



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΡΟΦΙΜΩΝ

Πτυχιακή Εργασία

«ΚΑΡΟΤΕΝΟΕΙΔΗ ΣΕ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΑ ΤΡΟΦΙΜΑ»



Ιωάννα Δαβούτη

ΑΜ: 71616019

Επιβλέπουσα καθηγήτρια:

ΘΑΛΕΙΑ ΤΣΙΑΚΑ

Αθήνα, 02/2023



UNIVERSITY OF WEST ATTICA
SCHOOL OF FOOD SCIENCES
DEPARTMENT OF FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY

Diploma Thesis
“CAROTENOIDS IN FORTIFIED FOODS”



Ioanna Davouti

RN: 71616019

Supervisor:

THALIA TSIAKA

Athens, 02/2023



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗ
ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ**

«ΚΑΡΟΤΕΝΟΕΙΔΗ ΣΕ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΑ ΤΡΟΦΙΜΑ»

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η πτυχιακή/διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

Α/α	ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
	ΘΑΛΕΙΑ ΤΣΙΑΚΑ	ΔΙΔΑΚΤΙΚΟ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ ΕΣΠΑ	
	ΕΙΡΗΝΗ ΣΤΡΑΤΗ	ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ	
	ΒΑΣΙΛΕΙΑ ΣΙΝΑΝΟΓΛΟΥ	ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

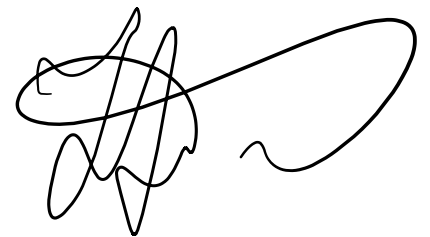
Η κάτωθι υπογεγραμμένη Ιωάννα Δαβούτη του Ιακώβου, με αριθμό μητρώου 71616019, φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Επιστημών Τροφίμων του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

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

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

Ο/Η Δηλών/ούσα

Υπογραφή



Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια, έχει παρατηρηθεί αυξημένο ενδιαφέρον εντός της επιστημονικής κοινότητας για τρόφιμα ενισχυμένα ή εμπλουτισμένα με βιοδραστικά φυσικά συστατικά (πχ. φαινολικές ενώσεις, καροτενοειδή, κά), καθώς αποδεικνύεται ότι βελτιώνουν τα διατροφικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των υπαρχόντων προϊόντων τροφίμων και εμφανίζουν ευεργετικές ιδιότητες για την πρόληψη και αντιμετώπιση διαφόρων ασθενειών. Μια από τις σημαντικότερες κατηγορίες βιοδραστικών ενώσεων αποτελούν τα καροτενοειδή, χρωστικές που διαθέτουν αντιοξειδωτική και αντιφλεγμονώδη δράση. Το θέμα της παρούσας εργασίας παρουσιάζει τις θρεπτικές και βιολογικές ιδιότητες των καροτενοειδών καθώς και τους λόγους και τρόπους αξιοποίησης τους στην βιομηχανία τροφίμων. Ακολούθως, αναφέρεται στον οικονομικό και κοινωνικό αντίκτυπο που έχουν τα ενισχυμένα τρόφιμα, αναδεικνύοντας, έτσι, την σημαντικότητα για ύπαρξη προϊόντων οικονομικά βιώσιμων για την βιομηχανία, την αξιοποίηση παραπροϊόντων στα ενισχυμένα τρόφιμα ως πλούσια πηγή βιοδραστικών ενώσεων προς μείωση την περιβαλλοντικής κρίσης και την αναγκαιότητα ανάπτυξης τροφίμων ευρέως προσβάσιμων σε ανθρώπους κάθε ηλικίας, βιοτικού επιπέδου και γεωγραφικού σημείου. Επίσης, αναλύονται οι προκλήσεις που αντιμετωπίζει η βιομηχανία τροφίμων στην ανάπτυξη σταθερών προϊόντων τροφίμων, δίνοντας βάση στην βιοδιαθεσιμότητα, την βιοπροσβασιμότητα και την σταθερότητα των δραστικών συστατικών και την διατήρηση αυτών κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας και της αποθήκευσής τους. Τέλος, παρουσιάζονται παραδείγματα ενισχυμένων με καροτενοειδή τροφίμων, που εμφάνισαν ευεργετικές δράσεις για την ανθρώπινη υγεία, δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στην ανάπτυξη βρεφικής φόρμουλας ενισχυμένης με καροτενοειδή, που θα προσομοιάζει τη σύσταση και τα οφέλη του μητρικού γάλακτος.

Λέξεις-κλειδιά : Καροτενοειδή, Εμπλουτισμένα τρόφιμα, Βρεφική φόρμουλα, Βιοδιαθεσιμότητα, Βιοπροσβασιμότητα

Abstract

In recent years, there has been an increased interest within the scientific community in foods fortified or enriched with bioactive natural ingredients (phenolic compounds, carotenoids, etc.), as they are shown to improve the nutritional and organoleptic characteristics of the existing food products and display beneficial properties for the prevention and treatment of various diseases. One of the most important classes of bioactive compounds are carotenoids, pigments that have antioxidant and anti-inflammatory effects. The subject of this paper presents the nutritional and biological properties of carotenoids, as well as the reasons and ways of utilizing them in the food industry. Subsequently, the economic and social impact of fortified foods is investigated, highlighting the importance of economically viable food products, the utilization of by-products to reduce the environmental damage and the necessity of developing foods widely accessible to people of all ages, living standards and geographical regions. Also, the challenges the food industry faces in the development of stable food products are analyzed, based on bioavailability, bioaccessibility and stability of active ingredients and their preservation during processing and storage. Finally, examples of fortified foods with beneficial health properties are presented, emphasizing in the development of infant formulas fortified with carotenoids, which will resemble to the composition and health effects of maternal milk.

Keywords: Carotenoids, Fortified foods, Infant formula, Bioaccessibility, Bioavailability

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	2
Abstract	3
Εισαγωγή	5
Βασικές αρχές των καροτενοειδών	6
Βιοσύνθεση καροτενοειδών.....	9
Μεβαλονική οδός:.....	9
Μη μεβαλονική οδός :	10

Καροτενοειδή σε οργανισμούς	13
Καροτενοειδή σε φυτικούς οργανισμούς.....	13
Καροτενοειδή σε ζωικούς οργανισμούς.....	15
Καροτενοειδή στον άνθρωπο	16
Ενισχυμένα τρόφιμα.....	20
Βασικές αρχές ενισχυμένων τροφίμων	20
Τύποι εμπλουτισμού τροφίμων	22
Μεγάλης κλίμακας ενίσχυση τροφίμων:.....	22
Βιοενίσχυση (Biofortification).....	23
Οικιακή βιοενίσχυση.....	23
Ο αντίκτυπος των Εμπλουτισμένων Τροφίμων	24
Υγεία :	24
Οικονομικός:	25
Κοινωνικός:	26
Τρόφιμα ενισχυμένα με καροτενοειδή.....	27
Πέψη, Απορρόφηση και Μεταβολισμός Καροτενοειδών	28
Παραδείγματα τροφίμων ενισχυμένων με καροτενοειδή	30
Αγροδιατροφικά παραπροϊόντα.....	30
Βόειο γάλα	31
Ανθρώπινο γάλα.....	39
Βρεφική φόρμουλα.....	40
Συμπεράσματα.....	42
Βιβλιογραφία	44

Εικόνα 1: Η επίδραση της επεξεργασίας στην περιεκτικότητα σε καροτενοειδή των γαλακτοκομικών προϊόντων.	39
Πίνακας 1 : Παραδείγματα καροτενοειδών σε ζώα και οι λειτουργίες τους.....	16
Πίνακας 2: Παραδείγματα καροτενοειδών σε φρούτα και λαχανικά και τα οφέλη τους (Hirschi, K. D. 2009).....	19
Σχήμα 1: Τελικά μέρη αλυσίδων καροτενοειδών (Μαοκα, 2019)	7
Σχήμα 2: Παραδείγματα Καροτενοειδών και Ξανθοφύλλων (Μαοκα, 2019)	8
Σχήμα 3: Μεβαλονική και Μη μεβαλονική οδός (Μαοκα 2019).....	11
Σχήμα 4: Βιοσύνθεση φυτοενίου (Μαοκα 2019)	12
Σχήμα 5: Ο κύκλος της ξανθοφύλλης (Μαοκα 2019).....	13
Σχήμα 6: Διατροφικές ανάγκες διαφόρων παραδειγμάτων ατόμων κάθε ηλικίας	25
Σχήμα 7: Παράγοντες που χρειάζεται να ληφθούν υπόψη κατά την ανάπτυξη ενισχυμένου γαλακτοκομικού προϊόντος (Conboy Stephenson et al., 2021)	28

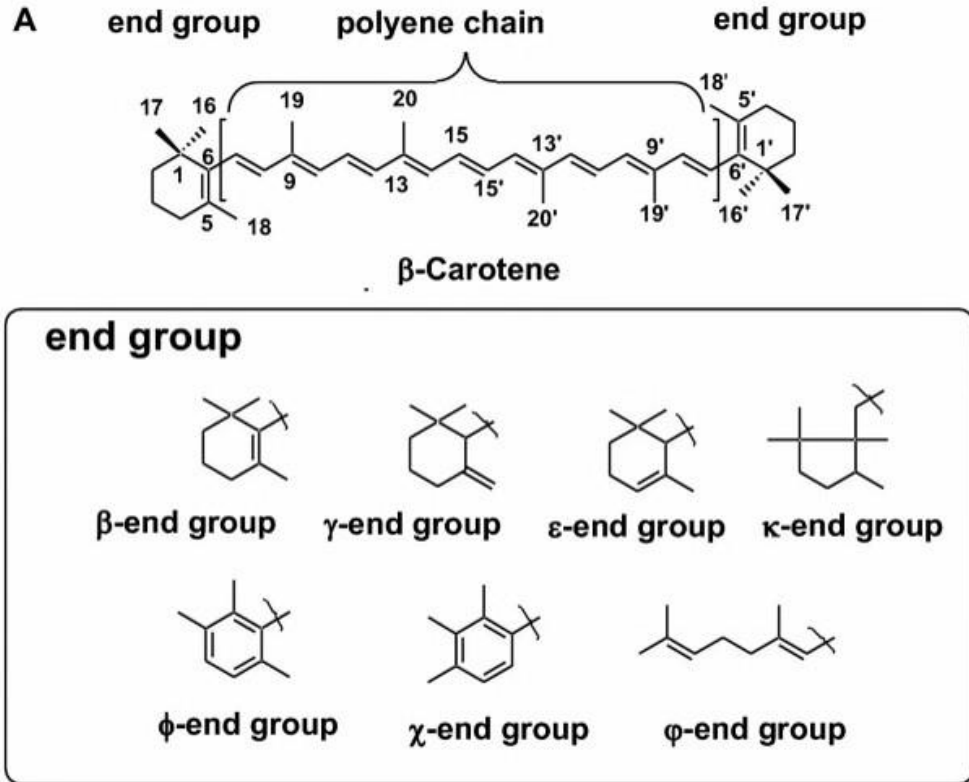
Εισαγωγή

Το 1831, ο Γερμανός φαρμακοποιός Heinrich Wilhelm Ferdinand Wackenroder απομόνωσε μια πορτοκαλίχρωστική από ρίζα καρότου (*Daucus carota*) και επινόησε την ορολογία «καροτένιο» από την αντίστοιχη λατινική λέξη. Έξι χρόνια αργότερα, ο Berzelius έδωσε την ονομασία «ξανθοφύλλες» στην κίτρινη χρωστική των φθινοπωρινών φύλλων. Το 1929 οι ερευνητικές εργασίες των von Euler, Karrer και Moore παρουσίασαν τη σχέση των καροτενοειδών με τη βιταμίνη Α, αποκαλύπτοντας με αυτό τον τρόπο τη μεγάλη διατροφική τους αξία.

Η παρούσα εργασία, αναφέρεται στον σύνθεση των καροτενοειδών και τον ρόλο που διαδραματίζουν σε όλους τους ζωντανούς οργανισμούς, επικεντρώνοντας, εν τέλει στον άνθρωπο και τις ευεργετικές ιδιότητες που του προσδίδει. Στην συνέχεια, μελετήθηκαν τα ενισχυμένα τρόφιμα ως προς τις διαδικασίες και τους τύπους ενσωμάτωσης θρεπτικών συστατικών σε τρόφιμα της αγοράς, καθώς και ο αντίκτυπος που έχουν στην οικονομία, την κοινωνία και την υγεία ενός πληθυσμού. Ακολούθως, αναλύθηκαν τρόφιμα ενισχυμένα με καροτενοειδή με την παράθεση παραδειγμάτων υπογραμμίζοντας, συμπερασματικά, την εμφανή αναγκαιότητα περαιτέρω μελετών και αναλύσεων με στόχο την ενίσχυση των τροφών με καροτενοειδή για την βελτίωση του βιοτικού επιπέδου του ανθρώπου.

Βασικές αρχές των καροτενοειδών

Τα καροτενοειδή είναι λιπόφιλες ισοπρενοειδείς ενώσεις που παράγονται από όλους τους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς (συμπεριλαμβανομένων των φυτών) και ορισμένα μη φωτοσυνθετικά βακτήρια και μύκητες. Οι καροτενοειδείς χρωστικές είναι γενικά αδιάλυτες στο νερό, αλειφατικές ενώσεις πολυενίου, που σχηματίζονται από συμπύκνωση μονάδων ισοπρενίου, αναφερόμενα και ως ισοπρενοειδή. Όλα τα καροτενοειδή προέρχονται από τη μεταβολική οδό των ισοπρενιδίων. Έξι έως οκτώ μονάδες ισοπρενίου C₅ (διφωσφορικό ισοπεντενύλιο, IDP) συνθέτουν τον σκελετό της ανθρακικής αλυσίδας, η οποία τροποποιείται περαιτέρω για να δημιουργήσει μια συζυγή πολυενική αλυσίδα. Πρόσθετες τροποποιήσεις των τελικών ομάδων της αλυσίδας πολυενίου δημιουργούν μια πληθώρα διαφορετικών δομών καροτενοειδών, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1. Τα καροτενοειδή μπορεί να έχουν γραμμικές άκυκλες αλυσίδες υδρογονάνθρακα ή να περιέχουν μία (μονοκυκλικά καροτενοειδή) ή δύο (δικυκλικά καροτενοειδή) κυκλικές τελικές ομάδες. Η βασική τους δομή μπορεί να τροποποιηθεί με αντιδράσεις κυκλοποίησης, μετανάστευσης διπλού δεσμού, εισαγωγής ομάδων υποκαταστατών, μερικής υδρογόνωσης, αφυδρογόνωσης, επέκτασης ή βράχυνσης αλυσίδας, αναδιάταξης, ισομερισμού ή μέσω διεργασιών που συνδυάζουν δύο ή περισσότερες από αυτές τις αντιδράσεις. Η δομή των καροτενοειδών τους προσδίδει πολύ ιδιαίτερες ιδιότητες και θέτει τα θεμέλια για τις πολύπλοκες βιολογικές τους λειτουργίες.



Σχήμα 1: Τελικά μέρη αλυσίδων καροτενοειδών (Μαοκκ, 2019)

Τα περισσότερα καροτενοειδή, όπως προαναφέρθηκε, περιέχουν 40 άτομα άνθρακα (C40), υπάρχουν, όμως, και καροτενοειδή με περισσότερα από 40 άτομα άνθρακα, τα οποία ονομάζονται ανώτερα καροτενοειδή (C45-50) και έχουν παρατηρηθεί 40 είδη αυτών σε αρχαία. Ταυτόχρονα, υπάρχουν και καροτενοειδή με λιγότερα από 40 άτομα άνθρακα και ονομάζονται αποκαροτενοειδή και 120 είδη αυτών εμφανίζονται σε φυτά και ζώα. Γενικότερα, τα καροτενοειδή χωρίζονται σε δύο βασικές ομάδες, τα καροτένια και τις ξανθοφύλλες. Τα καροτένια, όπως το α-καροτένιο, το β-καροτένιο, το β, το ψ-καροτένιο (γ-καροτένιο) και το λυκοπένιο, είναι υδρογονάνθρακες, ενώ έχουν εντοπιστεί περίπου 50 είδη καροτενίων στην φύση. Τα περισσότερα καροτενοειδή, όμως, είναι οξυγονωμένα και ονομάζονται ξανθοφύλλες ή οξυκαροτενοειδή. Έχουν παρατηρηθεί 800 είδη ξανθοφυλλών στην φύση που περιέχουν ομάδες υδροξυλίου, καρβονυλίου, αλδεϋδης, καρβοξυλικού οξέος, εποξειδίου και φουρανοξειδίου. Ορισμένες ξανθοφύλλες παρουσιάζονται ως εστέρες λιπαρών οξέων, θειικά άλατα και σύμπλοκα πρωτεϊνών σε λιπαρά οξέα. Γνωστά παραδείγματα ξανθοφυλλών, μεταξύ

φυσιολογικών διεργασιών. Αυτές οι φυσικές χρωστικές έχουν, επίσης, σημαντικά οφέλη για την υγεία, καθώς παρέχουν αντιοξειδωτική, αντιφλεγμονώδη, αντισυσσωματωτική, αντιπηκτική και αντικαρκινική δράση. Αυτά τα οφέλη των διατροφικών καροτενοειδών που σχετίζονται με την υγεία έχουν προκαλέσει έντονο ενδιαφέρον για τη χρήση τους σε ενισχυμένα προϊόντα τροφίμων. Σε αυτό το πλαίσιο, η ενίσχυση των τροφίμων με καροτενοειδή στα τρόφιμα εμφανίζεται ως βέλτιστη στρατηγική, καθώς η κατανάλωση καροτενοειδών, που είναι ενσωματωμένα στα τρόφιμα είναι πιο αποτελεσματική από την πρόσληψη μεμονωμένων συμπληρωμάτων τους. Το β-καροτένιο χρησιμοποιείται ως επί το πλείστον σε εφαρμογές τροφίμων για χρωματισμό και ως συμπλήρωμα διατροφής. Οι ξανθοφύλλες χρησιμοποιούνται σε ζωτροφές, για παράδειγμα για τη χρώση των ψαριών στην υδατοκαλλιέργεια, ενώ συγκεκριμένα η λουτεΐνη μειώνει τη δημιουργία της ωχράς κηλίδας που σχετίζεται με την ηλικία.

Βιοσύνθεση καροτενοειδών

Τα καροτενοειδή προέρχονται από δύο ισομερή ισοπρενίου. Η πρώτη μονάδα IDP ισοπρενίου μπορεί να συντεθεί μέσω δύο διαφορετικών οδών: της μεβαλονικής οδού και της μη μεβαλονικής οδού (πλαστιδιακής MEP οδού).

Μεβαλονική οδός:

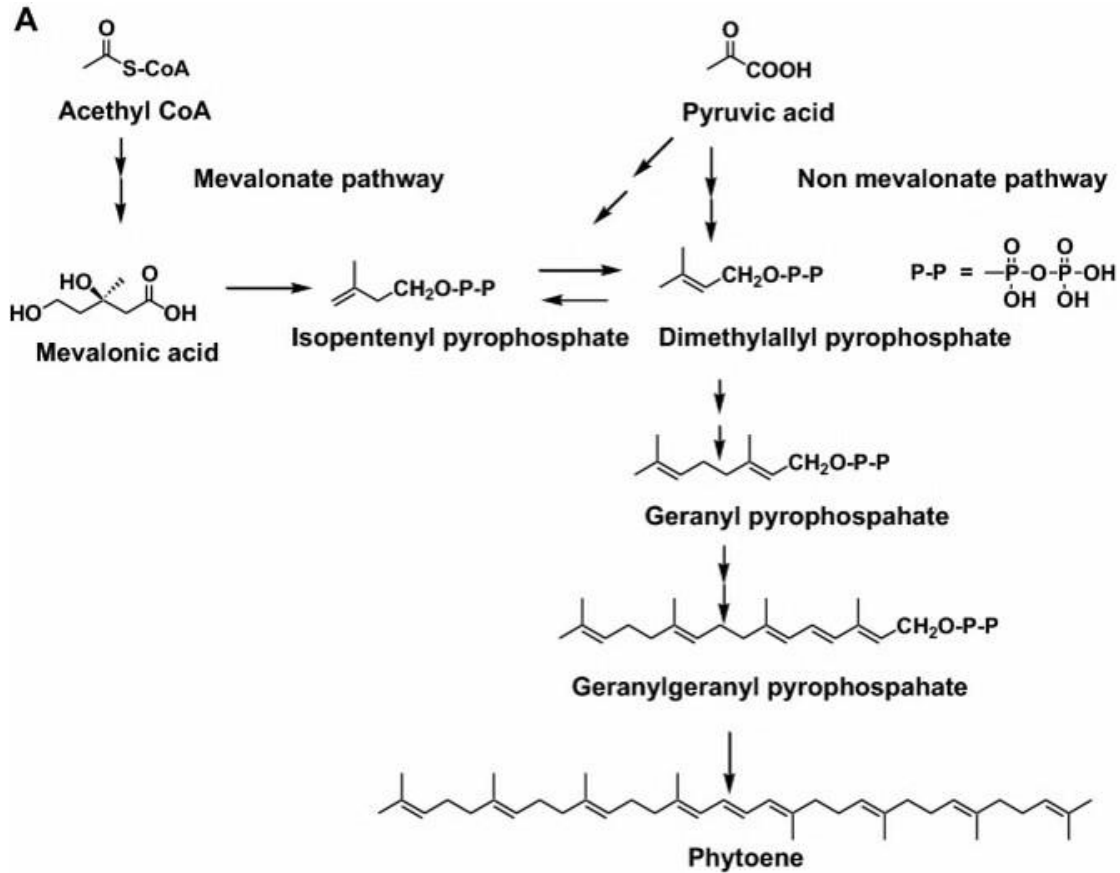
1. συμπύκνωση τριών μορίων ακετυλο-συνενζύμου A (acetyl-CoA) για τον σχηματισμό του 3-υδροξυ-3 μεθυλγλουταρικού-συνενζύμου A (HMGCoA).
2. το ένζυμο HMGR (αναγωγή του 3-υδροξυ-3-μεθυλγλουταρικού-συνενζύμου A) καταλύει τη μετατροπή του HMG-CoA σε MVA.
3. το MVA μετατρέπεται διαδοχικά σε πυροφωσφορικό ισοπεντενύλιο (IPP) από τα ένζυμα MVA κινάση, την φωσφομεβαλονική κινάση και την MVA διφωσφορική αποκαρβοξυλάση, όπου MVA είναι το μεβαλονικό οξύ.

Στα ζώα δεν έχει διαπιστωθεί η ύπαρξη της μη μεβαλονικής οδού, οπότε θεωρείται ότι η βιοσύνθεση των τερπενοειδών ακολουθεί το μονοπάτι του μεβαλονικού οξέος. Στα φυτά έχει διαπιστωθεί η ύπαρξη και των δύο οδών: στο κυτταρόπλασμα εντοπίζονται τα ένζυμα της οδού του μεβαλονικού, ενώ στους χλωροπλάστες τα ένζυμα της μη μεβαλονικής οδού. Τα τριτερπένια και τα στεροειδή κατά κύριο λόγο βιοσυντίθενται μέσω του μεβαλονικού οξέος στο κυτταρόπλασμα, ενώ σχεδόν όλα τα υπόλοιπα τερπενοειδή σχηματίζονται στους χλωροπλάστες μέσω της φωσφορικής δεοξυξυλουλόζης. (Schmidt-Dannert & Lee, 2009)

Μη μεβαλονική οδός :

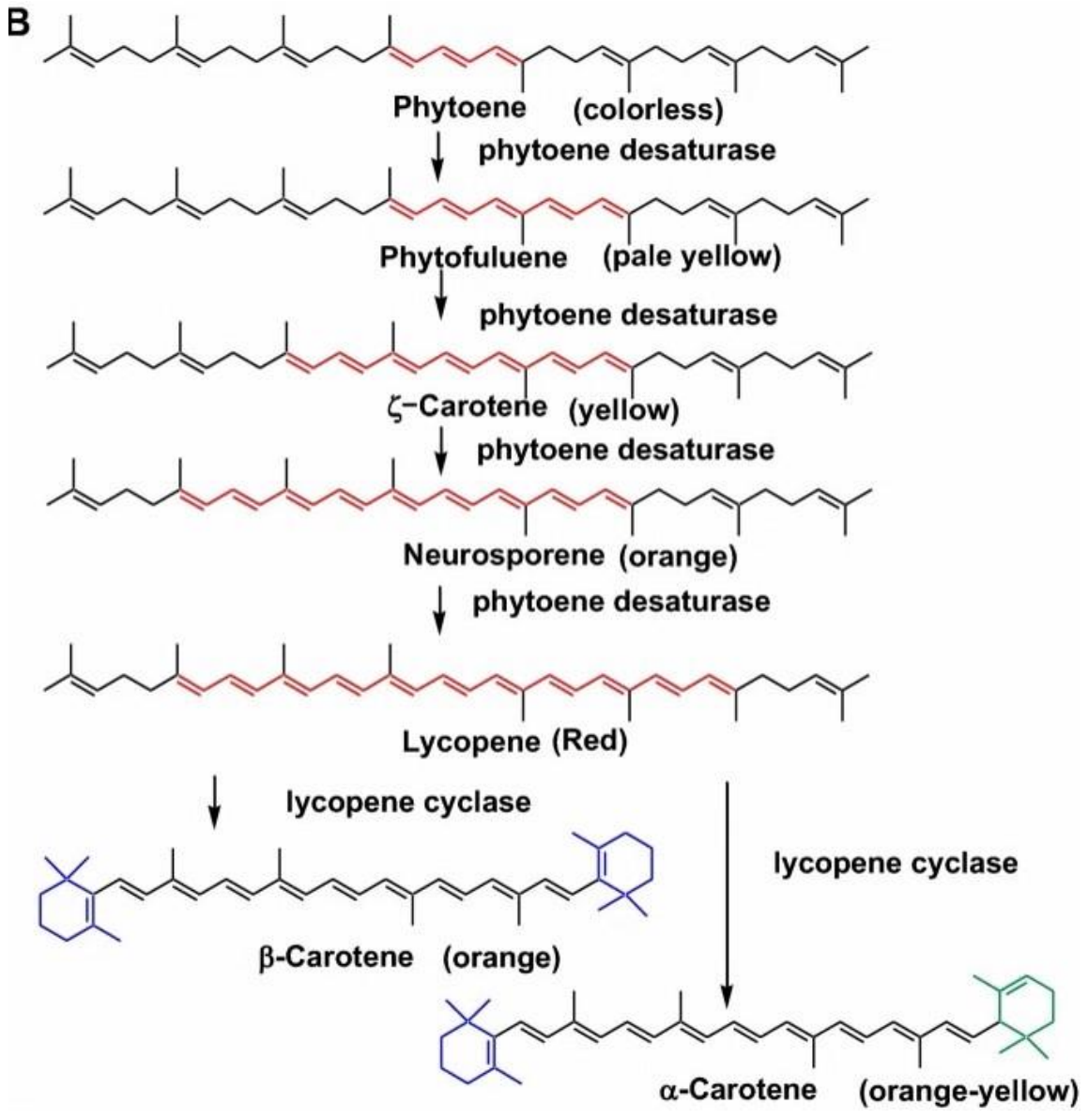
1. σχηματίζεται φωσφορική δεοξυξυλουλόζη (DXP) από την αποκαρβοξυλίωση του πυροσταφυλικού οξέος και την επίδραση της 3-φωσφογλυκεραλδεΐδης, μία αντίδραση που καταλύεται από την DXP συνθετάση (DXS).
2. η DXP με τη δράση της αναγαγωϊσομεράσης (DXR) μετατρέπεται σε 2-C-μεθυλ-D-ερυθριτολ-4-φωσφορικό οξύ (MEP).
3. Ακολουθούν διαδοχικές συμπυκνώσεις τις οποίες καταλύουν διάφορα ένζυμα (κυτιδυλοτρανσφεράση του 2-C-μεθυλ-D-ερυθριτολ-4-φωσφορικού οξέος, 4-(κυτιδίνη-5'-διφωσφο)-2-C-μεθυλ-D-ερυθριτολική κινάση, 2-C-μεθυλ-D-ερυθριτολική 2,4-C κυκλοδιφωσφορική συνθετάση, (E)-4- υδροξυ- 3- μεθυλ- βουτ-2-ενυλική διφωσφορική συνθετάση και (E)-4- υδροξυ-3-μεθυλ-βουτ-2-ενυλική διφωσφορική αναγωγία) και το τελικό προϊόν των αντιδράσεων αυτών είναι το IPP.
4. Το IPP και το DMAPP αντιδρούν και δίνουν το πυροφωσφορικό γερανύλιο (GPP), από το οποίο συντίθενται σχεδόν όλα τα μονοτερπένια (10 άτομα άνθρακα).
5. το GPP ενώνεται με άλλο ένα μόριο IPP για να δώσει το πυροφωσφορικό φαρνεζύλιο (FPP), το οποίο αποτελεί την πρόδρομη μορφή σχεδόν 38 όλων των σесκιτερπένιων (15 άτομα άνθρακα).
6. Το FPP ενώνεται με άλλο ένα μόριο IPP και δίνει το πυροφωσφορικό γεράνυλο-γερανύλιο (GGPP), την πρόδρομη μορφή των διτερπένιων (20 άτομα άνθρακα). Η ένωση δύο μορίων FPP δίνουν το σκουαλένιο, πρόδρομο μόριο των τριτερπένιων

(30 άτομα άνθρακα), ενώ η ένωση δύο μορίων GGPP δίνουν την πρόδρομη μορφή των τετρατερπένιων (40 άτομα άνθρακα), την φυτοΐνη. Τερπένια με n αριθμό C5 ομάδων ονομάζονται πολυτερπένια.



Σχήμα 3: Μεβαλονική και Μη μεβαλονική οδός (Μαοκα 2019)

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3, το πρώτο κύριο τερπενοειδές που παράγεται, και από τις δύο οδούς, είναι το 15-cis-φυτοένιο, το οποίο ύστερα από μια σειρά οξειδώσεων σχηματίζει το λυκοπένιο. Μετά το λυκοπένιο διακλαδίζεται και με την επίδραση της κυκλάσης λυκοπενίου, δίνει β-καροτένιο και α-καροτένιο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4. (Μαοκα 2019) (Μπουκάλα, 2014) (Χρυσολώρας et al., 2016)



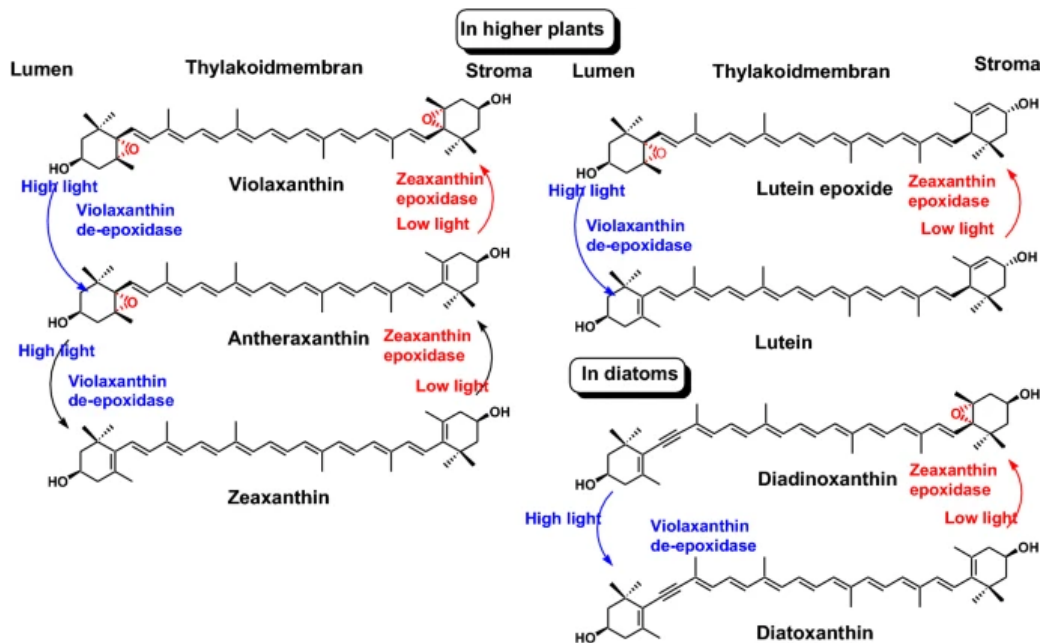
Σχήμα 4: Βιοσύνθεση φυτοενίου (Μαοκα 2019)

Καροτενοειδή σε οργανισμούς

Καροτενοειδή σε φυτικούς οργανισμούς

A. Φωτοσυνθετικά όργανα φυτών

Τα καροτενοειδή είναι βασικές ενώσεις μαζί με τις χλωροφύλλες στα φωτοσυνθετικά βακτήρια, τα φύκια και τα φυτά και συμμετέχουν στη φωτοσύνθεση και την φωτοπροστασία, καθώς τα καροτενοειδή συλλέγουν ενέργεια φωτός και μεταφέρουν αυτή την ενέργεια στις χλωροφύλλες, οι οποίες διαδραματίζουν εξίσου σημαντικό ρόλο στην αντιμετώπιση της καταπόνησης των φυτών από το φως. Τα καροτενοειδή βρίσκονται σε όλα τα φωτοσυνθετικά συστήματα και απορροφούν ακτινοβολία από 350 έως 500 nm συμβάλλοντας στην απορρόφηση φωτός και, κατ'επέκταση στην φωτοπροστασία του φυτού από υψηλής έντασης ακτινοβολία. Συγκεκριμένα, ο κύκλος της ξανθοφύλλης, αποτελείται από φωτοεξαρτώμενες μετατροπές τριών διαφορετικών τύπων καροτενοειδών και συμβάλλει στην απόσβεση της θερμότητας που δέχεται το φυτό, καθώς αποτρέπει την υπερθέρμανση των ιστών που είναι περισσότερο εκτεθειμένοι στο φως (Sathasivam et al., 2021) (Κυζερίδου, 2015).



Σχήμα 5: Ο κύκλος της ξανθοφύλλης (Μαοκα 2019).

B. Μη φωτοσυνθετικά όργανα φυτών

Τα καροτενοειδή υπάρχουν, επίσης, σε μη φωτοσυνθετικά όργανα φυτών όπως τα φρούτα, οι σπόροι, οι ρίζες και τα άνθη. Τα καροτενοειδή σε αυτά τα μη φωτοσυνθετικά όργανα παρουσιάζουν δομική ποικιλομορφία και σχηματίζονται από δευτερογενείς μεταβολικές αντιδράσεις, όπως η οξειδωση, η διάσπαση των αλυσίδων πολυενίου και ο (cis-trans) ισομερισμός. Τα καροτενοειδή σε μη φωτοσυνθετικά όργανα δρουν ως φωτοπροστατευτικά, αντιοξειδωτικά, χρωστικές ουσίες και πρόδρομα μόρια φυτικών ορμονών.

Τα καροτενοειδή συμμετέχουν επίσης σε διαφορετικούς τύπους κυτταρικής σηματοδότησης. Είναι σε θέση να σηματοδοτήσουν την παραγωγή αψισικού οξέος, το οποίο ρυθμίζει την ανάπτυξη των φυτών, τον λήθαργο των σπόρων, την ωρίμανση και τη βλάστηση των εμβρύων φυτών, την κυτταρική διαίρεση και επιμήκυνση, την ανάπτυξη των ανθέων και τις αντιδράσεις στο στρες. Τα καροτενοειδή είναι επίσης πρόδρομες ενώσεις ορισμένων αρωματικών ενώσεων. Οι πιο γνωστές από αυτές είναι η β-δαμασκηνόνη και η β-ιονόνη με χαρακτηριστικά αρώματα λουλουδιών και τροπικών φρούτων (*Handbook of alcoholic beverages*, 2010)

Πολλοί καρποί και σπόροι γίνονται κόκκινοι ή μοβ κατά το στάδιο της ωρίμανσης. Αυτή η αλλαγή χρώματος οφείλεται στον σχηματισμό καροτενοειδών ή/και ανθοκυανινών. Για παράδειγμα, το χρώμα του περικαρπίου της ντομάτας γίνεται από πρασινοκίτρινο σε βαθύ κόκκινο κατά το στάδιο της ωρίμανσης. Το φυτοένιο (άχρωμο), το οποίο είναι το κύριο καροτενοειδές στην πρασινοκίτρινη ντομάτα, μετατρέπεται σε φυτοφλουένιο (ωχροκίτρινο), ζ-καροτένιο (κίτρινο), νευροσπορένιο (πορτοκαλί) και λυκοπένιο (κόκκινο) από τη φυτοενική δεσатураση. Έχει αποδειχθεί ότι το λυκοπένιο είναι το κατάλληλο συστατικό για ενίσχυση επεξεργασμένων κρεατικών προϊόντων, όπως το μπιφτέκι ή το λουκάνικο, καθώς αυξάνει την θρεπτική αξία των εν λόγω προϊόντων, προσδίδει αντιοξειδωτική δράση και δημιουργεί ζωηρότερο χρώμα, κάνοντας τα προϊόντα αυτά ανταγωνιστικότερα στην αγορά, καθιστώντας τα πιο ελκυστικά οργανοληπτικά (González-Lamothe et al., 2009).

Καροτενοειδή σε ζωικούς οργανισμούς

Τα υδρόβια ζώα προσλαμβάνουν διάφορα καροτενοειδή που παρουσιάζουν δομική ποικιλομορφία από τρόφιμα όπως τα φύκια ή και άλλα ζώα και τα τροποποιούν μέσω μεταβολικών αντιδράσεων. Πολλά από τα καροτενοειδή που υπάρχουν στα υδρόβια ζώα είναι μεταβολίτες του β-καροτενίου, της φουκοξανθίνης, της περιδινίνης, της διατοξανθίνης, της αλλοξανθίνης και της ασταξανθίνης. Τα καροτενοειδή εκτελούν διάφορες λειτουργίες στο σώμα των υδρόβιων οργανισμών, όπως την ενδυνάμωση του ανοσοποιητικού συστήματος, την αύξηση της αντίστασης στο στρες, την ενίσχυση της αναπαραγωγικής δραστηριότητας, την προαγωγή ωρίμανσης των γονάδων και, εν τέλει, της εμβρυϊκής ανάπτυξης. Τα καροτενοειδή έχουν γενικά την ιδιότητα της φωτοπροστασίας των κυτταρικών μεμβρανών στις οποίες συνδέονται.

Όπως και με τα υδρόβια ζώα, τα περισσότερα χερσαία ζώα δεν μπορούν να συνθέσουν καροτενοειδή de novo, και έτσι πρέπει να τα λάβουν από τη διατροφή τους. Επομένως, τα καροτενοειδή στα χερσαία ζώα προέρχονται κυρίως από φυτά από τα οποία τρέφονται. Όσον αφορά τα πτηνά, οι έντονα κόκκινες, πορτοκαλί και κίτρινες χρωστικές του φτερώματος τους οφείλονται στην παρουσία καροτενοειδών (Khachik, 2006). Στα πτηνά, τα καροτενοειδή είναι ένα σημαντικό σημάδι μιας καλής διατροφικής και φυσικής κατάστασης. Επίσης, τα χρώματα των φτερών με βάση τα καροτενοειδή τραβούν την προσοχή του αντίθετου φύλου για την προώθηση του ζευγαρώματος. Τα έντομα, από την άλλη, είναι η πιο ποικιλόμορφη ομάδα ζώων, καθώς τα καροτενοειδή σε αυτά παρουσιάζουν δομική ποικιλομορφία. Πολλά από τα καροτενοειδή που υπάρχουν στα έντομα προέρχονται από την τροφή τους και τους μεταβολίτες τους. (Maoka, 2011) (Pereira da Costa & Campos Miranda-Filho, 2019) (Pereira da Costa & Campos Miranda-Filho, 2019)

Οργανισμοί	Καροτενοειδή	Λειτουργία
Υδρόβια, Θαλάσσια Ζώα	Ασταξανθίνη, ζεαξανθίνη, ασταξανθίνη, μυτιλοξανθίνη	Αντιοξειδωτική, χρωστική, καμουφλάζ, φωτοπροστασία, προστασία από το στρες, ενίσχυση ανοσοποιητικού
Χερσαία Ζώα	β-καροτένιο, η β-κρυπτοξανθίνη, η λουτεΐνη και η ζεαξανθίνη	Αντιοξειδωτικό, ενίσχυση ανοσοποιητικού
Πτηνά	β-καροτένιο, η β-κρυπτοξανθίνη, η λουτεΐνη και η ασταξανθίνη	Ζευγάρωμα, Καμουφλάζ, ενίσχυση ανοσοποιητικού
Έντομα	β-καροτένιο, β-κρυπτοξανθίνη, η λουτεΐνη και η ζεαξανθίνη	Καμουφλάζ

Source: (Pereira da Costa and Campos Miranda-Filho 2020), (Maoka,2019)

Πίνακας 1 : Παραδείγματα καροτενοειδών σε ζώα και οι λειτουργίες τους

Καροτενοειδή στον άνθρωπο

Όπως έχει προαναφερθεί, ο ανθρώπινος οργανισμός δεν μπορεί να συνθέσει καροτενοειδή, οπότε οι άνθρωποι στηριζόμαστε εξ ολοκλήρου στην διατροφή για την απόκτηση τους. Αφού καταβολιστεί η τροφή από τον οργανισμό, τα καροτενοειδή μπορούν να βρεθούν σε πολλά ανθρώπινα όργανα, όπως το ήπαρ, τα επινεφρίδια, τις ωθήκες, το δέρμα, τους πνεύμονες, τους όρχεις, τον προστάτη και τον ορό αίματος. Η κατανομή των καροτενοειδών στα ανθρώπινα όργανα παρουσιάζει εξειδίκευση. Η λουτεΐνη και η ζεαξανθίνη βρίσκονται σε εστεροποιημένη μορφή στην επιφάνεια του δέρματος και του υποδόριου ιστού και δρουν ως απορροφητές υπεριώδους ακτινοβολίας. Ξανθοφύλλες όπως η β-κρυπτοξανθίνη, η λουτεΐνη και η ζεαξανθίνη βρίσκονται στον εγκέφαλο. Στο μάτι, η λουτεΐνη, η (μεσο)-ζεαξανθίνη και η ζεαξανθίνη

υπάρχουν ως χρωστικές της ωχράς κηλίδας, ενώ το λυκοπένιο συσσωρεύεται στον προστάτη. (Fiedor & Burda, 2014)

Οφέλη καροτενοειδών στην υγεία του ανθρώπου

Η διατροφική πρόσληψη καροτενοειδών έχει συσχετιστεί με την μείωση κινδύνου αρκετών χρόνιων ασθενειών, συμπεριλαμβανομένων των καρδιαγγειακών παθήσεων, του διαβήτη τύπου 2, της παχυσαρκίας, των ασθενειών που σχετίζονται με τον εγκέφαλο και ορισμένων τύπων καρκίνου. Οι ευεργετικές επιδράσεις των καροτενοειδών συσχετίζονται, επι το πλείστον, με υψηλά επίπεδα καροτενοειδών στο αίμα και στα όργανα (Bonnet et al., 2016) (Agarwal & Rao, 2000).

Καροτενοειδή και παχυσαρκία

Τα οφέλη των καροτενοειδών και των παραγώγων τους σχετίζονται άμεσα με την υγεία, καθώς έρευνες συνδέουν αυτές τις ενώσεις με τη μειωμένη συσσώρευση λίπους στο σώμα και τον μεταβολισμό των λιπιδίων. Έχει αποδειχθεί ότι εκτελούν βασικές ενέργειες την διαχείριση της παχυσαρκίας και των μεταβολικών διαταραχών που σχετίζονται με την παχυσαρκία, όπως η αντίσταση στην ινσουλίνη, ο διαβήτης και οι καρδιαγγειακές παθήσεις (Bohn et al., 2021). Οι επιδημιολογικές μελέτες έχουν αναφέρει μειωμένα επίπεδα καροτενοειδών στον ορό υπέρβαρων και παχύσαρκων ατόμων, τόσο σε ενήλικες όσο και σε παιδιά/έφηβους (Harari et al., 2019), ενώ η συγκέντρωση των καροτενοειδών στον λιπώδη ιστό και στα απομονωμένα λιποκύτταρα είναι επίσης, χαμηλότερη στα παχύσαρκα άτομα. Τέλος, τα παχύσαρκα άτομα παρουσίασαν μειωμένη αποτελεσματικότητα της μετατροπής του β-καροτενίου σε ρετινοειδή. (Luisa Bonnet et al., 2015)

Ο λιπώδης ιστός, εκτός από το ήπαρ, είναι μια σημαντική θέση αποθήκευσης/συσσώρευσης καροτενοειδών και ρετινόλης. Οι συγκεντρώσεις καροτενοειδών στις αποθήκες λίπους στην κοιλιά δείχνουν ισχυρή συσχέτιση τόσο με τη διατροφική πρόσληψη καροτενοειδών όσο και με τις συγκεντρώσεις καροτενοειδών στο πλάσμα του ανθρώπου. Τα καροτενοειδή της προβιταμίνης A και η ρετινόλη στα λιποκύτταρα μπορεί να χρησιμεύσουν για τη ρύθμιση της ομοιόστασης της βιταμίνης A, καθώς ο λιπώδης ιστός παράγει πρωτεΐνη που δεσμεύει τη

ρετινόλη και οι αποθήκες λιπώδους ρετινόλης/ρετινυλεστέρες κινητοποιούνται εύκολα υπό συνθήκες διατροφικής ανεπάρκειας βιταμίνης Α. (Bohn et al., 2021)

Η αντιφλεγμονώδης δράση των καροτενοειδών στον λιπώδη ιστό μπορεί να σχετίζεται με την ικανότητα των καροτενοειδών να μειώνουν το οξειδωτικό στρες, λαμβάνοντας υπόψη ότι η υπερβολική παραγωγή δραστικών μορφών οξυγόνου (Reactive oxygen species (ROS)) στον παχύσαρκο λιπώδη ιστό είναι ένας προφλεγμονώδης, παθογόνος μηχανισμός του μεταβολικού συνδρόμου που σχετίζεται με την παχυσαρκία. Σε επίπεδο λιποκυττάρων, έχει αποδειχθεί η αντιοξειδωτική δράση του β-καροτενίου, της ασταξανθίνης, της φουκοξανθίνης και της κροκετίνης και η αντιφλεγμονώδη δράση του λυκοπένιου και της φουκοξανθίνης. (Le Lay et al., 2014) Ωστόσο, υπό ορισμένες συνθήκες, τα καροτενοειδή μπορεί να είναι προ-οξειδωτικά στα κύτταρα, όταν συσσωρεύονται προϊόντα εξαιρετικά δραστικών οξειδωτικών.

Καρκίνος του δέρματος και καροτενοειδή.

Οι καρκίνοι του δέρματος είναι μια από τις πιο κοινές μορφές ανθρώπινης νεοπλασίας και μπορούν να χωριστούν σε δύο ομάδες: καρκίνο μελανώματος, με ένα από τα υψηλότερα ποσοστά νοσηρότητας και θνησιμότητας μεταξύ όλων των καρκίνων και μη μελανωματικούς καρκίνους (nonmelanoma cancers: NMSC), συμπεριλαμβανομένου του βασικοκυτταρικού καρκινώματος (basal cell carcinoma: BCC) και το ακανθοκυτταρικό καρκίνωμα (squamous cell carcinoma: SCC), τα οποία σπάνια είναι θανατηφόρα. Στην ανάπτυξη του καρκίνου και της γήρανσης του δέρματος, η υπεριώδης ακτινοβολία θεωρείται ο πιο σημαντικός περιβαλλοντικός παράγοντας. Ένας σημαντικός μηχανισμός για την πρόληψη του καρκίνου του δέρματος είναι οι φωτοπροστατευτικές επιδράσεις των καροτενοειδών. Τα καροτενοειδή, ιδιαίτερα το β-καροτένιο, το λυκοπένιο, η ασταξανθίνη, η κανθαξανθίνη και η λουτεΐνη διερευνήθηκαν ως φωτοπροστατευτικοί παράγοντες σε αρκετές μελέτες ανθρώπινης παρέμβασης, κυρίως ως παράγοντες που αποτρέπουν το σχηματισμό ηλιακού ερυθήματος και της φωτο-επαγόμενης καρκινογένεσης, αλλά και για την πρόληψη της φωτογήρανσης. Τόσο ο αντιοξειδωτικός μηχανισμός όσο και οι ικανότητες φιλτραρίσματος του μπλε φωτός των καροτενοειδών, θα μπορούσαν να παίξουν κάποιο ρόλο. Ο ρόλος τους ως ενώσεις προβιταμίνης Α, προστατευτικές χρωστικές, αποτελεσματικά αντιοξειδωτικά και αντιφλεγμονώδη, τα καθιστά υποψήφιους για

προστασία του δέρματος. Κατά συνέπεια, τα καροτενοειδή έχουν χρησιμοποιηθεί ως συμπληρώματα διατροφής και ως συστατικό τοπικών αντηλιακών προϊόντων. (Berry, 2016)

Καροτενοειδές	Φρούτο/Λαχανικό	Οφέλη στην υγεία
A και B καροτένιο	Καρότο, Κολοκύθα, Κέιλ, Γλυκοπατάτα	Εξουδετερώνουν τις ελεύθερες ρίζες που μπορεί να προκαλέσουν βλάβη στα κύτταρα.
Λυκοπένιο	Τομάτα, Καρπούζι	Μειώνει το ρίσκο καρκίνου του προστάτη
Ζεαξανθίνη	Εσπεριδοειδή, Καλαμπόκι	Συμβάλλει στην διατήρηση της όρασης
Λουτεΐνη	Κέιλ, Λαχανίδα	Συμβάλλει στην διατήρηση της όρασης

Πίνακας 2: Παραδείγματα καροτενοειδών σε φρούτα και λαχανικά και τα οφέλη τους (Hirschi, K. D. 2009).

Όπως αναφέρθηκε, τα καροτενοειδή έχουν συσχετιστεί με πολλούς τρόπους με την πρόληψη και την ύφεση χρόνιων ασθενειών. Εκτός από το ότι λειτουργούν ως δείκτες μιας διατροφής πλούσιας σε τρόφιμα φυτικής προέλευσης και, επομένως, σε υγιεινά διατροφικά πρότυπα, αρκετά καροτενοειδή λειτουργούν ως απαραίτητα θρεπτικά συστατικά. Αυτά περιλαμβάνουν το α-καροτένιο, β-καροτένιο και β-κρυπτοξανθίνη, βασικά μικροθρεπτικά συστατικά που είναι πρόδρομοι της βιταμίνης A, η οποία είναι σημαντική για άτομα με χαμηλή πρόσληψη προβιταμίνης A (π.χ. εστέρες ρετινυλίου), όπως οι χορτοφάγοι ή άνθρωποι που ζουν σε μη δυτικές κοινωνίες στις οποίες επικρατεί χαμηλή πρόσληψη τροφής που έχει βάση το κρέας ή τα ζώα, γενικότερα. Έτσι, η τακτική πρόσληψη καροτενοειδών προβιταμίνης A από αυτές τις ομάδες συμβάλλει στην πρόληψη ανεπάρκειας βιταμίνης A, η οποία σχετίζεται με τη υποβάθμιση της ακεραιότητας της ωχράς κηλίδας στον αμφιβληστροειδή του ανθρώπινου ματιού και φαίνεται να επιδεινώνει την ηλικιακή εκφύλιση της, πάθηση που αποτελεί την πιο κοινή αιτία απώλειας όρασης στους ηλικιωμένους (Agarwal & Rao, 2000).

Ενισχυμένα τρόφιμα

Βασικές αρχές ενισχυμένων τροφίμων

Ο εμπλουτισμός τροφίμων είναι η πρακτική της σκόπιμης αύξησης της περιεκτικότητας ενός ή περισσότερων μικροθρεπτικών συστατικών σε ένα τρόφιμο ή καρύκευμα για τη βελτίωση της διατροφικής ποιότητας τροφίμων και την παροχή οφέλους για τη δημόσια υγεία με ελάχιστο κίνδυνο για την υγεία του καταναλωτή. Η ενίσχυση είναι μια τεκμηριωμένη παρέμβαση που συμβάλλει στην πρόληψη, τη μείωση και τον έλεγχο των ελλείψεων μικροθρεπτικών συστατικών. Η ίδια, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διόρθωση μιας αποδεδειγμένης ανεπάρκειας μικροθρεπτικών συστατικών στο γενικό πληθυσμό ή σε συγκεκριμένες πληθυσμιακές ομάδες (στοχευμένη ενίσχυση) όπως τα παιδιά, οι έγκυες γυναίκες και οι δικαιούχοι προγραμμάτων κοινωνικής προστασίας. (Health, 2022)

Ο υποσιτισμός μητέρας και παιδιού προκαλεί το 45% όλων των θανάτων σε παιδιά κάτω των πέντε ετών σε χώρες χαμηλού και μεσαίου εισοδήματος, στις οποίες η πείνα ή η χρόνια έλλειψη βιταμινών και μετάλλων αποτελεί ένα μείζον ζήτημα, καθώς οι ελλείψεις σε ένα ή περισσότερα μικροθρεπτικά συστατικά όπως ο σίδηρος, ο ψευδάργυρος και η βιταμίνη Α θέτουν σε κίνδυνο τη σωματική και γνωστική ικανότητα των ανθρώπων. (Muthayya et al., 2013)

Η Υπηρεσία Τροφίμων και Φαρμάκων καθιέρωσε την Πολιτική της για την Ενδυνάμωση Τροφίμων το 1980. Αυτή η πολιτική καθοδηγείται από 6 βασικές αρχές, οι οποίες ισχύουν μέχρι και σήμερα:

- 1) η πρόσληψη θρεπτικών συστατικών χωρίς ενίσχυση είναι κάτω από την επιθυμητή περιεκτικότητα για ένα σημαντικό μέρος του πληθυσμού
- 2) τα τρόφιμα που εμπλουτίζονται καταναλώνονται σε ποσότητες που θα συνέβαλαν σημαντικά στην πρόσληψη θρεπτικών συστατικών ενός πληθυσμού
- 3) η πρόσθετη πρόσληψη θρεπτικών συστατικών που προκύπτει από τον εμπλουτισμό είναι απίθανο να δημιουργήσει ανισορροπία στα ήδη υπάρχοντα θρεπτικά συστατικά του τροφίμου
- 4) το θρεπτικό συστατικό που προστίθεται είναι σταθερό υπό τις κατάλληλες συνθήκες αποθήκευσης και χρήσης

5) το θρεπτικό συστατικό είναι φυσιολογικά διαθέσιμο από το φαγητό στο οποίο προστίθεται και

6) υπάρχει εύλογη βεβαιότητα ότι δεν θα οδηγήσει σε δυνητικά τοξικές προσλήψεις.

Ως απάντηση στις συζητήσεις γύρω από το αυξημένο ενδιαφέρον για την ενίσχυση των τροφίμων, η Υπηρεσία Τροφίμων και Φαρμάκων δήλωσε ότι οι αποφάσεις σχετικά με τον εμπλουτισμό τροφίμων πρέπει να βασίζονται κυρίως σε κλινικά και βιοχημικά δεδομένα και όχι μόνο σε διατροφικά δεδομένα, όπως ήταν η βάση προηγούμενων οδηγιών για τον εμπλουτισμό. Για αυτό το λόγο, ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (ΠΟΥ) και ο Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών (FAO) έχουν υιοθετήσει τέσσερις βασικές στρατηγικές για τη βελτίωση της διατροφικής πρόσληψης: εμπλουτισμός τροφίμων, συμπλήρωση μικροθρεπτικών συστατικών, διατροφική εκπαίδευση και μέτρα ελέγχου ασθενειών. Ο εμπλουτισμός των βασικών τροφίμων είναι μια στρατηγική που έχει αποδεδειγμένη ιστορία στη βελτίωση της διατροφικής ποικιλομορφίας και στην αποτελεσματική μείωση των ελλείψεων σε μικροθρεπτικά συστατικά. Εκτός από την αύξηση του θρεπτικού περιεχομένου των βασικών τροφίμων, η προσθήκη μικροθρεπτικών συστατικών μπορεί να βοηθήσει στην αποκατάσταση της περιεκτικότητας σε μικροθρεπτικά συστατικά που χάθηκαν κατά την επεξεργασία. (Spohrer et al., 2013)

Τύποι εμπλουτισμού τροφίμων

Οι ακόλουθοι τύποι εμπλουτισμού τροφίμων έχουν προσδιοριστεί με βάση το στάδιο στο οποίο οι κατασκευαστές τροφίμων προσθέτουν μικροθρεπτικά συστατικά:

Μεγάλης κλίμακας ενίσχυση τροφίμων:

Η βιομηχανική ή μεγάλης κλίμακας ενίσχυση τροφίμων είναι η προσθήκη μικροθρεπτικών συστατικών κατά την επεξεργασία τροφίμων μεγάλης παραγωγής. Οι πρωτοβουλίες ενίσχυσης τροφίμων είναι είτε υποχρεωτικές - που σημαίνει ότι ξεκινούν και ρυθμίζονται από την κυβέρνηση – είτε εθελοντικές όπου ένας κατασκευαστής τροφίμων επιλέγει να προσθέσει ένα ή περισσότερα μικροθρεπτικά συστατικά σε επεξεργασμένα τρόφιμα σε συμμόρφωση με τους κυβερνητικούς κανονισμούς και πρότυπα. Μία απ' τις πιο διαδεδομένες υποχρεωτικές

πρακτικές ενίσχυσης αποτελεί αυτή του ιωδιούχου άλατος. Μεταξύ 1990 και 2008 ο αριθμός των νοικοκυριών που καταναλώνουν ιωδιούχο αλάτι παγκοσμίως αυξήθηκε από 20 τοις εκατό σε 70 τοις εκατό. Η ενίσχυση του άλατος με ιώδιο αποτελεί διεθνή πρακτική στα πλαίσια μιας παγκόσμιας καμπάνιας για την αντιμετώπιση των ασθενειών του θυρεοειδούς, κυρίως μέσω προσθήκης ιωδιούχου καλίου. Έτσι, επί του παρόντος, περισσότερες από 130 χώρες έχουν επιβάλει το ιωδιούχο αλάτι.

Ο εμπλουτισμός των τροφίμων μπορεί, επίσης, να επιτευχθεί με την αξιοποίηση της τεχνογνωσίας του ιδιωτικού τομέα για την παραγωγή και τη διανομή εμπλουτισμένων τροφίμων. Ένα παράδειγμα αυτού είναι το Olam στην Γκάνα που ενισχύει το μακρύκοκκο ρύζι με μικροθρεπτικά συστατικά όπως σίδηρο, ψευδάργυρο και βιταμίνες του συμπλέγματος Β, παρέχοντας περισσότερο από το 15% της ελάχιστης συνιστώμενης διατροφικής δόσης ανά μερίδα. (Lalani et al., 2019)

Βιοενίσχυση (Biofortification)

Σε αντίθεση με την μεγάλη κλίμακα ενίσχυσης τροφίμων όπου προστίθενται θρεπτικά συστατικά κατά την επεξεργασία μετά τη συγκομιδή, η βιοενίσχυση είναι η διαδικασία με την οποία τα απαραίτητα καθημερινά μικροθρεπτικά συστατικά παρέχονται απευθείας στις καλλιέργειες, μέσω ενισχυμένων λιπασμάτων. Τα φυτά είναι ικανά να συνθέσουν ένα, σχεδόν, πλήρες συμπλήρωμα βασικών εδώδιμων μικροθρεπτικών συστατικών. Δυστυχώς, τα επίπεδα μικροθρεπτικών συστατικών στα φυτικά τρόφιμα (ρύζι, σιτάρι και αραβόσιτος) που καταναλώνονται περισσότερο από πληθυσμούς σε χώρες χαμηλού και μεσαίου εισοδήματος δεν επαρκούν για να καλύψουν τις ελάχιστες ημερήσιες ανάγκες τους. Επιπλέον, συνήθως, αυτά τα θρεπτικά συστατικά κατανέμονται άνισα στα μέρη του φυτού. Για παράδειγμα, τα καροτενοειδή της προβιταμίνης Α υπάρχουν μόνο στα φύλλα ρυζιού και όχι στον κόκκο του. Για αυτό, ο επιτυχής εμπλουτισμός της περιεκτικότητας θρεπτικών συστατικών στα φυτά είναι, στις μέρες μας, υπό εξέταση τόσο για τη βελτίωση της υγείας όσο και για την πρόληψη ασθενειών (Μπέης, 2010) (Hirschi, 2009) (Olson et al., 2021).

Οικιακή βιοενίσχυση

Η βιοενίσχυση στο σπίτι είναι πιο δαπανηρή από την εμπορική ενίσχυση και περιλαμβάνει σκόνη μικροθρεπτικών συστατικών, σταγόνες βιταμίνης D, αναβράζοντα δισκία. Η οικιακή βιοενίσχυση είναι η προσθήκη βιταμινών και μετάλλων σε τρόφιμα που έχουν μαγειρευτεί και είναι έτοιμα για κατανάλωση. Ο ΠΟΥ υιοθέτησε τον όρο «Point-of-use» το 2012 για να αντικατοπτρίζει τα πολλά πλαίσια στα οποία μπορεί να λάβει χώρα αυτού του είδους η παρέμβαση, όπως σε σχολεία και προσφυγικούς καταυλισμούς. Το 2016, συστάθηκε ο εμπλουτισμός συμπληρωματικών τροφών σε σημείο χρήσης με σκόνες μικροθρεπτικών συστατικών (MNPs) ως βασική παρέμβαση για τη βελτίωση της πρόσληψης μικροθρεπτικών συστατικών (για τη βελτίωση των επιπέδων σιδήρου και ιδίως τη μείωση της αναιμίας) σε παιδιά ηλικίας 6-24 μηνών. (World Health Organization, 2016)

Τα MNP είναι πακέτα μιας δόσης που περιέχουν πολλαπλές βιταμίνες και μέταλλα σε μορφή σκόνης που μπορούν να πασπαλιστούν σε τρόφιμα χωρίς να επηρεάσουν τη γεύση ή το χρώμα. Ο αρχικός σκοπός των MNP ήταν να παρέχουν σίδηρο και άλλα θρεπτικά συστατικά για τη θεραπεία της αναιμίας και της έλλειψης σιδήρου, αλλά τα σκευάσματα έχουν αλλάξει έκτοτε για να καλύπτουν τις πολλαπλές ανάγκες σε θρεπτικά συστατικά των παιδιών κάτω των πέντε ετών. Επί του παρόντος, οι περισσότερες χώρες χρησιμοποιούν ένα σκεύασμα MNP 15 μικροθρεπτικών συστατικών που έχει σχεδιαστεί για να παρέχει μία συνιστώμενη πρόσληψη θρεπτικών συστατικών για κάθε μικροθρεπτικό συστατικό ανά δόση για παιδιά ηλικίας 6-59 μηνών και συνιστάται σε περιβάλλοντα όπου τα διαθέσιμα τοπικά τρόφιμα έχουν χαμηλή θρεπτική αξία, ή όταν ένα παιδί έχει μολυσματικές ασθένειες (ελονοσία, διάρροια) (Olson et al., 2021).

Ο αντίκτυπος των Εμπλουτισμένων Τροφίμων

Υγεία :

Σύμφωνα με τα στοιχεία θνησιμότητας του ΠΟΥ, περίπου 0,8 εκατομμύρια θάνατοι (1,5% του συνόλου) μπορούν να αποδοθούν σε έλλειψη σιδήρου κάθε χρόνο και παρόμοιος αριθμός στην ανεπάρκεια βιταμίνης A που καταλήγει σε σημαντικές απώλειες ανθρώπινων ζώων. Ένας

σημαντικός όγκος βιβλιογραφίας δείχνει ότι η μεγάλης κλίμακας ενίσχυση τροφίμων μπορεί να έχει θετικά οφέλη στη δημόσια υγεία τόσο σε χώρες με υψηλό βιωτικό επίπεδο , όσο και σε αυτές με χαμηλότερο.

Υπάρχουν συνεχείς συζητήσεις παγκοσμίως σχετικά με την απόδοση και την ασφάλεια των προσπαθειών εμπλουτισμού (αν η κατανάλωση εμπλουτισμένων τροφίμων με μικροθρεπτικά συστατικά μπορεί να προκαλέσει δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία λόγω της συσσώρευσης αυτών των θρεπτικών συστατικών στο ανθρώπινο σώμα). Για να διασφαλιστεί η επιτυχία του εμπλουτισμού των τροφίμων, πρέπει να καθοριστεί το ανεκτό ανώτερο επίπεδο πρόσληψης μικροθρεπτικών συστατικών. Ο ΠΟΥ πρότεινε μια μεθοδολογία για τον υπολογισμό και τον καθορισμό του ασφαλούς ανώτατου ορίου στις κατευθυντήριες οδηγίες για τον εμπλουτισμό των τροφίμων με μικροθρεπτικά συστατικά, τα οποία ποικίλλουν ανάλογα με το τοπικό πλαίσιο. Ενώ ορισμένα στοιχεία υποδηλώνουν ότι η πολλαπλή έκθεση σε μικροθρεπτικά συστατικά, συμπεριλαμβανομένων των εμπλουτισμένων τροφίμων για μεγάλο χρονικό διάστημα, μπορεί να οδηγήσει σε δυσμενείς επιπτώσεις, όταν ρυθμιστεί σωστά, ο εμπλουτισμός ενέχει ελάχιστο κίνδυνο τοξικότητας (Allen & Haskell, 2002).

	Pregnancy	Lactating mother	6-23 mo	2-5 years	5-18 years	WRA (15-49 years)	Adult men	Elderly
Micro-nutrient need	very high	very high	very high	high	moderate to high	moderate to high	low to moderate	moderate to high
Amount of food eaten	moderate	moderate	low	low, increasing with age	increases with age	moderate	high	moderate
Potential to benefit	high	high	low	low, increasing with age	increases with age	high	high	high
Potential to fully meet need	low	low	no	low, increasing with age	increases with age	high	high	high

Σχήμα 6: Διατροφικές ανάγκες διαφόρων παραδειγμάτων ατόμων κάθε ηλικίας

WRA = Women of Reproductive Age (Olson et al., 2021)

Οικονομικός:

Ο εμπλουτισμός των τροφίμων είναι μια οικονομικά αποδοτική στρατηγική για τη βελτίωση της διατροφικής κατάστασης των πληθυσμών και συνδέεται με υψηλά οικονομικά οφέλη. Αναλύσεις του Copenhagen Consensus, ενός συνεδρίου διακεκριμένων οικονομολόγων που πραγματοποιείται κάθε τέσσερα χρόνια, όπου εξετάζονται πιθανές λύσεις σε παγκόσμια ζητήματα και ιεραρχούνται με τη χρήση ανάλυσης κόστους-οφέλους ανέδειξε τον εμπλουτισμό τροφίμων με μικροθρεπτικά συστατικά ως την πιο οικονομικά αποδοτική αναπτυξιακή παρέμβαση, καθώς παρέχει σημαντικά οφέλη με χαμηλό κόστος.

Μια μελέτη σκοπιμότητας και κόστους-αποτελεσματικότητας των Hoddinott et al. το 2012, βρήκε πως η χρήση εμπλουτισμένου γάλακτος σε σκόνη για την αύξηση της πρόσληψης μικροθρεπτικών συστατικών από παιδιά αποτελεί ένα οικονομικά αποδοτικό εργαλείο για την αντιμετώπιση της έλλειψης σιδήρου. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι για την έλλειψη σιδήρου, ο εμπλουτισμός τροφίμων ήταν η πιο οικονομική μέθοδος με κόστος 66 USD ανά προσαρμοσμένα έτη ζωής, ενώ τα συμπληρώματα διατροφής είχαν εκτιμώμενο κόστος 17 USD ανά προσαρμοσμένα έτη ζωής, αντίστοιχα.

Παρά τις τεράστιες οικονομικές δυνατότητες της ενίσχυσης τροφίμων, υπάρχουν εμπόδια που καθυστερούν την εφαρμογή της σε παγκόσμια κλίμακα. Αυτοί οι περιορισμοί περιλαμβάνουν τη χαμηλή εταιρική σχέση ιδιωτικού και δημόσιου τομέα και την έλλειψη εθνικών κανονισμών για τον εμπλουτισμό των τροφίμων. Οι μικρομεσαίες επιχειρήσεις, συνήθως, λειτουργούν ως εμπόδιο για την επέκταση των προγραμμάτων εμπλουτισμού των τροφίμων, καθώς υστερούν τεχνολογικής και οικονομικής δυνατότητας. Επιπλέον, η παραγωγή πραγματοποιούνται από παραγωγούς χωρίς άδεια, αποφεύγοντας έτσι κάθε επίσημο έλεγχο και η απουσία εργαστηρίων υψηλής ποιότητας εμποδίζουν τον έλεγχο για την αξιολόγηση της ποιότητας των εμπλουτισμένων τροφίμων. (Olson et al., 2021)

Κοινωνικός:

Η Ατζέντα 2030 για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη προτείνει μια παγκόσμια συνεργασία για βιώσιμη ανάπτυξη, η οποία θα επιτευχθεί μέσω πολυμετοχικών συνεργασιών. Ο εμπλουτισμός των τροφίμων αποτελεί βασικό στοιχείο για την ενίσχυση της σχέσης δημόσιου και ιδιωτικού τομέα με ευεργετικό πολυτομεακό αντίκτυπο στην κοινωνία (Olson et al., 2021).

Η διασφάλιση του δικαιώματος στην επαρκή τροφή και υγιεινή διατροφή είναι μια περίπλοκη πρόκληση σε πολλές χώρες χαμηλού βιωτικού επιπέδου. Ιδιαίτερα στο πλαίσιο της πανδημίας COVID-19, στην οποία τα υποχρεωτικά lockdown και οι οικονομικές επιβαρύνσεις οδήγησαν σε αύξηση της επισιτιστικής ανασφάλειας και του υποσιτισμού.

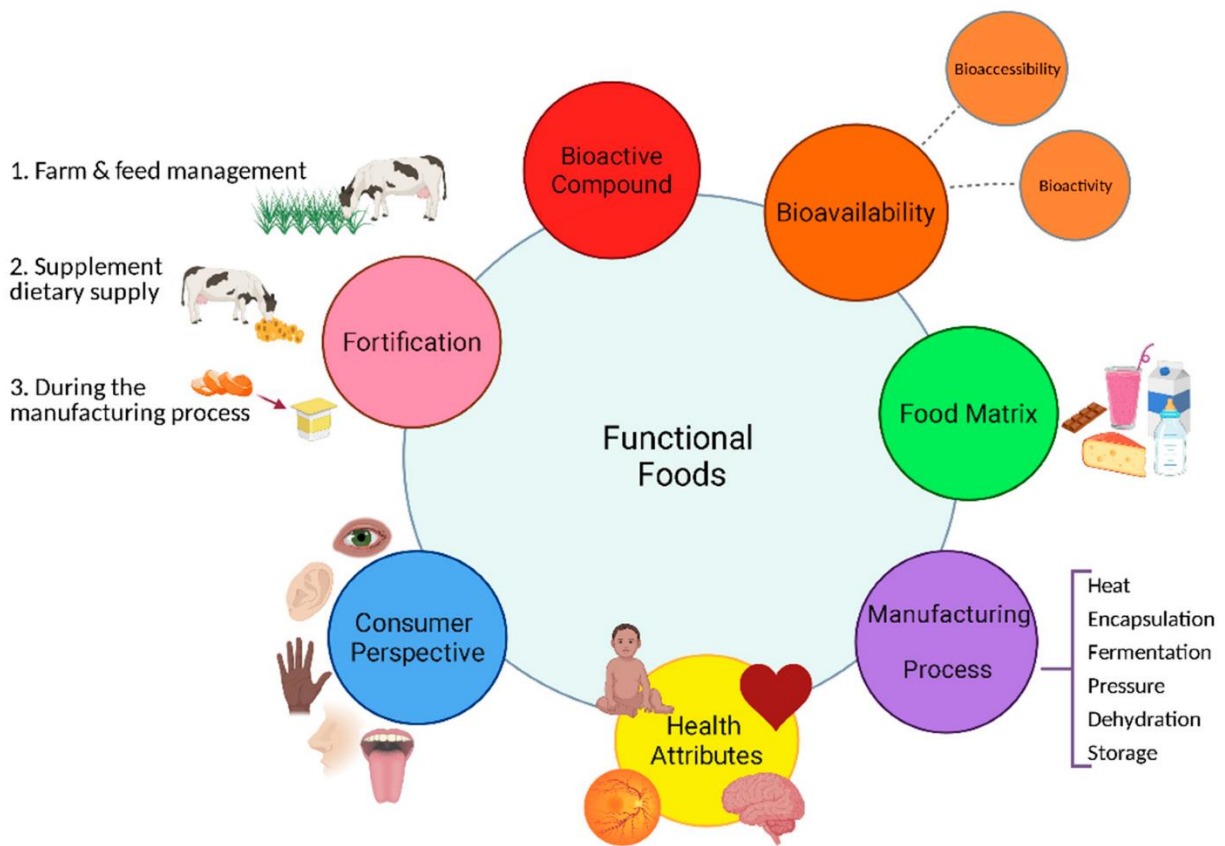
Η προσδοκία είναι, μέσω της σύμπραξης δημόσιου και ιδιωτικού τομέα, να δημιουργηθούν προγράμματα διανομής σε οικογένειες χαμηλού εισοδήματος, σχολικά προγράμματα σίτισης και επισιτιστική βοήθεια σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, ώστε να υπάρχει έμπρακτη συμβολή στην βελτίωση του υποσιτισμού και της κακής διατροφής μέσω της ενημέρωσης και της παροχής ενισχυμένων τροφίμων σε ευάλωτες ομάδες. (Fiedler et al., 2012)

Τρόφιμα ενισχυμένα με καροτενοειδή

Κατά το σχεδιασμό ενός τροφίμου εμπλουτισμένου με καροτενοειδή, πρέπει να ληφθούν υπόψη διάφοροι παράγοντες για να διασφαλιστεί η βέλτιστη προσληψη καροτενοειδών και ένα εμπορεύσιμο προϊόν διατροφής με ενισχυμένη αξία για τον καταναλωτή. Η χαμηλή βιοδιαθεσιμότητα, η διαλυτότητα και η σταθερότητα των καροτενοειδών είναι βασικές προκλήσεις που αντιμετωπίζει η βιομηχανία τροφίμων κατά την ανάπτυξη ενός εμπλουτισμένου προϊόντος διατροφής. Η βιοδιαθεσιμότητα αναφέρεται στο «κλάσμα της θρεπτικής ή βιοδραστικής ένωσης που προσλαμβάνεται και είναι διαθέσιμο για χρήση σε φυσιολογικές λειτουργίες ή για αποθήκευση». (Fernández-García et al., 2009)

Η βιοδιαθεσιμότητα διακρίνεται από τη βιοπροσβασιμότητα, η οποία είναι «το κλάσμα μιας ένωσης που απελευθερώνεται από τη μήτρα της στη γαστρεντερική οδό και έτσι καθίσταται διαθέσιμη για εντερική απορρόφηση». Η βιοπροσβασιμότητα και η βιοδραστικότητα επηρεάζεται άμεσα από τη βιοδιαθεσιμότητα των προϊόντων ενισχυμένων με καροτενοειδή in

νίνο. Προκειμένου να σχεδιαστεί ένα λειτουργικό τρόφιμο, είναι ζωτικής σημασίας η κατανόηση των προκλήσεων που συμβάλλουν στη χαμηλή βιοδιαθεσιμότητα των καροτενοειδών. Πρόσφατα δημοσιεύτηκε μια λεπτομερής ανασκόπηση σχετικά με την απορρόφηση των καροτενοειδών και των παραγόντων που περιορίζουν τη βιοδιαθεσιμότητα, συμπεριλαμβανομένων της φύσης των τροφίμων (κρέας, λαχανικά, φρούτα, κά), της αλληλεπίδρασης καροτενοειδών-θρεπτικών συστατικών και των σταδίων επεξεργασίας. (Koroc & Failla, 2018)



Σχήμα 7: Παράγοντες που χρειάζεται να ληφθούν υπόψη κατά την ανάπτυξη ενισχυμένου γαλακτοκομικού προϊόντος (Conboy Stephenson et al., 2021)

Πέψη, Απορρόφηση και Μεταβολισμός Καροτενοειδών

Για να εκτελούν τα καροτενοειδή τις βιολογικές τους λειτουργίες in vivo, αυτές οι βιοδραστικές ενώσεις πρέπει να φτάσουν με επιτυχία στον ιστό-στόχο τους μετά την κατάποση. Το πρώτο βήμα είναι η απελευθέρωση καροτενοειδών από τη στοματική κοιλότητα με μάσηση και

ενζυματική δράση στο στόμα πριν υποβληθεί σε γαλακτωματοποίηση σε σταγονίδια λιπιδίων στο στομάχι. Στη συνέχεια, τα καροτενοειδή μεταφέρονται σε μικτά μικκύλια και μεταφέρονται στην κορυφαία επιφάνεια των επιθηλιακών κυττάρων που επενδύουν τον γαστρεντερικό σωλήνα, έτοιμα για εντερική απορρόφηση (Koroc & Failla, 2018). Το τμήμα των καροτενοειδών που ενσωματώνεται σε μικτά μικκύλια και είναι έτοιμο για πρόσληψη από τα εντερικά απορροφητικά κύτταρα είναι γνωστό ως «βιοπροσβασιμότητα». Η «βιοδιαθεσιμότητα» των καροτενοειδών είναι το επίπεδο των καροτενοειδών που απορροφώνται επιτυχώς στο πλάσμα που είναι έτοιμο για χρήση από τον οργανισμό. (Xavier & Mercadante, 2019)

Μετά τη μεταφορά στο εσωτερικό του κυττάρου, τα καροτενοειδή της προβιταμίνης Α μετασχηματίζονται σε εστέρες ρετινόλης ή ρετινυλίου που συσκευάζονται σε χυλομικρά. Βέβαια, ο μηχανισμός της ενδοκυτταρικής πρόσληψης καροτενοειδών από τα χυλομικρά παραμένει ασαφής. Τα χυλομικρά εκκρίνονται στη λέμφο πριν απελευθερωθούν στο πλάσμα. Στο πλάσμα, τα χυλομικρά μειώνονται από τη λιποπρωτεϊνική λιπάση σε υπολείμματα χυλομικρών και υφίστανται πρόσληψη από τα ηπατοκύτταρα. Στο ήπαρ, τα καροτενοειδή ενσωματώνονται σε σωματίδια λιποπρωτεϊνών πολύ χαμηλής πυκνότητας (very-low-density lipoproteins, VLDL) και εκκρίνονται πίσω στο πλάσμα, όπου κυκλοφορούν ως λιποπρωτεΐνες χαμηλής πυκνότητας (low-density lipoproteins, LDL) για περιφερειακή κατανομή στον ιστό-στόχο τους μέσω υποδοχέων LDL. (Olson et al., 2021)

Τα βήματα που εμπλέκονται στη βιοπροσβασιμότητα και οι παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν τη βιοδιαθεσιμότητα των καροτενοειδών θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τον σχεδιασμό ενός εμπλουτισμένου προϊόντος διατροφής για να διασφαλιστεί ότι το βιοενεργό δυναμικό των καροτενοειδών έχει πλήρως αξιοποιηθεί. Αυτοί οι παράγοντες αντιπροσωπεύονται από το μνημονικό SLAMENGIH (**S**: species of carotenoid, είδος καροτενοειδούς **L**: molecular linkage, μοριακή σύνδεση **A**: amount consumed in a meal, ποσότητα που καταναλώνεται σε ένα γεύμα **M**: matrix used for carotenoid incorporation, μήτρα που χρησιμοποιείται για την ενσωμάτωση καροτενοειδών **E**: effectors of absorption and bioconversion, τελεστές απορρόφησης και βιομετατροπής **N**: nutrient status of the host, θρεπτική κατάσταση του ξενιστή **G**: genetic factors, γενετικοί παράγοντες **H**: host-related

factors, παράγοντες που σχετίζονται με τον ξενιστή I: interactions, αλληλεπιδράσεις). (Shilpa et al., 2020)

Παραδείγματα τροφίμων ενισχυμένων με καροτενοειδή

Αγροδιατροφικά παραπροϊόντα

Μια πολλά υποσχόμενη πηγή για την ενίσχυση, ιδιαίτερα των γαλακτοκομικών προϊόντων αποτελούν, τα τελευταία χρόνια, τα παραπροϊόντα που παράγονται κατά την επεξεργασία φρούτων και λαχανικών συχνά απορρίπτονται ως απόβλητα, παρόλο που αποτελούν πλούσια πηγή βιοδραστικών ενώσεων, συμπεριλαμβανομένων και των καροτενοειδών. Η επεξεργασία φρούτων και λαχανικών στις Ηνωμένες Πολιτείες και την Κίνα οδηγεί σε περίπου 15,0 και 32,0 εκατομμύρια τόνους απορριμμάτων, αντίστοιχα, ετησίως. Τα τελευταία χρόνια, η χρήση παραπροϊόντων φρούτων και λαχανικών, συμπεριλαμβανομένης της φλούδας, του πολτού, του πυρήνα και των σπόρων, έχει αναγνωριστεί ως μια νέα πηγή καροτενοειδών. Για παράδειγμα, η φλούδα της ντομάτας περιέχει λυκοπένιο, φυτοένιο, φυτοφλουένιο, β-καροτένιο και λουτεΐνη.

Όταν θεωρούμε τα παραπροϊόντα τροφίμων ως πηγή βιοδραστικών ενώσεων, η τεχνική εκχύλισης είναι σημαντική. Συχνά, ιδιαίτερα με λιπόφιλες ενώσεις όπως τα καροτενοειδή, χρησιμοποιούνται τοξικοί διαλύτες ως μέρος της διαδικασίας εκχύλισης. Οι τρέχουσες μελέτες προσπαθούν να στραφούν σε μη τοξικούς διαλύτες ή ακόμη και σε τεχνικές που δεν βασίζονται σε διαλύτες (ενθυλάκωση).

Υπάρχουν περιορισμένες μελέτες μέχρι σήμερα σχετικά με τον εμπλουτισμό τροφών με βάση τα γαλακτοκομικά, με καροτενοειδή από υποπροϊόντα υπολειμμάτων τροφίμων. Ωστόσο, έχει παρατηρηθεί ο εμπλουτισμός του παραδοσιακού βουτύρου της Τυνησίας με λυκοπένιο από υπολείμματα ντομάτας (φλούδα και σπόροι). Η μελέτη διαπίστωσε ότι ο εμπλουτισμός βουτύρου με 400 mg υποπροϊόντος υπολειμμάτων τομάτας ανά κιλό μείωσε τις τιμές υπεροξειδίου κατά σε διάρκεια αποθήκευσης 60 ημερών στους 4 °C. Το ενισχυμένο βούτυρο είχε βελτιωμένη διάρκεια ζωής και μείωσε την οξείδωση των λιπιδίων. Αν και, στην ίδια μελέτη, η ενίσχυση με 800 mg/kg υποπροϊόντος είχε ως αποτέλεσμα προοξειδωτική δράση. Μια μελέτη

από τους Rizk et al. το 2014 σημείωσε ότι το παγωτό εμπλουτισμένο με καροτενοειδή από υπολείμματα φλούδας ντομάτας βελτίωσε την αντιοξειδωτική του δράση. Επιπλέον, το παγωτό εμπλουτισμένο με εκχύλισμα καροτενοειδών 3% παρουσίασε βελτιωμένες βαθμολογίες κατά την αξιολόγηση (γεύση, σώμα και υφή, τήξη και χρώμα).

Όπως συζητήθηκε, η ασταθής φύση των καροτενοειδών και ο κίνδυνος αποικοδόμησης κατά την επεξεργασία οδήγησε στην ενθυλάκωση των καροτενοειδών για βελτιωμένη σταθερότητα και παροχή. Ο Šeregelj et al. ανέφερε πρόσφατα τα ενθυλακωμένα καροτενοειδή από τα απόβλητα καρότου ως συστατικό ενός προϊόντος γιαουρτιού σε συγκεντρώσεις 2,5 και 5 g ανά 100 g. Το γιαούρτι αποθηκεύτηκε για 28 ημέρες στους 4 °C και έδειξε βελτιωμένη αντιοξειδωτική δράση διατηρώντας παράλληλα τις μικροβιακές και φυσικοχημικές ιδιότητες του γιαουρτιού.

Το περιεχόμενο των παραπροϊόντων φρούτων και λαχανικών σε βιοδραστικές ενώσεις δίνει μια ευκαιρία στις βιομηχανίες γεωργίας, τροφίμων και γαλακτοκομικών προϊόντων να τα αξιοποιήσουν για την ανάπτυξη τροφίμων με προστιθέμενη θρεπτική αξία από μια πιο βιώσιμη πηγή. Αν και περιορισμένα, τα μέχρι σήμερα ευρήματα υποδηλώνουν τη δυνατότητα εμπλουτισμού των γαλακτοκομικών προϊόντων με καροτενοειδή από τα υπολείμματα τροφίμων, λόγω των αντιοξειδωτικών τους ιδιοτήτων. Ωστόσο, απαιτείται περαιτέρω έρευνα για να διαπιστωθούν τα οργανοληπτικά αποτελέσματα. Ο συνδυασμός των παραπροϊόντων αγροδιατροφής με τις τεχνικές ενθυλάκωσης είναι ένας πολλά υποσχόμενος τομέας για περαιτέρω εξέταση και μελλοντική συζήτηση στον τομέα της επιστήμης. (Στεριανού, 2022)

Βόειο γάλα

Στα γαλακτοκομικά, η περιεκτικότητα σε λιπαρά θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να αντιμετωπιστεί η χαμηλή βιοδιαθεσιμότητα που είναι συνυφασμένη με τα καροτενοειδή στα φρούτα και τα λαχανικά. Το βόειο γάλα και τα γαλακτοκομικά καταναλώνονται συχνά και αποτελούν μια δημοφιλή ομάδα τροφίμων με υψηλή προοπτική ενίσχυσης τους με καροτενοειδή.

Διατροφικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη βιοδιαθεσιμότητα σε τροφίμα με υψηλή και χαμηλή περιεκτικότητα λιπους

Τα διατροφικά συστατικά των τροφίμων μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά την απορρόφηση και τη διαθεσιμότητα των καροτενοειδών. Τα λιπίδια ενισχύουν την απορρόφηση των καροτενοειδών από τα φρούτα και τα λαχανικά που είναι χαμηλά σε λιπαρά τρόφιμα (Brown et al., 2004). Τα γαλακτοκομικά προϊόντα είναι ένας πιθανός φορέας αύξησης της πρόσληψης καροτενοειδών, λόγω της περιεκτικότητας του γάλακτος σε λιπαρά που αποτελείται από 65% κορεσμένα λιπαρά οξέα (SFA), 32% μονοακόρεστα λιπαρά (MUFA) και 3% πολυακόρεστα λιπαρά (PUFA). (Early, 2012)

Η λήψη λίπους διευκολύνει τη διαλυτοποίηση των καροτενοειδών συνοδευόμενη από την απελευθέρωση από το τροφικό πλέγμα και ενισχύει τη μικκυλοποίηση των καροτενοειδών. Επιπλέον, η πέψη των λιπιδίων παρέχει αυξημένα πεπτικά προϊόντα για τη δόμηση μικτών μικκυλίων, συμπεριλαμβανομένων των λυσοφωσfolιπιδίων, των μονογλυκεριδίων και των ελεύθερων λιπαρών οξέων. Μια μελέτη των Mashurabad et al. το 2017 εξέτασε την επίδραση της πρόσληψης φυτικών ελαίων στη μικκυλοποίηση των καροτενοειδών (λυκοπένιο, α-καροτένιο, β-καροτένιο και λουτεΐνη) σε διάφορα φρούτα και λαχανικά (καρότο, σπανάκι, φύλλα τυμπάνου και παπάγια). Οι ίδιοι ανέφεραν, ότι, η διατροφική πρόσληψη λίπους 1-2,5% είναι επαρκής για την ενίσχυση της μικκυλοποίησης των καροτενοειδών και ο κορεσμός εμφανίζεται στο 5%. Επιπλέον, το διαιτητικό λίπος παρέχει αυξημένα προϊόντα πέψης των λιπιδίων για τη συγκέντρωση χυλομικρών, ενισχύοντας τελικά τη μεταφορά καροτενοειδών στο λεμφικό σύστημα.

Ένας παράγοντας που επηρεάζει την απορρόφηση των καροτενοειδών είναι ο τύπος λιπιδίων, όσον αφορά το μήκος της αλυσίδας των λιπαρών οξέων και τον βαθμό ακορεστότητας. Η μικκυλίωση των καροτενοειδών από ορισμένα λαχανικά και φρούτα ήταν 2-3 φορές υψηλότερη σε πηγές λίπους με υψηλότερα επίπεδα ακόρεστων λιπαρών οξέων σε σύγκριση με τα SFAs. Οι Clark et al. ανέφεραν υψηλότερη απορρόφηση καροτενοειδών στο ελαιόλαδο (MUFAs) από το αραβοσιτέλαιο (PUFAs). Επιπλέον, οι Borel et al. το 1998 παρατήρησαν μειωμένη πρόσληψη β-καροτενίου και ασταξανθίνης από τα χυλομικρά, παρουσία τριγλυκεριδίων μέσης αλυσίδας, σε σύγκριση με τριγλυκερίδια μακράς αλυσίδας, υποδηλώνοντας μειωμένη έκκριση χυλομικρών

παρουσία τριγλυκεριδίων μέσης αλυσίδας. Σε μια μελέτη με σπανάκι, η βιοπροσβασιμότητα της λουτεΐνης ήταν υψηλότερη όταν συνδυάστηκε με πηγές λίπους πλούσιες σε SFAs μέσης αλυσίδας και υψηλότερη για το β-καροτένιο παρουσία MUFA μακράς αλυσίδας. Αυτά τα ευρήματα υπογραμμίζουν την επίδραση του τύπου λίπους και τον αντίκτυπο της κατηγορίας καροτενοειδών στη βιοπροσβασιμότητα (Yuan et al., 2018).

Ειδικά για τον εμπλουτισμό γαλακτοκομικών προϊόντων, θα πρέπει να αξιολογηθεί η αλληλεπίδραση της κατηγορίας και της πολικότητας των καροτενοειδών με τον τύπο και την ποσότητα του λίπους.

Καροτενοειδή στο βόειο γάλα

Τα καροτενοειδή αποθηκεύονται στο λιπιδικό κλάσμα του βοείου γάλακτος. Μόνο ένας μικρός αριθμός καροτενοειδών έχει εντοπιστεί στο βόειο γάλα, με το β-καροτένιο και τη λουτεΐνη να αντιπροσωπεύουν τα δύο κύρια καροτενοειδή. Από αυτά, το β-καροτένιο είναι το κυρίαρχο καροτενοειδές, που αποτελεί το 75-90% της συνολικής συγκέντρωσης καροτενοειδών., ενώ η ζεαξανθίνη εντοπίστηκε σε χαμηλά επίπεδα στο γάλα (Calderón et al., 2007). Η υψηλή συγκέντρωση β-καροτενίου ενισχύει τις φυσικές ιδιότητες του γάλακτος και παρέχει μια πολύτιμη πηγή βιταμίνης Α στον καταναλωτή. Στην υγεία των βοοειδών, η κατανάλωση καροτενοειδών έχει συνδεθεί με μειωμένη συχνότητα εμφάνισης αναπαραγωγικών διαταραχών μετά τον τοκετό και βελτιωμένη γονιμότητα του ζώου και υγεία του μαστού. (Conboy Stephenson et al., 2021)

Τα καροτενοειδή επηρεάζουν, επίσης, τις οργανοληπτικές ιδιότητες του βοείου γάλακτος με δύο τρόπους. Πρώτον, προσδίδουν την χαρακτηριστική κίτρινη απόχρωση που γνωρίζουμε στα γαλακτοκομικά προϊόντα. Το κίτρινο χρώμα των γαλακτοκομικών προϊόντων είναι σημαντικό όσον αφορά την προτίμηση των καταναλωτών, καθώς υποδηλώνει ένα γάλα φυσικής εκτροφής. Η προοπτική το κίτρινο χρώμα να λειτουργήσει ως βιοδείκτης για τη διαχείριση των ζωοτροφών και ως δείκτης για τη συγκέντρωση καροτενοειδών (κυρίως β-καροτενίου) έχει προταθεί, αν και άλλα ευρήματα υποδηλώνουν ότι ο χρωματικός δείκτης του πλάσματος των βοοειδών, και όχι του γάλακτος, μπορεί να είναι καλύτερος δείκτης. Δεύτερον, οι αντιοξειδωτικές ικανότητες που σχετίζονται με τα καροτενοειδή δρουν προστατευτικά έναντι της οξείδωσης του γάλακτος. Τα καροτενοειδή δρουν ως παράγοντες δέσμευσης του απλού οξυγόνου και η ικανότητά τους να

δρουν ως φίλτρα φωτός έχει αποδειχθεί στο παρελθόν. (Conboy Stephenson et al., 2021). Οι Havemose et al. το 2004 διαπίστωσαν ότι η υψηλότερη περιεκτικότητα σε καροτενοειδή σχετίζεται με χαμηλότερη οξείδωση πρωτεϊνών, η οποία έχει ως αποτέλεσμα τις αρχικές δυσάρεστες γεύσεις που αποδίδονται στην οξείδωση που προκαλείται από το φως.

Παράγοντες που επηρεάζουν την περιεκτικότητα σε καροτενοειδή στο βόειο γάλα.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το γάλα είναι μια πολύτιμη πηγή καροτενοειδών που συμβάλλουν στις θρεπτικές και οργανοληπτικές του ιδιότητες. Αυτή η ενότητα θα δώσει μια επισκόπηση των παραγόντων που επηρεάζουν και των πιθανών μηχανισμών που θα μπορούσαν να αλλάξουν τα επίπεδα καροτενοειδών του γάλακτος και των επακόλουθων γαλακτοκομικών προϊόντων σε επίπεδο εκμετάλλευσης. Είναι γνωστό ότι μια ποικιλία παραγόντων επηρεάζει τη σύνθεση του γάλακτος, συμπεριλαμβανομένης της γενετικής, της κατάστασης της υγείας της αγελάδας, του σταδίου γαλουχίας και της ισοτιμίας (O'Callaghan et al., 2019). Αυτοί οι παράγοντες έχουν, επίσης, συσχετιστεί με την επίδραση της πρόσληψης και της συγκέντρωσης καροτενοειδών στο γάλα. (Stergiadis et al., 2014)

Διατροφικές πηγές για την κατανάλωση καροτενοειδών βοοειδών

Η κατανάλωση καροτενοειδών βοοειδών εξαρτάται εξ ολοκλήρου από τη διατροφή, η οποία βασίζεται, κυρίως, στη χορτονομή. Μέχρι σήμερα, έχουν εντοπιστεί λιγότερα από 10 καροτενοειδή που σχετίζονται με τις ζωοτροφές (Nozière et al., 2006). Αυτά περιλαμβάνουν τα ισομερή β-καροτενίου, 13-cis και all-trans, επιπλέον των 5 της κατηγορίας ξανθοφύλλης, βιολαξανθίνη, ανθραξανθίνη, λουτεΐνη, ζεαξανθίνη και επιλουτίνη, που το καθένα αντιπροσωπεύει 4%, 11%, 14%, 3%, 49 %, 10% και 9% της συνολικής περιεκτικότητας σε καροτενοειδή, αντίστοιχα. Τα επίπεδα καροτενοειδών ποικίλλουν ανάλογα με τους τύπους βοτάνων. Ο Elgersma και οι συνεργάτες του το 2013 ανέφεραν διαφορές στην περιεκτικότητα σε καροτενοειδή μεταξύ των τύπων ζωοτροφών που κυμαίνονταν από 129 έως 206 mg/kg DM για τη λουτεΐνη και 26 έως 61 mg/kg DM για τη β-καροτενιο. Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την περιεκτικότητα σε καροτενοειδή της χορτονομής είναι το λίπασμα, η αναλογία φύλλων προς κοτσάνι, το ύψος κοπής, η ημερομηνία συγκομιδής και η ωριμότητα. Επομένως, η επιλογή

ζωοτροφών και η διαχείριση των ζωοτροφών μπορούν να επηρεάσουν έντονα το επίπεδο της πρόσληψης καροτενοειδών και επομένως την απόδοση καροτενοειδών στο βόειο γάλα.

Βιοπροσβασιμότητα

Μέχρι σήμερα, οι πληροφορίες για τη βιοπροσβασιμότητα των καροτενοειδών στα γαλακτοκομικά προϊόντα είναι περιορισμένες αλλά ελπιδοφόρες.

Οι Xavier & Mercadante το 2019 διερεύνησαν την *in vitro* βιοπροσβασιμότητα των εστέρων λουτεΐνης στο γάλα και το γιαούρτι. Οι εστέρες λουτεΐνης προστέθηκαν σε πλήρες, ημιαποβουτυρωμένο και αποβουτυρωμένο γάλα. Η μελέτη ανέφερε παρόμοια ευρήματα τόσο για το γάλα όσο και για τα προϊόντα γιαουρτιού. Η βιοπροσβασιμότητα της λουτεΐνης ήταν 38,3–47,5% σε ολόκληρα και ημιαποβουτυρωμένα γαλακτοκομικά προϊόντα, με σημαντικά χαμηλότερη προσβασιμότητα στα αποβουτυρωμένα προϊόντα (17,8%). Επιπλέον, χαμηλά επίπεδα μικκυλίωσης καροτενοειδών παρατηρήθηκαν στο αποβουτυρωμένο γάλα (19,7%) σε σύγκριση με το πλήρες και το ημιαποβουτυρωμένο, 46,5% και 45,8%, αντίστοιχα. Οι συγγραφείς πρότειναν μια ελάχιστη απαίτηση λίπους 1,55% για τη μικκυλοποίηση και την απορρόφηση των καροτενοειδών. Ομοίως, όταν ο λωτός προστέθηκε στο γιαούρτι ως πηγή καροτενοειδών, η βιοπροσβασιμότητα βελτιώθηκε κατά 21% παρουσία υψηλότερης περιεκτικότητας σε λιπαρά (3,6% έναντι της αρχικής που ήταν 0,25%). Από την άλλη, παρουσία πλήρους γάλακτος, τα καροτενοειδή της προβιταμίνης Α είχαν βιοπροσβασιμότητα 38%. Αυτό υπογραμμίζει τη δυνατότητα συνδυασμού φρούτων πλούσιων σε καροτενοειδή με γαλακτοκομικά προϊόντα για ένα ενισχυμένο προϊόν διατροφής. Επιπλέον, αναφέρθηκε βελτιωμένη βιοπροσβασιμότητα των ολικών καροτενοειδών και του β-καροτενίου, της β-κρυπτοξανθίνης, της ζεαξανθίνης και της λουτεΐνης σε συνδυασμό πλήρους γάλακτος-χυμού φρούτων.

Σε μια παρόμοια μελέτη, οι Rodríguez-Roque et al. το 2016 παρατήρησαν ότι ένας συνδυασμός χυμού φρούτου-πλήρους γάλακτος είχε υψηλότερη βιοπροσβασιμότητα (23,5%), έναντι των υποκαταστατών με βάση την σόγια(15,9%) ή το νερό(12,9%). Και πάλι, αυτό πιθανότατα οφείλεται στην υψηλότερη περιεκτικότητα σε λιπαρά σε μια μήτρα τροφίμων με βάση το γάλα (3,6%), σε σύγκριση με τη σόγια (1,6%) και το νερό (0%). Συνολικά, οι μέχρι σήμερα μελέτες καταδεικνύουν καλή βιοπροσβασιμότητα των καροτενοειδών σε μια μήτρα τροφίμων με βάση τα γαλακτοκομικά, που κυμαίνεται από 23,5 έως 47,5%. Τα ευρήματα υποδηλώνουν ότι η μέρος

λιπιδίων των γαλακτοκομικών είναι ένας βασικός παράγοντας που συμβάλλει στη βελτίωση της βιοπροσβασιμότητας των καροτενοειδών.

Σταθερότητα

Η σταθερότητα των καροτενοειδών στα γαλακτοκομικά προϊόντα προκαλεί ανησυχίες κατά το σχεδιασμό και την εμπορία ενός εμπλουτισμένου προϊόντος διατροφής. Είναι σημαντικό τα επίπεδα των καροτενοειδών να παραμένουν σταθερά κατά την αποθήκευση πριν από την κατανάλωση και να μην επηρεάζονται οι οργανοληπτικές τους ιδιότητες.

Σε μια μελέτη των Argana et al. το 2006 σε γιαούρτι φράουλα αποδείχθηκε ότι έως και 3 mg λουτεΐνης μπορούν να ενσωματωθούν σε μια μερίδα 170 g γιαουρτιού χωρίς καμία σημαντική αλλαγή στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του εμπλουτισμένου προϊόντος. Επιπλέον, οι φυσικοχημικές ιδιότητες, συμπεριλαμβανομένου του pH, του ιξώδους, της γεύσης και της υφής παρέμειναν αμετάβλητες. Ο Domingos και οι συνεργάτες του, το 2014, απέδειξαν ότι η λουτεΐνη που προστέθηκε στο γιαούρτι παρέμεινε σταθερή κατά την αποθήκευση για 35 ημέρες σε θερμοκρασίες ψύξης. Επιπλέον, η λουτεΐνη προστάτευσε το προϊόν γιαουρτιού από φωτοοξείδωση κατά την αποθήκευση και σημείωσε καλή βαθμολογία κατά την οργανοληπτική αξιολόγηση. Τα ευρήματα δείχνουν ότι η λουτεΐνη είναι σταθερή ως μέρος ενός ενισχυμένου προϊόντος γιαουρτιού. Έχει, επίσης, αξιολογηθεί η ενσωμάτωση λουτεΐνης στο τυρί. Λουτεΐνη προστέθηκε στο τυρί Cheddar σε 1, 3 και 6 mg ανά μέγεθος μερίδας (28 g). Δεν παρατηρήθηκε αποικοδόμηση λουτεΐνης σε χρονικό διάστημα πάνω από 24 εβδομάδων στους 4,5 °C, επιβεβαιώνοντας τη σταθερότητα της λουτεΐνης κατά τη διαδικασία ωρίμανσης. Παρόλο που δεν παρατηρήθηκαν διαφορές στο σώμα/υφή και στο χρώμα κατά τον οργανοληπτικό έλεγχο, η ενίσχυση με λουτεΐνη είχε ως αποτέλεσμα μια ξεχωριστή πικρή γεύση και αλλαγές στην εμφάνιση του τελικού προϊόντος (Jones et al., 2005).

Αυτά τα ευρήματα υποδηλώνουν ότι ο εμπλουτισμός των γαλακτοκομικών προϊόντων με λουτεΐνη είναι βιώσιμος και υποδηλώνει ότι είναι ένα ιδανικό μέσο για τον συνεπή εμπλουτισμό της διατροφής του καταναλωτή. Ωστόσο, τα οργανοληπτικά αποτελέσματα μπορεί να αποτελούν πρόκληση για το μάρκετινγκ. Οι οργανοληπτικές αλλαγές φαίνεται να είναι λιγότερο αισθητές στο εμπλουτισμένο γιαούρτι από ότι στο τυρί και πάλι, όμως, οι προκλήσεις που προκύπτουν από τις αλλαγές στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά τους είναι εμφανείς και πρέπει

να ξεπεραστούν για να διασφαλιστεί το ενδιαφέρον των καταναλωτών (Morelli & Rodriguez-Concepcion, 2022).

Δυνατότητα ενθυλάκωσης στα γαλακτοκομικά

Η τεχνική της ενθυλάκωσης χρησιμοποιείται ευρέως σε πολλούς τομείς, ιδιαίτερα στη βιομηχανία τροφίμων (Higuera-Ciara et al, 2004). Η διαδικασία περιλαμβάνει την επικάλυψη ή την παγίδευση στερεών, υγρών ή αερίων σωματιδίων σε λεπτές μεμβράνες χρησιμοποιώντας διάφορους παράγοντες ενθυλάκωσης (Gonçalves et al, 2016). Κατά τη διάρκεια της ενθυλάκωσης, τα συστατικά στοιχεία του πυρήνα περιβάλλονται από έναν τοίχο, ο οποίος λειτουργεί ως φυσικό εμπόδιο για την προστασία τους από εξωτερικούς παράγοντες.

Τα σωματίδια που λαμβάνονται ονομάζονται μικροκάψουλες. Οι περισσότερες μικροκάψουλες είναι μικρές σφαίρες με διαμέτρους που κυμαίνονται μεταξύ μικρομέτρων και χιλιοστών. Τα μεγέθη και τα σχήματα των μικροσωματιδίων εξαρτώνται από τα υλικά και τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή τους (Gharsallaoui et al. 2007). Ορισμένες μικροκάψουλες μπορεί να έχουν πολλαπλούς παράγοντες μικροενθυλάκωσης που σχηματίζουν διαφορετικά τοιχώματα με διαφορετικές χημικές και φυσικές ιδιότητες (Botelho et al. 2007).

Ο de Campo et al. το 2019 εξέτασαν την επίδραση της νανοενθυλάκωσης καρροτενοειδών (νανοσωματίδια και νανογαλακτώματα) στη σταθερότητα και τις οργανοληπτικές ιδιότητες του γιαουρτιού. Η ομάδα έδειξε ότι τα νανοσωματίδια ζεαξανθίνης παρέμειναν σταθερά κατά την αποθήκευση. Τα νανοσωματίδια ζεαξανθίνης είχαν μεγαλύτερη κατακράτηση (περίπου 22%), σε σχέση με τα νανογαλακτώματα ζεαξανθίνης που βρέθηκαν περίπου στο 16%. Καμία προσέγγιση δεν επηρέασε αρνητικά τις οργανοληπτικές ή φυσικοχημικές ιδιότητες του γιαουρτιού. Ομοίως, το γιαούρτι εμπλουτισμένο με εκχύλισμα καρροτενοειδών από πεπόνι ενθυλακωμένο σε ζελατίνη χοίρου έδειξε σταθερότητα στο β-καροτένιο κατά την αποθήκευση. Επίπλέον, η ενθυλάκωση του β-καροτενίου στη ζελατίνη προήγαγε τη διαλυτότητα των καρροτενοειδών και συνέβαλε σε ένα θετικά αντιληπτό κίτρινο χρώμα στο γιαούρτι. Η χρήση υδατοδιαλυτού β-καροτενίου και μιας σκόνης β-καροτενίου που έχει ξηρανθεί με ψεκασμό σε γιαούρτι και πουτίγκα απέδειξε την διαφορά ικανότητας απορρόφησης του καρροτενοειδούς από τα δύο προϊόντα. Λόγω των υλικών του πυρήνα των προϊόντων, η μικυλλοποίηση

ευνοούταν και για τις δύο μορφές στην πουτίγκα (13,1% και 17%, αντίστοιχα), από ότι στο γιαούρτι (0,8% και 5,5%, αντίστοιχα).

Η επίδραση της επεξεργασίας στα ενισχυμένα με καροτενοειδή γαλακτοκομικά τρόφιμα

Τα γαλακτοκομικά προϊόντα υποβάλλονται σε διάφορα στάδια παραγωγής και μεταποίησης ανάλογα με το τελικό προϊόν. Η διαδικασία παρασκευής μπορεί να αλλάξει τη εσωτερική δομή των τροφίμων, επηρεάζοντας τη διατήρηση βιοδραστικών ενώσεων (συμπεριλαμβανομένων των καροτενοειδών) στο τρόφιμο και τη βιοπροσβασιμότητά τους.

Στα ημι-υγρά γαλακτοκομικά προϊόντα, η περιεκτικότητα σε καροτενοειδή φυσικής προέλευσης είχε υψηλά επίπεδα συσσώρευσης στο γιαούρτι (περίπου 92%), και παρόμοια υψηλά επίπεδα παρατηρήθηκαν για την κρέμα, το βουτυρόγαλα και την κρέμα γάλακτος. Επιπλέον, 100% συσσώρευση παρατηρήθηκε στο παστεριωμένο γάλα με πλήρη λιπαρά. Ο εμπλουτισμός του γιαουρτιού με λυοφιλοποιημένη παπάγια και εκχύλισμα πεπονιού ως πηγή καροτενοειδών δεν επηρεάστηκε από τη ζύμωση, αλλά σημείωσε μείωση 20-27% μετά την παστερίωση. Η συσσώρευση των καροτενοειδών στα γαλακτοκομικά προϊόντα φαίνεται να είναι μεγαλύτερη στα ημί-υγρά γαλακτοκομικά προϊόντα και στο μαλακό τυρί σε αντίθεση με το σκληρό τυρί. Αυτό πιθανότατα οφείλεται στις συνθήκες επεξεργασίας.

Στο βόειο γάλα εμπλουτισμένο με λουτεΐνη, διερευνήθηκε η επίδραση της επεξεργασίας σε εξαιρετικά υψηλή θερμοκρασία (UHT) και βραχυχρόνιας υψηλής θερμοκρασίας (HTST) στην περιεκτικότητα σε λουτεΐνη. Ευρήματα των Wang et al. , το 2018, έδειξαν μικρή επίδραση του HTST στην περιεκτικότητα σε λουτεΐνη του γάλακτος, ενώ το UHT είχε ως αποτέλεσμα μείωση κατά 8%. Η μείωση αμβλύθηκε όταν προστέθηκε λουτεΐνη σε συνδυασμό με βιταμίνη E. Ωστόσο, εξακολουθούσαν να παρατηρούνται απώλειες 5%. Οι μέθοδοι με βάση τη θερμότητα χρησιμοποιούνται ευρέως για την επεξεργασία γαλακτοκομικών προϊόντων καθώς είναι αποτελεσματικές κατά των μικροοργανισμών. Όμως, αυτές οι επεξεργασίες μεταβάλλουν τις θρεπτικές και οργανοληπτικές ιδιότητες των προϊόντων διατροφής, επομένως εξετάζονται εναλλακτικές λύσεις που δεν είναι θερμικές. (Wang et al., 2018)

Η επεξεργασία υψηλής πίεσης (HPP) και η επεξεργασία με παλμικά ηλεκτρικά πεδία υψηλής έντασης (HIPEF) ενισχυμένου ροφήματος έδειξαν πολλά υποσχόμενα αποτελέσματα, με

μεγαλύτερη βιοπροσβασιμότητα καροτενοειδών από τη θερμική επεξεργασία. Η θερμική επεξεργασία είχε ως αποτέλεσμα μειώσεις της βιοπροσβασιμότητας έως και 63%, ανεξάρτητα από το είδος ροφήματος (γάλα, σόγια ή νερό). Ένω, η επεξεργασία με HIPEF ενός ενισχυμένου ροφήματος με βάση το γάλα αύξησε τη βιοπροσβασιμότητα των καροτενοειδών κατά 15%. Ωστόσο, σε ένα ρόφημα με βάση το νερό, και οι τρεις επεξεργασίες κατέληξαν σε μειώσεις, επηρεάζοντας την σημασία της προέλευσης του ροφήματος. (Rodríguez-Roque, M.J. *et al.*, 2016)

Συμπερασματικά, αφού τα λειτουργικά τρόφιμα υποβάλλονται, κατ' αρχήν, σε διάφορα στάδια επεξεργασίας και η επίδραση της στην περιεκτικότητα των τροφίμων σε καροτενοειδή ποικίλλει, απαιτείται κατά το σχεδιασμό ενός εμπλουτισμένου τροφίμου, να ελέγχεται και να εξετάζεται η σταθερότητα των καροτενοειδών και η επακόλουθη βιοδιαθεσιμότητα τους.

Food Matrix	Carotenoid	Processing Technique	Carotenoid Retention (%)
Gouda cheese	β-Carotene	Cheese making (initial 12 days)	↓ 62%
		Ripening (26 weeks)	↓ 9%
Edammer cheese	β-Carotene	Cheese making (initial 12 days)	↓ 30%
		Ripening (20 weeks)	↓ 60%
Prato cheese	Lutein	Prato cheese making (after milk pasteurization and at milk coagulation)	↓ <10%
Cheddar cheese	Lutein	Ripening (24 weeks)	x
Yogurt	β-Carotene, β-Cryptoxanthin, Lycopene	Pasteurization	↓ 20–27%
		Fermentation	↓ <3%
Milk	Lutein	HTST	↓ <3%
		UHT	↓ 8%
Milk	Lutein + Vitamin E	HTST	↓ <3%
		UHT	↓ 3%
Milk	β-Carotene	Pasteurization	x

(↓) indicates reduction. (x) indicates no change, 100% retention. HTST = High-temperature short-time. UHT = Ultra-high-temperature.

Εικόνα 1: Η επίδραση της επεξεργασίας στην περιεκτικότητα σε καροτενοειδή των γαλακτοκομικών προϊόντων.

Ανθρώπινο γάλα

Σε αντίθεση με το βόειο γάλα, υπάρχει μεγαλύτερη ποικιλία καροτενοειδών που είναι πιο ομοιόμορφα κατανεμημένα στο ανθρώπινο γάλα. Στο ανθρώπινο γάλα, τα κύρια καροτενοειδή είναι η λουτεΐνη, η ζεαξανθίνη, το β-καροτένιο, το λυκοπένιο, το α-καροτένιο και η β-κρυπτοξανθίνη. Τα καροτενοειδή αποθηκεύονται στο κλάσμα λίπους. Το πρωτόγαλα έχει 5 φορές μεγαλύτερη συγκέντρωση καροτενοειδών από το ώριμο γάλα. (Azeredo & Trugo, 2008) Όπως και στους ενήλικες, η κατανάλωση καροτενοειδών έχει συνδεθεί με μια σειρά από οφέλη για την υγεία στα βρέφη. Συνολικά, το 50% της περιεκτικότητας σε καροτενοειδή στο γάλα έχει δράση προβιταμίνης Α (α-καροτενιο, β-καροτενιο και β-κρυπτοξανθίνη) (Canfield et al., 2003). Η λουτεΐνη και η ζεαξανθίνη έχουν εμπλακεί στην οφθαλμική ανάπτυξη. Έχει αποδειχθεί μια συσχέτιση μεταξύ της βρεφικής ζεαξανθίνης και της οπτικής πυκνότητας της βρεφικής χρωστικής της ωχράς κηλίδας. Πιο πρόσφατα, η λουτεΐνη έχει αναγνωρισθεί ως το κυρίαρχο (59%) καροτενοειδές στον εγκέφαλο των βρεφών. Επιπλέον, τα επίπεδα λουτεΐνης ήταν πολύ χαμηλότερα στα πρόωρα βρέφη, υποδηλώνοντας συσσώρευση λουτεΐνης στον εγκέφαλο κατά τα τελευταία στάδια ωρίμανσης στη μήτρα. (Vishwanathan et al., 2014)

Βρεφική φόρμουλα

Όταν απαιτείται διατροφή με βρεφική φόρμουλα, είναι σημαντικό η διατροφική σύνθεση της φόρμουλας να μιμείται εκείνη του ανθρώπινου γάλακτος. Οι συγκεντρώσεις καροτενοειδών στα μη εμπλουτισμένα παρασκευάσματα για βρέφη ποικίλλουν, αλλά είναι κυρίως χαμηλές και δεν μιμούνται επιτυχώς το μητρικό γάλα. Οι Sommerburg et al. , το 2000, ανέφεραν ότι η περιεκτικότητα σε καροτενοειδή των βρεφικών παρασκευασμάτων ήταν πολύ χαμηλότερη από αυτή του ανθρώπινου γάλακτος. Μόνο τέσσερα από τα οκτώ παρασκευάσματα φόρμουλας που εξετάστηκαν είχαν περιεκτικότητα σε καροτενοειδή, με β-καροτένιο σε τέσσερα και β-κρυπτοξανθίνη σε τρία.

Τα χαμηλά επίπεδα καροτενοειδών στα παρασκευάσματα αντανακλώνονται στο πλάσμα των βρεφών. Τα βρέφη που τρέφονταν με φόρμουλα είχαν μέση συγκέντρωση καροτενοειδών στο πλάσμα 14 μg/L σε σύγκριση με υψηλότερα επίπεδα κατά τη γέννηση 24 μg/L ή στο πλάσμα των βρεφών που θηλάζονταν, στα 32 μg/L. Είναι προφανές ότι η συμπερίληψη καροτενοειδών κατά

τον σχεδιασμό του βρεφικού γάλακτος δεν λαμβάνεται πάντα υπόψη. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε χαμηλότερη πρόσληψη και συσσώρευση καροτενοειδών σε βρέφη που τρέφονται με γάλα φόρμουλας. (Lipkie et al., 2014)

Κατά την ανάπτυξη ενισχυμένης φόρμουλας είναι σημαντικό, λοιπόν, να είναι αντιπροσωπευτική της θρεπτικής σύνθεσης του μητρικού γάλακτος. Τα κύρια καροτενοειδή που ενδιαφέρουν για τη βελτιστοποιημένη βρεφική διατροφή είναι αυτά με δράση προβιταμίνης A ή οι ξανθοφύλλες, η λουτεΐνη και η ζεαξανθίνη, λόγω της σημασίας τους στην οφθαλμική και νευρική ανάπτυξη. Γνωρίζοντας, λοιπόν, τον δυνητικό ρόλο που διαδραματίζει η βρεφική φόρμουλα στην ανάπτυξη των βρεφών, παρουσιάζεται εμφανώς η ανάγκη εξέτασης της ενίσχυσης της. (Health, 2022)

Βιοπροσβασιμότητα και βιοδιαθεσιμότητα του ενισχυμένου παρασκευάσματος για βρέφη

Τόσο το μητρικό γάλα όσο και το ενισχυμένο με λουτεΐνη βρεφική φόρμουλα έχουν παρόμοια βιοπροσβασιμότητα, 29% και 36%, αντίστοιχα. Ωστόσο, η βιοδιαθεσιμότητα του ανθρώπινου γάλακτος ήταν 4 φορές μεγαλύτερη από την ενισχυμένη με λουτεΐνη φόρμουλα (Lipkie et al., 2014). Για αυτό οι Bettler et al., το 2009, προτείνουν ότι το ενισχυμένο βρεφικό γάλα χρειάζεται 4 φορές τα επίπεδα λουτεΐνης που παρατηρούνται στο ανθρώπινο γάλα για να έχει παρόμοια επίπεδα κυκλοφορίας στο βρεφικό πλάσμα. Παρόλο που η επιτυχής ενίσχυση του βρεφικού γάλακτος με καροτενοειδή έχει αποδειχθεί, το βρεφικό γάλα έχει χαμηλότερη βιοδιαθεσιμότητα από το μητρικό γάλα. Αυτό θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τον σχεδιασμό μιας φόρμουλας που στο σκοπός της είναι να αντικατοπτρίζει τη θρεπτική αξία του μητρικού γάλακτος. Οι ακριβείς μηχανισμοί που ευθύνονται για την υψηλότερη βιοδιαθεσιμότητα του ανθρώπινου γάλακτος παραμένουν ασαφείς. Ίσως, συγκεκριμένα θρεπτικά συστατικά ή παράγοντες μοναδικοί για το μητρικό γάλα διευκολύνουν τη βελτιστοποιημένη απορρόφηση και μεταφορά των καροτενοειδών.

Οι μελέτες ανάπτυξης είναι το κλειδί για την αξιολόγηση της κλινικής καταλληλότητας του βρεφικού γάλακτος και θα πρέπει να παρακολουθούν το βάρος, το ύψος και την πρόσληψη τροφής. Μια μελέτη των Rubin et al. το 2011, στην οποία έγινε ενίσχυση μιας βρεφικής φόρμουλας με β-καροτενιο, λυκοπένιο και λουτεΐνη, έδειξε ότι η ενισχυμένη φόρμουλα ήταν ασφαλής και αποτελεσματική για την ανάπτυξη των βρεφών.

Σαφώς, ο εμπλουτισμός του βρεφικού γάλακτος με καροτενοειδή μπορεί να παράγει ένα παρασκεύασμα φόρμουλας που είναι ασφαλές και αποτελεσματικό. Παρόλα αυτά απαιτούνται περαιτέρω κλινικές αξιολογήσεις για να επιβεβαιωθούν τα πιθανά οφέλη για την υγεία των καροτενοειδών κατά την ανάπτυξη του βρέφους. (Conboy Stephenson et al., 2021)

Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας, η παρούσα εργασία υποδεικνύει την μεγάλη προοπτική, αλλά, και αναγκαιότητα ανάπτυξης ενισχυμένων προϊόντων με καροτενοειδή, λόγω της αποδεδειγμένης ευεργετικής δράσης των ενώσεων αυτών στην υγεία ατόμων κάθε ηλικίας, καθώς και την ευκολία απορρόφησης τους από τον ανθρώπινο οργανισμό. Παραπάνω, αναλυθηκαν 3 τρόποι ενίσχυσης τροφίμων, (α) την μεγάλης κλίμακας ενίσχυση τροφίμων, η οποία συνιστά την προσθήκη θρεπτικών συστατικών κατά την επεξεργασία μετά την συγκομιδή, (β) την βιοενίσχυση, κατά την οποία τα επιλεγμένα θρεπτικά συστατικά παρέχονται απεύθειας στις καλλιέργειες, μέσω ενισχυμένων λιπασμάτων και, τέλος, (γ) την οικιακή βιοενίσχυση, η οποία περιλαμβάνει την ενίσχυση τροφών μέσω σκόνης μικροθρεπτικών συστατικών, σταγονών ή αναβραζώντων δισκίων.

Η πλειονότητα των μελετών έχει επικεντρωθεί στον εμπλουτισμό των τροφίμων στην φάση της παραγωγής. Αυτή η στρατηγική έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να ενσωματώσει το επιλεγμένο καροτενοειδές με ελεγχόμενο και ποσοτικοποιημένο τρόπο. Όπως αναφέραμε, αυτός ο μηχανισμός μπορεί να βελτιστοποιηθεί περαιτέρω με τη συμπερίληψη τεχνικών ενθυλάκωσης ή ανάκτησης καροτενοειδών από τα παραπροϊόντα αγροδιατροφικών προϊόντων, έχοντας, έτσι, επιπρόσθετα εμφανή πλεονεκτήματα οικονομικής και περιβαλλοντικής φύσεως.

Ωστόσο, υπάρχουν περιορισμένες, μέχρι σήμερα, μελέτες σχετικά με την εξασφάλιση της βιοπροσβασιμότητας, τη βιοδιαθεσιμότητας και τη σταθερότητας μετά την επεξεργασία. Επομένως, οι μελλοντικές επιστημονικές μελέτες θα πρέπει να καθορίσουν την επαρκή δοσολογία, το βέλτιστο σύστημα χορήγησης και να επαληθεύσουν τη σταθερότητα και την ασφάλεια των εμπλουτισμένων με καροτενοειδή τροφίμων για κάθε προϊόν ξεχωριστά. Έτσι πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν η μοναδικότητα του κάθε προϊόντος και να προσαρμόζονται οι μέθοδοι και οι φάσεις εμπλουτισμού, καθώς και οι απαιτούμενες συνθήκες παρασκευής και επεξεργασίας τους.

Αυτή η ανασκόπηση υπογραμμίζει την προοπτική ανάπτυξης μιας βρεφικής φόρμουλας που να είναι συγκρίσιμη αυτής του ανθρώπινου γάλακτος διατηρώντας παράλληλα την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητα της φόρμουλας, εξασφαλίζοντας μια καλύτερη υγεία στον άνθρωπο

από τα πρώτα κιόλας βήματα του, και προσδοκώντας με την βοήθεια των ενισχυμένων τροφών για ενηλίκους, στην διατήρηση της ποιότητας όλης της ζωής του.

Βιβλιογραφία

1. Agarwal, S. and Rao, A.V. (2000) *Tomato Lycopene and its role in human health and chronic diseases*, *CMAJ*. CMAJ. Available at: <https://www.cmaj.ca/content/163/6/739> .
2. Agarwal, S. and Rao, A.V. (2000) "Carotenoids and chronic diseases," *Drug Metabolism and Drug Interactions*, 17(1-4). Available at: <https://doi.org/10.1515/dmdi.2000.17.1-4.189>.
3. Allen, L.H. and Haskell, M. (2002) *Estimating the potential for vitamin A toxicity in women and young children*, OUP Academic. Oxford University Press. Available at: <https://academic.oup.com/jn/article/132/9/2907S/4687703> .
4. Aryana, K.J. *et al.* (2006) "Lutein is stable in strawberry yogurt and does not affect its characteristics," *Journal of Food Science*, 71(6). Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2006.00080.x>.
5. Azeredo, V.B. and Trugo, N.M.F. (2008) "Retinol, carotenoids, and tocopherols in the milk of lactating adolescents and relationships with plasma concentrations," *Nutrition*, 24(2), pp. 133–139. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.nut.2007.10.011>.
6. Berry, L. (2016) "Skin cancer," *Nursing Standard*, 31(11), pp. 15–15. Available at: <https://doi.org/10.7748/ns.31.11.15.s16>.
7. Bettler, J. *et al.* (2009) "Serum lutein concentrations in healthy term infants fed human milk or infant formula with lutein," *European Journal of Nutrition*, 49(1), pp. 45–51. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00394-009-0047-5>.
8. Bohn, T. *et al.* (2021) "Mechanistic aspects of carotenoid health benefits – where are we now?," *Nutrition Research Reviews*, 34(2), pp. 276–302. Available at: <https://doi.org/10.1017/s0954422421000147>.
9. Bonet ML, Canas JA, Ribot J *et al.* (2016) Carotenoids in adipose tissue biology and obesity. *Subcell Biochem* 79, 377–414.
10. Borel, P. *et al.* (1998) "Chylomicron β -carotene and retinyl palmitate responses are dramatically diminished when men ingest β -carotene with medium-chain rather than long-chain triglycerides ," *The Journal of Nutrition*, 128(8), pp. 1361–1367. Available at: <https://doi.org/10.1093/jn/128.8.1361>.

11. Brown, M.J. *et al.* (2004) "Carotenoid bioavailability is higher from salads ingested with full-fat than with fat-reduced salad dressings as measured with electrochemical detection," *The American Journal of Clinical Nutrition*, 80(2), pp. 396–403. Available at: <https://doi.org/10.1093/ajcn/80.2.396>.
12. Calderón, F. *et al.* (2007) "Variations in carotenoids, vitamins A and E, and color in cow's plasma and milk following a shift from hay diet to diets containing increasing levels of carotenoids and vitamin E," *Journal of Dairy Science*, 90(12), pp. 5651–5664. Available at: <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0264>.
13. Canfield, L.M. *et al.* (2003) "Multinational study of major breast milk carotenoids of healthy mothers," *European Journal of Nutrition*, 42(3), pp. 133–141. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00394-003-0403-9>.
14. Conboy Stephenson, R., Ross, R.P. and Stanton, C. (2021) "Carotenoids in milk and the potential for dairy based functional foods," *Foods*, 10(6), p. 1263. Available at: <https://doi.org/10.3390/foods10061263>.
15. De Campo, C. *et al.* (2019) "Incorporation of zeaxanthin nanoparticles in yogurt: Influence on physicochemical properties, carotenoid stability and sensory analysis," *Food Chemistry*, 301, p. 125230. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125230>.
16. Domingos, L.D. *et al.* (2014) "Oxidative stability of yogurt with added lutein dye," *Journal of Dairy Science*, 97(2), pp. 616–623. Available at: <https://doi.org/10.3168/jds.2013-6971>.
17. Early, R. (2012) "Dairy products and milk-based food ingredients," *Natural Food Additives, Ingredients and Flavourings*, pp. 417–445. Available at: <https://doi.org/10.1533/9780857095725.2.417>.
18. Elgersma, A., Sjøgaard, K. and Jensen, S.K. (2013) "Fatty acids, α -tocopherol, β -carotene, and lutein contents in forage legumes, forbs, and a grass–clover mixture," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(49), pp. 11913–11920. Available at: <https://doi.org/10.1021/jf403195v>.
19. Fernández-García, E., Carvajal-Lérida, I. and Pérez-Gálvez, A. (2009) "In Vitro bioaccessibility assessment as a prediction tool of nutritional efficiency," *Nutrition*

- Research*, 29(11), pp. 751–760. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2009.09.016>.
20. Fiedler, J.L. *et al.* (2012) *Indian social safety net programs as platforms for ... - sage journals*. Available at: <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/156482651203300102> .
21. Fiedor, J. and Burda, K. (2014) “Potential role of carotenoids as antioxidants in human health and disease,” *Nutrients*, 6(2), pp. 466–488. Available at: <https://doi.org/10.3390/nu6020466>.
22. Gharsallaoui, A., G. Roudaut, O. Chambin, A. Voilley, and R. Saurel. 2007. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Research International* 40 (9):1107–21. doi: 10.1016/j.foodres.2007.07.004.
23. Gonçalves, A., B. N. Estevinho, and F. Rocha. 2016. Microencapsulation of vitamin A: A review. *Trends in Food Science & Technology* 51:76–87. doi: 10.1016/j.tifs.2016.03.001.
24. González-Lamothe, R. *et al.* (2009) *Plant antimicrobial agents and their effects on plant and human pathogens*, MDPI. Molecular Diversity Preservation International. Available at: <https://www.mdpi.com/1422-0067/10/8/3400> .
25. *Handbook of alcoholic beverages* (2010) Google. Google. Available at: [https://books.google.gr/books?hl=el&lr=&id=505PEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT29&dq=%28Handbook%2Bof%2BOenology%2C%2BVolume%2B2%2C.&ots=AerKevo7Wu&sig=d_BoKRR08rv8e23vJ8oxeyUllgw&redir_esc=y#v=onepage&q=\(Handbook%20of%20Oenology%2C%20Volume%202%2C.&f=false](https://books.google.gr/books?hl=el&lr=&id=505PEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT29&dq=%28Handbook%2Bof%2BOenology%2C%2BVolume%2B2%2C.&ots=AerKevo7Wu&sig=d_BoKRR08rv8e23vJ8oxeyUllgw&redir_esc=y#v=onepage&q=(Handbook%20of%20Oenology%2C%20Volume%202%2C.&f=false) .
26. Harari, A. *et al.* (2019) “Obesity and insulin resistance are inversely associated with serum and adipose tissue carotenoid concentrations in adults,” *The Journal of Nutrition*, 150(1), pp. 38–46. Available at: <https://doi.org/10.1093/jn/nxz184>.
27. Havemose, M.S. *et al.* (2004) “Influence of feeding different types of roughage on the oxidative stability of milk,” *International Dairy Journal*, 14(7), pp. 563–570. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2003.11.005>.
28. Health, N. (2022) *Fortified Foods and its benefits, Narayana Health Care*. Available at: <https://www.narayanahealth.org/blog/fortified-foods-and-its-benefits/> .

29. Higuera-Ciapara, I., L. Felix-Valenzuela, F. M. Goycoolea, and W. Argüelles-Monal. 2004. Microencapsulation of astaxanthin in a chitosan matrix. *Carbohydrate Polymers* 56 (1):41–5. doi: 10.1016/j.carbpol.2003.11.012.
30. Hirschi, K.D. (2009) *Nutrient biofortification of food crops | annual Review of Nutrition*. Available at: <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev-nutr-080508-141143>.
31. Hoddinott, J., Rosegrant, M. and Torero, M. (2012) “HUNGER AND MALNUTRITION.” COPENHAGEN CONSENSUS.
32. Hulshof, P.J.M. *et al.* (2006) “Variation in retinol and carotenoid content of milk and milk products in the Netherlands,” *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(1), pp. 67–75. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2005.04.005>.
33. Jones, S.T., Aryana, K.J. and Losso, J.N. (2005) “Storage stability of lutein during ripening of Cheddar Cheese,” *Journal of Dairy Science*, 88(5), pp. 1661–1670. Available at: [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(05\)72838-1](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(05)72838-1).
34. Khachik, F. (2006) “Distribution and metabolism of dietary carotenoids in humans as a criterion for development of nutritional supplements,” *Pure and Applied Chemistry*, 78(8), pp. 1551–1557. Available at: <https://doi.org/10.1351/pac200678081551>.
35. Kopec, R.E. and Failla, M.L. (2018) “Recent advances in the bioaccessibility and bioavailability of carotenoids and effects of other dietary lipophiles,” *Journal of Food Composition and Analysis*, 68, pp. 16–30. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.06.008>.
36. Lalani, B., Bechoff, A. and Bennett, B. (2019) *Which choice of delivery model(s) works best to deliver fortified foods?*, MDPI. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. Available at: <https://www.mdpi.com/2072-6643/11/7/1594> .
37. Le Lay, S. *et al.* (2014) “Oxidative stress and metabolic pathologies: From an adipocentric point of view,” *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2014, pp. 1–18. Available at: <https://doi.org/10.1155/2014/908539>.

38. Lipkie, T.E. *et al.* (2014) "Caco-2 accumulation of lutein is greater from human milk than from infant formula despite similar bioaccessibility," *Molecular Nutrition & Food Research*, 58(10), pp. 2014–2022. Available at: <https://doi.org/10.1002/mnfr.201400126>.
39. Luisa Bonet, M. *et al.* (2015) "Carotenoids and their conversion products in the control of adipocyte function, adiposity and obesity," *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 572, pp. 112–125. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.abb.2015.02.022>.
40. Manuel Rodriguez-Concepcion *et al.* (2018) *A global perspective on carotenoids: Metabolism, biotechnology, and benefits for nutrition and health*, *Progress in Lipid Research*. Pergamon. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0163782717300395>.
41. Maoka, T. (2011) *Carotenoids in marine animals*, MDPI. Molecular Diversity Preservation International. Available at: <https://www.mdpi.com/1660-3397/9/2/278>.
42. Maoka, T. (2019) *Carotenoids as natural functional pigments - Journal of Natural Medicines*, SpringerLink. Springer Singapore. Available at: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11418-019-01364-x> (Accessed: February 14, 2023).
43. Mashurabad, P.C. *et al.* (2017) *Dietary fat composition, food matrix and relative polarity modulate the micellarization and intestinal uptake of carotenoids from vegetables and fruits - Journal of Food Science and Technology*, SpringerLink. Springer India. Available at: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13197-016-2466-7>.
44. Morelli, L. and Rodriguez-Concepcion, M. (2022) "A fast and simplified method to estimate bioaccessibility of carotenoids from plant tissues," *Methods in Enzymology*, pp. 329–341. Available at: <https://doi.org/10.1016/bs.mie.2021.10.007>.
45. Muthayya, S. *et al.* (2013) "The global hidden hunger indices and maps: An advocacy tool for action," *PLoS ONE*, 8(6). Available at: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0067860>.
46. Muthayya, S. *et al.* (2013) *The global hidden hunger indices and maps: An advocacy tool for action*, *PLOS ONE*. Public Library of Science. Available at: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371%2Fjournal.pone.0067860> .

47. Naqvi, K.R. (1980) "The mechanism of singlet-singlet excitation energy transfer from carotenoids to chlorophyll," *Photochemistry and Photobiology*, 31(5), pp. 523–524. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1751-1097.1980.tb03739.x>.
48. Nozière, P. *et al.* (2006) "Carotenoids for ruminants: From forages to dairy products," *Animal Feed Science and Technology*, 131(3-4), pp. 418–450. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.06.018>.
49. O’Callaghan, T.F. *et al.* (2019) "Nutritional aspects of raw milk," *Raw Milk*, pp. 127–148. Available at: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-810530-6.00007-9>.
50. O’Callaghan, T.F. *et al.* (2019) "Nutritional aspects of raw milk," *Raw Milk*, pp. 127–148. Available at: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-810530-6.00007-9>.
51. Olson, R. *et al.* (2021) "Food fortification: The advantages, disadvantages and lessons from sight and Life Programs," *Nutrients*, 13(4), p. 1118. Available at: <https://doi.org/10.3390/nu13041118>.
52. Pereira da Costa, D. and Campos Miranda-Filho, K. (2019) "The use of carotenoid pigments as food additives for aquatic organisms and their functional roles," *Reviews in Aquaculture* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.1111/raq.12398>.
53. Rizk, E.M., El-Kady, A.T. and El-Bialy, A.R. (2014) "Characterization of carotenoids (lyco-red) extracted from Tomato peels and its uses as natural colorants and antioxidants of ice cream," *Annals of Agricultural Sciences*, 59(1), pp. 53–61. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.aosas.2014.06.008>.
54. Rodríguez-Roque, M.J. *et al.* (2016) "Food matrix and processing influence on carotenoid bioaccessibility and lipophilic antioxidant activity of fruit juice-based beverages," *Food & Function*, 7(1), pp. 380–389. Available at: <https://doi.org/10.1039/c5fo01060h>.
55. Rowe, L.A. and Dodson, D.M. (1970) *Addressing micronutrient malnutrition in urban settings*, SpringerLink. Springer US. Available at: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4899-7597-3_3.
56. Rubin, L.P. *et al.* (2011) "Effect of carotenoid supplementation on plasma carotenoids, inflammation and visual development in preterm infants," *Journal of Perinatology*, 32(6), pp. 418–424. Available at: <https://doi.org/10.1038/jp.2011.87>.

57. Sathasivam, R. *et al.* (2021) "An update on biosynthesis and regulation of carotenoids in plants," *South African Journal of Botany*, 140, pp. 290–302. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.05.015>.
58. Schmidt-Dannert, C. and Lee, P.C. (2009) "Carotenoids, microbial processes," *Encyclopedia of Industrial Biotechnology* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.1002/9780470054581.eib178>.
59. Shilpa, S. *et al.* (2020) "Factors affecting bioaccessibility and bio-efficacy of carotenoids," *Carotenoids: Properties, Processing and Applications*, pp. 41–73. Available at: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-817067-0.00002-6>.
60. Sommerburg, O. *et al.* (2000) "Carotenoid supply in breast-fed and formula-fed neonates," *European Journal of Pediatrics*, 159(1-2), pp. 86–90. Available at: <https://doi.org/10.1007/pl00013811>.
61. Spohrer, R. *et al.* (2013) "The growing importance of staple foods and condiments used as ingredients in the food industry and implications for large-scale food fortification programs in Southeast Asia," *Food and Nutrition Bulletin*, 34(2_suppl1). Available at: <https://doi.org/10.1177/15648265130342s107>.
62. Stergiadis, S. *et al.* (2014) *A 2-year study on milk quality from three pasture-based dairy systems of contrasting production intensities in Wales: The Journal of Agricultural Science, Cambridge Core*. Cambridge University Press. Available at: <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-agricultural-science/article/abs/2year-study-on-milk-quality-from-three-pasturebased-dairy-systems-of-contrasting-production-intensities-in-wales/1A92141741F3B84D2585684254E6E44A>.
63. Vishwanathan, R. *et al.* (2014) "Lutein and preterm infants with decreased concentrations of brain carotenoids," *Journal of Pediatric Gastroenterology & Nutrition*, 59(5), pp. 659–665. Available at: <https://doi.org/10.1097/mpg.0000000000000389>.
64. Wang, C. *et al.* (2018) "Effects of dietary antioxidant supplementation of feed, milk processing and storage on the lutein content and sensory quality of bovine milk,"

- International Journal of Dairy Technology*, 71(4), pp. 849–856. Available at: <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12532>.
65. World Health Organization (2016) “USE OF MULTIPLE MICRONUTRIENT POWDERS FOR POINT-OF-USE FORTIFICATION OF FOODS CONSUMED BY INFANTS AND YOUNG CHILDREN AGED 6–23 MONTHS.”
66. World Health Organization , *Food fortification, World Health Organization*. World Health Organization. Available at: https://www.who.int/health-topics/food-fortification#tab=tab_1 .
67. Xavier, A.A. and Mercadante, A.Z. (2019) “The bioaccessibility of carotenoids impacts the design of functional foods,” *Current Opinion in Food Science*, 26, pp. 1–8. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.02.015>.
68. Xavier, A.A. and Mercadante, A.Z. (2019) “The bioaccessibility of carotenoids impacts the design of functional foods,” *Current Opinion in Food Science*, 26, pp. 1–8. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.02.015>.
69. Yuan, X. *et al.* (2018) “Enhancement of phytochemical bioaccessibility from plant-based foods using excipient emulsions: Impact of lipid type on carotenoid solubilization from spinach,” *Food & Function*, 9(8), pp. 4352–4365. Available at: <https://doi.org/10.1039/c8fo01118d>.
70. Καροτενοειδή χημική δομή, λειτουργίες, ταξινόμηση, τρόφιμα / βιολογία (no date) *Thpanorama*. Available at: <https://el.thpanorama.com/articles/biologa/carotenoides-estructura-quimica-funciones-clasificacin-alimentos.html> .
71. Κυζερίδου, Α. (2015) Χαρακτηριστικά της φωτοσύνθεσης των πράσινων καρπών : συσχέτιση με τις ιδιαιτερότητες του εσωτερικού μικροπεριβάλλοντος και των φωτοπροστατευτικών και μεταβολικών τους αναγκών, *Nemertes*. Available at: <https://nemertes.library.upatras.gr/items/7585f969-04a4-4db9-bfd9-58368e9d16ec> .
72. Μπέης, Α.Σ. (2010) “ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΤΙΚΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΠΟΙΚΙΛΙΩΝ ΤΗΣ ΑΜΠΕΛΟΥ ΥΠΟ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΥΔΑΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗΣ.” Αγρίνιο : ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ.

73. Μπουκάλα, Α. (2014) “ΑΝΑΛΥΣΗ, ΑΠΟΜΟΝΩΣΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΩΝ ΒΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΡΑΣΕΩΝ ΛΙΠΙΔΙΑΚΩΝ ΟΥΣΙΩΝ ΤΟΥ ΦΥΤΟΥ VISCUM ALBUM L. ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΚΑΡΚΙΝΟ.” Ιωάννινα : Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων.
74. Στεριανού, Δ. (2022) *Προσδιορισμός βιοδραστικού προφίλ καινοτόμου λειτουργικής σάλτσας με βάση τα όσπρια Λήμνου και εκχυλίσματα από φλούδες φρούτων και λαχανικών*, *Handle Proxy*. Available at: <http://hdl.handle.net/11610/24229> .
75. *Τερπενοειδή* (no date) *Wikipedia*. Wikimedia Foundation. Available at: <https://el.wikipedia.org/w/index.php?title=%CE%A4%CE%B5%CF%81%CF%80%CE%B5%CE%BD%CE%BF%CE%B5%CE%B9%CE%B4%CE%AE&oldid=9020229> .
76. Χρυσολώρας, Μ., Ζερβάς, Ε. and Οικονόμου, Π. (2016) “ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΚΑΙ ΤΗΝ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΑΛΑΤΙΟΥ.” Αθήνα: Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο .