



Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής
Σχολή Δημόσιας Υγείας
Τμήμα Πολιτικών Δημόσιας Υγείας
ΠΜΣ Δημόσιας Υγείας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΤΡΟΦΙΜΑ ΠΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΥΝ ΑΝΤΙΟΞΕΙΔΩΤΙΚΑ ΚΑΙ ΟΙ
ΩΦΕΛΕΙΕΣ ΤΟΥΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟ»**

ΘΕΟΔΩΡΟΠΟΥΛΟΥ ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ

A.M. MDY 20015

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΚΟΤΡΟΚΟΗΣ ΚΩΣΤΑΣ

Αθήνα- Δεκέμβριος 2022



Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής
Σχολή Δημόσιας Υγείας
Τμήμα Πολιτικών Δημόσιας Υγείας
ΠΜΣ Δημόσιας Υγείας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΤΡΟΦΙΜΑ ΠΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΥΝ ΑΝΤΙΟΞΕΙΔΩΤΙΚΑ ΚΑΙ ΟΙ
ΩΦΕΛΕΙΕΣ ΤΟΥΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟ»**

ΘΕΟΔΩΡΟΠΟΥΛΟΥ ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ

A.M. MDY 20015

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής

**Κοτροκόης Κώστας
Ναϊρ-Τόνια Βασιλάκου
Αρετή Τσόγκα**

Αθήνα-Δεκέμβριος 2022



Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής
Σχολή Δημόσιας Υγείας
Τμήμα Πολιτικών Δημόσιας Υγείας
ΠΜΣ Δημόσιας Υγείας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«ΤΡΟΦΙΜΑ ΠΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΥΝ ΑΝΤΙΟΞΕΙΔΩΤΙΚΑ ΚΑΙ ΟΙ ΩΦΕΛΕΙΕΣ ΤΟΥΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟ»

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή
Η μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι
Εξεταστική Επιτροπή:

Α/α	ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	Κοτροκόης Κώστας	Επίκουρος Καθηγητής	
2	Βασιλάκου- Ναϊρ Τόνια	Καθηγήτρια	
3	Τσόγκα Αρετή	Επίκουρη Καθηγήτρια	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Θεοδωροπούλου Παναγιώτα του Χρήστου, με αριθμό μητρώου MDY 20015 φοιτήτρια του μεταπτυχιακού προγράμματος Προαγωγή Υγείας σε παιδιά και εφήβους – Σχολική Υγιεινή, του Τμήματος Πολιτικών Δημόσιας Υγείας της Σχολής Δημόσιας Υγείας του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι: «Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος. Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Η Δηλούσα



Copyright © Θεοδοροπούλου Παναγιώτα, -ΠΑΔΑ 2022
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. Allrightsreserved.

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο των απαιτήσεων του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών στη Δημόσια Υγεία του Τμήματος Πολιτικών Δημόσιας Υγείας της Σχολής Δημόσιας Υγείας του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής. Η έγκρισή της δεν υποδηλώνει απαραίτητως και την αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος Πολιτικών Δημόσιας Υγείας.

Βεβαιώνω ότι η παρούσα διπλωματική εργασία είναι αποτέλεσμα δικής μου δουλειάς και δεν αποτελεί προϊόν αντιγραφής. Στις δημοσιευμένες ή μη δημοσιευμένες πηγές που αναφέρω έχω χρησιμοποιήσει εισαγωγικά όπου απαιτείται και έχω παραθέσει τις πηγές τους στο τμήμα της βιβλιογραφίας.

Υπογραφή:

A handwritten signature in blue ink, consisting of a stylized, cursive letter 'D' followed by a smaller, less distinct character.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	9
Abstract	10
Πρόλογος.....	11
1. Αντιοξειδωτικές Ουσίες στα Τρόφιμα.....	12
1.1. Η Έννοια των Αντιοξειδωτικών.....	12
1.2. Ταξινόμηση Αντιοξειδωτικών.....	14
1.2.1. Φυσικά αντιοξειδωτικά.....	15
1.2.2. Περιορισμοί Φυσικών Αντιοξειδωτικών	19
1.2.3. Συνθετικά Αντιοξειδωτικά.....	19
1.2.4. Περιορισμοί Συνθετικών Αντιοξειδωτικών	20
1.2. Τα Αντιοξειδωτικά στην Επιστήμη των Τροφίμων	20
1.3. Ουσίες Αντιοξειδωτικών στα Τρόφιμα	22
1.4. Η Αντιοξειδωτική Δράση των Φλαβονοειδών	24
1.5. Ταξινόμηση Φλαβονοειδών	26
1.5.1. Φλαβόνες	26
1.5.2. Φλαβονόλες	27
1.5.3. Φλαβανόνες	27
1.5.4. Ισοφλαβονοειδή.....	28
1.5.5. Νεοφλαβονοειδή.....	28
1.5.6. Φλαβανόλες, φλαβαν-3-όλες ή κατεχίνες	28
1.5.7. Ανθοκυανίνες	29
1.5.8. Χαλκόνες.....	29
1.6. Λειτουργίες και Εφαρμογές των Φλαβονοειδών	29
2. Ο Ρόλος των Αντιοξειδωτικών Ουσιών στον Οργανισμό.....	50
2.1. Οφέλη Αντιοξειδωτικών στον Ανθρώπινο Οργανισμό.....	50
2.2. Οφέλη Αντιοξειδωτικά Έναντι Παθήσεων	55
2.2.1. Καρδιακές Παθήσεις	57
2.2.2. Παθήσεις Αναπνευστικού Συστήματος.....	58
2.2.3. Αντιοξειδωτικά και Καρκίνος	58
2.2.4. Οφθαλμολογικές Παθήσεις.....	59
2.2.5. Γνωστική λειτουργία	60
2.2.6. Αντιοξειδωτικά και Πρόωρος Θάνατος.....	60
2.4. Κίνδυνοι από τη λήψη των Αντιοξειδωτικών Συμπληρωμάτων.....	61
2.5. Ο Ρόλος των Αντιοξειδωτικών στα Παιδιά.....	62

2.5.1. Μικροθρεπτικά Συστατικά και Πρώιμη Ανάπτυξη.....	62
2.5.2. Οξειδωτικό Στρες και Υγεία των Παιδιών	63
2.5.3. Αντιοξειδωτικά και Φυσική Ανάπτυξη	64
2.5.4. Αντιοξειδωτικά στη Θεραπεία Νοσημάτων Ανεπάρκειας	66
2.5.5. Αντιοξειδωτικά, Άσθμα και Αλλεργίες	68
2.5.6. Αντιοξειδωτικά και Παχυσαρκία	68
2.5.7. Αντιοξειδωτικά και Ανάπτυξη Εγκεφάλου	69
3. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση Μελετών για Τρόφιμα που Περιέχουν Αντιοξειδωτικά	72
3.1. Μεθοδολογία	72
3.2. Παρουσίαση Μελετών	73
4. Συμπεράσματα	108
Βιβλιογραφία	116

Περίληψη

Ο ανθρώπινος οργανισμός, ο οποίος αποτελείται από τρισεκατομμύρια περίπου κύτταρα, αντιμετωπίζει τρομερές απειλές, από έλλειψη τροφής έως μόλυνση από ιό. Μια άλλη σταθερή απειλή προέρχεται από χημικές ουσίες που ονομάζονται ελεύθερες ρίζες. Όταν βρίσκονται σε πολύ υψηλά επίπεδα, οι ελεύθερες ρίζες μπορούν να βλάψουν τα κύτταρα και το γενετικό υλικό. Το σώμα παράγει ελεύθερες ρίζες ως τα αναπόφευκτα υποπροϊόντα της μετατροπής της τροφής σε ενέργεια. Οι ελεύθερες ρίζες σχηματίζονται επίσης μετά από άσκηση ή έκθεση στον καπνό του τσιγάρου, την ατμοσφαιρική ρύπανση και το ηλιακό φως και κυρίως από την ηλιακή ακτινοβολία. 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. Επιμέρους στόχος της εργασίας είναι η διερεύνηση του συνδυασμού τροφίμων και η συνεργιστική δράση των αντιοξειδωτικών, καθώς και οι συνέπειες για την υγεία από τη μειωμένη πρόσληψη αντιοξειδωτικών ουσιών. Για την επίτευξη αυτού του σκοπού επιλέχθηκε η μεθοδολογία της συστηματικής βιβλιογραφικής ανασκόπησης με χρήση της ανάλυσης PRISMA, μελετών της διεθνούς βιβλιογραφίας που σχετίζεται με το ζήτημα.

Λέξεις-Κλειδιά: Αντιοξειδωτικά, υγεία, άνθρωπος, ανθρώπινος οργανισμός

Abstract

The human body, which is made up of about trillions of cells, faces tremendous threats, from malnutrition to virus infection. Another constant threat comes from chemicals called free radicals. When they are at very high levels, free radicals can damage cells and genetic material. The body produces free radicals as the inevitable by-products of the conversion of food into energy. Free radicals are also formed after exercise or exposure to cigarette smoke, air pollution and sunlight and especially by sunlight. The purpose of this study is to investigate the role and importance of antioxidants for the human body, the search for foods that contain antioxidants and the amounts of antioxidants contained in them. A separate goal of the work is to investigate the combination of foods and the synergistic action of antioxidants, as well as the health consequences of reduced intake of antioxidants. To achieve this goal, the methodology of systematic literature review was chosen using PRISMA analysis, studies of the international literature related to the issue.

Keywords: Antioxidants, health, human, human body

Πρόλογος

Το θέμα το οποίο πραγματεύεται η παρούσα εργασία αφορά στο ρόλο των αντιοξειδωτικών ενώσεων των τροφίμων στον ανθρώπινο οργανισμό καθώς επίσης πραγματοποιείται και μια βιβλιογραφική ανασκόπηση με σκοπό να καταγραφούν οι μελέτες που προσδιορίζουν τα επίπεδα διαφόρων αντιοξειδωτικών στα τρόφιμα.

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 όπως καρδιακές και αναπνευστικές. Επιπλέον, γίνεται αναφορά στα οφέλη των αντιοξειδωτικών που αφορούν σε διάφορες παθήσεις που εμφανίζονται και σε παιδιά όπως το άσθμα.

Στη συνέχεια, ακολουθεί η βιβλιογραφική ανασκόπηση από την οποία έχουν συλλεχθεί με συγκεκριμένη μεθοδολογία συνολικά 29 μελέτες. Οι μελέτες αυτές αναφέρονται στο προσδιορισμό της συγκέντρωσης διαφόρων αντιοξειδωτικών όπως οι τοκοφερόλες, η βιταμίνη E, το β-καροτένιο, τα φλαβονοειδή, η κερκετίνη, η ρουτίνη, οι φαινολικές ενώσεις και οι ανθοκυανίνες σε μια ποικιλία τροφίμων. Επίσης, οι μελέτες αυτές καταγράφονται και σε μορφή πίνακα για την καλύτερη κατανόηση από τον αναγνώστη.

Από τη μελέτη αυτή προκύπτουν διάφορα σημαντικά συμπεράσματα όπως για παράδειγμα ότι τα φυσικά αντιοξειδωτικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως φυσικά πρόσθετα τροφίμων και να ικανοποιήσουν επαρκώς τις απαιτήσεις της σύγχρονης κοινωνίας. Επίσης, ένα σημαντικό συμπέρασμα είναι ότι πρέπει να εκτιμηθεί η σχέση μεταξύ αντιοξειδωτικών και εκφυλιστικών νόσων καθώς επίσης και να προσδιοριστεί εάν οι διατροφικές ενώσεις δρουν μέσω απλών ή σύνθετων μηχανισμών, συμβάλλοντας στην κατανόηση τόσο των κινδύνων που πιθανόν να ενέχουν όσο και των πλεονεκτημάτων τους στην υγεία των ανθρώπων.

Ευελπιστούμε, ότι η ανάλυση που ακολουθεί πληροί όλες τις απαραίτητες προϋποθέσεις που απαιτούνται για την πληρέστερη και αρτιότερη προσέγγιση της έννοιας της σπουδαιότητας, της χρησιμότητας και της σημαντικότητας των αντιοξειδωτικών ενώσεων στα τρόφιμα.

1. Αντιοξειδωτικές Ουσίες στα Τρόφιμα

1.1. Η Έννοια των Αντιοξειδωτικών

Ο ανθρώπινος οργανισμός, ο οποίος αποτελείται από τρισεκατομμύρια περίπου κύτταρα, αντιμετωπίζει τρομερές απειλές, από έλλειψη τροφής έως μόλυνση από ιό. Μια άλλη σταθερή απειλή προέρχεται από χημικές ουσίες που ονομάζονται ελεύθερες ρίζες. Όταν βρίσκονται σε πολύ υψηλά επίπεδα, οι ελεύθερες ρίζες μπορούν να βλάψουν τα κύτταρα και το γενετικό υλικό. Το σώμα παράγει ελεύθερες ρίζες ως τα αναπόφευκτα υποπροϊόντα της μετατροπής της τροφής σε ενέργεια. Οι ελεύθερες ρίζες σχηματίζονται επίσης μετά από άσκηση ή έκθεση στον καπνό του τσιγάρου, την ατμοσφαιρική ρύπανση και το ηλιακό φως και κυρίως από την ακτινοβολία.

Οι ελεύθερες ρίζες απαντώνται σε πολλές μορφές έρχονται σε πολλά σχήματα, μεγέθη και χημικές διαμορφώσεις. Το πιο κοινό χαρακτηριστικό των ελεύθερων ριζών είναι η έντονη προσέλκυση ηλεκτρονίων, απορροφώντας τα από όποια γειτονική ουσία μπορεί να τα αποδώσει. Η συγκεκριμένη απορρόφηση ηλεκτρονίων μπορεί να διαμορφώσει ριζικά τη δομή ή τη λειτουργία της «χαμένης» ελεύθερης ρίζας. Η βλάβη από τις ελεύθερες ρίζες μπορεί να αλλάξει τις οδηγίες που κωδικοποιούνται σε μια αλυσίδα DNA. Επιπλέον, οι ελεύθερες ρίζες μπορεί να μετατρέψουν ένα κυκλοφορούν μόριο λιποπρωτεΐνης χαμηλής πυκνότητας (LDL, που συχνά ονομάζεται κακή χοληστερόλη) σε άλλο πιο πιθανό να παγιδευτεί σε ένα τοίχωμα αρτηρίας. Επίσης, οι ελεύθερες ρίζες μπορεί να τροποποιήσουν τη μεμβράνη ενός κυττάρου, αλλάζοντας τη ροή αυτού που εισέρχεται στο κύτταρο και τι εξέρχεται από αυτό. Η υπερβολική χρόνια ποσότητα ελεύθερων ριζών στο σώμα προκαλεί μια κατάσταση που ονομάζεται οξειδωτικό στρες, το οποίο μπορεί να βλάψει τα κύτταρα και να οδηγήσει σε χρόνιες ασθένειες (Carlsenetal., 2010).

Συνεπώς, κρίνεται επιτακτική η ανάγκη να διαπιστωθεί ότι ο άνθρωπος δεν είναι άτρωτος απέναντι στις ελεύθερες ρίζες. Το σώμα, όντας συνηθισμένο σε πολλές επιθέσεις από εξωγενείς παράγοντες, παράγει πολλά μόρια που αποσβένουν τις ελεύθερες ρίζες. Επιπλέον, εξάγει μαχητές ελεύθερων ριζών από τα τρόφιμα. Αυτοί οι υπερασπιστές χαρακτηρίζονται ως «αντιοξειδωτικά» και λειτουργούν δίνοντας σε μεγάλη ποσότητα ηλεκτρόνια στις ελεύθερες ρίζες χωρίς να μετατρέπονται οι ίδιες σε

ουσίες που σαρώνουν τα ηλεκτρόνια. Επιπλέον, συμμετέχουν σε μηχανισμούς που επιδιορθώνουν το DNA και διατηρούν την υγεία των κυττάρων.

Υπάρχουν εκατοντάδες, πιθανώς χιλιάδες, διαφορετικές ουσίες που μπορούν να λειτουργήσουν ως αντιοξειδωτικά. Τα πιο γνωστά είναι η βιταμίνη C, η βιταμίνη E, η βήτα-καροτίνη και άλλα σχετικά καροτενοειδή, μαζί με τα μέταλλα σελήνιο και μαγγάνιο. Συνδυάζονται με άλλες ενώσεις όπως με γλουταθειόνη, συνένζυμο Q10, λιποϊκό οξύ, φλαβονοειδή, φαινόλες, πολυφαινόλες, φυτοοιστρογόνα και πολλά άλλα. Τα περισσότερα είναι φυσικά αντιοξειδωτικά και η παρουσία τους στα τρόφιμα είναι πιθανό να αποτρέψει την οξείδωση ή να χρησιμεύσει ως φυσική άμυνα ενάντια στο τοπικό περιβάλλον.

Αλλά όμως η χρήση του όρου «αντιοξειδωτικό» για την αναφορά σε ουσίες είναι παραπλανητική. Είναι πραγματικά μια χημική ιδιότητα, δηλαδή η ικανότητα να λειτουργεί ως δότης ηλεκτρονίων. Ορισμένες ουσίες που δρουν ως αντιοξειδωτικά σε μια κατάσταση μπορεί να είναι προοξειδωτικές - αρπαγείς ηλεκτρονίων - σε διαφορετική κατάσταση. Μια άλλη μεγάλη παρανόηση είναι ότι τα αντιοξειδωτικά είναι εναλλάξιμα. Δεν είναι. Κάθε ένα έχει μοναδικές χημικές συμπεριφορές και βιολογικές ιδιότητες. Σχεδόν σίγουρα εξελίχθηκαν ως μέρη περίτεχνων δικτύων, με κάθε διαφορετική ουσία (ή οικογένεια ουσιών) να παίζει ελαφρώς διαφορετικούς ρόλους. Αυτό σημαίνει ότι καμία ουσία δεν μπορεί να κάνει τη δουλειά ολόκληρου του πλήθους.

Τα αντιοξειδωτικά είναι μόρια που μπορούν να μειώσουν και να εξουδετερώσουν τα “Αντιδραστικά Είδη Οξυγόνου (Reactive Oxygen Species Scavengers - ROS)” ή αποσβέστες, τα οποία παράγονται από μια ποικιλία χημικών και βιοχημικών διεργασιών. Είναι γνωστό ότι τα ROS είναι εξαιρετικά ενεργά και αφαιρούν υδρογόνα από τα πλησιέστερα διαθέσιμα μόρια λιπιδίου, πρωτεΐνης, υδατάνθρακα ή DNA με σοβαρές συνέπειες (Kotrokois, 2017). Τα αντιοξειδωτικά δρουν ως αποσβέστες των ROS δεσμεύοντάς τα ή αναστέλλοντας την παραγωγή τους. Ενώσεις με αντιοξειδωτικές ιδιότητες βρίσκονται σε μεγάλη ποικιλία φυτών και ζώων (Lee et al., 2016). Οι βιταμίνες E και C, η β-καροτίνη και το σελήνιο Se είναι από τα πιο γνωστά αντιοξειδωτικά. Τα αντιοξειδωτικά είναι ζωτικής σημασίας για διάφορες λειτουργίες της ζωής αλλά και τη διατήρηση της ποιότητας των τροφίμων καθώς η παρουσία οξυγόνου και οξειδωτικών στοιχείων (π.χ. σίδηρος, χαλκός) αλλοιώνουν τα

οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των τροφίμων (Kotrokois, 2017). Ωστόσο, ο όρος «αντιοξειδωτικά» χρησιμοποιείται συχνά στον δημόσιο τύπο και στη βιομηχανία συμπληρωμάτων διατροφής για να υποδηλώσει ευεργετικά αποτελέσματα στην υγεία, συμπεριλαμβανομένης της πρόληψης ποικίλων ασθενειών από το κοινό κρυολόγημα έως τις χρόνιες ασθένειες, όπως ο καρκίνος και η γήρανση.

Ο λόγος που τα αντιοξειδωτικά πιστεύεται ότι είναι ωφέλιμα για την υγεία μας είναι ότι τα ROS έχουν αποδειχθεί ότι εμπλέκονται σε πολλές διαδικασίες ασθενειών, συμπεριλαμβανομένου του καρκίνου, των καρδιαγγειακών και νευροεκφυλιστικών ασθενειών καθώς και της γήρανσης (Siti et al., 2015). Για παράδειγμα, τα ROS μπορούν να οξειδώσουν τις βάσεις του DNA και να προκαλέσουν θραύσεις των κλώνων του DNA, οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν σε μεταλλάξεις. Τα ROS διαδραματίζουν επίσης ζωτικούς ρόλους στην προώθηση και την εξέλιξη του καρκίνου και άλλων ασθενειών (Siti et al., 2015). Επομένως, είναι λογικό να θεωρηθεί ότι η χαμηλότερη διατροφική λήψη αντιοξειδωτικών, όπως η βιταμίνη E και το σελήνιο, θα αύξανε τον κίνδυνο για ασθένειες και η συμπλήρωση του διαιτολογίου με αυτά τα θρεπτικά συστατικά θα βοηθούσε στην πρόληψη σχετικών ασθενειών. Πράγματι, αυτή η προστατευτική δράση έχει αποδειχθεί σε ζωικά μοντέλα και σε ορισμένες μελέτες σε ανθρώπους (Yang et al., 2016). Ωστόσο, πολλές κλινικές μελέτες παρέμβασης μεγάλης κλίμακας με αντιοξειδωτικά θρεπτικά συστατικά απέτυχαν να αποδείξουν τα αναμενόμενα αποτελέσματα πρόληψης ασθενειών (Yang et al., 2016). Για παράδειγμα, στη μελέτη Women's Health, η συμπλήρωση με οξικό α-τοκοφερυλεστέρα (600 mg κάθε δεύτερη μέρα) για 10 χρόνια απέτυχε να προστατεύσει από τον καρκίνο ή τις καρδιαγγειακές παθήσεις (Lee et al., 2016). Στη Μελέτη Πρόληψης Καρκίνου με α-τοκοφερόλη, β-καροτένιο (ATBC), η λήψη συμπληρωμάτων με β-καροτένιο σε Φινλανδούς καπνιστές αύξησε απροσδόκητα τη συχνότητα εμφάνισης καρκίνου του πνεύμονα (Lee et al., 2016).

1.2. Ταξινόμηση Αντιοξειδωτικών

Τα αντιοξειδωτικά υπάρχουν φυσικά σε μια μεγάλη ποικιλία φυσικών πρώτων υλών, αλλά μπορούν επίσης να προστεθούν σε τρόφιμα για πρόσθετη προστασία από την οξείδωση. Τα αντιοξειδωτικά που προστίθενται στα τρόφιμα μπορεί να είναι φυσικές ή συνθετικές ενώσεις ανάλογα με τη διαθεσιμότητά τους και τα παρασκευάσματα (Thorat et al., 2013).

1.2.1. Φυσικά αντιοξειδωτικά

Οι ευεργετικές επιδράσεις των τροφίμων αποδίδονται εν μέρει σε φυσικές αντιοξειδωτικές ουσίες. Η αναζήτηση φυσικών πηγών ενώσεων με λειτουργική δράση που θα προστεθούν σε τρόφιμα (λειτουργικά) για συγκεκριμένες πληθυσμιακές ομάδες (διαβητικούς, υπέρτασικούς, κ.λπ.) είναι σημαντική και απαραίτητη. Είναι γενικά αποδεκτό ότι τα φυσικά αντιοξειδωτικά μόρια είναι ασφαλέστερα από τα συνθετικά αντιοξειδωτικά, που διατίθενται σε σύνθετες μορφές, που περιλαμβάνουν τοκοφερόλες, λυκοπένια (η κόκκινη χρωστική των καροτενοειδών που βρίσκεται από στις ντομάτες, καρότα κλπ), φλαβονοειδή, “νορδιϋδρογουαρετικό οξύ (nordihydroguaretic acid-NDGA)” (συναντάται στο θαμνώδες φυτό *Larreatridentata* στις ερήμους της Βορειοδυτικής Αμερικής), σησαμόλη, διάφορες βιταμίνες, προβιταμίνες και άλλα φυτοχημικά, ένζυμα (καταλάση, υπεροξειδάση, υπεροξειδική δισμουτάση), μέταλλα (Ψευδάργυρος, Σελήνιο) και λεκιθίνη (Cuppert, 2001). Η άλφα(α)-τοκοφερόλη (βιταμίνη Ε που βρίσκεται στο ελαιόλαδο) είναι ευρέως γνωστή ως ένα από τα πιο αποτελεσματικά φυσικά λιποδιαλυτά αντιοξειδωτικά (McCarthy et al., 2001).

Τα τελευταία χρόνια, λόγω της αυξανόμενης ευαισθητοποίησης του κοινού σχετικά με την υγεία και την ευημερία και την αντίληψη για τη χρήση συνθετικών αντιοξειδωτικών στο σύστημα τροφίμων, υπάρχει αυξανόμενο ενδιαφέρον για τον εντοπισμό και τη χρήση αντιοξειδωτικών ιδιοτήτων σε πολλές φυσικές πηγές, όπως η πρωτεΐνη σόγιας, η πρωτεΐνη ρεβιθιού, πρωτεΐνη φύτρου σιταριού, γλουτένη, πίτουρο ρυζιού, καλαμπόκι, μυϊκή πρωτεΐνη, φύλλο άνηθου, μεξικάνικη ρίγανη σαμπούκου (Seabra et al., 2010) και γλυκός βασιλικός. Οι Pan et al., (2011) βρήκαν ότι τα υδρολύματα πρωτεϊνών ελαιοκράμβης αποτελούν πιθανή πηγή αντιοξειδωτικών εκτός από πρωτεΐνη υψηλής ποιότητας για ανθρώπινη κατανάλωση.

Οι αντιοξειδωτικές ενώσεις σε επιλεγμένα φρούτα ή μούρα και λαχανικά και τα προϊόντα τους παρατίθενται στους Πίνακες 1 και 2 (Vollmann et al., 2009). Τα αμινοξέα, τα ελεύθερα σάκχαρα, οι ελεύθερες σουλφυδρυλικές ενώσεις και τα προϊόντα αλληλεπίδρασής τους με πρωτεΐνες και φωσφολιπίδια έχουν αντιοξειδωτικές ιδιότητες (Thorat et al., 2013). Επιπλέον, ορισμένα συστατικά του αποβουτυρωμένου γάλακτος, το β-καροτένιο και η γκοσσυπόλη (του βαμβακιού που προσοχή όμως γιατί είναι καρκινογόνος), κ.λπ. έχουν αντιοξειδωτικές ιδιότητες, όπως

αναφέρουν αρκετές ερευνητικές ομάδες (Bais et al., 2002) που παρατήρησαν ότι το *Ocimumbasilicum* L. (γλυκός βασιλικός) είναι πολύτιμο λόγω των φαρμακευτικών ιδιοτήτων του, για παράδειγμα, το πτητικό λάδι που παράγεται από τα φύλλα χρησιμοποιείται ως αντιοξειδωτικό. Οι Leal et al. (2008) προσδιόρισαν την ευγενόλη, το germacreneD, την επι-άλφα-καδινόλη, το μηλικό οξύ, το τρυγικό οξύ, τη ραμνόζη, το καφεϊκό οξύ, το κινικό οξύ, την καμπεφερόλη, το καφεοϋλκινικό οξύ και την καμπεφερόλη 3-O-γλυκοσίδη ως κύρια συστατικά στο εκχύλισμα φύλλων γλυκού βασιλικού. Πολλές επιστημονικές μελέτες έδειξαν ότι το εκχύλισμα γλυκού βασιλικού είναι ένας ισχυρός καθαριστής αποσβέστης ριζών (scavenger) και μπορεί να θεωρηθεί ως καλή πηγή φυσικών αντιοξειδωτικών (Abasetal., 2006).

Πίνακας 1. Αντιοξειδωτικές ενώσεις σε φρούτα.

Πηγή	Αντιοξειδωτική ένωση	Βάρος (mg/kg)
Μήλο	Ανθοκυανίνες	4-5
	Φλαβονόλες& Προανθοκυανιδίνες	0-15
	Φλαβονόλες	17-417
	Υδροξυκινναμικά	263-308
	Καροτενοειδή (β-καροτίνη)	0.4
Μύρτιλλα	Ανθοκυανίνες	3450-4635
	Φλαβονόλες& Προανθοκυανιδίνες	13-29
	Φλαβονόλες	41-195
	Υδροξυκινναμικά	170-347
	Καροτενοειδή (β-καροτίνη)	0.5
Βατόμουρα	Ανθοκυανίνες	3970-4840
	Φλαβονόλες& Προανθοκυανιδίνες	63-70
	Φλαβονόλες	115-139
	Υδροξυκινναμικά	226-315
Είδος φραγκοστάφυλλου	Ανθοκυανίνες	130-8100
	Φλαβονόλες& Προανθοκυανιδίνες	205-374
	Φλαβονόλες	133-157
	Υδροξυκινναμικά	104-167
	Καροτενοειδή (β-καροτίνη)	1
Χυμός φραγκοστάφυλλου	Ανθοκυανίνες	24
	Φλαβονόλες	36
	Βιταμίνη C	380-421

Κεράσι	Ανθοκυανίνες	31-4500
	Φλαβονόλες& Προανθοκυανιδίνες	20-63
	Φλαβονόλες	20-63
	Υδροξυκινναμικά	100-1900
	Καροτενοειδή (β-καροτίνη)	1.2
Cloudberries	Ανθοκυανίνες	7-15
	Φλαβονόλες& Προανθοκυανιδίνες	2-6
	Φλαβονόλες	34-90
	Υδροξυκινναμικά	90-128
	Καροτενοειδή (β-καροτίνη)	1.4
Μούρα	Ανθοκυανίνες	460-1720
	Φλαβονόλες& Προανθοκυανιδίνες	285
	Φλαβονόλες	139-334
	Υδροξυκινναμικά	191
	Καροτενοειδή (β-καροτίνη)	0.2
Σταφύλια (Κόκκινα)	Ανθοκυανίνες	72-765
	Φλαβονόλες& Προανθοκυανιδίνες	1-160
	Φλαβονόλες	13-25
	Υδροξυκινναμικά	5-19
Σταφύλια (Κρασί Κόκκινο)	Ανθοκυανίνες	0.6-385
	Φλαβονόλες& Προανθοκυανιδίνες	0-500
	Φλαβονόλες	10-55
	Υδροξυκινναμικά	4-13
Σταφύλια (Λευκά)	Ανθοκυανίνες	0
	Φλαβονόλες& Προανθοκυανιδίνες	0-106
	Υδροξυκινναμικά	1-34
Πορτοκάλι	Φλαβονόλες	0-5
	Υδροξυκινναμικά	136-163
	Καροτενοειδή (β-καροτίνη)	0-5
Ροδάκινο	Ανθοκυανίνες	0-17.8
	Φλαβονόλες& Προανθοκυανιδίνες	24.5-700
	Φλαβονόλες	0-11.9
	Υδροξυκινναμικά	54-148
	Καροτενοειδή (β-καροτίνη)	0.9
Δαμάσκηνο	Ανθοκυανίνες	19-76
	Φλαβονόλες& Προανθοκυανιδίνες	140-600
	Φλαβονόλες	5.7-27
	Υδροξυκινναμικά	500-900
Δαμάσκηνο Αποξηραμένο	Ανθοκυανίνες	0
	Φλαβονόλες& Προανθοκυανιδίνες	0

	Φλαβονόλες	42
	Υδροξυκινναμικά	1800
	Καροτενοειδή (β-καροτίνη)	1.4
Σμέουρα (κόκκινα)	Ανθοκυανίνες	200-2200
	Φλαβονόλες & Προανθοκυανιδίνες	4-480
	Φλαβονόλες	6-39
	Υδροξυκινναμικά	3-35
	Καροτενοειδή (β-καροτίνη)	0.1
Φράουλες	Ανθοκυανίνες	202-790
	Φλαβονόλες & Προανθοκυανιδίνες	9-184
	Φλαβονόλες	7-174
	Υδροξυκινναμικά	14-69
	Καροτενοειδή (β-καροτίνη)	0.1
Μαρμελάδα Φράουλα	Ανθοκυανίνες	4-22
	Φλαβονόλες	11.4

Πίνακας 2. Αντιοξειδωτικές ενώσεις σε λαχανικά.

Πηγή	Αντιοξειδωτική ένωση	Βάρος (mg/kg)
Μπρόκολο	Φλαβολόνες (κερατίνη)	15-65
	Υδροξυκινναμάτες	62-148
	Βιταμίνη C	750-830
Λαχανάκια Βρυξελλών	Φλαβολόνες (κερατίνη)	0-6
	Καροτενοειδή (β-καροτίνη)	4.3
Καρότα	Καροτενοειδή (β-καροτίνη)	11-770
Κρεμμύδια	Φλαβολόνες (κερατίνη)	340-240
	Υδροξυκινναμάτες	0.1
Κρεμμύδι (ασπρισμένο)	Φλαβολόνες (κερατίνη)	210-290
Κρεμμύδι (τηγανητό)	Φλαβολόνες (κερατίνη)	220-370
Μπιζέλια	Φλαβολόνες (κερατίνη)	1.4-1.6
	Καροτενοειδή (β-καροτίνη)	3.6
Μπιζέλι (βραστό)	Φλαβολόνες (κερατίνη)	0.8-1.0
Μπιζέλι (τηγανητό)	Φλαβολόνες (κερατίνη)	1.3-2.0

Πατάτες	Υδροξυκιναμάτες	140
	Καροτενοειδή (β-καροτίνη)	0.1
Σπανάκι	Καροτενοειδή (β-καροτίνη)	8-240
Ντομάτες	Καροτενοειδή (β-καροτίνη)	0.2-623
Χυμός ντομάτας	Φλαβολόνες	13
Γλυκό κόκκινο πιπέρι	Καροτενοειδή (β-καροτίνη)	1.2-33

1.2.2. Περιορισμοί Φυσικών Αντιοξειδωτικών

Τα φυσικά αντιοξειδωτικά είναι διαθέσιμα από φυσικές πρώτες ύλες μεταβλητής σύνθεσης (Cuprett, 2001), ενώ τα συνθετικά αντιοξειδωτικά παράγονται ως καθαρές χημικές ουσίες σταθερής σύστασης. Η εφαρμογή των συνθετικών αντιοξειδωτικών, σε αντίθεση με τα φυσικά αντιοξειδωτικά, είναι σχετικά εύκολη και δεν απαιτεί ουσιαστικές τροποποιήσεις της συνταγής και των συνθηκών επεξεργασίας. Η ποσότητα του φυσικού αντιοξειδωτικού που προστίθεται στα τρόφιμα πρέπει να προσαρμόζεται σύμφωνα με τα αναλυτικά αποτελέσματα που λαμβάνονται. Επηρεάζεται επίσης από τις συνθήκες επεξεργασίας όπως η παστερίωση (αλλαγή της βιταμίνης E), η αποστείρωση, ο βρασμός και η εξάτμιση που καταστρέφει ορισμένες θερμοασταθείς βιταμίνες και μειώνει τη βιολογική αξία των πρωτεϊνών (Pokorny&Schmidt, 2001). Γενικά όλες οι βιταμίνες καταστρέφονται σε σχετικά υψηλή θερμοκρασία άνω των 50-60 βαθμών.

1.2.3. Συνθετικά Αντιοξειδωτικά

Οι συνθετικές αντιοξειδωτικές ενώσεις χρησιμοποιούνται ευρέως σε προϊόντα διατροφής για την αναστολή της προόδου της οξείδωσης των λιπιδίων. Ωστόσο, η προσθήκη αυτών σε προϊόντα διατροφής απαγορεύεται σε ορισμένες χώρες. Οι αντιοξειδωτικές επιδράσεις στο γάλα βασίζονται κυρίως σε ενδογενείς ενώσεις.

Μερικά από τα πιο δημοφιλή συνθετικά αντιοξειδωτικά που χρησιμοποιούνται σε πολλές χώρες, συμπεριλαμβανομένης της Ινδίας, είναι η “Βουτυλιωμένη ΥδροξυΑνισόλη (Butylated Hydroxy Anisole-BHA)”, η Ter-Butyl Hydroquinone ή η t-butyl hydroquinone (Ter-Butyl Hydroquinoneortho-buthyl hydroquinone-TBHQ)” και οι εστέρες του γαλλικού οξέος (Yanishlieva-Maslarova, 2001). Το “βουτυλιωμένο

υδροξυτολουόλιο (Butylated Hydroxytoluene -BHT)” είναι πολύ αποτελεσματικό σε ζωικά λίπη, τρόφιμα με χαμηλά λιπαρά, προϊόντα ψαριών, υλικά συσκευασίας, παραφίνη και ορυκτέλαια, αλλά είναι λιγότερο αποτελεσματικό στα φυτικά έλαια και μπορεί να χαθεί κατά το τηγάνισμα λόγω της πτητικότητάς του σε υψηλές θερμοκρασίες (τηγάνισμα από 180°C για το ελαιόλαδο έως 235°C για τα σπορέλαια π.χ. ηλιέλαιο SF).

1.2.4. Περιορισμοί Συνθετικών Αντιοξειδωτικών

Υπάρχει μια σειρά από διαμάχες στη χρήση των συνθετικών αντιοξειδωτικών. Εφόσον τα πρόσθετα τροφίμων υποβάλλονται στις πιο αυστηρές διαδικασίες τοξικολογικών δοκιμών, μόνο λίγα συνθετικά αντιοξειδωτικά έχουν χρησιμοποιηθεί σε τρόφιμα για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Δεδομένου ότι η τοξικότητα ορισμένων συνθετικών αντιοξειδωτικών δεν αξιολογείται εύκολα, ως αποτέλεσμα μια χημική ουσία μπορεί να θεωρηθεί ασφαλής από μια χώρα, ανεκτή σε άλλη χώρα και απαγορευμένη σε μια τρίτη. Αναφορές έχουν δείξει ότι το BHA έχει καρκινογόνες επιδράσεις σε μη τρωκτικά (χοίρους, πίθηκους) και προκαλεί σχηματισμό αλλοιώσεων στο στομάχι του αρουραίου, ενώ το BHT έχει καρκινογόνες επιδράσεις στο ήπαρ αρουραίων και ποντικών (Botterwecketal., 2000). Έτσι, οι τοξικολογικές μελέτες είναι ζωτικής σημασίας για τον προσδιορισμό της ασφάλειας ενός αντιοξειδωτικού και επίσης για τον προσδιορισμό των “επιτρεπτών επιπέδων ημερήσιας πρόσληψης (Allowable Daily Intake-ADI)”. Τα ADI για ευρέως χρησιμοποιούμενα αντιοξειδωτικά όπως το TBHQ, το BHA, το BHT και οι γαλάτες έχουν αλλάξει με την πάροδο των ετών κυρίως λόγω των τοξικολογικών “Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας (World Health Organization-WHO) “Επιτροπή Εμπειρογνομόνων για τα Πρόσθετα Τροφίμων (Expert Committee on FoodAdditives -JECFA)”, τα συνθετικά αντιοξειδωτικά έχουν περιορισμούς στη χρήση τους λόγω των επιδράσεων που έχουν σε διάφορα είδη. Σύμφωνα με τα ADI που κατανεμήθηκαν από τον “Κοινό Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας (Joint Food and Agriculture Organization-FAO) τρόφιμα που απαιτούν σοβαρή θερμική επεξεργασία, καθώς οι γαλάτες αποσυντίθενται όταν θερμαίνονται πάνω από 148 °C.

1.2. Τα Αντιοξειδωτικά στην Επιστήμη των Τροφίμων

Η οξείδωση είναι μια βασική αντίδραση που συμβαίνει στα τρόφιμα. Τα λιπίδια και ιδιαίτερα τα ακόρεστα λιπαρά οξέα και δη τα πολυακόρεστα, αλλοιώνονται μέσω της

οξειδωσης κατά την επεξεργασία, αποθήκευση και διανομή των τροφίμων, οδηγώντας σε απώλεια θρεπτικών συστατικών και δημιουργία ανεπιθύμητων γεύσεων ή ακόμη και πιθανών τοξικών ουσιών. Τρεις πιο συνηθισμένοι μηχανισμοί για την οξείδωση των λιπιδίων είναι: η αυτοοξείδωση, η φωτοοξείδωση και η οξείδωση που σχετίζεται με ένζυμα. Η αυτοοξείδωση των λιπιδίων συμβαίνει εκτενώς στα τρόφιμα μέσω μηχανισμών που διαμεσολαβούνται από ελεύθερες ρίζες (Shahidi&Ho, 2007). Περιλαμβάνει τρία διαφορετικά στάδια: Έναρξη, διάδοση και τερματισμό.

Τα φυτικά έλαια, συνήθως με υψηλή περιεκτικότητα σε πολυακόρεστα λιπαρά οξέα, π.χ. ηλιέλαιο είναι ιδιαίτερα ευάλωτα στην υπεροξείδωση των λιπιδίων. Επομένως, τα φυτικά έλαια περιέχουν υψηλά επίπεδα αντιοξειδωτικών, όπως τοκοφερόλες (μόνο το ελαιόλαδο) και τοκοτριενόλες (όλες οι μορφές βιταμίνης E) για την πρόληψη της υπεροξείδωσης των λιπιδίων. Μεταξύ των διαφόρων μεθόδων για την πρόληψη της οξείδωσης στην επεξεργασία τροφίμων, η προσθήκη αντιοξειδωτικών είναι η πιο αποτελεσματική, εύκολη και οικονομική προσέγγιση (Shahidi&Ho, 2007). Ο όρος αντιοξειδωτικά ορίζεται ως ουσίες που, όταν υπάρχουν σε τρόφιμα σε χαμηλή συγκέντρωση σε σύγκριση με εκείνη ενός οξειδώσιμου υποστρώματος, σημαντικά καθυστερούν ή αποτρέπουν την οξείδωση του υποστρώματος (Shahidi&Ho, 2007). Από χημική άποψη, τα αντιοξειδωτικά περιλαμβάνουν δεσμευτές ελεύθερων ριζών, αναγωγικούς παράγοντες, απενεργοποιητές υπεροξειδίων και άλλων ROS καθώς και χηλικές ουσίες μετάλλων (Shahidi&Ho, 2007).

Τα πιο γνωστά συνθετικά αντιοξειδωτικά είναι η βουτυλιωμένη υδροξυανισόλη, το βουτυλιωμένο υδροξυτολουόλιο, ο προπυλικός εστέρας του γαλλικού οξέος και η δι-, τριτοταγής-βουτυλο-υδροκινόνη (Kotrokois, 2017). Τα συνθετικά αντιοξειδωτικά έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως στη βιομηχανία τροφίμων ως αντιοξειδωτικά για τον έλεγχο της οξείδωσης των λιπιδίων και της αποφυγής ανάπτυξης δυσάρεστης γεύσης καθώς και τάγγισης. Τοξικολογικές μελέτες έχουν δείξει ότι το βουτυλιωμένο υδροξυτολουόλιο, η βουτυλιωμένη υδροξυανισόλη και οι εστέρες του γαλλικού οξέος μπορεί να προκαλέσουν αλλοιώσεις στο ήπαρ και τους νεφρούς, δερματίτιδα, αλλεργικές αντιδράσεις και αναστολή της ανάπτυξης σε πειραματόζωα (Kotrokois, 2017). Δεδομένου, λοιπόν, ότι ορισμένα συνθετικά αντιοξειδωτικά σε υψηλές δόσεις έχουν δείξει τοξικές και καρκινογόνες επιδράσεις στα ζώα και επειδή οι καταναλωτές απαιτούν «καθαρότερες» διατροφικές ετικέτες, το πρόσφατο ενδιαφέρον εστιάστηκε

στη μελέτη φυσικών αντιοξειδωτικών που παρασκευάζονται από βρώσιμα φυτά. Τα πιο κοινά παραδείγματα είναι οι λιπόφιλες τοκοφερόλες και τα πιο πολικά εκχυλίσματα δεντρολίβανου και τσαγιού. Τα φύλλα του δεντρολίβανου (*Rosmarinus officinalis* L.) χρησιμοποιούνται συνήθως ως μπαχαρικά και αρωματικοί παράγοντες. Λόγω της υψηλής αντιοξειδωτικής του δράσης, τα ακατέργαστα και ραφινάρισμα εκχυλίσματα δεντρολίβανου είναι πλέον διαθέσιμα στο εμπόριο για εφαρμογή στη σταθεροποίηση τροφίμων (Hayes&Dinkova-Kostova, 2014). Το εμπορικά διαθέσιμο αλκοολικό εκχύλισμα δεντρολίβανου περιέχει ένα περίπλοκο μείγμα ενώσεων. Εκτός από τις κύριες διτερπενικές φαινόλες (δηλαδή, καρνοσικό οξύ, καρνοσόλη και ροσμανόλη), άλλες φαινολικές ενώσεις, όπως τα φλαβονοειδή και τα παράγωγα του φαινολικού οξέος, συμβάλλουν επίσης στην αντιοξειδωτική δράση του δεντρολίβανου. Το πράσινο τσάι (*Camelliasinensis*) είναι πλούσιο σε πολυφαινόλες, κυρίως (-)-γαλλική επιγαλλοκατεχίνη-3 (EGCG), (-)επιγαλλοκατεχίνη, (-)-γαλλική επικατεχίνη και (-)-επικατεχίνη, με την EGCG να είναι το πιο άφθονο και το πιο ενεργό αντιοξειδωτικό. Η χρήση εκχυλισμάτων πολυφαινόλης πράσινου τσαγιού ως αντιοξειδωτικό τροφίμων έχει τεκμηριωθεί καλά πλέον. Για παράδειγμα, οι πολυφαινόλες του τσαγιού χρησιμοποιούνται ευρέως για την πρόληψη της οξειδωσης βρώσιμων ελαίων, όπως το ιχθυέλαιο. Αν και πολλά φυτικά εκχυλίσματα έχουν μελετηθεί ως πιθανά φυσικά αντιοξειδωτικά για χρήση σε τρόφιμα, οι νομικές απαιτήσεις εμποδίζουν την πρόσβασή τους στην αγορά τροφίμων (Makris&Boskou, 2014).

1.3. Ουσίες Αντιοξειδωτικών στα Τρόφιμα

Ένας πιθανός λόγος για τον οποίο πολλές μελέτες για τα αντιοξειδωτικά συμπληρώματα δεν δείχνουν όφελος για την υγεία είναι επειδή τα αντιοξειδωτικά τείνουν να λειτουργούν καλύτερα σε συνδυασμό με άλλα θρεπτικά συστατικά, φυτικές χημικές ουσίες και ακόμη και άλλα αντιοξειδωτικά συνεργιστικά μαζί με αυτά.

Για παράδειγμα, ένα φλιτζάνι φρέσκες φράουλες περιέχει περίπου 80 mg βιταμίνης C, ένα θρεπτικό συστατικό που έχει ταξινομηθεί ως με υψηλή αντιοξειδωτική δράση. Αλλά ένα συμπλήρωμα που περιέχει 500 mg βιταμίνης C περιέχει τις φυτικές χημικές ουσίες (πολυφαινόλες) που βρίσκονται φυσικά στις φράουλες όπως οι προανθοκυανίνες και τα φλαβονοειδή, τα οποία έχουν επίσης αντιοξειδωτική δράση και μπορεί να συνεργαστούν με τη βιταμίνη C για την καταπολέμηση των ασθενειών.

Οι πολυφαινόλες έχουν επίσης πολλές άλλες χημικές ιδιότητες όπως η προστασία από την υπερϊώδη ακτινοβολία, αλλά και από τις μικροβιακές μολύνσεις, εκτός από την ικανότητά τους να χρησιμεύουν ως αντιοξειδωτικά. Υπάρχει ένα ερώτημα εάν ένα θρεπτικό συστατικό με αντιοξειδωτική δράση μπορεί να προκαλέσει το αντίθετο αποτέλεσμα με την προοξειδωτική του δράση εάν ληφθεί υπερβολική ποσότητα. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο η χρήση ενός αντιοξειδωτικού συμπληρώματος με μία μόνο απομονωμένη ουσία μπορεί να μην είναι μια αποτελεσματική στρατηγική για όλους.

Οι διαφορές στην ποσότητα και τον τύπο των αντιοξειδωτικών στα τρόφιμα έναντι αυτών στα συμπληρώματα μπορεί επίσης να επηρεάσουν τα αποτελέσματά τους. Για παράδειγμα, υπάρχουν 4 χημικές μορφές βιταμίνης Ε που υπάρχουν στα τρόφιμα. Ωστόσο, τα συμπληρώματα βιταμίνης Ε συνήθως περιλαμβάνουν μόνο μία μορφή, την άλφα-τοκοφερόλη διότι έχει την ταχύτερη αντίδραση με τις υπεροξυρίζες ενώ η τακοφερόλη δ έχει την πλέον αντιοξειδωτική δραστηριότητα.

Επιδημιολογικές προοπτικές μελέτες δείχνουν ότι η υψηλότερη πρόσληψη φρούτων, λαχανικών και οσπρίων πλούσιων σε αντιοξειδωτικά σχετίζεται με χαμηλότερο κίνδυνο ασθενειών που σχετίζονται με το χρόνιο οξειδωτικό στρες, όπως καρδιαγγειακές παθήσεις, καρκίνος και θανάτους από όλες τις αιτίες (Joshiyura, et al., 2001). Μια φυτική διατροφή πιστεύεται ότι προστατεύει από χρόνιες ασθένειες που σχετίζονται με το οξειδωτικό στρες. Δεν είναι σαφές εάν αυτή η προστατευτική δράση οφείλεται στα αντιοξειδωτικά, σε άλλες ουσίες στα τρόφιμα ή σε συνδυασμό και των δύο. Ακολουθούν τα θρεπτικά συστατικά με αντιοξειδωτική δράση και τα τρόφιμα στα οποία βρίσκονται:

- **Βιταμίνη C:** Μπρόκολο, λαχανάκια Βρυξελλών, πεπόνι, κουνουπίδι, γκρέιπφρουτ, φυλλώδη λαχανικά (γογγύλι, μουστάρδα, παντζάρι, κολάρο), μελίτωμα, λάχανο, ακτινίδιο, λεμόνι, πορτοκάλι, παπάγια, αρακάς χιονιού, φράουλες, γλυκοπατάτα, ντομάτες, και πιπεριές (όλα τα χρώματα)
- **Βιταμίνη E:** Ελαιόλαδο, καλαμπόκι, σόγια, σιτάρι, ξηροί καρποί, ψάρια, γαρίδες, αυγά, ξερά φασόλια, πράσινα φυλλώδη λαχανικά, δημητριακά, κρέας, ήπαρ, αβοκάντο, κρόκος αυγού, κόκκινες πιπεριές, ηλιόσποροι,
- **Καροτενοειδή, όπως βήτα-καροτένιο και λυκοπένιο:** Βερίκοκα, σπαράγγια, παντζάρια, μπρόκολο, πεπόνι, καρότα, πιπεριές, λάχανο, μάνγκο, γογγύλι και

λαχανικά, πορτοκάλια, ροδάκινα, ροζ γκρέιπφρουτ, κολοκύθα, χειμωνιάτικη κολοκύθα, σπανάκι, μανταρίνια, ντομάτες και καρπούζι

- **Σελήνιο (Se):** ξηροί καρποί Βραζιλίας, ψάρια, οστρακοειδή, βοδινό κρέας, πουλερικά, κριθάρι, καστανό ρύζι
- **Ψευδάργυρος (Zn):** Μοσχάρι, πουλερικά, στρείδια, γαρίδες, σουσάμι, κολοκυθόσποροι, ρεβίθια, φακές, κάσιους, εμπλουτισμένα δημητριακά
- **Φαινολικές ενώσεις:**Κερσετίνη (μήλα, κόκκινο κρασί, κρεμμύδια), κατεχίνες (πράσινο τσάι, κακάο, μούρα), ρεσβερατρόλη (κόκκινο κρασί, στέμφυλα των σταφυλιών δηλαδή στη φλούδα, σταφύλια, φιστίκια, μούρα), κουμαρικό οξύ (μπαχαρικά, μούρα), ανθοκυανίνες (μύρτιλα, φράουλες).

1.4. Η Αντιοξειδωτική Δράση των Φλαβονοειδών

Τα φλαβονοειδή είναι μια σημαντική κατηγορία φυσικών προϊόντων. Συγκεκριμένα, ανήκουν σε μια κατηγορία φυτικών δευτερογενών μεταβολιτών που έχουν πολυφαινολική δομή και απαντώνται ευρέως σε φρούτα, λαχανικά και ορισμένα ποτά. Εμφανίζουν ποικίλα ευνοϊκά βιοχημικά και αντιοξειδωτικά αποτελέσματα που σχετίζονται με διάφορες ασθένειες όπως ο καρκίνος, η ‘Νόσος Alzheimer (Alzheimer’s Disease- AD)’, η αθηροσκλήρωση κ.λπ. (Castañeda-Ovandoetal., 2009). Τα φλαβονοειδή συνδέονται με ένα ευρύ φάσμα επιδράσεων που προάγουν την υγεία και αποτελούν απαραίτητο συστατικό σε μια ποικιλία διατροφικών, φαρμακευτικών, ιατρικών και καλλυντικών εφαρμογών. Αυτό οφείλεται στις αντιοξειδωτικές, αντιφλεγμονώδεις, αντιμεταλλαξιγόνες και αντικαρκινογόνες ιδιότητές τους σε συνδυασμό με την ικανότητά τους να ρυθμίζουν τις βασικές λειτουργίες των κυτταρικών ενζύμων. Είναι επίσης γνωστό ότι είναι ισχυροί αναστολείς για πολλά ένζυμα, όπως η ‘Οξειδάση Της Ξανθίνης (Xanthine Oxidase - XO)’, η ‘Κυκλοοξυγενάση (Cyclo oxygenase - COX)’, η λιποξυγενάση και η φωσφοϊνοσιτιδική 3-κινάση (Walkeretal., 2000).

Στη φύση, οι φλαβονοειδείς ενώσεις είναι προϊόντα που εξάγονται από φυτά και βρίσκονται σε πολλά μέρη του φυτού. Τα φλαβονοειδή χρησιμοποιούνται από τα λαχανικά για την ανάπτυξη και την άμυνά τους ενάντια στις πλάκες (Havsteen, 2002). Ανήκουν σε μια κατηγορία φαινολικών ενώσεων χαμηλού μοριακού βάρους που είναι ευρέως διαδεδομένες στο φυτικό βασίλειο. Αποτελούν μια από τις πιο χαρακτηριστικές κατηγορίες ενώσεων σε ανώτερα φυτά. Πολλά φλαβονοειδή

αναγνωρίζονται εύκολα ως χρωστικές λουλουδιών στις περισσότερες οικογένειες αγγειόσπερμων. Ωστόσο, η εμφάνισή τους δεν περιορίζεται στα άνθη αλλά βρίσκονται σε όλα τα μέρη των φυτών (Dewick, 2002). Τα φλαβονοειδή βρίσκονται επίσης σε αφθονία σε τρόφιμα και ποτά φυτικής προέλευσης, όπως φρούτα, λαχανικά, τσάι, κακάο και κρασί και ως εκ τούτου ονομάζονται διατροφικά φλαβονοειδή. Τα φλαβονοειδή έχουν πολλές υποομάδες, οι οποίες περιλαμβάνουν τις χαλκόνες, τις φλαβόνες, τις φλαβονόλες και τις ισοφλαβόνες. Αυτές οι υποομάδες έχουν μοναδικές κύριες πηγές. Για παράδειγμα, τα κρεμμύδια και το τσάι είναι σημαντικές διατροφικές πηγές φλαβονολών και φλαβονών (Κοτροκόης, 2009).

Τα φλαβονοειδή έχουν μια ποικιλία βιολογικών δραστηριοτήτων σε φυτά, ζώα και βακτήρια. Στα φυτά, τα φλαβονοειδή είναι γνωστό ότι συντίθενται σε συγκεκριμένες θέσεις και είναι υπεύθυνα για το χρώμα και το άρωμα των λουλουδιών, και στους καρπούς για την προσέλκυση επικονιαστών και κατά συνέπεια τη διασπορά των καρπών για να βοηθήσουν στη βλάστηση των σπόρων και των σπορίων, καθώς και στην ανάπτυξη των φυταρίων (Griesbach, 2010). Τα φλαβονοειδή προστατεύουν τα φυτά από διαφορετικές βιοτικές και αβιοτικές καταπονήσεις και λειτουργούν ως μοναδικά φίλτρα UV (Takahashi&Ohnishi,2004), λειτουργούν ως μόρια σήματος, αλλοπαθητικές ενώσεις, φυτοαλεξίνες, αποτοξινωτικοί παράγοντες και αντιμικροβιακές αμυντικές ενώσεις. Τα φλαβονοειδή έχουν ρόλο κατά της ανθεκτικότητας στον παγετό, της αντοχής στην ξηρασία και μπορεί να διαδραματίσουν λειτουργικό ρόλο στον θερμικό εγκλιματισμό των φυτών και στην ανοχή στον παγετό (Samanthaetal., 2011). Ο Jorgensen (1995) ανέφερε ότι οι πρώιμες εξελίξεις στη γενετική των λουλουδιών οφείλονταν κυρίως σε τεχνικές μετάλλαξης που είχαν αντίκτυπο στα χρώματα των λουλουδιών που προέρχονται από φλαβονοειδή και έδειξε ότι η λειτουργική σίγαση γονιδίων στα φυτά συσχετίστηκε με τη βιοσύνθεση φλαβονοειδών. Τα φλαβονοειδή έχουν συσχετιστεί με θετικά αποτελέσματα στην υγεία του ανθρώπου και των ζώων και το τρέχον ενδιαφέρον εστιάζει στη θεραπεία ασθενειών λόγω της δράσης τους. Επί του παρόντος υπάρχουν περίπου 6000 φλαβονοειδή που συμβάλλουν στις πολύχρωμες χρωστικές των φρούτων, των βοτάνων, των λαχανικών και των φαρμακευτικών φυτών. Οι Dixon&Pasinetti (2010) εξέτασαν λεπτομερώς τα φυτικά φλαβονοειδή και ισοφλαβονοειδή και αναφέρθηκαν στις εφαρμογές τους στη γεωργία και τις νευροεπιστήμες. Οι Kumar&Pandey (2013) επανεξέτασαν τον προστατευτικό ρόλο

των φλαβονοειδών έναντι των ανθρώπινων ασθενειών καθώς και τις λειτουργίες τους στα φυτά. Πρόσφατα, οι Panche et al. (2015), σε έρευνά τους για την αντιμετώπιση της “Νόσου Alzheimer (Alzheimer’s Disease - AD)” και των τρεχουσών θεραπευτικών μεθόδων, ανέφεραν λεπτομερώς τις χρήσεις των φλαβονοειδών ως δευτερογενών μεταβολιτών των φυτών για τη θεραπεία της AD και τους μηχανισμούς που εμπλέκονται. Στην ανασκόπηση των Panche et al. (2016), έχουν γίνει προσπάθειες να συζητηθούν οι τρέχουσες τάσεις έρευνας και ανάπτυξης για τα φλαβονοειδή, οι εφαρμογές τους ως διατροφικά οφέλιμες και ευεργετικές για την υγεία ενώσεις μαζί με μια ευρεία ταξινόμηση και τις κατευθύνσεις μελλοντικής έρευνας.

1.5. Ταξινόμηση Φλαβονοειδών

Τα φλαβονοειδή μπορούν να υποδιαιρεθούν σε διαφορετικές υποομάδες ανάλογα με τον άνθρακα του δακτυλίου C στον οποίο είναι συνδεδεμένος ο δακτύλιος B και τον βαθμό ακόρεστου και οξείδωσης του δακτυλίου C (Κοτροκόης, 2009). Τα φλαβονοειδή στα οποία ο δακτύλιος B συνδέεται στη θέση 3 του δακτυλίου C ονομάζονται ισοφλαβόνες. Αυτά στα οποία ο δακτύλιος B συνδέεται στη θέση 4 ονομάζονται νεοφλαβονοειδή, ενώ εκείνα στα οποία ο δακτύλιος B συνδέεται στη θέση 2 μπορούν περαιτέρω να υποδιαιρεθούν σε πολλές υποομάδες με βάση τα δομικά χαρακτηριστικά του δακτυλίου C. Αυτές οι υποομάδες είναι: φλαβόνες, φλαβονόλες, φλαβανόνες, φλαβονόλες, φλαβανόλες ή κατεχίνες, ανθοκυανίνες και χαλκόνες.

1.5.1. Φλαβόνες

Οι φλαβόνες είναι μια από τις σημαντικές υποομάδες φλαβονοειδών. Οι φλαβόνες υπάρχουν ευρέως στα φύλλα, τα άνθη και τους καρπούς ως γλυκοζίτες. Το σέλινο, ο μαϊντανός, οι κόκκινες πιπεριές, το χαμομήλι, η μέντα και το *ginkgobiloba* είναι από τις κύριες πηγές φλαβόνων. Η λουτεολίνη, η απιγενίνη και η τανγκεριτίνη ανήκουν σε αυτή την υποκατηγορία φλαβονοειδών. Οι φλούδες των εσπεριδοειδών είναι πλούσιες σε πολυμεθοξυλιωμένες φλαβόνες, ταγκερετίνη, νομπιλετίνη και σινενσετίνη (Manach et al., 2004). Έχουν διπλό δεσμό μεταξύ των θέσεων 2 και 3 και μια κετόνη στη θέση 4 του δακτυλίου C. Οι περισσότερες φλαβόνες λαχανικών και φρούτων έχουν μια ομάδα υδροξυλίου στη θέση 5 του δακτυλίου A, ενώ η υδροξυλίωση σε άλλες θέσεις, ως επί το πλείστον στη θέση 7 του δακτυλίου A ή 3'

και 4' του δακτυλίου Β, μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με την ταξινομική κατηγοριοποίηση του συγκεκριμένου λαχανικού ή φρούτου.

1.5.2. Φλαβονόλες

Οι φλαβονόλες είναι φλαβονοειδή με μια ομάδα κετόνης. Είναι δομικά στοιχεία των προανθοκυανινών. Οι φλαβονόλες υπάρχουν σε αφθονία σε μια ποικιλία φρούτων και λαχανικών. Οι πιο μελετημένες φλαβονόλες είναι η καμπφερόλη, η κερσετίνη, η μυρικετίνη και η φισετίνη. Τα κρεμμύδια, το λάχανο, το μαρούλι, οι ντομάτες, τα μήλα, τα σταφύλια και τα μούρα είναι πλούσιες πηγές φλαβονολών. Εκτός από τα φρούτα και τα λαχανικά, το τσάι και το κόκκινο κρασί είναι επίσης πηγές φλαβονολών. Η πρόσληψη φλαβονολών έχει βρεθεί ότι σχετίζεται με ένα ευρύ φάσμα πλεονεκτημάτων για την υγεία που περιλαμβάνει την αντιοξειδωτική δράση και τον μειωμένο κίνδυνο αγγειακής νόσου (Κοτροκόης, 2009).

Σε σύγκριση με τις φλαβόνες, οι φλαβονόλες έχουν μια ομάδα υδροξυλίου στη θέση 3 του δακτυλίου C, η οποία μπορεί επίσης να είναι γλυκοζυλιωμένη. Όπως οι φλαβόνες, οι φλαβονόλες είναι επίσης πολύ διαφορετικές στα πρότυπαμεθυλίωσης και υδροξυλίωσης και, λαμβάνοντας υπόψη τα διαφορετικά πρότυπα γλυκοζυλίωσης, είναι ίσως η πιο κοινή και μεγαλύτερη υποομάδα φλαβονοειδών στα φρούτα και τα λαχανικά. Για παράδειγμα, η κερσετίνη υπάρχει σε πολλές φυτικές τροφές (Iwashina, 2013).

1.5.3. Φλαβανόνες

Οι φλαβανόνες είναι μια άλλη σημαντική κατηγορία που υπάρχει γενικά σε όλα τα εσπεριδοειδή όπως τα πορτοκάλια, τα λεμόνια και τα σταφύλια. Η εσπεριτίνη, η ναρινγενίνη και η εριοδικτυόλη είναι παραδείγματα αυτής της κατηγορίας φλαβονοειδών. Οι φλαβανόνες συνδέονται με μια σειρά από οφέλη για την υγεία λόγω των ιδιοτήτων τους που σχετίζονται με την καταπολέμηση των ελευθέρων ριζών. Αυτές οι ενώσεις είναι υπεύθυνες για την πικρή γεύση του χυμού και της φλούδας 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. Οι φλαβανόνες, που ονομάζονται επίσης διυδροφλαβόνες, έχουν τον δακτύλιο C κορεσμένο. Επομένως, σε αντίθεση με τις φλαβόνες, ο διπλός δεσμός μεταξύ των θέσεων 2 και 3 είναι κορεσμένος και αυτή είναι η μόνη δομική διαφορά

μεταξύ των δύο υποομάδων φλαβονοειδών. Τα τελευταία 15 χρόνια, ο αριθμός των φλαβανονών έχει αυξηθεί σημαντικά (Iwashina, 2013).

1.5.4. Ισοφλαβονοειδή

Τα ισοφλαβονοειδή είναι μια μεγάλη και πολύ χαρακτηριστική υποομάδα φλαβονοειδών. Τα ισοφλαβονοειδή έχουν περιορισμένη κατανομή στο φυτικό βασίλειο και βρίσκονται κυρίως στη σόγια και σε άλλα όσπρια. Ορισμένα ισοφλαβονοειδή έχουν επίσης αναφερθεί ότι υπάρχουν σε μικρόβια (Matthiesetal. 2008). Διαπιστώθηκε επίσης ότι διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο ως πρόδρομοι για την ανάπτυξη φυτοαλεξινών κατά τις αλληλεπιδράσεις των φυτικών μικροβίων (Dixon&Ferreira, 2002). Τα ισοφλαβονοειδή παρουσιάζουν τεράστιες δυνατότητες στη καταπολέμηση μιας σειράς ασθενειών. Οι ισοφλαβόνες όπως η γενιστεΐνη και η δαϊδζεΐνη θεωρούνται συνήθως φυτοοιστρογόνα λόγω της οιστρογονικής τους δράσης σε ορισμένα ζωικά μοντέλα. Οι Sz kudelska&Nogowski (2007) αξιολόγησαν την επίδραση της γενιστεΐνης που προκαλεί ορμονικές και μεταβολικές αλλαγές, μέσω των οποίων μπορούν να επηρεαστούν οι οδοί διάφορων νόσων.

1.5.5. Νεοφλαβονοειδή

Τα νεοφλαβονοειδή είναι μια κατηγορία πολυφαινολικών ενώσεων. Ενώ τα φλαβονοειδή έχουν ως βασικό δομικό χαρακτηριστικό τη 2-φαινυλοχρωμεν-4-όνη, τα νεοφλαβονοειδή έχουν το 4-φαινυλοχρωμένιο χωρίς υποκατάσταση ομάδας υδροξυλίου στη θέση 2. Η πρώτη νεοφλαβόνη που απομονώθηκε από φυσικές πηγές το 1951 ήταν η καλοφυλλολίδα από τους σπόρους *Calophylluminophyllum*. Βρίσκεται επίσης στο φλοιό και την ξυλεία του ενδημικού φυτού της Σρι Λάνκα *Mesuaathwaitesii* (Garazdetal.,2003).

1.5.6. Φλαβανόλες, φλαβαν-3-όλες ή κατεχίνες

Οι φλαβανόλες, που ονομάζονται επίσης διυδροφλαβονόλες ή κατεχίνες, είναι τα 3-υδροξυ παράγωγα των φλαβανονών. Είναι μια πολύ διαφοροποιημένη και πολυ-υποκατεστημένη υποομάδα. Οι φλαβανόλες αναφέρονται επίσης σε φλαβαν-3-όλες καθώς η ομάδα υδροξυλίου είναι πάντα δεσμευμένη στη θέση 3 του δακτυλίου C. Σε αντίθεση με πολλά φλαβονοειδή, δεν υπάρχει διπλός δεσμός μεταξύ των θέσεων 2 και 3. Οι φλαβανόλες βρίσκονται σε αφθονία στις μπανάνες, τα μήλα, τα βατόμουρα, τα ροδάκινα και τα αχλάδια (Κοτροκόης, 2009).

1.5.7. Ανθοκυανίνες

Οι ανθοκυανίνες είναι χρωστικές που είναι υπεύθυνες για τα χρώματα στα φυτά, τα λουλούδια και τους καρπούς. Η κυανιδίνη, η δελφινιδίνη, η μαλβιδίνη, η πελαργονιδίνη και η πεονιδίνη είναι οι πιο συχνά μελετημένες ανθοκυανίνες. Εμφανίζονται κυρίως 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. Η σταθερότητα σε συνδυασμό με τα οφέλη για την υγεία αυτών των ενώσεων διευκολύνουν τη χρήση τους στη βιομηχανία τροφίμων σε ποικίλες εφαρμογές (Giusti&Wrolstad, 2003). Το χρώμα της ανθοκυανίνης εξαρτάται από το pH και επίσης από τη μεθυλίωση ή την ακυλίωση στις ομάδες υδροξυλίου στους A και B δακτυλίους (Iwashina, 2013).

1.5.8. Χαλκόνες

Οι χαλκόνες είναι μια υποκατηγορία φλαβονοειδών. Χαρακτηρίζονται από την απουσία του «δακτυλίου C» της βασικής δομής του σκελετού των φλαβονοειδών. Ως εκ τούτου, μπορούν επίσης να αναφέρονται ως φλαβονοειδή ανοιχτής αλυσίδας. Τα κυριότερα παραδείγματα των χαλκονών περιλαμβάνουν τη χλωριτζίνη, την αρμπουτίνη, τη φλορετίνη και τη χαλκοναρινγκενίνη. Οι χαλκόνες βρίσκονται σε σημαντικές ποσότητες στις ντομάτες, τα αχλάδια, τις φράουλες, τα μούρα και ορισμένα προϊόντα σιταριού. Οι χαλκόνες και τα παράγωγά τους έχουν συγκεντρώσει μεγάλη προσοχή λόγω των πολυάριθμων θρεπτικών και βιολογικών οφελών. Η πρόσληψη φλαβονοειδών μέσω των πηγών τροφίμων θα μπορούσε να είναι ο απλούστερος και ασφαλέστερος τρόπος για την καταπολέμηση ασθενειών (Κοτροκόης, 2009).

1.6. Λειτουργίες και Εφαρμογές των Φλαβονοειδών

Τα φυτά παράγουν μια τεράστια και ποικιλόμορφη συλλογή οργανικών ενώσεων, η μεγάλη πλειοψηφία των οποίων δεν φαίνεται να συμμετέχει άμεσα στην ανάπτυξη. Αυτές οι ουσίες, που παραδοσιακά αναφέρονται ως δευτερογενείς μεταβολίτες (φλαβονοειδή), συχνά κατανέμονται διαφορετικά μεταξύ περιορισμένων ταξινομικών ομάδων στο φυτικό βασίλειο (Croteauetal., 2000). Τα φλαβονοειδή ταξινομούνται σε διαφορετικές κατηγορίες ως αλκαλοειδή, τερπενοειδή και φαινολικά. Τα φλαβονοειδή εκτελούν μια σειρά από προστατευτικές λειτουργίες στον ανθρώπινο

οργανισμό. Πολλά φλαβονοειδή έχουν εξελιχθεί ως βιοδραστικές ενώσεις που παρεμβαίνουν στο νουκλεϊκό οξύ ή τις πρωτεΐνες και παρουσιάζουν αντιμικροβιακές ή εντομοκτόνες και φαρμακολογικές ιδιότητες. Ως εκ τούτου, τα φλαβονοειδή παρουσιάζουν ενδιαφέρον στην ιατρική ως θεραπευτικοί παράγοντες και ταυτόχρονα στη γεωργία ως φυτοφάρμακα (Wink, 2004). Η τεχνολογία *in vitro* έχει δώσει νέες γνώσεις για τη διερεύνηση της ισχύος της καλλιέργειας ιστού φυτικών κυττάρων να παράγει τις ίδιες πολύτιμες χημικές ενώσεις με αυτές του μητρικού φυτού (Anand, 2010). Η πρόοδος στις μεθόδους καλλιέργειας φυτικών ιστών για την παραγωγή φλαβονοειδών έχει ξεπεράσει τις προσδοκίες (Hussainetal., 2012). Η καλλιέργεια φυτικών ιστών είναι μια άσηπτη τεχνική κατά την οποία ο κατάλληλος χειρισμός των θρεπτικών ουσιών, των συνθηκών καλλιέργειας και της παροχής φυτο-ορμονών, μπορεί κάποιος να είναι σε θέση να παράγει την επιθυμητή ποιότητα και ποσότητα φυτών καθώς και μεταβολιτών. Με την καλλιέργεια διαφοροποιημένων κυττάρων είναι δυνατό να επιτευχθεί παραγωγή των επιθυμητών ενώσεων σε επίπεδα συγκρίσιμα με αυτά του φυτού. Τα φλαβονοειδή συνδέονται με ένα ευρύ φάσμα επιδράσεων που προάγουν την υγεία. Αποτελούν απαραίτητο συστατικό σε μια ποικιλία διατροφικών, φαρμακευτικών, ιατρικών και καλλυντικών εφαρμογών. Αυτό αποδίδεται στις αντιοξειδωτικές, αντιφλεγμονώδεις, αντιμεταλλαξιογόνες και αντικαρκινογόνες ιδιότητές τους σε συνδυασμό με την ικανότητά τους να ρυθμίζουν βασικές λειτουργίες κυτταρικών ενζύμων (Kimetal., 2004). Τα φλαβονοειδή δρουν στα φυτά ως αντιοξειδωτικά, αντιμικροβιακά, φωτοϋποδοχείς, οπτικοί ελκυστικοί παράγοντες, τροφωαπωθητικά και για έλεγχο φωτός. Πολλές μελέτες έχουν προτείνει ότι τα φλαβονοειδή παρουσιάζουν βιολογικές δράσεις, συμπεριλαμβανομένων των αντιαλλεργικών, αντικών, αντιφλεγμονωδών και αγγειοδιασταλτικών δράσεων. Ωστόσο, το μεγαλύτερο ενδιαφέρον έχει αφιερωθεί στην αντιοξειδωτική δράση των φλαβονοειδών, η οποία οφείλεται στην ικανότητά τους να μειώνουν τον σχηματισμό ελεύθερων ριζών και να δεσμεύουν τις ελεύθερες ρίζες. Η ικανότητα των φλαβονοειδών να δρουν ως αντιοξειδωτικά *in vitro* έχει αποτελέσει αντικείμενο πολλών μελετών τα τελευταία χρόνια και έχουν εδραιωθεί σημαντικές σχέσεις δομής-δραστικότητας της αντιοξειδωτικής δραστηριότητας (Ren et al., 2003). Οι Ren et al. (2003), στην εργασία τους για τα φλαβονοειδή και τους αντικαρκινικούς παράγοντες, έδωσαν τους κύριους μοριακούς μηχανισμούς δράσης σε διαφορετικές καταστάσεις. Στην πρόληψη των καρκινογόνων ανέφεραν ότι τα φλαβονοειδή ασκούν τα αποτελέσματά τους στο κυτόχρωμα P450 για να αναστέλλουν τις δραστηριότητες

ορισμένων ισοενζύμων P450 που είναι υπεύθυνα για την παραγωγή ενός αριθμού προκαρκινογόνων. Ένας άλλος μηχανισμός δράσης που ανέφεραν είναι ότι τα φλαβονοειδή βοηθούν στην παραγωγή ενζύμων μεταβολισμού όπως η γλουθειόνη-S-τρανσφεράση, η αναγωγή κινόνης και η 5-διφωσφο-γλυκουρονυλ τρανσφεράση ουριδίνης με την οποία αποτοξινώνονται οι καρκινογόνες ουσίες και έτσι αποβάλλονται από το σώμα.

Ένας αριθμός μελετών έχει διεξαχθεί σχετικά με τις ιδιότητες των αντιοξειδωτικών σε σχέση με διαφορετικά φλαβονοειδή και αυτές οι μελέτες τόνισαν ότι τα φλαβονοειδή μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πιθανά φάρμακα για την πρόληψη του οξειδωτικού στρες (Katan&Hollman, 1998). Τα αντιοξειδωτικά είναι ενώσεις που προστατεύουν τα κύτταρα από την οξειδωτική δράση των ενεργών ειδών οξυγόνου και η διαταραχή της ισορροπίας μεταξύ αυτών των δραστικών ειδών οξυγόνου και των αντιοξειδωτικών οδηγεί σε οξειδωτικό στρες. Το οξειδωτικό στρες μπορεί να οδηγήσει σε κυτταρική βλάβη που σχετίζεται με διάφορες παθήσεις υγείας όπως ο διαβήτης, ο καρκίνος, η καρδιαγγειακή νόσος, οι νευροεκφυλιστικές διαταραχές και η γήρανση. Το οξειδωτικό στρες μπορεί επίσης να βλάψει πολλά βιολογικά μόρια και πρωτεΐνες και τα μόρια DNA είναι σημαντικοί στόχοι κυτταρικού τραυματισμού. Τα αντιοξειδωτικά παρεμβαίνουν στα συστήματα παραγωγής ριζών και αυξάνουν τη λειτουργία των ενδογενών αντιοξειδωτικών, προστατεύοντας τα κύτταρα από βλάβες από αυτές τις ελεύθερες ρίζες (Srivastava&Bezwada,2015).

OPietta (2000) ανασκόπησε την τρέχουσα γνώση σχετικά με τις δομικές πτυχές και την *in vitro* αντιοξειδωτική ικανότητα των περισσότερων κοινών φλαβονοειδών καθώς και την *in vitro* αντιοξειδωτική δράση και τις επιδράσεις στα ενδογενή αντιοξειδωτικά. Τα φλαβονοειδή έχουν βρεθεί ότι είναι πολύ αποτελεσματικά στην πρόληψη της υπεροξειδωσης των λιπιδίων η οποία είναι υπεύθυνη για διάφορες ασθένειες όπως η αθηροσκλήρωση, ο διαβήτης, η ηπατοτοξικότητα και η φλεγμονή, σε συνδυασμό με τη γήρανση (Halliwelletal., 1992). Μελέτες έχουν δείξει ότι η κερσετίνη βοηθά στην καταστολή της υπεροξειδωσης των λιπιδίων(Letan, 1966). Εκτός από την κερσετίνη, υπάρχουν και άλλα φλαβονοειδή όπως η μυρικετίνη, η κερσετρίνη και η ρουτίνη που βοηθούν στην αναστολή της παραγωγής ριζών υπεροξειδίου (DeGroot, 1994).

Τα φλαβονοειδή έχουν επίσης αναγνωριστεί για την αντιμικροβιακή τους δράση και πολλοί ερευνητές έχουν απομονώσει και εντοπίσει τις δομές των φλαβονοειδών που έχουν ιδιότητες αντιμυκητιακής, αντιαρκτική και αντιβακτηριδιακής δράσης. Λόγω αυτής της ιδιότητας, πολλά φλαβονοειδή χρησιμοποιούνται πλέον εκτενώς στους τομείς της διατροφής, της ασφάλειας των τροφίμων και της υγείας. Η αντιαρκτική δράση των φλαβονοειδών έχει αποδειχθεί από τους Wang et al. (1998), ιδιαίτερα στη θεραπεία για ιογενείς λοιμώξεις. Τα φλαβονοειδή όπως η κερσετίνη, η ναριγγίνη, η εσπερετίνη και η κατεχίνη έχουν ποικίλο βαθμό αντιαρκτικής δράσης. Επηρεάζουν την αντιγραφή και τη μολυσματικότητα ορισμένων ιών RNA και DNA (Kauletal., 1985). Η κερκετίνη και η απιγενίνη είναι από τα πιο μελετημένα φλαβονοειδή που είναι γνωστό ότι παρουσιάζουν αντιβακτηριδιακές δράσεις (Wuetal., 2008). Οι Li&Xu (2008) ανέφεραν ότι η κερσετίνη που εξάγεται από φύλλα λωτού μπορεί να είναι ένας πολλά υποσχόμενος αντιβακτηριακός παράγοντας για την περιοδοντίτιδα.

Ορισμένα φλαβονοειδή παρουσιάζουν δραστηριότητες όμοιες με αυτές των ορμονών και μοιάζουν με στεροειδείς ορμόνες, ιδιαίτερα με τα οιστρογόνα. Τέτοια φλαβονοειδή υπάρχουν στα φρούτα και τα λαχανικά, το τσάι, το κόκκινο κρασί και τα δημητριακά (Srivastava&Bezwada, 2015). Τα στεροειδή που μοιάζουν με ορμόνες είναι πολύ γνωστά για την προστασία από διάφορες χρόνιες ασθένειες, ιδιαίτερα τα οιστρογόνα, τα οποία έχουν νευροπροστατευτικές επιδράσεις στον εγκέφαλο. Ένας αριθμός φλαβονοειδών, όπως η γενιστεΐνη, η δαϊδζεΐνη και η ισοόλη έχουν αξιολογηθεί για την οιστρογονική τους δράση σε κλινικές δοκιμές. Οι μελέτες προσδιόρισαν τις δυνατότητές τους για τη θεραπεία διαφόρων χρόνιων ασθενειών όπως ο καρκίνος, οι καρδιαγγειακές διαταραχές και η οστεοπόρωση (Metzneretal., 2009). Έχει διαπιστωθεί ότι το φλαβονοειδές γενιστεΐνη έχει την πιο πολλά υποσχόμενη επίδραση στην πρόληψη της μετεμμηνοπαυσιακής οστικής απώλειας στις γυναίκες (Tham et al., 1998). Ένας αριθμός φλαβονοειδών διατροφικής σημασίας έχει αποδειχθεί ότι προσδίδουν ευεργετική επίδραση σε παραμέτρους που σχετίζονται με την αθηροσκλήρωση, συμπεριλαμβανομένης της οξειδωσης των λιποπρωτεϊνών, της συσσώρευσης αιμοπεταλίων στο αίμα και της καρδιαγγειακής αντιδραστικότητας (Tikkanen&Adlercreutz, 2000).

Βιταμίνες και Οξειδωτικό Στρες

Η γνώση των ελεύθερων ριζών και των δραστικών ειδών οξυγόνου στη βιολογία έχει δώσει μια νέα κατανόηση της παθογένεσης των ασθενειών και υπόσχεται νέες γνώσεις για την υγεία και τη διαχείριση ασθενειών (Aruoma, 2003). Οι ελεύθερες ρίζες είναι κάθε μοριακό είδος που περιέχει ένα ασύζευκτο ηλεκτρόνιο σε ένα ατομικό τροχιακό. Η παρουσία μη συζευγμένων ηλεκτρονίων έχει ως αποτέλεσμα συγκεκριμένες κοινές ιδιότητες που μοιράζονται οι περισσότερες ρίζες (Ebadi, 2001). Πολλά χημικά είδη είναι ασταθή και εξαιρετικά αντιδραστικά. Μπορούν είτε να δωρίσουν ένα ηλεκτρόνιο σε ένα άλλο μόριο είτε να δεχτούν ένα ηλεκτρόνιο από άλλα μόρια, επομένως συμπεριφέρονται ως οξειδωτικά ή αναγωγικά μέσα (Cheeseman&Slater, 1993). Οι πιο κρίσιμες ελεύθερες ρίζες που περιέχουν οξυγόνο είναι το υδροξύλιο, το ανιόν υπεροξειδίου, το υπεροξειδίο του υδρογόνου, το οξυγόνο, το υποχλωριώδες, το μονοξειδίο του αζώτου, οι ρίζες υπεροξυνιτρώδους (Fridovich,1997), αυτά είναι είδη υψηλής αντίδρασης στον πυρήνα και στις μεμβράνες των κυττάρων ικανό να βλάψει βιολογικά σχετικά μόρια όπως το DNA, τις πρωτεΐνες, τους υδατάνθρακες και τα λιπίδια (Young&Woodside, 2001). Οι ελεύθερες ρίζες επιτίθενται σε βασικά μακρομόρια οδηγώντας σε κυτταρική βλάβη και ομοιοστατική διαταραχή.

Ο σχηματισμός ελεύθερων ριζών συμβαίνει συνεχώς στα κύτταρα λόγω τόσο ενζυματικών όσο και μη ενζυματικών αντιδράσεων. Οι ενζυματικές αντιδράσεις χρησιμεύουν ως πηγή ελεύθερων ριζών, όπως αυτές που εμπλέκονται στην αναπνευστική αλυσίδα, τη φαγοκυττάρωση, τη σύνθεση προσταγλανδινών και το σύστημα του κυτοχρώματος P-450 (Liu et al., 1999). Η παραγωγή ελεύθερων ριζών γίνεται σε μη ενζυματικές αντιδράσεις οξυγόνου με οργανικές ενώσεις καθώς και σε αυτές που ξεκινούν από αντιδράσεις ιονισμού. Η δημιουργία ελεύθερων ριζών στο σώμα συμβαίνει σε κυτταρικές δομές όπως τα μιτοχόνδρια. Η οξειδάση της ξανθίνης, η φλεγμονή, η φαγοκυττάρωση, οι οδοί αραχιδονικού, η άσκηση, ο τραυματισμός ισχαιμίας/επαναιμάτωσης μπορούν επίσης να οδηγήσουν στην παραγωγή ελεύθερων ριζών (Ebadi, 2001). Οι ελεύθερες ρίζες παράγονται εξωτερικά από τον καπνό του τσιγάρου, τους περιβαλλοντικούς ρύπους, την ακτινοβολία, τα φυτοφάρμακα, τους βιομηχανικούς διαλύτες και το όζον (Ebadi, 2001).

Βιταμίνη A και οξειδωτικό στρες

Η βιταμίνη A ονομάζεται επίσης ρετινοϊκό οξύ και έχει την ικανότητα να αναστέλλει την ιογενή ηπατίτιδα (Villamoretal., 2010). Παρόλο που η βιταμίνη A δεν είναι δημοφιλές αντιοξειδωτικό, μερικές μελέτες έχουν αναφέρει πιθανό αντιοξειδωτικό ρόλο με έμμεσο τρόπο. Έχει αναφερθεί ότι το all-transρετινοϊκό οξύ παίζει βασικό ρόλο στην αναστολή της ενεργοποίησης των ηπατικών αστρικών κυττάρων (ένας τελεστής του ηπατοκυτταρικού καρκινώματος) μέσω της καταστολής της πρωτεΐνης που αλληλεπιδρά με θειορεδοξίνη και μειώνει τα επίπεδα οξειδωτικού στρες (Shimizuetal., 2018). Επίσης, το ρετινοϊκό οξύ, το οποίο είναι ένας μεταβολίτης της βιταμίνης A, έχει αναφερθεί ότι ρυθμίζει προς τα πάνω την έκφραση γονιδίων που σχετίζονται με αντιοξειδωτικά σε *in vitro* ώριμα ωκύτταρα βουβάλου (Gadetal., 2018). Επιπλέον, βρέθηκε ότι το all-transρετινοϊκό οξύ επάγει τη δράση της υπεροξειδικής δισμουτάσης και της S-τρανσφεράσης της γλουταθειόνης, ενώ μειώνει τη μηλοδιαδεύδη και τα δραστικά είδη οξυγόνου τόσο σε υγιές όσο και σε σπέρμα κισσοκήλης, γεγονός που υποδηλώνει ότι η ρετινόλη ενισχύει την αντιοξειδωτική δράση των ενζύμων (Malivindietal., 2018). Επομένως, υπάρχουν αυξανόμενα στοιχεία που υποδηλώνουν ότι η βιταμίνη A θα μπορούσε να διαδραματίσει κάποιο ρόλο στην προστασία του σώματος από τη βλάβη του οξειδωτικού στρες.

Βιταμίνη D και οξειδωτικό στρες

Η βιταμίνη D υπάρχει σε τρεις μορφές, οι οποίες είναι η 7-δεϋδροχοληστερόλη, η εργοκαλσιφερόλη και η χοληκαλσιφερόλη. Και οι τρεις αυτές μορφές έχει αναφερθεί ότι αναστέλλουν την εξαρτώμενη από το σίδηρο υπεροξειδωση των λιπιδίων (Wiseman, 1993) ενώ η αντιοξειδωτική ικανότητα της βιταμίνης D έχει αναφερθεί ότι είναι συγκρίσιμη με το αντικαρκινικό φάρμακο Tamoxifen (Wiseman, 1993). Πολλά στοιχεία υποστηρίζουν την αντιοξειδωτική δράση της βιταμίνης D3 (χοληκαλσιφερόλη) στον διαβήτη οξειδωτικού στρες. Ορισμένες πειραματικές μελέτες ανέφεραν ότι η χορήγηση βιταμίνης D3 σε διαβητικά ποντίκια βοηθά στη μείωση του σχηματισμού δραστικών ειδών οξυγόνου μέσω της καταστολής της γονιδιακής έκφρασης της οξειδάσης NADPH (Labudzynskiyetal., 2015). Επιπλέον, έχει προταθεί ότι τα συμπληρώματα βιταμίνης D παρέχουν σημαντική προστασία έναντι των αγγειακών επιπλοκών που προκαλούνται από το οξειδωτικό στρες στο

διαβήτη (Salumetal., 2013). Επίσης, μια μελέτη πρότεινε ότι η βιταμίνη D δρα οξαντιοξειδωτικό λόγω της αύξησης των ποσοτήτων της ηπατικής γλουταθειόνης που παρατηρήθηκε σε αρουραίους που έλαβαν χοληκαλσιφερόλη (Sardaretal., 1996). Η λήψη συμπληρωμάτων βιταμίνης D για εννέα εβδομάδες στις εγκύους έχει ευεργετικά αποτελέσματα στους βιοδείκτες του οξειδωτικού στρες. Συγκεκριμένα, προκάλεσε σημαντική αύξηση στη συνολική αντιοξειδωτική ικανότητα και στη δραστηριότητα της γλουταθειόνης, μεταξύ άλλων μεταβολικών ενζύμων (Shakerietal.,2013). Τα στοιχεία στη βιβλιογραφία υποδηλώνουν σημαντικό αντιοξειδωτικό ρόλο της βιταμίνης D3 σε ώριμα ερυθροκύτταρα χωρίς πυρήνα, αυτό το αποτέλεσμα όχι μόνο επαληθεύει ότι η χοληκαλσιφερόλη έχει αντιοξειδωτική δράση (Wolden-Kirketal., 2012), αλλά υποδηλώνει επίσης ότι η 1,25-διυδροξυχοληκαλσιφερόλη θα μπορούσε να δρα ως ένα άμεσο αντιοξειδωτικό της μεμβράνης, μέσω της σταθεροποίησης και προστασίας της μεμβράνης από την υπεροξείδωση των λιπιδίων μέσω της σχέσης με τα υδρόφοβα μέρη τους (Wiseman, 1993).

Βιταμίνη E και οξειδωτικό στρες

Η βιταμίνη E που ανακαλύφθηκε το 1922, μαζί με τις φυσιολογικές της λειτουργίες και τα αντιοξειδωτικά της αποτελέσματα, έχει μελετηθεί εδώ και σχεδόν έναν αιώνα (Miyazawaetal., 2019). Η βιταμίνη E είναι λιποδιαλυτές ενώσεις χωρισμένες σε τοκοφερόλες και τοκοτριενόλες που απαντώνται σε άλφα, βήτα, γάμμα και δέλταμορφή. Η άλφα-τοκοφερόλη έλαβε τη μεγαλύτερη προσοχή με αντιοξειδωτικές δυνατότητες, αλλά ορισμένες μελέτες πρότειναν ότι οι τοκοτριενόλες μπορεί να έχουν διαφορετικές ιδιότητες σχετικές με την προάσπιση της υγείας. Έχει βρεθεί ότι αυξημένη συγκέντρωση άλφα-τοκοφερόλης στο ήπαρ ασκεί προστατευτική δράση έναντι της οξειδωτικής βλάβης στο οξειδωτικό στρες που προκαλείται από την άσκηση (Górnickaetal., 2016). Επίσης, η άλφα-τοκοφερόλη προστατεύει τις κυτταρικές μεμβράνες από την υπεροξείδωση των λιπιδίων από το ανιόν της ρίζας υπεροξειδίου και τη δέσμευση των ελεύθερων ριζών του υπεροξυλίου (Prokopowiczetal., 2013). Επίσης, η άλφα-τοκοφερόλη έχει αναφερθεί ότι μειώνει το οξειδωτικό στρες σε εργαζόμενους που εκτέθηκαν σε μόλυβδο και η χορήγηση άλφα-τοκοφερόλης ανέστρεψε τις αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία από την έκθεση σε μόλυβδο, η οποία προκάλεσε οξειδωτικό στρες (Kasperczyketal., 2017). Η άλφα-τοκοφερόλη, σε συνδυασμό με το άλφα-λιποϊκό οξύ, βρέθηκε επίσης ότι είναι

ευεργετική στην πρόληψη του οξειδωτικού στρες που προκαλείται από το δισφαινόλη-A (Ancietal.,2016). Μια άλλη μορφή βιταμίνης E όπως η γάμματοκοφερόλη έχει αποδειχθεί ότι βελτιώνει τη φλεγμονή, το οξειδωτικό στρες και την απόπτωση σε διαβητικά τραύματα από τον πυρηνικό παράγοντα κάπα Β, τον πυρηνικό παράγοντα τύπου 2 προερχόμενου από ερυθροειδές 2 και τη sirtuin-1 (Shinetal., 2017).

Βιταμίνη Κ και οξειδωτικό στρες

Η βιταμίνη Κ εμφανίζεται σε τρεις μορφές, οι οποίες είναι η Κ1 (Φυλλοκινόνη), η Κ2 (Μενακινόνη) και η Κ3 (Μεναδιόνη). Τα φυλλώδη φυτά παράγουν φυλλοκινόνη (βιταμίνη Κ1). Αντίθετα, η μενακινόνη είναι προϊόν βακτηριδίων από το έντερο ή μετατροπής της φυλλοκινόνης που προέρχεται από τη διατροφή. Ως εκ τούτου, η μενακινόνη είναι η πιο άφθονη μορφή βιταμίνης Κ στους ζωικούς ιστούς (L. Booth, 2012). Ένας από τους μηχανισμούς για την παραγωγή δραστικών ειδών οξυγόνου στο σώμα είναι μέσω της ενεργοποίησης της 12-λιποξυγενάσης ενός ενζύμου που εμπλέκεται στο μεταβολισμό του αραχιδονικού οξέος. Η βιταμίνη Κ έχει αναφερθεί ότι εμποδίζει την ενεργοποίηση της 12-λιποξυγενάσης στην οξειδωτική βλάβη που προκαλείται από το αραχιδονικό οξύ σε αναπτυσσόμενα ολιγοδενδροκύτταρα(Lietal., 2009).Η ίδια ερευνητική ομάδα έδειξε ότι η φυλλοκινόνη (βιταμίνη Κ1) και η μενακινόνη 4 (MK4, μια βιταμίνη Κ) προστατεύουν τα αναπτυσσόμενα ολιγοδενδροκύτταρα και τους ανώριμους νευρώνες από τον οξειδωτικό τραυματισμό που προκαλείται από την εξάντληση της γλουταθειόνης και τη δημιουργία δραστικών ειδών οξυγόνου (Li et al., 2003). Επίσης, έχει αναφερθεί στη βιταμίνη Κ υδροκινόνη (KH2) είναι ένα ισχυρό βιολογικό αντιοξειδωτικό (Vervoortetal., 1997), για το οποίο, όμως, υπάρχει έλλειψη πληροφοριών σχετικά με τους αναγεννητικούς αντιοξειδωτικούς ενζυμικούς μηχανισμούς του (Lietal., 2003) καθιστώντας το έναν παράγοντα ερευνητικού ενδιαφέροντος.

Βιταμίνη C και οξειδωτικό στρες

Η βιταμίνη C χρησιμεύει ως σημαντικό θρεπτικό συστατικό για τον οργανισμό. Το ασκορβικό είναι ένα ισχυρό αντιοξειδωτικό με την ικανότητα να δεσμεύει τις ελεύθερες ρίζες μέσα και έξω από το κύτταρο, δρώντας άμεσα στις ρίζες υπεροξειδίου ή έμμεσα ενισχύοντας τις αντιοξειδωτικές ιδιότητες της βιταμίνης E, βοηθώντας στον έλεγχο της υπεροξειδωσίας των λιπιδίων των κυτταρικών μεμβρανών

και των πυρηνικών υλικών. Το ασκορβικό, λόγω της γνωστής αντιοξειδωτικής του ιδιότητας, βελτιώνει τη βλάβη του DNA μειώνοντας τα ενεργά είδη οξυγόνου ή προστατεύει τις πρωτεΐνες που εμπλέκονται στην επιδιόρθωση του DNA (Padayattyetal., 2003). Το ασκορβικό επίσης εμποδίζει το σχηματισμό νιτροζαμίνης, η οποία παράγει αντιδραστικά είδη αζώτου (Odin,1997). Η βιταμίνη C, σε συνδυασμό με την L-καρνιτίνη, αναφέρθηκε ότι βελτιώνει τη νεφροτοξικότητα που προκαλείται από τη σισπλατίνη λόγω της αντιοξειδωτικής και αντιφλεγμονώδους ιδιότητάς της (Alabietal. 2018).

Βιταμίνες του συμπλέγματος B και οξειδωτικό στρες

Βιταμίνη B2 και οξειδωτικό στρες: Η ριβοφλαβίνη (βιταμίνη B2) είναι ζωτικής σημασίας για το μεταβολισμό των θρεπτικών συστατικών και την αντιοξειδωτική προστασία (Gallagher,2008). Η ριβοφλαβίνη μπορεί να θεωρηθεί χαμηλού ενδιαφέροντος αντιοξειδωτικό θρεπτικό συστατικό, επειδή κυρίως η βιταμίνη C, E και τα καροτενοειδή είναι κυρίως γνωστά ως αντιοξειδωτικά. Η ριβοφλαβίνη διαθέτει κάποια αντιοξειδωτική ιδιότητα ως αποτέλεσμα του κύκλου οξειδοαναγωγής της γλουταθειόνης και της μετατροπής της από ανηγμένη ριβοφλαβίνη στην οξειδωμένη της μορφή (Ashoori&Saedisomeolia,2014). Η ριβοφλαβίνη δρα ως συνένζυμο για τα οξειδοαναγωγικά ένζυμα στις μορφές της FAD και FMN. Σε αυτή την κατάσταση, δρουν ως αντιοξειδωτικά (Liuetal., 1993) επειδή το συνένζυμο FAD είναι απαραίτητο για τη δραστηριότητα της αναγωγάσης της γλουταθειόνης στη μετατροπή της οξειδωμένης γλουταθειόνης στην ανηγμένη της μορφή (Gallagher,2008). Η ανηγμένη γλουταθειόνη δρα ως αντιοξειδωτικό στο ενδοκυτταρικό περιβάλλον απενεργοποιώντας τα ενεργά είδη οξυγόνου κατά τη μετατροπή στην οξειδωμένη μορφή της (Dringenetal., 2000).

Βιταμίνη B6 και οξειδωτικό στρες: Η βιταμίνη B6 (πυριδοξίνη), είναι μια από τις υδατοδιαλυτές βιταμίνες B που είναι απαραίτητες για τον μεταβολισμό των πρωτεϊνών, των λιπών και των υδατανθράκων (Angel, 1980). Η πυριδοξίνη έχει κάποια αντιοξειδωτική ιδιότητα, παρόλο που δεν είναι μια κλασική αντιοξειδωτική ένωση. Η έκθεση δείχνει ότι η πυριδοξίνη δρα δεσμεύοντας ενεργές ρίζες υδροξυλίου (-OH) με την ικανότητα να δεσμεύει έως και οκτώ μόρια -OH (Higashi-Okaietal., 2006). Μια *in vitro* μελέτη ανέφερε ότι η βιταμίνη B6 εμπόδισε τη δημιουργία ριζών οξυγόνου και την υπεροξείδωση των λιπιδίων στα μονοκύτταρα U937, η οποία

μπορεί να συμβεί μέσω μεταβολής της μιτοχονδριακής λειτουργίας (Kannan&Jain, 2004). Αρουραίοι με έλλειψη βιταμίνης Β6 ανέπτυξαν υπεροξειδωτικό στρες λόγω της αυξημένης δραστηριότητας θειοβαρβιτουρικού οξέος στο ήπαρ και την καρδιά (Cabrinietal. 1998) υποδηλώνοντας έναν κεντρικό ρόλο της πυριδοξίνης στην πρόληψη της υπεροξειδωσης.

Βιταμίνη Β12 και οξειδωτικό στρες: Η βιταμίνη Β12 που είναι επίσης γνωστή ως κοβαλαμίνη, είναι μια υδατοδιαλυτή βιταμίνη απαραίτητη για τη διατήρηση της υγείας των νευρώνων και της αιματοποίησης. Η κοβαλαμίνη μπορεί να έχει κάποια αντιοξειδωτική ιδιότητα βάσει ορισμένων στοιχείων από μελέτες *in vitro*. Μερικοί συγγραφείς προτείνουν ότι η βιταμίνη Β12 διαθέτει έναν άμεσο μηχανισμό δέσμευσης υπεροξειδίων (Moreiraetal., 2011). Η χορήγηση κυανοκοβαλαμίνης σε ανθρώπινα αορτικά κύτταρα μείωσε το επίπεδο του υπεροξειδίου στο ενδοκυτταρικό υγρό και στο μιτοχόνδριο (Moreiraetal., 2011). Παρόμοια αποτελέσματα εμφανίστηκαν σε συστήματα χωρίς κύτταρα και νευρωνικά κύτταρα. Επιπλέον, ορισμένες *in vivo* μελέτες έχουν επίσης αναφέρει αποτελέσματα με μειωμένη έκκριση υπεροξειδίου στα γαγγλιακά κύτταρα του αμφιβληστροειδούς μετά από χορήγηση βιταμίνης Β12 (Chanetal., 2018).

Βιταμίνη Β3 και οξειδωτικό στρες: Η μείωση του οξειδωτικού στρες γίνεται με την αύξηση του αντιοξειδωτικού δυναμικού μέσω βελτιωμένων ενδογενών αντιοξειδωτικών, όπως τα ένζυμα υπεροξειδική δισμουτάση, καταλάση και αναγωγή γλουταθειόνης (Boyonoskietal., 2000), και εξωγενή αντιοξειδωτικά όπως τα θρεπτικά αντιοξειδωτικά, συμπεριλαμβανομένων των τοκοφερολών, του ασκορβικού οξέος, των καροτενοειδών, της νιασίνης και ορισμένων ιχνοστοιχείων (Longetal., 2015). Η νιασίνη (βιταμίνη Β3) δρα ως συνένζυμο οξειδοαναγωγικών ενζύμων στις μορφές Nicotinamide Adenine Dinucleotide (NAD) και Nicotinamide Mononucleotide (NMN) (Longetal., 2015).

Βιταμίνη Β5 και οξειδωτικό στρες: Το παντοθενικό οξύ που είναι επίσης γνωστό ως βιταμίνη Β5 είναι μια υδατοδιαλυτή βιταμίνη που εμπλέκεται σε πολλές ενδιάμεσες μεταβολικές αντιδράσεις ως συστατικό του συνενζύμου Α (CoA), ενώ το συνένζυμο Α παίζει καθοριστικό ρόλο στις αντιδράσεις γλυκόζης, λιπαρών οξέων και αμινοξέων όπως ο κύκλος του τρικαρβοξυλικού οξέος, η ακετυλίωση της χολίνης για τον σχηματισμό ακετυλοχολίνης και η βιοσύνθεση λιπαρών οξέων (Kimetal.,2015).

Βιταμίνη Β9 και οξειδωτικό στρες: Η βιταμίνη Β9 ονομάζεται επίσης φυλλικό οξύ και υπάρχει στις ακόλουθες ανηγμένες μορφές δηλαδή: 7, 8-διϋδροφολικό (DHF), 5, 6, 7, 8-τετραϋδροφολικό (THF) και 5-μεθυλοτετραϋδροφυλλικό (5-MTHF). Είναι μια βιταμίνη με σημαντικές ιδιότητες καθώς βελτιώνει την καρδιαγγειακή νόσο λόγω της ικανότητας της να μειώνει τα επίπεδα ομοκυστεΐνης στο πλάσμα (Nygårdetal., 1997). Ωστόσο, το φυλλικό οξύ μπορεί να έχει άμεση αντιοξειδωτική δράση in vivo, η οποία δεν έχει καμία σχέση με τη μείωση της ομοκυστεΐνης (Nakanoetal., 2001). Οι ανηγμένες μορφές φυλλικού οξέος βρέθηκαν να έχουν συγκρίσιμη αντιοξειδωτική ιδιότητα με τη βιταμίνη C και τη βιταμίνη E (Gliszczynska-Świgło, 2007).

Πίνακας 2. Περίληψη των βιταμινών, των βιολογικών τους ρόλων και των διατροφικών πηγών τους.

α/α	Βιταμίνη	Ρόλος της Βιταμίνης στην Υγεία	Τρόφιμα στα οποία συναντάται
1	Βιταμίνη Α	Είναι απαραίτητη για την όραση, την ανάπτυξη των κυττάρων, την αντιοξειδωτική δράση και την προώθηση της σωστής επικοινωνίας των κυττάρων (WHFoods. World'sHealthiestFoods, 2017).	γλυκοπατάτα, καρότα, σπανάκι, λάχανο, ινδική μουστάρδα, λαχανικά, γογγύλια, σέσκουλα, μαρούλι Romaine, πεπόνι, μπρόκολο, σπαράγγια, θαλασσίνα λαχανικά, πιπεριές τσίλι, ντομάτες, βασιλικός, παπάγια, γαρίδες, αυγά, λαχανάκι Βρυξελλών, γκρέιπφρουτ, ενώ οι προδιαμορφωμένες πηγές βιταμίνης Α απαντώνται σε

			γαρίδες, αυγά, αγελαδινό γάλα, τυρί, γιαούρτι, σολομός, σαρδέλες, κοτόπουλο, γαλοπούλα, βοδινό και αρνί (WHFoods. World's Healthiest Foods, 2017).
2	Βιταμίνη D	Η βιταμίνη D είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση της υγιούς ομοιόστασης του ασβεστίου (Belenchiaetal.,2013). Συμμετέχει επίσης στην ωρίμανση των λευκών αιμοσφαιρίων, που είναι πρωταγωνιστής στις αποκρίσεις της ανοσίας (Jolliffeetal.,2013).	Η βιταμίνη D απαντάται σε κρόκους αυγών, τόνο, σολομό, σαρδέλες, μανιτάρια, αγελαδινό γάλα, γάλα σόγιας, χυμό πορτοκαλιού και εμπλουτισμένα τρόφιμα (Gombart, 2009).
3	Βιταμίνη E τοκοφερόλες και τοκοτριενόλες	Η βιταμίνη E προστατεύει τις δομές του σώματος από την οξειδωτική βλάβη. Η ανεπάρκεια βιταμίνης E σχετίζεται επίσης με καρδιακή προσβολή, καρκίνο, εγκεφαλικό επεισόδιο, ινοκυστική νόσο του μαστού,	Οι διατροφικές πηγές βιταμίνης E περιλαμβάνουν ηλιόσπορους, σπανάκι, γογγύλια, σπαράγγια, πράσινα παντζάρια, ινδική μουστάρδα, πιπεριές τσίλι, αμύγδαλα, μπρόκολο, πιπεριές,

		<p>επιληψία, προεμμηνορροϊκό σύνδρομο, διαβήτη, νόσο του Πάρκινσον, καταρράκτη, νόσο του Αλτσχάιμερ (Meydani et al., 2005).</p>	<p>λάχανο, ντομάτες, αβοκάντο, φιστίκια, γαρίδες, ελιές, ελαιόλαδο, κράνμπερι, σμέουρα, ακτινίδια, καρότα και πράσινα φασόλια (WHFoods. World's Healthiest Foods, 2017).</p>
4	<p>Βιταμίνη Κ (Φυλλοκινόνη) (Μενακινόνη) (Μεναδιόνη)</p>	<p>Η βιταμίνη Κ είναι απαραίτητη για τη δραστηριότητα της πήξης του αίματος (Shearer & Newman, 2014), βοηθά στη διατήρηση της υγείας των οστών διατηρώντας την απομετάλλωση υπό έλεγχο (Shearer & Newman, 2014).</p>	<p>αυγά, κρέας, ψάρι, γαλακτοκομικά, ζωικά τρόφιμα που έχουν υποστεί ζύμωση και φυτικές τροφές που έχουν υποστεί ζύμωση, σπανάκι, ινδική μουστάρδα, χόρτα παντζαριού, ελβετικό σέσκουλο, γογγύλια, μαϊντανός, μπρόκολο, λαχανάκια Βρυξελλών, μαρούλι, σπαράγγια, βασιλικός, λάχανο, σέλινο, ακτινίδιο, πράσινα φασόλια, αγγούρι, ντομάτες, μαύρο πιπέρι, αρακάς, βατόμουρα, καρότα, σόγια,</p>

			αβοκάντο, σμέουρα, χειμωνιάτικο σκουός, αχλάδι, κράνμπερι, πιπεριές, δαμάσκηνο, πεπόνι και μελιτζάνα (Hirota et al., 2013).
5	Βιταμίνη Β1 Θειαμίνη	<p>Συμμετέχει στην παραγωγή ενέργειας από υδατάνθρακες και λίπη (Kala & Prakash, 2003).</p> <p>Η βιταμίνη Β1 δρα ως πρόδρομο συνένζυμο ορισμένων βασικών ενζύμων του μεταβολισμού των υδατανθράκων (Bâ, 2008).</p> <p>Βοηθά επίσης στη δομική ανάπτυξη των εγκεφαλικών κυττάρων και εμπλέκεται στην αποτοξίνωση του αλκοόλ (Bâ, 2008).</p>	<p>Σπαράγγια, ηλιόσποροι, αρακάς, λιναρόσποροι, λαχανάκια Βρυξελλών, με πράσινα παντζάρια, σπανάκι, λάχανο, μελιτζάνα, μαρούλι, μανιτάρια, φασόλια, μαύρα φασόλια, κριθάρι και ξεράμπιζέλια.</p> <p>Επίσης, φασόλια λίμα, βρώμη, σουσάμι, φασόλια, φιστίκια, γλυκοπατάτα, τόφου, τόνο, ανανά, πορτοκάλια, μπρόκολο, πράσινα φασόλια, κρεμμύδια, λαχανικά, εμπλουτισμένα δημητριακά, αποξηραμένα φασόλια, άπαχα</p>

			κρέατα, τροφές σόγιας και σιτάρι ολικής αλέσεως.
6	Βιταμίνη B2 Ριβοφλαβίνη	Συμμετέχει στον ενεργειακό μεταβολισμό. Η βιταμίνη B2 ανακυκλώνει τη γλουταθειόνη που είναι το πιο σημαντικό αντιοξειδωτικό που προστατεύει από τις ελεύθερες ρίζες στο σώμα. Προάγει επίσης το μεταβολισμό του σιδήρου και η έλλειψή της αυξάνει τον κίνδυνο αναιμίας καθώς ο σίδηρος είναι απαραίτητο στοιχείο για την παραγωγή ερυθρών αιμοσφαιρίων (Said&Ross, 2012).	σπανάκι, λαχανικά από παντζάρια, σπαράγγια, θαλασσινά, αυγά, αγελαδινό γάλα, λαχανικά, μπρόκολο, σέσκουλο, πράσινα φασόλια, μανιτάρια, γογγύλια, λάχανο, μουστάρδα, σόγια, γιαούρτι, αμύγδαλα, γαλοπούλα, αρακάς, γλυκοπατάτα, σαρδέλες, τόνος, καρότα και λάχανο (WHFoods. World's Healthiest Foods, 2017).
7	Βιταμίνη B3 Νικοτινικό οξύ Δινουκλεοτίδιοαδενίνηςνικοτιν αμίδης (NAD) και φωσφορικό δινουκλεοτίδιονικοτιναμίδηςαδε νίνης (NADP)	Συμμετέχουν κυρίως στην παραγωγή ενέργειας από διατροφικές πρωτεΐνες, υδατάνθρακες και λίπη (Lešková etal.,2006).	Μανιτάρια, κουνουπίδι, γλυκοπατάτα, μπρόκολο, χόρτα τεύτλων, σπαράγγια, γογγύλια, πιπεριές, αγγούρι, σέλινο, αβοκάντο, φακές,

		<p>Το NAD, το NADP και τα ένζυμα που περιέχουν νιασίνη δεσμεύουν ελεύθερες ρίζες και προστατεύουν τους ιστούς από οξειδωτική βλάβη (Lanska, 2010).</p>	<p>αποξηραμένα μπιζέλια, κοτόπουλο, γαλοπούλα, γιαούρτι, σολομός, σίκαλη, βοδινό κρέας, αυγά, πατάτες, σιτάρι, γαρίδες, παπάγια, χειμωνιάτικο σκούος και αγελαδινό γάλα.</p>
8	Βιταμίνη B5 Παντοθενικό οξύ	<p>Το παντοθενικό οξύ που ενσωματώνεται στο συνένζυμο A (CoA) έχει κεντρική θέση στον ενεργειακό μεταβολισμό (Maqbooletal.,2018).</p>	<p>ψάρι, κουνουπίδι, γλυκοπατάτα, μπρόκολο, χόρτα παντζαριού, σπαράγγια, γογγύλια, πιπεριές, αγγούρι, σέλινο, αβοκάντο, φακές, αποξηραμένα μπιζέλια, κοτόπουλο, γαλοπούλα, γιαούρτι, σολομός, σίκαλη, βοδινό, αυγά, πατάτες, σιτάρι, καλαμπόκι, γαρίδες, παπάγια, χειμωνιάτικο σκούος, αγελαδινό γάλα, ινδική μουστάρδα, ντομάτες, βρώσιμα φύκια,μαρούλι,γομαί ne</p>

9	<p>Βιταμίνη Β6</p> <p>Πυριδοξίνη</p>	<p>Η βιταμίνη Β6 εμπλέκεται στην παραγωγή ερυθρών αιμοσφαιρίων, στον μεταβολισμό των υδατανθράκων, στην αποτοξίνωση του ήπατος, στην υγεία του εγκεφάλου και του νευρικού συστήματος (CombsJr&McClung, 2016). Συμμετέχει επίσης στην παραγωγή νευροδιαβιβαστών στον εγκέφαλο και το νευρικό σύστημα (CombsJr&McClung, 2016). Η βιταμίνη Β6 βοηθά στην αποτοξίνωση του ήπατος και η έλλειψή της προκαλεί δυσλειτουργία του ήπατος (Gregoryetal., 2013). Η ανεπάρκεια βιταμίνης Β6 βρέθηκε να συνδέεται με διαταραχή ελλειμματικής προσοχής</p>	<p>Τόνος, σπανάκι, λάχανο, πιπεριές, γογγύλια, σκόρδο, κουνουπίδι, γαλοπούλα, μοσχάρι, κοτόπουλο, σολομός, γλυκοπατάτα, πατάτες, μπανάνα, μπρόκολο, λαχανάκια Βρυξελλών, παντζάρια, λάχανο, καρότα, swiss σέσκουλα, σπαράγγια, ινδική μουστάρδα, πιπεριές τσίλι, ηλιόσποροι, φασόλια pinto, αβοκάντο, φακές, αρακάς, φασόλια lima, κρεμμύδια, γαρίδες και ανανάς (Maqbooletal.,2018).</p>
---	--------------------------------------	---	---

10	Βιταμίνη Β9, Φυλλικό οξύ ή φολικό οξύ ή φολασίνη ή βιταμίνη Μ ή πτεροϋλο-γλουταμινικό οξύ ή PteGlu παράγωγο της πτεριδίνης	Η βιταμίνη Β9 είναι απαραίτητη για την υγεία του εγκεφάλου και παρέχει υποστήριξη για το καρδιαγγειακό και το νευρικό σύστημα στον άνθρωπο (Crideret al.,2011). Είναι επίσης ζωτικής σημασίας για την παραγωγή ερυθρών αιμοσφαιρίων.	Φακές, σπαράγγια, σπανάκι, γογγύλια, μπρόκολο, παντζάρια, μαρούλι romaine, κουνουπίδι, μαϊντανός, φασόλια pinto (φασόλια που καλλιεργούνται στην Ισπανία και μοιάζουν με τα φασόλια «μπαρμπούνια»), ρεβύθια, μαύρα φασόλια, φασόλια, παπάγια, λαχανάκια Βρυξελλών
11	Βιταμίνη Β12 Κοβαλαμίνη	Παίζει ουσιαστικό ρόλο στον ενεργειακό μεταβολισμό. Η βιταμίνη Β12 είναι απαραίτητη για την ωρίμανση των ερυθρών αιμοσφαιρίων κατά την παραγωγή των ερυθρών αιμοσφαιρίων και παίζει ρόλο στη διατήρηση της καρδιαγγειακής υγείας του ανθρώπου αποτρέποντας την αύξηση του επιπέδου	σαρδέλες, σολομός, τόνος, μπακαλιάρος, αρνί, χτένια, γαρίδες, βοδινό κρέας, γιαούρτι, αγελαδινό γάλα, αυγά, γαλοπούλα, κοτόπουλο, τυρί, μανιτάρια και δημητριακά πρωινού.

		της ομοκυστεΐνης. Η βιταμίνη B12 διατηρεί επίσης την υγεία των οστών καθώς η συχνότητα εμφάνισης της οστεοπόρωσης αυξάνεται με την ανεπάρκεια αυτής της βιταμίνης	
12	Βιοτίνη	Είναι μέλος των βιταμινών του συμπλέγματος Β και παίζει καθοριστικό ρόλο στον μεταβολισμό του σακχάρου και του λίπους. Η βιοτίνη είναι απαραίτητη για την εναπόθεση λίπους στο δέρμα καθώς η ανεπάρκεια βιοτίνης προκαλεί δερματικά εξανθήματα.	ντομάτες, αμύγδαλα, αυγά, κρεμμύδια, καρότα, μαρούλι, κουνουπίδι, γλυκοπατάτα, βρώμη, φιστίκια, καρύδια, σολομός, μπανάνα γιαούρτι, σμέουρα, αγελαδινό γάλα, φράουλες, καρπούζι, γκρέιπφρουτ και αγγούρι
13	Βιταμίνη C Ασκορβικό οξύ	Η βιταμίνη C είναι γνωστή για τις αντιοξειδωτικές της ιδιότητες που προστατεύουν τις κυτταρικές δομές από τις βλαβερές συνέπειες των	Παπάγια, πιπεριές, μπρόκολο, λαχανάκια Βρυξελλών, φράουλες, ανανάς, πορτοκάλια, με ακτινίδιο. Πεπόνι, κουνουπίδι, λάχανο,

		<p>ελεύθερων ριζών. Παίζει επίσης ρόλο στην απορρόφηση του σιδήρου μετατρέποντας τον σίδηρο σε μια μορφή που μπορεί εύκολα να απορροφηθεί στο έντερο. Επίσης, η βιταμίνη C είναι απαραίτητη για την παραγωγή κολλαγόνου, το οποίο είναι δομικό συστατικό του ανθρώπινου σώματος. Η σύνθεση ορισμένων νευροδιαβιβαστών εξαρτάται επίσης από τη βιταμίνη C, ειδικά των νευροδιαβιβαστών που εμπλέκονται στη σηματοδότηση των συναισθημάτων, των σκέψεων και των εντολών σε όλο τον εγκέφαλο και το νευρικό σύστημα. Η βιταμίνη C είναι επίσης απαραίτητη προϋπόθεση για τη σύνθεση της</p>	<p>λάχανο, bokChoy, γκρέιπφρουτ, μαϊντανός, γογγύλια, χόρτα παντζαριού, ινδική μουστάρδα, λαχανικά, σμέουρα, σέσκουλο, ντομάτες, λεμόνια και λάιμ, σπανάκι, σπαράγγια, βρώσιμα φύκια, μάραθο και γλυκοπατάτες (Carr&Frei, 1999).</p>
--	--	--	--

		σεροτονίνης, μιας ορμόνης που απαιτείται για την καλή λειτουργία του ενδοκρινικού συστήματος, του νευρικού συστήματος, του πεπτικού συστήματος και του ανοσοποιητικού συστήματος.	
--	--	---	--

2. Ο Ρόλος των Αντιοξειδωτικών Ουσιών στον Οργανισμό

2.1. Οφέλη Αντιοξειδωτικών στον Ανθρώπινο Οργανισμό

Ως βιομόριο ορίζεται κάθε χημικό μόριο το οποίο παράγεται από έναν οργανισμό μέσω του μεταβολισμού του και αποτελεί λειτουργικό ή δομικό συστατικό του. Τα αντιοξειδωτικά μπορούν να έχουν διττό ρόλο στην παραγωγή ROS. Οξειδώνονται εύκολα και μπορούν να λειτουργήσουν ως οξειδωτικά για να προκαλέσουν βλάβη όταν υπάρχουν σε μεγάλες συγκεντρώσεις, ωστόσο, οι οξειδωμένες μορφές φυσικών αντιοξειδωτικών είναι σχετικά μη αντιδραστικές προς τα βιομόρια. Για παράδειγμα, οι οξειδωμένες μορφές ασκορβικού (ασκορβική ρίζα και δεϋδροασκορβικό) (Tuetal., 2017), οι ρίζες φαινοξυλίου (Hermund, 2018), οι ρίζες τοκοφεροξυλίου και οι ρίζες λυκοπενίου (Moussaetal., 2019) είναι σχετικά σταθερές και μη αντιδραστικές και δεν προκαλούν κυτταρική βλάβη ούτε εκκινούν την υπεροξείδωση των λιπιδίων. Οι βλαβερές ελεύθερες ρίζες μπορούν να δημιουργηθούν μέσω των αντιδράσεων Fenton και Haber-Weiss όταν ανηγμένες μορφές οξειδοαναγωγικά ενεργών μεταλλικών ιόντων και H_2O_2 παρουσία αντιοξειδωτικών παράγουν αντιδραστικές ρίζες υδροξυλίου. Ο περιοριστικός παράγοντας μέσα στα κύτταρα είναι το H_2O_2 που σχηματίζεται κατά την αυτοοξείδωση συνθετικών αντιοξειδωτικών όπως οι βιταμίνες C, E και άλλες (Balogunetal., 2003). Μπορεί να μειώσει τον ελεύθερο σίδηρο Fe^{2+} και άλλα μεταλλικά ιόντα (χρώμιο, κοβάλτιο, χαλκό και βανάδιο), τα οποία ξεκινούν τη δημιουργία ελεύθερων ριζών μέσω αντιδράσεων τύπου Fenton. Πιο συγκεκριμένα, η αντίδραση Fenton περιγράφει τον σχηματισμό υδροξειδίου (OH^-) και ρίζας υδροξυλίου από μια αντίδραση μεταξύ του σιδήρου (II) (Fe^{2+}) και του υπεροξειδίου του υδρογόνου (H_2O_2) [$Fe^{2+} + H_2O_2 \rightarrow Fe^{3+} + OH^- + OH\cdot$] ενώ η αντίδραση Haber-Weiss συμβαίνει όταν παράγονται ιόντα υδροξυλίου και υδροξειδίου από το αντίδραση H_2O_2 και ιόντος υπεροξειδίου ($O_2^{\cdot-}$) που καταλύεται από σίδηρο [$O_2^{\cdot-} + H_2O_2 \rightarrow OH^- + OH\cdot + O_2$].

Τα αντιοξειδωτικά εμπλέκονται στις ανοσοαποκρίσεις, στις διεργασίες κυτταρικής σηματοδότησης, στη ρύθμιση των δραστηριοτήτων μεταγραφικών παραγόντων και σε άλλους καθοριστικούς παράγοντες της γονιδιακής έκφρασης (Poljsak&Milisav, 2014).

Επιπλέον, τα ROS αλληλεπιδρούν με κυτταρικά μονοπάτια σήματος που ελέγχουν τον κυτταρικό κύκλο, τη διαφοροποίηση και την απόπτωση (Redza-

Dutordoir&Averill-Bates, 2016). Κατάλληλες ποσότητες οξειδωμένων μορφών φυσικών αντιοξειδωτικών μπορούν να ρυθμίσουν τον κυτταρικό μεταβολισμό με την επαγωγή αποκρίσεων κυτταρικού στρες ή και την ενεργοποίηση συστημάτων επιδιόρθωσης και συντήρησης της κυτταρικής βλάβης (Milisavetal., 2018). Συγκεκριμένα, τα ROS και τα οξειδωτικά είναι επίσης μόρια σηματοδότησης, π.χ., τα κύτταρα χρησιμοποιούν υπεροξειδίο και υπεροξειδίο του υδρογόνου H_2O_2 ως χημικό σήμα στη ρύθμιση του μεταβολισμού της γλυκόζης, της κυτταρικής ανάπτυξης, του πολλαπλασιασμού και της άμυνας των κυττάρων έναντι των παθογόνων. Ακόμη και ορισμένα προϊόντα υπεροξειδωσίας λιπιδίων ρυθμίζουν τις οδούς μεταγωγής σήματος και επάγουν μια προσαρμοστική απόκριση ρυθμίζοντας προς τα πάνω τις αμυντικές διαδικασίες (Chen&Niki, 2011).

Η αύξηση των οξειδωτικών ή ROS μπορεί να ενεργοποιήσει την πρωτεϊνική κινάση που σχετίζεται με το εξωκυττάριο σήμα, την κινάση πρωτεΐνης B, τις Ένεργοποιημένες από Μιτογόνο Πρωτεϊνικές Κινάσες (Mitogen-Activated Protein Kinases - MAPKs)΄΄, την κινάση του υποδοχέα ινσουλίνης και άλλες προσαρμοστικές οδούς απόκρισης στο στρες, όπως παράγοντες μεταγραφής ευαίσθητους στην οξειδοαναγωγή, π.χ. ΄΄Πυρηνικός Παράγοντας-kB (Nuclear Factor-kB - NF-kB)΄΄ και ΄΄Πρωτεΐνη Ενεργοποιητής 1 (Activator Protein-1 - AP-1)΄΄ (Liaudetetal., 2009). Διάφοροι ενδοκυτταρικοί αισθητήρες οξειδοαναγωγής ελέγχουν την ισορροπία οξειδοαναγωγής εντός του κυττάρου ανιχνεύοντας τα επίπεδα μειωμένου NADH και κινονών, τη μειωμένη και οξειδωμένη αναλογία γλουταθειόνης (GSH/GSSG) μπορούν να αισθανθούν την οξείδωση ανηγμένων ειδών πρωτεϊνών και θειολώνχαμηλού μοριακού βάρους καθώς και τα επίπεδα μοριακού οξυγόνου, τις ποσότητες Ένεργων μορφών Οξειδίου του Αζώτου (ReactiveNitrogenOxideSpecies - RNOS)(Green&Paget, 2004) και την αύξηση του υπεροξειδίου, του υπεροξειδίου του υδρογόνου και άλλων ROS. Πολυάριθμα μονοπάτια ενδοκυτταρικής σηματοδότησης ενεργοποιούνται πυροδοτώντας αλλαγές στη μεταγραφή ως απόκριση στην αυξημένη ενδοκυτταρική οξείδωση. π.χ. άμεση οξείδωση και μείωση των παραγόντων μεταγραφής που συμβαίνουν με το OxyR ή στο σύστημα APE-1/Ref-1, αλλαγμένος υποκυτταρικός εντοπισμός τόσο του Nrf2/Keap1 όσο και του Yap1 και μεταβολές των ενδοκυτταρικών οξειδοαναγωγικών ρυθμιστικών διαλυμάτων που, με τη σειρά τους, ρυθμίζουν τη δραστηριότητα των ενζύμων που τροποποιούν τη χρωματίνη όπως το SIRT1 ή μεταβάλλουν τη δέσμευση

μεταγραφικών παραγόντων που εξαρτώνται από το NADH όπως το BMAL (Liu et al., 2005). Οι μέτριες συγκεντρώσεις ROS είναι ουσιαστικοί μεσολαβητές άμυνας έναντι παθογόνων και ανεπιθύμητων κυττάρων. Το τελευταίο είναι σημαντικό για την πρόληψη του καρκίνου (Poljsak & Milisav, 2018). Εάν η χορήγηση αντιοξειδωτικών συμπληρωμάτων μειώνει τα ROS, μπορεί επίσης να επηρεάσει την απόπτωση και να μετριάσει την αποβολή των κατεστραμμένων κυττάρων, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που είναι προκαρκινικά και καρκινικά (Salganik, 2001). Επομένως, η υπερβολική εξουδετέρωση των ελεύθερων ριζών με αντιοξειδωτικά συμπληρώματα παρεμβαίνει στους βασικούς μηχανισμούς κυτταρικής άμυνας και επιδιόρθωσης (Salganik, 2001) και προκαλεί το λεγόμενο «αντιοξειδωτικό στρες» (Poljsak & Milisav, 2012). Οι οξειδωμένες μορφές αντιοξειδωτικών σε χαμηλές δόσεις επάγουν την επίδραση της όρμησης (hormesis) με αποτέλεσμα την αυξημένη κυτταρική άμυνα ενεργοποιώντας την αυξημένη ενδογενή αντιοξειδωτική προστασία και τις διαδικασίες αποκατάστασης βλαβών. Η όρμηση είναι μια προσαρμοστική απόκριση σε μια χαμηλής έντασης έκθεση σε στρεσογόνο παράγοντα που προκαλεί μια αρχική διαταραχή στην ομοιόσταση (Mattson, 2008). Με βάση την κλασική φυσιολογική έννοια της όρμησης, η μελέτη των Finkel & Holbrook (2000) πρότεινε ότι η καλύτερη στρατηγική για την ενίσχυση των επιπέδων ενδογενών αντιοξειδωτικών μπορεί να είναι το ίδιο το οξειδωτικό στρες.

Παρατηρήθηκε σε ορισμένα αφεψήματα πλούσια σε αντιοξειδωτικά, όπως ο καφές (Akagawa et al., 2003) ότι οι ρίζες H_2O_2 παράγονται κατά την αυτο-οξείδωση των φυσικών αντιοξειδωτικών υπό αερόβιες σχεδόν φυσιολογικές συνθήκες (Poljsak et al., 2005). Η κατανάλωση χαμηλών επιπέδων H_2O_2 μπορεί να ενεργοποιήσει μονοπάτια επιβίωσης και απόκρισης στο στρες (Poljsak & Milisav, 2014). Οι παρατηρούμενες ευεργετικές επιδράσεις της κατανάλωσης τσαγιού και καφέ μπορεί να αποδοθούν στο ήπιο οξειδωτικό στρες που προκαλείται από τα ROS που προκαλεί κυτταρικές προσαρμοστικές αποκρίσεις. Αντίθετα, η πρόσληψη μεγάλων δόσεων εξωγενών αντιοξειδωτικών μπορεί να επηρεάσει τις οδούς σηματοδότησης που ρυθμίζουν τον πολλαπλασιασμό, τη διαφοροποίηση και την απόπτωση των κυττάρων (Janssen-Heininger et al., 2008), καθώς επίσης και με τον ρυθμό σύνθεσης ενδογενών αντιοξειδωτικών, όπως το SOD και η καταλάση (Zeidán-Chuliá et al., 2013); η δραστηριότητά τους μπορεί επίσης να μειωθεί. Μεγάλες ποσότητες αντιοξειδωτικών θρεπτικών συστατικών μπορούν να αυξήσουν το οξειδωτικό στρες παρουσία

μεταλλικών ιόντων λόγω των χημικών αντιδράσεων τύπου Fenton, καθώς τα αντιοξειδωτικά στην ανηγμένη μορφή μπορούν να προκαλέσουν αυξημένο σχηματισμό ROS ή άλλες προοξειδωτικές επιδράσεις παρουσία ελεύθερων οξειδοαναγωγικών μεταλλικών ιόντων.

Αν και οι οξειδωμένες μορφές των φυσικών αντιοξειδωτικών μπορεί αρχικά να εξαντλήσουν τα ενδογενή αντιοξειδωτικά (π.χ. γλουταθειόνη), μπορεί επίσης να αυξήσουν τη δραστηριότητα των ενδογενών συστημάτων άμυνας και επιδιόρθωσης ως συνέπεια της αναγέννησης των ενδογενών αντιοξειδωτικών. Η μελέτη των Makris & Boskou, (2014) έδειξε ότι το ασκορβικό μπορεί να αναγεννήσει την οξειδωμένη βιταμίνη E και η GSH μπορεί να αναγεννήσει το οξειδωμένο ασκορβικό. Από την άλλη πλευρά, η λήψη εξωγενών αντιοξειδωτικών μπορεί να επηρεάσει τη σύνθεση των ενδογενών αντιοξειδωτικών καταστέλλοντας το σχηματισμό τους. Για παράδειγμα, τα θρεπτικά αντιοξειδωτικά εξάλειψαν εντελώς την παράταση της διάρκειας ζωής αναστέλλοντας μια προσαρμοστική αντίδραση στο ROS που ονομάζεται μιτοχονδρική όρμηση (mitohormesis) (Ristow & Schmeisser, 2011). Ομοίως, αποδείχθηκαν μειωμένες επιδράσεις που προάγουν την υγεία εάν τα άτομα που εκτέθηκαν σε σωματική δραστηριότητα έλαβαν θεραπεία με αντιοξειδωτικά συμπληρώματα (Ristow et al., 2009). Η προσθήκη ορισμένων αντιοξειδωτικών (π.χ. βιταμίνη E και α-λιποϊκό οξύ) καταστέλλει τη μιτοχονδριακή βιογένεση των σκελετικών μυών, ανεξάρτητα από την κατάσταση της προπόνησης (Strobel et al., 2011). Η αντιοξειδωτική θεραπεία με βιταμίνες A, C και E και ρεσβερατρόλη μπορεί επίσης να καταστείλει τη σύνθεση των ενδογενών αντιοξειδωτικών, αποτρέποντας έτσι τα ευεργετικά αποτελέσματα που επιτυγχάνονται με τακτική άσκηση (Donato et al., 2010), πιθανότατα λόγω της μειωμένης βιογένεσης των μιτοχονδρίων που διεγείρεται από υπερβολικό σχηματισμό ROS (Strobel et al., 2011). Επιπλέον, η προσθήκη αντιοξειδωτικών ή συμπληρωμάτων κατά των ελευθέρων ριζών θα μπορούσε να εξουδετερώσει τα ROS που πυροδοτούν την απελευθέρωση του Nrf2 και κατά συνέπεια την όρμηση κατά τη διάρκεια μέτριου κυτταρικού στρες. Τα αντιοξειδωτικά συμπληρώματα ρυθμίζουν τα ROS και έτσι «απενεργοποιούν» την όρμηση όταν το κυτταρικό στρες βρίσκεται εντός του εύρους που προκαλεί όρμηση (Milisav et al., 2018).

Μια σημαντική πτυχή των οξειδωμένων μορφών φυσικών αντιοξειδωτικών είναι η κυτταρική τους πρόσληψη. Αν και λίγες μελέτες διερεύνησαν αυτή την έννοια,

φαίνεται ότι ορισμένα αντιοξειδωτικά διεισδύουν στα κύτταρα επαρκέστερα και πιο γρήγορα στην οξειδωμένη τους μορφή. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η βιταμίνη C, μέσω της ανεξάρτητης από το νάτριο μεταφοράς δεϋδροασκορβικού οξέος. Το δεϋδροασκορβικό οξύ μεταφέρεται στα κύτταρα μέσω των μεταφορέων γλυκόζης Glut1 και Glut2 (Frei, 2012). Η οξειδωμένη μορφή του ασκορβικού οξέος (δεϋδροασκορβικό) αναγεννάται από την ενδοκυτταρική γλουταθειόνη (Yunetal., 2015). Επιπλέον, μια αντιοξειδωτική σιλυβίνη, η 2,3-δεϋδροσιλυβίνη, στην οξειδωμένη της μορφή, εισέρχεται στα κύτταρα γρηγορότερα, προκαλεί προσαρμοστικές αποκρίσεις και αυξάνει την ανοχή έναντι του επερχόμενου οξειδωτικού στρες ρυθμίζοντας προς τα πάνω τις ενδογενείς άμυνες και τις οδούς σηματοδότησης (Huberetal., 2008).

Η αντιοξειδωτική δράση των φρούτων και των λαχανικών εξαρτάται από τον τύπο του λαχανικού/φρούτου και την τεχνολογία επεξεργασίας που χρησιμοποιείται. Η προσέγγιση επεξεργασίας μπορεί να μειώσει, να αυξήσει ή να μην επηρεάσει την αντιοξειδωτική περιεκτικότητα των τροφίμων. Οι αναδυόμενες τεχνολογίες, όπως η υψηλή υδροστατική πίεση, το παλμικό ηλεκτρικό πεδίο, ο υπέρηχος, ο φούρνος μικροκυμάτων, η ωμική θέρμανση και η ακτινοβολία, μελετώνται ως εναλλακτικές των συμβατικών για τη διατήρηση των υγιεινών πλεονεκτημάτων των αντιοξειδωτικών ενώσεων σε επεξεργασμένα τρόφιμα (Khanetal., 2018). Γενικά, οι μη θερμικές επεξεργασίες τροφίμων όπως η ακτινοβολία γάμμα και η υπεριώδης ακτινοβολία, το υπεριώδες φως, τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία και η υψηλή υδροστατική πίεση είναι καλύτερες για τη διατήρηση της ποιότητας των βιοδραστικών ενώσεων στα φυτικά τρόφιμα, ενώ οι θερμικές επεξεργασίες μπορούν να προκαλέσουν το σχηματισμό ενώσεων με νέες αντιοξειδωτικές ιδιότητες (π.χ. προϊόντα αντίδρασης Maillard ή αμαύρωση) και βελτιώνει τη βιοδιαθεσιμότητα.

Η υπερβολική πρόσληψη συνθετικών αντιοξειδωτικών (π.χ. με την πρόσληψη συμπληρωμάτων διατροφής ή την προσθήκη συνθετικών αντιοξειδωτικών στα τρόφιμα) μπορεί να αλλάξει την ενδογενή αντιοξειδωτική άμυνα των κυττάρων ή τις οδούς κυτταρικού θανάτου καθώς και να καταστέλλει τη σύνθεση ενδογενών αντιοξειδωτικών (Donato et al., 2010). Η αύξηση των κυτταρικών αντιοξειδωτικών μπορεί να προκαλέσει αυξημένο σχηματισμό ROS ή να εξουδετερώσει τις ελεύθερες ρίζες και να προκαλέσει διαταραχή στην οξειδοαναγωγή και στη μεταγωγή σήματος. Μια μη επιλεκτική εξάλειψη των ελεύθερων ριζών από συνθετικά

αντιοξειδωτικά είναι πιο πιθανό να διαταράξει, αντί να επεκτείνει, τη φυσιολογική λειτουργία των κυττάρων. Ορισμένες ενώσεις με αντιοξειδωτική δράση μπορεί να βελτιώσουν την υγεία, όχι λόγω των αντιοξειδωτικών τους ιδιοτήτων, αλλά λόγω του ρόλου τους στην διέγερση επιδιόρθωσης βλαβών και παραδόξως, λόγω της προοξειδωτικής τους δράσης. Η αποτελεσματικότητα της άμυνας και της επιδιόρθωσης μπορεί να βελτιωθεί μετά την έκθεση σε «μέτρια» επίπεδα ROS ή οξειδωτικών, καθώς η έκφραση πολλών ενζύμων επιδιόρθωσης του DNA ρυθμίζεται προς τα πάνω κατά τη διάρκεια ήπιου οξειδωτικού στρες ή άλλων ειδών στρες (Halliwell, 2013).

Η ευεργετική φυσιολογική χρήση των ROS αποδεικνύεται τώρα σε διαφορετικά πεδία, συμπεριλαμβανομένης της ενδοκυτταρικής σηματοδότησης και της οξειδοαναγωγικής ρύθμισης. Η διάρκεια της ζωής και της υγείας μπορεί επομένως να βελτιωθούν με την ενεργοποίηση των οδών σηματοδότησης που ενισχύουν τις διαδικασίες επιδιόρθωσης και συντήρησης των κυττάρων, επίσης με οξειδωμένες μορφές αντιοξειδωτικών που σχηματίζονται κατά την επεξεργασία των τροφίμων.

2.2. Οφέλη Αντιοξειδωτικά Έναντι Παθήσεων

Τα αντιοξειδωτικά ήρθαν στην προσοχή του κοινού τη δεκαετία του 1990, όταν οι επιστήμονες άρχισαν να καταλαβαίνουν ότι η βλάβη από τις ελεύθερες ρίζες εμπλέκεται στα πρώιμα στάδια της αρτηριοσκλήρωσης και απόφραξης των αρτηριών. Συνδέθηκαν επίσης με καρκίνο, απώλεια όρασης και μια σειρά από άλλες χρόνιες παθήσεις. Ορισμένες μελέτες έδειξαν ότι τα άτομα με χαμηλή πρόσληψη φρούτων και λαχανικών πλούσιων σε αντιοξειδωτικά διέτρεχαν μεγαλύτερο κίνδυνο να αναπτύξουν αυτές τις χρόνιες παθήσεις σε σχέση με άτομα που έτρωγαν άφθονα από αυτά τα τρόφιμα. Οι κλινικές δοκιμές άρχισαν να δοκιμάζουν την επίδραση μεμονωμένων ουσιών σε μορφή συμπληρώματος, ιδιαίτερα της β-καροτίνης και της βιταμίνης E, ως όπλα κατά των χρόνιων παθήσεων.

Ακόμη και πριν εμφανιστούν τα αποτελέσματα αυτών των δοκιμών, τα μέσα ενημέρωσης και οι βιομηχανίες συμπληρωμάτων και τροφίμων άρχισαν να διαφημίζουν τα οφέλη των «αντιοξειδωτικών». Στα καταστήματα άρχισαν να εμφανίζονται κατεψυγμένα μούρα, πράσινο τσάι και άλλες τροφές που χαρακτηρίζονται ως πλούσιες σε αντιοξειδωτικά. Οι κατασκευαστές συμπληρωμάτων

διαφημίζουν τις ιδιότητες καταπολέμησης των ασθενειών για όλα τα είδη των αντιοξειδωτικών.

Τα αποτελέσματα της έρευνας ήταν μικτά, αλλά τα περισσότερα δεν βρήκαν τα αναμενόμενα οφέλη. Οι περισσότερες ερευνητικές ομάδες ανέφεραν ότι η βιταμίνη E και άλλα αντιοξειδωτικά συμπληρώματα δεν προστατεύουν από καρδιακές παθήσεις ή καρκίνο (Sembetal.,2014). Μια μελέτη έδειξε μάλιστα ότι η λήψη συμπληρωμάτων β-καροτίνης αύξησε πραγματικά τις πιθανότητες εμφάνισης καρκίνου του πνεύμονα στους καπνιστές. Από την άλλη πλευρά, ορισμένες δοκιμές ανέφεραν οφέλη. Για παράδειγμα, μετά από 18 χρόνια παρακολούθησης, η Μελέτη για την υγεία των γιατρών (Grodsteinetal.,2007) διαπίστωσε ότι η λήψη συμπληρωμάτων β-καροτίνης συσχετίστηκε με μέτρια μείωση του ρυθμού γνωστικής έκπτωσης (Grodsteinetal., 2007), κάτι το οποίο κρίνεται αρνητικό.

Αυτά τα ως επί το πλείστον απογοητευτικά αποτελέσματα δεν εμπόδισαν τις εταιρείες τροφίμων και τους πωλητές συμπληρωμάτων να κάνουν τραπεζικές συναλλαγές με τα αντιοξειδωτικά. Τα αντιοξειδωτικά εξακολουθούν να προστίθενται σε δημητριακά πρωινού, αθλητικές μπάρες, ενεργειακά ποτά και άλλα επεξεργασμένα τρόφιμα και προωθούνται ως πρόσθετα που μπορούν να αποτρέψουν καρδιακές παθήσεις, καρκίνο, καταρράκτη, απώλεια μνήμης και άλλες καταστάσεις.

Συχνά οι ισχυρισμοί έχουν διευρύνει και παραμορφώσει τα δεδομένα. Αν και είναι αλήθεια ότι η συσκευασία των αντιοξειδωτικών, μετάλλων, φυτικών ινών και άλλων ουσιών που βρίσκονται φυσικά σε φρούτα, λαχανικά και δημητριακά ολικής αλέσεως βοηθά στην πρόληψη μιας ποικιλίας χρόνιων ασθενειών, είναι απίθανο οι υψηλές δόσεις των αντιοξειδωτικών συμπληρωμάτων μπορεί να επιτύχει το ίδιο επίτευγμα.

Τυχαίοποιημένες ελεγχόμενες με εικονικό φάρμακο δοκιμές, οι οποίες μπορούν να παρέχουν τα ισχυρότερα στοιχεία, προσφέρουν ελάχιστη υποστήριξη ότι η λήψη βιταμίνης C, βιταμίνης E, β-καροτίνης ή άλλων μεμονωμένων αντιοξειδωτικών παρέχει ουσιαστική προστασία έναντι των καρδιακών παθήσεων, του καρκίνου ή άλλων χρόνιων παθήσεων. Τα αποτελέσματα των μεγαλύτερων δοκιμών ήταν ως επί το πλείστον αρνητικά.

2.2.1. Καρδιακές Παθήσεις

Η βιταμίνη E, η β-καροτίνη και άλλα αντιοξειδωτικά σε μορφή συμπληρώματος δεν αποτελεί τη βέλτιστη και πιο αποτελεσματική λύση κατά της καρδιακής νόσου και του εγκεφαλικού που ήλπιζαν οι ερευνητές. Μια μέτρια επίδραση της βιταμίνης E έχει βρεθεί σε ορισμένες μελέτες, αλλά χρειάζεται περισσότερη έρευνα. Στη μελέτη για την υγεία των γυναικών, 39.876 αρχικά υγιείς γυναίκες έλαβαν 600 IU βιταμίνης E φυσικής πηγής ή ένα εικονικό φάρμακο κάθε δεύτερη μέρα για 10 χρόνια. Στο τέλος της μελέτης, τα ποσοστά σοβαρών καρδιαγγειακών συμβάντων και καρκίνου δεν ήταν χαμηλότερα μεταξύ εκείνων που έπαιρναν βιταμίνη E από εκείνων που έλαβαν εικονικό φάρμακο. Ωστόσο, η δοκιμή παρατήρησε μια σημαντική μείωση κατά 24% στη συνολική καρδιαγγειακή θνησιμότητα. Αν και αυτό δεν ήταν ένα πρωταρχικό τελικό σημείο για τη δοκιμή, ωστόσο αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό αποτέλεσμα (Leeetal., 2005).

Παλαιότερες μεγάλες δοκιμές βιταμίνης E, που πραγματοποιήθηκαν σε άτομα με προηγουμένως διαγνωσμένη στεφανιαία νόσο ή με υψηλό κίνδυνο για αυτήν, γενικά δεν έδειξαν κανένα όφελος. Στη δοκιμή “Αξιολόγησης Πρόληψης Καρδιακών Αποτελεσμάτων (Heart Outcomes Prevention Evaluation-HOPE)”, τα ποσοστά σοβαρών καρδιαγγειακών συμβαμάτων ήταν ουσιαστικά τα ίδια στις ομάδες της βιταμίνης E (21,5%) και του εικονικού φαρμάκου (20,6%), αν και οι συμμετέχοντες που έλαβαν βιταμίνη E είχαν υψηλότερο κίνδυνο καρδιακής ανεπάρκειας και νοσηλείας για καρδιακή ανεπάρκεια (Lonnetal., 2005). Στη δοκιμή “Ιταλικής ομάδας για τη μελέτη της επιβίωσης σε έμφραγμα του μυοκαρδίου (Gruppo Italiano per lo Studio della Sopravvivenza nell'Infarto Miocardico-GISSI)”, τα αποτελέσματα ήταν μικτά, αλλά κυρίως δεν έδειξαν προληπτικά αποτελέσματα μετά από περισσότερα από τρία χρόνια θεραπείας με βιταμίνη E μεταξύ 11.000 επιζώντων καρδιακής προσβολής. Ωστόσο, ορισμένες μελέτες προτείνουν πιθανά οφέλη μεταξύ ορισμένων υποομάδων.

Η β-καροτίνη, εν τω μεταξύ, δεν παρέχει καμία προστασία από καρδιακές παθήσεις ή εγκεφαλικό επεισόδιο, όπως καταδεικνύεται από τη Μελέτη Physicians' Health. Στη μελέτη “Συμπλήρωμα με αντιοξειδωτικές βιταμίνες και μέταλλα (Supplementation en Vitamines et Mineraux Antioxydants -SU.VI.MAX)”, 13.017 Γάλλοι άνδρες και γυναίκες έλαβαν μία μόνο ημερήσια κάψουλα που περιείχε 120 mg βιταμίνη C, 30

mg βιταμίνη E, 6 mg β-καροτίνη, 100 mg σελήνιο και 20 mg ψευδάργυρου, ή ένα εικονικό φάρμακο, για επτάμισι χρόνια. Οι βιταμίνες δεν είχαν καμία επίδραση στα συνολικά ποσοστά καρδιαγγειακών παθήσεων (Herbergetal., 2004). Στη Γυναικεία Αντιοξειδωτική Καρδιαγγειακή Μελέτη, η βιταμίνη E, η βιταμίνη C και η β-καροτίνη είχαν παρόμοια αποτελέσματα με το εικονικό φάρμακο στο έμφραγμα του μυοκαρδίου, το εγκεφαλικό επεισόδιο, την στεφανιαία επαναγγείωση και τον καρδιαγγειακό θάνατο, αν και υπήρχε ένα μέτριο και σημαντικό όφελος για τη βιταμίνη E στις γυναίκες με υπάρχουσα καρδιαγγειακή νόσο (Cooketal., 20007).

2.2.2. Παθήσεις Αναπνευστικού Συστήματος

Μια μελέτη του 2014 από το Journal of Respiratory Research διαπίστωσε ότι διαφορετικές ισομορφές της βιταμίνης E (που ονομάζονται τοκοφερόλες) είχαν αντίθετα αποτελέσματα στη λειτουργία των πνευμόνων. Η μελέτη ανέλυσε δεδομένα από την κοορτή “Ανάπτυξης Κινδύνου Στεφανιαίας Αρτηρίας σε Νέους Ενήλικες (Coronary Artery Risk Developmentin Young Adults-CARDIA)” και μέτρησε τα επίπεδα άλφα- και γάμμα-τοκοφερόλης στον ορό σε 4.526 ενήλικες. Η πνευμονική λειτουργία δοκιμάστηκε χρησιμοποιώντας σπιρομετρικές παραμέτρους: οι υψηλότερες παράμετροι είναι ενδεικτικές της αυξημένης πνευμονικής λειτουργίας, ενώ οι χαμηλότερες παράμετροι είναι ενδεικτικές της μειωμένης πνευμονικής λειτουργίας. Η μελέτη διαπίστωσε ότι τα υψηλότερα επίπεδα άλφα-τοκοφερόλης στον ορό συσχετίστηκαν με υψηλότερες σπιρομετρικές παραμέτρους και ότι τα υψηλά επίπεδα γ-τοκοφερόλης στον ορό συσχετίστηκαν με χαμηλότερες σπιρομετρικές παραμέτρους. Αν και η μελέτη είχε χαρακτήρα παρατήρησης, επιβεβαίωσε τη μηχανιστική οδό της α και γ-τοκοφερόλης σε μελέτες σε ποντίκια (Berdnikovsetal., 2009).

2.2.3. Αντιοξειδωτικά και Καρκίνος

Όσον αφορά την πρόληψη του καρκίνου, η εικόνα παραμένει ασαφής για τα αντιοξειδωτικά συμπληρώματα. Λίγες δοκιμές έχουν διεξαχθεί αρκετά για να παρέχουν ένα κατάλληλο τεστ για τον καρκίνο.

Στη μακροπρόθεσμη Μελέτη Physicians’ Health Study, τα ποσοστά καρκίνου ήταν παρόμοια μεταξύ των ανδρών που έπαιρναν β-καροτίνη και μεταξύ εκείνων που έπαιρναν εικονικό φάρμακο. Άλλες δοκιμές δεν έδειξαν επίσης σε μεγάλο βαθμό κανένα αποτέλεσμα, συμπεριλαμβανομένου του HOPE (Lonnetal., 2005). Η

τυχαιοποιημένη ελεγχόμενη με εικονικό φάρμακο δοκιμή SU.VI.MAX έδειξε μείωση του κινδύνου καρκίνου και της θνησιμότητας από κάθε αιτία μεταξύ των ανδρών που έπαιρναν ένα αντιοξειδωτικό κοκτέιλ (χαμηλές δόσεις βιταμινών C και E, βήτα-καροτίνη, σελήνιο και ψευδάργυρο) αλλά όχι εμφανής επίδραση στις γυναίκες, πιθανώς επειδή οι άνδρες έτειναν να έχουν χαμηλά επίπεδα β-καροτίνης και άλλων βιταμινών στο αίμα στην αρχή της μελέτης (Hercbergetal., 2004). Μια τυχαιοποιημένη δοκιμή σεληνίου σε άτομα με καρκίνο του δέρματος έδειξε σημαντικές μειώσεις στη θνησιμότητα από καρκίνο και καρκίνο σε διάφορα σημεία, συμπεριλαμβανομένου του παχέος εντέρου, του πνεύμονα και του προστάτη. Τα αποτελέσματα ήταν ισχυρότερα μεταξύ εκείνων με χαμηλά επίπεδα σεληνίου κατά την έναρξη.

2.2.4. Οφθαλμολογικές Παθήσεις

Μια εξαετής δοκιμή, η “μελέτη οφθαλμικής νόσου που σχετίζεται με την ηλικία (Age – Related Eye Disease Study - AREDS)”, διαπίστωσε ότι ένας συνδυασμός βιταμίνης C, βιταμίνης E, β-καροτίνης και ψευδαργύρου προσέφερε κάποια προστασία από την ανάπτυξη προχωρημένης ηλικιακής εκφύλισης της ωχράς κηλίδας, αλλά όχι καταρράκτη, σε άτομα που διέτρεχαν υψηλό κίνδυνο για τη νόσο (Age-Related Eye Disease Study Research Group, 2001).

Η λουτεΐνη, ένα φυσικά καροτενοειδές που βρίσκεται στα πράσινα, φυλλώδη λαχανικά όπως το σπανάκι και το λάχανο, μπορεί να προστατεύσει την όραση. Ωστόσο, σχετικά σύντομες δοκιμές συμπληρωμάτων λουτεΐνης για εκφύλιση της ωχράς κηλίδας που σχετίζεται με την ηλικία έχουν δώσει αντικρουόμενα ευρήματα.

Μια ανασκόπηση Cochrane 19 τυχαιοποιημένων ελεγχόμενων δοκιμών συνέκρινε τα αντιοξειδωτικά συμπληρώματα βιταμινών/μεταλλικών συστατικών (πολυβιταμίνη, βιταμίνη E, λουτεΐνη, ζεαξανθίνη, ψευδάργυρος) με εικονικό φάρμακο ή καμία παρέμβαση σε άτομα με AMD (Evans, 2006). Οι συμμετέχοντες ήταν γενικά καλά τρεφόμενοι. Η μελέτη διαπίστωσε ότι τα άτομα που έπαιρναν τις βιταμίνες είχαν λιγότερες πιθανότητες να εξελιχθούν σε τελευταίο στάδιο AMD και απώλεια όρασης. Ωστόσο, οι συγγραφείς της μελέτης σημείωσαν ότι η λήψη μόνο λουτεΐνης και ζεαξανθίνης ή μόνο της βιταμίνης E δεν είχε ευεργετική επίδραση σε αυτές τις οφθαλμικές παθήσεις. Η μελέτη για την πρόληψη του καρκίνου με σελήνιο και βιταμίνη E (SELECT) Eye End points Study, η οποία παρακολούθησε 11.267 άνδρες

για κατά μέσο όρο πέντε χρόνια, δεν διαπίστωσε ότι τα συμπληρώματα βιταμίνης E και σεληνίου, σε συνδυασμό ή μόνα τους, προστατεύουν από τον καταρράκτη που σχετίζεται με την ηλικία (Christenetal., 2015).

2.2.5. Γνωστική λειτουργία

Η Physicians' Health Study II, μια τυχαιοποιημένη δοκιμή που έδωσε 50 mg συμπληρώματα β-καροτίνης ή ένα εικονικό φάρμακο σε 5.956 άνδρες άνω των 65 ετών, διαπίστωσε ότι η μακροπρόθεσμη λήψη συμπληρωμάτων για τουλάχιστον 15 χρόνια παρείχε γνωστικά οφέλη (Grodsteinetal., 2007). Η δοκιμή πρόληψης της νόσου του Αλτσχάιμερ με βιταμίνη E και σεληνίο (PREADViSE) παρακολούθησε περισσότερους από 3.700 άνδρες ηλικίας 60 ετών και άνω για έξι χρόνια. Δεν διαπίστωσε ότι τα αντιοξειδωτικά συμπληρώματα βιταμίνης E ή σεληνίου, μόνα τους ή σε συνδυασμό, προστατεύουν από την άνοια σε σύγκριση με ένα εικονικό φάρμακο (Kryscioetal., 2017).

2.2.6. Αντιοξειδωτικά και Πρόωρος Θάνατος

Μια μετα-ανάλυση 68 δοκιμών με αντιοξειδωτικά συμπληρώματα διαπίστωσε ότι η λήψη συμπληρωμάτων β-καροτίνης και βιταμίνης A και E αύξησε τον κίνδυνο θανάτου (Bjelakovicetal., 2007). Αν και υγιείς συμμετέχοντες συμπεριλήφθηκαν σε 21 από τις δοκιμές, οι περισσότερες από τις μελέτες περιελάμβαναν άτομα που είχαν ήδη κάποιο είδος σοβαρής ασθένειας. Ήταν επίσης δύσκολο να συγκριθούν οι παρεμβάσεις επειδή οι τύποι των συμπληρωμάτων, οι δόσεις που ελήφθησαν και η διάρκεια της λήψης διέφεραν ευρέως.

Οι ίδιοι συγγραφείς διεξήγαγαν μια άλλη συστηματική ανασκόπηση 78 τυχαιοποιημένων κλινικών δοκιμών σε αντιοξειδωτικά συμπληρώματα συμπεριλαμβανομένων της β-καροτίνης, της βιταμίνης A, της βιταμίνης C, της βιταμίνης E και του σεληνίου (μεμονωμένα ή σε συνδυασμό). Και πάλι, η πλειονότητα των δοκιμών περιελάμβανε άτομα με διάφορες εγκατεστημένες ασθένειες. Η μελέτη διαπίστωσε ότι τόσο οι άνθρωποι που ήταν υγιείς όσο και εκείνοι με ασθένειες που έπαιρναν συμπληρώματα β-καροτίνης και βιταμίνης E είχαν υψηλότερο ποσοστό θανάτου. Η διάρκεια των μελετών διέφερε ευρέως από ένα μήνα έως 12 χρόνια, με ποικίλες δόσεις(Bjelakovicetal., 2007).

2.4. Κίνδυνοι από τη λήψη των Αντιοξειδωτικών Συμπληρωμάτων

Αν τα αντιοξειδωτικά ήταν αβλαβή, δεν θα είχε μεγάλη σημασία αν λαμβάνονταν για κάθε περίπτωση. Μερικές μελέτες, ωστόσο, έχουν αυξήσει την πιθανότητα ότι η λήψη αντιοξειδωτικών συμπληρωμάτων, είτε μεμονωμένων παραγόντων είτε συνδυασμών, θα μπορούσε να επηρεάσει την υγεία. Η πρώτη ιδέα ήρθε σε μια μεγάλη δοκιμή β-καροτίνης που διεξήχθη μεταξύ ανδρών στη Φινλανδία που ήταν βαρείς καπνιστές και επομένως διέτρεχαν υψηλό κίνδυνο να αναπτύξουν καρκίνο του πνεύμονα. Η δοκιμή σταμάτησε νωρίς όταν οι ερευνητές παρατήρησαν σημαντική αύξηση του καρκίνου του πνεύμονα μεταξύ εκείνων που έλαβαν το συμπλήρωμα σε σύγκριση με εκείνους που έλαβαν εικονικό φάρμακο. Σε μια άλλη δοκιμή μεταξύ βαρέων καπνιστών και ατόμων που εκτέθηκαν στον αμίαντο που έγινε το 2011, η β-καροτίνη συνδυάστηκε με βιταμίνη Α. Και πάλι, παρατηρήθηκε αύξηση του καρκίνου του πνεύμονα στην ομάδα συμπληρωμάτων. Ωστόσο, δεν δείχνουν όλες οι δοκιμές β-καροτίνης αυτήν την επιβλαβή επίδραση. Στη μελέτη Physicians' Health Study(2011), η οποία περιελάμβανε λίγους ενεργούς καπνιστές, δεν παρατηρήθηκε αύξηση του καρκίνου του πνεύμονα ή οποιαδήποτε άλλη ανεπιθύμητη ενέργεια ακόμη και μετά από 18 χρόνια παρακολούθησης. Στη δοκιμή SU.VI.MAX, που έγινε το 2011 τα ποσοστά καρκίνου του δέρματος ήταν υψηλότερα σε γυναίκες που έλαβαν βιταμίνη C, βιταμίνη E, β-καροτίνη, σελήνιο και ψευδάργυρο. Τα συμπληρώματα βιταμίνης E βρέθηκε ότι αυξάνουν σημαντικά τον κίνδυνο καρκίνου του προστάτη κατά 17% σε υγιείς άνδρες σε σύγκριση με εκείνους που έλαβαν εικονικό φάρμακο. Αυτά τα αποτελέσματα προήλθαν από τη Δοκιμή Πρόληψης Καρκίνου με Σελήνιο και Βιταμίνη E (SELECT) που παρακολούθησε 35.533 άνδρες για έως και 12 χρόνια (Kleinetal., 2011).

Τα αντιοξειδωτικά συμπληρώματα υψηλής δόσης μπορούν επίσης να επηρεάσουν τα φάρμακα. Τα συμπληρώματα βιταμίνης E μπορούν να έχουν δράση αραίωσης του αίματος και να αυξήσουν τον κίνδυνο αιμορραγίας σε άτομα που λαμβάνουν ήδη φάρμακα για την αραίωση του αίματος. Ορισμένες μελέτες έχουν προτείνει ότι η λήψη αντιοξειδωτικών συμπληρωμάτων κατά τη διάρκεια της θεραπείας του καρκίνου μπορεί να επηρεάσει την αποτελεσματικότητα της θεραπείας.

2.5. Ο Ρόλος των Αντιοξειδωτικών στα Παιδιά

2.5.1. Μικροθρεπτικά Συστατικά και Πρώιμη Ανάπτυξη

Τα πρώτα χρόνια της ζωής είναι κρίσιμα για την επαρκή σωματική, γνωστική και συναισθηματική ανάπτυξη των παιδιών και των μελλοντικών ενηλίκων. Η παιδική ηλικία είναι η περίοδος ζωής με τον υψηλότερο ρυθμό ανάπτυξης και η συνεχής, επαρκής και ισορροπημένη παροχή θρεπτικών συστατικών είναι απαραίτητη για τη διασφάλιση της βέλτιστης ανάπτυξης και υγείας. Ωστόσο, η παρουσία υποσιτισμού κατά την παιδική ηλικία εξακολουθεί να προκαλεί μεγάλη ανησυχία παγκοσμίως. Στοιχεία από το Ταμείο των Ηνωμένων Εθνών για τα Παιδιά (UNICEF, 2006) δείχνουν ότι ένα στα τέσσερα παιδιά είναι λιποβαρή και διατρέχει αυξημένο κίνδυνο για ασθένειες και θνησιμότητα. Αυτό είναι ένα σημαντικό πρόβλημα στις αναπτυσσόμενες χώρες, όπου η πρόσβαση σε τρόφιμα είναι περιορισμένη και ο παιδικός υποσιτισμός προκαλείται παραδοσιακά από ανεπάρκεια ενέργειας ή/και μακροθρεπτικών συστατικών (κυρίως πρωτεϊνών), που οδηγεί σε εξασθενημένη ανάπτυξη. Τα τελευταία χρόνια, ωστόσο, η ανησυχία για τα λιποβαρή παιδιά παραλληλίζεται με ένα άλλο, όχι λιγότερο σημαντικό, θέμα: την κατακόρυφη αύξηση των υπέρβαρων παιδιών και της παχυσαρκίας τόσο στις βιομηχανικές όσο και στις αναπτυσσόμενες χώρες. Η αύξηση των υπέρβαρων παιδιών δεν πρέπει να συγκαλύπτει μια άλλη μορφή υποσιτισμού—αυτό που προέρχεται από την ανεπαρκή παροχή θρεπτικών συστατικών στη διατροφή. Το γεγονός αυτό μπορεί να είναι αποτέλεσμα της περιορισμένης πρόσβασης σε τρόφιμα, αλλά και των φτωχότερων θρεπτικών αξιών των τρεχουσών διατροφών παγκοσμίως, που προωθούνται από την αλλαγή των διατροφικών συνηθειών προς την κατανάλωση εξαιρετικά επεξεργασμένων τροφίμων εις βάρος των φρέσκων προϊόντων, τη χαμηλότερη περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά των φρέσκων τροφίμων που οφείλονται στις σύγχρονες πρακτικές ανάπτυξης και εκτροφής και στις μεταφορές σε μεγάλες αποστάσεις ή στην απροθυμία των παιδιών να φάνε ορισμένα τρόφιμα όπως φρούτα και λαχανικά (Maggini et al., 2010). Ο συνδυασμός αυτών των παραγόντων μπορεί να οδηγήσει σε μη βέλτιστη, αν όχι φανερά ανεπαρκή, παροχή θρεπτικών συστατικών που είναι απαραίτητα για τη μέγιστη ανάπτυξη και ανάπτυξη κατά την παιδική ηλικία, όπως βιταμίνες και μέταλλα. Αυτό, με τη σειρά του, οδηγεί σε κλινικές ή υποκλινικές ελλείψεις όχι μόνο μεμονωμένων θρεπτικών συστατικών, αλλά μάλλον μιας ομάδας από αυτά (Thurlow et al., 2006), και αυτό μπορεί να παρατηρηθεί σε

παιδιά από αναπτυσσόμενες χώρες καθώς και από τις πιο βιομηχανοποιημένες. (Maggini et al., 2010).

2.5.2. Οξειδωτικό Στρες και Υγεία των Παιδιών

Το οξειδωτικό στρες προκύπτει από μια ανισορροπία μεταξύ της παραγωγής των ROS από το σώμα και των αντιοξειδωτικών μηχανισμών που υπάρχουν. Η δημιουργία ROS μπορεί να είναι αποτέλεσμα περιβαλλοντικού τραυματισμού (τοξικές χημικές ουσίες, ατμοσφαιρικοί ρύποι κ.λπ.). Ωστόσο, είναι επίσης μια φυσιολογική διαδικασία που μπορεί να είναι μέρος της αμυντικής απόκρισης ενάντια στα παθογόνα και τα ανώμαλα κύτταρα ή ένα υποπροϊόν του μεταβολισμού και της αναπνοής. Ωστόσο, όταν υπερβαίνουν ορισμένα επίπεδα, τα ROS μπορεί να οξειδώσουν τα κυτταρικά συστατικά, κυρίως τα λιπαρά οξέα της μεμβράνης, το γενετικό υλικό και τις πρωτεΐνες, οδηγώντας σε (ακόμη και μη αναστρέψιμη) κυτταρική βλάβη και απώλεια λειτουργίας. Για να διατηρηθούν τα επίπεδα ROS εντός ενός υγιούς φυσιολογικού εύρους, ο οργανισμός εξαρτάται από μια σειρά ενζύμων, όπως η “Υπεροξειδάση της Γλουταθειόνης (Glutathione Peroxidase - GSH-Px)”, με την ικανότητα να προστατεύει το κύτταρο από οξειδωτική βλάβη (Granot&Kohen, 2004). Έρευνες που διεξήχθησαν τις τελευταίες δεκαετίες υποδηλώνουν έναν ρόλο του οξειδωτικού στρες στις διαταραχές ανάπτυξης και ανάπτυξης στα παιδιά. Για παράδειγμα, οι βρογχοπνευμονικές ασθένειες, η εντεροκολίτιδα, η περιγεννητική εγκεφαλική βλάβη και η νεογνική αιμοχρωμάτωση στα νεογνά ή το άσθμα, η κυστική ίνωση, η διάρροια και ο οιδηματώδης υποσιτισμός (kwashiorkor) σε μεγαλύτερα παιδιά, έχουν όλα συσχετιστεί με οξειδωτικό στρες (Granot&Kohen, 2004).

Βιταμίνες όπως A, E ή C, ορυκτά μέταλλα όπως ο ψευδάργυρος ή το σελήνιο και ορισμένες φυτοχημικές ενώσεις όπως οι πολυφαινόλες είναι γνωστό ότι είναι φυσικά αντιοξειδωτικά και ως εκ τούτου έχουν προταθεί ότι έχουν προστατευτική δράση έναντι ορισμένων από τις προαναφερθείσες ασθένειες. Στην πραγματικότητα, έχει αναφερθεί ότι οι ελλείψεις σε αντιοξειδωτικές βιταμίνες και μέταλλα κατά την παιδική ηλικία μπορεί να συμβάλλουν σε αλλαγές στη σωματική και πνευματική ανάπτυξη. Επιπλέον, πρόσφατα στοιχεία υποδηλώνουν ότι άλλα συστατικά τροφίμων με αντιοξειδωτικές ιδιότητες (δηλαδή πολυφαινόλες), για τα οποία οι ελλείψεις δεν έχουν περιγραφεί (και επομένως δεν ονομάζονται θρεπτικά συστατικά), μπορεί να συμβάλλουν στη βέλτιστη υγεία σε αυτήν την περίοδο της ζωής.

2.5.3. Αντιοξειδωτικά και Φυσική Ανάπτυξη

Η ανεπάρκεια μικροθρεπτικών συστατικών μπορεί να βλάψει την ανάπτυξη των παιδιών. Σε παιδιατρικούς πληθυσμούς που κινδυνεύουν ή αντιμετωπίζουν υποσιτισμό, συμπλήρωμα με μικροθρεπτικά συστατικά, όχι μόνο ενέργεια και μακροθρεπτικά συστατικά, μπορεί να βελτιώσει τα αναπτυξιακά αποτελέσματα (Goyle, 2012). Για παράδειγμα, η ανεπάρκεια βιταμίνης Α έχει αποδειχθεί ότι συμβάλλει στην καθυστέρηση της ανάπτυξης (μειωμένη ανάπτυξη που οδηγεί σε χαμηλό ανάστημα) στα παιδιά. Η ανεπάρκεια βιταμίνης Α είναι μια από τις πιο συχνές ανεπάρκειες μικροθρεπτικών συστατικών. Σύμφωνα με στοιχεία του 'Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (World Health Organization - WHO)' το 2005, ο επιπολασμός του σε περιοχές με κίνδυνο υποβιταμίνωσης Α υπολογίστηκε στο 33,3% των παιδιών προσχολικής ηλικίας, που μεταφράζεται σε 190 εκατομμύρια παιδιά παγκοσμίως (WHO, 2009). Μια προοπτική μελέτησε βρέφη και παιδιά από το Σουδάν με καχεξία (ηλικίας 6 μηνών έως 6 ετών) έδειξε ότι η πρόσληψη βιταμίνης Α και καροτενοειδών συσχετίστηκε με την έκταση της ανάκαμψης της ανάπτυξης τους με την πάροδο του χρόνου, ειδικά στα μικρότερα παιδιά. Συνεπώς, η εξασφάλιση επαρκών επιπέδων βιταμίνης Α στα παιδιά είναι ένας στόχος που πρέπει να επιτευχθεί.

Μελέτες σχετικά με τα συμπληρώματα βιταμίνης Α, ωστόσο, υποδηλώνουν ότι αυτό το μέτρο μπορεί να είναι χρήσιμο για την τόνωση της ανάπτυξης μόνο σε εκείνα τα παιδιά με μειωμένη ανάπτυξη κατά την έναρξη ή με τη συγκεκριμένη ανεπάρκεια. Μια μελέτη που διεξήχθη σε παιδιά προσχολικής ηλικίας στην Ινδονησία το 2002 έδειξε ότι τα συμπληρώματα βιταμίνης Α (103,000 IU για παιδιά <2 ετών και 206,000 IU για μεγαλύτερα παιδιά, μία φορά κάθε 4 μήνες) θα μπορούσαν να βελτιώσουν το ύψος και την αύξηση βάρους υπό ορισμένες συνθήκες. Για παράδειγμα, η αποτελεσματικότητα του συμπληρώματος επηρεάστηκε από την ηλικία (πιο αποτελεσματική στα μεγαλύτερα παιδιά) και τον θηλασμό (πριν από την ηλικία των 2 ετών, βελτίωση της ανάπτυξης παρατηρήθηκε μόνο σε παιδιά που δεν θηλάζαν), αλλά ιδιαίτερα από τη διατροφική κατάσταση, καθώς εκείνα τα παιδιά με επίπεδα ρετινόλης ορού >0,35 μmol/l δεν εμφάνισαν σημαντική αύξηση ύψους ή βάρους. Μια άλλη μελέτη σε μεγαλύτερα (4-14 ετών) παιδιά από τη Βραζιλία, αντίθετα, δεν βρήκε σημαντική επίδραση μιας παρόμοιας εφάπαξ δόσης βιταμίνης Α (200,000 IU) στην ανάπτυξη κατά τους 6 μήνες μετά την παρέμβαση (Sarni et al., 2003). Οι συγγραφείς

αξιολόγησαν τη διατροφική πρόσληψη των συμμετεχόντων και διαπίστωσαν ότι ένα σημαντικό ποσοστό από αυτούς (>60%) είχε χαμηλότερη πρόσληψη ρετινόλης και καροτενοειδών από τις συστάσεις. Καθώς συσχέτισαν αυτή τη χαμηλή πρόσληψη με μια συνολική ανεπαρκή κατανάλωση φρούτων και λαχανικών, κατέληξαν ευνόητα στο συμπέρασμα ότι μια τέτοια μη ισορροπημένη διατροφή θα είχε ως αποτέλεσμα πολλαπλές ανεπάρκειες μικροθρεπτικών συστατικών, καθιστώντας το συμπλήρωμα ενός θρεπτικού συστατικού ανώφελο (Sarni et al., 2003).

Μια άλλη ανεπάρκεια αντιοξειδωτικών που έχει συσχετιστεί με μειωμένη ανάπτυξη είναι αυτή του ψευδαργύρου, που περιεγράφηκε για πρώτη φορά τη δεκαετία του 1960 (Prasad et al., 1963). Επιπλέον, η ανεπάρκεια ψευδαργύρου σχετίζεται με καθυστερημένη εφηβεία, δερματικές παθήσεις, μειωμένη επούλωση πληγών, αλλοιωμένη λειτουργία του ανοσοποιητικού και αυξημένη ευαισθησία σε λοιμώξεις (Maggini et al., 2010). Είναι ενδιαφέρον ότι η διαθεσιμότητα ψευδαργύρου στο ανθρώπινο γάλα είναι υψηλότερη από ό,τι στο αγελαδινό γάλα ή στα βρεφικά παρασκευάσματα, γεγονός που υποδεικνύει έναν άλλο τρόπο με τον οποίο ο θηλασμός συμβάλλει στη βέλτιστη ανάπτυξη των νεογνών κατά τους πρώτους μήνες της ζωής.

Αρκετές μελέτες έχουν δείξει όφελος για τη συμπλήρωση ψευδάργυρου στη βελτίωση του βάρους και του ύψους των παιδιών (Lind et al., 2004), με τα αποτελέσματα να είναι πιο σημαντικά σε εκείνα τα παιδιά που ήταν λιποβαρή ή καχεκτικά. Είναι ενδιαφέρον ότι η εργασία των Lindetal. (2004) έδειξε ότι ενώ τα συμπληρώματα με ψευδάργυρο (10 mg/ημέρα) βελτίωσαν την ανάπτυξη και τα συμπληρώματα με σίδηρο (10 mg/ημέρα) βελτίωσαν τη γνωστική ανάπτυξη, ο συνδυασμός και των δύο μετάλλων δεν είχε σημαντική επίδραση σε κάθε έκβαση σε σύγκριση με το εικονικό φάρμακο (Lind et al., 2004), πιθανόν λόγω των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των μετάλλων σε επίπεδο απορρόφησης. Ωστόσο, στη μελέτη των Perrone et al. (2012), ο συνδυασμός ψευδαργύρου και σιδήρου (12,5 mg/ημέρα + 12 mg/ημέρα, αντίστοιχα) ήταν πιο αποτελεσματικός για τη βελτίωση της ανάπτυξης από τον ψευδάργυρο μόνο. Ακόμη περισσότερο, ο ψευδάργυρος από μόνος του ήταν αποτελεσματικός μόνο σε εκείνα τα παιδιά με υψηλότερα επίπεδα φερριτίνης (δηλαδή, καλύτερα επίπεδα σιδήρου). Τα διαφορετικά συμπεράσματα που προέκυψαν από τις μελέτες του Lindetal. (2004) και των Perroneetal. (2012) θα μπορούσαν ίσως να εξηγηθούν από δύο σημαντικές μεθοδολογικές διαφορές: πρώτον,

τα συμπληρώματα ψευδαργύρου και σιδήρου στη μελέτη των Perrone et al. (2012) χορηγούνταν με διαφορά 12 ωρών, γεγονός που θα μπορούσε να αποτρέψει αλληλεπιδράσεις σε απορροφητικό επίπεδο απορρόφησης, ενώ στην μελέτη των Lind et al. (2004) και τα δύο μέταλλα χορηγούνταν μαζί. Δεύτερον, η μελέτη των Perrone et al. (2012) διευκρίνισε ότι όλα τα παιδιά παρουσίαζαν καχεξία, ενώ αυτό το χαρακτηριστικό δεν αναφέρθηκε συγκεκριμένα στη μελέτη των Lind et al. (2004).

Πρόσφατα, νέα δεδομένα αποκαλύφθηκαν στη σχέση μεταξύ σωματικής ανάπτυξης και επιπέδων αντιοξειδωτικών σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μελέτης HELENA, όπου έχει αποδειχθεί σημαντική συσχέτιση μεταξύ των επιπέδων των βιταμινών και της καρδιοαναπνευστικής και μυϊκής ικανότητας (Gracia-Marco et al., 2012). Σύμφωνα με αυτή τη μελέτη, μετά τον έλεγχο των πιθανών συμπαραγόντων, η καρδιοαναπνευστική ικανότητα στα αγόρια συσχετίστηκε θετικά με τις συγκεντρώσεις της ρετινόλης και της βιταμίνης C στον ορό, ενώ η μυϊκή δύναμη συσχετίστηκε με τα επίπεδα ρετινόλης, καροτενοειδών και βιταμίνης E. Στα κορίτσια, η καρδιοαναπνευστική και η μυϊκή ικανότητα συσχετίστηκαν θετικά με τα επίπεδα καροτενοειδών.

2.5.4. Αντιοξειδωτικά στη Θεραπεία Νοσημάτων Ανεπάρκειας

Ο οίδηματώδης υποσιτισμός (kwashiorkor), μια τυπική ασθένεια πρωτεϊνικού υποσιτισμού, έχει συσχετιστεί με χαμηλά επίπεδα αντιοξειδωτικών βιταμινών C, A και E, και χαμηλότερα επίπεδα GSH-Px και του σεληνίου. Ωστόσο, παρά τα σταθερά ευρήματα που συνδέουν το kwashiorkor, το οξειδωτικό στρες και τα χαμηλά επίπεδα αντιοξειδωτικών (τόσο ενδογενή όσο και διατροφικά), οι μελέτες παρέμβασης δεν υποστηρίζουν το συμπλήρωμα αντιοξειδωτικών στη θεραπεία της νόσου. Μία μελέτη με συμπληρώματα βιταμίνης E (10 mg/ημέρα) δεν βρήκε καμία σημαντική βελτίωση στην ανάπτυξη των παιδιών με kwashiorkor. Αργότερα, μια άλλη μελέτη του 2005 με χρήση πολλαπλών συμπληρωμάτων (1,8/ημέρα mg ριβοφλαβίνης, 23 mg/ημέρα βιταμίνη E, 55 mg/ημέρα σελήνιο και 300 mg/ημέρα N-ακετυλοκυστεΐνη για 20 εβδομάδες) και πάλι δεν βρήκε σημαντικές αυξήσεις στην αύξηση βάρους ή ύψους, ή βελτίωση των συμπτωμάτων που σχετίζονται με τη νόσο (οίδημα, διάρροια ή πυρετός) σε σύγκριση με το εικονικό φάρμακο (Ciliberto et al., 2005). Πιο πρόσφατα, μια συστηματική ανασκόπηση μελετών που περιελάμβαναν συμπληρώματα με ριβοφλαβίνη, βιταμίνη E, σελήνιο και κυστεΐνη ως μονοθεραπεία

ή σε συνδυασμό έδειξε την έλλειψη σημαντικής διαφοράς στον επιπολασμό του kwashiorkor ή στη σχετιζόμενη θνησιμότητα (Odigwe et al., 2010).

Η αναιμία είναι μια άλλη από τις πιο κοινές ασθένειες που σχετίζονται με τη διατροφή στα παιδιά, με επιπολασμό που κυμαίνεται μεταξύ 20% και 31% σε παιδιά σχολικής ηλικίας και μεταξύ 46% και 49% σε παιδιά προσχολικής ηλικίας (WHO 2008, στοιχεία από το 2005). Αν και η κύρια διατροφική ανεπάρκεια που οδηγεί σε αναιμία είναι αυτή του σιδήρου, άλλα μικροθρεπτικά συστατικά και ειδικότερα αντιοξειδωτικά, όπως οι βιταμίνες A, C και ο ψευδάργυρος, έχουν συσχετιστεί με αυξημένο κίνδυνο αναιμίας (Maggini et al., 2010). Η βιταμίνη C, για παράδειγμα, συμβάλλει στη βέλτιστη ανάπτυξη με τη μείωση του μη-αιμικού σιδήρου από σίδηρο σε σιδηρούχα μορφή, αυξάνοντας την απορρόφησή του από το εντερικό επιθήλιο. Αντίθετα, ο ψευδάργυρος και ορισμένες πολυφαινόλες μπορεί να δεσμεύουν τον σίδηρο και να μειώνουν τη βιοδιαθεσιμότητά του.

Συμπλήρωμα με βιταμίνη A έχει βρεθεί ότι βελτιώνει τους δείκτες των επιπέδων του σιδήρου και της αναιμίας. Στην Κίνα, σε παιδιά προσχολικής ηλικίας (έως 6 ετών) χορηγήθηκαν συμπληρώματα βιταμίνης A ως μονοθεραπεία, βιταμίνης A σε συνδυασμό με ψευδάργυρο ή βιταμίνη A σε συνδυασμό κοκτέιλ πολυβιταμινών/μετάλλων, που περιελάμβανε ασβέστιο, βιταμίνη C και βιταμίνες B, για 6 μήνες (Chen et al., 2012). Το πολυθρεπτικό συμπλήρωμα αποδείχθηκε ότι είναι το πιο αποτελεσματικό για τη βελτίωση της αναιμίας, ενώ ο συνδυασμός βιταμίνης A και ψευδάργυρου έδωσε τα καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά στην ανάπτυξη (αύξηση ύψους). Παρόμοια αποτελέσματα προέκυψαν και από συμπλήρωμα πολυθρεπτικών συστατικών που περιλαμβάνει βιταμίνη A, βιταμίνη B-12, σίδηρο και ψευδάργυρο, που πραγματοποιήθηκε σε μεγαλύτερα παιδιά (6–11 ετών) στην Αϊτή (Ianotti et al., 2014). Η βιταμίνη A από μόνη της μπορεί επίσης να βελτιώσει τα επίπεδα της αιμοσφαιρίνης. Η μελέτη των Mwanriet al. (2011), σε παιδιά από την Τανζανία, διαπίστωσε ότι η βιταμίνη A (5000 IU, 3 ημέρες/εβδομάδα για 3 μήνες) αύξησε την ευεργετική επίδραση των συμπληρωμάτων σιδήρου (200 mg θεικού σιδήρου) όταν χορηγούνταν μαζί. Ομοίως, και τα δύο μικροθρεπτικά συστατικά από μόνα τους βελτίωσαν το ύψος και την αύξηση βάρους σε σύγκριση με το εικονικό φάρμακο. Ωστόσο, ο συνδυασμός έδωσε τα καλύτερα αποτελέσματα (Mwanri et al., 2011).

2.5.5. Αντιοξειδωτικά, Άσθμα και Αλλεργίες

Ιδιαίτερα ενδιαφέρον είναι ο ρόλος που μπορούν να διαδραματίσουν τα αντιοξειδωτικά στην ανάπτυξη ή και τη θεραπεία του άσθματος και των αλλεργιών, δύο από τις πιο διαδεδομένες ασθένειες στην παιδική ηλικία, με αριθμούς σε αύξηση (Williams et al., 2008). Οι βιταμίνες C και E, μέσω των αντιοξειδωτικών και ανοσοτροποποιητικών τους δράσεων, έχει αποδειχθεί ότι βελτιώνουν τη λειτουργία των πνευμόνων και την υπεραντιδραστικότητα (Rubin et al., 2004). Υπάρχουν ακόμη στοιχεία για μια σχέση μεταξύ της μητρικής πρόσληψης αντιοξειδωτικών (βιταμίνη E συγκεκριμένα) κατά τη διάρκεια της εγκυμοσύνης και της ανάπτυξης άσθματος αργότερα στην παιδική ηλικία. Μια μελέτη σε παιδιά από το Ιράκ έδειξε μειωμένα επίπεδα βιταμίνης C και E στον ορό σε άτομα με άσθμα, σε σύγκριση με υγιή παιδιά, και επίσης αρνητική συσχέτιση μεταξύ των αντιοξειδωτικών ορού και της σοβαρότητας των συμπτωμάτων του άσθματος (Al-Abdulla et al., 2010). Ωστόσο, ελάχιστες πληροφορίες είναι διαθέσιμες σχετικά με την αποτελεσματικότητα της χρήσης αντιοξειδωτικών συμπληρωμάτων διατροφής στη θεραπεία του άσθματος και των αλλεργιών στα παιδιά.

Ομοίως, μελέτες των τελευταίων δύο δεκαετιών υποδηλώνουν ευεργετικές δράσεις των πολυφαινολών (ιδιαίτερα της κερκετίνης και των κατεχινών) στην ανακούφιση των συμπτωμάτων των αλλεργικών ασθενειών και της ανοσολογικής υπερευαισθησίας (Singh et al., 2011). Έχει προταθεί ο ρόλος των πολυφαινολών στη μείωση των διατροφικών αλλεργιών στα παιδιά και του σχετιζόμενου άσθματος και ρινίτιδας. Ωστόσο, τα περισσότερα δεδομένα προέρχονται από in vitro μελέτες ή μελέτες σε ζώα ή από παρεμβάσεις σε ενήλικες και λίγα είναι γνωστά για τη δυνατότητα ή την ασφάλεια αυτών των ενώσεων στα παιδιά.

2.5.6. Αντιοξειδωτικά και Παχυσαρκία

Όταν μελετάται η σχέση μεταξύ αντιοξειδωτικών και ανάπτυξης, η πιο άμεση σχέση που προκύπτει είναι αυτή μεταξύ των ελλειμμάτων αντιοξειδωτικών και της μειωμένης ανάπτυξης. Ωστόσο, τα αντιοξειδωτικά μπορούν να συμβάλουν στην υγιή ανάπτυξη των παιδιών βοηθώντας στην πρόληψη του υπερβολικού βάρους και της παχυσαρκίας. Με άλλα λόγια, οι ελλείψεις σε αντιοξειδωτικά μικροθρεπτικά συστατικά έχουν συνδεθεί με υψηλότερο κίνδυνο παχυσαρκίας στις πρώιμες ηλικίες.

Το οξειδωτικό στρες έχει βρεθεί ότι παίζει σημαντικό ρόλο στην αιτιοπαθογένεση της παχυσαρκίας, η οποία θα μπορούσε να διαμεσολαβηθεί από την πρόσληψη τροφής (Puchau et al., 2010). Μερικοί συγγραφείς βρήκαν ότι τα υπέρβαρα και παχύσαρκα παιδιά και έφηβοι παρουσιάζουν χαμηλότερα επίπεδα ορού αντιοξειδωτικών βιταμινών και μετάλλων, όπως ψευδάργυρο, σελήνιο (Azab et al., 2014), βιταμίνες C και E (García et al., 2013), καροτενοειδή και α-τοκοφερόλη (Gunanti et al., 2014). Είναι ενδιαφέρον ότι οι υψηλότερες συγκεντρώσεις βιταμίνης A (García et al., 2013) και ρετινόλης (Gunanti et al., 2014) έχουν συσχετιστεί με υψηλότερη παχυσαρκία.

Οι πληροφορίες από τις μελέτες παρέμβασης σε σχέση με την επίδραση των συμπληρωμάτων στην παχυσαρκία σε παιδιά είναι ακόμη σπάνιες. Ορισμένες μελέτες που συνδύασαν διατροφικές θεραπείες για την παχυσαρκία με αντιοξειδωτικά συμπληρώματα έχουν αναφέρει βελτιώσεις στους δείκτες οξειδωτικού στρες (Murer et al., 2014) και αλλαγές που σχετίζονται με την παχυσαρκία, όπως οι παράμετροι καρδιομεταβολικού κινδύνου (D'Adamo et al., 2013) ή η εξασθενημένη ηπατική λειτουργία (Murer et al., 2014). Ωστόσο, καμία από αυτές τις μελέτες δεν ανέφερε σημαντική επίδραση της λήψης συμπληρωμάτων στο σωματικό βάρος ή στους δείκτες παχυσαρκίας ή ορισμένες δεν ανέφεραν σημαντική επίδραση σε αυτές τις μετρήσεις (Hashemipour et al., 2009). Στην πραγματικότητα, είναι ενδιαφέρον να αναφερθεί ότι αυξάνονται οι προειδοποιήσεις για τις πιθανές επιζήμιες συνέπειες της υπερβολικής ή περιττής συμπλήρωσης βιταμινών στον κίνδυνο ανάπτυξης παχυσαρκίας στα παιδιά (Zhou&Zhou, 2014). Ορισμένα στοιχεία υποδηλώνουν μια σχέση μεταξύ της πρόσληψης βιταμινών (κυρίως βιταμινών B) και της αύξησης βάρους, και παρόλο που αυτή η σχέση δεν έχει εδραιωθεί άμεσα με τις αντιοξειδωτικές βιταμίνες και δεν θα μπορούσε κάλλιστα να ισχύει για αυτές, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι η πιο συνηθισμένη μέθοδος του συμπληρώματος μικροθρεπτικών συστατικών είναι η χορήγηση πολυβιταμινών-πολυμεταλλικών συμπλεγμάτων. Ως εκ τούτου, απαιτούνται περαιτέρω στοιχεία για να μπορέσει να εδραιωθεί μια σαφής σχέση μεταξύ της αντιοξειδωτικής κατάστασης και της παιδικής παχυσαρκίας, και ιδιαίτερα πριν θεωρηθεί η συμπλήρωση αντιοξειδωτικών ως θεραπευτικό εργαλείο.

2.5.7. Αντιοξειδωτικά και Ανάπτυξη Εγκεφάλου

Η υψηλή μεταβολική δραστηριότητα και η ζήτηση για θρεπτικά συστατικά του εγκεφάλου, σε συνδυασμό με την έλλειψη δομών αποθήκευσης μέσα σε αυτόν,

καθιστούν αυτό το όργανο σε μεγάλο βαθμό εξαρτημένο από τη διατροφική παροχή ενέργειας και βασικών θρεπτικών συστατικών για τη σωστή λειτουργία του. Τα πρώτα χρόνια της ζωής είναι κρίσιμα όσον αφορά την πλαστικότητα και την ανάπτυξη του εγκεφάλου. Κατά συνέπεια, η διατροφή παίζει βασικό ρόλο στη γνωστική ανάπτυξη, τη συμπεριφορά και την ψυχική υγεία των παιδιών και των εφήβων. Στην πραγματικότητα, πολύ συχνά οι διατροφικές ελλείψεις που βλάπτουν τη σωματική ανάπτυξη σχετίζονται επίσης με μειωμένη γνωστική λειτουργία (Falkingham et al., 2010). Τα αντιοξειδωτικά μικροθρεπτικά συστατικά έχουν πολλαπλές λειτουργίες και μπορούν να λειτουργήσουν ως συνένζυμα ή προστατικά μέρη ενζύμων που είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη του εγκεφάλου (Benton, 2010). Ο ψευδάργυρος, για παράδειγμα, είναι σημαντικός για τη νευροανάπτυξη και η έρευνα έχει δείξει ότι η πρόμη (προ- ή περιγεννητική) ανεπάρκεια μπορεί να έχει μόνιμες δυσμενείς επιπτώσεις στη γνωστική ανάπτυξη (Benton, 2010). Επιπλέον, η χαμηλή πρόσληψη ψευδαργύρου έχει συσχετιστεί με προβλήματα συμπεριφοράς στα παιδιά, όπως η "Διαταραχή Ελλειμματικής Προσοχής-Υπερκινητικότητας (Attention-Deficit Hyperactivity Disorder - ADHD)" (DiGirolamo et al., 2010). Ωστόσο, τα αποτελέσματα από τις μελέτες παρέμβασης δεν έχουν παράσχει επαρκή στοιχεία υπέρ των συμπληρωμάτων ψευδαργύρου για τη βελτίωση των γνωστικών ικανοτήτων ή και της ψυχικής υγείας.

Έχουν γίνει προσπάθειες χρήσης αντιοξειδωτικών συμπληρωμάτων για τη βελτίωση της γνωστικής και ακαδημαϊκής απόδοσης στα παιδιά, αλλά με άνισα αποτελέσματα (Benton, 2010) και υποδηλώνουν σημαντική επίδραση κυρίως (ή μόνο) σε εκείνα τα παιδιά που είχαν μαθησιακές δυσκολίες ή υποσιτιστηκαν. Για παράδειγμα, σε μια μελέτη όπου τα παιδιά (9-14 ετών) λάμβαναν χυμό πορτοκαλιού καθημερινά για 6 μήνες, ο δείκτης νοημοσύνης αυξήθηκε μόνο σε αυτά με χαμηλά αρχικά επίπεδα βιταμίνης C (Benton, 2010). Οι παρεμβάσεις με πολυβιταμινούχα-πολυμεταλλικά συμπληρώματα έχουν δώσει θετικά αποτελέσματα όσον αφορά τη συμπεριφορά και τις πνευματικές ικανότητες (Benton, 2010). Ωστόσο, είναι δύσκολο να διακρίνει κανείς σε ποιο βαθμό αυτά τα οφέλη θα μπορούσαν να αποδοθούν στα αντιοξειδωτικά που υπάρχουν στα συμπληρώματα.

Ένας ιδιαίτερος ρόλος μπορεί να αποδοθεί στη βιταμίνη E, όχι τόσο ως θεραπευτικός παράγοντας από μόνη της, αλλά ως επικουρικό συμπλήρωμα λιπαρών οξέων για παιδιά με νευροαναπτυξιακή ανεπάρκεια. Ένας αυξανόμενος όγκος στοιχείων

υποστηρίζει τη χρήση "Πολυακόρεστων Λιπαρών Οξέων (Poly Unsaturated Fatty Acids-PUFA)" της οικογένειας ω -3, όπως το "Εικοσιπενταενοϊκό Οξύ (Eicosapentaenoic Acid - EPA)" και το "Εικοσιδυοεξαενοϊκό Οξύ (Docosahexaenoic Acid - DHA)" που βρίσκονται στα ιχθυέλαια και τα οποία βοηθούν στη θεραπεία διαφόρων διαταραχών. Λόγω της χαρακτηριστικής χημικής τους δομής, αυτά τα λιπαρά οξέα είναι απαραίτητα για το σχηματισμό της κυτταρικής μεμβράνης, ιδιαίτερα στο νευρικό και ανοσοποιητικό σύστημα. Επιπλέον, είναι πρόδρομοι των αντιφλεγμονωδών εικοσανοειδών. Αυτές οι ιδιότητες καθιστούν τα ω -3 PUFA σημαντικούς υποψηφίους για τη θεραπεία νευροαναπτυξιακών διαταραχών (Grassmann et al., 2013). Ωστόσο, η ίδια χημική φύση τα καθιστά ιδιαίτερα ευαίσθητα στην υπεροξείδωση των λιπιδίων, και εκεί η βιταμίνη E ασκεί την προστατευτική της δράση, διατηρώντας την ακεραιότητα των λιπαρών οξέων. Για το λόγο αυτό, συνδυασμένα συμπληρώματα ω -3 PUFA (EPA & DHA) και βιταμίνης E έχουν προταθεί για τη θεραπεία νευρωνικών αλλοιώσεων στα παιδιά (Gumprecht&Rockway, 2013).

3. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση Μελετών για Τρόφιμα που Περιέχουν Αντιοξειδωτικά

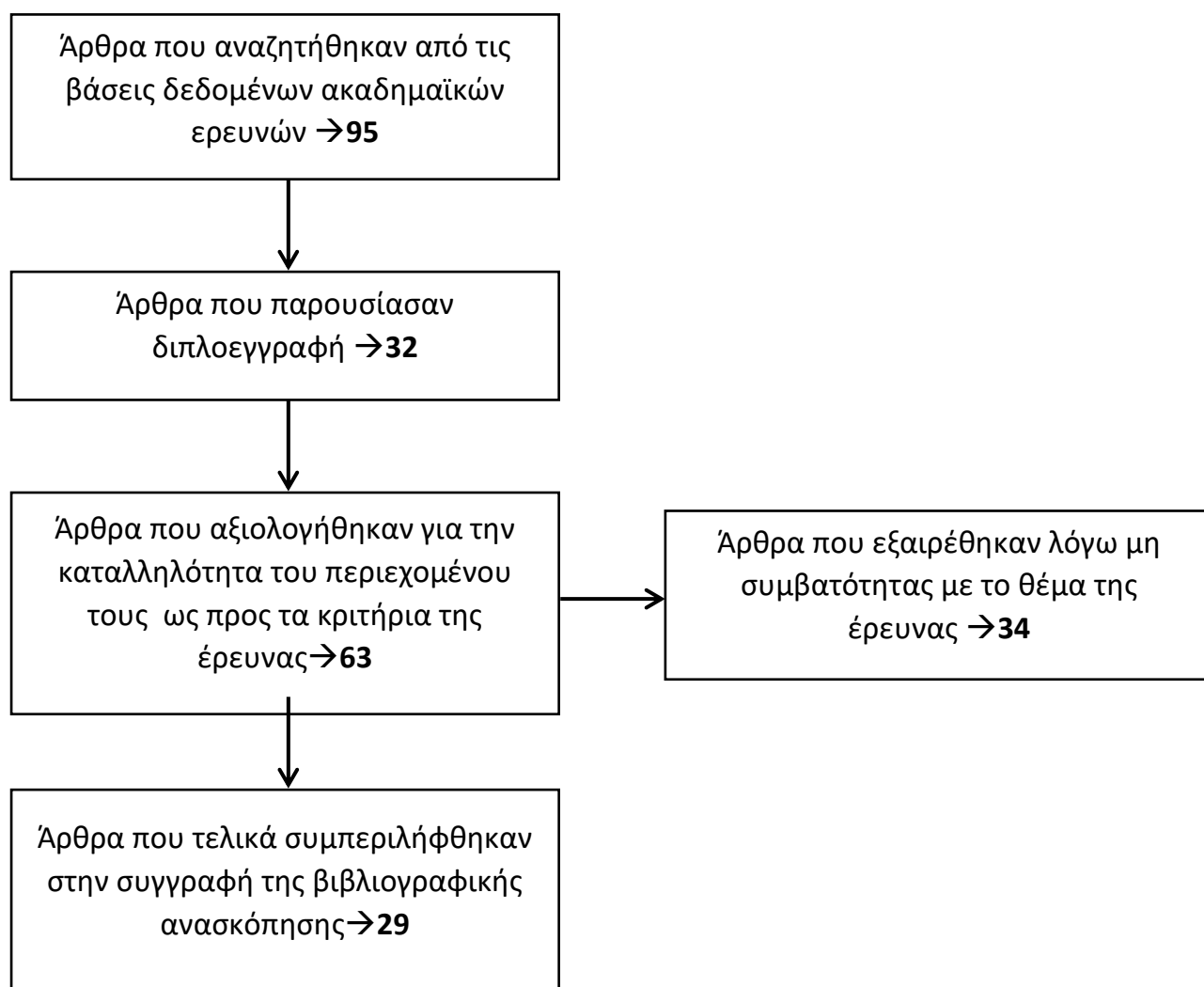
3.1. Μεθοδολογία

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. Επιμέρους στόχος της εργασίας είναι η διερεύνηση του συνδυασμού τροφίμων και η συνεργιστική δράση των αντιοξειδωτικών, καθώς και οι συνέπειες για την υγεία από τη μειωμένη πρόσληψη αντιοξειδωτικών ουσιών. Για την επίτευξη αυτού του σκοπού επιλέχθηκε η μεθοδολογία της συστηματικής βιβλιογραφικής ανασκόπησης με χρήση της ανάλυσης PRISMA, μελετών της διεθνούς βιβλιογραφίας που σχετίζεται με το ζήτημα. Η αναζήτηση πραγματοποιήθηκε μέσω των ηλεκτρονικών βάσεων δεδομένων ακαδημαϊκών ερευνών GoogleScholar, PubMed και της Scopus, με τον περιορισμό οι μελέτες να έχουν εκπονηθεί τα τελευταία 20 χρόνια. Ως κριτήρια για την αναζήτηση τέθηκαν οι εξής συνδυασμοί λέξεων:

- Antioxidants AND Food
- Antioxidants AND Health Benefits
- Antioxidants AND Combination
- Antioxidants AND Content AND Food
- Antioxidants AND “Not Consuming” AND “Effects on health”

Μετά εντοπισμό των μελετών ακολουθήσει η αξιολόγησή τους. Κάθε μελέτη αξιολογήθηκε κριτικά αρχικά ως προς τον τίτλο της και σε δεύτερο χρόνο ως προς το περιεχόμενό της. Οι μελέτες που δεν θα σχετίζονται απόλυτα με το αντικείμενο της έρευνας εξαιρέθηκαν. Στη συνέχεια, από τις υπόλοιπες μελέτες, αξιολογήθηκαν τα ευρήματά τους και οι μελέτες που δεν διαθέτουν ποιοτικά αποτελέσματα ή που δεν σχετίζονται απόλυτα με το ζήτημα εξαιρέθηκαν και με αυτόν τον τρόπο δημιουργήθηκε η τελική λίστα με τις μελέτες που συμμετείχαν στην έρευνα. Στη συνέχεια θα ακολουθήσει ο συνδυασμός των αποτελεσμάτων και η διεξαγωγή των τελικών συμπερασμάτων.

Συνολικά βρέθηκαν αρχικά 95 άρθρα μετά από αναζήτηση με βάση τον αλγόριθμο που παρουσιάστηκε παραπάνω. 32 άρθρα αποκλείστηκαν επειδή παρουσιάζονται περισσότερο από 1 φορά στις 3 βιβλιογραφικές βάσεις. Στη συνέχεια 34 άρθρα αποκλείστηκαν με βάση τα κριτήρια και τελικά 29 συμπεριλήφθηκαν στην παρούσα ανασκόπηση. Η διαδικασία διαλογής της βιβλιογραφίας φαίνεται μέσω του διαγράμματος ροής του Σχήματος 1.



Σχήμα 1. PRISMA Διάγραμμα ροής άρθρων ανασκόπησης.

3.2. Παρουσίαση Μελετών

Οι 29 μελέτες που τελικά συμπεριλήφθηκαν στην συγγραφή φαίνονται συνοπτικά στον πίνακα που ακολουθεί. Στη συνέχεια πραγματοποιείται μια ανάλυση των συγκεκριμένων ερευνών.

Πίνακας 3. Μελέτες προσδιορισμού αντιοξειδωτικών σε διάφορα τρόφιμα

Συγγραφείς	Τίτλος Εργασίας	Συμπεράσματα
Grilo et al., 2014	Συγκέντρωση α-τοκοφερόλης και γ-τοκοφερόλης σε φυτικά έλαια	Το ελαιόλαδο αποτελεί μια εξαιρετική πηγή βιταμίνης E και ακολουθούν τα έλαια canola και καλαμποκιού ενώ το σογιέλαιο δεν αποτελεί πηγή βιταμίνης E.
Wyatt et al., 2008	Περιεκτικότητα της α- και γ-τοκοφερόλης επιλεγμένων τροφών στη μεξικανική διαίτα: Επίδραση των απωλειών στο μαγείρεμα	Τα όσπρια είναι πλούσια σε βιταμίνη E με το ρεβύθι να περιέχει την υψηλότερη ποσότητα. Στα σιτηρά, το καλαμπόκι ήταν μια σημαντική πηγή βιταμίνης E. Τόσο οι ξηροί καρποί όσο και τα φυτικά έλαια αντιπροσωπεύουν μια καλή πηγή βιταμίνης E. Τα φασόλια Pinto, οι τορτίγιες καλαμποκιού και οι τορτίγιες από αλεύρι σίτου συνεισφέρουν την περισσότερη βιταμίνη E στη διατροφή. Αυτά τα είδη η γ-τοκοφερόλη υπερέχει έναντι της α-τοκοφερόλης.
Hogarty et al., 2009	Περιεκτικότητα σε τοκοφερόλη επιλεγμένων τροφίμων με HPLC/Ποσοτικοποίηση φθορισμού	Η α-τοκοφερόλη ήταν το μοναδικό ισομερές που ανιχνεύθηκε στα εμπλουτισμένα δημητριακά πρωινού. Δεν ανιχνεύθηκε γ-τοκοφερόλη ή δ-τοκοφερόλη σε κανένα από τα τυριά, καθώς η τοκοφερόλη στα ζωικά λίπη

	<p>είναι κυρίως σε μορφή α. Τα τρία ισομερή τοκοφερόλης βρέθηκαν σε κάθε δείγμα τσιπς που αναλύθηκε. Οι σαρδέλες, κονσερβοποιημένες σε σάλτσα ντομάτας, είχαν την υψηλότερη περιεκτικότητα σε α-τοκοφερόλη. Η δ-τοκοφερόλη δεν ανιχνεύθηκε σε κανένα προϊόν φρούτου ή χυμό. Παρόμοιες ποσότητες α-τοκοφερόλης βρέθηκαν τόσο στον φρέσκο όσο και στον κατεψυγμένο χυμό πορτοκαλιού ενώ η γ-τοκοφερόλη βρέθηκε στον παγωμένο χυμό πορτοκαλιού. Υψηλά επίπεδα τοκοφερολών βρέθηκαν σε ξηρούς καρπούς Βραζιλίας, αγγλικά καρύδια και φουντούκια. Όλα τα προϊόντα με βάση το λάδι περιείχαν κυρίως γ-τοκοφερόλη. Η γ-τοκοφερόλη ήταν το κυρίαρχο ισομερές σε όλα τα δείγματα dressing σαλάτας με την α-τοκοφερόλη να υπάρχει στη μικρότερη ποσότητα. Η α-τοκοφερόλη ήταν η κυρίαρχη τοκοφερόλη στα διάφορα προϊόντα τομάτας. Η γ-τοκοφερόλη ήταν παρούσα σε όλα τα προϊόντα</p>
--	--

		<p>ντομάτας ενώ η δ-τοκοφερόλη ανιχνεύθηκε μόνο στη σάλτσα μπάρμπεκιου και στη σούπα ντομάτας. Τα πράσινα γογγύλια και τα σπαράγγια αποδείχθηκαν καλές πηγές βιταμίνης E με τα πράσινα γογγύλια να περιέχουν περισσότερη ολική τοκοφερόλη από άλλα λαχανικά που μελετήθηκαν.</p>
Pasias et al., 2018	<p>Προσδιορισμός της βιταμίνης E σε προϊόντα δημητριακών και μπισκότα με GC-FID</p>	<p>Η υψηλότερη περιεκτικότητα σε βιταμίνη E βρέθηκε στο μπισκότο που παρασκευάστηκε από σιτάρι ζέας (<i>Triticumdicoccum</i>) και βανίλια (88,0 mg/kg) ενώ τα αποτελέσματα αποδεικνύουν ότι η πλειοψηφία των προϊόντων δημητριακών είναι πλούσια σε βιταμίνη E.</p>
Ahamad et al., 2007	<p>Προσδιορισμός της περιεκτικότητας β-καροτένιου σε φρέσκα λαχανικά χρησιμοποιώντας υγρή χρωματογραφία υψηλής απόδοσης</p>	<p>Τα λαχανικά (ιδιαίτερα τα σκούρα πράσινα λαχανικά) είναι καλή πηγή καροτενοειδών και μικροθρεπτικών συστατικών (δηλαδή βιταμίνη A). Τα λαχανικά μπορούν να ικανοποιήσουν τις καθημερινές μας ανάγκες σε θρεπτικά συστατικά ενώ το 50% της καθημερινής μας διατροφής θα πρέπει να αποτελείται από</p>

		λαχανικά. Είναι αρκετά καλές πηγές μικροθρεπτικών συστατικών (βιταμίνη Α) και μπορούν να μειώσουν την ανεπάρκεια βιταμίνης Α στο μαζικό πληθυσμό της χώρας.
Sanusi&Adebisi, 2009	Περιεκτικότητα β-καροτενίου σε τρόφιμα και σούπες που καταναλώνονται συνήθως στη Νιγηρία	Δεδομένου ότι η διατροφική βελτίωση αποτελεί μακροπρόθεσμη λύση για τον έλεγχο της έλλειψης βιταμίνης Α, οι σούπες που περιέχουν αρκετά πράσινα φυλλώδη λαχανικά όπως η "edikangikong" (χορτόσουπα που μαγειρεύεται στη Νιγηρία), το "eforiro" (επίσης σούπα με χόρτα που ευδοκιμούν στη Νιγηρία), το στιφάδο με φοινικέλαιο και τα τρόφιμα που παρασκευάζονται με κόκκινο φοινικέλαιο, που είναι πλούσιες πηγές σε προβιταμίνη Α πρέπει να καταναλώνονται σε αυξημένες ποσότητες για την αντιμετώπιση της ανεπάρκειας βιταμίνης Α.
Pott et al., 2003	Ποσοτικός προσδιορισμός στερεοϊσομερών β-καροτενίου σε νωπά, αποξηραμένα και αποξηραμένα στον ήλιο μάνγκο (Mangifera indica L.)	Οι τιμές της βιταμίνης Α που βασίστηκαν στην πραγματική ποσότητα των στερεοϊσομερών β-καροτενίου κυμαινόταν από 113 έως 420 και από 425 έως 1010 RE/100 g για φρέσκες και

		αποξηραμένες φέτες μάνγκο, αντίστοιχα
Marx et al., 2003	Ποσοτικός προσδιορισμός στερεοϊσομερών καροτενίου σε χυμό καρότου και ροφήματα με συμπλήρωμα βιταμινών (ATBC)	Η περιεκτικότητα σε α-καροτένιο σε χυμό καρότου και σε ροφήματα με συμπλήρωμα βιταμινών κυμαινόταν από 19,9 έως 49,4 mg/l και για το all-trans-β-καροτένιο από 32,8 έως 84,8 mg/l.
Cao et al., 2010	Περιεκτικότητα σε επιλεγμένα φλαβονοειδή σε 100 βρώσιμα λαχανικά και φρούτα	Η περιεκτικότητα και η σύνθεση σε φλαβονοειδή 100 βρώσιμων λαχανικών και φρούτων που καταναλώνονταν συχνά στην στην Κίνα αναλύθηκαν με σκοπό τη δημιουργία μιας βάσης δεδομένων ώστε να αξιολογείται η ημερήσια πρόσληψη φλαβονοειδών από τον κινεζικό πληθυσμό.
Lin& Tang, 2007	Προσδιορισμός της συνολικής περιεκτικότητας σε φαινολικά και φλαβονοειδή σε επιλεγμένα φρούτα και λαχανικά, καθώς και τα διεγερτικά τους αποτελέσματα στον πολλαπλασιασμό σπληνοκυττάρων ποντικού.	Η υψηλότερη συνολική περιεκτικότητα σε φαινολικές ουσίες παρατηρήθηκε στα μούρα και σε μια ποικιλία κόκκινων κρεμμυδιών. Επίσης, η υψηλότερη συνολική περιεκτικότητα σε φλαβονοειδή παρατηρήθηκε στα μούρα και στο σπανάκι Κεϋλάνης.
Crozier et al., 2007	Ποσοτική ανάλυση της περιεκτικότητας σε φλαβονοειδή σε	Τα επίπεδα κερκετίνης σε μg/g νωπού βάρους βρέθηκαν να

	<p>εμπορικές ντομάτες, κρεμμύδια, μαρούλια και σέλινο</p>	<p>κυμαίνονται από 17–203 μg και 185–634 μg για τα ντοματίνια και τα κρεμμύδια, αντίστοιχα. Το «στρογγυλό» μαρούλι περιείχε 11μg κερκετίνης g/ νωπού βάρους σε σύγκριση με 911 μg/ g στα εξωτερικά φύλλα και 450 mg/ g στα εσωτερικά φύλλα του μαρουλιού «LolloRosso» (κοκκινόφυλλο μαρούλι, λεγόμενη «Λόλλα»). Η περιεκτικότητα συζευγμένων φλαβονοειδών στο σέλινο κυμαίνονταν από 0–40 μgλουτεολίνης και 191 μg απιγενίνης/ g νωπού βάρους.</p>
<p>Pandey et al.,2020</p>	<p>Εκτίμηση της ολικής περιεκτικότητας σε κερκετίνη και ρουτίνη στο <i>Malusdomestica</i> από το Νεπάλ με μέθοδο HPLC και προσδιορισμός της αντιοξειδωτικής τους δράσης</p>	<p>Το μεθανολικό εκχύλισμα φλοιού, φύλλων και στελέχους του <i>M. domestica</i> είχε ισχυρή αντιοξειδωτική δράση λόγω της παρουσίας πολυφαινολών, φλαβονοειδών και άλλων διαφόρων φυτοχημικών. Υπάρχουν ισχυρές ενδείξεις για την παρουσία υψηλής περιεκτικότητας σε κερκετίνη και ρουτίνη στον φλοιό του στελέχους σε σχέση με τη φλούδα και τα φύλλα του <i>M. Domestica</i> νεπαλικής προέλευσης. Επιπλέον, η περιεκτικότητα σε κερκετίνη</p>

		και ρουτίνη μπορεί να ποικίλλει μεταξύ των διαφορετικών ποικιλιών και των διαφορετικών μερών των φυτών και επίσης επηρεάζεται από τις γεωγραφικές τοποθεσίες.
Kim&Kim, 2006	Ποσοτικοποίηση της κερκετίνης σε διαφορετικά μέρη του κρεμμυδιού και της DPPH δέσμευσης ριζών και αντιβακτηριδιακής δράσης της	Τα επίπεδα της κερκετίνης αυξάνονταν καθώς αυξανόταν η απόσταση από τον πυρήνα με το δέρμα (μη βρώσιμο τμήμα) να παρουσιάζει την υψηλότερη συγκέντρωση.
Arts et al., 2000	Περιεκτικότητα σε κατεχίνες των τροφίμων που καταναλώνονται συνήθως στην Ολλανδία. 1. Φρούτα, λαχανικά, βασικά τρόφιμα και επεξεργασμένα τρόφιμα	Τα περισσότερα φρούτα, η σοκολάτα και μερικά όσπρια περιείχαν κατεχίνες. Τα επίπεδα διέφεραν σε μεγάλο βαθμό: από 4,5 mg/kg στο ακτινίδιο έως 610 mg/kg στη μαύρη σοκολάτα. Η (+)-κατεχίνη και η (-)-επικατεχίνη ήταν οι κυρίαρχες κατεχίνες.
Paun et al.,2022	HPLC-DAD-MS Προσδιορισμός ολικών φαινολικών, ανθοκυανινών και αντιοξειδωτική ικανότητα σε φλούδες μαύρου σταφυλιού και βατόμουρα: Συγκριτική μελέτη	Η κυανιδίνη-3-γλυκοσίδη ήταν το κύριο συστατικό (86,49%) στα βατόμουρα, ενώ, στις φλούδες των σταφυλιών, το κύριο συστατικό ήταν η δελφινιδιν-3-O-γλυκοσίδη (περίπου 40,64%).
Wu et al., 2006	Συγκεντρώσεις ανθοκυανινών σε κοινά τρόφιμα στις Ηνωμένες Πολιτείες και εκτίμηση της κανονικής κατανάλωσης	Οι συγκεντρώσεις των συνολικών ανθοκυανινών κυμαίνονταν σημαντικά από 0,7 έως 1480 mg/100 g

		φρέσκου βάρους στο φραγκοστάφυλο («Careless» ποικιλία) και στην αρώνια, αντίστοιχα.
Zhang et al., 2016	Ποσοτικοποίηση και ανάλυση συνθέσεων ανθοκυανίνης και φλαβονοειδών και αντιοξειδωτικών δράσεων σε κρεμμύδια με τρία διαφορετικά χρώματα	Η συνολική ποσότητα των ανθοκυανινών σε mg/100 g λαχανικού ήταν 29.99 ± 1.19 , 9.64 ± 1.30 και 0.75 ± 0.40 mg στα κόκκινα, στα κίτρινα και στα λευκά κρεμμύδια, αντίστοιχα. Ομοίως, η συνολική ποσότητα των φλαβονοειδών σε mg/100 g λαχανικού ήταν 111.10 ± 5.98 , 36.64 ± 3.59 και 0 στα κόκκινα, στα κίτρινα και στα λευκά κρεμμύδια, αντίστοιχα.
Lugasi et al., 2003	Περιεκτικότητα λυκοπενίου στα τρόφιμα και πρόσληψη λυκοπενίου σε δύο ομάδες του ουγγρικού πληθυσμού	Το καρπούζι φαίνεται να είναι μια πολύ πολύτιμη πηγή λυκοπενίου επειδή αυτό το φρούτο είναι πολύ δημοφιλές ειδικά στην Ουγγαρία και μια μερίδα καρπούζι είναι περίπου 200 g που ισοδυναμεί με περίπου 10 mg λυκοπενίου. Η κατανάλωση φρέσκιας ντομάτας συχνά περιορίζεται από άτομα που πάσχουν από πεπτικά προβλήματα ή από παιδιά. Η αντικατάσταση της ντομάτας με καρπούζι στην καλοκαιρινή διαίτα θα πρέπει να είναι μια καλή και νόστιμη

		λύση για την κάλυψη ή την αύξηση της πρόσληψης λυκοπενίου.
Fadupin et al., 2012	Περιεκτικότητα σε λυκοπένιο (η κόκκινη χρωστική των καροτενοειδών που βρίσκεται από στις ντομάτες, καρότα κλπ) σε επιλεγμένα προϊόντα με βάση την ντομάτα, φρούτα και λαχανικά που καταναλώνονται στη νοτιοδυτική Νιγηρία	Η πάστα ντομάτας είναι πολύ πλούσια σε λυκοπένιο και ακολουθούν οι φρέσκες ώριμες ντομάτες, το καρπούζι και η φρέσκια πιπεριά τσίλι. Το bitterleaf (θαμνώδες φυτό της οικογένειας Vernonia amygdalina που ευδοκimeί στην Αφρική) και το φύλλο κολοκύθας παρατηρήθηκε ότι έχουν την υψηλότερη περιεκτικότητα σε λυκοπένιο ανάμεσα στα πράσινα φυλλώδη λαχανικά. Ο πελτές ντομάτας, το φρέσκο καρπούζι και η κολοκύθα πρέπει να περιλαμβάνονται τακτικά στη διατροφή για επαρκή παροχή λυκοπενίου.
Cucu et al., 2012	Μια απλή και γρήγορη μέθοδος HPLC για τον προσδιορισμό του λυκοπενίου στα τρόφιμα	Η ντομάτα και τα προϊόντα που περιέχουν ντομάτα περιείχαν τις υψηλότερες ποσότητες λυκοπενίου. Παρόλο που τα ωμά τρόφιμα και τα ελάχιστα επεξεργασμένα τρόφιμα περιείχαν πάνω από 94% του all-E-lycopene, τα επεξεργασμένα τρόφιμα (όπως σούπες, σάλτσες ζυμαρικών, πίτσα και τυρί) περιείχαν από

		76% έως 87% του all-E-lycopene.
Pérez-Jiménez et al., 2010	Προσδιορισμός των 100 πλουσιότερων διατροφικών πηγών πολυφαινολών: μια εφαρμογή της βάσης δεδομένων Phenol-Explorer	Η περιεκτικότητα πολυφαινολών στις 100 πιο πλούσιες διατροφικές πηγές πολυφαινολών κυμαίνεται από 15 000 mg ανά 100 g στο γαρίφαλο έως 10 mg ανά 100 ml στο ροζέ κρασί.
Zamora-Ros et al., 2008	Συγκεντρώσεις ρεσβερατρόλης και παραγώγων σε τρόφιμα και εκτίμηση της διατροφικής πρόσληψης σε έναν ισπανικό πληθυσμό: Ευρωπαϊκή Προοπτική Διερεύνηση για τον Καρκίνο και τη Διατροφή (EPIC)-Ισπανική κοόρτη	Η πιο σημαντική πηγή ρεσβερατρόλης και ρεσβερατρόλης-3-O-βήτα-γλυκοσίδης ήταν τα κόκκινα κρασιά (98,4 %) καθώς και τα σταφύλια (επειδή περιέχουν τα στέμφυλα δηλαδή τη φλούδα τους) και οι χυμοί σταφυλιών (1,6 %).
Ragab et al., 2006	Ανίχνευση και ποσοτικοποίηση της τρανς ρεσβερατρόλης στη ντομάτα (<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.)	Η συγκέντρωση της ρεσβερατρόλης τρανς στο δέρμα της ντομάτας παρέμεινε σχετικά σταθερή κατά την ωρίμανση του καρπού, φτάνοντας τη μέγιστη συγκέντρωση στο δέρμα $18,4 \pm 1,6$ μg/g ξηρού βάρους στις 4 εβδομάδες μετά την συγκομιδή.
Sebastià et al., 2017	Αναζήτηση τρανς-ρεσβερατρόλης σε φρούτα και λαχανικά: μια προκαταρκτική εξέταση	Τα αποτελέσματά της μελέτης έδειξαν την παρουσία τρανς ρεσβερατρόλης σε συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 0,2 μg/g στις

		ντομάτες και στις φράουλες και 3 μg/g στους χουρμάδες.
Najwa&Azrina, 2017	Σύγκριση της περιεκτικότητας σε βιταμίνη C στα εσπεριδοειδή με μεθόδους τιτλοδότησης και υγρής χρωματογραφίας υψηλής απόδοσης (HPLC)	Το πορτοκάλι είναι η καλύτερη πηγή βιταμίνης C ενώ το musklime (εσπεριδοειδές που βρίσκεται στις Φιλιππίνες) και το kaffirlime (εσπεριδοειδές που βρίσκεται στην Νοτιοανατολική Ασία) έχουν χαμηλότερη περιεκτικότητα. Και οι δύο μέθοδοι είναι κατάλληλες για τον προσδιορισμό της βιταμίνης C, ωστόσο η μέθοδος HPLC είναι πιο ακριβής και ειδική.
Satpathy et al., 2020	Ποσοτικός Προσδιορισμός της συγκέντρωσης της βιταμίνης C των κοινών βρώσιμων πηγών τροφίμων με οξειδοαναγωγική τιτλοδότηση με χρήση διαλύματος ιωδίου	Τα επίπεδα της βιταμίνης C σε 27 κοινά τρόφιμα ποικίλλουν από 4,00 mg/100g έως 89,55 mg/100g με την μεγαλύτερη συγκέντρωση να εμφανίζεται στον ινδικό ταμάρινδο ή αλλιώς Tamarindusindica (δέντρο που ευδοκimeί στην Αφρική).
Moatkhef et al., 2020	Ποσοτικός προσδιορισμός του σεληνίου στα πιο κοινά είδη διατροφής που πωλούνται στην Αίγυπτο	Η υψηλότερη μέση τιμή σεληνίου βρέθηκε σε τρόφιμα πλούσια σε πρωτεΐνες ακολουθούμενη από ξηρούς καρπούς και ζαχαρούχα προϊόντα. Επίσης, οι γαρίδες είχαν την υψηλότερη τιμή μεταξύ όλων των δειγμάτων που μελετήθηκαν ενώ η

		χαμηλότερη τιμή βρέθηκε σε μαλακό τυρί.
Sigrist et al., 2012	Προσδιορισμός του σεληνίου σε επιλεγμένα δείγματα τροφίμων από την Αργεντινή και εκτίμηση της συμβολής τους στη διαιτητική πρόσληψη	Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις σεληνίου βρέθηκαν στο κρέας και στα αυγά ενώ οι χαμηλότερες στο αλεύρι σίτου, στο ρύζι, στα ζυμαρικά και στο γάλα.
Al-Ahmary, 2009	Περιεκτικότητα σε σελήνιο σε επιλεγμένα τρόφιμα από την αγορά της Σαουδικής Αραβίας και εκτίμηση της ημερήσιας πρόσληψης	Οι πλούσιες πηγές σεληνίου ήταν τα κρέατα, τα αυγά και τα δημητριακά και τα προϊόντα δημητριακών ενώ τα λαχανικά και τα φρούτα περιείχαν ίχνη σεληνίου

Είναι ευρέως αποδεκτό ότι μια διατροφή που βασίζεται σε φυτικά τρόφιμα όπως φρούτα, λαχανικά και άλλες φυτικές τροφές πλούσιες σε θρεπτικά συστατικά μπορεί να μειώσει τον κίνδυνο ασθενειών που σχετίζονται με το οξειδωτικό στρες. Η κατανόηση του πολύπλοκου ρόλου της διατροφής σε τέτοιες χρόνιες ασθένειες είναι πρόκληση, καθώς μια τυπική δίαιτα παρέχει περισσότερα από 25.000 βιοενεργά συστατικά τροφίμων, πολλά από τα οποία μπορεί να τροποποιήσουν μια πληθώρα διαδικασιών που σχετίζονται με αυτές τις ασθένειες. Λόγω της πολυπλοκότητας αυτής της σχέσης, είναι πιθανό ότι απαιτείται μια ολοκληρωμένη κατανόηση του ρόλου αυτών των βιοενεργών συστατικών των τροφίμων για την αξιολόγηση του ρόλου των φυτικών τροφών στην ανθρώπινη υγεία και την ανάπτυξη ασθενειών. Τα περισσότερα βιοενεργά συστατικά τροφίμων προέρχονται από φυτά και ονομάζονται συλλογικά φυτοχημικά. Η μεγάλη πλειοψηφία των φυτοχημικών είναι οξειδοαναγωγικά δραστικά μόρια και ως εκ τούτου ορίζονται ως αντιοξειδωτικά. Τα αντιοξειδωτικά μπορούν να εξαλείψουν τις ελεύθερες ρίζες και άλλα αντιδραστικά είδη οξυγόνου και αζώτου, τα οποία συμβάλλουν στις περισσότερες χρόνιες ασθένειες (Carlsenet al., 2010). Στην συνέχεια, ακολουθεί η καταγραφή ορισμένων μελετών οι οποίες αφορούν στα σημαντικότερα αντιοξειδωτικά και στην ποσότητα τους σε διάφορα τρόφιμα.

Οι τοκοφερόλες ανήκουν στην κατηγορία των φαινολικών αντιοξειδωτικών και η βιταμίνη Ε, ή αλλιώς α-τοκοφερόλη, είναι η πιο βιολογικά ενεργή μορφή των τοκοφερολών. Τα φυτικά έλαια είναι οι πλουσιότερες διατροφικές πηγές βιταμίνης Ε. Τα επίπεδα προσδιορισμού της βιταμίνης Ε στα τρόφιμα έχουν μεγάλη σημασία για την προσαρμογή της πρόσληψης θρεπτικών συστατικών από τον πληθυσμό. Σκοπός της εργασίας των Griloetal. (2014) ήταν ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης της α-τοκοφερόλης και της γ-τοκοφερόλης σε φυτικά έλαια και η σύγκριση της τιμής της α-τοκοφερόλης με τις διατροφικές ανάγκες σε βιταμίνης Ε. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε με τη χρήση "Υγρής Χρωματογραφίας Υψηλής Απόδοσης (High Performance Liquid Chromatography - HPLC)". Οι τιμές που εκφράζονται ως mg/kg για την α- και γ-τοκοφερόλη ήταν, αντίστοιχα, 120,3±4,2 και 122,0±7,9 σε λάδι canola (ή αλλιώς κραμβέλαιο, το οποίο παράγεται από τους σπόρους ενός τύπου ελαιοκράμβης, ενός φοιτού που ανήκει στην ίδια οικογένεια με το κουνουπίδι, το μπρόκολο και το λάχανο), 432,3±86,6 και 92,3±9,5 σε ηλιέλαιο, 173,0±82,3 και 259,7±43,8 σε αραβοσιτέλαιο και 71,3±6,4 και 273,3±11,1 σε σογιέλαιο. Σημαντική διαφορά παρατηρήθηκε μεταξύ των συγκεντρώσεων της α-τοκοφερόλης στα φυτικά έλαια. Παρόμοια αποτελέσματα βρέθηκαν για τη γ-τοκοφερόλη, εκτός από τα έλαια καλαμποκιού και σόγιας. Συμπερασματικά, το σογιέλαιο δεν θεωρήθηκε πηγή βιταμίνης Ε ενώ τα έλαια canola και καλαμποκιού θεωρήθηκαν σημαντικές πηγές και το ελαιόλαδο θεωρήθηκε εξαιρετική πηγή. Επιπλέον, η HPLC χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας σε α- και γ-τοκοφερόλης σε επιλεγμένα τρόφιμα που καταναλώνονται συνήθως στη μεξικανική διαίτα (Wyattetal., 2008). Το ακατέργαστο καλαμπόκι είχε υψηλή περιεκτικότητα σε τοκοφερόλη (8,1 mg/100 g), αλλά η επεξεργασία σε τортίγιες κατέστρεψε σχεδόν όλες τις τοκοφερόλες. Τα όσπρια είχαν υψηλή περιεκτικότητα σε γ-τοκοφερόλη. Τα αμύγδαλα είχαν υψηλή περιεκτικότητα σε α-τοκοφερόλη με 22,3 mg/100 g και χαμηλή περιεκτικότητα σε γ-τοκοφερόλη (0,3 mg/100 g). Τα πεκάν έδειξαν την αντίστροφη τάση με 0,7 mg/100 g α- και 9,2 mg/100 g γ-τοκοφερόλης. Τα φιστίκια είχαν υψηλά επίπεδα τόσο της α- όσο και της γ-τοκοφερόλης (8,2 και 7,9 mg/100 g, αντίστοιχα). Τα φυτικά έλαια είχαν συνολικά υψηλή περιεκτικότητα σε βιταμίνη Ε και συνεισέφεραν τη μεγαλύτερη δραστηριότητα βιταμίνης Ε (1,3 mg/ημέρα), στη μεξικανική διαίτα. Οι τортίγιες καλαμποκιού είχαν χαμηλή δραστηριότητα βιταμίνης Ε (0,03 mg/100 g), αλλά λόγω της υψηλής πρόσληψής τους στη μεξικανική διατροφή, μαζί με τα φασόλια pinto

(ποικιλία φασολιών που καλλιεργούνται στην Ισπανία και μοιάζουν με τα φασόλια «μπαρμπούνια»), συνέβαλαν στη συνολική πρόσληψη βιταμίνης E.

Σε μια παλαιότερη μελέτη (Hogarty et al., 2009), τα ισομερή α-, γ- και δ-τοκοφερόλης σε 40 προϊόντα διατροφής σημαντικά για τη διατροφή των Η.Π.Α. και για τα οποία δεν υπήρχαν διαθέσιμα δεδομένα για τη βιταμίνη E, ποσοτικοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας HPLC αντίστροφης φάσης. Η συνολική δραστηριότητα της βιταμίνης E (α-, γ- και δ-τοκοφερόλης ως IU/100 g) στις κύριες ομάδες προϊόντων ήταν 52,3-155,7 στα εμπλουτισμένα και 2,0-2,3 στα μη εμπλουτισμένα δημητριακά πρωινού, 0,2-2,2 στα τυριά, 2,0-11,2 στα τσιπς, 0,9-5,4 στα ψάρια, 1 ή λιγότερο σε φρούτα και χυμούς φρούτων, 1 -32,0 σε ξηρούς καρπούς, 2,9-17,2 σε έλαια και dressing σαλάτας και 6,8 ή λιγότερο στα προϊόντα ντομάτας και λαχανικά. Σε μια ακόμη μελέτη όπου μετρήθηκαν τα επίπεδα της βιταμίνης E σε προϊόντα δημητριακών που θεωρούνται superfoods βρέθηκε ότι η περιεκτικότητα σε α-τοκοφερόλη κυμαινόταν από 4,00 έως 88,0 mg/kg με την υψηλότερη περιεκτικότητα σε βιταμίνη E να βρίσκεται στο δείγμα που παρασκευάστηκε από σιτάρι ζέας (*Triticum dicoccum*) και βανίλια. Επίσης, υψηλές συγκεντρώσεις βρέθηκαν και στο γλυκό κουλουράκι με δαμάσκηνα, ξηρούς καρπούς και χουρμάδες (60 mg/kg) και στο γλυκό κουλουράκι με αμύγδαλα (50,2 mg/kg). Αντίθετα, η χαμηλότερη περιεκτικότητα σε βιταμίνη E βρέθηκε στο γλυκό κουλούρι από δαμάσκηνα, σύκα και χουρμάδες (4.00 mg/kg), για το οποίο η περιεκτικότητα ήταν περίπου ίση με το άθροισμα της περιεκτικότητας κάθε συστατικού (Pasiasetal., 2018) (Πίνακας 4).

Πίνακας 4. Επίπεδα τοκοφερολών σε διάφορα τρόφιμα

Μελέτη	Τρόφιμα	Αντιοξειδωτικά	Ποσότητα
Grilo et al., 2014	Λάδι Canola (Κραμβέλαιο)	α-τοκοφερόλη	120,3±4,2 mg/kg
		γ-τοκοφερόλη	122,0±7,9 mg/kg
	Ηλιέλαιο	α-τοκοφερόλη	432,3±86,6 mg/kg
		γ-τοκοφερόλη	92,3±9,5 mg/kg
	Αραβοσιτέλαιο	α-τοκοφερόλη	173,0±82,3 mg/kg
		γ-τοκοφερόλη	259,7±43,8 mg/kg
	Σογιέλαιο	α-τοκοφερόλη	71,3±6,4 mg/kg
		γ-τοκοφερόλη	273,3±11,1 mg/kg
Wyatt et al., 2008	Ακατέργαστο Καλαμπόκι	Τοκοφερόλες	8,1 mg/100 g
	Αμύγδαλα	α-τοκοφερόλη	22,3 mg/100 g
		γ-τοκοφερόλη	0,3 mg/100 g
	Πεκάν	α-τοκοφερόλη	0,7 mg/100 g
		γ-τοκοφερόλη	9,2 mg/100 g

	Φιστίκια	α-τοκοφερόλη	8,2 mg/100 g
		γ-τοκοφερόλη	7,9 mg/100 g
Hogarty et al., 2009	Εμπλουτισμένα Δημητριακά Πρωινού	Βιταμίνη Ε	52,3-155,7 IU/100 g
	Μη Εμπλουτισμένα Δημητριακά Πρωινού		2,0-2,3 IU/100 g
	Τυριά		0,2-2,2 IU/100 g
	Τσιπς		2,0-11,2 IU/100 g
	Ψάρια		0,9-5,4 IU/100 g
	Φρούτα και Χυμοί Φρούτων		1 ή λιγότερο IU/100 g
	Ξηροί Καρποί		1 -32,0 IU/100 g
	Έλαια και Dressing Σαλάτας		2,9-17,2 IU/100 g
	Προϊόντα Ντομάτας και Λαχανικά		6,8 ή λιγότερο IU/100 g
Pasias et al., 2018	Δημητριακά από Σιτάρι Ζέας και Βανίλια	α-τοκοφερόλη	88,0 mg/kg
	Γλυκό Κουλουράκι με Δαμάσκηνα, Ξηρούς Καρπούς και Χουρμάδες		60 mg/kg
	Γλυκό Κουλουράκι με Αμύγδαλα		50,2 mg/kg
	Γλυκό Κουλούρι από Δαμάσκηνα, Σύκα και Χουρμάδες		4.00 mg/kg

Τα καροτενοειδή είναι χρωστικές ουσίες που παίζουν σημαντικό ρόλο στην προστασία των φυτών από τις φωτοοξειδωτικές διεργασίες. Είναι αποτελεσματικά αντιοξειδωτικά που δεσμεύουν ελεύθερες ρίζες οξυγόνου. Το β-καροτένιο ανήκει στην κατηγορία των καροτενοειδών που έχουν δράση βιταμίνης Α και μπορούν να μετατραπούν σε ρετινόλη). Σε μια μελέτη που διεξήχθη το 2005, στο Τμήμα Γεωργικής Χημείας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου NWFP, Πεσαβάρ Πακιστάν αναλύθηκαν για την περιεκτικότητά τους σε β-καροτένιο είκοσι διαφορετικά είδη

λαχανικών από τις τοπικές αγορές της Πεσαβάρ με τη χρήση HPLC (Ahamadetal., 2007).

Το αποτέλεσμα έδειξε ότι η ελάχιστη περιεκτικότητα (>80 μg/100 γρ.) βρέθηκε στην πατάτα, το μανιτάρι και τον έβενο του βουνού και η μεγαλύτερη ποσότητα (<80 μg/100 γρ.) στο μαρούλι, το σπανάκι και το καρότο. Τα αποτελέσματα αντανάκλυσαν ξεκάθαρα τη διατροφική αξία των λαχανικών και προτάθηκε ότι τα πράσινα φυλλώδη λαχανικά και το καρότο πρέπει να χρησιμοποιούνται στο καθημερινό μας διατροφικό μενού. Επίσης, η μελέτη των Sanusi&Adebiyi (2009) στόχευσε στον προσδιορισμό της περιεκτικότητας του β-καροτένιου σε ορισμένες τροφές και σούπες που καταναλώνονται συνήθως στη Νιγηρία.

Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι οι σούπες και τα μαγειρευτά φαγητά είχαν τις υψηλότερες συγκεντρώσεις β-καροτένιου. Επίσης, τροφές όπως το «moimoin» (πουτίγκα φασολιών στον ατμό), το «akara» (τηγανιτά μαυρομάτικα μπιζέλια), το κουάκερ με φασόλια και το γιαμ (πολτοποιημένα λαχανικά) που παρασκευάζονται με κόκκινο φοινικέλαιο είχαν μέτριες ποσότητες β-καροτένιου. Οι τροφές που παρασκευάζονται από κίτρινο καλαμπόκι είχαν χαμηλότερες τιμές β-καροτένιου. Γενικά, η περιεκτικότητα σε β-καροτένιο των τροφίμων που αναλύθηκαν κυμαινόταν από 6 μg/100 g (στο Fufu) έως 13.279 μg/100 g (στη σούπα «edikangikong»). Σε μια ακόμη μελέτη που προσδιόρισε τα επίπεδα των στερεοϊσομερών του β-καροτένιου σε φρέσκα και αποξηραμένα μάνγκο (*Mangifera indica* L.) βρέθηκε ότι οι τιμές της βιταμίνης A που βασίστηκαν στην πραγματική ποσότητα των στερεοϊσομερών β-καροτένιου κυμαινόταν από 113 έως 420 και από 425 έως 1010 RE/100 g για φρέσκες και αποξηραμένες φέτες μάνγκο, αντίστοιχα (Pottetal., 2003). Επιπλέον, κατά τον ποσοτικό προσδιορισμό του α- και του β-καροτένιου, συμπεριλαμβανομένων των cis-ισομερών του β-καροτένιου σε χυμούς καρότου και ροφήματα με συμπλήρωμα βιταμινών όπου χρησιμοποιήθηκε HPLC βρέθηκε ότι στους χυμούς καρότου, η περιεκτικότητα σε α-καροτένιο κυμαινόταν από 19,9 έως 49,4 mg/l και για το all-trans-β-καροτένιο από 32,8 έως 84,8 mg/l.

Οι σχετικές ποσότητες cis-ισομερών, υπολογιζόμενες ως ποσοστά του all-trans-β-καροτένιου, ήταν έως και 16,2%. Υψηλές σχετικές ποσότητες (31,8–44,5%) βρέθηκαν σε ροφήματα με συμπλήρωμα βιταμινών που αποτελούνται αποκλειστικά από συνθετικό β-καροτένιο. Αντίθετα, τα ροφήματα με συμπλήρωμα βιταμινών που

περιείχαν χυμό καρότου ως φυσική πηγή β-καροτένιου εμφάνισαν σημαντικά χαμηλότερά ποσοστά ισομερών (6,7–13,6%), που αντιστοιχούν στην περιοχή των απλών χυμών καρότου (Marxetal., 2003).

Τα φλαβονοειδή είναι φαινολικές ουσίες που απομονώνονται από ένα ευρύ φάσμα αγγειόσπερμων φυτών όπου δρουν στα φυτά ως αντιοξειδωτικά. Ο στόχος της εργασίας των Caoetal. (2010) ήταν να ποσοτικοποιήσει τα πιθανά αντικαρκινικά φλαβονοειδή (κερκετίνη, καμφερόλη, ισοραμνετίνη, απιγενίνη και λουτεολίνη) με HPLC αντίστροφης φάσης μεταξύ 100 βρώσιμων λαχανικών και φρούτων που καταναλώνονται συνήθως στη Κίνα. Τα κυρίαρχα φλαβονοειδή που βρέθηκαν στη μεγαλύτερη αφθονία σε όλα τα τρόφιμα που αναλύθηκαν ήταν η καμφερόλη, ακολουθούμενη από τη λουτεολίνη και την κερσετίνη. Η μέγιστη περιεκτικότητα σε κερσετίνη, καμφερόλη, ισοραμνετίνη, απιγενίνη, λουτεολίνη και ολικά φλαβονοειδή στα τρόφιμα ανήλθε σε 379,7±19,7 mg/kg, 482,0±21,0 mg/kg, 333,6±14,4 mg/kg, 139.3±5.2mg/ kg, 179.5±10.6mg/kg και 853.0mg/kg νωπού βάρους (FW), αντίστοιχα. Η μουστάρδα Potherb, το μαρούλι (κόκκινο), το φύλλο τοοπα, το φύλλο σέλιου, το σκόρδο, το κοτσάνι σκόρδου, το μήλο, ο χουρμάς, το τζίντζερ (με φλούδα) και το φύλλο από ραπανάκι (κόκκινη ρίζα, μικρό) ήταν κύριες πηγές τροφίμων φλαβονολών και φλαβονών. Στη μελέτη των Lin&Tang, (2007) επιλέχθηκαν 13 φρούτα και λαχανικά για τον προσδιορισμό της συνολικής περιεκτικότητάς τους σε φαινολικά και φλαβονοειδή. Η υψηλότερη συνολική περιεκτικότητα σε φαινολικές ουσίες παρατηρήθηκε στα μούρα (1515,9 ± 5,7 mg ισοδύναμα γαλλικού οξέος (GAE)/100 g φρέσκιας ύλης (FM)) και σε μια ποικιλία κόκκινων κρεμμυδιών (310,8 ± 4,9 mg GAE/100 g FM). Επίσης, η υψηλότερη συνολική περιεκτικότητα σε φλαβονοειδή παρατηρήθηκε στα μούρα (250,1 ± 6,3 mg ισοδύναμα κερκετίνης (QE)/100 g FM) και στο σπανάκι Κεϋλάνης (133,1 ± 26,2 mg QE/100 g FM). Σε μια ακόμη μελέτη (Crozieretal., 2007) όπου προσδιορίστηκαν τα επίπεδα ελεύθερων φλαβονοειδών που υπάρχουν σε εκχυλίσματα φρούτων και λαχανικών του εμπορίου χρησιμοποιώντας HPLC βρέθηκε ότι τα ντοματίνια περιείχαν 17–203 μgκερκετίνης/ g νωπού βάρους σε σύγκριση με 2,2–11 μg/g που ανιχνεύθηκαν σε κανονικού μεγέθους σκωτσέζικη, ισπανική και ολλανδική ντομάτα beef. Τα επίπεδα κερκετίνης στα κρεμμύδια κυμαίνονταν από 185 έως 634 μgκερσετίνης g/ νωπού βάρους. Το «στρογγυλό» μαρούλι (το γαλλικό μαρούλι, γνωστό ως «Σαλάτα») περιείχε 11 μg κερκετίνης g/ νωπού βάρους σε σύγκριση με 911 μg/ g στα εξωτερικά φύλλα και 450 mg/ g στα

εσωτερικά φύλλα του μαρουλιού «LolloRosso». Η περιεκτικότητα του σέλινου σε συζευγμένα φλαβονοειδή ήταν πολύ μεταβλητή και κυμαίνονταν από μη ανιχνεύσιμη έως 40 μγλουτεολίνης και 191 μγαπιγενίνης/ g νωπού βάρους.

Το μαγείρεμα μείωσε την περιεκτικότητα σε κερκετίνη τόσο στις ντομάτες όσο και στα κρεμμύδια με τις μεγαλύτερες μειώσεις να ανιχνεύονται μετά το ψήσιμο σε μικροκύματα και το βράσιμο από ό,τι μετά το τηγάνισμα. Τα φλαβονοειδή, όπως η κερκετίνη και η ρουτίνη, είναι ισχυρά αντιοξειδωτικά που υπάρχουν στα μήλα. Η μελέτη των Pandeyetal. (2020) σχεδιάστηκε για να ποσοτικοποιήσει και να συγκρίνει την παρουσία κερκετίνης και ρουτίνης σε διαφορετικά μέρη φυτών (φλούδα, φύλλο και φλοιός) μεταξύ διαφόρων ποικιλιών *Malusdomestica* (μήλων) από δύο περιοχές του Νεπάλ. Η συνολική περιεκτικότητα σε ρουτίνη κυμαίνονταν από $3,69 \pm 1,34$ έως $374,50 \pm 2,35$ mg/100g βάρους ξηρού εκχυλίσματος.

Η ποσότητα της κερσετίνης αυξήθηκε πολύ μετά την υδρόλυση και κυμαίνονταν από $80,84 \pm 0,13$ έως $171,05 \pm 0,95$ mg/100g βάρους ξηρού εκχυλίσματος. Η συνολική περιεκτικότητα σε πολυφαινόλη κυμαίνονταν από $19,48 \pm 0,23$ έως $123,48 \pm 1,84$ μγ ισοδύναμο γαλλικού οξέος/mg βάρους ξηρού εκχυλίσματος. Ομοίως, η περιεκτικότητα σε φλαβονοειδή κυμαίνονταν από $2,21 \pm 0,72$ μγ έως $755,54 \pm 1,91$ μγ ισοδύναμο κερσετίνης/mg βάρους ξηρού εκχυλίσματος. Η συνολική περιεκτικότητα σε υδατάνθρακες κυμαίνονταν από $144,15 \pm 3,73$ έως $484,65 \pm 2,63$ μγ ισοδύναμου γλυκόζης ανά 0,5 mg βάρους ξηρού εκχυλίσματος. Όλα τα εκχυλίσματα έδειξαν τους διάφορους βαθμούς αντιοξειδωτικής δράσης με δοσοεξαρτώμενο τρόπο. Μεταξύ αυτών, ο φλοιός του στελέχους του Jonathan Jumla έδειξε ισχυρή αντιοξειδωτική δράση με τιμή IC₅₀ 13,003 μγ/mL. Επιπλέον, αποκάλυψε ότι ο φλοιός των ποικιλιών *Malusdomestica* είχε υψηλή περιεκτικότητα σε κερκετίνη και ρουτίνη με υψηλή αντιοξειδωτική δράση. Επίσης, τα επίπεδα της κερκετίνης έχουν προσδιοριστεί και σε διαφορετικά μέρη του κρεμμυδιού χρησιμοποιώντας HPLC και "Φασματομετρία Μάζας Υγρής Χρωματογραφίας (Liquid Chromatography Mass Spectrometry - LC/MS)" (Kim&Kim, 2006). Τα επίπεδα κερκετίνης στο δέρμα και στο εξωτερικό, στο μεσαίο και στον πυρήνα του φυτού ήταν 16.83, 2.67, 0.95 και 0.35 mg/g, αντίστοιχα.

Το δέρμα, δηλαδή το μη βρώσιμο μέρος, περιείχε την υψηλότερη ποσότητα κερκετίνης, σε σύγκριση με τα άλλα βρώσιμα μέρη, και είχε την υψηλότερη δράση

δέσμευσης ριζών "2,2-Διφαινυλ-1-Πικρυλυδραζύλιο (2,2-Diphenyl-1-Picrylydrazyl - DPPH)". Τα επίπεδα δραστηριότητας δέσμευσης ριζών κερκετίνης και DPPH αυξήθηκαν από τον πυρήνα προς στο δέρμα. Τέλος, οι κατεχίνες, ενώσεις που ανήκουν στην κατηγορία των φλαβονοειδών, είναι δυνητικά ευεργετικές για την ανθρώπινη υγεία. Για να καταστεί δυνατή η επιδημιολογική αξιολόγηση αυτών των ενώσεων, απαιτούνται δεδομένα για την περιεκτικότητά τους στα τρόφιμα. Στη μελέτη των Artsetal (2000) χρησιμοποιήθηκε HPLC με ανίχνευση UV και φθορισμού για τον προσδιορισμό των επιπέδων της (+)-κατεχίνης, (-)-επικατεχίνης, "(+)-Γαλλοκατεχίνης ((+)-Gallocatechin - GC)", "(-)-Επιγαλλοκατεχίνης (Epigallocatechin - EGC)", "(-)-Γαλλικής Επικατεχίνης ((-)-Epicatechin Gallate - ECg)" και "(-)-Γαλλική Επιγαλλοκατεχίνη ((-)-Epigallocatechin Gallate - EGCg)" σε 24 είδη φρούτων, 27 είδη λαχανικών και οσπρίων, ορισμένα βασικά τρόφιμα και επεξεργασμένα τρόφιμα που καταναλώνονται συνήθως στην Ολλανδία. Τα περισσότερα φρούτα, η σοκολάτα και μερικά όσπρια περιείχαν κατεχίνες. Τα επίπεδα διέφεραν σε μεγάλο βαθμό: από 4,5 mg/kg στο ακτινίδιο έως 610 mg/kg στη μαύρη σοκολάτα. Η (+)-κατεχίνη και η (-)-επικατεχίνη ήταν οι κυρίαρχες κατεχίνες. Οι GC, EGC και ECg ανιχνεύθηκαν σε ορισμένα τρόφιμα, αλλά κανένα από τα τρόφιμα δεν περιείχε EGCg (Πίνακας 4).

Πίνακας 4: Περιεκτικότητα διαφόρων τροφίμων σε φλαβονοειδή

Μελέτη	Τρόφιμα	Αντιοξειδωτικά	Ποσότητα
Cao et al. (2010)	Λαχανικά και Φρούτα	Κερσετίνη	379,7±19,7 mg/kg FW
		Καμφερόλη	482,0±21,0 mg/kg FW
		Ισοραμνετίνη	333,6±14,4 mg/kg FW
		Απιγενίνη	139.3±5.2mg/ kg FW

		Λουτεολίνη	179.5±10.6mg/kg FW
		Ολικά Φλαβονοειδή	853.0mg/kg FW
Lin&Tang, 2007	Μούρα	Συνολική Περιεκτικότητα σε Φαινολικές Ουσίες	1515,9 ± 5,7 mg ισοδύναμα γαλλικού οξέος (GAE)/100 g φρέσκιας ύλης
	Κόκκινα Κρεμμύδια		310,8 ± 4,9 mg GAE/100 g FM
	Μούρα	Συνολική Περιεκτικότητα σε Φλαβονοειδή	250,1 ± 6,3 mg ισοδύναμα κερκετίνης (QE)/100 g FM)
	Σπανάκι Κεϋλάνης		133,1 ± 26,2 mg QE/100 g FM
Crozier et al., 2007	Ντοματίνια	Κερκετίνη	17–203 μg κερκετίνης/ g νωπού βάρους
	Κανονικού Μεγέθους Σκωτσέζικη, Ισπανική Και Ολλανδική Ντομάτα Beef		2,2–11 μg κερκετίνης/ g νωπού βάρους
	Κρεμμύδια		185 έως 634 μg κερσετίνης g/ νωπού βάρους
	«Στρογγυλό» Μαρούλι		11 μg κερκετίνης g/ νωπού βάρους
	Εξωτερικά Φύλλα		911 μg κερκετίνης g/

	«Στρογγυλού» Μαρούλι		νωπού βάρους
	Εσωτερικά Φύλλα Μαρουλιού «Lollorosso»		450 µg κερκετίνης g/ νωπού βάρους
	Σέλινο	Συζευγμένα Φλαβονοειδή	μη ανιχνεύσιμη έως 40 µg λουτεολίνης/ g νωπού βάρους 191 µg απιγενίνης/ g νωπού βάρους
Pandey et al., 2020	Malusdomestica (Μήλα)	Ρουτίνη	3,69 ± 1,34 έως 374,50 ± 2,35 mg/100g βάρος ξηρού εκχυλίσματος
		Κερσετίνη	80,84 ± 0,13 έως 171,05 ± 0,95mg/100g βάρος ξηρού εκχυλίσματος
		Συνολική Περιεκτικότητα σε Πολυφαινόλη	19,48 ± 0,23 έως 123,48 ± 1,84 µgm ισοδύναμο γαλλικού οξέος/mg βάρους ξηρού εκχυλίσματος
		Φλαβονοειδή	2,21 ± 0,72 µg έως 755,54 ± 1,91 µg ισοδύναμο κερσετίνης/mg βάρους ξηρού εκχυλίσματος
Kim&Kim,	Δέρμα Κρεμμυδιού	Κερκετίνη	16.83 mg/g

2006	Εξωτερικό Τμήμα Κρεμμυδιού		2.67 mg/g
	Μεσαίο Τμήμα Κρεμμυδιού		0.95 mg/g
	Πυρήνας Κρεμμυδιού		0.35 mg/g
Arts et al., 2000	Ακτινίδιο	Κατεχίνες	4,5 mg/kg
	Μαύρη Σοκολάτα		610 mg/kg
Zhangetal., 2016	ΚόκκιναΚρεμμύδια	Φλαβονοειδή	111.10±5.98mg/100 g λαχανικού
	ΚίτριναΚρεμμύδια		36.64±3.59mg/100 g λαχανικού
	Λευκά Κρεμμύδια		0mg/100 g λαχανικού

Επιπλέον, οι ανθοκυανίνες είναι φλαβονοειδή με αντιοξειδωτική δράση. Είναι οι χρωστικές που δίνουν πλούσια χρώματα στα μούρα, τα κόκκινα κρεμμύδια, τα ρόδια και τα σταφύλια. Ανάμεσα στα διάφορα είδη φρούτων, τα βατόμουρα και τα σταφύλια διακρίνονται για την πλούσια περιεκτικότητά τους σε πολυφαινόλες, συμπεριλαμβανομένων των ανθοκυανινών. Σκοπός της μελέτης των Raunetal. (2022) ήταν η αναγνώριση και ποσοτικοποίηση των ανθοκυανινών στις φλούδες των μαύρων σταφυλιών και των βατόμουρων, αλλά και ο προσδιορισμός της συνολικής περιεκτικότητας σε φαινολικά και της συνολικής αντιοξειδωτικής ικανότητας. Ταυτοποιήθηκαν πέντε ενώσεις γλυκοσυλιωμένης ανθοκυανίνης στα βατόμουρα, οκτώ ενώσεις γλυκοσυλιωμένων ανθοκυανινών και επτά θραύσματα παραγώγων ανθοκυανίνης σε φλούδες σταφυλιών. Η κυανιδίνη-3-γλυκοσίδη ήταν το κύριο συστατικό (86,49%) στα βατόμουρα, ενώ, στις φλούδες των σταφυλιών, το κύριο συστατικό ήταν η δελφινιδιν-3-Ο-γλυκοσίδη (περίπου 40,64%). Στη μελέτη των Wuetal. (2006) εξετάστηκαν πάνω από 100 κοινά τρόφιμα για ανθοκυανίνες και βρέθηκαν σε 24 από αυτά. Οι συγκεντρώσεις των συνολικών ανθοκυανινών κυμαίνονταν σημαντικά από 0,7 έως 1480 mg/100 g φρέσκου βάρους στο φραγκοστάφυλο («Careless» ποικιλία) και στην αρώνια, αντίστοιχα. Η μελέτη έδειξε

ότι όχι μόνο ποικίλλει η συγκέντρωση, αλλά οι συγκεκριμένες ανθοκυανίνες που υπάρχουν στα τρόφιμα είναι επίσης αρκετά διαφορετικές. Μόνο έξι κοινές αγλυκόνες, η δελφινιδίνη, η κυανιδίνη, η πετούνιδίνη, η πελαργονιδίνη, η πεονιδίνη και η μαλβιδίνη, βρέθηκαν σε όλα αυτά τα τρόφιμα. Από τις διαφορετικές αγλυκόνες, η κυανιδίνη, η δελφινιδίνη και η μαλβιδίνη εκτιμήθηκε ότι συμβάλλουν στο 45, 21 και 15%, αντίστοιχα, στη συνολική πρόσληψη ανθοκυανινών.

Μια άλλη μελέτη προσδιόρισε τις συνολικές ανθοκυανίνες και φλαβονόλες σε κρεμμύδια τριών χρωμάτων (Zhangetal., 2016). Η συνολική ποσότητα των ανθοκυανινών σε mg/100 g λαχανικού ήταν 29.99 ± 1.19 , 9.64 ± 1.30 και 0.75 ± 0.40 mg στα κόκκινα, στα κίτρινα και στα λευκά κρεμμύδια, αντίστοιχα (Πίνακας 6). Ομοίως, η συνολική ποσότητα των φλαβονοειδών σε mg/100 g λαχανικού ήταν 111.10 ± 5.98 , 36.64 ± 3.59 και 0 στα κόκκινα, στα κίτρινα και στα λευκά κρεμμύδια, αντίστοιχα. Τέσσερις τύποι ανθοκυανινών (3,5-διγλυκοσίδες δελφινιδίνης, 3,5-διγλυκοσίδες κυανιδίνης, 3-γλυκοσίδες κυανιδίνης και 3-(6"-μαλονυλο)-γλυκοκυρανοσίδη κυανιδίνης) και δύο είδη φλαβονοειδών (3-γλυκοσίδα κερκετίνης και κερκετίνη) βρέθηκαν σε δύο ποικιλίες (κόκκινο και κίτρινο βολβός) κρεμμυδιών με HPLC/DAD-ESI/MS.

Πίνακας 5: Περιεκτικότητα διαφόρων τροφίμων σε ανθοκυανίνες

Μελέτη	Τρόφιμα	Αντιοξειδωτικά	Ποσότητα
Wu et al., 2006	Φραγκοστάφυλο («Careless» ποικιλία)	Συνολικές Ανθοκυανίνες	0,7 mg/100 g φρέσκου βάρους
	Αρώνια		1480 mg/100 g φρέσκου βάρους
Zhang et al., 2016	Κόκκινα Κρεμμύδια	Συνολικές Ανθοκυανίνες	29.99 ± 1.19 mg/100 g λαχανικού
	Κίτρινα Κρεμμύδια		9.64 ± 1.30 mg/100 g λαχανικού
	Λευκά Κρεμμύδια		0.75 ± 0.40 mg/100

			g λαχανικού
--	--	--	-------------

Ένα ακόμη ισχυρό φυσικό αντιοξειδωτικό είναι το λυκοπένιο, το οποίο ως κόκκινο καροτενοειδές βρίσκεται ευρέως στα κόκκινα και ροζ φρούτα και λαχανικά. Στην μελέτη των Lugasi et al. (2003), εκτιμήθηκε η περιεκτικότητα του λυκοπενίου πολλών τροφίμων και η πρόσληψη λυκοπενίου σε δύο ομάδες πληθυσμού της Ουγγαρίας. Η περιεκτικότητα σε λυκοπένιο στη φρέσκια ντομάτα κυμαινόταν από 0,85 mg/100 g έως 13,6 mg/100 g. Τα προϊόντα που χρησιμοποιούνται ως σάλτσες είχαν μέτρια επίπεδα λυκοπενίου που κυμαίνονταν από 9,3 έως 18,0 mg/100 g. Τα καρυκεύματα όπως το κέτσαπ και η σάλτσα μπάμπεκιου είχαν μέτρια έως υψηλά επίπεδα λυκοπενίου (1,9-26,2 mg/100 g). Τα στιγμιαία τρόφιμα που περιέχουν σκόνη ντομάτας είχαν τα υψηλότερα επίπεδα λυκοπενίου που κυμαίνονταν από 5,6 έως 35,9 mg/100 g.

Η περιεκτικότητα σε λυκοπένιο των δειγμάτων ντομάτας που αγοράστηκαν το χειμώνα και στις αρχές της άνοιξης ήταν πολύ χαμηλή, περίπου 1 mg/100 g. Οι φρέσκες και κατεψυγμένες ντομάτες από την καλοκαιρινή συγκομιδή στην Ουγγαρία είχαν πολύ υψηλά επίπεδα λυκοπενίου που κυμαίνονταν από 7,6 έως 13,6 mg/100 g. Για τον υπολογισμό της ημερήσιας πρόσληψης λυκοπενίου προσδιορίστηκε μια μέση τιμή 6,85 mg/100 g για φρέσκια ντομάτα. Δεν ανιχνεύθηκε λυκοπένιο στο αποξηραμένο βερίκοκο (εισαγόμενο από την Ισπανία), ενώ χαμηλά επίπεδα βρέθηκαν σε ροδάκινο, ραβέντι, πεπόνι, φρέσκο βερίκοκο, σταφύλι (Ruby Red) και φρέσκια και ψητή κολοκύθα (0.11, 0.12, 0.21, 0.54, 0.75, 0.50 και 1.20 mg/100 g, αντίστοιχα).

Η υψηλή συγκέντρωση λυκοπενίου που παρατηρήθηκε στο καρπούζι κυμαινόταν μεταξύ 3,36 και 6,07 mg/100 g. Το μέσο επίπεδο ήταν 4,77 mg/100 g. Αυτή η συγκέντρωση είναι λίγο χαμηλότερη από αυτή στη φρέσκια ντομάτα. Το καρπούζι φαίνεται να είναι μια πολύ πολύτιμη πηγή λυκοπενίου επειδή αυτό το φρούτο είναι πολύ δημοφιλές ειδικά στην Ουγγαρία και μια μερίδα καρπούζι είναι περίπου 200 g που ισοδυναμεί με περίπου 10 mg λυκοπενίου. Η κατανάλωση φρέσκιας ντομάτας συχνά περιορίζεται από άτομα που πάσχουν από πεπτικά προβλήματα ή από παιδιά. Η αντικατάσταση της ντομάτας με καρπούζι στην καλοκαιρινή διαίτα θα πρέπει να είναι μια καλή και νόστιμη λύση για την κάλυψη ή την αύξηση της πρόσληψης λυκοπενίου. Μια ακόμη μελέτη (Fadurpinetal., 2012) προσδιόρισε την περιεκτικότητα

σε λυκοπένιο επιλεγμένων προϊόντων όπως προϊόντα με βάση την ντομάτα, φρούτα και λαχανικά που καταναλώνονται συνήθως στη Νοτιοδυτική Νιγηρία. Η περιεκτικότητα σε λυκοπένιο στους τοματοπελτέδες κυμαινόταν από $50,97 \pm 1,08$ mg/kg στον πελτέ ντομάτας vitali έως $68,12 \pm 1,44$ mg/kg στον πελτέ ντομάτας Gino. Στα φρούτα, η περιεκτικότητα σε λυκοπένιο κυμαινόταν από $0,47 \pm 0,04$ mg/kg στα λευκά σταφύλια έως $32,15 \pm 0,70$ mg/kg στο καρπούζι. Μεταξύ των κιτρινοκόκκινων λαχανικών, η περιεκτικότητα σε λυκοπένιο κυμαινόταν από $14,88 \pm 0,70$ mg/kg στην κόκκινη πιπεριά έως $45,49 \pm 0,98$ mg/kg σε ώριμες ντομάτες. Στα πράσινα φυλλώδη λαχανικά, το λυκοπένιο κυμαινόταν από $4,96 \pm 0,13$ mg/kg στο σπανάκι Κεϋλάνης έως $11,79 \pm 0,28$ mg/kg στο bitterleaf (θαμνώδες φυτό της οικογένειας *Vernonia amygdalina* που ευδοκιμεί στην Αφρική). Αυτή η μελέτη έδειξε ότι η πάστα ντομάτας είναι πολύ πλούσια σε λυκοπένιο ακολουθούμενη από φρέσκα ώριμα φρούτα ντομάτας, καρπούζι και φρέσκια πιπεριά τσίλι. Το πικρό φύλλο και το φύλλο κολοκύθας παρατηρήθηκε ότι έχουν την υψηλότερη περιεκτικότητα σε λυκοπένιο μεταξύ των πράσινα φυλλώδη λαχανικά. Ο πελτέ ντομάτας, το φρέσκο καρπούζι και η κολοκύθα πρέπει να περιλαμβάνονται τακτικά στη διατροφή για επαρκή παροχή λυκοπενίου.

Σε άλλη μελέτη προσδιορίστηκαν τα επίπεδα λυκοπενίου σε φρέσκα φρούτα και λαχανικά (ντομάτες, παπάγια, καρπούζι, γκρέιπφρουτ και φρουτοσαλάτα) καθώς και σε επεξεργασμένα τρόφιμα (σούπες, σάλτσες, ζυμαρικά και πίτσα) χρησιμοποιώντας HPLC (Cucuetal., 2012). Η πιο αξιοσημείωτη παρατήρηση ήταν η μεταβλητότητα στην περιεκτικότητα σε λυκοπένιο μεταξύ διαφορετικών δειγμάτων. Στην περίπτωση της ντομάτας, η συνολική περιεκτικότητα σε λυκοπένιο κυμαινόταν από 33,3 έως 103,7 $\mu\text{g/g}$ προϊόντος. Παρομοίως, διακύμανση παρατηρήθηκε και στο καρπούζι (98.1 - 171.3 $\mu\text{g/g}$ προϊόντος) και στην παπάγια (5.3 - 33.2 $\mu\text{g/g}$ προϊόντος). Επιπλέον, ύψηλά επίπεδα ολικού λυκοπενίου βρέθηκαν στο συμπυκνωμένο χυμό ντομάτας (298.1 - 358.4 $\mu\text{g/g}$ προϊόντος) και στον διπλά συμπυκνωμένο χυμό ντομάτας (455.7 - 604.3 $\mu\text{g/g}$ προϊόντος) (Πίνακας 6).

Πίνακας 6: Περιεκτικότητα διαφόρων τροφίμων σε λυκοπένιο

Μελέτη	Τρόφιμα	Αντιοξειδωτικά	Ποσότητα
Lugasi et al., 2003	Φρέσκια Ντομάτα	Λυκοπένιο	0,85-13,6 mg/100 g
	Σάλτσες Ντομάτας		9,3-18,0 mg/100 g
	Καρκεύματα (κέτσαπ, σάλτσα μπάριμπεκιου)		1,9-26,2 mg/100 g
	Στιγμαϊά Τρόφιμα με Σκόνη Ντομάτας		5,6-35,9 mg/100 g.
	Δείγματα ντομάτας (Αγορά κατά τον χειμώνα)		1 mg/100 g
	Φρέσκες και Κατεψυγμένες Ντομάτες (Καλοκαιρινή Συγκομιδή)		7,6-13,6 mg/100 g
	Ροδάκινο		0.11 mg/100 g
	Ραβέντι		0.12 mg/100 g
	Πεπόνι		0.21 mg/100 g
	Φρέσκο Βερίκοκο		0.54 mg/100 g
	Σταφύλι (RubyRed)		0.75 mg/100 g
	Φρέσκια Κολοκύθα		0.50 mg/100 g

	Ψητή Κολοκύθα		1.20 mg/100 g
	Καρπούζι		3,36-6,07 mg/100 g
Fadupin et al., 2012	Πελτές Ντομάτας Vitali	Λυκοπένιο	50,97±1,08 mg/kg
	Πελτές Ντομάτας Gino		68,12±1,44 mg/kg
	Λευκά Σταφύλια		0,47±0,04 mg/kg
	Καρπούζι		32,15±0,70 mg/kg
	Κόκκινη Πιπεριά		14,88±0,70 mg/kg
	Ωριμες Ντομάτες		45,49±0,98 mg/kg
	Σπανάκι Κεϋλάνης		4,96±0,13 mg/kg
	Bitterleaf		11,79±0,28 mg/kg
Cucuetal., 2012	Ντομάτα	Λυκοπένιο	33,3-103,7 µg/g προϊόντος
	Καρπούζι		98.1-171.3 µg/g προϊόντος
	Παπάγια		5.3 - 33.2 µg/g προϊόντος
	Συμπυκνωμένος Χυμός Ντομάτας		298.1-358.4 µg/g προϊόντος
	Διπλά Συμπυκνωμένος Χυμός Ντομάτας		455.7 - 604.3 µg/g προϊόντος

Οι πολυφαινόλες είναι τα πιο άφθονα αντιοξειδωτικά στη διατροφή. Οι κύριες διατροφικές πηγές αυτών των ενώσεων είναι τα φρούτα και τα ποτά φυτικής προέλευσης όπως οι χυμοί φρούτων, το τσάι, ο καφές και το κόκκινο κρασί. Στόχος της εργασίας των Pérez-Jiménezetal (2010) ήταν να εντοπίσει τις 100 πλουσιότερες διατροφικές πηγές πολυφαινολών χρησιμοποιώντας τη βάση δεδομένων Phenol-Explorer. Κατα συνέπεια, δημιουργήθηκε μια λίστα με τις 100 πιο πλούσιες διατροφικές πηγές πολυφαινολών, με περιεκτικότητα που κυμαίνεται από 15 000 mg ανά 100 g στο γαρίφαλο έως 10 mg ανά 100 ml στο ροζέ κρασί. Οι πιο πλούσιες πηγές ήταν διάφορα μπαχαρικά και αποξηραμένα βότανα, προϊόντα κακάο, μερικά σκουρόχρωμα μούρα, μερικοί σπόροι (λιναρόσπορος) και ξηροί καρποί (κάστανος, φουντούκι) και μερικά λαχανικά όπως ελιά και αγκινάρα. Επίσης, δημιουργήθηκε μια λίστα με τα 89 τρόφιμα και ποτά που παρέχουν πάνω από 1 mg συνολικών πολυφαινολών ανά μερίδα (Πίνακας 8).

Πίνακας 8: Μερίδες φαγητού που παρέχουν τουλάχιστον 1 mg πολυφαινόλες με την περιεκτικότητά τους σε πολυφαινόλες και αντιοξειδωτικά (mg ανά μερίδα) Pérez-Jiménez et al. (2010).

Food	Food group	Serving ^a (g)	Polyphenols ^b		Polyphenols AE ^b		Antioxidants ^c	
			Content	Rank	Content	Rank	Content	Rank
Black elderberry	Fruits	145 ^d	1956	1	1196	2	2808	1
Black chokeberry	Fruits	145 ^d	1595	2	1114	1	2523	2
Blackcurrant	Fruits	145 ^d	1092	3	689	4	1182	5
Highbush blueberry	Fruits	145 ^d	806	4	425	5	321	14
Globe artichoke heads	Vegetables	168	436	5	259	8	1918	3
Coffee, filter	Non-alcoholic beverages	190	408	6	209	13	507	11
Lowbush blueberry	Fruits	145 ^d	395	7	714	3	678	8
Sweet cherry	Fruits	145 ^d	394	8	209	14	249	20
Strawberry	Fruits	166 ^d	390	9	340	6	480	12
Blackberry	Fruits	144 ^d	374	10	260	9	821	6
Plum	Fruits	85	320	11	242	11	349	13
Red raspberry	Fruits	144	310	12	154	17	213	22
Flaxseed meal	Seeds	20 ^e	306 ^f	13	244 ^f	10	—	—
Dark chocolate	Cocoa products	17	283	14	275	7	316	15
Chestnut	Seeds	19	230	15	231	12	524	10
Black tea	Non-alcoholic beverages	195	197	16	175	15	204	23
Green tea	Non-alcoholic beverages	195	173	17	164	16	121	31
Pure apple juice	Non-alcoholic beverages	248	168	18	151	18	84	38
Apple	Fruits	110	149	19	147	19	221	21
Whole grain rye bread	Cereals	120	146 ^f	20	146 ^f	20	—	—
Hazelnut	Seeds	28 ^e	138	21	138	21	192	24
Red wine	Alcoholic beverages	125	126	22	117	23	269	19
Soy yogurt	Seeds	125	105	23	53	28	—	—
Cocoa powder	Cocoa products	3	103	24	99	25	33	46
Pure pomegranate juice	Non-alcoholic beverages	150	99	25	50	31	306	16
Soy flour	Seeds	20 ^e	93	26	53	29	—	—
Black grape	Fruits	54	91	27	113	24	92	36
Black olive	Vegetables	15	85	28	48	32	17	56
Pure grapefruit juice	Non-alcoholic beverages	150	79	29	39	37	82	39
Pure blood orange juice	Non-alcoholic beverages	154	71	30	31	42	111	33
Milk chocolate	Cocoa products	32	75	31	75	26	273	17
Spinach	Vegetables	59	70	32	40	34	170	26
Pecan nut	Seeds	15	69	33	69	27	272	18
Prune	Fruits	32	62	34	32	40	—	—
Redcurrant	Fruits	144	62	35	119	22	646	9
Soy, tempeh	Seeds	40	59	36	40	35	—	—
Peach	Fruits	99 ^e	59	37	52	30	105	34
Soy tofu	Seeds	130	54	38	32	41	—	—
Green olive	Vegetables	15	52	39	35	39	24	51
Black bean	Seeds	35	52	40	14	56	1216	4
Red onion	Vegetables	30	50	41	30	43	31	47
Green grape	Fruits	54	48	42	46	33	66	41
White bean	Seeds	35	44	43	11	60	121	32
Chocolate beverage with milk	Non-alcoholic beverages	187	39	44	39	38	—	—
Roasted soybean	Seeds	15	37	45	40	36	—	—
Potato	Vegetables	128	36	46	23	45	69	40
Shallot	Vegetables	32	36	47	21	47	—	—
Soy milk	Non-alcoholic beverages	187	34	48	20	48	—	—
Red chicory	Vegetables	14	33	49	18	49	18	54
Broccoli	Vegetables	72	33	50	15	53	142	30
Soy meat	Seeds	40 ^e	29	51	19	50	—	—
Whole grain rye flour	Cereals	20	29 ^f	52	29 ^f	44	14	59
Pure pummelo juice	Non-alcoholic beverages	154	27	53	12	58	—	—
Nectarine	Fruits	99	25	54	20	48	44	44
Green chicory	Vegetables	14	23	55	16	49	—	—
Pear	Fruits	138	23	56	15	54	149	29
Beer	Alcoholic beverages	574	22	57	22	46	160	27
Yellow onion	Vegetables	30	22	58	15	55	23	52
Apricot	Fruits	65	22	59	10	61	86	37
Asparagus	Vegetables	75	22	60	8.6	64	56	42
Quince	Fruits	100	19	61	12	59	—	—
Almond	Seeds	10	19	62	0.8	88	6.2	64
Whole grain wheat flour	Cereals	20	14 ^f	63	14 ^f	57	18	55
White wine	Alcoholic beverages	125	13	64	10	62	40	45

Food	Food group	Serving ^a (g)	Polyphenols ^b		Polyphenols AE ^b		Antioxidants ^c	
			Content	Rank	Content	Rank	Content	Rank
Rosé wine	Alcoholic beverages	125	12	65	10	63	10	62
Dark beer	Alcoholic beverages	574	10	66	5.2	67	102	35
Extra virgin olive oil	Oils	16	10	67	4.8	68	8.8	63
Soybean sprout	Seeds	60	9.3	68	6.0	66	—	—
Carrot	Vegetables	54	7.6	69	3.5	69	31	48
Bilberry	Fruits	145 ^d	7.4	70	7.4	65	756	7
Pure lemon juice	Non-alcoholic beverages	15	6.3	71	1.8	80	—	—
Red lettuce	Vegetables	24	5.4	72	3.4	70	27	50
Soy cheese	Seeds	40 ^e	4.9	73	3.1	72	—	—
Green bean	Vegetables	60	4.8	74	3.4	71	185	25
Curly endive	Vegetables	14	3.4	75	2.0	78	—	—
Cauliflower	Vegetables	38	2.7	76	2.7	73	31	49
Peanut roasted dehulled	Seeds	40	2.6	77	2.6	74	17	57
Rapeseed oil	Oils	16	2.5	78	2.5	75	—	—
Pumpkin	Vegetables	60	2.5	79	2.0	79	52	43
Pasta	Cereals	60	2.5	80	2.5	76	—	—
Banana	Fruits	97	2.5	81	2.5	77	150	28
Endive (escarole)	Vegetables	14	2.5	82	1.5	82	—	—
Tomato	Vegetables	50	2.1	83	1.2	83	22	53
Green lettuce	Vegetables	24	1.9	84	1.1	85	16	58
White onion	Vegetables	30	1.6	85	1.0	87	13	61
Refined oat flour	Cereals	20	1.6 ^f	86	1.6 ^f	81	—	—
Refined wheat flour	Cereals	20	1.2 ^f	87	1.2 ^f	84	14	60
Pomegranate	Fruits	100	1.1	88	1.1	86	—	—
Sweet green pepper	Vegetables	20	0.9	89	0.5	89	0.4	65

Abbreviation: AE, (polyphenols as) aglycone equivalents.

Επιπλέον, οι κύριες διατροφικές πηγές της ρεσβερατρόλης και της ρεσβερατρόλης-3-O-βήτα-γλυκοσίδης εξετάστηκαν σε μια ποικιλία τροφίμων που καταναλώνονται από τον Ισπανικό πληθυσμό (Zamora-Ros et al., 2008). Η πιο σημαντική πηγή ρεσβερατρόλης και ρεσβερατρόλης-3-O-βήτα-γλυκοσίδης ήταν τα κόκκινα κρασιά (98,4 %) καθώς και τα σταφύλια και οι χυμοί σταφυλιών (1,6 %), ενώ τα αράπικα φιστίκια, τα φιστίκια αιγίνης και τα μούρα συνεισέφεραν σε λιγότερο από 0,01 %. Για το λόγο αυτό το μοτίβο πρόσληψης ρεσβερατρόλης και ρεσβερατρόλης-3-O-βήτα-γλυκοσίδης ήταν παρόμοιο με το πρότυπο του κρασιού. Επίσης, σε μια μελέτη όπου χρησιμοποιήθηκε αέρια χρωματογραφία-φασματομετρίας μάζας για την ανίχνευση της τρανς ρεσβερατρόλης, της 3-γλυκοπυρανοσίδης και των cis ισομερών και των δύο ενώσεων στο δέρμα της ντομάτας (*Lycopersicon esculentum* Mill) που διατίθενται στο εμπόριο, η συγκέντρωση της τρανς ρεσβερατρόλης παρέμεινε σχετικά σταθερή κατά την ωρίμανση του καρπού, φτάνοντας τη μέγιστη συγκέντρωση στο δέρμα $18,4 \pm 1,6$ $\mu\text{g/g}$ ξηρού βάρους στις 4 εβδομάδες μετά τη συγκομιδή. Δεν ανιχνεύθηκαν στιλβένια στη σάρκα του καρπού της ντομάτας (Ragabetal., 2006). Τέλος, μια άλλη μελέτη είχε ως αντικείμενο τον προσδιορισμό της ρεσβερατρόλης στα τυπικά φρούτα και λαχανικά που χρησιμοποιούνται στη μεσογειακή διατροφή. Τα αποτελέσματά της μελέτης έδειξαν την παρουσία τρανς ρεσβερατρόλης σε συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 0,2 $\mu\text{g/g}$ στις ντομάτες και στις φράουλες και 3 $\mu\text{g/g}$ στους χουρμάδες (Sebastiàetal., 2017).

Πίνακας 7:Περιεκτικότητα διαφόρων τροφίμων σε ρεσβερατρόλη

Μελέτη	Τρόφιμα	Αντιοξειδωτικά	Ποσότητα
Ragabetal., 2006	Δέρμα ντομάτας	Ρεσβερατρόλη (cis ισομερή)	18,4 ± 1,6 µg/g ξηρού βάρους (4 εβδομάδες μετά τη συγκομιδή)
Sebastià et al., 2017	Ντομάτες	Trans- ρεσβερατρόλη	0,2 µg/g
	Φράουλες		0,2 µg/g
	Χουρμάδες		3 µg/g

Η βιταμίνη C (ή ασκορβικό οξύ) είναι μια φυσική οργανική ένωση με αντιοξειδωτικές ιδιότητες, που βρίσκεται τόσο στα ζώα όσο και στα φυτά. Λειτουργεί ως ρυθμιστικό οξειδοαναγωγής που μπορεί να μειώσει, και ως εκ τούτου να εξουδετερώσει, τα αντιδραστικά είδη οξυγόνου. Η περιεκτικότητα σε βιταμίνη C των εσπεριδοειδών (πορτοκάλι, γκρέιπφρουτ, λεμόνι, λάιμ, kaffirlime (είδος λάιμ που ευδοκimeί στη Νοτιοανατολική Ασία) και musklime ή αλλιώς καλαμοντίνη-λεμόνι που προεέρχεται από Φιλιπίνες) προσδιορίστηκε στη μελέτη των Najwa&Azrina (2017) χρησιμοποιώντας μεθόδους τιτλοδότησης ινδοφαινόλης και HPLC. Με τη μέθοδο τιτλοδότησης, βρέθηκε η περιεκτικότητα διαφόρων τροφίμων σε βιταμίνηC, η οποία παρουσιάζεται στον επόμενο πίνακα.

Πίνακας 8:Περιεκτικότητα τροφίμων σε βιταμίνη C (μέθοδος τιτλοδότησης)

Τρόφιμα	Περιεκτικότητα σε βιταμίνη C (mg/100g)
Πορτοκάλι	58,30
Γκρέιπφρουτ	49,15
Λεμόνι	43,96
Λάιμ Kaffir	37,24
Λάιμ	27,78
Musklime	18,62

Με τη μέθοδο HPLC, βρέθηκε η περιεκτικότητα διαφόρων τροφίμων σε βιταμίνη C, η οποία παρουσιάζεται στον επόμενο πίνακα.

Πίνακας 9:Περιεκτικότητα τροφίμων σε βιταμίνη C (μέθοδος HPLC)

Τρόφιμα	Περιεκτικότητα σε βιταμίνη C (mg/100g)
Πορτοκάλι	43,61
Λεμόνι	31,33
Γκρέιπφρουτ	26,40
Λάιμ Kaffir	21,58
Λάιμ	22,36
Musklime	16,78

Το πορτοκάλι είναι η καλύτερη πηγή βιταμίνης C ενώ το musklime και το kaffirlime έχουν χαμηλότερη περιεκτικότητα. Σε μια ακόμη μελέτη μετρήθηκαν τα επίπεδα της βιταμίνης C σε κοινά βρώσιμα τρόφιμα με τη μέθοδο τιτλοδότησης οξειδοαναγωγής ιωδίου (Satpathyetal., 2020).

Πίνακας 10:Περιεκτικότητα τροφίμων σε βιταμίνη C (μέθοδος τιτλοδότησης οξειδοαναγωγής ιωδίου)

Τρόφιμα	Περιεκτικότητα σε βιταμίνη C (mg/100g)
Λεμόνι (Citruslimon)	18,73
Λάιμ (Citrusaurantiifolia)	15,05
Πορτοκάλι navel (Citrussinensis)	30,69
Σταφύλι (Vitisvinifera)	24,81
Σταφύλι (Vitislabrusca)	21,03
Ρόδι	11,54
Μήλο	4,0
Ακτινίδιο	22,25
Παπάγια	45,37
Ινδικός ταμάρινδος	89,55
Βασιλικός	39,61

Κόλιανδρο	63,20
Καρότο	33,14
Σκόρδο	40,95
Κρεμύδι	30,79
Πατάτα	33,65
Ντομάτα	16,47
Ραπανάκι	35,70
Μπιζέλι	50,84
Μελιτζάνα	33,96
Πιπεριά	45,58
Φασόλια (Phaseolusvulgaris)	41,48
Κολοκύθα (Momordicacharantia)	67,60
Αγγούρι	24,23
Λάχανο	43,25
Κουνουπίδι	28,86

Το σελήνιο είναι ένα ισχυρό μέταλλο, το οποίο προσλαμβάνουμε μέσω της διατροφής μας και αποτελεί ένα ισχυρό αντιοξειδωτικό που προστατεύει τα κύτταρα από πιθανές βλάβες εξαιτίας του οξειδωτικού στρες. Σε μια μελέτη όπου προσδιορίστηκε η περιεκτικότητα σε σελήνιο σε 87 τρόφιμα που αγοράστηκαν τυχαία από τις κύριες αγορές και τις υπεραγορές της Αλεξάνδρειας βρέθηκε ότι η υψηλότερη μέση τιμή σεληνίου βρέθηκε σε τρόφιμα πλούσια σε πρωτεΐνες ακολουθούμενη από ξηρούς καρπούς και ζαχαρούχα προϊόντα (6,8, 6,2 και 5,89 $\mu\text{g/g}$, αντίστοιχα). Επίσης, οι γαρίδες είχαν την υψηλότερη τιμή μεταξύ όλων των δειγμάτων που μελετήθηκαν (6,8 $\mu\text{g/g}$), ενώ η χαμηλότερη τιμή βρέθηκε σε μαλακό τυρί (0,0036 $\mu\text{g/g}$). Η περιεκτικότητα σε σελήνιο στις ομάδες τροφίμων συσχετίζεται ισχυρά τα τρόφιμα και τη σύσταση τους και τη σύσταση του εδάφους (Moatkhefetal., 2020).

Σε μια ακόμη μελέτη προσδιορίστηκε η συγκέντρωση του σεληνίου σε επιλεγμένα τρόφιμα υψηλής κατανάλωσης (ψάρι, βόειο κρέας, κοτόπουλο, γάλα, ρύζι, αλεύρι σίτου, αυγό) (Sigristet al., 2012).

Πίνακας 11: Συγκέντρωση σεληνίου στα τρόφιμα

Τρόφιμο	Περιεκτικότητα σε σελίνιο (μg/100g)
Βόειο Κρέας	42–153
Κοτόπουλο	62–205
Ψάρι	94–314
Κονσέρβες Τόνου	272–282
Αυγά	134–217
Αλεύρι σίτου	22–42
Ρύζι	<22
Ζυμαρικά	47–64
Γάλα	<7–9

Επίσης, σε μια μελέτη που διεξήχθη για τη δημιουργία μιας βάσης δεδομένων σεληνίου για τα αντιπροσωπευτικά τρόφιμα στη διατροφή της Σαουδικής Αραβίας και για την εκτίμηση της διατροφικής πρόσληψης σεληνίου από τους Σαουδάραβες, επιλέχθηκαν τρία δείγματα για κάθε τρόφιμο από τις αγορές και αναλύθηκαν εις τριπλούν με ICP-MS μετά από πλήρη ομογενοποίηση. Οι πλούσιες πηγές σεληνίου ήταν τα κρέατα (0,216–0,658 μg/g) και τα αυγά (0,226 μg/g) και τα δημητριακά και τα προϊόντα δημητριακών (0,043–0,165 μg/g). Τα λαχανικά και τα φρούτα περιείχαν ίχνη σεληνίου (0,001–0,067 μg/g). Οι κύριες πηγές τροφής πρόσληψης σεληνίου ήταν τα δημητριακά και τα προϊόντα δημητριακών (30,2%), τα όσπρια (24,7%) και τα κρέατα (20%). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η ημερήσια πρόσληψη σεληνίου σύμφωνα με τις δύο πηγές είναι 75,00–121,65 μg/άτομο/ημέρα (Al-Ahmary, 2009).

4. Συμπεράσματα

Το οξειδωτικό στρες είναι μια κατάσταση που χαρακτηρίζεται από υψηλό ποσοστό ενεργών ειδών οξυγόνου ή μειωμένη ικανότητα εξουδετέρωσής τους. Το οξειδωτικό στρες είναι υπεύθυνο για την ανάπτυξη πολλών χρόνιων ασθενειών όπως οι καρδιαγγειακές παθήσεις (Heitzeretal., 2001), ο καρκίνος (Reuteretal., 2010) και ο διαβήτης (Ceriello&Motz,2004). Αρκετοί ερευνητές έχουν δώσει ιδιαίτερη προσοχή στη σύνδεση μεταξύ του οξειδωτικού στρες και αυτών των νόσων δεδομένης της εξαιρετικής σημασίας τους για τη δημόσια υγεία. Η αύξηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας είναι ένας από τους τρόπους μείωσης του οξειδωτικού στρες. Πολλές μελέτες έχουν εξετάσει το αντιοξειδωτικό δυναμικό ορισμένων βιταμινών όπως η βιταμίνη E, η βιταμίνη C και τα καροτενοειδή και το ρόλο τους στην ανθρώπινη υγεία. Είναι σχεδόν αποδεδειγμένο ότι οι βιταμίνες που αναφέρονται παραπάνω έχουν αντιοξειδωτικές ιδιότητες. Παρόλο που και άλλες βιταμίνες έχουν λάβει ελάχιστη προσοχή για τη συσχέτισή τους με το οξειδωτικό στρες, δεν έχει αξιολογηθεί εκτενώς η κατάσταση ανεπάρκειας αυτών των βιταμινών αλλά και ο ρόλος τους στην υγεία ως αντιοξειδωτικά. Μερικές από τις αγνοημένες αντιοξειδωτικές βιταμίνες είναι η βιταμίνη K, η βιταμίνη D, η νιασίνη, η πυριδοξίνη και η ριβοφλαβίνη, οι οποίες δρουν ως συνένζυμο σε πολλές περιπτώσεις για να επιτεθούν στις ελεύθερες ρίζες και, οι καταστάσεις ανεπάρκειάς τους επιταχύνουν το οξειδωτικό στρες. Πολυάριθμες μελέτες έχουν αναφέρει την επίδραση αυτών των βιταμινών όπως για παράδειγμα η βιταμίνη K στη νευροπροστασία (Lietal., 2003), η ριβοφλαβίνη στην υπεροξείδωση των λιπιδίων και τα πρωτεϊνικά καρβονύλια σε αρουραίους (Wangetal., 2011) και η βιταμίνη B12 στα γαγγλιακά κύτταρα του αμφιβληστροειδούς (Chanetal., 2018). Η ανεπάρκεια αυτών των βιταμινών σχετίζεται επίσης με καταστάσεις που προκαλούνται από το οξειδωτικό στρες, όπως η αθηρογένεση (Ohta&Foote, 2002) και η αυξημένη ομοκυστεΐνη, η οποία αυξάνει τον καρδιαγγειακό κίνδυνο (Greenetal.,2017).

Το οξειδωτικό στρες είναι μια κατάσταση που προκαλείται από μια ανισορροπία μεταξύ των ελεύθερων ριζών και του αντιοξειδωτικού αμυντικού συστήματος του οργανισμού. Στην υγεία, οι ελεύθερες ρίζες και τα αντιοξειδωτικά παραμένουν σε κατάσταση ισορροπίας (Agarwaletal., 2005), αλλά σε συνθήκες οξειδωτικού στρες, υπάρχει μεγάλος αριθμός ενεργών ειδών οξυγόνου και ενεργών ειδών αζώτου σε σχέση με τις φυσιολογικές συνθήκες. Μερικά άτομα είναι ασταθή και εξαιρετικά

αντιδραστικά λόγω της παρουσίας μη ζευγαρωμένων ηλεκτρονίων στα τροχιακά σθένους. Αποκτούν σταθερότητα προσλαμβάνοντας ηλεκτρόνια από κοντινά μόρια στο σώμα, προκαλώντας έναν καταρράκτη αντιδράσεων με αποτέλεσμα κυτταρικές βλάβες και ασθένειες (Agarwaletal., 2005). Οι δύο κύριες μορφές ριζών ή δραστικών ειδών οξυγόνου και δραστικών ειδών αζώτου περιλαμβάνουν τη ρίζα υπεροξειδίου $\text{ROO}\cdot$ το υπεροξείδιο του υδρογόνου (H_2O_2) ή αλλιώς οξυζενέ και τη ρίζα υδροξυλίου $\text{OH}\cdot$ (Lushchak,2014) και τα δραστικά είδη αζώτου περιλαμβάνουν το μονοξειδίο του αζώτου NO και τους μεταβολίτες του (Agarwaletal., 2005). Το οξειδωτικό στρες έχει αναφερθεί ότι παίζει σημαντικό ρόλο στην παθογένεση ασθενειών όπως ο σακχαρώδης διαβήτης, η νεφρική ανεπάρκεια, οι καρδιαγγειακές παθήσεις, ο καρκίνος, το σύνδρομο πολυκυστικών ωοθηκών και οι νευροεκφυλιστικές ασθένειες (Incalzaetal.,2018). Τα αντιοξειδωτικά εξουδετερώνουν τις υπερβολικές επί πλέον ελεύθερες ρίζες ενώ παράγονται στον οργανισμό (ενδογενώς) ή αποκτώνται προσλαμβάνονται με τη διατροφή (εξωγενώς). Πιο συγκεκριμένα οι ελεύθερες ρίζες μπορούν να παραχθούν είτε ως παραπροϊόντα του μεταβολισμού είτε από εξωγενείς παράγοντες, όπως το κάπνισμα, η κατανάλωση αλκοόλ, η ατμοσφαιρική ρύπανση, η ιονίζουσα ακτινοβολία και η χρήση συγκεκριμένων φαρμάκων. Επομένως η πρόσληψη αντιοξειδωτικών στη διατροφή καθίσταται ζωτικής σημασίας για τη βελτίωση της επικίνδυνης επίδρασης των μειωμένων αντιοξειδωτικών και των αυξημένων ελεύθερων ριζών σε καταστάσεις ασθένειας.

Στη παρούσα εργασία διερευνήθηκε ο ρόλος και η σημαντικότητα των αντιοξειδωτικών για τον ανθρώπινο οργανισμό, πραγματοποιήθηκε βιβλιογραφική αναζήτηση των τροφίμων που περιέχουν αντιοξειδωτικά καθώς επίσης καταγράφηκαν και οι ποσότητες των αντιοξειδωτικών που περιέχονται σε αυτά. Συγκεκριμένα, μελετήθηκε ο ρόλος και η σημαντικότητα των αντιοξειδωτικών για τον ανθρώπινο οργανισμό, ενώ παράλληλα αναζητήθηκαν οι τροφές που περιέχουν αντιοξειδωτικά καθώς και οι ποσότητες των αντιοξειδωτικών που περιέχονται σε αυτές. Ακόμη, μελετήθηκε ο συνδυασμός διαφόρων τροφίμων και η συνεργιστική δράση των αντιοξειδωτικών, καθώς και οι συνέπειες για την υγεία από τη μειωμένη πρόσληψη αντιοξειδωτικών ουσιών. Ως μέθοδος διερεύνησης επιλέχθηκε η μεθοδολογία της συστηματικής βιβλιογραφικής ανασκόπησης με χρήση της ανάλυσης PRISMA, μελετών της διεθνούς βιβλιογραφίας που σχετίζεται με το

ζήτημα. Η αναζήτηση πραγματοποιήθηκε μέσω των ηλεκτρονικών βάσεων δεδομένων ακαδημαϊκών ερευνών GoogleScholar, PubMed και της Scopus, με τον περιορισμό οι μελέτες να έχουν εκπονηθεί τα τελευταία 20 χρόνια. Συνολικά βρέθηκαν αρχικά 95 άρθρα μετά από αναζήτηση με βάση τον αλγόριθμο που παρουσιάστηκε παραπάνω. 32 άρθρα αποκλείστηκαν επειδή παρουσιάζονται περισσότερο από 1 φορά στις 3 βιβλιογραφικές βάσεις. Στη συνέχεια 34 άρθρα αποκλείστηκαν με βάση τα κριτήρια και τελικά 29 συμπεριλήφθηκαν στην παρούσα ανασκόπηση.

Τα αποτελέσματα της συστηματικής βιβλιογραφικής ανασκόπησης έδειξαν ότι το ισομερές α-τοκοφερόλη, ή Βιταμίνη Ε (κυρίως α και β τοκοφερόλη), βρέθηκε κυρίως στο ελαιόλαδο και καλαμπόκι, σόγια, ξηροί καρποί, σιτάρι, ψάρια, γαρίδες, αυγά, ξερά φασόλια, πράσινα φυλλώδη λαχανικά, δημητριακά, κρέας, ήπαρ, αβοκάντο, λέκιθο του αυγού. Περισσότερο από όλα στο σιτέλαιο 1.900 ppm, στο ηλιέλαιο 750ppm, στο βαμβακέλαιο 500ppm ή mg/Kg, στα αμύγδαλα 440ppm, στα φουντούκια 300ppm και στο κραμβέλαιο 370ppm ή mg/Kg. Η αντιοξειδωτική δραστηριότητα των τοκοφερολών αυξάνει από την α προς την δ και μετρώνται ως ολικές τοκοφερόλες δηλαδή α, β, γ και δ. Επίσης δείκτης ορθολογικής διατροφής, όσον αφορά την πρόσληψη λιπών και ελαίων, είναι ο λόγος (mg α-τοκοφερόλης)/g PUFA δηλαδή πολυακόρεστων, ο οποίος πρέπει να είναι > από 0,79. Ωστόσο, το λάδι από σόγια δεν βρέθηκε να αποτελεί μια σημαντική πηγή βιταμίνης Ε. Πλούσια σε βιταμίνη Ε βρέθηκαν τα όσπρια, με το ρεβύθι να περιέχει την υψηλότερη ποσότητα. Ακόμη, τα φασόλια Pinto, οι τορτίγιες καλαμποκιού και οι τορτίγιες από αλεύρι σίτου συνεισφέρουν την περισσότερη βιταμίνη Ε στη διατροφή. Άλλες μελέτες της διεθνούς βιβλιογραφίας εκθείασαν τα μπισκότα που παρασκευάζονται από σιτάρι ζέας και βανίλια ως μια ιδιαίτερα σημαντική πηγή βιταμίνης Ε. Επιπλέον, τα πράσινα γογγύλια και τα σπαράγγια αποδείχθηκαν καλές πηγές βιταμίνης Ε με τα πράσινα γογγύλια να περιέχουν περισσότερη ολική τοκοφερόλη από άλλα λαχανικά που μελετήθηκαν. Επιπρόσθετα, οι κονσερβοποιημένες σαρδέλες σε σάλτσα ντομάτας βρέθηκε ότι είχαν ιδιαίτερα υψηλή περιεκτικότητα σε α-τοκοφερόλη. Το ίδιο υψηλές ποσότητες α-τοκοφερόλης βρέθηκαν στον χυμό πορτοκαλιού, είτε φρέσκο είτε κατεψυγμένο, ενώ υψηλά επίπεδα τοκοφερολών βρέθηκαν στα καρύδια, στα φουντούκια και σε ξηρούς καρπούς Βραζιλίας. Όσον αφορά το ισομερές γ-τοκοφερόλη, βρέθηκε ότι ήταν το κυρίαρχο ισομερές στα προϊόντα με βάση το λάδι,

με την α-τοκοφερόλη να υπάρχει στη μικρότερη ποσότητα. Τέλος, η γ-τοκοφερόλη βρέθηκε σε πολλά προϊόντα ντομάτας, με το ισομερές δ-τοκοφερόλη να ανιχνεύεται μόνο στη σούπα ντομάτας.

Όσον αφορά την πρόσληψη βιταμίνης Α, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι μεγάλη περιεκτικότητα έχουν τα λαχανικά και ιδιαίτερα τα σκούρα πράσινα λαχανικά. Συγκεκριμένα, βρέθηκε ότι αποτελούν μια καλή πηγή καροτενοειδών και μικροθρεπτικών συστατικών, δηλαδή βιταμίνης Α. Τα λαχανικά μπορούν να ικανοποιήσουν τις καθημερινές μας ανάγκες σε θρεπτικά συστατικά καθώς είναι αρκετά καλές πηγές μικροθρεπτικών συστατικών και είναι ικανά να μειώσουν την ανεπάρκεια βιταμίνης Α στον ανθρώπινο οργανισμό. Άλλες μελέτες έδειξαν ότι οι σούπες που περιέχουν αρκετά πράσινα φυλλώδη λαχανικά, το στιφάδο με φοινικέλαιο και τα τρόφιμα που παρασκευάζονται με κόκκινο φοινικέλαιο, αποτελούν επίσης πλούσιες πηγές σε προβιταμίνη Α, οι οποίες πρέπει να καταναλώνονται σε αυξημένες ποσότητες για την αντιμετώπιση της ανεπάρκειας του οργανισμού σε βιταμίνη Α. Οι φρέσκες και αποξηραμένες φέτες μάνγκο, αντίστοιχα, βρέθηκε ότι περιέχουν μεγάλες ποσότητες στερεοϊσομερών β-καροτενίου που βοηθούν στην πρόσληψη της βιταμίνης Α.

Όσον αφορά τη βιταμίνη C, το πορτοκάλι αποτελεί την καλύτερη πηγή της, με το musklime (εσπεριδοειδές που βρίσκεται στις Φιλιππίνες) και το kaffirlime (εσπεριδοειδές που βρίσκεται στην Νοτιοανατολική Ασία) να παρουσιάζουν χαμηλότερη περιεκτικότητα. Επίσης, ιδιαίτερα μεγάλη περιεκτικότητα βιταμίνης C εμφανίζεται στον ινδικό ταμάρινδο (*Tamarindus indica*).

Όσον αφορά τις φαινολικές ουσίες η υψηλότερη συνολική περιεκτικότητα παρατηρήθηκε στα μούρα, στο σπανάκι Κεϋλάνης και σε μια ποικιλία κόκκινων κρεμμυδιών. Επιπλέον, ιδιαίτερα σημαντική πηγή φλαβονοειδών αποτελεί το σέληνο, το «στρογγυλό» μαρούλι και το μαρούλι «LolloRosso». Όσον αφορά την περίπτωση των πολυφαινολών, την υψηλότερη περιεκτικότητα την έχει το γαρίφαλο και ακολουθεί το ροζέ κρασί. Επίσης σημαντική πηγή πολυφαινολών, φλαβονοειδών και άλλων διαφόρων φυτοχημικών με ισχυρή αντιοξειδωτική δράση φαίνεται να έχει το μεθανολικό εκχύλισμα φλοιού, φύλλων και στελέχους του *M. Domestica* (μήλα από την περιοχή του Νεπάλ). Ακόμη, στο φλοιό του στελέχους του *M. Domestica* βρέθηκε υψηλής περιεκτικότητας σε κερκετίνη και ρουτίνη. Ωστόσο, τα

αποτελέσματα των ερευνών έδειξαν ότι η περιεκτικότητα σε κερκετίνη και ρουτίνη μπορεί να ποικίλλει μεταξύ των διαφορετικών ποικιλιών και των διαφορετικών μερών των φυτών, ενώ επηρεάζεται σημαντικά από τις γεωγραφικές τοποθεσίες που αναπτύσσεται το φυτό.

Στην περίπτωση της κερκετίνης, αξιοσημείωτες ποσότητες βρέθηκαν στα ντοματίνια και στα κρεμμύδια.

Η υψηλότερη μέση τιμή σεληνίου συναντάται σε τρόφιμα πλούσια σε πρωτεΐνες, όπως το κρέας και τα αυγά παρουσιάζουν τις υψηλότερες συγκεντρώσεις σεληνίου, με το αλεύρι σίτου, το ρύζι, τα ζυμαρικά και το γάλα να ακολουθούν. Ακόμη, υψηλή περιεκτικότητα σεληνίου παρατηρείται στους ξηρούς καρπούς, τα ζαχαρούχα προϊόντα και τις γαρίδες, τα δημητριακά και τα προϊόντα δημητριακών, ενώ στα λαχανικά και στα φρούτα εντοπίζονται μόνο ίχνη σεληνίου.

Όσον αφορά τις κατεχίνες, αυτές συναντώνται κυρίως στο πράσινο τσάι και στα περισσότερα φρούτα, στα κόκκινα, στα κίτρινα και στα λευκά κρεμμύδια, τη σοκολάτα και σε μερικά όσπρια. Ωστόσο, η μεγαλύτερη ποσότητα κατεχίνης συναντάται στη μαύρη σοκολάτα.

Μεγάλες ποσότητες ανθοκυανινών εντοπίστηκαν στο φραγκοστάφυλο και στην αρώνια, ενώ η κυανιδίνη-3-γλυκοσίδη αποτελεί το κύριο συστατικό στα βατόμουρα και στις φλούδες των σταφυλιών.

Ιδιαίτερα πολύτιμη πηγή λυκοπενίου αποτελούν οι ντομάτες. Ως προς την περιεκτικότητα σε λυκοπένιο, το ίδιο συμβαίνει και με την πάστα ντομάτας και ακολουθούν οι φρέσκες ώριμες ντομάτες και η φρέσκια πιπεριά τσίλι. Από τα πράσινα φυλλώδη λαχανικά, υψηλή περιεκτικότητα σε λυκοπένιο εντοπίζεται στο bitterleaf (θαμνώδες φυτό της οικογένειας *Vernonia amygdalina* που ευδοκμεί στην Αφρική) και το φύλλο κολοκύθας. Ωστόσο, μελέτες έδειξαν ότι τα ωμά τρόφιμα και τα ελάχιστα επεξεργασμένα τρόφιμα περιείχαν πάνω από 94% του all-E-lycopene, ενώ τα επεξεργασμένα τρόφιμα (όπως σουπες, σάλτσες ζυμαρικών, πίτσα και τυρί) περιείχαν από 76% έως 87% του all-E-lycopene.

Σχετικά με την ρεσβερατρόλη και την ρεσβερατρόλη-3-O-βήτα-γλυκοσίδη, σημαντική πηγή αποτελούν τα κόκκινα κρασιά, τα σταφύλια (επειδή περιέχουν τα στέμφυλα δηλαδή τη φλούδα τους) και οι χυμοί σταφυλιών. Επίσης, τα αποτελέσματά

της μελέτης έδειξαν την παρουσία σημαντικών ποσοτήτων τρανς ρεσβερατρόλης στις ντομάτες και τις φράουλες και ακόμα μεγαλύτερες στους χουρμάδες.

Σήμερα, η εφαρμογή συνθετικών φαρμάκων για την υγειονομική περίθαλψη και την πρόληψη ασθενειών προφανώς δεν είναι η βέλτιστη επιλογή. Η αναζήτηση φυσικών αντιοξειδωτικών για την αντικατάσταση των συνθετικών αντιοξειδωτικών δεν είναι μόνο η τάση των βιομηχανιών φαρμακευτικής και υγειονομικής περίθαλψης, αλλά και η απαίτηση της Επιστήμης των τροφίμων, ακόμη και της νέας κατεύθυνσης ανάπτυξης της βιομηχανίας τροφίμων. Για παράδειγμα, τα παραδοσιακά κινέζικα βότανα έχουν προσελκύσει ολοένα και μεγαλύτερη προσοχή από ερευνητές, ειδικά, η αποτελεσματικότητα της θεραπείας ασθενειών και οι λειτουργίες υγειονομικής περίθαλψης καθώς και τα βιοενεργά συστατικά αυτών των φυσικών βοτάνων. Όλο και περισσότερα βιοενεργά συστατικά έχουν απομονωθεί και εντοπιστεί, γεγονός που επιτρέπει στην παραδοσιακή κινεζική ιατρική να είναι μια σημαντική κατεύθυνση ανάπτυξης της σύγχρονης ιατρικής και προϊόντων υγειονομικής περίθαλψης. Επιπλέον, ορισμένοι μελετητές έχουν απομονώσει βιοδραστικές ουσίες με ισχυρή αντιοξειδωτική δράση από μύκητες, μαγιά και φύκια. Τα φυσικά αντιοξειδωτικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως φυσικά πρόσθετα τροφίμων και ανταποκρίνονται καλύτερα στις απαιτήσεις της σύγχρονης κοινωνίας. Η διαδικασία εξαγωγής και συντήρησης των φυσικών αντιοξειδωτικών είναι ο αναπτυξιακός στόχος για τις μελλοντικές βιομηχανίες τροφίμων και ιατρικής περίθαλψης. Η καινοτομία και η βελτίωση στην τεχνολογία ανάλυσης και εκχύλισης των φυσικών αντιοξειδωτικών στα τρόφιμα αποτελεί επίσης ένα επείγον ζήτημα κατά την ανάπτυξη σχετικών βιομηχανιών.

Φαίνεται ότι η αυξημένη πρόσληψη δραστικών ουσιών μπορεί να επιβραδύνει την ανάπτυξη και/ή να αναστέλλει την εξέλιξη ασθενειών που σχετίζονται με την ηλικία. Το εάν η κατανάλωση φυσικών ή συνθετικών ενώσεων, με τη μορφή μεμονωμένων ή μικτών συμπληρωμάτων που προστίθενται σε μια λιγότερο επαρκή δίαιτα, θα προσφέρει οφέλη για την υγεία χωρίς πρόσθετο κίνδυνο δεν έχει ακόμη αποδειχθεί και πολλοί επιστήμονες παραμένουν επιφυλακτικοί. Τα μικροθρεπτικά συστατικά και οι φυσικές χημικές ουσίες, μεμονωμένα και σε συνδυασμό, έχουν εξεταστεί προσεκτικά την τελευταία δεκαετία, αλλά τα αποτελέσματα των δοκιμών ανθρώπινης παρέμβασης ήταν αντικρουόμενα. Υπάρχουν ουσιαστικές και αδιαμφισβήτητες ενδείξεις ότι η διατροφή μπορεί να αποτρέψει ή να καθυστερήσει την ανάπτυξη

πολλών χρόνιων ασθενειών που σχετίζονται με την ηλικία και η αυξημένη κατανάλωση τροφίμων που περιέχουν μια σειρά από τις συνιστώμενες ενώσεις χωρίς αμφιβολία θα προσέφερε οφέλη για την υγεία των ανθρώπων. Συνολικά, μπορεί να συμβάλει στη μείωση του κόστους για την υγεία και να ενισχύσει την οικονομία, με την προϋπόθεση να είναι κανείς έτοιμος να αλλάξει τις διατροφικές του συνήθειες.

Είναι σημαντικό να εκτιμηθεί η σχέση μεταξύ αντιοξειδωτικών και εκφυλιστικών νόσων καθώς επίσης και να προσδιοριστεί εάν οι διατροφικές ενώσεις και συγκεκριμένα τα αντιοξειδωτικά δρουν μέσω απλών χημικών αντιδράσεων ή σύνθετων μηχανισμών συμβάλλοντας στην κατανόηση τόσο των κινδύνων όσο και των πλεονεκτημάτων τους. Επιπλέον, θα πρέπει πρώτα να εξεταστεί η επίδραση των αντιοξειδωτικών ενώσεων βραχυπρόθεσμα, και στη συνέχεια οι μελλοντικές μελέτες να εξετάσουν τη μακροπρόθεσμη δράση διαφορετικών αντιοξειδωτικών ενώσεων και άλλων συστατικών της διατροφής. Οι πληροφορίες σχετικά με το περιεχόμενο διατροφικών αντιοξειδωτικών και άλλων σημαντικών ενώσεων σε διατροφικά προϊόντα είναι απαραίτητες για μελλοντικές κλινικές μελέτες και θα πρέπει να είναι ευρέως διαθέσιμες χρησιμοποιώντας, για παράδειγμα, διαδικτυακές βάσεις δεδομένων. Επιπλέον, πρέπει επίσης να αξιολογηθεί πώς η επεξεργασία και η προετοιμασία των τροφίμων επηρεάζει την απελευθέρωση και την πρόσληψη των αντιοξειδωτικών συστατικών από τα τρόφιμα δεδομένου ότι η έρευνα σχετικά με αυτό το θέμα έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τη βιομηχανία τροφίμων, καθώς η ανάπτυξη νέων προϊόντων που προάγουν την υγεία απαιτεί γνώση σχετικά με τον τρόπο διαχείρισης των διατροφικών πηγών για τη βελτίωση της βιοδιαθεσιμότητας.

Τα τελευταία χρόνια, έχουν αναπτυχθεί πολυάριθμες αναλυτικές μέθοδοι τόσο για τον ποιοτικό όσο και για τον ποσοτικό προσδιορισμό των αντιοξειδωτικών ενώσεων αλλά και για την ασφαλή δοσολογία τους στα τρόφιμα και τα συμπληρώματα διατροφής. Ωστόσο, δυστυχώς, η υπερβολική κατανάλωση αντιοξειδωτικών συνδέεται με αρνητικές τοξικολογικές επιπτώσεις. Το αμφιλεγόμενο ζήτημα γύρω από τα οφέλη των διατροφικών αντιοξειδωτικών για την υγεία των ανθρώπων οφείλεται στην έλλειψη κλινικών στοιχείων και συγκεκριμένων μοριακών δεικτών ικανών να προσδιορίσουν την επίδραση των διατροφικών αντιοξειδωτικών στον οργανισμό. Συνεπώς, κρίνεται αναγκαία η διεξαγωγή τυχαιοποιημένων κλινικών μελετών ώστε να αποσαφηνιστεί ο ρόλος και τα οφέλη των αντιοξειδωτικών στην υγεία των ανθρώπων και στην πρόληψη των ασθενειών.

Είναι προφανές ότι η μελλοντική κατεύθυνση των μελετών για τα διατροφικά αντιοξειδωτικά θα πρέπει να επικεντρωθεί στη χαρτογράφηση της σχέσης μεταξύ της πρόσληψης συγκεκριμένων διαιτητικών αντιοξειδωτικών και βιοδεικτών οξειδωτικού στρες, οι οποίοι θα μπορούσαν να αποτελούν ένδειξη παραγόντων κινδύνου χρόνιας νόσου. Με την πρόοδο των αναλυτικών μεθόδων, ο στόχος αυτός θα μπορούσε να επιτευχθεί στο εγγύς μέλλον.

Το εάν τα ερωτήματα που τέθηκαν μπορούν να επιτευχθούν, δεν έχει ακόμη αποδειχθεί, αλλά χωρίς εμπειριστατωμένες πληροφορίες, η βιομηχανία τροφίμων δεν θα είναι σε θέση να προβάλει ισχυρισμούς που να μπορούν να τεκμηριωθούν και οι καταναλωτές δεν θα έχουν την ευκαιρία να κάνουν διατροφικές επιλογές που να βασίζονται σε ισχυρά επιστημονικά στοιχεία.

Βιβλιογραφία

- Abas, F., Lajis, N. H., Israf, D. A., Khozirah, S., &Kalsom, Y. U. (2006). Antioxidant and nitric oxide inhibition activities of selected Malay traditional vegetables. *Food Chemistry*, 95(4), 566-573.
- Agarwal, A., Gupta, S., & Sharma, R. K. (2005). Role of oxidative stress in female reproduction. *Reproductive biology and endocrinology*, 3(1), 1-21.
- Age-Related Eye Disease Study Research Group. (2001). A randomized, placebo-controlled, clinical trial of high-dose supplementation with vitamins C and E, beta carotene, and zinc for age-related macular degeneration and vision loss: AREDS report no. 8. *Archives of ophthalmology*, 119(10), 1417-1436.
- Ahamad, M. N., Saleemullah, M., Shah, H. U., Khalil, I. A., &Saljoqi, A. U. R. (2007). Determination of beta carotene content in fresh vegetables using high performance liquid chromatography. *Sarhad Journal of Agriculture*, 23(3), 767.
- Akagawa, M., Shigemitsu, T., &Suyama, K. (2003). Production of hydrogen peroxide by polyphenols and polyphenol-rich beverages under quasi-physiological conditions. *Bioscience, biotechnology, and biochemistry*, 67(12), 2632-2640.
- Al-Abdulla, N. O., Al Naama, L. M., & Hassan, M. K. (2010). Antioxidant status in acute asthmatic attack in children. *JPKMA-Journal of the Pakistan Medical Association*, 60(12), 1023.
- Alabi, Q. K., Akomolafe, R. O., Olukiran, O. S., Nafiu, A. O., Adefisayo, M. A., Owotomo, O. I., ... &Olamilosoye, K. P. (2018). Combined administration of L-carnitine and ascorbic acid ameliorates cisplatin-induced nephrotoxicity in rats. *Journal of the American College of Nutrition*, 37(5), 387-398.
- Al-Ahmary, K. M. (2009). Selenium content in selected foods from the Saudi Arabia market and estimation of the daily intake. *Arabian Journal of Chemistry*, 2(2), 95-99.
- Anand, S. (2010). Various approaches for secondary metabolite production through plant tissue culture. *Pharmacia*, 1(1), 1-7.
- Angel, J. F. (1980). Gluconeogenesis in meal-fed, vitamin B-6-deficient rats. *The Journal of Nutrition*, 110(2), 262-269.

- Arts, I. C., van de Putte, B., & Hollman, P. C. (2000). Catechin contents of foods commonly consumed in The Netherlands. 1. Fruits, vegetables, staple foods, and processed foods. *Journal of agricultural and food chemistry*, 48(5), 1746-1751.
- Aruoma, O. I. (2003). Methodological considerations for characterizing potential antioxidant actions of bioactive components in plant foods. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, 523, 9-20.
- Ashoori, M., & Saedisomeolia, A. (2014). Riboflavin (vitamin B2) and oxidative stress: a review. *British journal of nutrition*, 111(11), 1985-1991.
- Avci, B., Bahadir, A., Tuncel, O. K., & Bilgici, B. (2016). Influence of α -tocopherol and α -lipoic acid on bisphenol-A-induced oxidative damage in liver and ovarian tissue of rats. *Toxicology and industrial health*, 32(8), 1381-1390.
- Azab, S. F., Saleh, S. H., Elsaed, W. F., Elshafie, M. A., Sherief, L. M., & Esh, A. M. (2014). Serum trace elements in obese Egyptian children: a case-control study. *Italian Journal of Pediatrics*, 40(1), 1-7.
- Bâ, A. (2008). Metabolic and structural role of thiamine in nervous tissues. *Cellular and Molecular Neurobiology*, 28(7), 923-931.
- Bais, H. P., Walker, T. S., Schweizer, H. P., & Vivanco, J. M. (2002). Root specific elicitation and antimicrobial activity of rosmarinic acid in hairy root cultures of *Ocimum basilicum*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 40(11), 983-995.
- Balogun, E., Hoque, M., Gong, P., Killeen, E., Green, C. J., Foresti, R., ... & Motterlini, R. (2003). Curcumin activates the haem oxygenase-1 gene via regulation of Nrf2 and the antioxidant-responsive element. *Biochemical Journal*, 371(3), 887-895.
- Belenchia, A. M., Tosh, A. K., Hillman, L. S., & Peterson, C. A. (2013). Correcting vitamin D insufficiency improves insulin sensitivity in obese adolescents: a randomized controlled trial. *The American journal of clinical nutrition*, 97(4), 774-781.
- Benton, D. (2010). The influence of dietary status on the cognitive performance of children. *Molecular nutrition & food research*, 54(4), 457-470.

- Berdnikovs, S., Abdala-Valencia, H., McCary, C., Somand, M., Cole, R., Garcia, A., ... & Cook-Mills, J. M. (2009). Isoforms of vitamin E have opposing immunoregulatory functions during inflammation by regulating leukocyte recruitment. *The Journal of Immunology*, 182(7), 4395-4405.
- Bjelakovic, G., Nikolova, D., Glud, L. L., Simonetti, R. G., & Glud, C. (2007). Mortality in randomized trials of antioxidant supplements for primary and secondary prevention: systematic review and meta-analysis. *Jama*, 297(8), 842-857.
- Botterweck, A. A., Verhagen, H., Goldbohm, R. A., Kleinjans, J., & Van den Brandt, P. A. (2000). Intake of butylated hydroxyanisole and butylated hydroxytoluene and stomach cancer risk: results from analyses in the Netherlands cohort study. *Food and Chemical Toxicology*, 38(7), 599-605.
- Boyonoski, A. C., Gallacher, L. M., ApSimon, M. M., Jacobs, R. M., Shah, G. M., Poirier, G. G., & Kirkland, J. B. (2000). Niacin deficiency in rats increases the severity of ethylnitrosourea-induced anemia and leukopenia. *The Journal of Nutrition*, 130(5), 1102-1107.
- Cabrini, L., Bergami, R., Fiorentini, D., Marchetti, M., Landi, L., & Tolomelli, B. (1998). Vitamin B6 deficiency affects antioxidant defences in rat liver and heart. *IUBMB Life*, 46(4), 689-697.
- Cao, J., Chen, W., Zhang, Y., Zhang, Y., & Zhao, X. (2010). Content of selected flavonoids in 100 edible vegetables and fruits. *Food science and technology research*, 16(5), 395-402.
- Carlsen, M. H., Halvorsen, B. L., Holte, K., 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), 1-11.
- Carlsen, M. H., Halvorsen, B. L., Holte, K., 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), 1-11.

- Carr, A., & Frei, B. (1999). Does vitamin C act as a pro-oxidant under physiological conditions?. *The FASEB journal*, 13(9), 1007-1024.
- Castañeda-Ovando, A., de Lourdes Pacheco-Hernández, M., Páez-Hernández, M. E., Rodríguez, J. A., & Galán-Vidal, C. A. (2009). Chemical studies of anthocyanins: A review. *Food chemistry*, 113(4), 859-871.
- Ceriello, A., & Motz, E. (2004). Is oxidative stress the pathogenic mechanism underlying insulin resistance, diabetes, and cardiovascular disease? The common soil hypothesis revisited. *Arteriosclerosis, thrombosis, and vascular biology*, 24(5), 816-823.
- Chan, W., Almasieh, M., Catrinescu, M. M., & Levin, L. A. (2018). Cobalamin-associated superoxide scavenging in neuronal cells is a potential mechanism for vitamin B12-deprivation optic neuropathy. *The American journal of pathology*, 188(1), 160-172.
- Cheeseman, K. H., & Slater, T. F. (1993). An introduction to free radical biochemistry. *British medical bulletin*, 49(3), 481-493.
- Chen, L., Liu, Y. F., Gong, M., Jiang, W., Fan, Z., Qu, P., ... & Li, T. Y. (2012). Effects of vitamin A, vitamin A plus zinc, and multiple micronutrients on anemia in preschool children in Chongqing, China. *Asia Pacific journal of clinical nutrition*, 21(1), 3-11.
- Chen, Z. H., & Niki, E. (2011). Two faces of lipid peroxidation products: the-Yin and Yang-principles of oxidative stress. *Journal of Experimental and Integrative Medicine*, 1(4), 215-219.
- Christen, W. G., Glynn, R. J., Gaziano, J. M., Darke, A. K., Crowley, J. J., Goodman, P. J., ... & Klein, E. A. (2015). Age-related cataract in men in the selenium and vitamin e cancer prevention trial eye endpoints study: a randomized clinical trial. *JAMA ophthalmology*, 133(1), 17-24.
- Ciliberto, H., Ciliberto, M., Briend, A., Ashorn, P., Bier, D., & Manary, M. (2005). Antioxidant supplementation for the prevention of kwashiorkor in Malawian children: randomised, double blind, placebo controlled trial. *Bmj*, 330(7500), 1109.

- Combs Jr, G. F., & McClung, J. P. (2016). *The vitamins: fundamental aspects in nutrition and health*. Academic press.
- Cook, N. R., Albert, C. M., Gaziano, J. M., Zaharris, E., MacFadyen, J., Danielson, E., ... & Manson, J. E. (2007). A randomized factorial trial of vitamins C and E and beta carotene in the secondary prevention of cardiovascular events in women: results from the Women's Antioxidant Cardiovascular Study. *Archives of internal medicine*, 167(15), 1610-1618.
- Crider, K. S., Bailey, L. B., & Berry, R. J. (2011). Folic acid food fortification—its history, effect, concerns, and future directions. *Nutrients*, 3(3), 370-384.
- Croteau, R., Kutchan, T. M., & Lewis, N. G. (2000). Natural products (secondary metabolites). *Biochemistry and molecular biology of plants*, 24, 1250-1319.
- Crozier, A., Lean, M. E., McDonald, M. S., & Black, C. (2007). Quantitative analysis of the flavonoid content of commercial tomatoes, onions, lettuce, and celery. *Journal of agricultural and food chemistry*, 45(3), 590-595.
- Cucu, T., Huvaere, K., Van Den Bergh, M. A., Vinkx, C., & Van Loco, J. (2012). A simple and fast HPLC method to determine lycopene in foods. *Food Analytical Methods*, 5(5), 1221-1228.
- D'Adamo, E., Marcovecchio, M. L., Giannini, C., De Giorgis, T., Chiavaroli, V., Chiarelli, F., & Mohn, A. (2013). Improved oxidative stress and cardio-metabolic status in obese prepubertal children with liver steatosis treated with lifestyle combined with Vitamin E. *Free radical research*, 47(3), 146-153.
- De Groot, H. (1994). Reactive oxygen species in tissue injury. *Hepato-gastroenterology*, 41(4), 328-332.
- Devereux, G., Turner, S. W., Craig, L. C., McNeill, G., Martindale, S., Harbour, P. J., ... & Seaton, A. (2006). Low maternal vitamin E intake during pregnancy is associated with asthma in 5-year-old children. *American journal of respiratory and critical care medicine*, 174(5), 499-507.
- Dewick, P. M. (2002). *Medicinal natural products: a biosynthetic approach*. John Wiley & Sons.
- DiGirolamo, A. M., Ramirez-Zea, M., Wang, M., Flores-Ayala, R., Martorell, R., Neufeld, L. M., ... & Stein, A. D. (2010). Randomized trial of the effect of zinc

- supplementation on the mental health of school-age children in Guatemala. *The American journal of clinical nutrition*, 92(5), 1241-1250.
- Dixon, R. A., & Ferreira, D. (2002). Genistein. *Phytochemistry*, 60(3), 205-211.
- Dixon, R. A., & Pasinetti, G. M. (2010). Flavonoids and isoflavonoids: from plant biology to agriculture and neuroscience. *Plant Physiology*, 154(2), 453-457.
- Donato, A. J., Uberoi, A., Bailey, D. M., Walter Wray, D., & Richardson, R. S. (2010). Exercise-induced brachial artery vasodilation: effects of antioxidants and exercise training in elderly men. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 298(2), H671-H678.
- Dringen R, Gutterer JM, Hirrlinger J. Glutathione metabolism in the brain. *Eur J Biochem* 267 (2000): 4912-4916
- Ebadi M. Antioxidant and free radicals in health and disease. An introduction to reactive oxygen species, oxidative injury, neuronal cell death therapy in neurodegenerative disease. Arizona Prominent Press (2001).
- Evans, J. R. (2006). Antioxidant vitamin and mineral supplements for slowing the progression of age-related macular degeneration. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, (2).
- Fadupin, G. T., Osadola, O. T., & Atinmo, T. (2012). Lycopene content of selected tomato based products, fruits and vegetables consumed in South Western Nigeria. *African Journal of Biomedical Research*, 15(3), 187-191.
- Falkingham, M., Abdelhamid, A., Curtis, P., Fairweather-Tait, S., Dye, L., & Hooper, L. (2010). The effects of oral iron supplementation on cognition in older children and adults: a systematic review and meta-analysis. *Nutrition journal*, 9(1), 1-16.
- Finkel, T., & Holbrook, N. J. (2000). Oxidants, oxidative stress and the biology of ageing. *nature*, 408(6809), 239-247.
- Frei, B. (Ed.). (2012). *Natural antioxidants in human health and disease*. Academic Press.
- Fridovich, I. (1997). Superoxide anion radical ($O_2^{\cdot -}$), superoxide dismutases, and related matters. *Journal of Biological Chemistry*, 272(30), 18515-18517.

- Gad, A., Hamed, S. A., Khalifa, M., Amin, A., El-Sayed, A., Swiefy, S. A., & El-Assal, S. (2018). Retinoic acid improves maturation rate and upregulates the expression of antioxidant-related genes in in vitro matured buffalo (*Bubalus bubalis*) oocytes. *International journal of veterinary science and medicine*, 6(2), 279-285.
- Gallagher, M. L. (2008). The nutrients and their metabolism. *Krause's food and nutrition therapy*, 2008, 74-78.
- Garazd, M. M., Garazd, Y. L., & Khilya, V. P. (2003). Neoflavones. 1. Natural distribution and spectral and biological properties. *Chemistry of natural compounds*, 39(1), 54-121.
- García, O. P., Ronquillo, D., del Carmen Caamaño, M., Martínez, G., Camacho, M., López, V., & Rosado, J. L. (2013). Zinc, iron and vitamins A, C and E are associated with obesity, inflammation, lipid profile and insulin resistance in Mexican school-aged children. *Nutrients*, 5(12), 5012-5030.
- Giusti, M. M., & Wrolstad, R. E. (2003). Acylated anthocyanins from edible sources and their applications in food systems. *Biochemical engineering journal*, 14(3), 217-225.
- Gliszczynska-Świgło, A. (2007). Folates as antioxidants. *Food Chemistry*, 101(4), 1480-1483.
- Gombart, A. F. (2009). The vitamin D–antimicrobial peptide pathway and its role in protection against infection. *Future microbiology*, 4(9), 1151-1165.
- Górnicka, M., Drywień, M., Frąckiewicz, J., Dębski, B., & Wawrzyniak, A. (2016). Alpha-Tocopherol May Protect Hepatocytes Against Oxidative Damage Induced by Endurance Training in Growing Organisms. *Advances in Clinical and Experimental Medicine: Official Organ Wrocław Medical University*, 25(4), 673-679.
- Goyle, A. (2012). Effect of micronutrient fortified biscuit supplementation on the weight, height and BMI of adolescent girls. *Collegium antropologicum*, 36(2), 573-579.
- Gracia-Marco, L., Valtueña, J., Ortega, F. B., Pérez-López, F. R., Vicente-Rodríguez, G., Breidenassel, C., ... & HELENA Study Group. (2012). Iron and vitamin

- status biomarkers and its association with physical fitness in adolescents: the HELENA study. *Journal of applied physiology*, 113(4), 566-573.
- Granot, E., & Kohen, R. (2004). Oxidative stress in childhood—in health and disease states. *Clinical Nutrition*, 23(1), 3-11.
- Grassmann, V., Santos-Galduroz, R. F., & Carlos Fernandes Galduroz, J. (2013). Effects of low doses of polyunsaturated fatty acids on the attention deficit/hyperactivity disorder of children: a systematic review. *Current Neuropharmacology*, 11(2), 186-196.
- Green, J., & Paget, M. S. (2004). Bacterial redox sensors. *Nature Reviews Microbiology*, 2(12), 954-966.
- Green, R., Allen, L. H., Bjørke-Monsen, A. L., Brito, A., Guéant, J. L., Miller, J. W., ... & Yajnik, C. (2017). Vitamin B12 deficiency. *Nature reviews Disease primers*, 3(1), 1-20.
- Gregory III, J. F., Park, Y., Lamers, Y., Bandyopadhyay, N., Chi, Y. Y., Lee, K., ... & Jones, D. P. (2013). Metabolomic analysis reveals extended metabolic consequences of marginal vitamin B-6 deficiency in healthy human subjects. *PloS one*, 8(6), e63544.
- Griesbach, R. J. (2010). Biochemistry and genetics of flower color. *Plant breeding reviews*, 25, 89-114.
- Grilo, E. C., Costa, P. N., Gurgel, C. S. S., Beserra, A. F. D. L., Almeida, F. N. D. S., & Dimenstein, R. (2014). Alpha-tocopherol and gamma-tocopherol concentration in vegetable oils. *Food Science and Technology*, 34(2), 379-385.
- Grodstein, F., Kang, J. H., Glynn, R. J., Cook, N. R., & Gaziano, J. M. (2007). A randomized trial of beta carotene supplementation and cognitive function in men: the Physicians' Health Study II. *Archives of internal medicine*, 167(20), 2184-2190.
- Gumprich, E., & Rockway, S. (2014). Can ω -3 fatty acids and tocotrienol-rich vitamin E reduce symptoms of neurodevelopmental disorders?. *Nutrition*, 30(7-8), 733-738.

- Gunanti, I. R., Marks, G. C., Al-Mamun, A., & Long, K. Z. (2014). Low serum concentrations of carotenoids and vitamin E are associated with high adiposity in Mexican-American children. *The Journal of nutrition*, 144(4), 489-495.
- Halliwel, B. (2013). The antioxidant paradox: less paradoxical now?. *British journal of clinical pharmacology*, 75(3), 637-644.
- Halliwel, B. A. R. R. Y., Gutteridge, J. C., & Cross, C. E. (1992). Free radicals, antioxidants, and human disease: where are we now?. *The Journal of laboratory and clinical medicine*, 119(6), 598-620.
- Halliwel, B., &Gutteridge, J. M. (2015). *Free radicals in biology and medicine*. Oxford university press, USA.
- Hashemipour, M., Kelishadi, R., Shapouri, J., Sarrafzadegan, N., Amini, M., Tavakoli, N., ... &Poursafa, P. (2009). Effect of zinc supplementation on insulin resistance and components of the metabolic syndrome in prepubertal obese children. *Hormones*, 8(4), 279-285.
- Havsteen, B. H. (2002). The biochemistry and medical significance of the flavonoids. *Pharmacology & therapeutics*, 96(2-3), 67-202.
- Hayes, J. D., &Dinkova-Kostova, A. T. (2014). The Nrf2 regulatory network provides an interface between redox and intermediary metabolism. *Trends in biochemical sciences*, 39(4), 199-218.
- Heitzer, T., Schlinzig, T., Krohn, K., Meinertz, T., &Münzel, T. (2001). Endothelial dysfunction, oxidative stress, and risk of cardiovascular events in patients with coronary artery disease. *Circulation*, 104(22), 2673-2678.
- Hercberg, S., Galan, P., Preziosi, P., Bertrais, S., Mennen, L., Malvy, D., ... &Briaçon, S. (2004). The SU. VI. MAX Study: a randomized, placebo-controlled trial of the health effects of antioxidant vitamins and minerals. *Archives of internal medicine*, 164(21), 2335-2342.
- Hermund, D. B. (2018). Antioxidant properties of seaweed-derived substances. In *Bioactive seaweeds for food applications* (pp. 201-221). Academic Press.
- Higashi-Okai, K., Nagino, H., Yamada, K., &Okai, Y. (2006). Antioxidant and prooxidant activities of B group vitamins in lipid peroxidation. *Journal of UOEH*, 28(4), 359-368.

- Hirota, Y., Tsugawa, N., Nakagawa, K., Suhara, Y., Tanaka, K., Uchino, Y., ... & Okano, T. (2013). Menadione (vitamin K3) is a catabolic product of oral phylloquinone (vitamin K1) in the intestine and a circulating precursor of tissue menaquinone-4 (vitamin K2) in rats. *Journal of Biological Chemistry*, 288(46), 33071-33080.
- Ho, C. T., Wang, M., Wei, G. J., Huang, T. C., & Huang, M. T. (2000). Chemistry and antioxidative factors in rosemary and sage. *Biofactors*, 13(1-4), 161-166.
- Hogarty, C. J., Ang, C., & Eitenmiller, R. R. (2009). Tocopherol content of selected foods by HPLC/fluorescence quantitation. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2(3), 200-209.
- Huber, A., Thongphasuk, P., Erben, G., Lehmann, W. D., Tuma, S., Stremmel, W., & Chamulitrat, W. (2008). Significantly greater antioxidant anticancer activities of 2, 3-dehydrosilybin than silybin. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects*, 1780(5), 837-847.
- Hussain, M. S., Fareed, S., Ansari, S., Rahman, M. A., Ahmad, I. Z., & Saeed, M. (2012). Current approaches toward production of secondary plant metabolites. *Journal of pharmacy & bioallied sciences*, 4(1), 10.
- Iannotti, L. L., Dulience, S. J. L., Green, J., Joseph, S., François, J., Antenor, M. L., ... & Nickerson, N. M. (2014). Linear growth increased in young children in an urban slum of Haiti: a randomized controlled trial of a lipid-based nutrient supplement. *The American journal of clinical nutrition*, 99(1), 198-208.
- Incalza, M. A., D'Oria, R., Natalicchio, A., Perrini, S., Laviola, L., & Giorgino, F. (2018). Oxidative stress and reactive oxygen species in endothelial dysfunction associated with cardiovascular and metabolic diseases. *Vascular pharmacology*, 100, 1-19.
- Iwashina, T. (2013). Flavonoid properties of five families newly incorporated into the order Caryophyllales. *Bull Natl Mus Nat Sci*, 39, 25-51.
- Janssen-Heininger, Y. M., Mossman, B. T., Heintz, N. H., Forman, H. J., Kalyanaraman, B., Finkel, T., ... & van der Vliet, A. (2008). Redox-based regulation of signal transduction: principles, pitfalls, and promises. *Free Radical Biology and Medicine*, 45(1), 1-17.

- Jolliffe, D. A., Griffiths, C. J., & Martineau, A. R. (2013). Vitamin D in the prevention of acute respiratory infection: systematic review of clinical studies. *The Journal of steroid biochemistry and molecular biology*, 136, 321-329.
- Jorgensen, R. A. (1995). Cosuppression, flower color patterns, and metastable gene expression states. *Science*, 268(5211), 686-691.
- Joshiyura, K. J., Hu, F. B., Manson, J. E., Stampfer, M. J., Rimm, E. B., Speizer, F. E., ... & Willett, W. C. (2001). The effect of fruit and vegetable intake on risk for coronary heart disease. *Annals of internal medicine*, 134(12), 1106-1114.
- Kala, A., & Prakash, J. (2003). Thiamine retention in cooked, stored and reheated vegetables. *Journal of food science and technology (Mysore)*, 40(4), 409-412.
- Kannan, K., & Jain, S. K. (2004). Effect of vitamin B6 on oxygen radicals, mitochondrial membrane potential, and lipid peroxidation in H₂O₂-treated U937 monocytes. *Free Radical Biology and Medicine*, 36(4), 423-428.
- Kasperczyk, S., Dobrakowski, M., Kasperczyk, A., Nogaj, E., Boroń, M., Szlacheta, Z., & Birkner, E. (2017). α -Tocopherol supplementation and the oxidative stress, homocysteine, and antioxidants in lead exposure. *Archives of Environmental & Occupational Health*, 72(3), 153-158.
- Katan, M. B., & Hollman, P. C. H. (1998). Dietary flavonoids and cardiovascular disease. *Nutrition, Metabolism & Cardiovascular Diseases*, 8, 1-4.
- Kaul, T. N., Middleton Jr, E., & Ogra, P. L. (1985). Antiviral effect of flavonoids on human viruses. *Journal of medical virology*, 15(1), 71-79.
- Khan, M. K., Ahmad, K., Hassan, S., Imran, M., Ahmad, N., & Xu, C. (2018). Effect of novel technologies on polyphenols during food processing. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 45, 361-381.
- Kim, G. H., Kim, J. E., Rhie, S. J., & Yoon, S. (2015). The role of oxidative stress in neurodegenerative diseases. *Experimental neurobiology*, 24(4), 325.
- Kim, H. P., Son, K. H., Chang, H. W., & Kang, S. S. (2004). Anti-inflammatory plant flavonoids and cellular action mechanisms. *Journal of pharmacological sciences*, 0411110005-0411110005.

- Kim, S. J., & Kim, G. H. (2006). Quantification of quercetin in different parts of onion and its DPPH radical scavenging and antibacterial activity. *Food Science and Biotechnology*, 15(1), 39-43.
- Klein, E. A., Thompson, I. M., Tangen, C. M., Crowley, J. J., Lucia, M. S., Goodman, P. J., ... & Baker, L. H. (2011). Vitamin E and the risk of prostate cancer: the Selenium and Vitamin E Cancer Prevention Trial (SELECT). *Jama*, 306(14), 1549-1556.
- Kotrokois, K. (2017) Διατροφή και Χημεία Τροφίμων στη Δημόσια Υγεία με στοιχεία Ασφάλειας Τροφίμων" (Ιατρικές εκδόσεις Π.Χ.Πασχαλίδη-BrokenHill 2017)
- Kryscio, R. J., Abner, E. L., Caban-Holt, A., Lovell, M., Goodman, P., Darke, A. K., ... & Schmitt, F. A. (2017). Association of antioxidant supplement use and dementia in the prevention of Alzheimer's disease by vitamin E and selenium trial (PREADViSE). *JAMA neurology*, 74(5), 567-573.
- Kumar, S., & Pandey, A. K. (2013). Chemistry and biological activities of flavonoids: an overview. *The scientific world journal*, 2013.
- L. Booth, S. (2012). Vitamin K: food composition and dietary intakes. *Food & nutrition research*, 56(1), 5505.
- Labudzynski, D. O., Zaitseva, O. V., Latyshko, N. V., Gudkova, O. O., & Veliky, M. M. (2015). Vitamin D3 contribution to the regulation of oxidative metabolism in the liver of diabetic mice. *The Ukrainian Biochemical Journal*, (87, № 3), 75-90.
- Lanska, D. J. (2010). historical aspects of the major neurological vitamin deficiency disorders: overview and fat-soluble vitamin A. *Handbook of clinical neurology*, 95, 435-444.
- Leal, P. F., Maia, N. B., Carmello, Q. A., Catharino, R. R., Eberlin, M. N., & Meireles, M. A. A. (2008). Sweet basil (*Ocimum basilicum*) extracts obtained by supercritical fluid extraction (SFE): Global yields, chemical composition, antioxidant activity, and estimation of the cost of manufacturing. *Food and Bioprocess Technology*, 1(4), 326-338.
- Lee, I. M., Cook, N. R., Gaziano, J. M., Gordon, D., Ridker, P. M., Manson, J. E., ... & Buring, J. E. (2005). Vitamin E in the primary prevention of cardiovascular

- disease and cancer: the Women's Health Study: a randomized controlled trial. *Jama*, 294(1), 56-65.
- Lee, M. K., Arasu, M. V., Park, S., Byeon, D. H., Chung, S. O., & Park, S. U. (2016). Significance of dietary antioxidants for health. *International Journal of Molecular Sciences*, 13(1), 173-179.
- Lešková, E., Kubíková, J., Kováčiková, E., Košická, M., Porubská, J., & Holčíková, K. (2006). Vitamin losses: Retention during heat treatment and continual changes expressed by mathematical models. *Journal of Food Composition and analysis*, 19(4), 252-276.
- Letan, A. (1966). The relation of structure to antioxidant activity of quercetin and some of its derivatives I. Primary activity. *Journal of Food Science*, 31(4), 518-523.
- Li, J., Lin, J. C., Wang, H., Peterson, J. W., Furie, B. C., Furie, B., ... & Rosenberg, P. A. (2003). Novel role of vitamin k in preventing oxidative injury to developing oligodendrocytes and neurons. *Journal of Neuroscience*, 23(13), 5816-5826.
- Li, J., Lin, J. C., Wang, H., Peterson, J. W., Furie, B. C., Furie, B., ... & Rosenberg, P. A. (2003). Novel role of vitamin k in preventing oxidative injury to developing oligodendrocytes and neurons. *Journal of Neuroscience*, 23(13), 5816-5826.
- Li, J., Wang, H., & Rosenberg, P. A. (2009). Vitamin K prevents oxidative cell death by inhibiting activation of 12-lipoxygenase in developing oligodendrocytes. *Journal of neuroscience research*, 87(9), 1997-2005.
- Li, M., & Xu, Z. (2008). Quercetin in a lotus leaves extract may be responsible for antibacterial activity. *Archives of Pharmacal Research*, 31(5), 640-644.
- Liaudet, L., Vassalli, G., & Pacher, P. (2009). Role of peroxynitrite in the redox regulation of cell signal transduction pathways. *Frontiers in bioscience: a journal and virtual library*, 14, 4809.
- Lin, J. Y., & Tang, C. Y. (2007). Determination of total phenolic and flavonoid contents in selected fruits and vegetables, as well as their stimulatory effects on mouse splenocyte proliferation. *Food chemistry*, 101(1), 140-147.
- Lind, T., Lönnnerdal, B., Stenlund, H., Gamayanti, I. L., Ismail, D., Seswandhana, R., & Persson, L. Å. (2004). A community-based randomized controlled trial of

- iron and zinc supplementation in Indonesian infants: effects on growth and development. *The American journal of clinical nutrition*, 80(3), 729-736.
- Liu, H., Colavitti, R., Rovira, I. I., & Finkel, T. (2005). Redox-dependent transcriptional regulation. *Circulation research*, 97(10), 967-974.
- Liu, T., Soong, S. J., Wilson, N. P., Craig, C. B., Cole, P., Macaluso, M., & Butterworth Jr, C. E. (1993). A case control study of nutritional factors and cervical dysplasia. *Cancer epidemiology, biomarkers & prevention: a publication of the American Association for Cancer Research, cosponsored by the American Society of Preventive Oncology*, 2(6), 525-530.
- Liu, T., Stern, A., Roberts, L. J., & Morrow, J. D. (1999). The isoprostanes: novel prostaglandin-like products of the free radical-catalyzed peroxidation of arachidonic acid. *Journal of biomedical science*, 6(4), 226-235.
- Long, A. N., Owens, K., Schlappal, A. E., Kristian, T., Fishman, P. S., & Schuh, R. A. (2015). Effect of nicotinamide mononucleotide on brain mitochondrial respiratory deficits in an Alzheimer's disease-relevant murine model. *BMC neurology*, 15(1), 1-14.
- Lonn, E., Bosch, J., Yusuf, S., Sheridan, P., Pogue, J., Arnold, J. M., ... & Dagenais, G. R. (2005). Effects of long-term vitamin E supplementation on cardiovascular events and cancer: a randomized controlled trial. *Jama*, 293(11), 1338-1347.
- Lugasi, A., Bíró, L., Hóvárie, J., Sági, K. V., Brandt, S., & Barna, É. (2003). Lycopene content of foods and lycopene intake in two groups of the Hungarian population. *Nutrition Research*, 23(8), 1035-1044.
- Lushchak, V. I. (2014). Free radicals, reactive oxygen species, oxidative stress and its classification. *Chemico-biological interactions*, 224, 164-175.
- Maggini, S., Wenzlaff, S., & Hornig, D. (2010). Essential role of vitamin C and zinc in child immunity and health. *Journal of International Medical Research*, 38(2), 386-414.
- Makris, D. P., & Boskou, D. (2014). Plant-derived antioxidants as food additives. *Plants as a source of natural antioxidants*, 398, 169-190.
- Malivindi, R., Rago, V., De Rose, D., Gervasi, M. C., Cione, E., Russo, G., ... & Aquila, S. (2018). Influence of all-trans retinoic acid on sperm metabolism and

oxidative stress: Its involvement in the physiopathology of varicocele-associated male infertility. *Journal of Cellular Physiology*, 233(12), 9526-9537.

Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., Rémésy, C., & Jiménez, L. (2004). Polyphenols: food sources and bioavailability. *The American journal of clinical nutrition*, 79(5), 727-747.

Maqbool, M. A., Aslam, M., Akbar, W., & Iqbal, Z. (2018). Biological importance of vitamins for human health: A review. *J. Agric. Basic Sci*, 2(3), 50-8.

Marx, M., Schieber, A., & Carle, R. (2003). Quantitative determination of carotene stereoisomers in carrot juices and vitamin supplemented (ATBC) drinks. *Food Chemistry*, 70(3), 403-408.

Matthies, A., Clavel, T., Gütschow, M., Engst, W., Haller, D., Blaut, M., & Braune, A. (2008). Conversion of daidzein and genistein by an anaerobic bacterium newly isolated from the mouse intestine. *Applied and environmental microbiology*, 74(15), 4847-4852.

Mattson, M. P. (2008). Dietary factors, hormesis and health. *Ageing research reviews*, 7(1), 43-48.

McCarthy, T. L., Kerry, J. P., Kerry, J. F., Lynch, P. B., & Buckley, D. J. (2001). Evaluation of the antioxidant potential of natural food/plant extracts as compared with synthetic antioxidants and vitamin E in raw and cooked pork patties. *Meat Science*, 58(1), 45-52.

Metzner, J. E., Frank, T., Kunz, I., Burger, D., & Riegger, C. (2009). Study on the pharmacokinetics of synthetic genistein after multiple oral intake in post-menopausal women. *Arzneimittelforschung*, 59(10), 513-520.

Meydani, S. N., Han, S. N., & Wu, D. (2005). Vitamin E and immune response in the aged: molecular mechanisms and clinical implications. *Immunological reviews*, 205(1), 269-284.

Milisav, I., Ribarič, S., & Poljsak, B. (2018). Antioxidant vitamins and ageing. *Biochemistry and Cell Biology of Ageing: Part I Biomedical Science*, 1-23.

Miyazawa, T., Burdeos, G. C., Itaya, M., Nakagawa, K., & Miyazawa, T. (2019). Vitamin E: regulatory redox interactions. *IUBMB life*, 71(4), 430-441.

- Moatkhef, F., Ismail, H., Agamy, N., & Aborhyem, S. (2020). Quantitative determination of selenium in the most common food items sold in Egypt. *Journal of the Egyptian Public Health Association*, 95(1), 1-9.
- Moreira, E. S., Brasch, N. E., & Yun, J. (2011). Vitamin B12 protects against superoxide-induced cell injury in human aortic endothelial cells. *Free Radical Biology and Medicine*, 51(4), 876-883.
- Moussa, Z., Judeh, Z. M., & Ahmed, S. A. (2019). Nonenzymatic exogenous and endogenous antioxidants. *Free Radical Medicine and Biology*.
- Murer, S. B., Aeberli, I., Braegger, C. P., Gittermann, M., Hersberger, M., Leonard, S. W., ... & Zimmermann, M. B. (2014). Antioxidant supplements reduced oxidative stress and stabilized liver function tests but did not reduce inflammation in a randomized controlled trial in obese children and adolescents. *The Journal of nutrition*, 144(2), 193-201.
- Mwanri, A. W., Kogi-Makau, W., & Laswai, H. S. (2011). Nutrients and antinutrients composition of raw, cooked and sun-dried sweet potato leaves. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 11(5), 5142-5156.
- Najwa, F. R., & Azrina, A. (2017). Comparison of vitamin C content in citrus fruits by titration and high performance liquid chromatography (HPLC) methods. *International Food Research Journal*, 24(2), 726.
- Nakano, E., Higgins, J. A., & Powers, H. J. (2001). Folate protects against oxidative modification of human LDL. *British journal of nutrition*, 86(6), 637-639.
- Nygård, O., Nordrehaug, J. E., Refsum, H., Ueland, P. M., Farstad, M., & Vollset, S. E. (1997). Plasma homocysteine levels and mortality in patients with coronary artery disease. *New England Journal of Medicine*, 337(4), 230-237.
- Odigwe, C. C., Smedslund, G., Ejemot-Nwadiaro, R. I., Anyanechi, C. C., & Krawinkel, M. B. (2010). Supplementary vitamin E, selenium, cysteine and riboflavin for preventing kwashiorkor in preschool children in developing countries. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, (4).
- Odin, A. P. (1997). Vitamins as antimutagens: advantages and some possible mechanisms of antimutagenic action. *Mutation Research/Reviews in Mutation Research*, 386(1), 39-67.

- Ohta, B. K., & Foote, C. S. (2002). Characterization of endoperoxide and hydroperoxide intermediates in the reaction of pyridoxine with singlet oxygen. *Journal of the American Chemical Society*, 124(41), 12064-12065.
- Padayatty, S. J., Katz, A., Wang, Y., Eck, P., Kwon, O., Lee, J. H., ... & 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.
- Pan, M., Jiang, T. S., & Pan, J. L. (2011). Antioxidant activities of rapeseed protein hydrolysates. *Food and Bioprocess Technology*, 4(7), 1144-1152.
- Panche, A. N., Diwan, A. D., & Chandra, S. R. (2016). Flavonoids: an overview. *Journal of nutritional science*, 5.
- Panche, A., Chandra, S., Ad, D. I. W. A. N., & Harke, S. (2015). Alzheimer's and current therapeutics: A review. *Asian J Pharm Clin Res*, 8(3), 14-9.
- Pandey, J., Bastola, T., Tripathi, J., Tripathi, M., Rokaya, R. K., Dhakal, B., ... & Poudel, A. (2020). Estimation of total quercetin and rutin content in *Malus domestica* of Nepalese origin by HPLC method and determination of their antioxidative activity. *Journal of Food Quality*, 2020.
- Pasias, I. N., Kiriakou, I. K., Papakonstantinou, L., & Proestos, C. (2018). Determination of vitamin E in cereal products and biscuits by GC-FID. *Foods*, 7(1), 3.
- Paun, N., Botoran, O. R., & Niculescu, V. C. (2022). Total Phenolic, Anthocyanins HPLC-DAD-MS Determination and Antioxidant Capacity in Black Grape Skins and Blackberries: A Comparative Study. *Applied Sciences*, 12(2), 936.
- Pérez-Jiménez, J., Neveu, V., Vos, F., & Scalbert, A. (2010). Identification of the 100 richest dietary sources of polyphenols: an application of the Phenol-Explorer database. *European journal of clinical nutrition*, 64(3), S112-S120.
- Perrone, D., Farah, A., & Donangelo, C. M. (2012). Influence of coffee roasting on the incorporation of phenolic compounds into melanoidins and their relationship with antioxidant activity of the brew. *Journal of agricultural and food chemistry*, 60(17), 4265-4275.
- Pietta, P. G. (2000). Flavonoids as antioxidants. *Journal of natural products*, 63(7), 1035-1042.

- Pokorný, J., & Schmidt, S. (2001). Natural antioxidant functionality during food processing. *Antioxidants in food*, 331-354.
- Poljsak, B., & Milisav, I. (2012). The neglected significance of “antioxidative stress”. *Oxidative medicine and cellular longevity*, 2012.
- Poljsak, B., & Milisav, I. (2014). Oxidized forms of dietary antioxidants: Friends or foes?. *Trends in food science & technology*, 39(2), 156-166.
- Poljsak, B., & Milisav, I. (2018). The role of antioxidants in cancer, friends or foes?. *Current Pharmaceutical Design*, 24(44), 5234-5244.
- Poljšak, B., Gazdag, Z., Jenko-Brinovec, Š., Fujs, Š., Pesti, M., Bélagyi, J., ... & Raspor, P. (2005). Pro-oxidative vs antioxidative properties of ascorbic acid in chromium (VI)-induced damage: an in vivo and in vitro approach. *Journal of Applied Toxicology: An International Journal*, 25(6), 535-548.
- Pott, I., Marx, M., Neidhart, S., Mühlbauer, W., & Carle, R. (2003). Quantitative determination of β -carotene stereoisomers in fresh, dried, and solar-dried mangoes (*Mangifera indica* L.). *Journal of agricultural and food chemistry*, 51(16), 4527-4531.
- Prasad, A. S., Miale Jr, A., Farid, Z., Sandstead, H. H., & Schulert, A. R. (1963). Zinc metabolism in patients with the syndrome of iron deficiency anemia, hepatosplenomegaly, dwarfism, and hypogonadism. *Journal of Laboratory and Clinical Medicine*, 61(4), 537-49.
- Prokopowicz, A., Sobczak, A., Szuła, M., Anczyk, E., Kurek, J., Olszowy, Z., ... & Szoltysek-Bołdys, I. (2013). Effect of occupational lead exposure on α - and γ -tocopherol concentration in plasma. *Occupational and environmental medicine*, 70(6), 365-371.
- Puchau, B., Ochoa, M. C., Zulet, M. Á., Marti, A., Martínez, J. A., & Members, G. (2010). Dietary total antioxidant capacity and obesity in children and adolescents. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 61(7), 713-721.
- Ragab, A. S., Van Fleet, J., Jankowski, B., Park, J. H., & Bobzin, S. C. (2006). Detection and quantitation of resveratrol in tomato fruit (*Lycopersicon*

- esculentum Mill.). *Journal of agricultural and food chemistry*, 54(19), 7175-7179.
- Redza-Dutordoir, M., & Averill-Bates, D. A. (2016). Activation of apoptosis signalling pathways by reactive oxygen species. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular Cell Research*, 1863(12), 2977-2992.
- Ren, W., Qiao, Z., Wang, H., Zhu, L., & Zhang, L. (2003). Flavonoids: promising anticancer agents. *Medicinal research reviews*, 23(4), 519-534.
- Reuter, S., Gupta, S. C., Chaturvedi, M. M., & Aggarwal, B. B. (2010). Oxidative stress, inflammation, and cancer: how are they linked?. *Free radical biology and medicine*, 49(11), 1603-1616.
- Rhee, S. G. (1999). Redox signaling: hydrogen peroxide as intracellular messenger. *Experimental & molecular medicine*, 31(2), 53-59.
- Ristow, M., & Schmeisser, S. (2011). Extending life span by increasing oxidative stress. *Free radical biology and medicine*, 51(2), 327-336.
- Ristow, M., Zarse, K., Oberbach, A., Klötting, N., Birringer, M., Kiehnopf, M., ... & Blüher, M. (2009). Antioxidants prevent health-promoting effects of physical exercise in humans. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(21), 8665-8670.
- Rubin, R. N., Navon, L., & Cassano, P. A. (2004). Relationship of serum antioxidants to asthma prevalence in youth. *American journal of respiratory and critical care medicine*, 169(3), 393-398.
- Said, H. M., & Ross, A. C. (2012). Riboflavin. In *Modern Nutrition in Health and Disease: Eleventh Edition* (pp. 325-330). Wolters Kluwer Health Adis (ESP).
- Salganik, R. I. (2001). The benefits and hazards of antioxidants: controlling apoptosis and other protective mechanisms in cancer patients and the human population. *Journal of the American college of nutrition*, 20(sup5), 464S-472S.
- Salum, E., Kals, J., Kampus, P., Salum, T., Zilmer, K., Aunapuu, M., ... & Zilmer, M. (2013). Vitamin D reduces deposition of advanced glycation end-products in the aortic wall and systemic oxidative stress in diabetic rats. *Diabetes research and clinical practice*, 100(2), 243-249.

- Samantha, A., Das, G., & Sanjoy, K. D. (2011). Roles of flavonoid in plants. *Int. J. Pharm. Sci. Tech*, 6(1), 12-35.
- SandstroÈm, B. (2001). Micronutrient interactions: effects on absorption and bioavailability. *British journal of Nutrition*, 85(S2), S181-S185.
- Sanusi, R. A., & Adebisi, A. E. (2009). Beta carotene content of commonly consumed foods and soups in Nigeria. *Pakistan Journal of Nutrition*, 8(9), 1512-1516.
- Sardar, S., Chakraborty, A., & Chatterjee, M. (1996). Comparative effectiveness of vitamin D3 and dietary vitamin E on peroxidation of lipids and enzymes of the hepatic antioxidant system in Sprague--Dawley rats. *International Journal for Vitamin and Nutrition research. InternationaleZeitschrift fur Vitamin-und Ernährungsforschung. Journal International de Vitaminologie et de Nutrition*, 66(1), 39-45.
- Sarni, Kochi, Ramalho, Schoeps, Sato, Mattoso, ... &Catherino. (2003). Impact of vitamin A megadose supplementation on the anthropometry of children and adolescents with non-hormonal statural deficit: a double-blind and randomized clinical study. *International journal for vitamin and nutrition research*, 73(4), 303-311.
- Satpathy, L., Pradhan, N., Dash, D., & Priyadarshini, P. (2020). Quantitative Determination of Vitamin C Concentration of Common Edible Food Sources by Redox Titration Using Iodine Solution.
- Seabra, I. J., Braga, M. E., Batista, M. T., & de Sousa, H. C. (2010). Fractioned high pressure extraction of anthocyanins from elderberry (*Sambucus nigra* L.) pomace. *Food and Bioprocess Technology*, 3(5), 674-683.
- Sebastià, N., Montoro, A., León, Z., & Soriano, J. M. (2017). Searching trans-resveratrol in fruits and vegetables: a preliminary screening. *Journal of food science and technology*, 54(3), 842-845.
- Semba, R. D., Ferrucci, L., Bartali, B., Urpí-Sarda, M., Zamora-Ros, R., Sun, K., ... & Andres-Lacueva, C. (2014). Resveratrol levels and all-cause mortality in older community-dwelling adults. *JAMA internal medicine*, 174(7), 1077-1084.

- Shahidi, F., & Ho, C. T. (2007). Antioxidant measurement and applications: an overview.
- Shakeri H, Asemi Z, Samimi M, et al. Vitamin D Supplementation Affects Serum High-Sensitivity C-Reactive Protein, Insulin Resistance, and Biomarkers of Oxidative Stress in Pregnant Women. *The Journal of Nutrition* 143 (2013): 1432-1438.
- Shearer, M. J., & Newman, P. (2014). Recent trends in the metabolism and cell biology of vitamin K with special reference to vitamin K cycling and MK-4 biosynthesis. *Journal of Lipid Research*, 55(3), 345-362.
- Shimizu, H., Tsubota, T., Kanki, K., & Shiota, G. (2018). All-trans retinoic acid ameliorates hepatic stellate cell activation via suppression of thioredoxin interacting protein expression. *Journal of cellular physiology*, 233(1), 607-616.
- Shin, J., Yang, S. J., & Lim, Y. (2017). Gamma-tocopherol supplementation ameliorated hyper-inflammatory response during the early cutaneous wound healing in alloxan-induced diabetic mice. *Experimental Biology and Medicine*, 242(5), 505-515.
- Sigrist, M., Brusa, L., Campagnoli, D., & Beldoménico, H. (2012). Determination of selenium in selected food samples from Argentina and estimation of their contribution to the Se dietary intake. *Food chemistry*, 134(4), 1932-1937.
- Singh, A., Holvoet, S., & Mercenier, A. (2011). Dietary polyphenols in the prevention and treatment of allergic diseases. *Clinical & experimental allergy*, 41(10), 1346-1359.
- Siti, H. N., Kamisah, Y., & Kamsiah, J. J. V. P. (2015). The role of oxidative stress, antioxidants and vascular inflammation in cardiovascular disease (a review). *Vascular pharmacology*, 71, 40-56.
- Srivastava, N., & Bezwada, R. (2015). *Flavonoids: The Health Boosters*. White Paper. Hillsborough NJ: Indofine Chemical company.
- Strobel, N. A., Peake, J. M., Matsumoto, A., Marsh, S. A., Coombes, J. S., & Wadley, G. D. (2011). Antioxidant supplementation reduces skeletal muscle mitochondrial biogenesis. *Med Sci Sports Exerc*, 43(6), 1017-24.

- Szkudelska, K., & Nogowski, L. (2007). Genistein—a dietary compound inducing hormonal and metabolic changes. *The Journal of steroid biochemistry and molecular biology*, 105(1-5), 37-45.
- Takahashi, A., & Ohnishi, T. (2004). The significance of the study about the biological effects of solar ultraviolet radiation using the exposed facility on the international space station. *Biological Sciences in Space*, 18(4), 255-260.
- Tham, D. M., Gardner, C. D., & Haskell, W. L. (1998). Potential health benefits of dietary phytoestrogens: a review of the clinical, epidemiological, and mechanistic evidence. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 83(7), 2223-2235.
- 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).
- Thurlow, R. A., Winichagoon, P., Pongcharoen, T., Gowachirapant, S., Boonpradern, A., Manger, M. S., ... & Gibson, R. S. (2006). Risk of zinc, iodine and other micronutrient deficiencies among school children in North East Thailand. *European journal of clinical nutrition*, 60(5), 623-632.
- Tikkanen, M. J., & Adlercreutz, H. (2000). Dietary soy-derived isoflavone phytoestrogens: could they have a role in coronary heart disease prevention?. *Biochemical Pharmacology*, 60(1), 1-5.
- Tu, Y. J., Njus, D., & Schlegel, H. B. (2017). A theoretical study of ascorbic acid oxidation and HOO/O²⁻ radical scavenging. *Organic & biomolecular chemistry*, 15(20), 4417-4431.
- Vervoort, L. M., Ronden, J. E., & Thijssen, H. H. (1997). The potent antioxidant activity of the vitamin K cycle in microsomal lipid peroxidation. *Biochemical pharmacology*, 54(8), 871-876.
- Villamor, E., Koulinska, I. N., Aboud, S., Murrin, C., Bosch, R. J., Manji, K. P., & Fawzi, W. W. (2010). Effect of vitamin supplements on HIV shedding in breast milk. *The American journal of clinical nutrition*, 92(4), 881-886.

- Vollmannova, A., Tomas, J., Urminska, D., Polakova, Z., Melichacova, S., & Krizova, L. (2009). Content of bioactive components in chosen cultivars of cranberries (*Vaccinium vitis-idaea* L.). *Czech. J. Food Sci*, 27, 248-251.
- Walker, E. H., Pacold, M. E., Perisic, O., Stephens, L., Hawkins, P. T., Wymann, M. P., & Williams, R. L. (2000). Structural determinants of phosphoinositide 3-kinase inhibition by wortmannin, LY294002, quercetin, myricetin, and staurosporine. *Molecular cell*, 6(4), 909-919.
- Wang, G., Li, W., Lu, X., & Zhao, X. (2011). Riboflavin alleviates cardiac failure in Type I diabetic cardiomyopathy. *Heart International*, 6(2), hi-2011.
- Wang, H. K., Xia, Y., Yang, Z. Y., Morris Natschke, S. L., & Lee, K. H. (1998). Recent advances in the discovery and development of flavonoids and their analogues as antitumor and anti-HIV agents. *Flavonoids in the living system*, 191-225.
- WH Foods. *World's Healthiest Foods* (2017).
- Williams, H., Stewart, A., von Mutius, E., Cookson, W., Anderson, H. R., & of Asthma, I. S. (2008). Is eczema really on the increase worldwide?. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 121(4), 947-954.
- Wink, M. (2004). Phytochemical diversity of secondary metabolites. *Encyclopedia of plant and crop science*, 915-919.
- Wiseman, H. (1993). Vitamin D is a membrane antioxidant Ability to inhibit iron-dependent lipid peroxidation in liposomes compared to cholesterol, ergosterol and tamoxifen and relevance to anticancer action. *FEBS letters*, 326(1-3), 285-288.
- Wolden-Kirk, H., Gysemans, C., Verstuyf, A., & Mathieu, C. (2012). Extraskelatal effects of vitamin D. *Endocrinology and Metabolism Clinics*, 41(3), 571-594.
- Wu, D., Kong, Y., Han, C., Chen, J., Hu, L., Jiang, H., & Shen, X. (2008). D-Alanine: D-alanine ligase as a new target for the flavonoids quercetin and apigenin. *International journal of antimicrobial agents*, 32(5), 421-426.
- Wu, X., Beecher, G. R., Holden, J. M., Haytowitz, D. B., Gebhardt, S. E., & Prior, R. L. (2006). Concentrations of anthocyanins in common foods in the United

- States and estimation of normal consumption. *Journal of agricultural and food chemistry*, 54(11), 4069-4075.
- Wyatt, C. J., Carballido, S. P., & Mendez, R. O. (2008). α - and γ -tocopherol content of selected foods in the Mexican diet: Effect of cooking losses. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(11), 4657-4661.
- Yang, C. S., Chen, J. X., Wang, H., & Lim, J. (2016). Lessons learned from cancer prevention studies with nutrients and non-nutritive dietary constituents. *Molecular nutrition & food research*, 60(6), 1239-1250.
- Young, I. S., & Woodside, J. V. (2001). Antioxidants in health and disease. *Journal of clinical pathology*, 54(3), 176-186.
- Yun, J., Mullarky, E., Lu, C., Bosch, K. N., Kavalier, A., Rivera, K., ... & Cantley, L. C. (2015). Vitamin C selectively kills KRAS and BRAF mutant colorectal cancer cells by targeting GAPDH. *Science*, 350(6266), 1391-1396.
- Zamora-Ros, R., Andres-Lacueva, C., Lamuela-Raventós, R. M., Berenguer, T., Jakszyn, P., Martínez, C., ... & González, C. A. (2008). Concentrations of resveratrol and derivatives in foods and estimation of dietary intake in a Spanish population: European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition (EPIC)-Spain cohort. *British Journal of Nutrition*, 100(1), 188-196.
- Zeidán-Chuliá, F., Gelain, D. P., Kolling, E. A., Rybarczyk-Filho, J. L., Ambrosi, P., Resende Terra, S., ... & Fonseca Moreira, J. C. (2013). Major components of energy drinks (caffeine, taurine, and guarana) exert cytotoxic effects on human neuronal SH-SY5Y cells by decreasing reactive oxygen species production. *Oxidative medicine and cellular longevity*, 2013.
- Zhang, S. L., Peng, D. E. N. G., Xu, Y. C., Lü, S. W., & Wang, J. J. (2016). Quantification and analysis of anthocyanin and flavonoids compositions, and antioxidant activities in onions with three different colors. *Journal of Integrative Agriculture*, 15(9), 2175-2181.
- Zhou, S. S., & Zhou, Y. (2014). Excess vitamin intake: An unrecognized risk factor for obesity. *World journal of diabetes*, 5(1), 1.
- Κοτροκόης, Κ., & Παπαδογιαννάκης, Ε. (2009). Διατροφή και χημεία τροφίμων στη δημόσια υγεία. *Αθήνα: ΠΧ Πασχαλίδης*.