίνη και με οξείδωση 5 ηλεκτρονίων ενός αζώτου γουανιδίνης της L-αργινίνης



(Nimse & Pal, 2015)

Υπάρχουν τρία κύρια είδη NOS, η nNOS (Neuronal Nitric Oxide Synthase), η οποία συμβάλλει στη ρύθμιση της νευρομετάδοσης και έχει σημαντικό ρόλο στη διατήρηση της νευρικής λειτουργίας, η iNOS (Inducible Nitric Oxide Synthase), που παράγει NO σε μεγάλες ποσότητες και μπορεί να συμβάλει στην καταπολέμηση μικροβίων αλλά και να προκαλέσει φλεγμονές και η eNOS (Endothelial Nitric Oxide Synthase), που βοηθά στη ρύθμιση της αρτηριακής πίεσης και στη διατήρηση της υγείας του κυκλοφορικού συστήματος. (Di Meo, Reed, Venditti, & Víctor, 2016)

## Κεφάλαιο 3: Κατηγορίες και Χαρακτηριστικά των αντιοξειδωτικών ουσιών

### 3.1 Ταξινόμηση Αντιοξειδωτικών Ουσιών

Οι αντιοξειδωτικές ουσίες είναι μόρια που αναστέλλουν ή εξουδετερώνουν τις αντιδράσεις των ελεύθερων ριζών και καθυστερούν ή αναστέλλουν την κυτταρική βλάβη. (Nimse & Pal, 2015)

Η ταξινόμηση των αντιοξειδωτικών μπορεί να γίνει με βάση διάφορα κριτήρια, συμπεριλαμβανομένης της πηγής τους, της δομής τους και της λειτουργίας τους. Σύμφωνα με την δραστηριότητα τους, κατηγοριοποιούνται σε ενδογενή, δηλαδή αυτά που συντίθενται στον οργανισμό και μπορεί να είναι ενζυμικής προέλευσης ή μη ενζυμικής προέλευσης και σε εξωγενή και μπορεί να είναι φυσικής ή τεχνητής προέλευσης.

Τα ενζυμικά αντιοξειδωτικά λειτουργούν διασπώντας και αφαιρώντας τις ελεύθερες ρίζες. Πιο συγκεκριμένα, μπορούν να μετατρέψουν ορισμένα επικίνδυνα οξειδωτικά προϊόντα σε υδρογόνο υπεροξειδίου ( $H_2O_2$ ) και, στη συνέχεια, σε νερό ( $H_2O$ ). Αυτή η διαδικασία απαιτεί την παρουσία συντελεστών όπως χαλκός (Cu), ψευδάργυρος (Zn), μαγγάνιο (Mn) και σίδηρος (Fe). Από την άλλη πλευρά, τα μη ενζυμικά αντιοξειδωτικά λειτουργούν με την διάσπαση των αλυσίδων αντιδράσεων των ελεύθερων ριζών, αποτρέποντας έτσι την εξάπλωση των αντιδράσεων αυτών. Σε αυτά ανήκουν η βιταμίνη C, η βιταμίνη E, πολυφαινόλες, καροτενοειδή και γλουταθειόνη. (Nimse & Pal, 2015)

Ένας άλλος τρόπος κατηγοριοποίησης των αντιοξειδωτικών είναι με βάση την διαλυτότητα τους στο νερό ή στα λιπίδια. Τα αντιοξειδωτικά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως αντιοξειδωτικά υδατανθράκων και αντιοξειδωτικά λιπαρών. Τα αντιοξειδωτικά υδατανθράκων (π.χ. βιταμίνη C) βρίσκονται στα κυτταρικά υγρά όπως η κυτοσόλη ή η κυτοπλασματική μήτρα. Τα αντιοξειδωτικά λιπαρών (π.χ. βιταμίνη E, καροτενοειδή και λιποϊκό οξύ) βρίσκονται κυρίως στις κυτταρικές μεμβράνες.

Επιπλέον, μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με το μέγεθός τους, σε αντιοξειδωτικά μικρών μορίων και αντιοξειδωτικά μεγάλων μορίων. Τα αντιοξειδωτικά μικρών μορίων αντιμετωπίζουν τα ROS με την λεγόμενη αντίχνευση ριζών διαδικασία και να τα απομακρύνουν. Τα κύρια αντιοξειδωτικά σε αυτήν την

κατηγορία είναι η βιταμίνη C, η βιταμίνη E, τα καροτενοειδή και η γλουταθειόνη (GSH). Τα αντιοξειδωτικά μεγάλων μορίων είναι ένζυμα όπως η δισμουτάση του υπεροξειδίου (SOD), η καταλάση (CAT) και η γλουταθειόνη-S-τρανσφεροξειδάση της γλουταθειόνης (GSHPx) είτε πρωτεΐνες όπως η αλβουμίνη, που απορροφούν τις ενεργές μορφές οξυγόνου (ROS) και τις εμποδίζουν να προσβάλλουν άλλα βασικά πρωτεϊνικά μόρια. (Nimse & Pal, 2015)



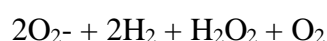
**Σχήμα 1:** Ταξινόμηση αντιοξειδωτικών ουσιών

### 3.2 Ενζυματικά Αντιοξειδωτικά

Τα ενζυματικά είναι ενώσεις που διαθέτουν την εξαιρετική ικανότητα να προστατεύουν τον οργανισμό του ανθρώπου από τη βλάβη που προκαλείται από τις ελεύθερες ρίζες, τις χημικές ενώσεις που μπορούν να προκαλέσουν ζημιά στα κύτταρα και τους ιστούς μας. Στα πιο σημαντικά ανήκουν, οι δισμουτάσες του υπεροξειδίου (SOD), η καταλάση (CAT) και η υπεροξειδάση της γλουταθειόνης (GPxs).

### 3.2.1 Δισμουτάσες υπεροξειδίου- Superoxide Dismutase-SOD

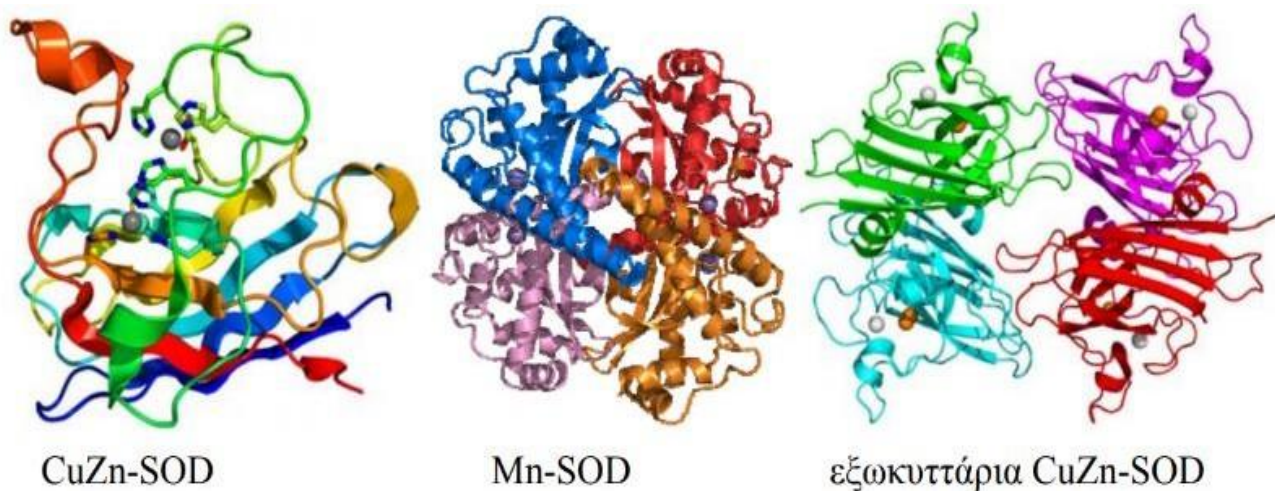
Οι δισμουτάσες του υπεροξειδίου (SOD) αποτελούν το πρώτο σύστημα άμυνας εναντίον των αντιδραστικών ειδών οξυγόνου (ROS) και βοηθούν στη διατήρηση της κυτταρικής ακεραιότητας, καθώς και ένα από τα πιο σημαντικά ενδογενή συστήματα που βρίσκονται στον ανθρώπινο οργανισμό. Η κύρια λειτουργία τους είναι να αντιμετωπίζουν την εξάλειψη του ανιόντος υπεροξειδίου, μετατρέποντάς το σε υπεροξείδιο του υδρογόνου (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) και μοριακό οξυγόνο (O<sub>2</sub>), καθιστώντας το έτσι δυνητικά επιβλαβές ανιόν υπεροξειδίου λιγότερο επικίνδυνο. Αυτή η μετατροπή αναπαρίσταται από την εξής αντίδραση:



Το SOD είναι ένα μεταλλοένζυμο και ως εκ τούτου, απαιτεί ένα μέταλλο συμπράγοντα για τη δραστηριότητά του. Τα μεταλλικά ιόντα που δεσμεύονται από το SOD είναι ο σίδηρος (Fe), ο ψευδάργυρος (Zn), χαλκός (Cu) και μαγγάνιο (Mn). (Abdel-Salam, 2018).

Στον ανθρώπινο οργανισμό υπάρχουν τρεις διαφορετικές μορφές SOD: το μιτοχονδριακό Mn-SOD, το κυτταροπλασματικό CuZn-SOD και το εξωκυτταρικό SOD. Το CuZn-SOD μεταφέρει ιόντα χαλκού και ψευδαργύρου στο ενεργό κέντρο του και βρίσκεται κυρίως στο κυτταρόπλασμα, αλλά επίσης και στο μιτοχονδριακό χώρο. Το Mn-SOD αποτελείται από τέσσερις υπομονάδες και περιέχει ένα άτομο μαγγανίου στο ενεργό κέντρο της κάθε υπομονάδας. Βρίσκεται κυρίως στη μήτρα των μιτοχονδρίων και βοηθά στην απομάκρυνση των ριζών O<sub>2</sub><sup>-</sup>, η οποίες σχηματίζονται στη μήτρα, καθώς και στην εσωτερική μιτοχονδριακή μεμβράνη. Το εξωκυτταρικό SOD είναι μια τετραμερής γλυκοπρωτεΐνη με χαλκό και ψευδάργυρο στη δραστική της θέση και συνδέεται στενά με ορισμένες γλυκοζαμινογλυκάνες όπως ηπαρίνη. Η παραγωγή του ρυθμίζεται από κυτοκίνες, αυξητικούς παράγοντες και προοξειδωτικά μόρια, αντίθετα από την οξειδοαναγωγική κατάσταση του κυττάρου. (Kabel, 2014), (Younus, 2018), (Abdel-Salam, 2018)





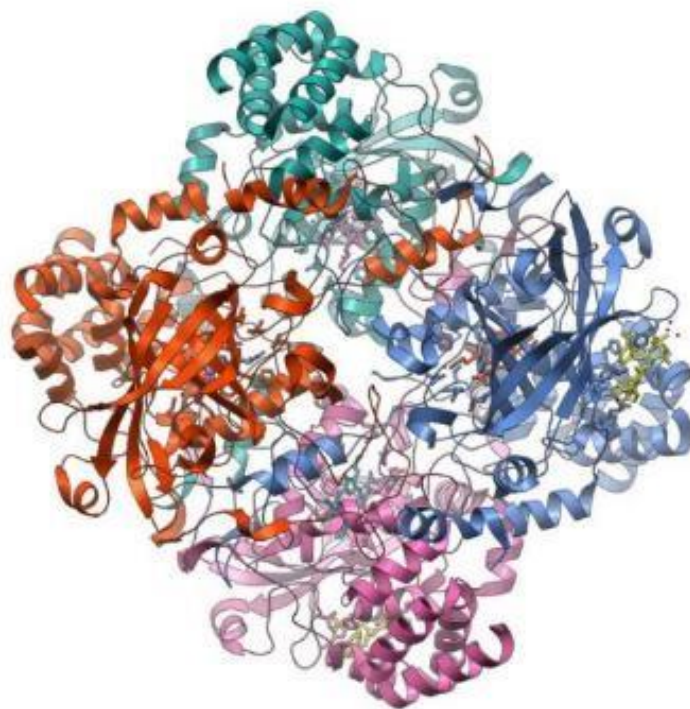
Εικόνα 6: Απεικονίσεις των δομών των τριών ενζύμων SOD του ανθρώπου

### 3.2.2 Καταλάση

Η καταλάση (CAT) είναι ένα τετραμερές ένζυμο, αποτελούμενο από τέσσερις πολυπεπτιδικές αλυσίδες, η καθεμία με μήκος πάνω από 500 αμινοξέα. Κάθε αλυσίδα περιέχει τέσσερις ομάδες αίμης πορφυρίνης (σίδηρος), οι οποίες επιτρέπουν στο ένζυμο να αντιδράσει με το υπεροξειδίο του υδρογόνου ( $H_2O_2$ ). Μπορεί να εκτελέσει δύο διαφορετικούς τρόπους ενζυματικής δραστηριότητας: τον καταλυτικό τρόπο δραστηριότητας ( $2H_2O_2 \rightarrow O_2 + 2H_2O$ ), κατά τον οποίο το και το  $H_2O_2$  μετατρέπεται σε οξυγόνο και νερό και τον υπεροξειδωτικό τρόπο δράσης ( $H_2O_2 + AH_2 \rightarrow A + 2H_2O$ ). Το ένζυμο αυτό είναι εξαιρετικά αποτελεσματικό και μπορεί να διασπάσει εκατομμύρια μόρια  $H_2O_2$  σε δευτερόλεπτο. Βρίσκεται σε όλα τα κύτταρα του ανθρώπινου οργανισμού, εκτός από τα ερυθροκύτταρα, και παίζει σημαντικό ρόλο στην προστασία τους από την οξειδωτική βλάβη. (Kabel, 2014)

Η καταλάση (Catalase) αποτελεί ένα σημαντικό ένζυμο αντιοξειδωτικής άμυνας πρώτης γραμμής που προστατεύει τα κύτταρα από τη βλάβη που προκαλείται από το  $H_2O_2$ . Η έλλειψη ή η μετάλλαξη της καταλάσης μπορεί να συσχετίζεται με διάφορες ασθένειες και ανωμαλίες, όπως ο καρκίνος, ο σακχαρώδης διαβήτης και η ευαισθησία στο DNA. Τα χαμηλά επίπεδα καταλάσης (ακαταλασειμία) λέγεται ότι έχουν μεγαλύτερη προδιάθεση στον σακχαρώδη διαβήτη τύπου 2. (Abdel-Salam, 2018)

Όλα τα γνωστά ζώα χρησιμοποιούν καταλάση σε κάθε όργανο, με ιδιαίτερα υψηλές συγκεντρώσεις να εμφανίζονται στο ήπαρ. (Lobo, Patil, Phatak, & Chandra, 2010)



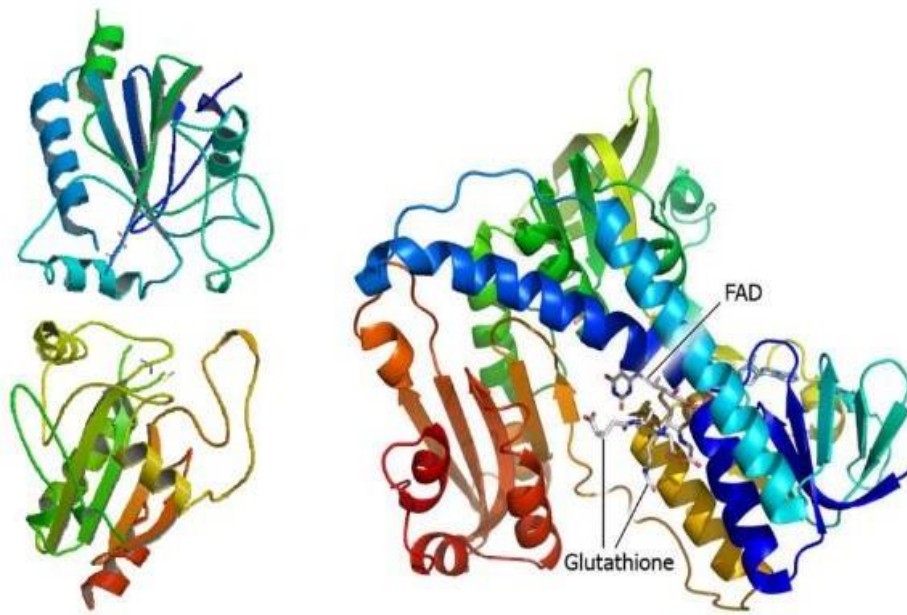
*Εικόνα 7: Αναπαράσταση της δομής καταλάσης*

### **3.2.3 Υπεροξειδάση γλουταθειόνης – GPxs**

Το σύστημα γλουταθειόνης περιλαμβάνει γλουταθειόνη, αναγωγάση γλουταθειόνης, υπεροξειδάσες γλουταθειόνης και S-τρανσφεράσες γλουταθειόνης. (Lobo, Patil, Phatak, & Chandra, 2010). Η υπεροξειδάση της γλουταθειόνης (GPx) είναι ένα σημαντικό ενδοκυτταρικό ένζυμο που έχει την ικανότητα να διασπά τα υπεροξείδια του υδρογόνου ( $H_2O_2$ ) σε ακίνδυνο νερό. Επίσης, μπορεί να διασπά υπεροξείδια λιπιδίων, μετατρέποντάς τα σε αντίστοιχες αλκοόλες, κυρίως στα μιτοχόνδρια και, σε ορισμένες περιπτώσεις, στο κυτταρόπλασμα. Η δραστηριότητα αυτού του ενζύμου συνήθως εξαρτάται από την παρουσία ενός συμπαραγόντα, του σεληνίου. Γι' αυτό το λόγο, η GPx αναφέρεται συχνά ως "υπεροξειδάση σεληνοκυστεΐνης."

Η GPx έχει κλινική σημασία, καθώς έχει συσχετιστεί με πολλές ασθένειες. Η ανεπάρκεια της GPx μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένο οξειδωτικό στρες και νευροτοξική βλάβη. Επιπλέον, η GPx έχει συνδεθεί με την ανάπτυξη πολλών ασθενειών, όπως ο καρκίνος και οι καρδιαγγειακές παθήσεις. Οι μελέτες έχουν δείξει ότι η ανεπάρκεια της GPx μπορεί να προκαλέσει οξειδωτική βλάβη στα λιπαρά οξέα της μεμβράνης και δυσλειτουργία του ενδοθηλίου των αγγείων. (Abdel-Salam, 2018)

Το ένζυμο αυτό διαδραματίζει έναν κρίσιμο ρόλο στην αναστολή της υπεροξειδωσής των λιπιδίων, προστατεύοντας έτσι τα κύτταρα από το οξειδωτικό στρες. Σύμφωνα με τους Morón και Cortázar, υπάρχουν διάφορες μορφές του ενζύμου GPx στον άνθρωπο, γνωστές ως GPx1 έως GPx8. Καθένα από αυτά τα γονίδια βρίσκεται σε διάφορα χρωμοσώματα. Η GPx1 είναι η πιο άφθονη μορφή της υπεροξειδάσης γλουταθειόνης και βρίσκεται σχεδόν σε όλα τα κύτταρα. Η GPx2 βρίσκεται κυρίως στο γαστρεντερικό σύστημα, ειδικότερα στο έντερο. Τα νεφρά είναι η κύρια θέση για την GPx3, αν και αυτό το ένζυμο υπάρχει και στα εξωκυτταρικά υγρά ως γλυκοπρωτεΐνη. Το GPx4, από την άλλη, διαφέρει από τις άλλες μορφές GPx, αφού είναι μονομερές και είναι υπεύθυνο για τη διάσπαση των υδροϋπεροξειδίων των φωσφολιπιδίων. Επίσης, το GPx4 έχει μια μιτοχονδριακή μορφή που συμμετέχει στην αντίδραση στο οξειδωτικό στρες και επηρεάζει την ωρίμανση του σπέρματος. (Abdel-Salam, 2018e) Οι S-τρανσφεράσες γλουταθειόνης παρουσιάζουν υψηλή δραστικότητα με υπεροξειδία λιπιδίων. Αυτά τα ένζυμα βρίσκονται σε ιδιαίτερα υψηλά επίπεδα στο ήπαρ και επίσης χρησιμεύουν στον μεταβολισμό της αποτοξίνωσης. (Lobo, Patil, Phatak, & Chandra, 2010)



Εικόνα 8: Αναπαράσταση των δομών της GPx1 (αριστερά) και της GR (δεξιά)

- Δισμουτάση του υπεροξειδίου



- Καταλάση



- Υπεροξειδάση της γλουταθειόνης



Εικόνα 9: Ενζυμικό αντιοξειδωτικό σύστημα

### 3.3 Μη Ενζυματικά Αντιοξειδωτικά

Τα μη ενζυματικά αντιοξειδωτικά αποτελούν μια σημαντική κατηγορία ενώσεων και θρεπτικών συστατικών που παίζουν έναν ζωτικό ρόλο στη διατήρηση της υγείας του ανθρώπινου οργανισμού. Σε αντίθεση με τα ενζυματικά αντιοξειδωτικά που αναλαμβάνουν την αντιμετώπιση των ελεύθερων ριζών μέσω βιοχημικών αντιδράσεων, τα μη ενζυματικά αντιοξειδωτικά είναι ενώσεις που προστατεύουν τα κύτταρα από την οξειδωτική ζημιά. Στα φυσικά μη- ενζυματικά αντιοξειδωτικά κατατάσσονται τα εξής: συνένζυμο Q10, η τοκοφερόλη (βιταμίνη E), το ασκορβικό οξύ (βιταμίνη C), τα καροτενοειδή και συγκεκριμένα το β-καροτένιο, η γλουταθειόνη, μεταλλικά ιόντα (όπως το σελήνιο, ο χαλκός, ο ψευδάργυρος κτλ) και οι πολυφαινόλες.

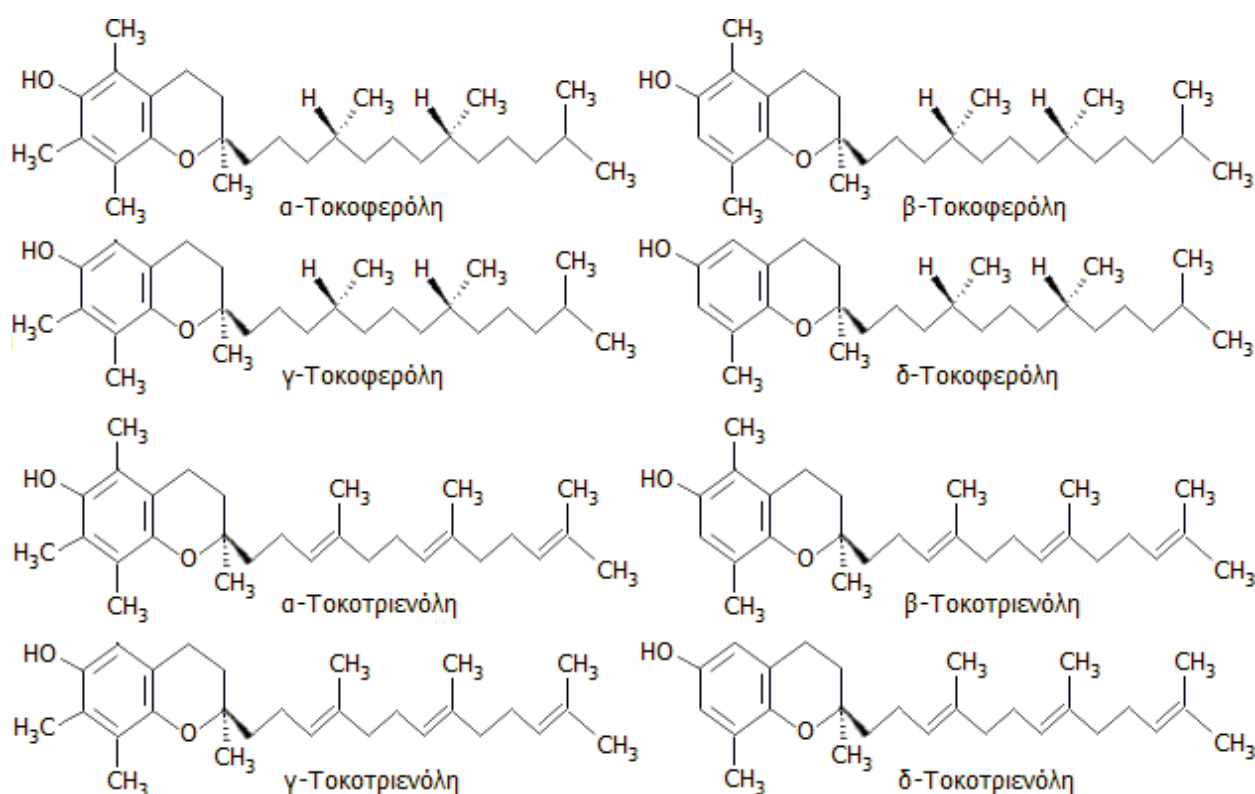
#### 3.3.1 Βιταμίνη E (Τοκοφερόλη)

Η βιταμίνη E αποτελεί μία ομάδα λιποδιαλυτών ενώσεων με αντιοξειδωτικές δραστηριότητες και υπάρχει σε οκτώ χημικές μορφές (α-, β-, γ- και δέλτα-τοκοφερόλη και α-, β-, γ- και δέλτα-τοκοτριενόλη) που έχουν διαφορετικά επίπεδα δραστηριότητας. Βασικός ρόλος της αποτελεί η προστασία των κυττάρων από βλάβες που προκαλούνται από τις ελεύθερες ρίζες, οι οποίες μπορούν να συμβάλουν σε χρόνιες ασθένειες όπως ο καρκίνος και οι καρδιακές παθήσεις, καθώς και η αναστολή της συσσώρευσης των αιμοπεταλίων και η ενίσχυση του ανοσοποιητικού συστήματος. Ακόμη, η βιταμίνη E παίζει σημαντικό ρόλο στη βιοσύνθεση άλλων απαραίτητων ενώσεων του οργανισμού και είναι αναγκαία για την κυτταρική αναπνοή των ιστών (καρδιακός μυς και σκελετικοί μυς). (Χούχουλα, Σφλώμος, 2020)

Σύμφωνα με τις συστάσεις, η ημερήσια κατανάλωση της βιταμίνης E θα πρέπει να είναι περίπου 15 mg για να καλύπτει τις ανάγκες του οργανισμού. (Brancaccio et al., 2022). Οι διάφορες μορφές της δεν μπορούν να συντεθούν από τον οργανισμό και γι' αυτό πρέπει να λαμβάνονται μέσω της τροφής. (Χούχουλα, Σφλώμος, 2020). Οι περιπτώσεις έλλειψής της στον άνθρωπο είναι σπάνιες και συνήθως συνδέονται με προβλήματα στην απορρόφηση ή τον μεταβολισμό του διαιτητικού λίπους. (Brancaccio et al., 2022) Επιπλέον, η ανεπάρκεια της μπορεί να αφήσει τις λιποπρωτεΐνες χαμηλής πυκνότητας εκτεθειμένες σε οξειδωτική ζημιά. Ως αποτέλεσμα, η έλλειψη αυτής της βιταμίνης συνδέεται με σοβαρές παθήσεις, όπως

καρδιακές προσβολές, καρκίνο, εγκεφαλικά επεισόδια, ινοκυστική νόσο του μαστού, επιληψία, σύνδρομο προεμνηνορροϊκής διάθεσης (PMS), διαβήτη, νόσο του Πάρκινσον, καταρράκτη, και νόσο του Αλτσχάιμερ. (Sinbad, Folorunsho, Olabisi, Ayoola & Temitoro, 2019) Αντίθετα, ως προς την περίσσεια της, δεν έχουν αναφερθεί σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις στη βιβλιογραφία. Παρόλα αυτά, έχει παρατηρηθεί ότι υψηλές δόσεις συμπληρωμάτων α-τοκοφερόλης μπορούν να προκαλέσουν αιμορραγία και να επηρεάσουν την πήξη του αίματος σε ζωικά πειραματικά μοντέλα. Ωστόσο, αυτό δεν σημαίνει ότι χρειάζεται να ανησυχούμε για υψηλές ποσότητες βιταμίνης E από τη διατροφή, καθώς οι φυσικές πηγές της βιταμίνης E δεν προκαλούν τέτοιου είδους προβλήματα. (Brancaccio et al., 2022)

Η α- τοκοφερόλη είναι η μόνη μορφή που αναγνωρίζεται ότι καλύπτει τις ανθρώπινες ανάγκες και αποτελεί μία λιπαρή ουσία, η οποία απομονώθηκε από φυτικά έλαια.



Εικόνα 10: Χημικοί τύποι των τοκοφερολών

Γενικά, την βιταμίνη E την συναντάμε σε φυτικής προέλευση τροφές, όπως ηλιόσπορους, σπανάκι, σπαράγγια, αμύγδαλα, μπρόκολο, πιπεριές, λάχανο,

αβοκάντο, φιστίκια, κράνμπερι, κ.α. (Sinbad, Folorunsho, Olabisi, Ayoola & Temitope, 2019) . Πιο συγκεκριμένα, οι ξηροί καρποί, το σπανάκι, το ελαιόλαδο, τα αμύγδαλα, τα όσπρια, το αβοκάντο και οι ηλιόσποροι είναι από τις καλύτερες πηγές α-τοκοφερόλης, ενώ σημαντικές ποσότητες υπάρχουν και στα πράσινα φυλλώδη λαχανικά και στα εμπλουτισμένα δημητριακά. (Brancaccio et al., 2022), (Χούχουλα, Σφλώμος, 2020)

Η βιταμίνη E χαρακτηρίζεται ως ένα λιποδιαλυτό αντιοξειδωτικό που σταματά την παραγωγή των ROS, δραστικές μορφές οξυγόνου που σχηματίζονται από τα ηλεκτρόνια υψηλής ενέργειας όταν αντιδράσουν γρήγορα με το οξυγόνο, που σχηματίζονται όταν το λίπος υφίσταται οξείδωση, καθώς επίσης προστατεύει από την βλαβερή δράση των ελεύθερων ριζών, τις κυτταρικές μεμβράνες και τις κυτταρικές δομές. Εκτός από τον ρόλο της ως αντιοξειδωτικό, η βιταμίνη E εμπλέκεται στην ανοσολογική λειτουργία, στην κυτταρική σηματοδότηση, στη ρύθμιση της γονιδιακής έκφρασης και σε άλλες μεταβολικές διαδικασίες. (“Office of Dietary Supplements - Vitamin E,” 2019)

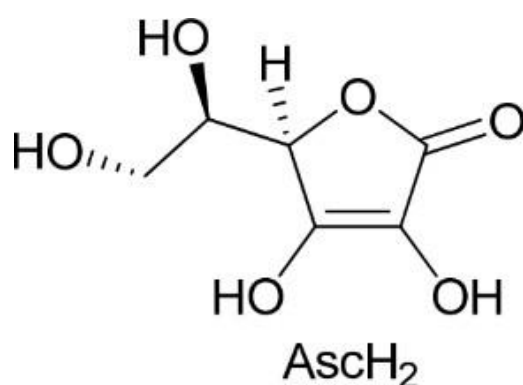
Πιο συγκεκριμένα, για την α- τοκοφερόλη έχει διαπιστωθεί ότι η αυξημένη συγκέντρωσή της, έχει προστατευτικό ρόλο στο ήπαρ, έναντι οξειδωτικής βλάβης σε οξειδωτικό στρες που προκαλείται από άσκηση. Επιπλέον, προστατεύει τις κυτταρικές μεμβράνες από την υπεροξείδωση των λιπιδίων με τη δέσμευση ανιόντων ριζών υπεροξειδίου και ελεύθερων ριζών λιπιδίων υπεροξυλίου, καθώς και μειώνει το οξειδωτικό στρες σε εργαζόμενους που εκτίθενται σε μόλυβδο. (Sinbad, Folorunsho, Olabisi, Ayoola & Temitope, 2019)

Σύμφωνα με τις συστάσεις, η ημερήσια κατανάλωση της βιταμίνης E θα πρέπει να είναι περίπου 15 mg για να καλύπτει τις ανάγκες του οργανισμού. Η παρουσία της, συνδέεται με την πρόληψη διαφόρων ασθενειών, όπως είναι η καρδιακή προσβολή, ο καρκίνος, τα εγκεφαλικά επεισόδια, η νόσος του Πάρκινσον, ο καταρράκτης, η νόσος του Αλτσχάιμερ κ.α.. Παρ’ όλ’ αυτά, η ανεπάρκεια της είναι σπάνια και δεν έχουν βρεθεί εμφανή συμπτώματα ανεπάρκειας σε υγιείς ανθρώπους που λαμβάνουν λίγη βιταμίνη E από τη διατροφή τους. (“Office of Dietary Supplements - Vitamin E,” 2019) Στις περιπτώσεις ανεπάρκειας, συνήθως συνδέεται με προβλήματα στην απορρόφηση ή τον μεταβολισμό του διαιτητικού λίπους. (Brancaccio et al., 2022) Επιπλέον, η ανεπάρκεια της μπορεί να αφήσει τις λιποπρωτεΐνες χαμηλής πυκνότητας εκτεθειμένες σε οξειδωτική ζημιά. Ως αποτέλεσμα, η έλλειψη αυτής της

βιταμίνης συνδέεται με σοβαρές παθήσεις, όπως καρδιακές προσβολές, καρκίνο, εγκεφαλικά επεισόδια, ινοκυστική νόσο του μαστού, επιληψία, σύνδρομο προεμνηορροϊκής διάθεσης (PMS), διαβήτη, νόσο του Πάρκινσον, καταρράκτη, και νόσο του Αλτσχάιμερ. (Sinbad, Folorunsho, Olabisi, Ayoola & Temitope, 2019) Αντίθετα, ως προς την περίσσεια της, δεν έχουν αναφερθεί σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις στη βιβλιογραφία. Παρόλα αυτά, έχει παρατηρηθεί ότι υψηλές δόσεις συμπληρωμάτων α-τοκοφερόλης μπορούν να προκαλέσουν αιμορραγία και να επηρεάσουν την πήξη του αίματος σε ζωικά πειραματικά μοντέλα. Ωστόσο, αυτό δεν σημαίνει ότι χρειάζεται να ανησυχούμε για υψηλές ποσότητες βιταμίνης E από τη διατροφή, καθώς οι φυσικές πηγές της βιταμίνης E δεν προκαλούν τέτοιου είδους προβλήματα. (Brancaccio et al., 2022)

### 3.3.2 Βιταμίνη C (Ασκορβικό Οξύ)

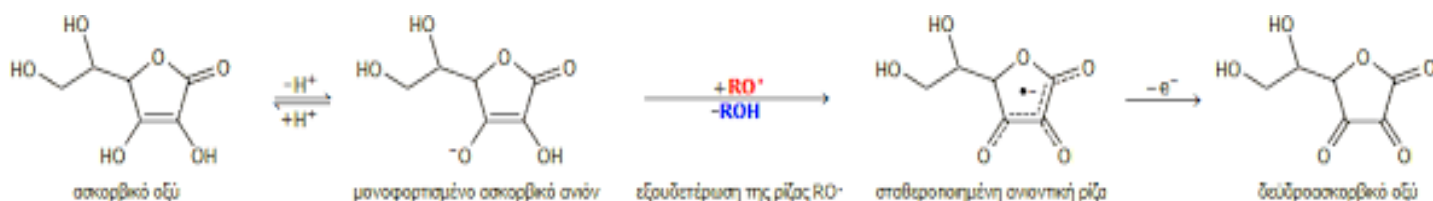
Η βιταμίνη C (γνωστή και ως ασκορβικό οξύ) αποτελεί την πλέον μελετημένη βιταμίνη και αυτό οφείλεται στο ευρύ φάσμα των χημικών αντιδράσεων και επιδράσεων της, τόσο στην τροφική αλυσίδα όσο και στον ανθρώπινο οργανισμό. (Χούγουλα, Σφλώμος, 2020) Λειτουργεί, ως δότης ηλεκτρονίων, παίζοντας τον ρόλο του εκκαθαριστή των δραστικών ελεύθερων ριζών και αποτελεί ένα ισχυρό υδατοδιαλυτό αντιοξειδωτικό που διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην διατροφή του ανθρώπου, (Padayatty et al., 2003).



Εικόνα 11: Δομή ασκορβικού οξέος



Εμφανίζετε σε δύο μορφές, το ασκορβικό οξύ -AscH<sub>2</sub> (ανηγμένη μορφή) και το δεϋδρο-ασκορβικό οξύ ή DHA (οξειδωμένη μορφή). Λόγω του ιοντισμού του ασκορβικού οξέος, βρίσκεται κυρίως σε κατάσταση ασκορβικού ανιόντος (AscH<sup>-</sup>), το οποίο στην συνέχεια μεταβαίνει σε δεϋδρο-ασκορβικό οξύ, αφού πρώτα σχηματιστεί η ενδιάμεση ασκορβυλο-ρίζα. (Χούχουλα, Σφλώμος, 2020)



Εικόνα 12: Οξείδωση ασκορβικού οξέος σε δεϋδρο-ασκορβικό οξύ

Ως αντιοξειδωτικό, εξουδετερώνει τις ελεύθερες ρίζες, εμποδίζοντας τες, να βλάψουν σημαντικά βιομόρια (υδατάνθρακες, πρωτεΐνες και λιπίδια). Επιπλέον, βοηθά τον οργανισμό, να απορροφήσει το σίδηρο, μετατρέποντας το σε μορφή που μπορεί να το απορροφήσει το έντερο καθώς συμμετέχει και στην παραγωγή του κολλαγόνου, μία πρωτεΐνη που προσφέρει δομή στα οστά, στο δέρμα και σε άλλους ιστούς. (Sinbad, Folorunsho, Olabisi, Ayoola & Temitope, 2019), (Lobo, Patil, Phatak, & Chandra, 2010).

Είναι ιδιαίτερα επιρρεπές στην οξείδωση παρουσία ιόντων μετάλλων όπως ο δισθενής χαλκός (Cu<sup>2+</sup>) και ο τρισθενής σίδηρος (Fe<sup>3+</sup>), αφού τα ιόντα αυτά μπορούν να αντιδράσουν με οξυγόνο ή υπεροξείδιο του υδρογόνου και να σχηματίσουν ανιόντα υπεροξειδίου και ελεύθερες ρίζες υδροξυλίου. (Χούχουλα, Σφλώμος, 2020)

Βοηθά, επίσης, στην διατήρηση των τριχοειδών αγγείων να είναι σε καλή κατάσταση και ενθαρρύνει τους μηχανισμούς άμυνας του οργανισμού, μέσω συστηματικής πρόσληψης της.

Παρ' όλ' αυτά, το ανθρώπινο σώμα, δεν μπορεί να παράγει από μόνο του την βιταμίνη, λόγω απώλειας ενός βασικού ενζύμου που μετατρέπει την γλυκόζη σε ασκορβικό οξύ (γουλονολακτονική οξειδάση). Γι' αυτό τον λόγο, η βιταμίνη C πρέπει να λαμβάνεται μέσω φρούτων, λαχανικών και δισκίων, με συνιστώμενη ημερήσια πρόσληψη 100-120 mg/ημέρα για τους ενήλικες. Η κατανάλωση βιταμίνης C βοηθά στην μείωση της διάρκειας κρυολογημάτων, καθώς και υψηλές συγκεντρώσεις από αυτήν βοηθούν στην μείωση των συμπτωμάτων των πνευμονοπαθειών και στην

ενίσχυση του ανοσοποιητικού συστήματος. Το ασκορβικό οξύ μπορούμε να το συναντήσουμε σε διάφορα φρούτα, όπως είναι το πορτοκάλι, τα λεμόνια, τα γκρέιπφρουτ, το καρπούζι κ.α., καθώς και σε λαχανικά, όπως τις τομάτες, το μπρόκολο, το λάχανο, τις πράσινες πιπεριές, τις πατάτες κ.α.. Εξαιτίας της υδατοδιαλυτότητας της, η βιταμίνη C, ενώ απορροφάτε πολύ εύκολα από τον οργανισμό, δεν αποθηκεύεται για μεγάλο χρονικό διάστημα. Ως λύση, προτείνεται η τακτική συμπλήρωση του ασκορβικού οξέος, μέσω δισκίων ή διατροφής, προκειμένου να διατηρείται η παρουσία του στον οργανισμό. Επιδημιολογικές μελέτες δείχνουν, ότι οι δίαιτες με υψηλή περιεκτικότητα σε φρούτα και λαχανικά που είναι πλούσια σε αυτή τη βιταμίνη, συνδέονται με χαμηλότερο κίνδυνο καρδιαγγειακών παθήσεων, εγκεφαλικών επεισοδίων και καρκίνου, με επούλωση πληγών και με αυξημένη μακροζωία. Ακόμη, η έλλειψη βιταμίνης C, οδηγεί σε σκορβούτο, μία ασθένεια που χαρακτηρίζεται από αποδυνάμωση της δομής του κολλαγόνου, με συνέπεια την κακή επούλωση πληγών και την εξασθενημένη ανοσία. Το σκορβούτο, πρωτοεμφανίστηκε σε ναυτικούς, οι οποίοι τρεφόντουσαν για μεγάλα χρονικά διαστήματα με κονσέρβες, καθώς και σε άτομα που ακολουθούσαν δίαιτα με απουσία φρέσκων φρούτων και λαχανικών. Επίσης, τα άτομα με σκορβούτο είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα σε δυνητικά θανατηφόρες λοιμώξεις όπως η πνευμονία. (Naidu, 2003), (Carr, 2017), (Kabel, 2014)

<b>Συνιστώμενες Ημερήσιες προσλήψεις βιταμίνης C (mg/ημέρα)</b>	
<b>Ηλικία</b>	<b>Βιταμίνη C</b>
Παιδιά	30-60
<b>Άντρες</b>	
14-18 ετών	75

18-50+ ετών	90
<b>Γυναίκες</b>	
14-18 ετών	65
18-50+	75
Εγκυμοσύνη	80-85
Θηλασμός	115-120
Καπνιστές	+35

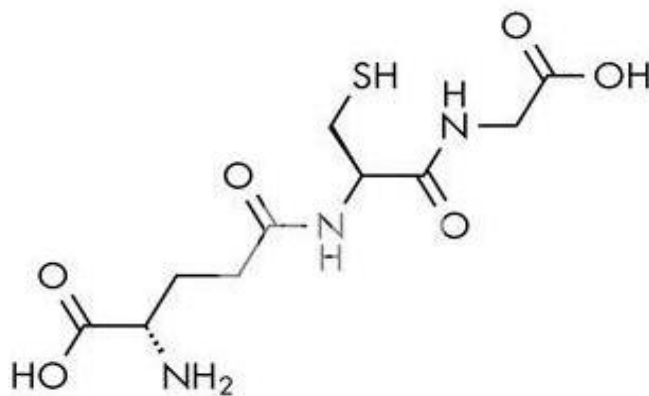
Πίνακας 3: Συνιστώμενη Ημερήσια Πρόσληψη Βιταμίνης C

<http://www.mednutrition.gr/pliris-odigos-gia-ti-bitamini-c>

### 3.3.3 Γλουταθειόνη

Η γλουταθειόνη (GSH) είναι ένα πεπτίδιο που περιέχει κυστεΐνη και υπάρχει σε πολλούς οργανισμούς. Δεν χρειάζεται να λαμβάνεται μέσω της διατροφής, καθώς τα κύτταρα το παράγουν από αμινοξέα. Η ομάδαθειόλης στην κυστεΐνη της γλουταθειόνης είναι αναγωγική, δηλαδή μπορεί να αντιδρά και να εξασθενίσει οξειδωση. Στα κύτταρα, η γλουταθειόνη διατηρείται σε μια μορφή που έχει αναγωγική ικανότητα χάρη στο ένζυμο αναγωγάσης της γλουταθειόνης. Αυτό το χαρακτηριστικό της επιτρέπει να αναχθεί, δηλαδή να επανέλθει σε μια αντιοξειδωτική κατάσταση, αν έχει οξειδωθεί από οξειδωτικά. Επιπλέον, η γλουταθειόνη αντιδρά επίσης με άλλες οξειδωτικές ουσίες στο κύτταρο. Σε ορισμένους οργανισμούς, μπορεί να αντικατασταθεί από άλλεςθειόλες, όπως η μυκοθειόλη στους ακτινομύκητες ή η τρυπανοθειόνη στους κινητοπλάστες. Λόγω της υψηλής συγκέντρωσής της στο κύτταρο και του κεντρικού ρόλου που διαδραματίζει

στη διατήρηση της οξειδοαναγωγικής κατάστασης, η γλουταθειόνη θεωρείται ένα από τα σημαντικότερα κυτταρικά αντιοξειδωτικά. (Lobo, Patil, Phatak, & Chandra, 2010), (Kabel, 2014)



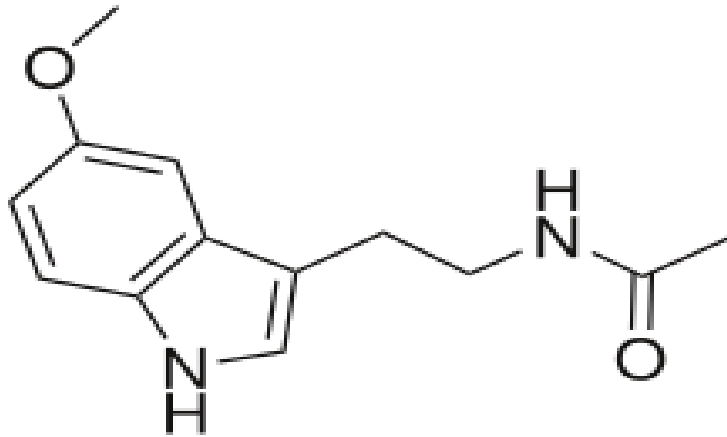
## glutathione

Εικόνα 13: Δομή γλουταθειόνης

### 3.3.4 Μελατονίνη

Η μελατονίνη είναι μια νευροορμόνη που παράγεται από την υπόφυση και έχει σημαντικές βιολογικές λειτουργίες και αντιοξειδωτικές ικανότητες. Λειτουργεί ως αντιοξειδωτικό που μπορεί να προστατεύει τα κύτταρα από την οξειδωτική βλάβη. Μια ξεχωριστή και σημαντική ιδιότητα της μελατονίνης είναι ότι, σε αντίθεση με άλλα αντιοξειδωτικά, δεν υποβάλλεται σε οξειδοαναγωγικούς κύκλους, δηλαδή δεν συμβαίνει επαναλαμβανόμενη οξείδωση και αναγωγή. Μια σημαντική επίπτωση αυτής της ιδιότητας είναι ότι, αφού η μελατονίνη οξειδωθεί, δεν μπορεί να ανακυκλωθεί στην προηγούμενη κατάστασή της. Αντί για αναγωγή, σχηματίζει διάφορα σταθερά τελικά προϊόντα κατά την αντίδρασή της με τις ελεύθερες ρίζες. Αυτό σημαίνει ότι η μελατονίνη δρα ως ένα τελικό (ή αυτοκτονικό) αντιοξειδωτικό, καθώς μετατρέπει τις ελεύθερες ρίζες σε σταθερά προϊόντα χωρίς να επανέλθει στην αρχική της μορφή. Ακόμη, η μελατονίνη, γνωστή και ως N-ακετυλο-5-μεθοξυτρυπταμίνη, είναι μία φυσική ορμόνη που βρίσκεται σε ζώα και ορισμένους άλλους οργανισμούς, συμπεριλαμβανομένων των φυκιών. Έχει την ικανότητα να διασχίσει τις κυτταρικές μεμβράνες και τον αιματοεγκεφαλικό φραγμό, επιτρέποντάς

της να ασκήσει την αντιοξειδωτική της δράση σε διάφορα μέρη του οργανισμού.  
(Lobo, Patil, Phatak, & Chandra, 2010), (Hamid, Aiyelaagbe & Usman 2010)



Εικόνα 14: Δομή μελατονίνης

### 3.3.5 Ουρικό Οξύ

Το ουρικό οξύ είναι προϊόν του μεταβολισμού των πουρινών και αποτελεί ένα σημαντικό υδατοδιαλυτό αντιοξειδωτικό στον ανθρώπινο οργανισμό. Λειτουργεί ως δότης ηλεκτρονίων για άλλες ουσίες, προκαλώντας τη μείωσή τους. Μπορεί επίσης να αποτρέψει τη δημιουργία ελεύθερων ριζών όπως ρίζες υδροξυλίου, μονό οξυγόνο, προϊόντα οξείδωσης αίμης και υπεροξειδία όπως ανιόν υπεροξυνιτρώδους (ONOC<sup>-</sup>). Προστατεύει τις πρωτεΐνες από τη νίτρωση και δεσμεύει μέταλλα μετάπτωσης όπως ο σίδηρος και ο χαλκός, αποτρέποντας έτσι τη δημιουργία ριζών υδροξυλίου μέσω της αντίδρασης Fenton.

Το ουρικό οξύ μπορεί να εξουδετερώσει το υπεροξυνιτρικό ανιόν, το οποίο σχηματίζεται από την αντίδραση του NO και των ριζών υπεροξειδίου, η οποία συνδέεται με καρδιαγγειακά προβλήματα. Μελέτες *in vitro* έχουν δείξει ότι τα μειωμένα επίπεδα μονοξειδίου του αζώτου μπορούν να αποκατασταθούν όταν προστίθεται ουρικό οξύ σε καλλιέργειες υπεροξυνιτρώδους. Έτσι, τα αυξημένα επίπεδα ουρικού οξέος φαίνεται να σχετίζονται με μια ευνοϊκή απόκριση στο οξειδωτικό στρες σε άτομα με αθηροσκλήρωση ή καρδιαγγειακή νόσο. Πρόσθετα πειραματικά στοιχεία υποδηλώνουν ότι η υπερουριχαιμία μπορεί να είναι ένας αντισταθμιστικός μηχανισμός έναντι της οξειδωτικής βλάβης που σχετίζεται με την αθηροσκλήρωση και τη γήρανση στους ανθρώπους. Επιπλέον, τα ουρικά οξέα

αντιπροσωπεύουν σημαντικό ποσοστό της αντιοξειδωτικής ικανότητας του αίματος. Παρόλο που υπάρχει συζήτηση για το εάν αποτελούν αιτία ή προστατευτικό παράγοντα σε διάφορες καταστάσεις υγείας, φαίνεται ότι το ουρικό οξύ έχει σημαντικό ρόλο στην αντιοξειδωτική άμυνα του οργανισμού. Μάλιστα, ορισμένοι υποστηρίζουν ότι το ουρικό οξύ μπορεί να έχει υποκαταστήσει το ασκορβικό οξύ στην ανθρώπινη εξέλιξη.

Εν κατακλείδι, τα υψηλά επίπεδα ουρικού οξέος μπορεί να έχουν διάφορες επιδράσεις στην υγεία και στην προστασία του οργανισμού από την οξειδωτική ζημιά, αλλά η συνολική κλινική σημασία τους εξακολουθεί να ερευνάται. (Batta, 2016), (Lobo, Patil, Phatak, & Chandra, 2010)

Όπως έχει προαναφερθεί, οι αντιοξειδωτικοί παράγοντες μπορεί να είναι ενδογενείς ή εξωγενείς. Για τους ενδογενείς αντιοξειδωτικούς παράγοντες έγινε αναφορά στο κεφάλαιο που περιγράφονταν τα ενζυμικά αντιοξειδωτικά. Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα αναλυθούν οι εξωγενείς παράγοντες που μπορεί να περιλαμβάνουν φυσικά ή συνθετικά αντιοξειδωτικά

### **3.4 Φυσικά αντιοξειδωτικά**

Τα φυσικά αντιοξειδωτικά είναι ουσίες που έχουν αντιοξειδωτική δράση και προέρχονται από φυσικές πηγές. Βασικός τους ρόλος είναι η παρεμπόδιση ή επιβράδυνση της οξειδωτικής βλάβης που προκαλείται από τις ελεύθερες ρίζες. Ο Halliwell (2007) όρισαν τα φυσικά αντιοξειδωτικά ως «οποιαδήποτε ουσία που καθυστερεί, αποτρέπει ή αφαιρεί την οξειδωτική βλάβη σε ένα μόριο στόχο». (Carocho & Ferreira, 2013)

Παρέχονται από διάφορες πηγές, συμπεριλαμβανομένων των φρούτων, λαχανικών, ορισμένων ορυκτών και βοτάνων. Η κατανάλωσή τους συνδέεται με την αντιμετώπιση διαφόρων υγειονομικών προβλημάτων και την προαγωγή της γενικής ευεξίας. Επιπλέον, τα φυσικά αντιοξειδωτικά αποτελούν σημαντικό τμήμα της διατροφής μας και συμβάλλουν στην εξισορρόπηση της οξειδωτικής και αντιοξειδωτικής δράσης στον οργανισμό, προσφέροντας μια φυσική γραμμή άμυνας ενάντια στις ελεύθερες ρίζες και τις αρνητικές επιπτώσεις τους στην υγεία μας. Στο πλαίσιο αυξανόμενων παραγόντων κινδύνου για διάφορες θανατηφόρες ασθένειες, υπάρχει μια παγκόσμια τάση προς τη χρήση φυσικών αντιοξειδωτικών που

προέρχονται από φαρμακευτικά φυτά και τρόφιμα ως θεραπευτικά αντιοξειδωτικά. Υπάρχει επίσης η άποψη ότι η διατροφή πλούσια σε αντιοξειδωτικά και φαρμακευτικά φυτά μπορεί να συμβάλει στην πρόληψη ασθενειών. Φυσικές πηγές αντιοξειδωτικών περιλαμβάνουν φρούτα, λαχανικά, τσάι και πολλά άλλα τρόφιμα. (Lobo, Patil, Phatak, & Chandra, 2010). Μερικά από τα φυσικά αντιοξειδωτικά, είναι οι βιταμίνες, με πιο γνωστές τις C και E που έχουν αναφερθεί παραπάνω, τα καροτενοειδή, όπως το β-καροτένιο, οι πολυφαινόλες, το σελήνιο και άλλα μέταλλα απαραίτητα για τη δράση αντιοξειδωτικών ενζύμων του οργανισμού, φυτοχημικές ουσίες με αντιοξειδωτικές ιδιότητες (φυτικές στερόλες, φλαβονοειδή και άλλες φαινολικές ενώσεις) που θα αναλυθούν στο επόμενο κεφάλαιο. (Augustyniak et al., 2010)

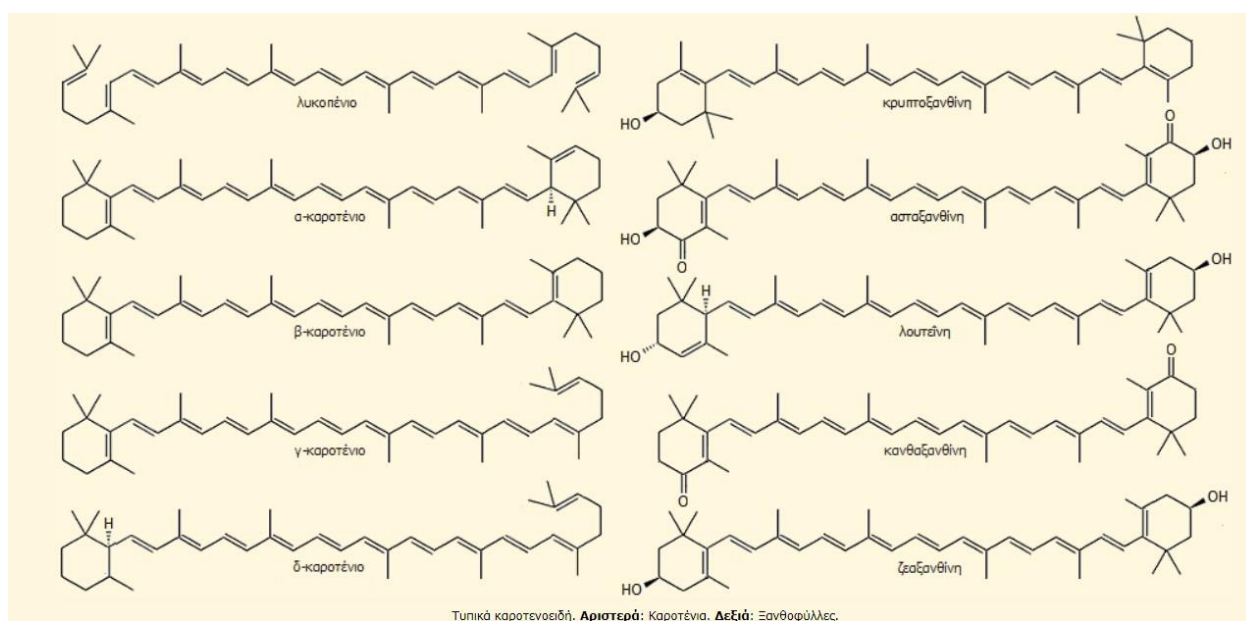
### 3.4.1 Καροτενοειδή

Τα καροτενοειδή είναι μία ομάδα φυσικών χρωστικών ουσιών που τα συναντάμε σε διάφορα φρούτα και λαχανικά, στα φυτά και σε φωτοσυνθετικά βακτήρια, όπως τα καρότα, τις γλυκοπατάτες, τις τομάτες κ.α.. Η βασική δομή τους αποτελείται από 40 άτομα άνθρακα και εκτείνονται γενικά στην απορρόφηση ιώδους και κυανού φωτός, προσδίδοντας τους χρώματα όπως το κίτρινο, το πορτοκαλί και το ερυθρό. Είναι εξαιρετικά αποτελεσματικά στην απορρόφηση των ελεύθερων ριζών και στην πρόληψη της υπεροξειδωσίας των λιπιδίων.

Είναι υπεύθυνα για την απόδοση των φωτεινών χρωμάτων τους στα τρόφιμα, που κυμαίνονται από κίτρινο έως κόκκινο, καθώς και λειτουργούν ως πρόδρομη ουσία της βιταμίνης A, με σκοπό να αποτραπεί η ανεπάρκεια της στον οργανισμό. (Jideani et al., 2021). Επίσης, τα καροτενοειδή, έχουν μελετηθεί για τις αντιοξειδωτικές τους ιδιότητες, πράγμα που σημαίνει ότι μπορούν να βοηθήσουν στην προστασία των κυττάρων του σώματος από τις βλάβες που προκαλούνται από τις ελεύθερες ρίζες. Ενδείξεις υποδεικνύουν ότι τα καροτενοειδή έχουν σημαντικό ρόλο στην πρόληψη των καρδιαγγειακών νόσων. Επιπλέον, υπάρχουν ενδείξεις ότι μειώνουν τον κίνδυνο εμφάνισης ορισμένων τύπων καρκίνων, προσφέροντας ένα προστατευτικό ασπίδας ενάντια στις καρκινογόνες ουσίες και την ανεξέλεγκτη κυτταρική ανάπτυξη. Παρ' όλο που, τα καροτενοειδή έχουν πολλές λειτουργίες για τον ανθρώπινο οργανισμό, οι άνθρωποι δεν μπορούν να τα συνθέσουν μόνοι τους και γι' αυτό τον λόγο, πρέπει να τα παραλαμβάνουν μέσω τροφίμων και συμπληρωμάτων.

Πέρα από την πρόληψη των νόσων, τα καροτενοειδή παρέχουν και ουσιαστική συνεισφορά στην υγεία μας. Οι αντιοξειδωτικές τους ιδιότητες βοηθούν στη διατήρηση της ενδεδειγμένης λειτουργίας των κυττάρων μας, ενώ οι προφυλακτικοί τους ρόλοι αποτελούν βασικό κομμάτι της σύγχρονης προσέγγισης για μια ζωή υγιή και ευεργετική για τον οργανισμό μας. (";" n.d.)

Τα καροτενοειδή χωρίζονται σε δύο μεγάλες ομάδες. Στην πρώτη κατηγορία, ανήκουν το λυκοπένιο και το α-, β- και γ- καροτένιο και περιέχονται μόνο άτομα υδρογόνου και άνθρακα και όχι άτομα οξυγόνου. Αντίθετα, στην δεύτερη κατηγορία, ανήκουν οι ξανθοφύλλες, οι οποίες αποτελούνται από μία τουλάχιστον οξυγονωμένη ομάδα στους δακτυλίους. Η κεντρική αλυσίδα των καροτενοειδών περιλαμβάνει μια αλληλουχία συζυγιακών διπλών δεσμών που αποκαλείται "μίσχος". Στις δύο άκρες του μίσχου βρίσκονται πλευρικές ομάδες που παρέχουν τις διακυμάνσεις στη δομή των διαφορετικών καροτενοειδών.



Εικόνα 15: Δομή Καροτενοειδών(αριστερά) - Ξανθοφυλλών(δεξιά)

Αν και υπάρχουν πάνω από 600 διαφορετικά καροτενοειδή, τα πιο γνωστά είναι το β- καροτένιο (το συναντάμε στα καρότα), η λουτεΐνη, η ζεαξανθίνη και το λυκοπένιο.

Όσον αφορά για το λυκοπένιο, λόγω της υψηλής του ακορεστότητας, διακρίνεται ένα από τα ισχυρότερα αντιοξειδωτικά στη φύση, το συναντάμε κυρίως στις τομάτες και είναι υπεύθυνο για το χαρακτηριστικό κόκκινο χρώμα της τομάτας



και των προϊόντων της. Ο ρόλος του στα κύτταρα μας είναι ζωτικής σημασίας, καθώς αναλαμβάνει αποτελεσματικά την απομάκρυνση των επιβλαβών οξειδωτικών στοιχείων, γνωστών ως ελεύθερες ρίζες, και των επιθετικών οξειδωτικών ενώσεων, που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια βιοχημικών διεργασιών στον οργανισμό μας. Με τον τρόπο αυτό, το λυκοπένιο αποτρέπει την πιθανή ζημία στο DNA και βοηθά στην αποτελεσματικότερη λειτουργία των κυττάρων μας. Η παρουσία του λυκοπενίου σε πλούσια ποσότητα στη διατροφή μας αναδεικνύεται ως ουσιαστικός παράγοντας για τη διατήρηση της υγείας. Ερευνητικά στοιχεία υποδεικνύουν ότι η κατανάλωση τροφών πλούσιων σε λυκοπένιο μπορεί να περιορίσει τον κίνδυνο εμφάνισης διαφόρων τύπων καρκίνων, με έμφαση στον καρκίνο του προστάτη, του πνεύμονα, του στομάχου, του γαστρεντερικού σωλήνα και του παχέος εντέρου. Παράλληλα, αναφέρεται ότι συμβάλλει στη μείωση του κινδύνου καρδιαγγειακών παθήσεων, καθώς και στην προστασία από την εκφύλιση της ώχρας κηλίδας και την ανάπτυξη καταρράκτη. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η θετική επίδραση του λυκοπενίου δεν είναι αποτέλεσμα μόνο του ίδιου του συστατικού, αλλά επίσης των πολυάριθμων άλλων φυσικών συστατικών που συνοδεύουν την κατανάλωσή του. (Müller, Caris-Veyrat, Lowe, & Böhm, 2015), (Rajoria, Kumar and Chauhan, 2010), (Βαλαβανίδης, Ευσταθίου 2008)

Όσον αφορά το β-καροτένιο, είναι ο κυριότερος αντιπρόσωπος των καροτενοειδών, ο οποίος διαδραματίζει και αυτός σημαντικό ρόλο στην υγεία του ανθρώπου και το συναντάμε στα καρότα, τα βερίκοκα, τα νεκταρίνια κ.α. και το μόριο του είναι λιπόφιλο. Ο ρόλος του είναι να μετατρέπεται σε βιταμίνη Α στο σώμα και είναι σημαντικό για την διατήρηση της υγιούς όρασης, του δέρματος και των βλενογόνων, καθώς και βοηθά στην προστασία του δέρματος από την υπεριώδη ακτινοβολία. Τέλος, σχετικά με την λουτεΐνη και την ζεαξανθίνη, βρίσκονται στα πράσινα φυλλώδη λαχανικά, όπως το σπανάκι, την λαχανίδα κ.α. και είναι σημαντική για την υγεία των ματιών και πιο συγκεκριμένα για την προστασία έναντι του καταρράκτη και της εκφύλισης της ωχρής κηλίδας, καθώς και για την οξεία όραση και για το μεγαλύτερο μέρος της έγχρωμης όρασης. Επιπλέον, είναι απαραίτητη για την ανάγνωση, την αναγνώριση προσώπων και για τον διαχωρισμό των χρωμάτων. (Seklizioti, n.d.), (Eggersdorfer & Wyss, 2018)

Εκτός από τις αντιοξειδωτικές και αντιφλεγμονώδεις ιδιότητές τους, τα καροτενοειδή έχουν και άλλα οφέλη για την υγεία. Το β-καροτένιο, το α-καροτένιο και η β-κρυπτοξανθίνη μετατρέπονται σε βιταμίνη Α στο σώμα, η οποία είναι

σημαντική για την όραση, τη λειτουργία του ανοσοποιητικού συστήματος και την υγεία του δέρματος. Το λυκοπένιο, η λουτεΐνη και η ζεαξανθίνη δεν μετατρέπονται σε βιταμίνη Α, αλλά έχουν άλλα οφέλη για την υγεία.

Το λυκοπένιο, για παράδειγμα, σχετίζεται με μειωμένο κίνδυνο καρκίνου του προστάτη, ενώ η λουτεΐνη και η ζεαξανθίνη είναι σημαντικές για την υγεία των ματιών.

### 3.4.2 Σελήνιο

Το σελήνιο (Se) είναι ένα σημαντικό ιχνοστοιχείο που προσφέρει πολλά οφέλη για την υγεία του ανθρώπου. Βρίσκεται σε μικρές ποσότητες στα τρόφιμα, κυρίως σε οργανικές μορφές, όπως σεληνομεθειονίνη και σεληνοκυστεΐνη, καθώς και σε ανόργανες μορφές. Η σεληνομεθειονίνη προέρχεται συνήθως από ζωικές πηγές εκτός από τα προϊόντα δημητριακών που καλλιεργούνται σε περιοχές όπου το έδαφος είναι πλούσιο σε Se, ενώ η σεληνοκυστεΐνη λαμβάνεται μόνο από ζωικές πηγές. Από την άλλη, οι ανόργανες μορφές είναι οι κύριες πηγές Se που ενσωματώνονται στα συμπληρώματα διατροφής. Οι πηγές του σεληνίου περιλαμβάνουν βραζιλιάνικα καρύδια, δημητριακά, εντόσθια, ψάρια, αυγά, πουλερικά και λαχανικά. (Χούχουλα, Σφλώμος, 2020), (Ibrahim, Kerkadi, & Agouni, 2019).



Εικόνα 16: Πηγές σεληνίου

Το σελήνιο είναι απαραίτητο για την καλή λειτουργία του οργανισμού, καθώς συμμετέχει σε βιοχημικές αντιδράσεις που προστατεύουν τα κύτταρα από την οξειδωτική ζημιά. Η συνιστώμενη διαιτητική πρόσληψη του σεληνίου για ενήλικες κυμαίνεται γενικά από 55 μg/ημέρα, ενώ η συγκέντρωση σεληνίου στον ορό θεωρείται ότι πρέπει να είναι μεταξύ 70 και 90 ng/ml για την επίτευξη των μέγιστων οφελών για την υγεία. Ωστόσο, η υπερβολική κατανάλωση σεληνίου μπορεί να οδηγήσει σε τοξικότητα, με συμπτώματα όπως ευθραυστότητα, απώλεια μαλλιών, γαστρεντερικές διαταραχές και κόπωση. Η σελήνωση, που είναι μια σοβαρή μορφή δηλητηρίασης από σελήνιο, μπορεί να έχει σοβαρές επιπτώσεις στο αναπνευστικό, νεφρικό και καρδιακό σύστημα.

Υπάρχουν σοβαρές ενδείξεις από μελέτες που υποστηρίζουν ότι το σελήνιο δρα αποτρεπτικά για εκφυλιστικές ασθένειες του ήπατος και άλλων οργάνων. Επίσης, δρα συνεργιστικά με την βιταμίνη Ε σε αντιοξειδωτικές αντιδράσεις. (Χούχουλα, Σφλώμος, 2020) Έχει αντιοξειδωτική και αντιφλεγμονώδη δράση, και γι' αυτό πολλές μελέτες έχουν εξετάσει την επίδραση του στις καταστάσεις που χαρακτηρίζονται από φλεγμονή και οξειδωτικό στρες, όπως νευροεκφυλιστικές ασθένειες, διαβήτη, καρκίνος και καρδιαγγειακές διαταραχές. (Ibrahim, Kerkadi, & Agouni, 2019)

Το σελήνιο είναι, συνολικά, ένα σημαντικό ιχνοστοιχείο για την υγεία μας, αλλά πρέπει να λαμβάνεται σε κατάλληλες ποσότητες για να αποφεύγονται τυχόν προβλήματα υγείας λόγω υπερβολικής κατανάλωσης. (Ibrahim, Kerkadi, & Agouni, 2019).

### **3.4.3 Ψευδάργυρος**

Ο ψευδάργυρος (Zn) είναι ένα στοιχείο που εμφανίζεται στην τροφική αλυσίδα σε ποσότητες λίγο χαμηλότερες από αυτές του σιδήρου. Στο ανθρώπινο σώμα, βρίσκονται περίπου 2 γραμμάρια ψευδαργύρου και εντοπίζεται κυρίως στα μαλλιά, τα νύχια, το δέρμα και τους όρχεις. Αποτελεί βασικό συστατικό πολλών ενζύμων και νουκλεϊκών οξέων που εμπλέκονται σε διάφορες μεταβολικές αντιδράσεις. Επιπλέον, θεωρείται τροφοφάρμακο καθώς προστίθεται σε διάφορα βιταμινούχα σκευάσματα που συνιστώνται ως συμπληρώματα για την ενίσχυση της ανοσίας του οργανισμού κατά των διαφόρων λοιμώξεων, κρυολογημάτων και άλλων παθήσεων. Συμβάλλει, ακόμη, στην επούλωση πληγών, στην βελτίωση της γευστικής

ικανότητας του ατόμου, καθώς και στην αντιμετώπιση της τριχόπτωσης. (Χούχουλα, Σφλώμος, 2020) Αποτελεί, επίσης, καλή πηγή αντιοξειδωτικών. Πιο συγκεκριμένα, οι λειτουργίες του είναι οι εξής:

- **Ενεργοποίηση ενζύμων:** Ο ψευδάργυρος διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στην ενεργοποίηση αντιοξειδωτικών ενζύμων, όπως η υπεροξειδική δισμουτάση (SOD) και η μεταλλοθειονίνη. Η SOD μετατρέπει τις ρίζες υπεροξειδίου σε λιγότερο επιβλαβείς ουσίες, ενώ η μεταλλοθειονίνη δεσμεύει και αποτοξινώνει τα βαρέα μέταλλα, μειώνοντας το οξειδωτικό στρες.
- **Ρύθμιση γονιδίων:** Ο ψευδάργυρος εμπλέκεται στη ρύθμιση γονιδίων που σχετίζονται με την αντιοξειδωτική άμυνα. Επηρεάζει επιπλέον, την έκφραση γονιδίων που εμπλέκονται στη σύνθεση της γλουταθειόνης, όπου είναι ένα ισχυρό αντιοξειδωτικό.
- **Άμεση απορρόπηση:** Τα ιόντα ψευδαργύρου απομακρύνουν τις ελεύθερες ρίζες και τα δραστικά είδη οξυγόνου (ROS) και αποτρέπουν την πιθανή βλάβη. (Hambidge, 2000)

Η έλλειψη του, έχει ως επιπτώσεις την καθυστερημένη ανάπτυξη των οστών, την απώλεια των μαλλιών, το χλωμό δέρμα και την κατάθλιψη. Αξιόλογες πηγές θεωρούνται τα ζωικά τρόφιμα. Πιο συγκεκριμένα τα θαλασσινά και κυρίως τα στρείδια, το συκώτι, το κρέας και τα αυγά. Όσον αφορά τις φυτικής προέλευσης τρόφιμα, καλές πηγές είναι τα όσπρια και τα δημητριακά ολικής αλέσεως. Είναι σημαντικό να τονισθεί, ότι από τις ποσότητες που καταναλώνουμε με ψευδάργυρο, μόνο το ¼ απορροφάτε από τον οργανισμό. Άνθρωποι με ανεπάρκεια ψευδαργύρου στον οργανισμό συχνά ακολουθούν δίαιτες φυτοφαγίας (χορτοφάγοι), που τα λαχανικά έχουν χαμηλά ποσοστά αυτού του στοιχείου. (Χούχουλα, Σφλώμος, 2020)

Η συνιστώμενη πρόσληψη ψευδαργύρου διαφοροποιείται ανάλογα με το φύλο, την ηλικία και το στάδιο ανάπτυξης του ατόμου. Για ενήλικες, η συνιστώμενη πρόσληψη κυμαίνεται από 8 έως 11 mg ημερησίως. Κατά την εγκυμοσύνη και το θηλασμό, οι ανάγκες αυξάνονται σε 12 έως 13 mg ημερησίως.

Συνήθεις προληπτικές δόσεις κυμαίνονται συνήθως από 5 έως 15 mg ημερησίως. Ωστόσο, σε περιπτώσεις όπου υπάρχει κίνδυνος έλλειψης ψευδαργύρου, η δόση μπορεί να αυξηθεί σε πάνω από 25 mg ημερησίως. Το ανώτερο όριο ημερήσιας πρόσληψης ορίζεται στα 40 mg.

Ενδεχομένως, σε ειδικές περιπτώσεις και υπό τη σύμφωνη γνώμη ενός ειδικού, μπορούν να χορηγηθούν δόσεις έως και 100-130 mg για περιορισμένο χρονικό διάστημα χωρίς τον κίνδυνο παρενεργειών. (Δασκάλου, 2021)

Έτσι, κατάλήγουμε στο ότι ο ψευδάργυρος, έχει αναδειχθεί ως πιθανός παίκτης στο πεδίο των αντιοξειδωτικών. Η ικανότητά του να εξουδετερώνει τις ελεύθερες ρίζες, να ενεργοποιεί αντιοξειδωτικά ένζυμα και να ρυθμίζει τη γονιδιακή έκφραση τον τοποθετεί ως βασικό στοιχείο για τη διατήρηση της υγείας και την πρόληψη διαφόρων ασθενειών. Ωστόσο, τα άτομα θα πρέπει να στοχεύουν σε μια ισορροπημένη διατροφή που περιλαμβάνει τρόφιμα πλούσια σε ψευδάργυρο, ενώ παράλληλα θα πρέπει να προσέχουν τη λήψη συμπληρωμάτων. Η πορεία του ψευδαργύρου από ένα ιχνοστοιχείο σε ένα πολλά υποσχόμενο αντιοξειδωτικό αναδεικνύει το διαρκώς εξελισσόμενο τοπίο της διατροφικής επιστήμης. (Pisoschi & A, 2015)

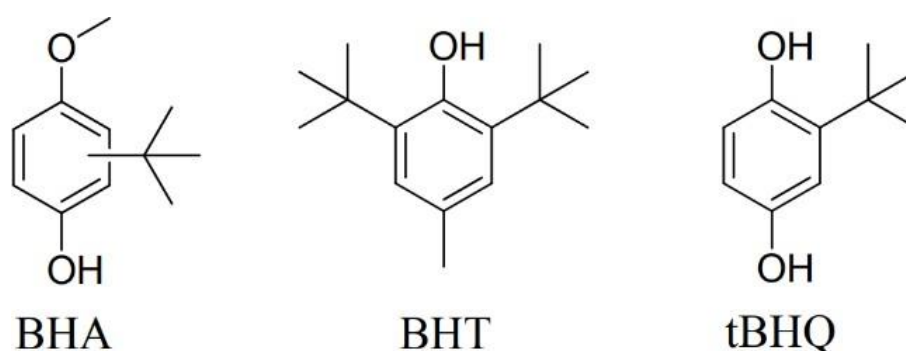
ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΝΤΙΟΞΕΙΔΩΤΙΚΩΝ	ΠΗΓΕΣ ΣΤΑ ΤΡΟΦΙΜΑ
Βιταμίνη C	Πορτοκάλια, μήλα, φράουλες, κεράσια, ροδάκινα, δαμάσκηνα, αχλάδια, πεπόνια, καρπούζια, πιπεριές, μαρούλια, σπανάκι, μπρόκολο κ.α.
Βιταμίνη E	Αμύγδαλα, καρύδια, φουντούκια, πράσινα φυλλώδη λαχανικά, φακές, βερίκοκα, δαμάσκηνα, μούρα, δημητριακά, αβοκάντο κ.α.
Καροτενοειδή	Πεπόνια, ροδάκινα, βερίκοκα, μάνγκο, καρπούζια, πορτοκάλια, μανταρίνια, γλυκοπατάτες, γλυκοκολοκύθες, καρότα, ντομάτες
Σελήνιο	ξηροί καρποί Βραζιλίας, ψάρια, οστρακοειδή, βοδινό κρέας, πουλερικά, κριθάρι, καστανό ρύζι
Φαινολικές ενώσεις	Αρακάς, βατόμουρα, εσπεριδοειδή, κόκκινο κρασί, κρεμμύδια, φασόλια, μπρόκολο, πράσινο και μαύρο τσάι

Πίνακας 4: Σύνοψη τροφίμων πλούσιων στα βασικότερα αντιοξειδωτικά συστατικά

### 3.5 Τεχνητά-Συνθετικά Αντιοξειδωτικά

Τα συνθετικά αντιοξειδωτικά είναι περισσότερο αποτελεσματικά αντιοξειδωτικά και πρόκειται για συνθετικά χημικά αντιοξειδωτικά. (Carocho & Ferreira, 2013).

Ευρέως χρησιμοποιούμενα συνθετικά αντιοξειδωτικά είναι η βουτυλιωμένη υδροξυ-ανισόλη (BHA) και το βουτυλιωμένο υδροξυτολουόλιο (BHT), τα οποία χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία τροφίμων, καλλυντικών και στη θεραπευτική βιομηχανία. (Lobo, Patil, Phatak, & Chandra, 2010)



Εικόνα 17: Δομές συνθετικών αντιοξειδωτικών

Άλλα συνθετικά αντιοξειδωτικά είναι ο γαλλικός προπυλεστέρας (PG) και ο παράγοντας χηλίωσης μετάλλων (EDTA), η διτριτοταγής-βουτυλο-υδροκινόνη (TBHQ), το νορδιϋδρο-γουαϊαρετικό οξύ (NDGA). Είναι ευρέως χρησιμοποιούμενα από τη βιομηχανία των τροφίμων, ειδικά όταν πρόκειται για προϊόντα που περιέχουν λίπη και έλαια, με σκοπό την προστασία των τροφίμων από την οξείδωση. (Thorata, Jagtap & Mohapatra, 2013) Παρά τη χρήση αυτών των συνθετικών αντιοξειδωτικών, ορισμένες φυσικές ιδιότητες τους, όπως η υψηλή πτητικότητα και η αστάθειά τους σε υψηλές θερμοκρασίες, η αυστηρή νομοθεσία, η καρκινογόνος φύση ορισμένων συνθετικών αντιοξειδωτικών και οι προτιμήσεις των καταναλωτών έχουν κάνει τους κατασκευαστές να εξετάσουν τη χρήση φυσικών αντιοξειδωτικών αντί για συνθετικά. (Lobo, Patil, Phatak, & Chandra, 2010)

## Κεφάλαιο 4: Φαινολικές ενώσεις

### 4.1 Γενικά

Οι φαινολικές ενώσεις είναι υψηλά αντιοξειδωτικά που βρίσκονται πλούσια στην ανθρώπινη διατροφή και διακρίνονται από τη δομική τους ποικιλομορφία, περιλαμβάνοντας μία ή περισσότερες υδροξυλομάδες συνδεδεμένες σε αρωματικούς δακτυλίους. Η υδροξυλομάδα επηρεάζεται από την ύπαρξη αρωματικού δακτυλίου. Γι' αυτό, το υδρογόνο του φαινολικού υδροξυλίου επηρεάζεται από την παρουσία ενός αρωματικού δακτυλίου, και είναι ασταθείς, γεγονός που κάνει τις φαινολικές ενώσεις, ασθενή οξέα. (Kumar, Abedin, Singh, & Das, 2020) Ανάλογα με τον αριθμό των φαινολικών δακτυλίων και τη δομή τους, μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε διάφορες υποομάδες, όπως οι απλές φαινόλες, τα φαινολικά οξέα, τα φλαβονοειδή, οι ξανθόνες, τα στιλβένια και οι λιγνάνες.

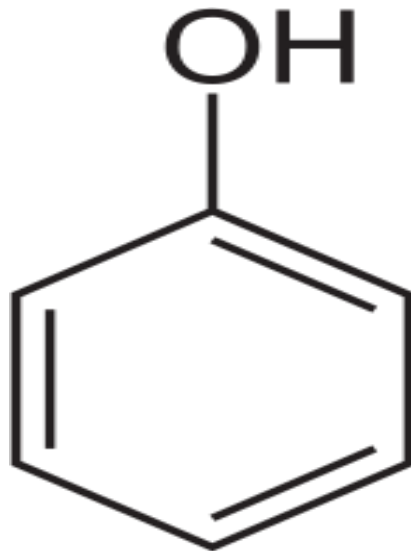
Πολυφαινόλες καλούνται οι φαινολικές ενώσεις που περιέχουν παραπάνω από ένα φαινολικό υδροξύλιο συνδεδεμένο σε ένα ή περισσότερα βενζόλια.

Ως προς τον ρόλο τους ως αντιοξειδωτικά, είναι εξαιρετικά αποτελεσματικές στην απορρόφηση των ελεύθερων ριζών και στην πρόληψη της υπεροξειδωσίας των λιπιδίων. Κάθε ομάδα αυτών των φαινολικών ενώσεων έχει διαφορετικούς μηχανισμούς δράσης που σχετίζονται με την δομική τους ποικιλομορφία. Αυτοί οι μηχανισμοί συμπεριλαμβάνουν την αντιμετώπιση δραστικών ειδών οξυγόνου, αζώτου και χλωρίου, καθώς και την ικανότητά τους να συμμετέχουν στην αντιμετώπιση μεταλλικών ιόντων, επηρεάζοντας τόσο την αρχική φάση όσο και τη διάδοση των οξειδωτικών διαδικασιών. (Vuolo, Lima, & Maróstica, 2019)

Οι φαινολικές ενώσεις παίζουν καθοριστικό ρόλο στην ποιότητα των φυτικών τροφίμων. Είναι υπεύθυνοι για τη μετάδοση των ζωντανών χρωμάτων που βρίσκονται στα κόκκινα φρούτα, τους χυμούς και τα κρασιά. Αυτές οι ενώσεις χρησιμεύουν επίσης ως υποστρώματα για τις ενζυμικές διεργασίες μαυρίσματος και συμβάλλουν στα γενικά γευστικά χαρακτηριστικά αυτών των τροφίμων. (Cheynier, 2012).

Τα φλαβονοειδή βρίσκονται στα φρούτα, τα λαχανικά και το τσάι και έχει αποδειχθεί ότι μειώνουν τον κίνδυνο καρδιαγγειακών παθήσεων, καρκίνου και νευροεκφυλιστικών ασθενειών. Οι τανίνες βρίσκονται στο τσάι, το κρασί και τα

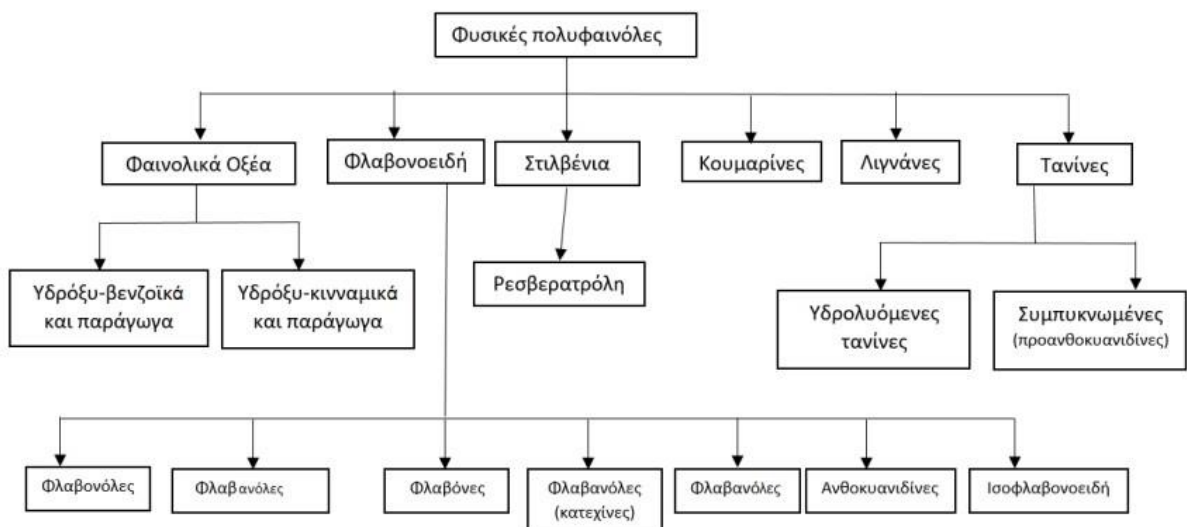
φρούτα και έχει αποδειχθεί ότι έχουν αντιμικροβιακές και αντιφλεγμονώδεις ιδιότητες. Οι λιγνάνες βρίσκονται σε δημητριακά ολικής αλέσεως, σπόρους και φρούτα και έχει αποδειχθεί ότι μειώνουν τον κίνδυνο καρκίνου του μαστού και καρδιαγγειακών παθήσεων.



Εικόνα 18: Βενζόλιο (η πιο απλή φαινόλη)

### Ομάδες Ταξινόμησης Φαινολικών Ενώσεων

Η ταξινόμηση των φαινολικών ενώσεων φυσικής προέλευσης φαίνεται στον παρακάτω πίνακα. Βλ. Πιν. 5



Πίνακας 5: Ταξινόμηση Των Φαινολικών Ενώσεων



## 4.2 Πολυφαινόλες

Οι πολυφαινόλες είναι η μεγαλύτερη ομάδα φυτοχημικών (φυτικοί μεταβολίτες) και ένα αναπόσπαστο μέρος της διαίτας των ανθρώπων και των ζώων (Tsao, 2010).

Έχουν αποκτήσει μεγάλο ενδιαφέρον πρόσφατα λόγω της αντιοξειδωτικής τους ικανότητας και της πιθανών πλεονεκτημάτων που προσφέρουν στην ανθρώπινη υγεία, όπως η αντικαρκινική, αντιθρομβωτική, αντιμικροβιακή και αναλγητική δράση τους.

Βρίσκονται σε μεγάλες ποσότητες κυρίως σε φυσικές πηγές των φυτών και έχουν αντιοξειδωτικές ιδιότητες. Υπάρχουν τουλάχιστον 8000 διαφορετικές πολυφαινόλες, οι οποίες βρίσκονται πολύ συχνά σε τρόφιμα όπως για παράδειγμα στα λαχανικά, στη σοκολάτα, στο κρασί, στο τσάι, στα φρούτα, στα λαχανικά και στο έξτρα παρθένο ελαιόλαδο. (Pandey & Rizvi, 2009) Επιπροσθέτως, οι πολυφαινόλες προσδίδουν στα φρούτα και τα λαχανικά τα χρώματά τους, ενώ είναι αυτές που δίνουν την πικρή γεύση. Είναι ικανές να προστατεύουν τα φρούτα και τα λαχανικά από τις δύσκολες κλιματικές συνθήκες, την οξειδωτική βλάβη και την υπερϊώδη ακτινοβολία. Τα υψηλότερα επίπεδα συγκέντρωσης των πολυφαινολών στα φυτά, βρίσκονται στις φλούδες και τα περιβλήματα.

Αποτελούν μια από τις πιο κοινές ομάδες ουσιών στα φυτά. Οι ενώσεις πολυφαινόλης έχουν αναφερθεί ότι έχουν ευρύ φάσμα βιολογικών δραστηριοτήτων, πολλές από τις οποίες σχετίζονται με τη συμβατική αντιοξειδωτική τους δράση. Ωστόσο, η αυξανόμενη επιστημονική γνώση έχει αναδείξει τη δυναμική τους δράση στην πρόληψη των στοματικών ασθενειών, συμπεριλαμβανομένης της πρόληψης της τερηδόνας, των στοματικών ελκών, των καρκίνων του στόματος, της ουλίτιδας και της περιοδοντίτιδας.

Οι πολυφαινόλες είναι τακτικά συστατικά της ανθρώπινης διατροφής κυρίως της ευρωπαϊκής και συνδέονται με διάφορες επιδράσεις στην υγεία. Πολλές πολυφαινόλες έχουν ταυτοποιηθεί σε φυτά τα οποία είναι τα φλαβονοειδή όπως τα φαινολικά οξέα, στιλβένια και λιγνάνες, τα οποία διαχωρίζονται σύμφωνα με τη χημική τους δομή. Η πιο εξέχουσα δραστηριότητα των πολυφαινολών είναι οι αντιοξειδωτικές δραστηριότητες κατά του οξειδωτικού στρες που σχετίζονται με την

ικανότητά τους να απομακρύνουν τις ρίζες υδροξυλίου, τα ανιόντα υπεροξειδίου και τα υπεροξυλιπίδια των λιπιδίων. (Kharouf, Haikel, & Ball, 2020)

Η αντιοξειδωτική δράση τους τις καθιστά απαραίτητες, καθώς προστατεύουν τα κύτταρα του σώματος καταστρέφοντας τις ελεύθερες ρίζες που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια του μεταβολισμού από το ίδιο μας το σώμα, αλλά και από την εισχώρηση τους από το περιβάλλον. Σε περίπτωση που το σώμα μας δεν έχει τα απαραίτητα αντιοξειδωτικά, η ζημιά που μπορεί να προκληθεί από τις αυξημένες ελεύθερες ρίζες είναι ανεξέλεγκτη, προκαλώντας καρδιοπάθεια, καρκίνο ή νόσο του Alzheimer.

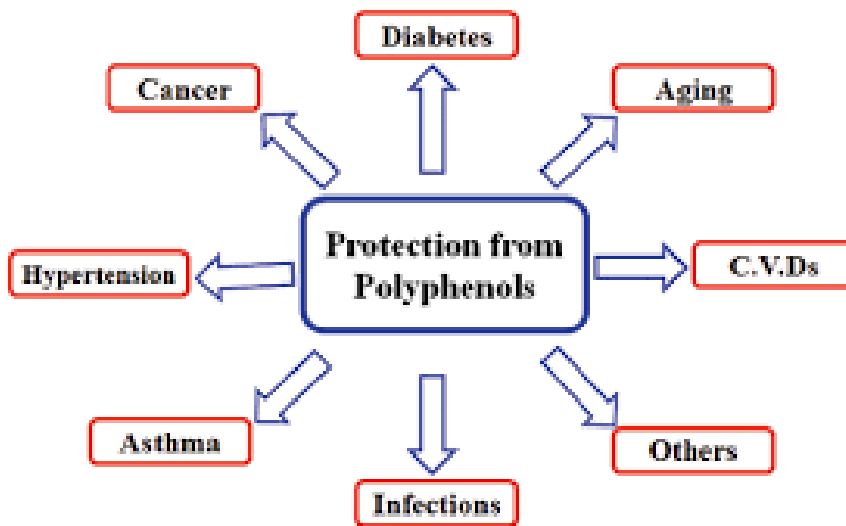
Οι πολυφαινόλες σύμφωνα με τον Harborne (Phytochemical Methods J.B Harborne) κατατάσσονται σε δεκαπέντε κύριες τάξεις: οι απλές φαινόλες (τυροσόλη, υδροξυτυροσόλη), οι βενζοκινόνες, τα φαινολικά οξέα, τα φαινυλοπροπανοειδή, τα υδροξυναμμομικά οξέα, οι κουμαρίνες και ισοκουμαρίνες, οι χρωμόνες, οι ναφθοκινόνες, οι ξανθόνες, τα στιλβένια, οι ανθρακινόνες, τα φλαβονοειδή, οι λιγνάνες, νεολιγνάνες και λιγνίνες.



Σχήμα 2: Κατηγορίες πολυφαινολών

Η σημαντικότερη κατηγορία πολυφαινολών ως προς την αντιοξειδωτική τους δράση είναι τα φλαβονοειδή, όπου θα αναλυθούν παρακάτω.

Επιπλέον, πειραματικές μελέτες σε ζώα για τις πολυφαινόλες βρέθηκαν ότι βοήθησαν στην πρόληψη και μείωση εμφάνισης καρδιαγγειακών παθήσεων, καρκίνων, νευροεκφυλιστικών ασθενειών, διαβήτη και οστεοπόρωσης. Ωστόσο, είναι πολύ δύσκολο να προβλεφθούν από αυτά τα αποτελέσματα, τα αποτελέσματα της πρόσληψης πολυφαινόλης για την πρόληψη ασθενειών στον άνθρωπο. (Scalbert, Manach, Morand, Rémésy, & Jiménez, 2005)



Σχήμα 3: Τα οφέλη των πολυφαινολών

### Δομή Πολυφαινολών

Οι πολυφαινόλες είναι χημικές ενώσεις που αποτελούνται κυρίως από φυσικές, καθώς και συνθετικές ή ημισυνθετικές χημικές ουσίες, οι οποίες χαρακτηρίζονται από την παρουσία μεγάλων πολλαπλάσιων δομικών μονάδων της φαινόλης (Quideau, S., et al., 2011). Ο χημικός τύπος της φαινόλης (Φαινικό οξύ) είναι  $C_6H_5OH$ , το απλούστερο των φαινολών.

## Σημασία Πολυφαινολών στην ανθρώπινη υγεία

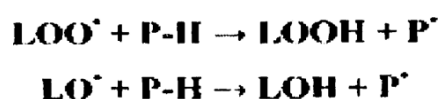
Η δράση των πολυφαινολών είναι η δέσμευση των ελεύθερων ριζών ή η αποδόμηση αλυσιδωτών οξειδωτικών αντιδράσεων. Η αντιοξειδωτική τους δράση εκδηλώνεται με την προστασία της LDL από την οξείδωση και κατά συνέπεια μείωση της χοληστερόλης στους ιστούς. Επιπλέον, δρουν έναντι των οξειδωτικών παραγόντων του επιθηλιακού ιστού, με αποτέλεσμα μη σχηματισμό αθηρωματικής πλάκας. (Χίου 2003) Φυσικοχημεία και Βιοχημεία τροφίμων

Πιο συγκεκριμένα διακόπτουν την οξείδωση με τους παρακάτω τρόπους:

- Αντιδρούν με τις ελεύθερες ρίζες του οργανισμού και τις εξουδετερώνουν.
- Δρουν ως δεσμευτές μεταλλικών ιόντων, μέσω της οξείδωσης ενός χηλικού συμπλόκου με το μεταλλικό ιόν.
- Αναγεννούν την βιταμίνη E που είναι σημαντικό αντιοξειδωτικό του οργανισμού

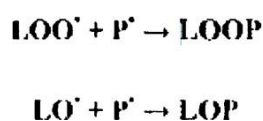
Οι δύο μηχανισμοί των πολυφαινολών:

Δέσμευση ελεύθερων ριζών:



Σχήμα 4: Ανταλλαγή υδρογόνου ή ηλεκτρονίου με ρίζες λιπιδίων

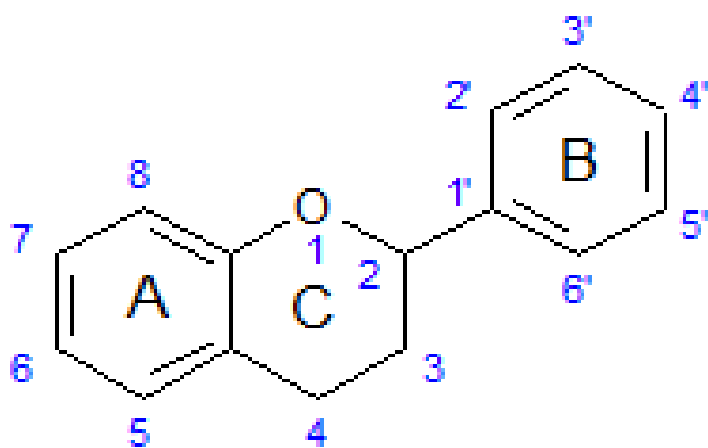
Τα φαινολικά αντιοξειδωτικά (P-H) είναι άριστοι δότες υδρογόνου ή ηλεκτρονίου σε ρίζες λιπιδίων. (Shahidi, Janitha, & Wanasundara, 1992)



Σχήμα 5: Τερματισμός αλυσιδωτών αντιδράσεων

### 4.3 Φλαβονοειδή

Τα φλαβονοειδή προέρχονται από τις απλές φαινόλες και αποτελούν την κύρια ομάδα των φαινολικών ενώσεων. Από πλευράς δομής, αυτές οι ενώσεις περιλαμβάνουν έναν σκελετό (C6–C3–C6) που αποτελείται από 15 άνθρακες, οι οποίοι σχηματίζουν δύο αρωματικούς δακτυλίους (A-B) που είναι συνδεδεμένοι με έναν κεντρικό δακτύλιο πυρανίου (C) που περιέχει. (Kumar, Abedin, Singh, & Das, 2020)



Εικόνα 19: Δομή φλαβονοειδών

Ανήκουν στην τάξη των φυτικών χρωστικών ουσιών και καταναλώνονται σε αρκετά μεγάλες ποσότητες μέσω του καθημερινού ευρωπαϊκού διατροφολογίου. Είναι πολυδρόξυ-παράγωγα της 2-φαινυλοβενζο-γ-πυρόνης και ο βασικός σκελετός είναι αυτός της φλαβόνης. Στα φλαβονοειδή εμπεριέχονται οι κατεχίνες που τις συναντάμε στο τσάι και οι ανθοκυάνες που ανιχνεύονται στο μεγαλύτερο ποσοστό τους στα κόκκινα, μωβ, ροζ και μπλε φρούτα και λαχανικά. (Χούχουλα, Σφλώμος, 2020) Είναι γνωστό ότι διαθέτουν διάφορες βιολογικές δραστηριότητες, συμπεριλαμβανομένων αντιοξειδωτικών, αντιφλεγμονωδών, αντιμικροβιακών και αντικαρκινικών ιδιοτήτων, που συνδέονται με μειωμένο κίνδυνο χρόνιων ασθενειών όπως οι καρδιαγγειακές παθήσεις και ο καρκίνος και τα συναντάμε σε πολλά φρούτα, λαχανικά και ποτά όπως το τσάι και το κρασί. (Young, 2001)

Η διαφοροποίηση και η λειτουργία των φλαβονοειδών εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τους υποκαταστάτες που παρουσιάζουν. Μπορούμε να ταξινομήσουμε τα φλαβονοειδή σε έξι υποκατηγορίες ανάλογα με τον τύπο του ετεροδακτυλίου: φλαβονόλες, φλαβόνες, ισοφλαβόνες, φλαβανόνες, ανθοκυανίνες και φλαβανόλες (κατεχίνες και προανθοκυανιδίνες). Τα φλαβονοειδή είναι υπεύθυνα για τα χρώματα στα φυτά, όπως το κίτρινο που οφείλεται στην κερσετίνη και το μπλε που οφείλεται στη μαλβιδίνη. (Kumar, Abedin, Singh, & Das, 2020)

Τάξη φλαβονοειδών	Γενική χημική δομή	Όνομα	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>
Φλαβονόλες		Κερκετίνη	OH	OH	H
		Καμπφερόλη	H	OH	H
		Μυρικετίνη	OH	OH	OH
Φλαβανόλες		(+)-κατεχίνη	OH	OH	H
		(-)-επικατεχίνη	OH	OH	H
		Επιγαλλοκατεχίνη	OH	OH	OH
Φλαβόνες		Λουτεολίνη	OH	OH	H
		Απιγενίνη	H	OH	H
		Χρυσίνη	H	H	H
Φλαβανόνες		Ναριγενίνη	H	OH	H
		Εσπεριτίνη	H	OCH <sub>3</sub>	OH
Ισοφλαβόνες		Γενιστεΐνη	OH	-	-
		Ντετζεΐνη	H	-	-
Ανθοκυανιδίνες		Κυανιδίνη	OH	-	H
		Δελφινιδίνη	OH	-	OH

Πίνακας 6: Ταξινόμηση και χημικές δομές των φλαβονοειδών

### 4.3.1 Φλαβονόλες

Οι φλαβονόλες είναι οι πιο κοινές φλαβονοειδείς ενώσεις που βρίσκονται στα τρόφιμα. (S. Afr. J. Enol. Vitic., 2002). Αυτές οι ενώσεις είναι υπεύθυνες για το χρώμα των λευκών οίνων, καθώς συμβάλλουν στη δημιουργία της κίτρινης χρωστικής ουσίας που παρατηρείται στα σταφύλια. Στην περίπτωση των ερυθρών οίνων, αυτή η χρωστική ουσία καλύπτεται από τις ανθοκυανίνες. (Oroian & Escriche, 2015) Είναι πλούσιες σε πολλά φρούτα και λαχανικά, αλλά η περιεκτικότητά τους μπορεί να διαφέρει σημαντικά ανάλογα με την ποικιλία, τις καλλιεργητικές συνθήκες, το κλίμα, την αποθήκευση, τον φωτισμό και τη μαγειρική μέθοδο. (Alara, Abdurahman, & Ukaegbu, 2021)

Για παράδειγμα, στα φυλλώδη λαχανικά, το πιο πράσινο εξωτερικό μέρος των φύλλων περιέχει περισσότερες φλαβονόλες σε σύγκριση με τα εσωτερικά ανοιχτόχρωμα μέρη (Jose et al., 2015). Ποτά όπως τα ροφήματα μήλου και κράνμπερι είναι πλούσια σε φλαβονόλες. (S. Afr. J. Enol. Vitic., 2002)

Οι φλαβονόλες διακρίνονται από τη θέση της αλκοολικής ομάδας στον δακτύλιο C. Συνήθως περιέχουν σάκχαρα όπως η γλυκόζη, η ραμνόζη, η γαλακτόζη και η αραβινόζη. Οι κυριότερες φλαβονόλες στην διατροφή περιλαμβάνουν την κερκετίνη, τη μυρικετίνη, τη ρουτίνη, την ισοραμεντίνη και την καεμφερόλη (Alara, Abdurahman, & Ukaegbu, 2021).

### 4.3.2 Φλαβόνες

Οι φλαβόνες είναι μια υποκατηγορία φλαβονοειδών που έχει ως χαρακτηριστικό τον διπλό δεσμό μεταξύ των θέσεων 2 και 3 του δακτυλίου C. Κάποιες από τις πιο διαδεδομένες φλαβόνες περιλαμβάνουν την απιγενίνη, τη λουτεολίνη και τη χρυσίνη. Οι ενώσεις αυτές έχουν ευεργετικές ιδιότητες όπως διάφορες βιολογικές δραστηριότητες, συμπεριλαμβανομένων αντιοξειδωτικών, αντιφλεγμονωδών και αντικαρκινικών ιδιοτήτων. Τις φλαβόνες τις συναντάμε στο σελήνιο, στο χαμομήλι, στις κόκκινες πιπεριές, στη μέντα και στο ginkgobiloba. Επιπλέον, οι φλούδες των εσπεριδοειδών είναι πλούσιες σε πολυμεθοξυλιωμένες φλαβόνες, ταγκερετίνη, νομπιλετίνη και σινενσετίνη (Manachetal., 2004) ,(Leonte, Ungureanu, & Zaharia, 2023)

### 4.3.3 Ισοφλαβόνες

Οι ισοφλαβόνες θεωρείται ως φυτοοιστρογόνα λόγω της ομοιότητάς τους με τα οιστρογόνα. Έχουν υδροξυλικές ομάδες (OH-) στις θέσεις 7 και 4' στον δακτύλιο τους, παρόμοιες με αυτές που υπάρχουν στην οιστραδιόλη. Η βασική διαφορά ανάμεσα στις ισοφλαβόνες και άλλες φλαβονοειδείς είναι η θέση του βενζολικού δακτυλίου Β στο C3. Τα ισοφλαβονοειδή έχουν περιορισμένη κατανομή στο φυτικό βασίλειο και βρίσκονται κυρίως στη σόγια και σε άλλα όσπρια. Η επεξεργασμένη σόγια, αποτελεί μία από τις βασικές πηγές ισοφλαβονών στην διατροφή. Οι ισοφλαβόνες που προέρχονται από τη σόγια περιέχουν τρία σημαντικά μόρια: γλυκίτεϊνη, δαϊδζεϊνη και γενιστεϊνη. Αυτά τα μόρια υπάρχουν κυρίως ως γλυκοζίτες μηλονυλίου ή ακετυλίου.

Ο τρόπος επεξεργασίας είναι ένας παράγοντας που επηρεάζει την περιεκτικότητα σε ισοφλαβονοειδή στα τρόφιμα. Για παράδειγμα, η ζύμωση μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία miso και tempeh, ενώ η θέρμανση μπορεί να προκαλέσει την υδρόλυση των γλυκοζιτών σε αγλυκόνες που χρειάζονται περισσότερη θερμότητα. (Alara, Abdurahman, & Ukaegbu, 2021)

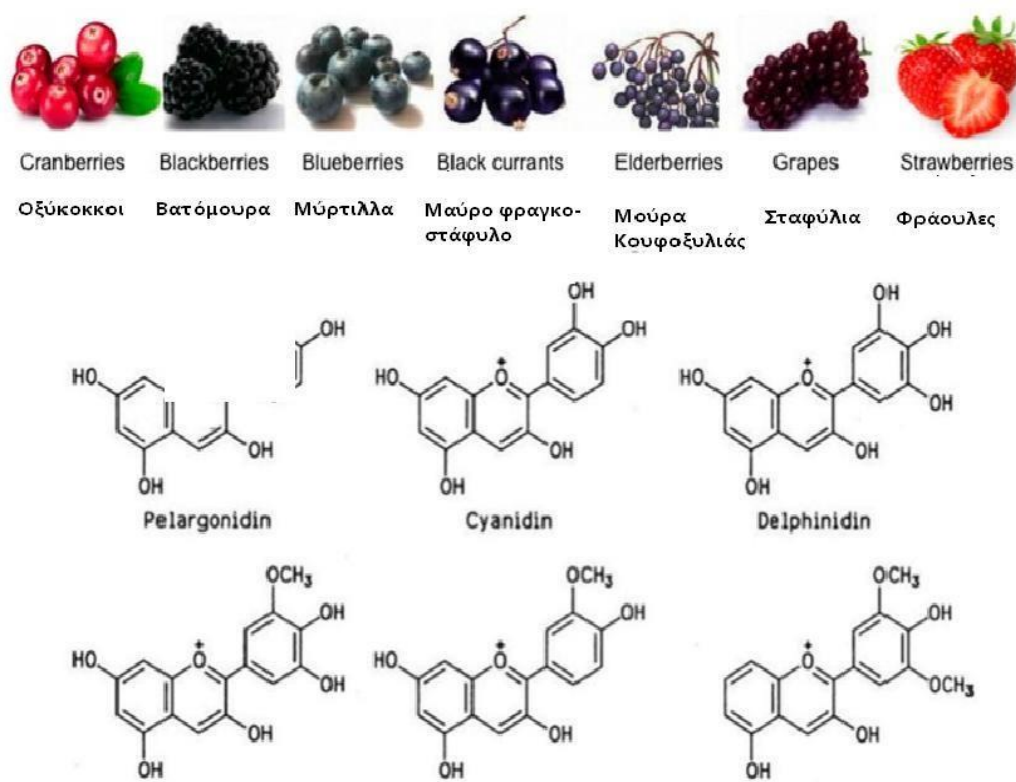
Επιπλέον, οι ισοφλαβόνες διαθέτουν διάφορες βιολογικές δραστηριότητες, συμπεριλαμβανομένων αντιοξειδωτικών, αντιφλεγμονωδών και αντικαρκινικών ιδιοτήτων. Τα ισοφλαβονοειδή παρουσιάζουν τεράστιες δυνατότητες στη αντιμετώπιση μιας σειράς ασθενειών.

### 4.3.4 Ανθοκυανίνες

Οι ανθοκυανίνες είναι μια υποκατηγορία φλαβονοειδών που προσδίδουν το κόκκινο, μωβ και μπλε χρώμα πολλών φρούτων και λαχανικών, όπως είναι τα μούρα και τα σταφύλια. Οι συνηθέστερες ανθοκυανιδίνες είναι η κυανιδίνη, η δελφινιδίνη και η μαλβιδίνη. Εμφανίζονται πιο συχνά στα εξωτερικά κυτταρικά στρώματα διαφόρων φρούτων, όπως τα μούρα, οι μαύρες σταφίδες, τα κόκκινα σταφύλια, τα σταφύλια Merlot, τα σμέουρα, οι φράουλες, τα βατόμουρα, τα μύρτιλλα και τα βατόμουρα. Όταν υπάρχουν πρόσθετα σάκχαρα στο μόριο της ανθοκυανίνης, συνδέονται στις θέσεις 5 και 7, και σπανιότερα στις θέσεις 3' και 5'. Τα σάκχαρα που μπορεί να χρησιμοποιούνται στις ανθοκυανίνες είναι εξόζες (γλυκόζη και γαλακτόζη) και πεντόζες (ξυλόζη, αραβινόζη).



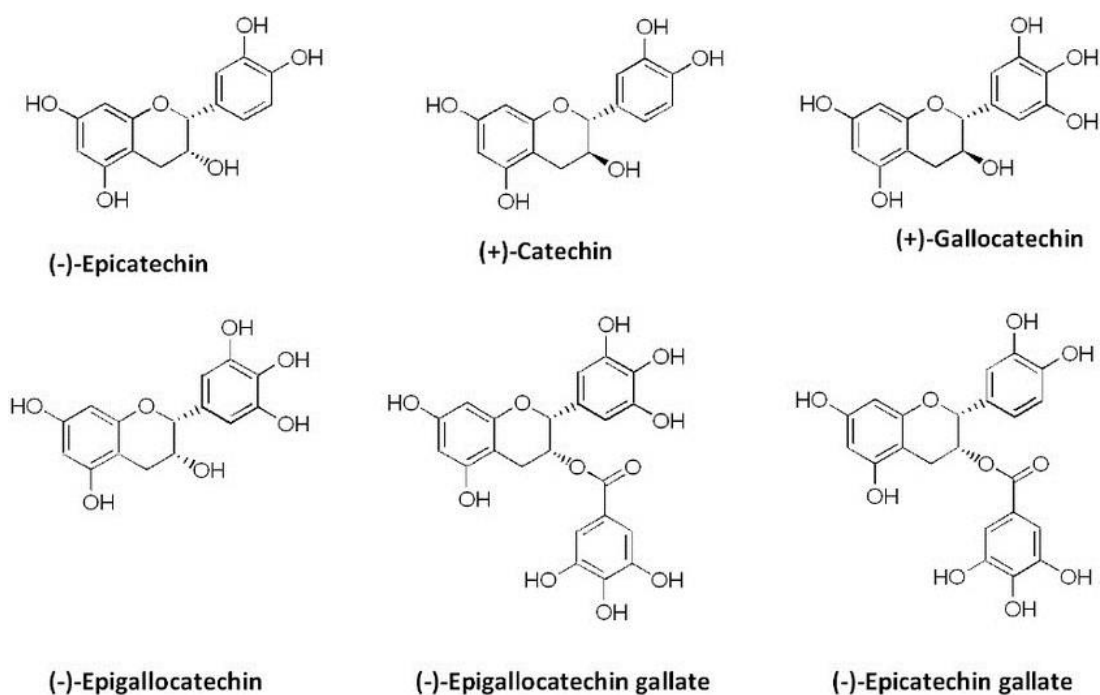
Επιπλέον, οι ανθοκυανίνες διαθέτουν διάφορες βιολογικές δραστηριότητες, συμπεριλαμβανομένων αντιοξειδωτικών, αντιφλεγμονωδών και αντικαρκινικών ιδιοτήτων. Ως αντιοξειδωτικοί παράγοντες μπορούν να προσφέρουν υδρογόνο και να σβήσουν τα ελεύθερα ριζοειδή, μειώνοντας έτσι την οξειδωτική ζημία. Αυτή η δράση τους μπορεί να έχει θετικές επιδράσεις στην υγεία, καθώς η οξειδωτική ζημία. Τα μόρια των ανθοκυανίνων είναι αρκετά ασταθή και μπορούν να υποστούν αποσύνθεση εύκολα από διάφορους παράγοντες όπως η θερμοκρασία, το pH, το φως, το οξυγόνο, οι διαλύτες, τα μεταλλικά ιόντα, το ασκορβικό οξύ, το θειώδες, και τα ένζυμα. Αυτή η ευαισθησία των ανθοκυανίνων σε διάφορους παράγοντες μπορεί να επηρεάσει το χρώμα, τη σταθερότητά τους στα φυτά και τα τρόφιμα, καθώς και την αντιοξειδωτική τους δράση. (Shahidi & Ambigaipalan, 2015), (Alara, Abdurahman, & Ukaegbu, 2021), (Oroian & Escriche, 2015)



Εικόνα 20: Δομή ανθοκυανίνων

#### 4.3.5 Κατεχίνες - Φλαβαν-3-όλες

Άλλη μία υποκατηγορία είναι οι φλαβαν-3-όλες ή αλλιώς κατεχίνες που έχουν ως χαρακτηριστικό μια ομάδα υδροξυλίου στη θέση 3 του δακτυλίου C και μια ομάδα υδροξυλίου στη θέση 5 του δακτυλίου B. Οι συνηθέστερες φλαβαν-3-όλες είναι η επικατεχίνη, η επιγαλλοκατεχίνη και η κατεχίνη, οι οποίες βρίσκονται στο τσάι, το κακάο και σε ορισμένα φρούτα και λαχανικά. Επιπλέον, οι φλαβαν-3-όλες διαθέτουν διάφορες βιολογικές δραστηριότητες, συμπεριλαμβανομένων αντιοξειδωτικών, αντιφλεγμονωδών και αντικαρκινικών ιδιοτήτων. Οι φλαβανόλες βρίσκονται σε αφθονία στις μπανάνες, τα μήλα, τα βατόμουρα, τα ροδάκινα και τα αχλάδια (Κοτροκόης, 2009).



Εικόνα 21: Δομή κατεχινών

#### 4.3.6 Φλαβανόνες

Οι φλαβανόνες είναι μια άλλη υποκατηγορία φλαβονοειδών που χαρακτηριστικό της έχει μια κετονική ομάδα στη θέση 4 του δακτυλίου C. Οι συνηθέστερες φλαβανόνες είναι η ναρινγενίνη και τη εσπερετίνη, οι οποίες βρίσκονται στα εσπεριδοειδή, όπως τα πορτοκάλια και τα γκρέιφρουτ. Επιπλέον, οι φλαβανόνες διαθέτουν διάφορες βιολογικές δραστηριότητες, συμπεριλαμβανομένων

αντιοξειδωτικών, αντιφλεγμονωδών και αντιμικροβιακών ιδιοτήτων. Τα οφέλη των φλαβονοειδών στηρίζονται στην ιδιότητά τους να καταπολεμούν τις ελεύθερες ρίζες. Αυτές οι ενώσεις προσδίδουν μια πικρή γεύση και βρίσκεται στις φλούδες των εσπεριδοειδών. Τα φλαβονοειδή των εσπεριδοειδών ασκούν ενδιαφέρουσες φαρμακολογικές επιδράσεις ως αντιοξειδωτικοί και αντιφλεγμονώδεις παράγοντες αλλά και ως παράγοντες μείωσης των λιπιδίων του αίματος και της χοληστερόλης. Επιπλέον, όσο περνούν τα χρόνια ο αριθμός των φλαβονονών αυξάνεται σημαντικά (Panche, Diwan, & Chandra, 2016).

#### **4.4 Μη φλαβονοειδή**

Οι μη φλαβονοειδής ενώσεις κατηγοριοποιούνται στις εξής κατηγορίες: φαινολικά οξέα, τανίνες και στυλβενοειδή. Οι παρακάτω κατηγορίες θα αναλυθούν περαιτέρω ξεχωριστά.

##### **4.4.1 Φαινολικά Οξέα**

Τα φαινολικά οξέα αποτελούν μεγάλη κατηγορία των φαινολών όπου εμπεριέχονται στα φυτά και απαρτίζονται σε δύο μορφές, ως ελεύθερη και ως δεσμευμένη μορφή. Οι φαινολικές ενώσεις έχουν διάφορες μορφές όπου κατηγοριοποιούνται με την μορφή που δίνουν σε διαφορετικές συνθήκες εκχύλισης και διαφορετικές πρακτικές ώστε να επιτευχθεί η αποδόμηση τους. Τα φαινολικά οξέα αποτελούνται από δύο διαφορετικές ομάδες τα υδροξυβενζοϊκά και υδροξυκινναμικά οξέα. Τα πιο διαδεδομένα υδροξυβενζοϊκά οξέα είναι τα ρ-υδροξυβενζοϊκά, πρωτοκουχικά, βανιλικά και συριγγικά οξέα, τα οποία έχουν κοινή δομή C6 – C1. Επιπροσθέτως, τα υδροξυκινναμικά οξέα είναι αρωματικές ενώσεις που περιέχουν μία πλευρική αλυσίδα με τρεις άνθρακες (C6– C3) και πιο σύνθετες είναι να περιέχεται το καφεϊκό, το φουρουλικό, το p-κουμαρικό και το καφεϊκό. (Fernandes, Casal, Pereiraa, Saraivac, Ramalhosa, 2017), (Amini-Khoei et al., 2021)

##### **4.4.2 Τανίνες**

Οι τανίνες είναι φυτικές ενώσεις που ορίζονται ως υδρολύσιμες ή συμπυκνωμένες ανάλογα με τη χημική τους δομή. Οι συμπυκνωμένες είναι

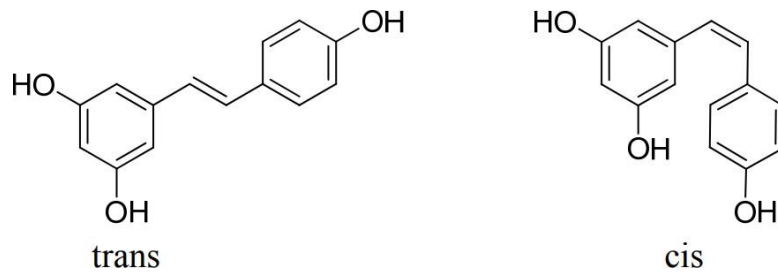
ολιγομερείς και πολυμερείς φλαβονοειδής, ενώ οι υδρολύσιμες είναι γλυκοζυλιωμένο γαλλικό οξύ. Έχουν φαινολικές ομάδες που συνδέονται στενά με τις ομάδες –NH των πεπτιδίων και των πρωτεϊνών. Αυτή η σύνδεση εμποδίζει την υδρόλυση και την πέψη στο στομάχι και έχει ως αποτέλεσμα να χαρακτηρίζονται ως μη διατροφικές. Αυτό σημαίνει ότι μπορούν να προκαλέσουν αναστολή της πέψης και της απορρόφησης πρωτεϊνών. Επιπλέον, έχουν αντιοξειδωτική δράση και έτσι μπορούν να προστατεύουν τα κύτταρα από την οξειδωτική βλάβη που προκαλείται από τις ελεύθερες ρίζες. Ορισμένες τανίνες έχουν επίσης αναφερθεί ότι έχουν αντικαρκινικές ιδιότητες επηρεάζοντας κατά επέκταση την ανάπτυξη καρκινικών κυττάρων. (Alara, Abdurahman, & Ukaegbu, 2021), (Oroian & Escriche, 2015)

#### 4.4.3 Στιλβενοειδή

Τα στιλβενοειδή είναι υδροξυλιωμένα παράγωγα του στιλβενίου που περιλαμβάνουν δύο αρωματικούς δακτυλίους που είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους με μία γέφυρα αιθανίου (C6- C2-C6). (Oroian & Escriche, 2015)

Υπάρχουν σε μικρές ποσότητες στην ανθρώπινη διατροφή και κυρίως σε μορφή ρεσβερατρόλης, η οποία αποτελεί ένα από τα πιο γνωστά στιλβένια και έχει αναγνωριστεί για την αντικαρκινογόνο, αντιφλεγμονώδη και καρδιοπροστατευτική του δράση (Alara, Abdurahman, & Ukaegbu, 2021). Μπορεί να παρουσιαστεί σε δύο ισομερείς μορφές, την trans και τη cis- διαμορφωμένη. (Chong, Routaroud, & Huguene, 2009)

Πιο συγκεκριμένα η trans ρεσβερατρόλη είναι μία σημαντική στιλβένη που τη συναντάμε στο κόκκινο κρασί και τα φιστίκια και σε μικρότερες ποσότητες σε μούρα, κόκκινο λάχανο, σπανάκι και ορισμένα βότανα. Έχει θετικές επιδράσεις σε διάφορες ασθένειες και παθήσεις. Λειτουργεί ως αντιοξειδωτικό σε πολλές δοκιμές *in vitro*, περιλαμβανομένης της συνολικής αντιοξειδωτικής ικανότητας, της απορρόφησης των ελεύθερων ριζών και του υπεροξειδίου του οξυγόνου. Αυτές οι ιδιότητές της, την καθιστούν αποτελεσματική στην προστασία των κυττάρων από την οξείδωση. (Shahidi & Ambigaipalan, 2015)



Εικόνα 22: Δομή ρεσβερατρόλης

#### 4.4.4 Λιγνάνες

Οι λιγνάνες αποτελούν μια κατηγορία φαινολικών ενώσεων που βρίσκονται σε υψηλές συγκεντρώσεις σε διάφορα μέρη των φυτών, όπως ο λιναρόσπορος, (που είναι η πλουσιότερη πηγή), άλλοι σπόροι, ρίζες, φύλλα, καρποί και ξυλώδη μέρη αγγειόσπερμων φυτών. (Oroian & Escriche, 2015)

Προέρχονται από μονάδες 2-φαινυλπροπανίου και θεωρούνται φυτοεστρογόνα με αναφερόμενη εστρογονική ή αντι-εστρογονική δράση. (Alara, Abdurahman, & Ukaegbu, 2021)

Οι δομές των λιγνάνων αποτελούνται από μονάδες C6-C3 που προέρχονται από τον προπυλοβενζολικό σκελετό και το κινναμυλικό σκελετό. Έχουν εντοπιστεί και ποσοτικοποιηθεί έξι διαφορετικοί λιγνάνες (Lari, Mat, Med, Pin, Seco, Syr) σε διάφορες τροφές, συμπεριλαμβανομένων ριζών, φύλλων, σπόρων, καρπών, ξυλώδων μερών αγγειόσπερμων φυτών, λαχανικών, αλκοολούχων και μη αλκοολούχων ποτών, καθώς και δημητριακών. (Oroian & Escriche, 2015)

Στα τρόφιμα, οι λιγνάνες υπάρχουν συνήθως ως ματαιρεσίνολ ή σεκοϊσολαρικρεσινόλ, αλλά στο ανθρώπινο σώμα μετατρέπονται σε εντεροδιόλη ή εντερολακτόνη. Πολλές μελέτες υποδηλώνουν ότι τα οφέλη των λιγνάνων για την υγεία εξαρτώνται από το συγκεκριμένο είδος των λιγνάνων που καταναλώνεται. (Alara, Abdurahman, & Ukaegbu, 2021)

## Κεφάλαιο 5: Αντιοξειδωτικά και η επίδραση τους στον ανθρώπινο οργανισμό

### 5.1 Εισαγωγή

Τα αντιοξειδωτικά έχουν συγκεντρώσει τεράστια προσοχή τις τελευταίες δεκαετίες λόγω του δυνητικού τους ρόλου στην προαγωγή της υγείας και την καταπολέμηση διαφόρων ασθενειών. Οι ενώσεις αυτές διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην εξουδετέρωση των επιβλαβών ελεύθερων ριζών και στην προστασία των κυττάρων από το οξειδωτικό στρες. Αυτή η ολοκληρωμένη ανασκόπηση διερευνά τα οφέλη των αντιοξειδωτικών στην ανθρώπινη υγεία, εξετάζοντας το ρόλο τους στην πρόληψη χρόνιων ασθενειών, στην πρόωθηση της μακροζωίας, στην υποστήριξη του ανοσοποιητικού συστήματος και στην ενίσχυση της συνολικής ευεξίας. Συνθέτοντας πληροφορίες από αξιόπιστες πηγές, διευκρινίζουμε τη σημασία της ενσωμάτωσης τροφίμων και συμπληρωμάτων πλούσιων σε αντιοξειδωτικά στην καθημερινή διατροφή για βέλτιστη υγεία και ευεξία.

Το μεγαλύτερο μέρος του οξυγόνου που προσλαμβάνεται από τα κύτταρα του σώματός μας μετατρέπεται σε νερό ( $H_2O$ ) κατά τη μιτοχονδριακή αναπνοή. Όμως, ένα μικρό μέρος του οξυγόνου της τάξης 5% μετατρέπεται σε ROS. Αυτές οι ουσίες είναι ιδιαίτερα τοξικές από μόνες τους και αν μπορέσουν να συσσωρευτούν, μπορούν να καταστρέψουν όλα τα κυτταρικά μακρομόρια, όπως λιπίδια, πρωτεΐνες, μιτοχονδριακά και πυρηνικά μόρια DNA, προκαλώντας το λεγόμενο οξειδωτικό στρες. Όπως έχουμε προαναφέρει, ο ρόλος του οξειδωτικού στρες είναι να απορρυθμίζει τις κυτταρικές λειτουργίες του οργανισμού, οδηγώντας στην ανάπτυξη χρόνιων παθήσεων, συμπεριλαμβανομένων και των καρδιαγγειακών παθήσεων. (Wang, Melnyk, Tsao, & Marcone, 2011).

Η πλειονότητα των ελευθέρων ριζών παράγεται υπό φυσιολογικές συνθήκες και τα οποία περιλαμβάνουν ιόντα υπεροξειδίου, υπεροξειδία και υδροξυλικά ριζώδη. Εντός των μιτοχονδρίων, υπάρχουν ενζυμικά αντιοξειδωτικά συστήματα που αποτρέπουν την υπερβολική αύξηση των ROS. Ωστόσο, όταν η λειτουργία των μιτοχονδρίων διαταράσσεται, η παραγωγή ROS αυξάνεται, προκαλώντας έτσι οξειδωτικό στρες και κυτταρικό θάνατο. Προκαλείται από μια ανισορροπία μεταξύ της παραγωγής αντιδραστικού οξυγόνου και της ικανότητας του βιολογικού συστήματος να αποτοξινώνει εύκολα τα αντιδραστικά ενδιάμεσα προϊόντα ή να επιδιορθώνει εύκολα τις προκύπτουσες βλάβες. (Rao, Kalva, Yerramilli, & Mamidi, 2011)

Στις ασθένειες του ανθρώπου, η αύξηση της δραστηριότητας των ελεύθερων ριζών αποτελεί συνέπεια είτε πρωτογενής (υπερβολική ακτινοβολία έκθεσης) είτε δευτερογενής (ιστική βλάβη από τραύμα)

Η οξειδωση των πρωτεϊνών από τα ROS μπορεί να προκαλέσει αλλαγές, όπως είναι ο κατακερματισμός, η συσσωμάτωση ή διασταύρωση των πρωτεϊνών, καθώς και αλλοιώσεις στην τρισδιάστατη δομή τους, με αποτέλεσμα να καθίστανται πιο ευάλωτες στην αποικοδόμηση. Όσον αφορά το DNA, οι ROS μπορούν να προκαλέσουν σπασίματα στις αλυσίδες τους, να απομακρύνουν νουκλεοτίδια και να προκαλέσουν τροποποιήσεις στις οργανικές βάσεις των νουκλεοτιδίων. Αυτές οι αλλαγές, μπορούν να έχουν μόνιμες συνέπειες ή να προκαλέσουν βλάβες στο DNA, με επιπτώσεις που μπορούν να είναι επιβλαβείς για το κύτταρο. (Wong, 2018)

## **5.2 Αντιοξειδωτικά και καρδιαγγειακά νοσήματα**

Τα καρδιαγγειακά νοσήματα αποτελούν μία από τις κύριες αιτίες θανάτου παγκοσμίως. Πρόσφατες έρευνες έχουν επισημάνει ότι η υπερβολική παραγωγή ελεύθερων ριζών μπορεί να παίζει σημαντικό ρόλο στην εκδήλωση καρδιαγγειακών νοσημάτων. Όπως έχει προαναφερθεί, τα αντιοξειδωτικά είναι μόρια που προστατεύουν τα κύτταρα του οργανισμού από βλάβες που προκαλούνται από τις ελεύθερες ρίζες. Σε μικρές ποσότητες είναι απαραίτητες για την λειτουργία του οργανισμού, αλλά σε υπερβολικές ποσότητες μπορούν να προκαλέσουν οξειδωτικό στρες. Αυτό θα έχει ως συνέπεια την δυσλειτουργία των αγγείων και την αθηροσκλήρωση των αρτηριών, οδηγώντας έτσι σε καρδιαγγειακά νοσήματα όπως είναι η στεφανιαία νόσο, τα αγγειακά εγκεφαλικά επεισόδια και η περιφερική αποφρακτική αρτηριοπάθεια.

Μια ποικιλία διατροφικών παραγόντων μπορούν να επηρεάσουν τον μεταβολισμό και την λειτουργία της καρδιάς και των αγγείων που είναι σε θέση να αναπτύξουν ασθένειες. Πιο συγκεκριμένα, ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η αυξημένη κατανάλωση trans λιπαρών οξέων (TFA), τα οποία υποτίθεται ότι ενεργοποιούν μονοπάτια που συνδέονται με το σύνδρομο αντίστασης στην ινσουλίνη.

Η υψηλή πρόσληψη TFA συνδέεται με αρνητικές επιπτώσεις στα λιπίδια του ορού, τη συστηματική φλεγμονή και την ενδοθηλιακή λειτουργία των κυττάρων. Επίσης, παρατηρήθηκε ότι υπάρχουν συσχετίσεις μεταξύ της υψηλής πρόσληψης TFA και του κινδύνου εμφράγματος, του θανάτου από στεφανιαία νόσο και του αιφνίδιου θανάτου. Αλλαγές των παραδοσιακών διατροφικών προτύπων, όπως

συμβαίνει, π.χ., στην Ινδία, όπου υπάρχει αύξηση της πρόσληψης ζάχαρης, αλατιού, γαλακτοκομικών προϊόντων με υψηλή περιεκτικότητα σε λιπαρά και τροφίμων πλούσιων σε TFA, έχει συσχετισθεί με αυξημένο κίνδυνο καρδιαγγειακών νοσημάτων και διαβήτη στο τελευταίο μέρος του 20ού αιώνα. Ακόμη, η υπερβολική κατανάλωση αντιοξειδωτικών με τη μορφή συμπληρωμάτων διατροφής, αλλά, πολύ περισσότερο σύνθετων (χημικών) αντιοξειδωτικών ουσιών, αποτελεί ένα άλλο πρόβλημα στην σύγχρονη ζωή, λόγω της έντονης παρουσίας συντηρητικών, χρωστικών τροφίμων, γαλακτωματοποιητών, βελτιωτικών γεύσης κ.α. στη "δυτική διατροφή".

Επιδημιολογικές παρατηρήσεις δείχνουν ότι η κατανάλωση ορισμένων τροφίμων που περιέχουν πλούσιες ποσότητες βιοδραστικών ενώσεων, όπως οι βιταμίνες E και C, πολυφαινόλες και καροτενοειδή (π.χ., το λυκοπένιο και το β-καροτένιο, καθώς και το συνένζυμο Q10), σχετίζεται με μείωση του κινδύνου αθηρομάτωσης. Μία διατροφή πλούσια σε αντιοξειδωτικά υποτίθεται ότι είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική στα πρώιμα στάδια της αθηροσκλήρωσης, αφού προλαμβάνει την οξείδωση της LDL και την οξειδωτική βλάβη του ενδοθηλίου. Ωστόσο, παρόλο που η κατανάλωση αντιοξειδωτικών έχει θετικές επιδράσεις στην υγεία, αυτό δεν σημαίνει ότι θα έχει πάντα κλινικά οφέλη. Η ισορροπημένη κατανάλωση αντιοξειδωτικών μπορεί να έχει θετικές επιδράσεις στον άνθρωπο, αλλά παράλληλα μπορεί να υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που να επηρεάζουν την υγεία.

Αναλυτικότερα, για μια υγιή καρδιά θα πρέπει ο άνθρωπος να δίνει έμφαση στην κατανάλωση λιπαρών ψαριών, όπως ο σολομός, οι σαρδέλες, το σκουμπρί, γαύρος, ψάρια τα οποία είναι πλούσια σε ωμέγα-3 λιπαρά οξέα και τα οποία συμβάλλουν στον έλεγχο της αρτηριακής πίεσης και στη μείωση των επιπέδων τριγλυκεριδίων και χοληστερόλης, μειώνοντας έτσι τον καρδιαγγειακό κίνδυνο. Επίσης, το ελαιόλαδο αποτελεί μια εξαιρετική πηγή "καλών" λιπαρών οξέων, όπως τα μονοακόρεστα και πολυακόρεστα λιπαρά οξέα, και αντιοξειδωτικών ουσιών όπως η βιταμίνη E και οι πολυφαινόλες, που ευνοούν την υγεία της καρδιάς. Οι ξηροί καρποί, το αβοκάντο, τα όσπρια, τα δημητριακά ολικής άλεσης, η τομάτα, οι σπόροι αποτελούν και αυτά τρόφιμα για μια υγιή καρδιά. Παρ' όλ' αυτά, υπάρχουν και ορισμένα φρούτα που συμβάλλουν στην πρόληψη καρδιαγγειακών νοσημάτων και αυτά είναι το μήλο, η μπανάνα, τα φρούτα του δάσους (βατόμουρο, φράουλα, μούρο), τα οποία χάρη στις αντιοξειδωτικές ουσίες που περιέχουν, και συγκεκριμένα στα φλαβονοειδή (π.χ. ανθοκυανίνες), έχουν την ικανότητα να βοηθούν στην



εξουδετέρωση των επικίνδυνων ελευθέρων ριζών από το σώμα, συμβάλλοντας έτσι στην καλή λειτουργία της καρδιάς, καθώς και τα εσπεριδοειδή, που είναι πλούσια σε βιταμίνη C και μειώνουν τα επίπεδα της χοληστερόλης, έχοντας, έτσι, θετική επίδραση στα καρδιαγγειακά νοσήματα. (Widmer, Flammer, Lerman, & Lerman, 2015)



Εικόνα 23: Πηγές Ωμέγα-3

Επιπρόσθετα, συσσωρεύονται στοιχεία που υποδεικνύουν την σημασία της διατροφής κατά την διάρκεια της εγκυμοσύνης και της πρώιμης παιδικής ηλικίας σε διάφορους επιγενετικούς μηχανισμούς που προάγουν την ευαισθησία στην ανάπτυξη μεταβολικών νοσημάτων στην ενήλικη ζωή, όπως το μεταβολικό σύνδρομο, η αντίσταση στην ινσουλίνη, ο διαβήτης τύπου 2, η παχυσαρκία, η δυσλιπιδαιμία, η υπέρταση, αλλά και τα καρδιαγγειακά νοσήματα. Τόσο η υποθρεψία όσο και η υπερθρεψία έχουν συσχετιστεί με δυσμενείς αντιδράσεις. Πολλές μελέτες υποδεικνύουν ότι η διαταραγμένη εμβρυϊκή ανάπτυξη και η έκθεση στη μήτρα σε παράγοντες κινδύνου, ιδίως στην υπερχοληστερολαιμία της μητέρας, μπορεί να επηρεάσουν την πρώιμη εμφάνιση καρδιαγγειακών βλαβών. Παρ' όλ' αυτά, δεν έχει εξακριβωθεί άμεση αιτιώδης συνάφεια στον άνθρωπο. (Mangge, Becker, Fuchs, & Gostner, 2014)

Ορισμένα από τα πιθανά οφέλη των αντιοξειδωτικών στην καρδιαγγειακή υγεία είναι η πρόληψη της αθηροσκλήρωσης, μιας σημαντικής αιτίας καρδιαγγειακών

νοσημάτων. Οι αντιοξειδωτικές ενώσεις εμποδίζουν την οξείδωση της "κακής" χοληστερόλης (LDL), προστατεύοντας τα αιμοφόρα αγγεία από τη σχηματοποίηση αρτηριακών πλακών. Με αυτόν τον τρόπο, μειώνεται ο κίνδυνος εμφάνισης καρδιακών προσβολών και εγκεφαλικών επεισοδίων.

Ενδείξεις υποδεικνύουν ότι ορισμένα αντιοξειδωτικά μπορούν επίσης να βοηθήσουν στη ρύθμιση της αρτηριακής πίεσης. Φυτικά συστατικά, όπως τα φλαβονοειδή και οι πολυφαινόλες, συμβάλλουν στη χαλάρωση των αιμοφόρων αγγείων, μειώνοντας την αρτηριακή πίεση και ενισχύοντας την καρδιαγγειακή λειτουργία.

Μια ακόμα σημαντική πτυχή είναι η βελτίωση της ενδοθηλιακής λειτουργίας. Το οξειδωτικό στρες και η φλεγμονή επηρεάζουν αρνητικά τη λειτουργία των αιμοφόρων αγγείων, αλλά τα αντιοξειδωτικά μπορούν να αντιστρέψουν αυτές τις διαδικασίες. Μειώνοντας το οξειδωτικό στρες, βοηθούν στην βελτίωση της ροής του αίματος και τη μείωση του κινδύνου καρδιαγγειακών επεισοδίων.

Επιπλέον, οι αντιφλεγμονώδεις επιδράσεις των αντιοξειδωτικών αξιοποιούνται για την αντιμετώπιση των καρδιαγγειακών προβλημάτων. Με τη μείωση της φλεγμονής, μειώνεται και ο κίνδυνος αθηροσκλήρωσης, ενώ προλαμβάνονται πιθανές επιπλοκές.

Τέλος, η ρύθμιση των επιπέδων χοληστερόλης αποτελεί ουσιαστική πτυχή της καρδιαγγειακής προφύλαξης. Οι αντιοξειδωτικές ιδιότητες των τροφών συμβάλλουν στην πρόληψη της οξείδωσης της LDL, προστατεύοντας έτσι από την αθηρογένεση.

Συνοψίζοντας, παρόλο που η χορήγηση βιταμινών μπορεί να είναι ωφέλιμη υπό ορισμένες συνθήκες, πολλές μελέτες έχουν δείξει ότι όταν χρησιμοποιούνται μόνες τους ή σε συνδυασμό με άλλους παράγοντες που μειώνουν τα λιπίδια, μπορεί να υπάρχουν δυσμενείς επιδράσεις. Αν και τα αντιοξειδωτικά συμπληρώματα μπορεί να είναι χρήσιμα για την αντιμετώπιση δευτερογενών συμπτωμάτων, φαίνεται ότι η σημασία τους στην πρόληψη της καρδιαγγειακής νόσου είναι περιορισμένη. Εντούτοις, ο τρόπος ζωής, όπως η διατροφή και η σωματική άσκηση, έχει αποδειχθεί ως ένας σημαντικός παράγοντας για την πρόληψη καρδιαγγειακών νοσημάτων και την αποτελεσματικότητα της θεραπείας. Συνεπώς, η έμφαση θα πρέπει να δίνεται στην υγιεινή διατροφή και την τακτική άσκηση ως μέτρα πρόληψης και

αντιμετώπισης των καρδιαγγειακών νοσημάτων. (Mangge, Becker, Fuchs, & Gostner, 2014)

### 5.3 Αντιοξειδωτικά και καρκίνος

Ο καρκίνος είναι το πιο ανησυχητικό πρόβλημα υγείας που έχει λάβει παγκόσμια προσοχή τις τελευταίες δεκαετίες. Αυτήν τη στιγμή, είναι ο δεύτερος κύριος αίτιος θανάτου στις αναπτυσσόμενες χώρες, μετά την καρδιαγγειακή θνησιμότητα. Πάνω από 18 εκατομμύρια νέα περιστατικά καρκίνου -εκτός του μελανώματος- καταγράφηκαν παγκοσμίως το 2020, σύμφωνα με το Διεθνές Πρακτορείο Ερευνών για τον Καρκίνο. Μέχρι το 2030, αναμένεται να φτάσει τα 21,7 εκατομμύρια περιστατικά καρκίνου και 13 εκατομμύρια θανάτους από καρκίνο σε παγκόσμιο επίπεδο. Η αιτία για τη μελλοντική αυτή αύξηση οφείλεται σε φυσικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες, όπως είναι η ρύπανση, η υπεριώδης ακτινοβολία, η υιοθέτηση νέου τρόπου ζωής και η μη υγιεινή διατροφή (άσχημη διατροφή, έλλειψη φυσικής άσκησης, κάπνισμα κ.α.). Πιο συγκεκριμένα, η αυξημένη οξείδωση του DNA, των πρωτεϊνών και η αύξηση των επιπέδων των προϊόντων υπεροξείδωσης των λιπιδίων παίζουν σημαντικό ρόλο στην καρκινογένεση. Αυτά, συμβαίνουν εξαιτίας των ενδιάμεσων αντιδράσεων που προκύπτουν από το οξειδωτικό στρες. Τα προϊόντα όπως, η 8-υδροξυ-2-δεοξυγουανωσίνη, η μηλονδιαλδεϋδή (MDA), η 4-υδροξυ-2-νονενάλη (4-HNE) και οι καρβονυλιωμένες πρωτεΐνες, μπορεί να προκαλέσουν μεταλλάξεις. (Shams-White et al., 2019)

Τα αντιδραστικά είδη οξυγόνου και αζώτου, όπως το ανιόν υπεροξειδίου, το υπεροξειδίο του υδροξυλίου, η ρίζα υδροξυλίου και το μονοξειδίο του αζώτου, καθώς και οι βιολογικοί μεταβολίτες τους διαδραματίζουν επίσης σημαντικό ρόλο στην καρκινογένεση. Οι ROS προκαλούν βλάβες στο DNA, καθώς η αντίδραση των ελεύθερων ριζών με το DNA περιλαμβάνει τροποποίηση της βάσης σπασίματος της αλυσίδας και διασταυρούμενες συνδέσεις πρωτεϊνών του DNA. (Lobo, Patil, Phatak, & Chandra, 2010)

Τυχόν μετάλλαξη του DNA είναι ένα ζωτικό βήμα στην καρκινογένεση και αυξημένα επίπεδα οξειδωτικών αλλοιώσεων του DNA έχουν παρατηρηθεί σε διάφορους όγκους, εμπλέκοντας έντονα την οξειδωτική βλάβη στην αιτιολογία του καρκίνου (Sen & Chakraborty, 2011). Σε κάποιους καρκίνους, όπως αυτοί του πνεύμονα, του στομάχου, του παχέος εντέρου και του μαστού, έχει παρατηρηθεί αύξηση αυτών των προϊόντων, που σημαίνει πιθανή συσχέτιση με τον καρκίνο. Η

βαθύτερη κατανόηση των μηχανισμών που σχετίζονται με το οξειδωτικό στρες, έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη διαφόρων θεραπειών. (Shams-White et al., 2019)

Κατά την διάρκεια των τελευταίων χρόνων, έχει αναγνωριστεί ότι οι αντιοξειδωτικές ουσίες μπορούν να αποτελέσουν μία αποτελεσματική εναλλακτική θεραπεία που συνδυάζει θεραπευτικά και προληπτικά χαρακτηριστικά. Ταξινομούνται σε διάφορες ομάδες ανάλογα με τις ιδιότητές τους. Όμως, παρά τις αρχικές προσδοκίες, πρόσφατα επιστημονικά ευρήματα έχουν αμφισβητήσει την αποτελεσματικότητα ή και την ασφάλεια αυτών των θεραπειών, καθώς επίσης, υπάρχει σύγχυση γύρω από το κατά πόσο η χρήση των αντιοξειδωτικών είναι πραγματικά ωφέλιμη ή μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις στην θεραπεία του καρκίνου. Αξιοποιώντας τα δεδομένα των επιστημονικών μελετών, προτείνεται μία υγιεινή και ισορροπημένη διατροφή με έμφαση στην κατανάλωση φρούτων, λαχανικών και δημητριακών, η οποία συμβάλλει στη μείωση του κινδύνου εμφάνισης καρκίνου. Συγκεκριμένα, η υψηλή κατανάλωση φρούτων και λαχανικών συσχετίζεται με μειωμένο κίνδυνο εμφάνισης καρκίνου σε ορισμένα σημεία του εντέρου και του πεπτικού συστήματος. Αυτό το θετικό αποτέλεσμα οφείλεται σε μια πληθώρα θρεπτικών συστατικών που περιέχονται στα φρούτα και τα λαχανικά, και τα οποία συνεργαζόμενα μπορούν να ασκήσουν προστατευτική επίδραση κατά του καρκίνου. Αυτά περιλαμβάνουν, ορισμένες φυτικές ίνες, φυλλικό οξύ, βιταμίνη C και E, ιχνοστοιχεία όπως το σελήνιο, και κάποιες ουσίες με αντιοξειδωτικές και αντιφλεγμονώδεις δράσεις, όπως τα καροτενοειδή, τα φλαβονοειδή κ.α.. Είναι σημαντικό να τονισθεί ότι θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στα μη-αμυλώδη λαχανικά (καρότα, παντζάρια, πράσινα φυλλώδη λαχανικά) και σε φρούτα πλούσια σε ασκορβικό οξύ, καθώς μπορούν να βοηθήσουν στην πρόληψη της ανάπτυξης καρκίνου και να συμβάλουν στη γενικότερη υγεία του οργανισμού.

Επίσης, η κατανάλωση δημητριακών και γενικότερα τροφίμων πλούσιων σε φυτικές ίνες, όπως τα όσπρια, έχει συσχετιστεί με μειωμένο κίνδυνο εμφάνισης καρκίνου του παχέος εντέρου. Οι ευεργετικές ιδιότητες αυτών των τροφίμων οφείλονται κυρίως στις φυτικές ίνες που περιέχουν. Αυτές οι ίνες μπορούν να δράσουν προστατευτικά είτε δεσμεύοντας καρκινογόνα συστατικά, είτε αραιώνοντας το περιεχόμενο του εντέρου, είτε μειώνοντας το χρόνο διέλευσης τους μέσα από το γαστρεντερικό σύστημα. Επομένως, προτείνεται να δίνεται έμφαση στην κατανάλωση δημητριακών ολικής άλεσης και τροφίμων πλούσιων σε φυτικές ίνες, όπως τα όσπρια, προκειμένου να διατηρούμε υψηλή πρόσληψη φυτικών ινών, με τη

συνιστώμενη ποσότητα να αντιστοιχεί σε περίπου 30 γραμμάρια ημερησίως. (Shams-White et al., 2019), (Zahra et al., 2021)

Πειραματικές μελέτες, έχουν δείξει ότι ορισμένες βιταμίνες μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο για τον καρκίνο. Όσον αφορά την βιταμίνη C, έχει φανεί ότι η πρόσληψη της μέσω διατροφής ή συμπληρώματος συνδέεται με βελτιωμένη πρόοδο των ασθενών που αντιμετωπίζουν προχωρημένους καρκίνους του μαστού και του παγκρέατος. Τέλος, έχει επισημανθεί ότι το ασκορβικό οξύ μπορεί να αναστείλει την ανάπτυξη των όγκων και να μειώσει την επιθετικότητα τους, ιδίως σε γαστρικούς καρκίνους. Σχετικά με την βιταμίνη E, η έλλειψη της στην διατροφή σε πληθυσμούς της Βόρειας Ευρώπης και των ΗΠΑ συσχετίζεται με αυξημένο κίνδυνο εμφάνισης καρκίνου του παχέος εντέρου και του προστάτη. Αποτελεί ενδιαφέρον, ότι η βιταμίνη E επηρεάζει θετικά το γονίδιο p53, που έχει καθοριστικό ρόλο στην αντιμετώπιση των όγκων, ενώ παράλληλα μειώνει την έκφραση μεταλλαγμένων μορφών του. Επιπλέον, η βιταμίνη E, μαζί με διάφορες μορφές της, φυσικές και συνθετικές, εμφανίζει ισχυρή αντιοξειδωτική δράση, η οποία βοηθά στις θεραπείες για την αντιμετώπιση των παρενεργειών των αντικαρκινικών φαρμάκων.

Μια πολύ ενδιαφέρουσα μελέτη που ξεκίνησε το 1994, γνωστή ως ‘‘Supplements in Vitamins and Minerals Antioxidants’’ (SU.VI.MAX) μας παρουσίασε μία εξαιρετική οπτική της προστατευτικής επίδρασης των αντιοξειδωτικών στον οργανισμό. Σε αυτή την μελέτη, συμμετείχαν 5034 άνδρες και ελέγχθηκε πώς η καθημερινή πρόσληψη βιταμινών και ανόργανων συστατικών μπορεί να επηρεάσει τον κίνδυνο εμφάνισης καρκίνου του προστάτη. Συγκεκριμένα το συμπλήρωμα αποτελούνταν από ένα συνδυασμό αντιοξειδωτικών σε φυσιολογικές δόσεις, όπως συνθετικό β-καροτενίου (6 mg), τοκοφερόλη (30 mg), βιταμίνη C (120 mg), σελήνιο (100 μg) και ψευδάργυρο (20 mg), που χορηγήθηκε καθημερινά για 8 χρόνια. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι, αν και υπήρχε μία μικρή μείωση στην εμφάνιση του καρκίνου του προστάτη που σχετίζεται με τη συμπληρωματική χορήγηση, αυτή η μείωση δεν ήταν στατιστικά σημαντική. Ωστόσο, τα αποτελέσματα ήταν διαφορετικά όσον αφορά το PSA (ειδικό προστατικό αντιγόνο). Αναλυτικότερα, σε άνδρες με φυσιολογικό αρχικό PSA (<3 ng/mL), το συμπλήρωμα συσχετίστηκε με σημαντική μείωση του καρκίνου του προστάτη. Αυτό υποδηλώνει, ότι η κατανάλωση αντιοξειδωτικών βιταμινών και ανόργανων συστατικών αποτελεί προληπτική μέθοδος κατά του καρκίνου του προστάτη.

Οι φυτικές ενώσεις που αποκαλούμε φλαβονοειδή έχουν εμφανίσει σημαντικό δυναμικό στην πρόληψη του καρκίνου. Η σημασία αυτή των φλαβονοειδών ενισχύθηκε από μια πρόσφατη έρευνα που πραγματοποιήθηκε από την ομάδα των Bondonno και συνεργατών, η οποία μελέτησε τις διατροφικές συνήθειες σε εθνικό επίπεδο στη Δανία για 23 χρόνια. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η μέτρια κατανάλωση φλαβονοειδών συνδέεται με μείωση της συνολικής θνησιμότητας, συμπεριλαμβανομένης αυτής που σχετίζεται με τον καρκίνο. Αυτή η σύνδεση ήταν ιδιαίτερα εμφανής σε πληθυσμούς με υψηλό κίνδυνο, όπως καπνιστές και μεγάλους καταναλωτές αλκοόλ.

Αναδεικνύεται ιδιαίτερα η κερκετίνη, μία εξαιρετική φλαβονοειδής ένωση, για τις διφασικές της ιδιότητες στην οξειδωση. Σε συγκεντρώσεις από 1 έως 40 mM, η κερκετίνη λειτουργεί ως αντιοξειδωτικό, προστατεύοντας το κυτταρικό DNA από τις βλαβερές επιδράσεις των ελεύθερων ριζών. Ωστόσο, σε δόσεις άνω των 40 mM, μπορεί να δρα ως προοξειδωτικό, προκαλώντας την παραγωγή ελεύθερων ριζών που μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά την κυτταρική υγεία. Παράλληλα, η κερκετίνη αναστέλλει τη δραστηριότητα του παράγοντα NF-κB, ο οποίος ενεργοποιείται από τις ελεύθερες ρίζες. Ο NF-κB παίζει κρίσιμο ρόλο στη ρύθμιση των γονιδίων που συμβάλλουν στην ανάπτυξη του καρκίνου μέσω της φλεγμονής, της κυτταρικής ανάπτυξης, της διαφοροποίησης και της αγγειογένεσης.

Αυτές οι ευρήματα ενισχύουν την άποψη ότι η κατανάλωση τροφίμων πλούσιων σε φλαβονοειδή μπορεί να συμβάλει στην προστασία από τον καρκίνο και τις συναφείς ασθένειες. Ωστόσο, παραμένει σημαντικό να συνεχίσουμε την έρευνα και να εξετάσουμε την ολοκληρωμένη εικόνα της συνδρομής των φλαβονοειδών στην υγεία μας μέσω περαιτέρω επιστημονικών μελετών.

Η ενεργοποίηση του NF-κB μπορεί να προωθήσει την παραγωγή προσταγλανδινών μέσω του γονιδίου κυκλοοξυγενάσης-2 (COX-2), προωθώντας την αγγειογένεση και τη μετάσταση σε ορισμένα μοντέλα όγκων. Η αναστολή του NF-κB μπορεί να αντιστρέψει αυτές τις επιδράσεις, προσφέροντας τη δυνατότητα υποχώρησης του όγκου.

Επιπλέον, η κερκετίνη έχει αναδειχθεί ως προστατευτικός παράγοντας για το κυτταρικό DNA, συμβάλλοντας στην επιδιόρθωσή του. Αυτή η ιδιότητα είναι κρίσιμη στη διατήρηση της κυτταρικής ακεραιότητας και στην αποτροπή της διακυμάνσης του γονιδίου προς περαιτέρω καρκινογένεση. Έχει, επίσης, τη δυνατότητα να αναστείλει τον κυτταρικό πολλαπλασιασμό σε καρκινικά κύτταρα,

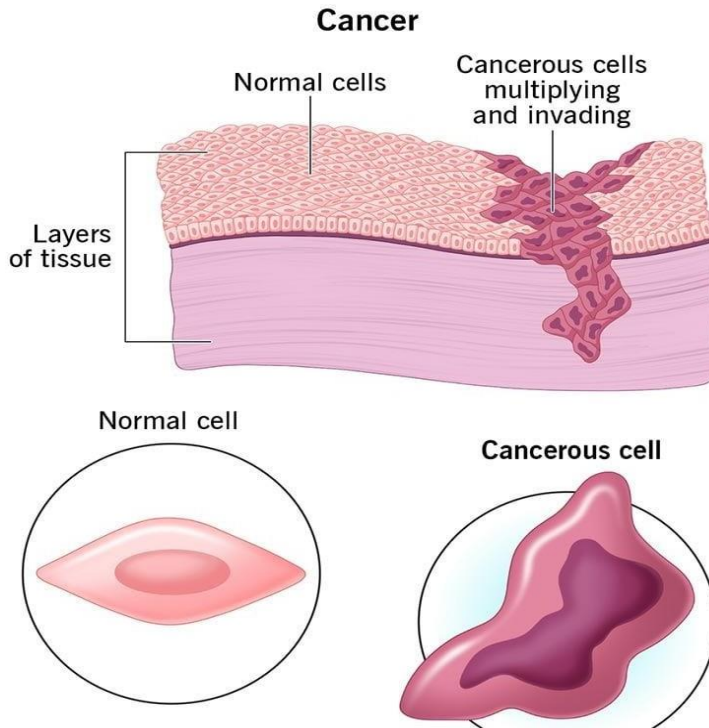
ενεργοποιώντας μηχανισμούς που ρυθμίζουν την πρόοδο του κυτταρικού κύκλου. Αυτό είναι κρίσιμο για την ελέγχου της ανεξέλεγκτης διάκρισης των καρκινικών κυττάρων και της πρόληψης της ανάπτυξης τους. (Zahra et al., 2021)

Σε συνολική ανταπόκριση προς τις πρόσφατες επιστημονικές έρευνες, αναδεικνύεται μια πολύ ενδιαφέρουσα σχέση μεταξύ της κατανάλωσης αντιοξειδωτικών ουσιών και της πρόληψης του καρκίνου. Τα αντιοξειδωτικά, που συχνά συνδέονται με φρούτα, λαχανικά και άλλες φυτικές πηγές, αναδεικνύουν τη δυναμική τους να παρέχουν προστασία στον οργανισμό μας.

Ο καρκίνος, ένα από τα πιο σοβαρά υγειονομικά ζητήματα παγκοσμίως, απαιτεί πολυσύνθετη προσέγγιση για την πρόληψη. Οι μελέτες έχουν δείξει ότι τα αντιοξειδωτικά μπορούν να ασκήσουν θετική επίδραση στην πρόληψη του καρκίνου μέσω της αντιμετώπισης του οξειδωτικού στρες και των ελεύθερων ριζών που σχετίζονται με την καρκινογένεση.

Οι φυτικές πηγές αντιοξειδωτικών, όπως η βιταμίνη C, η βιταμίνη E, τα καροτενοειδή, τα φλαβονοειδή και άλλες φυτοχημικές ουσίες, διαδραματίζουν έναν σημαντικό ρόλο στην αντιμετώπιση των οξειδωτικών διεργασιών και την προστασία των κυττάρων από βλάβες. Είναι αξιοσημείωτο ότι η κατανάλωση φρούτων, λαχανικών και άλλων φυτικών τροφίμων πλούσιων σε αντιοξειδωτικά συστατικά έχει συσχετιστεί με μειωμένο κίνδυνο καρκίνου.

Παρόλα αυτά, είναι σημαντικό να θυμόμαστε ότι η πρόληψη του καρκίνου είναι ένα πολυπλοκότατο ζήτημα, επηρεασμένο από πολλούς παράγοντες. Η διατροφή πλούσια σε τρόφιμα ολικής άλεσης, φρούτα, λαχανικά και όσπρια, αποτελεί ένα σημαντικό κομμάτι αυτής της προσπάθειας με ταυτόχρονο περιορισμό κατανάλωσης επεξεργασμένων τροφίμων και φαγητών τύπου “fast food” που είναι πλούσια σε “κακά” λιπαρά (κορεσμένα και trans), αλάτι και ζάχαρη. Εντούτοις, η υγιεινή διατροφή πρέπει να συνοδεύεται από έναν υγιή τρόπο ζωής γενικότερα, συμπεριλαμβανομένης της φυσικής άσκησης, της διατήρησης ενός υγιούς σωματικού βάρους, της τακτικής επισκόπησης υγείας, της αποφυγής πρόσληψης αναψυκτικών πλούσιων σε ζάχαρη και οινόπνευματος που αυξάνει σημαντικά τον κίνδυνο εμφάνισης καρκίνου του στόματος, του λάρυγγα και φάρυγγα, του οισοφάγου, του ήπατος, του παχέος εντέρου και του μαστού.



Εικόνα 24: Επιδράσεις καρκίνου

#### 5.4 Αντιοξειδωτικά και νευροεκφυλιστικές ασθένειες

Οι νευροεκφυλιστικές ασθένειες, όπως η νόσος Alzheimer (AD) και η νόσος του Πάρκινσον (PD), σχετίζονται με παθήσεις που εμφανίζονται συχνά με την πάροδο του χρόνου και επηρεάζουν το νευρικό σύστημα. Σε αυτές τις ασθένειες, ανιχνεύονται στον εγκέφαλο ανόργανες μορφές συγκεκριμένων πρωτεϊνών, οι οποίες δεν λειτουργούν κανονικά.

Στη νόσο Alzheimer, η οποία αποτελεί μία προοδευτική νευροεκφυλιστική διαταραχή που χαρακτηρίζεται από απώλεια μνήμης και διαταραχές της καθημερινής λειτουργικότητας, παρατηρούνται συσσωματώματα πρωτεϊνών, συμπεριλαμβανομένων των πλακών αμυλοειδούς β (Aβ), των συσσωμάτων tau, καθώς και ενδοεγκεφαλικοί νευροϊνδιακοί δεσμοί. Στη βιοχημική ανάλυση αυτών των πλακών, αποδείχθηκε ότι τα κύρια συστατικά είναι οι ινιδιακές συσσωματώσεις ενός τμήματος πεπτιδίου μεγέθους 39-42, το οποίο είναι γνωστό ως πρωτεΐνη Aβ. Το οξειδωτικό στρες, στη νόσο αυτή, μπορεί να επιδεινώσει το σχηματισμό πλακών αμυλοειδούς βήτα και δεσμών tau, να προωθήσει τη νευροφλεγμονή και να βλάψει τις νευρωνικές δομές. Από την άλλη, στη νόσο του Πάρκινσον, παρατηρείται εκφυλισμός των ντοπαμινεργικών νευρώνων στην ονομαζόμενη substantia nigra pars



compacta, με αποτέλεσμα την έλλειψη της νευροδιαβίβασης ντοπαμίνης και την εκδήλωση κινητικών δυσκολιών. Πιθανά συμπτώματα είναι συμπτωματική ακαμψία, η βραδυκινησία, η στάσιμη αστάθεια και ο τρόμος ηρεμίας. Ένα χαρακτηριστικό στοιχείο της ασθένειας είναι η παρουσία ενδοκυτταρικών εγκλεισμάτων, γνωστών ως σωματίδια Lewy, τα οποία περιέχουν συσσωματώσεις της πρωτεΐνης α-συνουκλείνη. (Enogieu, Haylett, Hiss, Bardien, & Ekro, 2018).

Υπάρχουν διάφοροι παράγοντες που επηρεάζουν τη σχηματισμό των ανωμαλιών σε αυτές τις ασθένειες. Ενώ η αιτία του νευρωτικού θανάτου φαίνεται να είναι πολυπαραγοντική, ένα σαφές στοιχείο είναι ότι το αυξημένο οξειδωτικό στρες συμβάλλει στην πάθηση. Αυτό αποδεικνύεται από την τροποποίηση των πλευρικών αλυσίδων των πρωτεϊνών είτε από αντιδραστικά είδη οξυγόνου (ROS) και αζώτου (RNS), είτε έμμεσα από προϊόντα υπεροξειδωσης λιπιδίων.

Αιτία του αυξημένου επιπέδου οξειδωτικού στρες στις νευροεκφυλιστικές ασθένειες είναι, η αυξημένη περιεκτικότητα σε σίδηρο (Fe) και χαλκό (Cu) στον εγκέφαλο, τα οποία μπορούν να προκαλέσουν τη δημιουργία ελευθέρων ριζών. Αυτές οι ελεύθερες ρίζες προκαλούν οξείδωση των πρωτεϊνών και του DNA στον εγκέφαλο, αυξάνοντας την υπεροξειδωση των λιπιδίων. Η υπεροξειδωση των λιπιδίων επηρεάζει τη δημιουργία ορισμένων μορίων όπως το MDA, το οποίο έχει τοξική δράση στα νευρικά κύτταρα. Επιπλέον, άλλοι παράγοντες όπως η φλεγμονή, η τοξική δράση του μονοξειδίου του αζώτου (NO), οι ελλείψεις στην εκκαθάριση των πρωτεϊνών και η δυσλειτουργία των μιτοχονδρίων συμβάλλουν στην αιτιολογία αυτών των νευρολογικών ασθενειών. Ακόμη, έχει προταθεί ότι αντιοξειδωτικά στοιχεία, όπως η γλουταθειόνη (GSH), η βιταμίνη C, η βιταμίνη E, το λιποϊκό οξύ, φλαβονοειδή (όπως η επιγαλλοκατεχίνη γαλλική - EGCG) και η κουρκουμίνη, μπορούν να λειτουργήσουν προστατευτικά για τα νευρικά κύτταρα και να μειώσουν τον κίνδυνο της νόσου Alzheimer ή ακόμα και να επιβραδύνουν την πρόοδό της.

Η βιταμίνη C (ασκορβικό οξύ) θεωρείται ως το κύριο αντιοξειδωτικό στην υδατική φάση. Στη φυσιολογική κατάσταση, περίπου το 99,9% της βιταμίνης C παρουσιάζεται σε μορφή αρνητικά ιονισμένης AscH<sup>-</sup>, ενώ μόνο μικρό ποσοστό βρίσκεται σε μορφή AscH<sub>2</sub> (0,05%) και Asc<sup>2-</sup> (0,004%). Η βιταμίνη C ασκεί την αντιοξειδωτική της δράση κυρίως ως AscH<sup>-</sup>.

Πρόσφατες έρευνες έχουν υποδείξει ότι η βιταμίνη E (α-τοκοφερόλη) και το ασκορβικό οξύ συνεργούν μεταξύ τους σε μια κυκλική διαδικασία. Κατά τη διάρκεια αντιοξειδωτικών αντιδράσεων, η α-τοκοφερόλη μετατρέπεται σε ρίζα α-τοκοφερόλης

με την παραχώρηση ενός ατόμου υδρογόνου, δημιουργώντας μια ρίζα υπεροξειδίου λιπιδίων ή λιπιδίων. Το υπεροξείδιο της α-τοκοφερόλης μπορεί στη συνέχεια να ανακατασταθεί στην αρχική μορφή της α-τοκοφερόλης από το ασκορβικό οξύ.

Επίσης, έχει διαπιστωθεί ότι ορισμένες νευροτοξικές μορφές του Amyloid-β, όπως τα Ab(1-42), Ab(1-40) και Ab(25-35), προκαλούν την οξείδωση του ασκορβικού οξέος με την εμπλοκή του χαλκού. Αυτό μπορεί να είναι σημαντικό για την παθογένεια της νόσου Alzheimer.

Με βάση μελέτες που έχουν γίνει, έχει παρατηρηθεί ότι τα επίπεδα ασκορβικού οξέος στο αίμα των ασθενών με νόσο Alzheimer είναι χαμηλότερα σε σύγκριση με τα άτομα ελέγχου. Η συνεργασία των βιταμινών C και E φαίνεται ότι είναι σημαντική, καθώς η κοινή τους παρουσία ενισχύει την προστασία από την οξείδωση, κυρίως σε ασθενείς με νόσο Alzheimer.

Η βιταμίνη E αντιπροσωπεύει το σημαντικότερο λιπόφιλο αντιοξειδωτικό στον εγκέφαλο, και η έλλειψη της μπορεί να σχετίζεται με την ανάπτυξη νευροεκφυλιστικών διαταραχών, όπως η νόσος Alzheimer (NA). Ερευνητικά δεδομένα υποδηλώνουν ότι η συμπληρωματική χορήγηση βιταμίνης E μπορεί να έχει θετικές επιπτώσεις στην ανάπτυξη και εξέλιξη της νόσου Alzheimer.

Σε μελέτες, έχει διαπιστωθεί ότι η συμπληρωματική χορήγηση βιταμίνης E συνδυασμένη με βιταμίνη C συνδέεται με μείωση του επιπολασμού και της επίπτωσης της νόσου Alzheimer. Οι συνδυασμένες επιδράσεις των αντιοξειδωτικών αυτών βιταμινών φαίνεται ότι ενισχύουν την προστασία από το οξειδωτικό στρες, με τη βιταμίνη E να συνδυάζεται με άλλες αντιοξειδωτικές ουσίες, όπως η ουβικινόλη-10 και η βιταμίνη C.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι επιδράσεις της βιταμίνης E μπορεί να εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες, όπως η χρονική στιγμή της έναρξης της θεραπείας, η διάρκεια της θεραπείας, η συνδυασμένη χρήση με άλλες αντιοξειδωτικές ουσίες και οι ατομικές γενετικές, περιβαλλοντικές και συμπεριφορικές διαφορές των ατόμων. Επιπλέον, η πρόληψη και η αντιμετώπιση της νόσου Alzheimer είναι πολύπλοκη διαδικασία που εξαρτάται από πολλούς παράγοντες και δεν μπορεί να αποτελέσει μοναδική λύση. (Jomová, Vondráková, Lawson, & Valko, 2010).

Έτσι, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι τα αντιοξειδωτικά παρουσιάζουν πολλά πιθανά οφέλη στην πρόληψη και θεραπεία της νόσου του Alzheimer. Ένα από αυτά είναι η νευροπροστασία, μέσω της μείωσης των ROS, της οξειδωτικής βλάβης στους νευρώνες και της πιθανής επιβράδυνσης της εξέλιξης της νόσου.

Επιπροσθέτως, τα αντιοξειδωτικά έχουν αντι-αμυλοειδείς και αντιφλεγμονώδεις ιδιότητες, καθώς ορισμένα αντιοξειδωτικά, όπως αυτά που περιέχονται στο πράσινο τσάι και στα μούρα, έχουν αποδειχθεί ότι μπορούν να μειώσουν τη συσσώρευση του αμυλοειδούς βήτα, μιας πρωτεΐνης που συνδέεται με τη νόσο, και ταυτόχρονα την απελευθέρωση προφλεγμονωδών μορίων, βοηθώντας στην ανακούφιση της νευροφλεγμονής. Η προστασία της μιτοχονδριακής λειτουργίας αποτελεί και αυτή ένα από τα πιθανά οφέλη των αντιοξειδωτικών, τα οποία είναι απαραίτητα για την παραγωγή ενέργειας στα κύτταρα και την πρόληψη του οξειδωτικού στρες, με αποτέλεσμα την επιβράδυνση του εκφυλισμού των νευρώνων. Τέλος, κάποια αντιοξειδωτικά σχετίζονται με βελτιωμένη γνωστική λειτουργία και μνήμη σε πειράματα με ζώα και ανθρώπους. Αυτό πιθανώς σχετίζεται με την προστασία των νευρώνων και την ενίσχυση της νευρωνικής επικοινωνίας.

Στο σύνολο των επιστημονικών ερευνών που ασχολούνται με τις νευροεκφυλιστικές ασθένειες, ο ρόλος των αντιοξειδωτικών έχει αποκτήσει ιδιαίτερη σημασία. Οι εξελίξεις στον τομέα αυτό ανοίγουν νέα προοπτικά για την κατανόηση και αντιμετώπιση αυτών των σοβαρών νευρολογικών παθήσεων.

Ενώ τα δυνητικά οφέλη των αντιοξειδωτικών στην πρόληψη και τη θεραπεία της νόσου του Alzheimer είναι πολλά υποσχόμενα, ανάλογη έρευνα έχει αναδείξει τον πιθανό ρόλο τους και στην νόσο του Parkinson. Τα αντιοξειδωτικά μπορούν να προστατεύουν τα νευρικά κύτταρα από την οξειδωτική ζημία που προκαλεί την εκδήλωση των συμπτωμάτων της νόσου, όπως οι τρόμοι, οι μύες σε στατική θέση και η δυσκαμψία.

Είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι η έρευνα για την αποτελεσματικότητα των αντιοξειδωτικών σε αυτές τις νευροεκφυλιστικές ασθένειες εξακολουθεί να είναι σε εξέλιξη.

Οι κλινικές δοκιμές που διερευνούν την αποτελεσματικότητα των αντιοξειδωτικών στη νόσο Αλτσχάιμερ έχουν δείξει μικτά αποτελέσματα, αναδεικνύοντας την πολυπλοκότητα της νόσου και την ανάγκη για εξατομικευμένες προσεγγίσεις.

Επιπλέον, η χρονική στιγμή των αντιοξειδωτικών παρεμβάσεων μπορεί να είναι κρίσιμη. Η πολύ καθυστερημένη παρέμβαση στη διαδικασία της νόσου μπορεί να περιορίσει τα δυνητικά οφέλη των αντιοξειδωτικών. Οι θεραπείες σε πρώιμο στάδιο ή οι προληπτικές στρατηγικές μπορεί να υπόσχονται περισσότερα.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι τα αντιοξειδωτικά συμπληρώματα δεν πρέπει να θεωρούνται ως υποκατάστατο μιας ισορροπημένης διατροφής πλούσιας σε φρούτα, λαχανικά και δημητριακά ολικής αλέσεως. Μια διατροφή πλούσια σε θρεπτικά συστατικά παρέχει μια σειρά αντιοξειδωτικών και άλλων βασικών θρεπτικών συστατικών που λειτουργούν συνεργικά για την υποστήριξη της συνολικής υγείας.

Συνολικά, οι εξελίξεις στον τομέα των αντιοξειδωτικών και η σχετική έρευνα αποκαλύπτουν υποσχόμενες διεξόδους για την κατανόηση και την αντιμετώπιση της νόσου του Alzheimer, καθώς και της νόσου του Parkinson. Η ανακάλυψη των πολυπλοκότητας αυτών των παθήσεων και ο τρόπος που τα αντιοξειδωτικά μπορούν να συνεργαστούν με τον οργανισμό ανοίγουν τον δρόμο για μελλοντικές θεραπευτικές προσεγγίσεις. Παρά τις προκλήσεις που εξακολουθούν να υπάρχουν, η προσπάθεια να δούμε πέρα από το ορίζοντα και να εξερευνήσουμε αυτές τις δυνατότητες προσφέρει ελπίδα για μια καλύτερη ποιότητα ζωής για όσους πάσχουν από αυτές τις σοβαρές νευροεκφυλιστικές ασθένειες.

### **5.5 Αντιοξειδωτικά και οφθαλμολογικές ασθένειες**

Το οξειδωτικό στρες αποτελεί έναν συνήθη παράγοντα που προκαλεί προβλήματα στα μάτια των ηλικιωμένων. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας παραγόντων όπως η υπερβολική χρήση οξυγόνου, η υψηλή συγκέντρωση λιπαρών οξέων και η πολύωρη έκθεση στο έντονο φως, που οδηγούν στην παραγωγή επιβλαβών οξυγονούχων σωματιδίων. Αυτό αποβαίνει σε βλάβη των κυττάρων των ματιών και δημιουργεί προβλήματα όρασης.

Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος, έχουν γίνει μελέτες διαφόρων συμπληρωμάτων διατροφής με αντιοξειδωτικές ιδιότητες. Αυτά τα συμπληρώματα, όπως τα καροτενοειδή, οι ανθοκυανίνες και οι βιταμίνες, μπορούν να βοηθήσουν στην προστασία της όρασης και ακόμη και στην αντιστροφή μικρών προβλημάτων όρασης.

Παραδείγματα πειραματικών μελετών έχουν δείξει τις ευεργετικές επιδράσεις αυτών των συμπληρωμάτων. Για παράδειγμα, το εκχύλισμα κρόκου μείωσε την πίεση στα μάτια σε ανθρώπους που πάσχουν από γλαύκωμα, ενώ το εκχύλισμα μύρτιλου προστάτευσε τους φακούς και τον αμφιβληστροειδή από βλάβες και ανακούφισε την ξηροφθαλμία.

Η σωστή φροντίδα των ματιών αποτελεί κρίσιμο στοιχείο για την διατήρηση της γενικής υγείας και ευεξίας. Η παραμελημένη προσοχή στην υγεία των ματιών μπορεί να συμβάλει στην ανάπτυξη ποικίλων οφθαλμικών παθήσεων, με αποτέλεσμα να πληγώνεται η όραση και να επηρεάζονται οι καθημερινές δραστηριότητες.

Αρχικά, αυτές οι παθήσεις μπορεί να φαίνονται λιγότερο σοβαρές, προκαλώντας μικρές ενοχλήσεις όπως ελαφρά φλεγμονή ή ερεθισμός. Ωστόσο, με το πέρασμα του χρόνου, μπορούν να εξελιχθούν σε πιο σοβαρές καταστάσεις, προκαλώντας μεγάλες οφθαλμικές βλάβες, μείωση της ποιότητας της όρασης ή ακόμη και ολική τύφλωση.

Παγκοσμίως, περίπου 250 εκατομμύρια άνθρωποι αντιμετωπίζουν κάποιο βαθμό απώλειας όρασης. Οι κύριες αιτίες απώλειας όρασης περιλαμβάνουν συνήθεις οφθαλμικές παθήσεις όπως ο καταρράκτης, η ηλικιακή εκφύλιση της ωχράς κηλίδας (AMD), το γλαύκωμα και η διαβητική αμφιβληστροειδοπάθεια (DR), τις οποίες συναντάμε σε μεγάλο βαθμό σε ηλικιωμένους. Αν και οι αιτίες των οφθαλμικών προβλημάτων που σχετίζονται με την ηλικία είναι πολύπλοκες και ποικίλες, το οξειδωτικό στρες έχει αποδειχθεί ως ένας κοινός παράγοντας. Όλοι αυτοί οι παράγοντες που έχουν προαναφερθεί συνεργάζονται για να δημιουργήσουν υπερβολικές ποσότητες επιβλαβών οξυγονούχων ειδών, γνωστών και ως ROS (Reactive Oxygen Species). Αυτές οι ελεύθερες ρίζες μπορούν να προκαλέσουν οξειδωτική βλάβη στο DNA, τις πρωτεΐνες και τα λιπίδια των κυττάρων, προκαλώντας βλάβες και επιβάρυνση της όρασης.

Τα καροτενοειδή, όπως η λουτεΐνη και η ζεαξανθίνη, που βρίσκονται στη ξανθοφύλλη, συγκεντρώνονται επιλεκτικά στους ιστούς που σχετίζονται με την όραση, όπως το μάτι και ο εγκέφαλος. Αυτές οι ουσίες υπάρχουν σχεδόν σε όλα τα μέρη του ματιού, εκτός από το υαλοειδές, τον κερατοειδή και τον σκληρό χιτώνα.

Ειδικά, η ωχρά κηλίδα περιέχει υψηλές συγκεντρώσεις λουτεΐνης και ζεαξανθίνης, ακόμα και 100 φορές υψηλότερες από άλλες περιοχές του ματιού. Η λουτεΐνη και η ζεαξανθίνη στην ωχρά κηλίδα απορροφούν μέχρι και το 90% του μπλε φωτός που προσπίπτει, προστατεύοντας τον αμφιβληστροειδή από βλαβερές επιδράσεις του φωτός και μειώνοντας τη διασπορά του φωτός. Παράλληλα, η παρουσία οξειδωμένων μεταβολιτών της λουτεΐνης και της ζεαξανθίνης σε δομές όπως το επιθήλιο της χρωστικής του αμφιβληστροειδούς (RPE), ο φακός και η ίριδα, υποδεικνύει την προστατευτική τους δράση απέναντι στο οξειδωτικό στρες. Μάλιστα, έρευνες έχουν δείξει ότι η λουτεΐνη και η ζεαξανθίνη αντιμετωπίζουν την αύξηση των επιβλαβών κυτταροκινών που προκαλούνται από την οξείδωση και επηρεάζουν την

έκφραση γονιδίων που συνδέονται με τη φλεγμονή. Επιπλέον, η λουτεΐνη και η ζεαξανθίνη έχουν επιδράσεις και στον αμφιβληστροειδή, όπου μειώνουν τα επίπεδα ενός ενζύμου που σχετίζεται με τη φλεγμονή και συνδέεται με την AMD.

Διάφορες μελέτες έχουν προσδιορίσει την αντίστροφη σχέση μεταξύ της παρουσίας της λουτεΐνης και της ζεαξανθίνης στον αμφιβληστροειδή και του κινδύνου για AMD. Συγκεκριμένα, αναφέρθηκε αύξηση της οπτικής πυκνότητας της ωχράς κηλίδας (MPOD) περίπου 16,8% έως 27,9%, καθώς και μικρή, αν και μη σημαντική, βελτίωση της οπτικής οξύτητας (VA) σε ασθενείς με AMD μετά τη λήψη συμπληρωμάτων λουτεΐνης για έξι μήνες και για ένα έτος. Μελέτες ηλεκτρορετινογραφίας (ERG) έδειξαν ότι τα συμπληρώματα καροτενοειδών που περιλαμβάνουν λουτεΐνη, ζεαξανθίνη και μεσο-ζεαξανθίνη μπορεί να βελτιώσουν την οπτική λειτουργία ασθενών με διαβήτη τύπου 2. Ειδικότερα, παρατηρήθηκε ότι η οπτική οξύτητα με τη βέλτιστη διόρθωση παρέμεινε φυσιολογική, ενώ το μέσο πάχος του κεντρικού φατνιακού ιστού αυξήθηκε σε κάθε οφθαλμό.

Επιπλέον, μια πολυεστιακή ηλεκτρορετινογραφική μελέτη ανέδειξε σημαντική αύξηση της πυκνότητας απόκρισης του αμφιβληστροειδούς γύρω από το fovea (στους κεντρικούς 3 δακτυλίους) και στους δύο οφθαλμούς δύο χρόνια μετά τη λήψη συμπληρωμάτων καροτενοειδών σε ασθενείς με διαβήτη τύπου 2. Μελέτες, με υγιή άτομα έδειξαν ότι η καθημερινή λήψη συμπληρωμάτων λουτεΐνης αύξησε την οπτική πυκνότητα της ωχράς κηλίδας (MPOD) και βελτίωσε την ευαισθησία στην αντίθεση και τη θάμβωση. Οι μελέτες αυτές υποδεικνύουν την πολλά υποσχόμενη δράση των καροτενοειδών, όπως η λουτεΐνη και η ζεαξανθίνη, στη βελτίωση της όρασης και της οπτικής λειτουργίας σε περιπτώσεις όπως η AMD και ο διαβήτης τύπου 2.

Υψηλότερα επίπεδα λουτεΐνης και ζεαξανθίνης στη διατροφή ή στο αίμα συσχετίζονται με μειωμένο κίνδυνο εμφάνισης νόσου της ωχράς κηλίδας. Πολλοί παράγοντες επηρεάζουν τον εκφυλισμό των χρωστικών της ωχράς κηλίδας, συμπεριλαμβανομένης της σωματικής αδράνειας, της κακής διατροφής, των χαμηλών επιπέδων λουτεΐνης και ζεαξανθίνης στη διατροφή και στον ορό, του καπνίσματος, των συνισταμένων του μεταβολικού συνδρόμου (όπως η παχυσαρκία, ο διαβήτης και η υπέρταση) και των κοινών παραλλαγών σε γονίδια που σχετίζονται με την οπτική πυκνότητα της χρωστικής της ωχράς κηλίδας (MPOD) και/ή τη λουτεΐνη και τη ζεαξανθίνη στον ορό. Οι παράγοντες αυτοί συμβάλλουν στην πρόβλεψη των πιθανοτήτων ανάπτυξης πρόωμης/ενδιάμεσης AMD.

Επίσης, έχει παρατηρηθεί μείωση του γενετικού κινδύνου για AMD μεταξύ ατόμων με υψηλή πρόσληψη λουτεΐνης και ζεαξανθίνης σε διάφορες κοορτές, όπως η μελέτη του Ρότερνταμ, μια συγκεντρωτική ανάλυση των μελετών Rotterdam και Blue Mountain Eye και η μελέτη Carotenoids in Age-related Eye Disease Study (CAREDS). Παρατηρήθηκε ότι άτομα που καταναλώνουν ποσά περίπου 5 έως 6 mg λουτεΐνης ημερησίως έχουν χαμηλότερα ποσοστά AMD. Το οφέλος αυτό μπορεί να αποδοθεί όχι μόνο στη λουτεΐνη και τη ζεαξανθίνη αλλά και στα άλλα καροτενοειδή που περιέχονται στις δίαιτες υψηλής περιεκτικότητας σε αυτά, τα οποία επίσης μπορούν να συμβάλλουν στη μείωση του κινδύνου.

Στην μελέτη Age-Related Eye Disease Study 2 (AREDS2), παρατηρήθηκε ότι η συμπερίληψη υψηλής δόσης λουτεΐνης (10 mg) και ζεαξανθίνης (2 mg) σε αντιοξειδωτικά συμπληρώματα δεν μείωσε την πρόοδο προς προχωρημένη AMD. Οι δευτερογενείς αναλύσεις έδειξαν μικρότερο κίνδυνο εξέλιξης σε άτομα με χαμηλά επίπεδα λουτεΐνης στη διατροφή ή όταν τα συμπληρώματα δεν περιείχαν β-καροτένιο. Ενδεχομένως, οι υψηλές δόσεις λουτεΐνης και ζεαξανθίνης να είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικές όταν συνδυάζονται με άλλα αντιοξειδωτικά συμπληρώματα.

Τελικά, παρατηρείται ότι δεν υπάρχει συνιστώμενη ημερήσια πρόσληψη για λουτεΐνη και ζεαξανθίνη, αλλά προτείνεται ότι η πρόσληψη λουτεΐνης πρέπει να είναι υψηλότερη από τη ζεαξανθίνη. Τα οφέλη από την ημερήσια πρόσληψη λουτεΐνης και ζεαξανθίνης έχουν αποδειχθεί σε διάφορες μελέτες, και αυτές οι ουσίες φαίνεται να συμβάλλουν στην προστασία της όρασης και στη μείωση του κινδύνου ανάπτυξης AMD.

Το *Crocus sativus* L., γνωστό ως κρόκος, έχει εκτενώς μελετηθεί λόγω των βασικών συστατικών του όπως οι κροκίνες, κροκετίνη, πικροκροκίνη και σαφρανάλη, τα οποία έχουν ισχυρές αντιοξειδωτικές ιδιότητες, καθώς και αντιφλεγμονώδη και αντι-αποπτωτικές επιδράσεις, πιθανόν μέσω της αναστολής της απόπτωσης με μεσολάβηση της κασπάσης μετά από βλάβη του αμιφιβληστροειδούς. Αυτά τα συστατικά επίσης αυξάνουν τη διάχυση του οξυγόνου και βελτιώνουν τη ροή του αίματος στον αμιφιβληστροειδή και το χοριοειδή. Μελέτες πάνω σε εκχύλισμα σαφράν υποδηλώνουν τη δυνατότητά του να παρέχει προστασία σε ασθενείς με γλαύκωμα.

Συγκεκριμένα, η παρακολούθηση ασθενών με πρωτοπαθές γλαύκωμα ανοικτής γωνίας έδειξε ότι η κατανάλωση υδατικού εκχυλίσματος σαφράν για τρεις εβδομάδες μείωσε την ενδοφθάλμια πίεση. Τα εκχυλίσματα κρόκου, τυποποιημένα σε 3% κροκίνη, έδειξαν επίσης μείωση της νευροφλεγμονής που σχετίζεται με την αυξημένη διορθωμένη ατμοσφαιρική πίεση.

Σημαντικό να σημειώσουμε ότι η απόδειξη της ασφάλειας και της αποτελεσματικότητας του κρόκου στην ανθρώπινη υγεία είναι ακόμη εν εξελίξει, με επιστημονικές έρευνες να χρειάζονται για να επιβεβαιωθούν αυτές οι ευεργετικές επιδράσεις σε μεγαλύτερη κλίμακα και με μεγαλύτερες χρονικές περιόδους. Ως παρενέργειες έχουν αναφερθεί κυρίως σε πολύ υψηλές δόσεις, ενώ η συνιστώμενη δόση φαίνεται να είναι 30 mg/ημέρα.

Από την άλλη, το μύρτιλλο (*Vaccinium myrtillus* L.) αποτελεί ένα φυτό από την οικογένεια Ericaceae και είναι πλούσιο σε ανθοκυανίνες, όπως η δελφινιδίνη, μαλβιδίνη, πετουνιδίνη, κυανιδίνη και πεονιδίνη. Οι ανθοκυανίνες αυτές έχουν αποδειχθεί ότι συμβάλλουν στην αποτελεσματικότητα του αμυντικού ένζυμου της οξυγενάσης της αίμης-1 (HO-1) και της S-τρανσφοράσης της γλουταθειόνης-ρι στα ανθρώπινα κύτταρα RPE. Μελέτες έχουν αποδείξει ότι το συμπλήρωμα εκχυλίσματος μύρτιλλου έχει θετική επίδραση στην προστασία των ματιών.

Σε πειράματα με αρουραίους που επλήγησαν από επιταχυνόμενη γήρανση, η συμπληρωματική χρήση εκχυλίσματος μύρτιλλου προλάμβανε την εκφύλιση της ωχράς κηλίδας και προστάτευε τους φακούς και το αμφιβληστροειδές. Επίσης, έχει διαπιστωθεί ότι το εκχύλισμα μύρτιλλου μειώνει τη φωτοεπαγόμενη απόπτωση και την οπτική δυσλειτουργία, μειώνοντας τα ROS και αποκαθιστώντας το στρες στο ενδοπλασματικό δίκτυο.

Η κατανάλωση συμπληρώματος εκχυλίσματος μύρτιλλου για 8 ή 12 εβδομάδες έχει αναφερθεί ότι βοηθά στη μείωση της οφθαλμικής κόπωσης που προκαλείται από τη χρήση οθονών και συνδέεται με την ανακούφιση των συμπτωμάτων της ξηροφθalmικής νόσου. Συνολικά, το εκχύλισμα μύρτιλλου φαίνεται να παρουσιάζει θετικές ιδιότητες για την όραση και την υγεία των ματιών, αλλά περαιτέρω ερευνητική εργασία είναι απαραίτητη για να επιβεβαιωθούν αυτά τα αποτελέσματα και να καθοριστούν οι βέλτιστες δόσεις και διαρκεία χρήσης.

Το β-καροτένιο είναι μια πορτοκαλί χρωστική ουσία που βρίσκεται συνήθως στα φρούτα και τα λαχανικά και ανήκει σε μια κατηγορία ενώσεων που ονομάζονται καροτενοειδή. Μεταξύ των καροτενοειδών, το β-καροτένιο είναι η κύρια διατροφική



πηγή προβιταμίνης A. Ως αντιοξειδωτικό, το β-καροτένιο προστατεύει το DNA από τη βλάβη που προκαλείται από ελεύθερες ρίζες και συνήθως συνδέεται με την υγεία των ματιών.

Η μελέτη Age-Related Eye Disease Study (AREDS) δείχνει ότι η καθημερινή κατανάλωση αντιοξειδωτικών βιταμινών και ανόργανων συστατικών (βιταμίνη C, βιταμίνη E, β-καροτένιο, ψευδάργυρος και χαλκός), μείωσε τον κίνδυνο εξέλιξης προχωρημένης μυοπάθειας (AMD) κατά 25% σε πέντε χρόνια. Ωστόσο, μια ανάλυση της μελέτης Age-Related Eye Disease Study 2 (AREDS2) ανέφερε ότι παρατηρείται αύξηση των πνευμονικών καρκίνων σε συμμετέχοντες που λαμβάνουν β-καροτένιο.

Παρά τις επιδημιολογικές μελέτες που δεν έχουν επιβεβαιώσει τη συσχέτιση μεταξύ της διατροφικής πρόσληψης βιταμίνης A και της μείωσης του κινδύνου για AMD, υψηλά επίπεδα κατανάλωσης βιταμίνης A, α-καροτενίου, λυκοπενίου και λουτεΐνης φαίνεται να συσχετίζονται με μειωμένο κίνδυνο εμφάνισης καταρράκτης. Συγκεκριμένα, υψηλές συγκεντρώσεις α-καροτενίου και β-καροτενίου στο πλάσμα συνδέονται με μειωμένο κίνδυνο πυρηνικής, φλοιώδους και οπίσθιου υποκαψικού καταρράκτης.

Είναι σημαντικό να προσέξουμε ότι, ενώ η υψηλή κατανάλωση β-καροτενίου μέσω της διατροφής θεωρείται ασφαλής, η συμπληρωματική λήψη σε πολύ υψηλές δόσεις πρέπει να γίνεται με προσοχή, ειδικά αν υπάρχει υψηλός κίνδυνος για καρκίνο του πνεύμονα. Μελέτες όπως η ATBC και η CARET δείχνουν ότι υψηλές δόσεις β-καροτενίου μπορεί να αυξήσουν τον κίνδυνο καρκίνου του πνεύμονα, ειδικά σε καπνιστές, λόγω των προ-οξειδωτικών επιδράσεων σε περιβάλλον με οξειδωτικό στρες. (Rasmussen & Johnson, 2013)

Λαμβάνοντας υπόψη ότι τα περισσότερα αντιοξειδωτικά δεν θεωρούνται απαραίτητα θρεπτικά συστατικά, οι περισσότερες υγειονομικές αρχές δεν έχουν ακόμη καθορίσει τις συνιστώμενες ημερήσιες προσλήψεις. Η διατροφή, το φύλο, τυχόν τροφικές δυσανεξίες και οι ποσότητες των θρεπτικών συστατικών στα τρόφιμα επίσης επηρεάζουν τη μέση ημερήσια πρόσληψη των ατόμων. Παρότι είναι προτιμότερο να καταναλώνουμε τρόφιμα που περιέχουν αντιοξειδωτικά, καθώς περιέχουν και άλλες θρεπτικές ουσίες, υπάρχουν συμπληρώματα διαθέσιμα για άτομα που χρειάζονται επιπλέον ποσότητες συγκεκριμένων θρεπτικών συστατικών που μπορεί να λείπουν ή να καταναλώνονται ανεπαρκώς.

Για παράδειγμα, υπάρχουν συμπληρώματα λουτεΐνης διαθέσιμα σε διάφορες δόσεις, όπως 5 mg έως 25 mg, με ή χωρίς ζεαξανθίνη. Για την υγεία των ματιών, συνιστάται η κατανάλωση 10 mg λουτεΐνης και 2 mg ζεαξανθίνης ημερησίως. Επίσης, συνιστάται η κατανάλωση 900 mg βιταμίνης A για άνδρες και 700 mg για γυναίκες καθημερινά, με μέγιστο ανεκτό επίπεδο πρόσληψης 3000 mg.

Όσον αφορά τις κλινικές μελέτες, υπάρχει ανάγκη για καθορισμό δόσεων, μορφών, μεθόδων εξαγωγής και αλληλεπιδράσεων με φάρμακα για να διασφαλιστεί η ασφάλεια και η αποτελεσματικότητα των θεραπειών.

Γενικά, παρά την περιορισμένη γνώση σχετικά με τις επιδράσεις των αντιοξειδωτικών σε οφθαλμικές παθήσεις, οι υπάρχουσες μελέτες δείχνουν συγκεκριμένες συνιστώμενες δόσεις που μπορούν να ενισχύσουν την οπτική λειτουργία και να αντιμετωπίσουν ορισμένες παθήσεις που συνδέονται με την ηλικία. Ωστόσο, η έλλειψη μακροπρόθεσμων μελετών αποτελεί πρόκληση για την κατανόηση της πλήρους επίδρασης των αντιοξειδωτικών στην οπτική υγεία. (Choo et al., 2022)

## **Κεφάλαιο 6: Μέθοδοι Μέτρησης και Εφαρμογές Αντιοξειδωτικών στα Τρόφιμα**

### **6.1 Γενικά**

Με όλα τα οφέλη των αντιοξειδωτικών που έχουν προηγηθεί συμπεραίνουμε πως ο ρόλος τους στη διατροφή διαδραματίζει κυρίαρχο και επιτακτικό ρόλο. Η διατροφή του ανθρώπου πρέπει να στηρίζεται κυρίως σε τροφές που περιέχουν αντιοξειδωτικά όπως τα φρούτα και τα λαχανικά και έτσι ο οργανισμός λαμβάνει πληθώρα τους και όχι μεμονωμένα ή συνδυασμό δύο - τριών όπως γίνεται με τα συμπληρώματα. Επίσης, η απορρόφηση των θρεπτικών συστατικών μέσω του πεπτικού συστήματος είναι απόλυτα ελεγχόμενη και σε ισορροπία ώστε να λαμβάνει ο κάθε οργανισμός αυτά που χρειάζεται και όχι μικρότερες ή μεγαλύτερες ποσότητες. Επομένως, η διατροφή του ανθρώπου πρέπει να έχει την ποικιλία που χρειάζεται από όλες τις ομάδες τροφίμων.

### **6.2 Μέθοδοι μέτρησης αντιοξειδωτικής δράσης στα τρόφιμα**

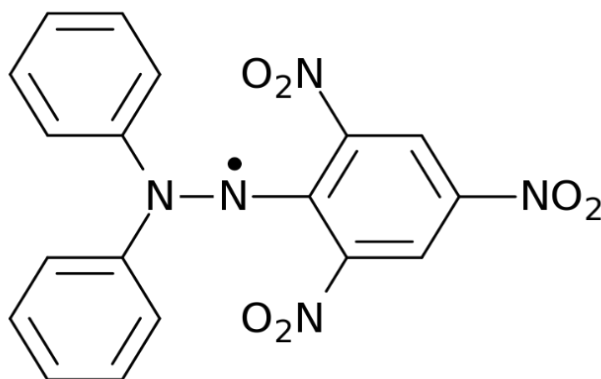
Για τη μέτρηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας των τροφών έχουν αναπτυχθεί ποικίλες μέθοδοι οι οποίες προέκυψαν από τη δυσκολία της μέτρησης κάθε αντιοξειδωτικού συστατικού ξεχωριστά διότι διαφέρουν και την αλληλεπίδραση διαφόρων αντιοξειδωτικών μεταξύ τους. (Wikipedia contributors, 2023) (Packer, 1999). Επιπλέον, κάθε βιομηχανία πρέπει να γνωρίζει την αντιοξειδωτική ικανότητακάθε συστατικού ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σωστά αλλά και να αποφευχθούν πιθανόν κίνδυνοι. (Halliwell, 1994)

Πιο συγκεκριμένα, η αντιοξειδωτική ικανότητα μετρά την αναστολή της οξείδωσης κάποιων υποστρωμάτων μέσω χημικών και αναλυτικών μεθόδων. Χωρίζονται σε δύο κατηγορίες αυτές που εκτιμούν τη λιπιδική υπεροξείδωση και αυτές που προσδιορίζουν τη δυνατότητα της δέσμευσης των ελεύθερων ριζών. (Sánchez-Moreno, 2002)

Οι μέθοδοι μέτρησης αντιοξειδωτικής δράσης που θα αναλυθούν είναι οι εξής: Μέθοδος DPPH, Μέθοδος ORAC, Μέθοδος TRAP, Μέθοδος TEAC, Μέθοδος FRAP.

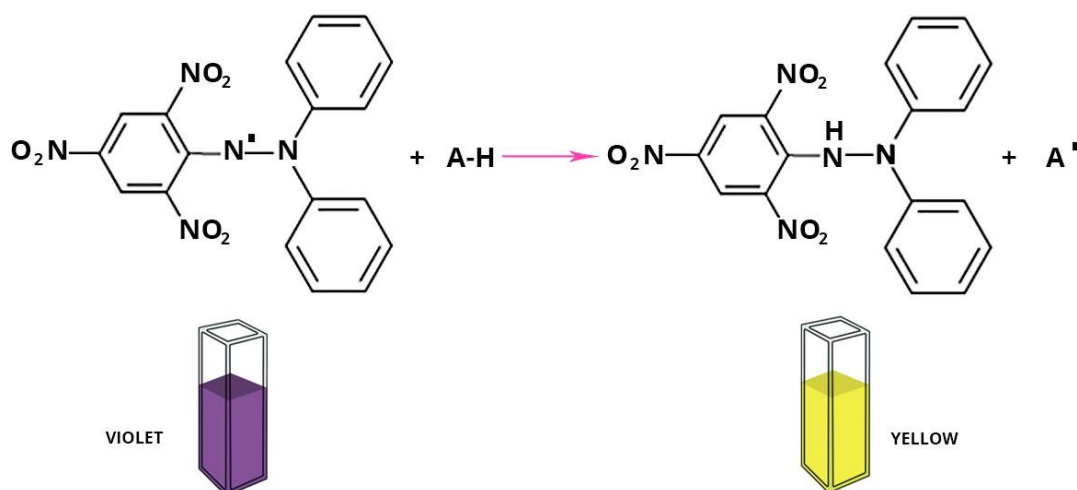
### 6.2.1 Μέθοδος DPPH

Η ρίζα DPPH (2,2-διφαινυλ-1-πικριλυδραζύλιο) (Εικόνα 24) είναι μια σταθερή οργανική ελεύθερη ρίζα η οποία δίνει ένα χαρακτηριστικό χρώμα που απορροφά στα 520 nm. Η σταθερότητά του οφείλεται στην μετακίνηση του ηλεκτρονίου σε όλο το μόριο μέσω των αζώτων και των βενζολικών δακτυλίων ενώ παράλληλα δεν 55 διμερίζεται όπως συμβαίνει με τις περισσότερες ρίζες (Pisoschi & Negulescu, 2012).



Εικόνα 25: Δομή DHHP

Με την επίδραση των αντιοξειδωτικών η ρίζα ανάγεται και το βιολετί χρώμα μετατρέπεται προς ελαφρύ κίτρινο ενώ η δράση τους μετρείται με φασματοφωτομετρία. (Karadag, Özcelik, & Saner, 2009) (Liang & Kitts, 2014).



Εικόνα 26: Μηχανισμός του 2,2-διφαινυλο-1-πικρυλ-υδραζύλου (DPPH) με αντιοξειδωτικό και αποχρωματισμός

Εκτός από φασματοφωτομετρία, για τη δοκιμασία αυτή χρησιμοποιείται και φασματοσκοπία συντονισμού spin ηλεκτρονίων η οποία βασίζεται στο γεγονός ότι η ένταση του σήματος της DPPH είναι αντιστρόφως ανάλογη με τη συγκέντρωση και το χρόνο αντίδρασης των αντιοξειδωτικών. (Sánchez-Moreno, 2002) Οι καλύτεροι διαλύτες για την μέθοδο αυτή είναι η αιθανόλη και η μεθανόλη. Η μέθοδος DPPH χρησιμοποιείται ευρέως για την μέτρηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας διάφορων φαινολικών ενώσεων και τροφίμων. Η διαδικασία του πειράματος πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή διότι η απορρόφηση της DPPH επηρεάζεται από τη συγκέντρωση οξυγόνου, την επίδραση του φωτός, το τύπο του διαλύτη και το ποσοστό υγρασία διότι το DPPH σχηματίζει σύμπλοκα και δεν αφήνει τα αντιοξειδωτικά να δράσουν. (Ozcelik et al, 2003), (Apak et al, 2007) (Magalhaes et al, 2008).

Η μέθοδος DPPH έχει και μειονεκτήματα. Το DPPH είναι ανόμοιο με τις ρίζες του οξυγόνου οπότε ενώ πολλά αντιοξειδωτικά δρουν ταχύτατα με τις υπερόξυ

ρίζες, με τη ρίζα DPPH να παρουσιάζουν αργή δράση. Ακόμα, όταν μετριούνται αντιοξειδωτικά με απορρόφηση κοντά στα 515 nm όπως τα καροτενοειδή, η φασματομετρία δεν ενδείκνυται για τη μέτρησή τους με αυτή τη μέθοδο (Prior et al, 2005).

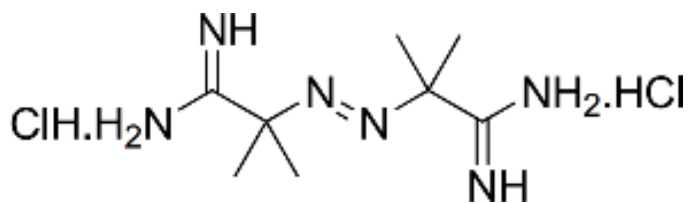
Πολύ σημαντικό μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι το DPPH είναι αρκετά ανόμοιο με τις ρίζες του οξυγόνου οπότε ενώ πολλά αντιοξειδωτικά δρουν ταχύτατα με τις υπερόξυ ρίζες, με τη ρίζα DPPH να παρουσιάζουν αργή δράση ή /και καθόλου. Επίσης, στα 515 nm απορροφούν αντιοξειδωτικά όπως τα καροτενοειδή που δεν ενδίκνυται για αυτή τη μέθοδο. (Prior et al, 2005). Η μέθοδος DPPH είναι απλή και γρήγορη για αυτό και χρησιμοποιείται ευρέως.

### **6.2.2 Μέθοδος ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity / Ικανότητα Απορροφητικότητας Ριζών Οξυγόνου)**

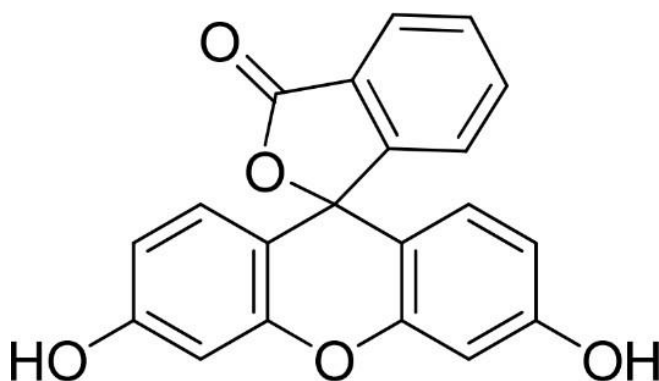
Η μέθοδος ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity / Ικανότητα Απορροφητικότητας Ριζών Οξυγόνου) είναι από τις κυριότερες μεθόδους μέτρησης αντιοξειδωτικής δράσης που αναπτύχθηκε από τους Cao, Alessio, και Cutler το 1993.

Βασίζεται στην ελάττωση του φθορισμού της πρωτεΐνης β-φυκοερυθρίνη (β-PE ) από την επίδραση ελεύθερων ριζών. Η β-PE επιλέχθηκε λόγω των μήκων κύματος στα οποία απορροφά, την μεγάλη απόδοση σε φθορισμό, την ευαισθησία της στις ROS και την καλή διαλυτότητά της στο νερό (MacDonald-Wicks, Wood, & Garg, 2006). Σκοπός της μεθόδου είναι η μέτρηση της ικανότητας των αντιοξειδωτικών να προστατεύουν την πρωτεΐνη ώστε να μην οξειδωθεί.

Κατά τη μέθοδο ORAC ως ελεύθερες ρίζες χρησιμοποιείται το 2,2'-αζοδις-(2-αμιδινοπροπανο)διϋδροχλωρίδιο (Εικόνα 26) που παράγει υπερόξυ ρίζες, το σύμπλοκο δισθενούς χαλκού με υπεροξείδιο του υδρογόνου που παράγει υδροξυλικές ρίζες και ο μονοσθενής χαλκός ο οποίος λειτουργεί ένα οξειδωτικό μέταλλο μεταπτώσεως. (Sánchez-Moreno, 2002)



Εικόνα 27: Δομή AAPH



Εικόνα 28: Δομή φλουροσκεΐνης

Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι ότι μέσω αυτής υπολογίζεται ο χρόνος που χρειάζεται για να γίνει η αναστολή της οξειδωσης από την δράση των αντιοξειδωτικών που υπάρχουν στο δείγμα που εξετάζεται κάθε φορά. Ένα ακόμα πλεονέκτημα της μεθόδου ORAC είναι ότι λειτουργεί τόσο για τα αντιοξειδωτικά που εμφανίζουν διακριτές λανθάνουσες φάσεις όσο και αυτών που δεν έχουν λανθάνουσες φάσεις. Αυτό βοηθά σε δείγματα τροφίμων που έχουν πολλά συστατικά και έχουν περίπλοκη αντίδραση. Επιπροσθέτως, η φλουροσκεΐνη είναι αρκετά οικονομική ενώ ο εξοπλισμός και η μέθοδος μέτρησης του φθορισμού είναι αρκετά αυτοματοποιημένη το οποίο κάνει τη μέθοδο ORAC προσβάσιμη (Ou, Huang, Hampsch-Woodill, Flanagan, & Deemer, 2002). Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα χρήσης διαφορετικών πηγών ελεύθερων ριζών ή οξειδωτικών ουσιών καθώς η ικανότητα κάθε αντιοξειδωτικού εξαρτάται και από την ελεύθερη ρίζα που αντιμετωπίζει.

Τα μειονεκτήματα είναι ότι θεωρείται δεδομένο ότι τόσο η οξειδωτική βλάβη όσο και η αντιοξειδωτική επανόρθωση της β-PE μπορεί να μιμηθεί κρίσιμα

βιολογικά υποστρώματα. Επίσης, η μέθοδος ORAC μετράει την αντιοξειδωτική ικανότητα μόνο ενάντια στις υπερόξυ και υδρόξυ ρίζες του οξυγόνου ενώ αν και με τη φλουορεσκεΐνη αντιμετωπίστηκαν κάποια μειονεκτήματα της β-PE αποδείχτηκε ότι είναι ευαίσθητη στο pH και χρειάζεται προσοχή στη χρήση της (MacDonald-Wicks et al, 2006).

### **6.2.3 Μέθοδος TRAP (Total Peroxyl Radical-Trapping Potential / Συνολικό Δυναμικό Παγίδευσης Ριζών Υπεροξειδίου)**

Η μέθοδος TRAP (Total Peroxyl Radical-Trapping Potential / Συνολικό Δυναμικό Παγίδευσης Ριζών Υπεροξειδίου) είναι μια δημοφιλής τεχνική η οποία βασίζεται στην αντίδραση υπεροξειδικών ριζών σε διάφορα υποστρώματα και μετρείται με φθορισμομετρία ή με χημειοφωταύγεια (Prior, Wu, & Schaich, 2005).. Σε αυτή τη μέθοδο ως πηγή υπεροξειδίων χρησιμοποιείται το AAPH και ως υπόστρωμα οξείδωσης η Rφουκοερυθρίνη, το 2,2'-αζινοδις(3-αιθυλβενζοδιαζολιν-6-σουλφονικό οξύ) με τη μέθοδο της φθορισμομετρίας (DeLange et al, 1989, Bartosz et al, 1998)

Η μέθοδος ακολουθεί κάποιες βασικές προϋποθέσεις που πρέπει να ακολουθούνται. Οι προϋποθέσεις είναι ότι το υπόστρωμα πρέπει να είναι ευαίσθητο σε μικρές συγκεντρώσεις ROO·, να υπάρχει μεγάλη φασματοσκοπική διαφορά ανάμεσα στο αυθεντικό και το οξειδωμένο και να μην πραγματοποιείται καμία αλυσιδωτή αντίδραση παραγωγής ριζών μετά την οξείδωση του υποστρώματος (Prior, Wu, & Schaich, 2005).

Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου TRAP είναι ότι μπορεί να μετρηθεί σωστά και με ακρίβεια ο ορός ή πλάσμα των μη ενζυμικών αντιοξειδωτικών λόγω της εξειδίκευσης σε αυτά (Wagner & Torgesen, 1987) .

Η μέθοδος έχει και μειονεκτήματα. Ένα από τα σημαντικότερα είναι η μεγάλη της δύναμη οπότε λόγω αυτής δημιουργούνται πολλά τελικά σημεία και είναι αδύνατον να υπάρχουν συγκρίσιμα αποτελέσματα μεταξύ των εργαστηρίων. Έτσι, δεν καταλήγει η μέθοδος σε κάποιο συμπέρασμα. Άλλο ένα μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι προσδιορίζεται η αντιοξειδωτική ικανότητα μέσω της λανθάνουσας φάσης που συνδέεται με την διακοπή της συσσώρευσης των οξειδωμένων προϊόντων λόγω

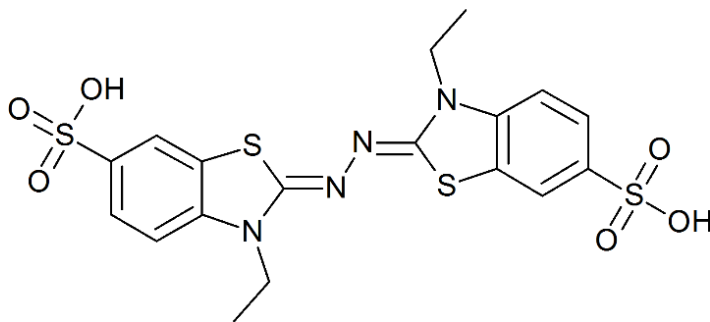


της παρουσίας των αντιοξειδωτικών (Arak et al, 2007) ενώ δεν περιέχουν όλα τα αντιοξειδωτικά εμφανείς λανθάνουσες φάσεις (Magalhães, Segundo, Reis, & Lima, 2008).

Τέλος, συμπεραίνουμε ότι η οξειδοαναγωγική αντίδραση του φθορίζοντος / φωτεινού υποστρώματος δεν είναι απαραίτητο ότι μιμείται κρίσιμα βιολογικά υποστρώματα.

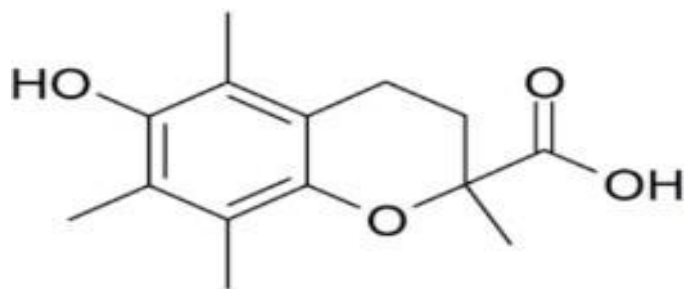
#### **6.2.4 Μέθοδος TEAC (Trolox Equivalent Antioxidant Capacity / Αντιοξειδωτική Ικανότητα σε Ισοδύναμα Trolox)**

Η μέθοδος TEAC (Trolox Equivalent Antioxidant Capacity / Αντιοξειδωτική Ικανότητα σε Ισοδύναμα Trolox) εφευρέθηκε από τον Miller το 1993 και στηρίζεται στη μέτρηση της ικανότητας των αντιοξειδωτικών να αδρανοποιούν το ριζικό κατιόν  $ABTS^{\cdot+}$ . Το κατιόν αυτό χρωματίζεται έντονα και έχει ένα χαρακτηριστικό φάσμα απορρόφησης με μέγιστη απορρόφηση στα 415 nm και δευτερεύουσες στα 660, 734, και 820 nm. Η αρχική μέθοδος στηρίζεται στην ενεργοποίηση της μυοσφαιρίνης, που ενεργεί ως υπεροξειδάση, με  $H_2O_2$  μέσω του σχηματισμού της οξείδωσης του ιόντος σιδήρου η οποία στη συνέχεια οξειδώνει το ABTS προς την αντίστοιχη κατιονική ρίζα του η οποία όταν επιδρούν τα αντιοξειδωτικά αποχρωματίζεται και έτσι μετριέται η δράση τους σε μονάδες Trolox (Roginsky & Lissi 2005).



*Εικόνα 29: Δομή ABTS*

Το Trolox είναι μια αντιοξειδωτική υδατοδιαλυτή ουσία (Εικόνα 29) ανάλογη της βιταμίνης E η οποία χρησιμοποιείται ως μονάδα μέτρησης σε αυτή τη μέθοδο (Re et al, 1999).



Εικόνα 30: Δομή Trolox

Κατά τη διάρκεια της ένα ποσοστό του κατιόντος και η εναπομείνασα συγκέντρωση μετά την επίδραση των αντιοξειδωτικών μετριέται για μεγαλύτερη ακρίβεια (Magalhaes et al, 2008).

Ωστόσο, οι χημικές αντιδράσεις χρειάζονται μεγάλο χρονικό διάστημα ώστε να ολοκληρωθούν ή υψηλή θερμοκρασία ενώ η δράση των ενζύμων είναι ταχύτερη και οι συνθήκες ηπιότερες (Prior et al, 2005). Η κατιονική ρίζα του ABTS είναι διαλυτή τόσο σε υδατικούς διαλύτες όσο και σε οργανικούς ενώ δεν επηρεάζεται από το ιοντικό τους φορτίο και αυτό είναι θετικό καθώς μπορεί να συμμετέχει στις μετρήσεις λιπόφιλων και υδρόφιλων αντιοξειδωτικών.

Επιπλέον, Η μέθοδος TEAC που βασίζεται στην παραγωγή ριζών από μνοσφαιρίνη και H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> μετρά μόνο τα υδρόφιλα αντιοξειδωτικά και για τα λιπόφιλα χρησιμοποιείται αυτή με το διοξείδιο του μαγγανίου. Ενώ, αν χρησιμοποιηθεί ως διαλύτης η μεθανόλη τότε μετριούνται και τα δύο είδη αντιοξειδωτικών υδρόφιλα και λιπόφιλα. (Schlesier, Harwat, Böhm, & Bitsch, 2002)

Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι ότι πραγματοποιείται εύκολα και επιτρέπει μεγάλο εύρος pH παρόλο που συνήθως χρησιμοποιείται στα pH 7.4. Όσο για τα μειονεκτήματα, η μέτρηση γίνεται με βάση αν αντιδρά με τη ρίζα ABTS και όχι με την αντιοξειδωτική ικανότητα του προς μελέτη δείγματος. Επιπλέον, είναι ότι πραγματοποιείται με αργό ρυθμό και μπορεί να διακοπεί πριν φτάσει στο τελικό σημείο (Huang, Ou, & Prior, 2005).

### 6.2.5 Μέθοδος FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power / Αντιοξειδωτική Ισχύς Αναγωγής Τρισθενούς Σιδήρου)

Η μέθοδος FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power / Αντιοξειδωτική Ισχύς Αναγωγής Τρισθενούς Σιδήρου) στηρίζεται στην ικανότητα των αντιοξειδωτικών ενώσεων να ανάγουν το σύμπλοκο τρισθενούς σιδήρου – τριπυριδυλτριαζίνης (Fe(III)-TPTZ) χρώματος κίτρινου προς το αντίστοιχο δισθενούς χρώματος κυανού (Benzie & Strain, 1999).

Η εναλλαγή του χρώματος υπολογίζεται με τη βοήθεια της φασματοφωτομετρίας, όπου το μπλε χρώμα ανιχνεύεται στα 593 nm ενώ ως οξειδωτικό χρησιμοποιείται άλας του σιδήρου το οποίο εμφανίζει παρόμοια δράση με το ABTS. Επιπλέον, η τεχνική FRAP χρειάζεται όξινο περιβάλλον pH= 3.6 για να διατηρείται η διαλυτότητα του σιδήρου το οποίο δεν εφαρμόζεται στα βιολογικά συστήματα. Μια μονάδα FRAP ισοδυναμεί με την αναγωγή ενός mol Fe(III) προς Fe(II). Η μέθοδος αυτή κατά τον προσδιορισμό της αντιοξειδωτικής ικανότητας τροφίμων βασίζεται στο γεγονός ότι καθώς ο δισθενής σίδηρος είναι προ-οξειδωτικό αυτό σημαίνει ότι οι ενώσεις που αναστέλλουν τη δράση του είναι αντιοξειδωτικές αλλά αυτό δεν ισχύει για όλες αυτές τις ενώσεις (Prior & Cao, 1999). Αυτό σημαίνει ότι κάθε ουσία που δρα ως δότης ηλεκτρονίων μπορεί να συνεισφέρει στη μέτρηση της FRAP ακόμα και αν δεν είναι αντιοξειδωτική και έτσι να προκύψει σφάλμα (Nilsson, Reidy, Dynesius, & Revenga, 2005).



Εικόνα 31: Δομή του συμπλόκου του σιδήρου με TPTZ

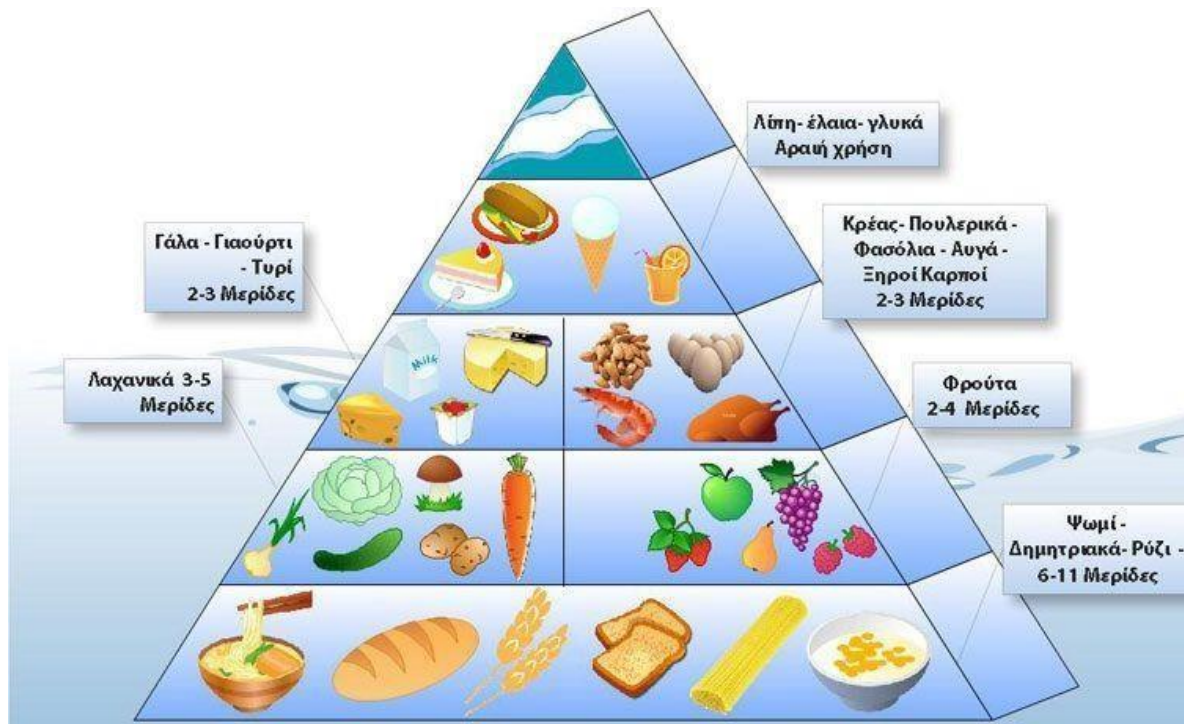
Τα ελλατώματα της μεθόδου είναι αρκετά όπως ότι τα ισοδύναμα FRAP δεν αντιστοιχούν με τον αριθμό ηλεκτρονίων που μεταφέρονται. Για παράδειγμα, το ασκορβικό οξύ και η χολερυθρίνη είναι δότες δύο ηλεκτρονίων αλλά τα αποτελέσματα της FRAP δείχνουν ότι το ασκορβικό οξύ ανάγει δύο άτομα σιδήρου και η χολερυθρίνη τέσσερα οπότε η μέθοδος χάνει την αξιοπιστία της.

### **6.3 Βασικές τροφές που λειτουργούν ως αντιοξειδωτικά στα τρόφιμα**

Η διατροφή του ανθρώπου όταν είναι σωστή προσλαμβάνονται όλα τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά και η σωστή πρόσληψη αντιοξειδωτικών ουσιών. Οι διατροφικές ανάγκες θα πρέπει να καλύπτονται σε όλα τα στάδια της ζωής, καθώς η διατροφική κατάσταση στο ένα στάδιο της ζωής επηρεάζει την κατάσταση της υγείας στα επόμενα. (Κανέλλου, Μαρκάρη & Γραμματικοπούλου, 2016).

Ένα από τα κυριότερα μοντέλα διατροφής που περιέχει όλα τα απαραίτητα συστατικά είναι η Μεσογειακή διατροφή. Η Μεσογειακή διατροφή ακολουθείται στην Ελλάδα και σε άλλες μεσογειακές χώρες και προάγει την καλή υγεία.

Η Μεσογειακή Διατροφή είναι ένα διατροφικό μοντέλο που εκτιμάται παγκοσμίως ότι ανήκει στον πολιτιστικό, ιστορικό, κοινωνικό, εδαφικό και περιβαλλοντικό χώρο και συνδέεται στενά με τον τρόπο ζωής των λαών της Μεσογείου κατά τη διάρκεια της ιστορίας τους. Η Μεσογειακή Διατροφή βελτιώνει την ποιότητα και την ασφάλεια των. (ALTOMARE, et al., 2013)



Εικόνα 32: Μοντέλο Μεσογειακής Διατροφής

Η μεσογειακή διατροφή σύμφωνα με την πυραμίδα (Εικόνα 25) φαίνεται πως επιμένει στην καθημερινή λήψη φρούτων και λαχανικών. Τα φρούτα και τα λαχανικά διαδραματίζουν κυρίαρχο ρόλο ως αντιοξειδωτικά. Συνεπώς, η Μεσογειακή διατροφή συμβάλλει στη πρόσληψη αντιοξειδωτικών στον ανθρώπινο οργανισμό. Πολλές μελέτες έχουν υπολογίσει την αντιοξειδωτική ικανότητα κάθε τροφίμου. Αυτός ο υπολογισμός γίνεται με τις μεθόδους μέτρησης αντιοξειδωτικής ικανότητας που προαναφέρθηκαν.

Μία μελέτη προήλθε από το επιστημονικό άρθρο (Pellegrini et al., 2003), που βρέθηκαν τα εξής αποτελέσματα:

Φρούτο	FRAP		TRAP		TEAC	
	Τιμή	Βαθμός	Τιμή	Βαθμός	Τιμή	Βαθμός
	<i>(mmol Fe<sup>2+</sup>/kg FW<sup>3</sup>)</i>		<i>(mmol Trolox/kg FW)</i>			
Μήλο (κόκκινο νόστιμο)	3.84	24	2.23	20	1.59	22
Μήλο (κίτρινο χρυσό)	3.23	26	1.54	24	1.31	25
Βερίκοκο	4.02	23	2.29	19	1.44	24

Μπανάνα	2.28	28	1.05	27	0.64	30
Βατόμουρο	51.53	1	21.01	1	20.24	1
Βακκινίων	18.61	9	9.30	7	7.43	10
Κεράσι	8.10	16	4.17	12	2.69	16
Κλημεντίνη	8.88	15	2.74	16	3.10	14
Σύκο	5.82	20	2.06	21	2.47	18
Σταφύλι (μαύρο)	11.09	12	2.50	17	3.85	13
Σταφύλι (λευκό)	3.25	25	1.59	23	2.48	17
Γκρέιπφρουτ (κίτρινο)	10.20	13	4.04	13	3.05	15
Ακτινίδιο	7.41	17	2.30	18	2.28	19
Μούσμουλο	2.70	27	1.73	22	0.75	27
Πεπόνι (πεπόνι)	5.73	21	0.95	28	1.20	26
Πεπόνι (μελίτωμα)	2.27	29	1.12	26	0.65	29
Λαδί (μαύρο)	39.99	4	18.08	2	14.73	3
Ελιά (πράσινο)	24.59	6	14.64	3	10.43	7
Πορτοκάλι	20.50	8	5.65	11	8.74	9
Ροδάκινο (κίτρινο)	6.57	19	1.49	25	1.67	21
Αχλάδι	5.00	22	3.87	14	2.19	20
Ανανάς	15.73	10	5.92	10	9.91	8
Δαμάσκηνο (κόκκινο)	12.79	11	8.09	9	5.11	11
Φραγκόσυκο	6.97	18	2.06	21	1.46	23
Σμέουρο	43.03	3	10.48	5	16.79	2
Φραγκοστάφυλο	44.86	2	12.14	4	14.05	4
Φράουλα (καλλιεργούμενη)	22.74	7	8.56	8	10.94	6
Φράουλα (άγρια)	28.00	5	10.34	6	11.34	5
Μανταρίνι	9.60	14	2.76	15	4.16	12
Καρπούζι	1.13	30	0.46	29	0.69	28

Πίνακας 7 : Ολική αντιοξειδωτική ικανότητα φρούτων και λαχανικών

(Pellegrini et al, 2003)

Μία πιο πρόσφατη μελέτη έδειξε και αυτή τη σημαντικότητα της Μεσογειακής διατροφής στη λήψη αντιοξειδωτικών. (Carlsen et al., 2010)

	mmol / 100g
Δημητριακά	1.09
Σοκολάτες - Γλυκά	4.93
Γαλακτοκομικά	0.14
Επιδόρπια	0.45
Αυγά	0.04
Θαλασσινά	0.11
Φρούτα	1.25
Προϊόντα ολικής	0.34
Βότανα	91.72
Όσπρια	0.48
Κρέατα	0.31
Καρποί	4.57
Πουλερικά	0.23
Συμπληρώματα βιταμινών	98.58
Λαχανικά	0.80

Πίνακας 8: Ολική αντιοξειδωτική ικανότητα ομάδων τροφίμων

(Carlsen et al, 2010)

Η μελέτη αυτή αν και πιο πλήρης είναι περισσότερο γενική αφού δίνει την αντιοξειδωτική ικανότητα των ομάδων τροφίμων και όχι για κάθε τρόφιμο ξεχωριστά. Συνολικά, ωστόσο, η υιοθέτηση της Μεσογειακής διατροφής οδηγεί σε πιο υγιή ζωή και αντιμετωπίζει με μεγαλύτερη ευκολία ποικίλες ασθένειες, αφού, μεταξύ άλλων παρέχει και όλα τα απαραίτητα, όπως είδαμε πιο πάνω, αντιοξειδωτικά και στην πλέον κατάλληλη και αποτελεσματική μορφή τους.

Συμπερασματικά, με βάση τα προαναφερθέντα επιστημονικά ευρήματα -και παρότι οι σχετικές έρευνες συνεχίζονται με ταχείς ρυθμούς – είναι ασφαλές να θεωρήσουμε ήδη ως δεδομένο πως ό,τι ονομάζουμε “υγιεινή διατροφή” πρέπει να

δίνει ιδιαίτερη έμφαση στην πρόληψη άφθονων αντιοξειδωτικών ουσιών μέσα μια ποικιλία φυτικών, ανεπεξέργαστων τροφών, ανάμεσα στις οποίες εξέχουσα θέση έχουν τα φρούτα, τα λαχανικά, τα όσπρια, οι ξηροί καρποί, τα δημητριακά ολικής αλέσεως και τα ωφέλιμα λιπαρά. Οι καταναλωτές πρέπει να είναι επαρκώς ενημερωμένοι ώστε να μπορούν να κάνουν τις κατάλληλες διατροφικές επιλογές, που, σε συνδυασμό και με άλλους παράγοντες που προαναφέρθηκαν -φυσική άσκηση, αποφυγή αλκοόλ και καπνίσματος, κ.λπ.- μπορούν να οδηγήσουν σε καλύτερη υγεία, αλλά και ποιότητα και προσδόκιμο ζωής. (Κανέλλου, Μαρκάρη & Γραμματικοπούλου, 2016).



## Ξένη Βιβλιογραφία

1. : (n.d.). Retrieved from [http://195.134.76.37/chemicals/chem\\_lycopene.htm](http://195.134.76.37/chemicals/chem_lycopene.htm)
2. Abdel-Salam, S. (2018a). WITHDRAWN: Combined calcitonin gene-related peptide receptor antagonist, MK-8825, and caffeine as potential therapeutic target in the nitroglycerin-induced rat migraine model (MK-8825 and caffeine in migraine). *Alexandria Journal of Medicine*, 54(4).  
<https://doi.org/10.4314/bafm.v54i4>
3. Alara, O. R., Abdurahman, N. H., & Ukaegbu, C. I. (2021a). Extraction of phenolic compounds: A review. *Current Research in Food Science*, 4, 200–214. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2021.03.011>
4. Amini-Khoei, H., Boroujeni, S. N., Lorigooini, Z., Salehi, A., Sadeghian, R., & Amini-Khoei, H. (2021a). Implication of nitrenergic system in the anticonvulsant effects of ferulic acid in pentylenetetrazole-induced seizures in male mice. *Journal of Basic and Clinical Physiology and Pharmacology*, 34(2), 197–203. <https://doi.org/10.1515/jbcpp-2020-0496>
5. Andersen, O. M., & Markham, K. R. (2005). *Flavonoids: Chemistry, Biochemistry and Applications*. CRC Press.
6. Apak, R., Güçlü, K., Demirata, B., Özyürek, M., Çelik, S. E., Bektaşoğlu, B., . . . Ozyurt, D. (2007a). Comparative Evaluation of Various Total Antioxidant Capacity Assays Applied to Phenolic Compounds with the CUPRAC Assay. *Molecules*, 12(7), 1496–1547. <https://doi.org/10.3390/12071496>
7. Augustyniak, A., Bartosz, G., Čipak, A., Дубырс, Г., Horáková, P., Łuczaj, W., . . . Žarković, N. (2010). Natural and synthetic antioxidants: An updated overview. *Free Radical Research*, 44(10), 1216–1262.  
<https://doi.org/10.3109/10715762.2010.508495>

8. Del Río, L. A. (2015). ROS and RNS in plant physiology: an overview. *Journal of Experimental Botany*, 66(10), 2827–2837.  
<https://doi.org/10.1093/jxb/erv099>
9. Batta, A. K. (2016). URIC ACID IS A SIGNIFICANT ANTIOXIDANT. *ResearchGate*. Retrieved from  
[https://www.researchgate.net/publication/314290872\\_URIC\\_ACID\\_IS\\_A\\_SIGNIFICANT\\_ANTIOXIDANT#fullTextFileContent](https://www.researchgate.net/publication/314290872_URIC_ACID_IS_A_SIGNIFICANT_ANTIOXIDANT#fullTextFileContent)
10. Benzie, I. F., & Strain, S. (1999). [2] Ferric reducing/antioxidant power assay: Direct measure of total antioxidant activity of biological fluids and modified version for simultaneous measurement of total antioxidant power and ascorbic acid concentration. In *Methods in Enzymology* (pp. 15–27).  
[https://doi.org/10.1016/s0076-6879\(99\)99005-5](https://doi.org/10.1016/s0076-6879(99)99005-5)
11. Brancaccio, M., Mennitti, C., Cesaro, A., Fimiani, F., Vano, M., Gargiulo, B., . . . Scudiero, O. (2022a). The biological role of vitamins in athletes' muscle, heart and microbiota. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(3), 1249. <https://doi.org/10.3390/ijerph19031249>
12. Buonocore, G., Perrone, S., & Tataranno, M. L. (2010). Oxygen toxicity: chemistry and biology of reactive oxygen species. *Seminars in Fetal & Neonatal Medicine*, 15(4), 186–190.  
<https://doi.org/10.1016/j.siny.2010.04.003>
13. Carlsen, M. H., Halvorsen, B., Holte, K. A., Bøhn, S. K., Dragland, S., Sampson, L..... Blomhoff, R. (2010). The total antioxidant content of more than 3100 foods, beverages, spices, herbs and supplements used worldwide. *Nutrition Journal*, 9(1). <https://doi.org/10.1186/1475-2891-9-3>

14. Carocho, M., & Ferreira, I. C. (2013). A review on antioxidants, prooxidants and related controversy: Natural and synthetic compounds, screening and analysis methodologies and future perspectives. *Food and Chemical Toxicology*, *51*, 15–25. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2012.09.021>
15. Carr, A. C. (2017). Symposium on Vitamin C, 15th September 2017; part of the Linus Pauling Institute's 9th International Conference on Diet and Optimum Health. *Antioxidants*, *6*(4), 94. <https://doi.org/10.3390/antiox6040094>
16. Catoni, C., Peters, A., & Schaefer, H. M. (2008). Life history trade-offs are influenced by the diversity, availability and interactions of dietary antioxidants. *Animal Behaviour*, *76*(4), 1107–1119. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2008.05.027>
17. Cheynier, V. (2012a). Phenolic compounds: from plants to foods. *Phytochemistry Reviews*, *11*(2–3), 153–177. <https://doi.org/10.1007/s11101-012-9242-8>
18. Chong, J., Poutaraud, A., & Huguency, P. (2009). Metabolism and roles of stilbenes in plants. *Plant Science*, *177*(3), 143–155. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2009.05.012>
19. Choo, P. P., Woi, P. J., Bastion, M. C., Omar, R., Mustapha, M., & Din, N. M. (2022). Review of Evidence for the usage of Antioxidants for eye aging. *BioMed Research International*, *2022*, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2022/5810373>
20. De Beer, D., Joubert, E., Gelderblom, W. C. A., & Manley, M. (2017). Phenolic Compounds: A Review of Their Possible Role as In Vivo Antioxidants of Wine. *South African Journal of Enology & Viticulture*, *23*(2). <https://doi.org/10.21548/23-2-2155>

21. Del Río, L. A. (2015). ROS and RNS in plant physiology: an overview. *Journal of Experimental Botany*, 66(10), 2827–2837.  
<https://doi.org/10.1093/jxb/erv099>
22. Di Meo, S., Reed, T. T., Venditti, P., & Víctor, V. M. (2016). Role of ROS and RNS sources in physiological and pathological conditions. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2016, 1–44.  
<https://doi.org/10.1155/2016/1245049>
23. Eggersdorfer, M., & Wyss, A. (2018). Carotenoids in human nutrition and health. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 652, 18–26.  
<https://doi.org/10.1016/j.abb.2018.06.001>
24. Enogieru, A. B., Haylett, W., Hiss, D. C., Bardien, S., & Ekpo, O. E. (2018). Rutin as a potent antioxidant: Implications for neurodegenerative disorders. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2018, 1–17.  
<https://doi.org/10.1155/2018/6241017>
25. Gowder, S. J. T. (2015). *Basic principles and clinical significance of oxidative stress*. BoD – Books on Demand.
26. Halliwell, B. (1994). Free radicals, antioxidants, and human disease: curiosity, cause, or consequence? *The Lancet*, 344(8924), 721–724.  
[https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(94\)92211-x](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(94)92211-x)
27. Hambidge, M. (2000). Human zinc deficiency. *Journal of Nutrition*, 130(5), 1344S-1349S. <https://doi.org/10.1093/jn/130.5.1344s>

28. History of polymeric composites. (n.d.). Retrieved from [https://books.google.gr/books?hl=en&lr=&id=cVHBqhdIEisC&oi=fnd&pg=PA223&dq=history+of+antioxidants&ots=1MbZvDAXie&sig=qGX4Unmb229xyzJDhXfjbrUBBj0&redir\\_esc=y#v=onepage&q=history%20of%20antioxidants&f=false](https://books.google.gr/books?hl=en&lr=&id=cVHBqhdIEisC&oi=fnd&pg=PA223&dq=history+of+antioxidants&ots=1MbZvDAXie&sig=qGX4Unmb229xyzJDhXfjbrUBBj0&redir_esc=y#v=onepage&q=history%20of%20antioxidants&f=false)
29. Huang, D., Ou, B., & Prior, R. L. (2005). The Chemistry behind Antioxidant Capacity Assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(6), 1841–1856. <https://doi.org/10.1021/jf030723c>
30. Ibrahim, S. A., Kerkadi, A., & Agouni, A. (2019a). Selenium and Health: An update on the situation in the Middle East and North Africa. *Nutrients*, 11(7), 1457. <https://doi.org/10.3390/nu11071457>
31. Jideani, A. I. O., Silungwe, H., Takalani, T., Omolola, A. O., Udeh, H. O., & Anyasi, T. A. (2021). Antioxidant-rich natural fruit and vegetable products and human health. *International Journal of Food Properties*, 24(1), 41–67. <https://doi.org/10.1080/10942912.2020.1866597>
32. Jomová, K., Vondráková, D., Lawson, M., & Valko, M. (2010). Metals, oxidative stress and neurodegenerative disorders. *Molecular and Cellular Biochemistry*, 345(1–2), 91–104. <https://doi.org/10.1007/s11010-010-0563-x>
33. K, M. a. K. (2023a). The Science of Antioxidants: Balancing the Pros and Cons for our Health. *Journal of Pharmacology and Pharmacotherapeutics*. <https://doi.org/10.1177/0976500x231182792>

34. Kabel, A. M. (2014). Free radicals and antioxidants: role of enzymes and nutrition. *World Journal of Nutrition and Health*, 2(3), 35–38.  
<https://doi.org/10.12691/jnh-2-3-2>
35. Karadag, A., Özçelik, B., & Saner, S. (2009a). Review of methods to determine antioxidant capacities. *Food Analytical Methods*, 2(1), 41–60.  
<https://doi.org/10.1007/s12161-008-9067-7>
36. Kharouf, N., Haikel, Y., & Ball, V. (2020). Polyphenols in Dental Applications. *Bioengineering*, 7(3), 72.  
<https://doi.org/10.3390/bioengineering7030072>
37. Kumar, S., Abedin, M. M., Singh, A. K., & Das, S. (2020a). Role of phenolic compounds in Plant-Defensive mechanisms. In *Springer eBooks* (pp. 517–532). [https://doi.org/10.1007/978-981-15-4890-1\\_22](https://doi.org/10.1007/978-981-15-4890-1_22)
38. Leonte, D., Ungureanu, D., & Zaharia, V. (2023). Flavones and related compounds: synthesis and biological activity. *Molecules*, 28(18), 6528.  
<https://doi.org/10.3390/molecules28186528>
39. Liang, N., & Kitts, D. D. (2014). Antioxidant Property of Coffee Components: Assessment of Methods that Define Mechanisms of Action. *Molecules*, 19(11), 19180–19208. <https://doi.org/10.3390/molecules191119180>
40. Lobo, V., Patil, A., Phatak, A., & Chandra, N. (2010a). Free radicals, antioxidants and functional foods: Impact on human health. *Pharmacognosy Reviews*, 4(8), 118. <https://doi.org/10.4103/0973-7847.70902>

41. Lobo, V., Patil, A., Phatak, A., & Chandra, N. (2010e). Free radicals, antioxidants and functional foods: Impact on human health. *Pharmacognosy Reviews*, 4(8), 118. <https://doi.org/10.4103/0973-7847.70902>
42. Lone, R., Shuab, R., & Kamili, A. N. (2020). *Plant phenolics in sustainable agriculture: Volume 1*. Springer Nature.
43. MacDonald-Wicks, L., Wood, L. G., & Garg, M. L. (2006a). Methodology for the determination of biological antioxidant capacity in vitro: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(13), 2046–2056. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2603>
44. MacDonald-Wicks, L., Wood, L. G., & Garg, M. L. (2006b). Methodology for the determination of biological antioxidant capacity in vitro: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(13), 2046–2056. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2603>
45. Magalhães, L. M., Segundo, M. A., Reis, S., & Lima, J. L. (2008a). Methodological aspects about in vitro evaluation of antioxidant properties. *Analytica Chimica Acta*, 613(1), 1–19. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2008.02.047>
46. Mangge, H., Becker, K., Fuchs, D., & Gostner, J. M. (2014a). Antioxidants, inflammation and cardiovascular disease. *World Journal of Cardiology*, 6(6), 462. <https://doi.org/10.4330/wjc.v6.i6.462>
47. Martín, J., Navas, M., Jiménez-Moreno, A. M., & Asuero, A. G. (2017). Anthocyanin pigments: importance, sample preparation and extraction. In *InTech eBooks*. <https://doi.org/10.5772/66892>

48. Müller, L., Caris-Veyrat, C., Lowe, G. L., & Böhm, V. (2015). Lycopene and its Antioxidant Role in the Prevention of Cardiovascular Diseases—A Critical Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(11), 1868–1879. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.801827>
49. Naidu, K. A. (2003). Vitamin C in human health and disease is still a mystery? An overview. *Nutrition Journal*, 2(1). <https://doi.org/10.1186/1475-2891-2-7>
50. Nilsson, C., Reidy, C. A., Dynesius, M., & Revenga, C. (2005). Fragmentation and flow regulation of the world's large river systems. *Science*, 308(5720), 405–408. <https://doi.org/10.1126/science.1107887>
51. Nimse, S. B., & Pal, D. (2015a). Free radicals, natural antioxidants, and their reaction mechanisms. *RSC Advances*, 5(35), 27986–28006. <https://doi.org/10.1039/c4ra13315c>
52. Office of Dietary Supplements - Vitamin E. (n.d.-a). Retrieved from <https://ods.od.nih.gov/factsheets/VitaminE-HealthProfessional>
53. Oroian, M., & Escriche, I. (2015). Antioxidants: Characterization, natural sources, extraction and analysis. *Food Research International*, 74, 10–36. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.04.018>
54. Ou, B., Huang, D., Hampsch-Woodill, M., Flanagan, A. J. A., & Deemer, E. K. (2002). Analysis of antioxidant activities of common vegetables employing oxygen Radical Absorbance Capacity (ORAC) and ferric reducing Antioxidant Power (FRAP) assays: a comparative study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(11), 3122–3128. <https://doi.org/10.1021/jf0116606>
55. Padayatty, S. J., Katz, A., Wang, Y., Eck, P., Kwon, O., Lee, J., . . . Levine, M. (2003). Vitamin C as an antioxidant: Evaluation of its role in Disease



- Prevention. *Journal of the American College of Nutrition*, 22(1), 18–35.  
<https://doi.org/10.1080/07315724.2003.10719272>
56. Panche, A. N., Diwan, A. D., & Chandra, S. (2016). Flavonoids: an overview. *Journal of Nutritional Science*, 5. <https://doi.org/10.1017/jns.2016.41>
57. Pandey, K. B., & Rizvi, S. I. (2009). Plant polyphenols as dietary antioxidants in human health and disease. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2(5), 270–278. <https://doi.org/10.4161/oxim.2.5.9498>
58. Pellegrini, N., Serafini, M., Colombi, B., Del Rio, D., Salvatore, S., Bianchi, M., & Brighenti, F. (2003). Total Antioxidant Capacity of Plant Foods, Beverages and Oils Consumed in Italy Assessed by Three Different In Vitro Assays. *Journal of Nutrition*, 133(9), 2812–2819.  
<https://doi.org/10.1093/jn/133.9.2812>
59. Petrucci, G., Rizzi, A., Hatem, D., Tosti, G., Rocca, B., & Pitocco, D. (2022). Role of oxidative stress in the pathogenesis of atherothrombotic diseases. *Antioxidants*, 11(7), 1408. <https://doi.org/10.3390/antiox11071408>
60. Pisoschi, A. M., & A, P. (2015). The role of antioxidants in the chemistry of oxidative stress: A review. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 97, 55–74. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2015.04.040>
61. Pisoschi, A. M., & Negulescu, G. P. (2012). Methods for Total Antioxidant Activity Determination: A review. *Biochemistry & Analytical Biochemistry*, 01(01). <https://doi.org/10.4172/2161-1009.1000106>
62. Prior, R. L., & Cao, G. (1999). In vivo total antioxidant capacity: comparison of different analytical methods1. *Free Radical Biology and Medicine*, 27(11–12), 1173–1181. [https://doi.org/10.1016/s0891-5849\(99\)00203-8](https://doi.org/10.1016/s0891-5849(99)00203-8)

63. Prior, R. L., Wu, X., & Schaich, K. M. (2005a). Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(10), 4290–4302. <https://doi.org/10.1021/jf0502698>
64. *Phytochemical Methods, A guide to modern techniques of plant analysis* (third edition), J.B Harborne, Chapman and Hall
65. Quideau, S., Deffieux, D., Douat, C., & Pouységu, L. (2011). Plant polyphenols: chemical properties, biological activities, and synthesis. *Angewandte Chemie*, 50(3), 586–621. <https://doi.org/10.1002/anie.201000044>
66. Rao, P. S., Kalva, S., Yerramilli, A., & Mamidi, S. (2011). Free radicals and tissue damage: role of antioxidants. *Free Radicals and Antioxidants*, 1(4), 2–7. <https://doi.org/10.5530/ax.2011.4.2>
67. Rasmussen, H., & Johnson, E. J. (2013). Nutrients for the aging eye. *Clinical Interventions in Aging*, 741. <https://doi.org/10.2147/cia.s45399>
68. Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A. R., Pannala, A. S., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9–10), 1231–1237. [https://doi.org/10.1016/s0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/s0891-5849(98)00315-3)
69. Roginsky, V. A., & Lissi, E. A. (2005). Review of methods to determine chain-breaking antioxidant activity in food. *Food Chemistry*, 92(2), 235–254. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.08.004>
70. Rysz, J., Błaszczak, R., Banach, M., Kędziora–Kornatowska, K., Kornatowski, T., Tański, W., & Kędziora, J. (2007). Evaluation of selected parameters of the antioxidative system in patients with type 2 diabetes in different periods of metabolic compensation. *Archivum Immunologiae Et Therapiae Experimentalis*, 55(5), 335–340. <https://doi.org/10.1007/s00005-007-0033-7>

71. Sánchez-Moreno, C. (2002a). Review: Methods used to evaluate the free radical scavenging activity in foods and biological systems. *Food Science and Technology International*, 8(3), 121–137.  
<https://doi.org/10.1177/1082013202008003770>
72. Scalbert, A., Manach, C., Morand, C., Rémésy, C., & Jiménez, L. (2005). Dietary polyphenols and the prevention of diseases. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 45(4), 287–306.  
<https://doi.org/10.1080/1040869059096>
73. Schlesier, K., Harwat, M., Böhm, V., & Bitsch, R. (2002). Assessment of Antioxidant Activity by Using Different In Vitro Methods. *Free Radical Research*, 36(2), 177–187. <https://doi.org/10.1080/10715760290006411>
74. Seklizioti, E. (n.d.). Λουτεΐνη και Ζεαξανθίνη: Πως επιδρούν στην όραση; | medNutrition. Retrieved from <https://www.mednutrition.gr/portal/ygeia/alles-pathiseis/15824-louteini-kai-zeaksanthini-pos-epidroyn-stin-orasi>
75. Sen, S., & Chakraborty, R. (2011). The role of antioxidants in human health. In *Acs Symposium Series* (pp. 1–37). <https://doi.org/10.1021/bk-2011-1083.ch001>
76. Shahidi, F., & Ambigaipalan, P. (2015). Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects – A review. *Journal of Functional Foods*, 18, 820–897. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.06.018>
77. Shahidi, F., Janitha, P. K., & Wanasundara, P. D. (1992). Phenolic antioxidants. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 32(1), 67–103.  
<https://doi.org/10.1080/10408399209527581>
78. Shahidi, F., & Zhong, Y. (2015). Measurement of antioxidant activity. *Journal of Functional Foods*, 18, 757–781. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.01.047>

79. Shams-White, M., Brockton, N. T., Mitrou, P., Romaguera, D., Brown, S., Bender, A ..... Reedy, J. (2019). Operationalizing the 2018 World Cancer Research Fund/American Institute for Cancer Research (WCRF/AICR) Cancer Prevention Recommendations: a standardized scoring system. *Nutrients*, *11*(7), 1572. <https://doi.org/10.3390/nu11071572>
80. Thorat, I. D., Jagtap, D. D., Mohapatra, D., Joshi, D. C., Sutar, R. F., & Kapdi, S. S. (2013). Antioxidants, their properties, uses in food products and their legal implications. *International Journal of Food Studies*, *2*(1). <https://doi.org/10.7455/ijfs/2.1.2013.a7>
81. Tsao, R. (2010). Chemistry and biochemistry of dietary polyphenols. *Nutrients*, *2*(12), 1231–1246. <https://doi.org/10.3390/nu2121231>
82. Vitamins as antioxidants. (n.d.). Retrieved from (Sinbad, Folorunsho, Olabisi, Ayoola & Temitope,2019) <http://www.fortunejournals.com/articles/vitamins-as-antioxidants.html>
83. Vuolo, M. M., Lima, V. S., & Maróstica, M. R., Junior. (2019). Phenolic compounds. In *Elsevier eBooks* (pp. 33–50). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-814774-0.00002-5>
84. Wagner, R. K., & Torgesen, J. K. (1987). The nature of phonological processing and its causal role in the acquisition of reading skills. *Psychological Bulletin*, *101*(2), 192–212. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.101.2.192>
85. Wang, S., Melnyk, J. P., Tsao, R., & Marcone, M. F. (2011). How natural dietary antioxidants in fruits, vegetables and legumes promote vascular health. *Food Research International*, *44*(1), 14–22. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.09.028>

86. Widmer, R. J., Flammer, A. J., Lerman, L. O., & Lerman, A. (2015). The Mediterranean Diet, its Components, and Cardiovascular Disease. *The American Journal of Medicine*, *128*(3), 229–238. <https://doi.org/10.1016/j.amjmed.2014.10.014>
87. Wikipedia contributors. (2023). 1999 Green Bay Packers season. *Wikipedia*. Retrieved from [https://en.wikipedia.org/wiki/1999\\_Green\\_Bay\\_Packers\\_season](https://en.wikipedia.org/wiki/1999_Green_Bay_Packers_season)
88. Wong, J. (2018). *Polyphenols*. BoD – Books on Demand.
89. Young, I. S. (2001). Antioxidants in health and disease. *Journal of Clinical Pathology*, *54*(3), 176–186. <https://doi.org/10.1136/jcp.54.3.176>
90. Younus, H. (2018, June 1). Therapeutic potentials of superoxide dismutase. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5969776/>
91. Zahra, K. F., Lefter, R., Ali, A., Abdellah, E., Truş, C., Ciobîcă, A., & Timofte, D. (2021). The involvement of the oxidative stress status in cancer pathology: A double view on the role of the antioxidants. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, *2021*, 1–25. <https://doi.org/10.1155/2021/9965916>

## Ελληνική Βιβλιογραφία

1. Δασκάλου, Έ. (2021, January 10). Μάθε τα πάντα για τον ψευδάργυρο!  
Retrieved from <https://www.vita4you.gr/blog-vita4you/el/item/mathe-ta-panta-gia-ton-psevdargyro.html>
2. Ελεύθερες ρίζες. <http://www.zeolitecyprus.com/wp-content/uploads/2017/11/%CE%95%CE%BB%CE%B5%CF%85%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%B5%CF%82-%CF%81%CE%B9%CE%B6%CE%B5%CF%82.pdf>
3. Κοτροκόης Κ. και Παπαδογιαννάκης Ε. (2009). Διατροφή και Χημεία τροφίμων στην δημόσια υγεία.
4. Κανέλλου Α. , Μαρκάκη Α. και Γραμματικοπούλου Μ. (2016). Η Διατροφή στον Κύκλο της Ζωής
5. Σφλώμος Κ. και Χούγουλα Δ. (2020). Ειδικά Θέματα Χημείας Τροφίμων