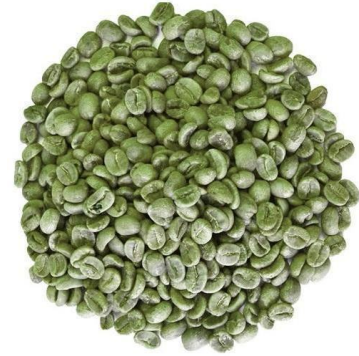




Σχολή Επιστημών Τροφίμων
Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων
Ακαδημαϊκό έτος 2021-2022



Προοπτικές αξιοποίησης υποπροϊόντων επεξεργασίας καφέ στις βιομηχανίες τροφίμων και καλλυντικών.

Prospects of coffee by-products utilization in food and cosmetics industry.

ΟΝΟΜΑΤΑ ΦΟΙΤΗΤΩΝ/ NAMES OF STUDENTS

Παγόνα Κυρίτση, Παναγιώτα Λιοδήμου
Pagona Kyritsi, Panagiota Liodimou

ΟΝΟΜΑ ΕΙΣΗΓΗΤΗ/NAME OF THE SUPERVISOR

Παναγιώτης Ηγουμενίδης
Panagiotis Igoumenidis

ΑΙΓΑΛΕΩ/AIGALEO 2022

Εγκρίθηκε από τριμελή εξεταστική επιτροπή

Αθήνα, Μάρτιος 2022

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Επιβλέπων Καθηγητής

Παναγιώτης Ηγουμενίδης, Χημικός Μηχανικός (PhD), Ακαδημαϊκός Υπότροφος, Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων, Σχολή Επιστημών Τροφίμων, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής

2. Μέλος επιτροπής

Σπυρίδων Παπαδάκης, Χημικός Μηχανικός (PhD), Καθηγητής, Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων, Σχολή Επιστημών Τροφίμων, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής

3. Μέλος επιτροπής

Μαρία Γιαννακούρου, Χημικός Μηχανικός (PhD), Καθηγήτρια, Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων, Σχολή Επιστημών Τροφίμων, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής

● Δήλωση περί λογοκλοπής/ Copyright

Οι κάτωθι υπογεγραμμένες Κυρίτση Παγώνα του Δημητρίου, με αριθμό μητρώου 71617047 και Λιοδήμου Παναγιώτα του Ταξιάρχη, με αριθμό μητρώου 71617051, φοιτήτριες του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Επιστημών Τροφίμων του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων, δηλώνουμε υπεύθυνα ότι:

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

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

Η Δηλούσα

Η Δηλούσα

Ευχαριστίες

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε όσους ήταν δίπλα μας στην προσπάθειά μας, τόσο έμπρακτα, όσο και ψυχολογικά, για την εκπόνηση αυτής της πτυχιακής εργασίας, που σηματοδοτεί την ολοκλήρωση του κύκλου φοίτησης στη σχολή.

Περίληψη

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία λαμβάνει χώρα μία παρουσίαση των προοπτικών αξιοποίησης των υποπροϊόντων του καφέ στη βιομηχανία τροφίμων και καλλυντικών. Στο πρώτο κεφάλαιο, γίνεται περιγραφή του φυτού του καφέ και του τρόπου συλλογής των κόκκων καφέ, της αποθήκευσης αλλά και των διάφορων επεξεργασιών στις οποίες υπόκεινται το φυτό του καφέ και οι κόκκοι του. Το καβούρδισμα αποτελεί ένα από τα σημαντικά στάδια επεξεργασίας του καρπού του καφέ, καθώς καθορίζει το οργανοληπτικό προφίλ του τελικού προϊόντος, συμπεριλαμβανομένου του αρώματος και της γεύσης. Επιπρόσθετα, στο δεύτερο κεφάλαιο, περιγράφονται τα υποπροϊόντα του καφέ, λαμβάνοντας υπόψη όλα τα πολύτιμα χαρακτηριστικά τους. Ειδικότερα, με βάση και τα ευρήματα από τη βιβλιογραφία, έχει φανεί ότι τα υποπροϊόντα του καφέ είναι πλούσια σε βιοενεργά συστατικά, τα οποία θα μπορούσαν δυνητικά να απομονωθούν και να προστεθούν σε άλλα προϊόντα, δίνοντάς τους προστιθέμενη αξία. Έτσι, αναφέρονται οι μέθοδοι ανάκτησης των βιοενεργών συστατικών, που αποτελούν μέρος των περισσότερων υποπροϊόντων του καφέ. Στα δύο τελευταία κεφάλαια, γίνεται περιγραφή των εφαρμογών των υποπροϊόντων του καφέ στον τομέα των τροφίμων και των καλλυντικών. Πολλές από τις επιτυχημένες προσπάθειες αναφέρονται ως καινοτόμες ή χρησιμοποιούμενες σήμερα εφαρμογές. Λόγω των θετικών αποτελεσμάτων τους, οι επιστήμονες βρίσκονται ήδη σε διαδικασίες διερεύνησης για περισσότερες εφαρμογές των υποπροϊόντων του καφέ που ανταποκρίνονται στις ανάγκες των καταναλωτών και του περιβάλλοντος.

Λέξεις κλειδιά: καφές, υποπροϊόντα, βιομηχανία τροφίμων, βιομηχανία καλλυντικών, βιοενεργά συστατικά

Abstract

This thesis is a presentation of prospects of coffee by-products utilization in food and cosmetics industry. In the beginning, there is an outline of the coffee plant and the way of coffee beans gathering, storage and kinds of treatment. Roasting is an important step of coffee cherry treatment, as it sets the final product's organoleptic profile, including aroma and taste. Moreover, coffee by-products are described within considering all their valuable characteristics. Based on the findings from the bibliography in particular, it has been shown that coffee by-products are rich in bioactive compounds, which could potentially be extracted and added to other products, giving them added value. Therefore, recovery methods of bioactive compounds, which are part of the most coffee by-products, are mentioned. In the last two chapters there is a description of coffee by-products applications in the food and cosmetics sector. Many of the accomplished attempts are mentioned as innovative or currently used applications. Because of their outstanding results, scientists are already on the way for more applications of coffee by-products corresponding to consumers' and environmental needs.

Key words: coffee, by-products, food industry, cosmetics industry, bioactive compounds

Πίνακας περιεχομένων

Δήλωση περί λογοκλοπής/ Copyright	3
Ευχαριστίες	5
Περίληψη	7
Abstract	8
Εισαγωγή	14
Κεφάλαιο 1 Επεξεργασία καφέ	16
1.1 Δομή του φυτού και του καρπού του καφέ	16
1.2 Συγκομιδή	19
1.3 Διαδικασίες επεξεργασίας του καρπού	20
1.4 Ξήρανση των κόκκων καφέ	22
1.4.1 Τεχνικές ξήρανσης	23
1.4.2 Συνδυασμοί συστημάτων ξήρανσης	26
1.5 Καβούρδισμα	27
1.5.1 Αφυδάτωση	28
1.5.2 Καβούρδισμα	29
1.5.3 Ψύξη του καφέ	30
1.5.4 Πτητικές ενώσεις και αρώματα καφέ	30
1.5.5 Τεχνικές καβουρδίσματος	32
1.5.6 Ανάμιξη καβουρδισμένου καφέ	35
1.5.7 Προφίλ του καφέ	36
1.5.8 Σχέση χρόνου-θερμοκρασίας καβουρδίσματος	38
Κεφάλαιο 2 Υποπροϊόντα επεξεργασίας καφέ και ανάκτηση βιοενεργών συστατικών	40

2.1	Κατηγορίες υποπροϊόντων και προέλευση	40
2.1.1	Κεράσι του καφέ (Coffee cherry)	40
2.1.2	Χρησιμοποιημένοι κόκκοι καφέ (SCG)	41
2.1.3	Φλοιός του καφέ (Coffee Husk)	42
2.1.4	Ασημένια επιδερμίδα του καφέ (Coffee Silverskin- CS)	43
2.1.5	Πολτός του καφέ (pulp)	44
2.1.6	Ενδοκάρπιο (parchment) και βλεννώδης ουσία	44
2.2	Ανάκτηση βιοενεργών συστατικών	45
2.2.1	Βιοενεργά συστατικά	45
2.2.2	Μέθοδοι ανάκτησης	48
2.2.2.1	Ανάκτηση φαινολικών ενώσεων	50
	Ανάκτηση χλωρογενικών οξέων	51
	Ανάκτηση ανθοκυανινών	53
2.2.2.2	Ανάκτηση καφεΐνης	54
2.2.2.3	Ανάκτηση λιπιδικού κλάσματος και ελαίου καφέ	55
2.3	Θρεπτική αξία υποπροϊόντων	60
2.4	Δυνατότητες αξιοποίησης υποπροϊόντων σε άλλους τομείς	63
2.5	Υγρά απόβλητα βιομηχανίας καφέ	65
Κεφάλαιο 3	Εφαρμογές στη βιομηχανία τροφίμων	68
3.1	Σύγχρονες τάσεις	68
3.1.1	Νέα τρόφιμα (novel foods)	68
3.2	Αξιοποίηση υποπροϊόντων	69
3.3	Ανθρώπινη κατανάλωση υποπροϊόντων καφέ εντός της ΕΕ	82
3.4	Μελλοντικές τάσεις	82

3.4.1	Καφές χωρίς καφεΐνη	82
3.4.2	Φυτικά έλαια και πρόσθετα τροφίμων	83
3.4.3	Αντιοξειδωτικές ιδιότητες του πράσινου καφέ	83
Κεφάλαιο 4	Εφαρμογές στις βιομηχανίες καλλυντικών	85
4.1	Σύγχρονες τάσεις	86
4.2	Μελλοντικές τάσεις και προτάσεις	96
	Συμπεράσματα	103
	Βιβλιογραφικές αναφορές	106

Πίνακας περιεχομένων εικόνων

Εικόνα 1: Η ζώνη του καφέ.....	16
Εικόνα 2: Δομή καρπού καφέ: Κεντρική τομή (center cut), κόκκος (bean), ασημένια επιδερμίδα (silver skin), ενδοκάρπιο (parchment), ζελατινώδης μεμβράνη (pectin layer), πολτός (pulp), εξωκάρπιο (outer skin)	17
Εικόνα 3: Κόκκοι Arabica και Robusta	18
Εικόνα 4: Επιλεκτική συλλογή πολλαπλών περασμάτων (Finger picking)	19
Εικόνα 5: Στάδιο ξηρής επεξεργασίας (Εναπόθεση κόκκων σε εξωτερικό χώρο)	21
Εικόνα 6: Ξηραντήρας σταθερού στρώματος.....	24
Εικόνα 7: Ξηραντήρας ταυτόχρονης ροής	25
Εικόνα 8: Ξήρανση με σιλό.....	25
Εικόνα 9: Αφυδάτωση κόκκου καφέ.....	28
Εικόνα 10: Απεικόνιση μικροδομής καβουρδισμένου καφέ με χρήση ηλεκτρονικής κρουο-μικροσκοπίας σάρωσης.....	29
Εικόνα 11: Διάγραμμα ροής καβουρδίσματος καφέ	30
Εικόνα 12: Περιστρεφόμενος κύλινδρος καβουρδίσματος	33
Εικόνα 13: Σχηματική απεικόνιση καβουρδίσματος με απευθείας επαφή με φλόγα .	33
Εικόνα 14: Σχηματική απεικόνιση ξηραντήρα ρευστοποιημένης κλίνης	34
Εικόνα 15: Ανάμιξη κόκκων καφέ πριν και μετά το καβούρδισμα.....	36
Εικόνα 16: Είδη και στάδια καβουρδίσματος	37
Εικόνα 17: Καμπύλη καβουρδίσματος.....	38
Εικόνα 18: Κεράσι καφέ (Coffee cherry)	41
Εικόνα 19: Μορφές καβουρδισμένου καφέ	42
Εικόνα 20: Διάγραμμα ροής επεξεργασίας καφέ και στάδια παραγωγής υποπροϊόντων.....	45

Πίνακας περιεχομένων πινάκων

Πίνακας 1: Υποπροϊόντα του καφέ και η δράση τους.....	41
Πίνακας 2: Σύγκριση εκχύλισης με διαλύτες και υπερκρίσιμης εκχύλισης	50
Πίνακας 3: Συγκεντρωτικός πίνακας των εφαρμογών ανάκτησης βιοενεργών συστατικών.....	59
Πίνακας 4: Περιεκτικότητα διαιτητικών ινών άρτου.....	75
Πίνακας 5: Βιοδραστικές ενώσεις και οι βιολογικές τους δράσεις.....	95

Εισαγωγή

Τη σημερινή εποχή σίγουρα θα μπορούσε κάποιος να πει πως, ο καφές αποτελεί ένα από τα πιο εμπορεύσιμα προϊόντα. Ο καφές από το φυτό ως το φλιτζάνι του καταναλωτή περνά από πολλά στάδια επεξεργασίας, τυποποίησης και άλλα στάδια, που είναι απαραίτητα για να αποτελεί ένα πλήρως προδιαγραφόμενο προϊόν. Έτσι, από τη συγκομιδή ως την ξήρανση του καφέ και από την ξήρανση ως το καβούρδισμα, καταλήγει ο καφές, λόγω των υποπροϊόντων του, να είναι πέρα από ένα προϊόν με ευρεία κατανάλωση, και πηγή πολλών ωφέλιμων συστατικών. Τα υποπροϊόντα αυτά είναι ο φλοιός του καφέ (coffee husk), η ασημένια επιδερμίδα του καφέ (coffee silverskin-CS), οι χρησιμοποιημένοι κόκκοι καφέ (Spent Coffee Grounds, SCG), ο πολτός του καφέ (coffee pulp), το ενδοκάρπιο (parchment), η βλεννώδης ουσία (mesocarp) του καφέ, καθώς και οι μη ώριμοι και ελαττωματικοί κόκκοι καφέ. Τα υποπροϊόντα με τη σειρά τους, περιέχουν πολλές και διάφορες ενώσεις, που ορίζουν τη γεύση και το άρωμα ή/και αποτελούν βιοενεργά συστατικά.

Τα κυριότερα βιοενεργά συστατικά που έχουν ανιχνευθεί στον καφέ, δηλαδή η καφεΐνη, η τριγονελλίνη, οι ανθοκυανίνες, τα χλωρογενικά οξέα και οι διαιτητικές ίνες, ανακτώνται με διάφορες μεθόδους και αξιοποιούνται καταλλήλως, συνεισφέροντας τόσο στον εμπλουτισμό της θρεπτικής αξίας, όσο και τη μείωση του κόστους διαχείρισης ξηρών και υγρών αποβλήτων.

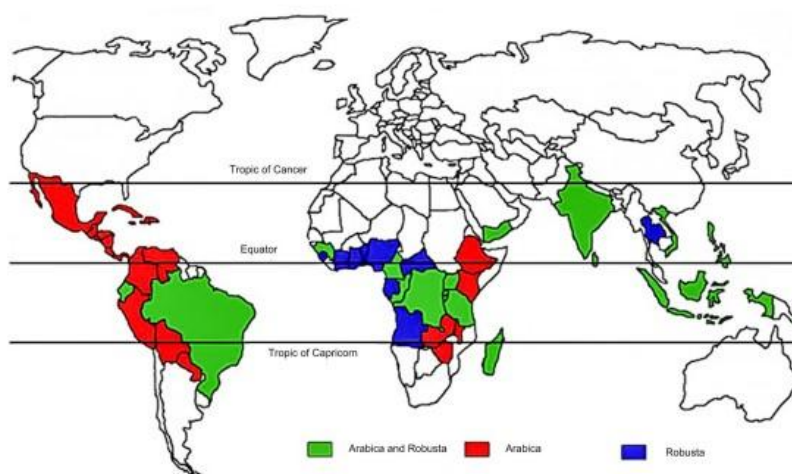
Με τις έντονες απαιτήσεις των καταναλωτών για πιο “φυσικά” προϊόντα αλλά και τις ανάγκες για πιο φιλικές προς το περιβάλλον κατεργασίες, οι βιομηχανίες των τροφίμων και καλλυντικών ερευνούν την αξιοποίηση υποπροϊόντων από την επεξεργασία του καφέ ως πιθανά συστατικά τροφίμων και καλλυντικών. Τα υποπροϊόντα του καφέ έχουν ευεργετικές ιδιότητες όπως αντιοξειδωτική, αντιφλεγμονώδη, αντιρυτιδική, αντικυτταριτιδική δράση, ενώ τα συστατικά τους μπορούν να παρέχουν προστασία κατά της υπεριώδους ακτινοβολίας. Επίσης, λόγω των διαιτητικών ινών που περιέχουν μπορούν να αξιοποιηθούν και σε προϊόντα αδυνατίσματος. Βέβαια, η αξιοποίηση των υποπροϊόντων του καφέ δεν εμμένει μόνο στις βιομηχανίες τροφίμων και καλλυντικών αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για παραγωγή ζωοτροφών, λιπάσματος κ.ά.

Σε έναν κόσμο με την τεχνολογία να είναι κυρίαρχη στην καθημερινότητα του κάθε ανθρώπου και πόσω μάλλον στη βιομηχανία, πολλές μελέτες πραγματοποιούνται για την ανάκτηση συστατικών με το μέγιστο ποσοστό απόδοσης, για την αξιοποίηση και διαχείριση των ξηρών και υγρών αποβλήτων από την επεξεργασία του καφέ, αλλά και για τη βελτίωση μεθόδων επεξεργασίας, παραγωγής και τυποποίησης του καφέ. Συνεπώς, παρόλο που, μέχρι πρότινος τα υποπροϊόντα

του καφέ απορρίπτονταν, οι καλλιεργητές, η βιομηχανία καφέ, τροφίμων και καλλυντικών καλούνται να τα αξιοποιήσουν.

Κεφάλαιο 1 Επεξεργασία καφέ

Τόσο από οικονομική όσο και από διατροφική άποψη ο καφές ανήκει στην κορυφή με τα πιο διαδεδομένα φαρμακολογικά ροφήματα παγκοσμίως φήμης. Το τελικό προϊόν, δηλαδή οι καβουρδισμένοι και αλεσμένοι κόκκοι, ακολουθούν ποικίλες διαδικασίες παρασκευής μέσω του καβουρδίσματος των ακατέργαστων κόκκων, που ονομάζονται αλλιώς, πράσινοι κόκκοι. Δύο είναι τα πιο δημοφιλή εμπορικά είδη σε παγκόσμια κλίμακα, η *Coffea arabica* (ή απλά Arabica) και η *Coffea canephora* (Robusta), τα οποία αντιπροσωπεύουν τα δύο τρίτα (2/3) και το ένα τρίτο (1/3) της παγκόσμιας παραγωγής καφέ. (Franca & Oliveira, 2019)



Εικόνα 1: Η ζώνη του καφέ

Πηγή: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814138-0.00017-4>

Η ζώνη του καφέ καθορίζει τις περιοχές όπου γίνεται αποκλειστικά η παραγωγή του καφέ περιλαμβάνοντας, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 1, τη Βραζιλία, το Βιετνάμ, την Κολομβία, την Ινδονησία, την Ονδούρα και την Αιθιοπία. (Franca & Oliveira, 2019)

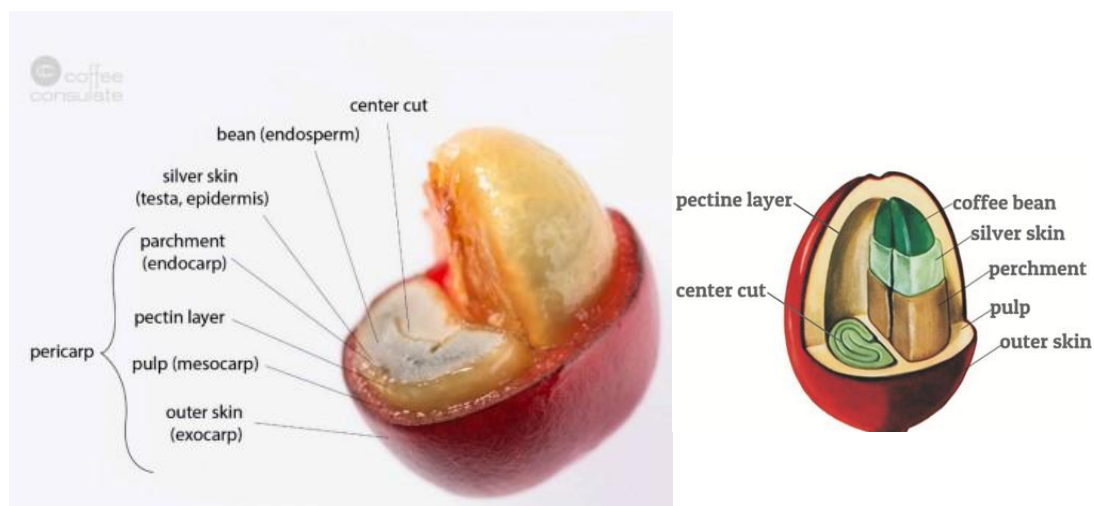
Το κεφάλαιο αυτό ξεκινά με την περιγραφή του καφέ από το στάδιο που ο καρπός βρίσκεται στο δέντρο. Αναλύονται τα μέρη του καρπού και πώς αυτός συλλέγεται, μεταφέρεται και αποθηκεύεται. Ακολουθούν τα βασικά στάδια επεξεργασίας προκειμένου να λάβει τη γνωστή εμπορική του μορφή και τέλος αναλύεται το πιο βασικό στάδιο για την απόκτηση του χαρακτηριστικού αρώματος, το καβούρδισμα. Για το τελευταίο γίνεται αναφορά τόσο στη διαδικασία και τις διάφορες χρησιμοποιούμενες τεχνικές, όσο και στους παράγοντες που το επηρεάζουν.

1.1 Δομή του φυτού και του καρπού του καφέ

Το φυτό του καφέ είναι πολυετές δικοτυλήδονο φυτό, καλλιεργείται σε τροπικές περιοχές, όπου το κλίμα είναι θερμό και οι βροχοπτώσεις άφθονες, ενώ παράλληλα διαθέτουν ένα τρίμηνο ξηρής περιόδου ιδανικό για τη συγκομιδή του

καρπού. Το δέντρο του καφέ έχει έναν εξέχοντα κατακόρυφο κορμό με πρωτογενείς, δευτερογενείς και τριτογενείς πλευρικούς κλάδους, οι οποίοι ονομάζονται "βλαστοί" και "στελέχη" στο αναπτυξιακό και στο τελικό στάδιο, αντίστοιχα. Τα φύλλα είναι γυαλιστερά, σκούρου πράσινου χρώματος, με εμφανείς φλέβες και κάθε ζεύγος φύλλων αποκολλάται από το αμέσως προηγούμενο ζεύγος. Οι ρίζες του φυτού του καφέ είναι ρηχές, με το σύστημά του να αποτελείται από μια κύρια ρίζα με πλευρικές και μικρές τροφοδοτικές ρίζες. (Franca & Oliveira, 2019)

Ο ακατέργαστος καρπός του φυτού καφέ ονομάζεται κεράσι καφέ (coffee cherry) και αποτελείται από δύο κόκκους (coffee bean) καλυπτώμενους από ένα σκληρό λεπτό στρώμα, σαν περγαμνή, που ονομάζεται ασημένια επιδερμίδα (coffee silverskin-CS). Από πάνω περιβάλλονται από πηκτώδες στρώμα (parchment) και ακολουθεί το μεσοκάρπιο (mesocarp), δηλαδή ένας ζελατινώδης πολτός (coffee pulp) που το διαχωρίζει από το εξωκάρπιο (outer skin). Το εξωκάρπιο σε άγουρο καρπό είναι πράσινο και ονομάζεται φλοιός (coffee husk), ενώ μόλις ωριμάσει λαμβάνει ένα κίτρινο ή κόκκινο χρώμα ανάλογα με την ποικιλία. (Εικόνα 2) (Franca & Oliveira, 2019; Mussatto et al., 2011)



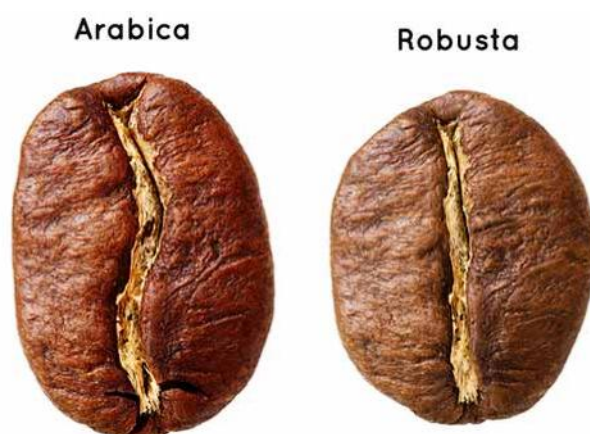
Εικόνα 2: Δομή καρπού καφέ: Κεντρική τομή (center cut), κόκκος (bean), ασημένια επιδερμίδα (silver skin), ενδοκάρπιο (parchment), ζελατινώδης μεμβράνη (pectin layer), πολτός (pulp), εξωκάρπιο (outer skin)

Πηγή: <https://essense.coffee/en/coffee-the-journey-from-the-seed-to-your-cup/>
Και <https://doi.org/10.3390/foods9050665>

Η συγκομιδή των κερασιών καφέ ξεκινάει έπειτα από 5 χρόνια καλλιέργειας των δέντρων, μόλις ο καρπός γίνει κόκκινος. Αρχικοποίηση της επεξεργασίας του καφέ αποτελεί η μετατροπή των κερασιών σε πράσινους κόκκους και ξεκινάει με την αφαίρεση του πολτού και του φλοιού μέσω υγρής ή ξηρής μεθόδου. Η ξηρή μέθοδος εφαρμόζεται κυρίως στον καφέ Robusta και είναι σχετικά απλούστερη της υγρής μεθόδου, που χρησιμοποιείται για τον καφέ Arabica. Σύμφωνα με την τελευταία, ενώ ακόμα το κεράσι του καφέ είναι φρέσκο, ο πολτός και ο φλοιός αφαιρούνται μέσω ενυδάτωσης και μικροβιακής ζύμωσης, προκειμένου να απομακρυνθεί η βλενώδης

ύλη, που προσκολλάται στους κόκκους. Κατά τη ζύμωση, παράγεται πλήθος μικροβιακών πτητικών ενώσεων, οι οποίες προσδίδουν το χαρακτηριστικό και πλούσιο άρωμα στον καφέ. Για την ποιοτική αξιολόγηση του καφέ πραγματοποιούνται οργανοληπτικές δοκιμές, που βασίζονται στο μέγεθος, το σχήμα, τη γεύση, το άρωμα και την παρουσία ελαττωμάτων των κόκκων.

Το εμπορικό ενδιαφέρον εντοπίζεται στους κόκκους του καφέ, οι οποίοι αποτελούν το 50-55% της ξηρής ουσίας ολόκληρου του καρπού και διαφοροποιούνται ανάλογα με την ποικιλία και τις καλλιεργητικές μεθόδους. Ειδικότερα, οι κόκκοι Arabica έχουν ελλειψοειδές σχήμα με σιγμοειδή σχισμή στην επίπεδη επιφάνεια, ενώ οι κόκκοι Robusta έχουν πιο στρογγυλό σχήμα και ελαφρώς ευθεία κεντρική σχισμή, όπως μπορεί να διαπιστωθεί και από την Εικόνα 3. (Mussatto et al., 2011)



Εικόνα 3: Κόκκοι Arabica και Robusta

Πηγή: <https://essense.coffee/en/coffee-the-journey-from-the-seed-to-your-cup/>

1.2 Συγκομιδή

Οι καρποί δεν ωριμάζουν ταυτόχρονα πάνω στο δέντρο γι' αυτό και η συγκομιδή συνήθως επιλέγεται να γίνει όταν η πλειονότητα των καρπών (90%) έχει ωριμάσει, πριν αρχίσει η πτώση των καρπών στο έδαφος. Η περίοδος συγκομιδής συνήθως ξεκινά μετά από 7 μήνες από τη σπορά. Εξαιτίας, όμως, της ανομοιογενούς ωρίμανσης, λόγω των πολλαπλών ανθοφοριών, οδήγησε σε 4 βασικά συστήματα συγκομιδής. Αυτά είναι η απογύμνωση με ένα πέρασμα, η απογύμνωση πολλαπλών περασμάτων, η επιλεκτική συλλογή πολλαπλών περασμάτων (finger picking) (Εικόνα 4) και η μηχανική συγκομιδή.



Εικόνα 4: Επιλεκτική συλλογή πολλαπλών περασμάτων (Finger picking)

Πηγή: <https://essense.coffee/en/coffee-the-journey-from-the-seed-to-your-cup/>

Στην απογύμνωση με ένα πέρασμα οι καρποί συλλέγονται ταυτόχρονα από όλα τα κλαδιά, κι έτσι τελικά βρίσκονται ταυτόχρονα οι άγουροι, οι ώριμοι και οι υπερώριμοι καρποί. Αρχικά, τοποθετείται κάτω από το δέντρο ένα στρώμα, ώστε να προστατέψει τους καρπούς από την άμεση επαφή με το έδαφος. Διαφορετικά θα πρέπει να προηγηθεί καθαρισμός του χώματος γύρω από το δέντρο είτε χειρωνακτικά, είτε χημικά, ή μηχανικά. Έπειτα, οι εργάτες τραβούν το κλαδί με τους καρπούς προκειμένου να πέσουν όλοι κάτω στο στρώμα ανεξαρτήτου σταδίου ωρίμανσης. Όταν η διαδικασία ολοκληρωθεί, αδειάζονται οι καρποί σε σάκους.

Η απογύμνωση πολλών περασμάτων απαιτεί την εξοικείωση και ικανότητα του εργάτη να συλλέξει μόνο τους ώριμους καρπούς που βρίσκονται στα κλαδιά. Στην επιλεκτική συγκομιδή πολλαπλών περασμάτων ο εργάτης συλλέγει μόνο τα

ώριμα κεράσια καφέ με το χέρι και τα άγουρα μένουν στο δέντρο μέχρι την επόμενη συγκομιδή. Οι καρποί συλλέγονται σε καλάθια και σάκους, ενώ στο τέλος απλώνονται και γίνεται διαχωρισμός υπολειμμάτων και υπερώριμων καρπών.

Στη μηχανική συγκομιδή γίνεται χρήση ειδικών μηχανημάτων για ταυτόχρονη συλλογή καρπών. Η μηχανή κινείται κατά μήκος των δέντρων καφέ και τα δέντρα παρασύρονται στο μικρό διάκενο μεταξύ παράλληλων περιστρεφόμενων κατακόρυφων αξόνων. Σε αυτό το διάκενο, τα κλαδιά δονούνται οριζοντίως με αρκετή δύναμη ώστε να πέσουν οι καρποί από αυτά σε ένα συλλέκτη, ο οποίος αποτελείται από πτυσσόμενες λεπίδες που κλείνουν τον χώρο κάτω από το δέντρο. Ο χειριστής του μηχανήματος τοποθετείται σε υψηλό σημείο της μονάδας συλλογής για βέλτιστη ορατότητα και έλεγχο της διαδικασίας συγκομιδής. Σε αυτή την τεχνική, συλλέγονται όλοι οι καρποί από το δέντρο, ανεξάρτητα από το στάδιο ωρίμανσής τους.

Συγκρίνοντας τις μεθόδους συγκομιδής διαπιστώνεται πως η απογύμνωση πολλών περασμάτων οδηγεί σε υψηλής ποιότητας προϊόν, ωστόσο απαιτούνται πολλά εργατικά χέρια, άρα και αυξημένο εργατικό κόστος. Η μηχανική συγκομιδή από την άλλη, έχει κατά 40% μειωμένο κόστος καλλιέργειας με μία μόνο σάρωση της φυτείας. Μπορεί, δηλαδή, συνολικά να λαμβάνεται χαμηλότερης ποιότητας προϊόν που χρειάζεται περαιτέρω επεξεργασία, ανάλογα με τα στάδια ωρίμανσης του καρπού, αλλά αποτελούν την πιο συχνή επιλογή και ειδικά σε περιοχές που έχουν υψηλό κόστος για το εργατικό δυναμικό. (Franca & Oliveira, 2019; Louzada Pereira & Rizzo Moreira, 2021)

1.3 Διαδικασίες επεξεργασίας του καρπού

Όταν η συγκομιδή δεν είναι χειροκίνητη, οι κόκκοι πριν υποστούν περαιτέρω επεξεργασία μεταφέρονται σε χώρους διαχωρισμού για περιττές ύλες, όπως χώμα, φύλλα, κλαδιά, διευκολύνοντας έτσι τις επόμενες διαδικασίες που θα ακολουθήσουν. Διαφορετικά, περνούν, πριν την πλύση, από διαχωριστή φύλλων σε μορφή κόσκινου. Το νερό που απαιτείται είναι περισσότερο, το ίδιο και η ενέργεια άρα και το κόστος. Τέτοια προβλήματα εξαλείφονται αν η συγκομιδή έχει γίνει επιλεκτικά και ο καφές είναι πρακτικά καθαρός πριν επεξεργαστεί.

Η πρωτογενής επεξεργασία του καφέ ξεκινά μετά το στάδιο της συγκομιδής, όπου οι κόκκοι διαχωρίζονται από τον υπόλοιπο καρπό. Υπάρχουν τρεις κύριες μορφές επεξεργασίας, η ξηρή, όπου ο καρπός ολόκληρος μετά την ξήρανση ονομάζεται φυσικός καφές (natural coffee), η υγρή, όπου οι καρποί ξηραίνονται χωρίς περικάρπιο και ονομάζονται αποφλοιωμένα κεράσια (peeled coffee) ή πολτοποιημένος καφές (pulped coffee) και η ημι-υγρή επεξεργασία.

Στην ξηρή επεξεργασία, οι καρποί μετά τη συγκομιδή απλώνονται σε εξωτερικό χώρο (Εικόνα 5), συνήθως πάνω σε λεπτά δίχτυα, με στόχο την ξήρανσή τους. Αφήνονται εκεί για 15-20 ημέρες σε ευνοϊκά κλίματα και για 30 ημέρες σε πιο δυσμενή κλίματα. Ανά τακτά χρονικά διαστήματα μέσα στη μέρα θα πρέπει να αναμοχλεύονται οι καρποί ώστε να αποφευχθεί τυχόν πολλαπλασιασμός μούχλας, αλλά και για να επιτευχθεί η ομοιογενής ξήρανσή τους. Σύμφωνα με τα εμπορικά πρότυπα, η επιθυμητή υγρασία για κατάλληλες συνθήκες αποθήκευσης ανέρχεται στο 10-11% κ.β., από αρχική υγρασία του καρπού 30-65% κ.β. Ωστόσο, συχνά χρησιμοποιούνται και μηχανικοί ξηραντήρες, οι οποίοι είτε επιτυγχάνουν την τελική



Εικόνα 5: Στάδιο ξηρής επεξεργασίας (Εναπόθεση κόκκων σε εξωτερικό χώρο)

Πηγή: <https://essense.coffee/en/coffee-the-journey-from-the-seed-to-your-cup/>

επιθυμητή περιεκτικότητα υγρασίας, είτε πραγματοποιούν προξήρανση και η ξήρανση ολοκληρώνεται σε περιστροφικούς οριζόντιους ξηραντήρες που είναι οι καταλληλότεροι. Στο τέλος της ξήρανσης, οι αποξηραμένοι κόκκοι διαχωρίζονται από τον ξηρό πολτό και το ενδοκάρπιο μέσω αποφλοιώσης και αποθηκεύονται σε μεγάλες κατακόρυφες ορθογώνιες δεξαμενές, όπου και συσκευάζονται σε σάκους για περαιτέρω επεξεργασία και διάθεση. Να σημειωθεί πως η ξηρή μέθοδος είναι η πιο ακριβή σε κόστος, μεταξύ άλλων, λόγω του μεγαλύτερου χρόνου ξήρανσης, της μεγαλύτερης ενεργειακής κατανάλωσης, της απαίτησης για πολλαπλούς χώρους αποθήκευσης και συντήρησης.

Στην ημι-υγρή επεξεργασία, η επίπλευση προηγείται της αποφλοιώσης. Σύμφωνα με αυτή, οι καρποί ανώτερης ποιότητας βυθίζονται, ενώ οι κατώτερης ποιότητας επιπλέουν στο νερό που ρέει από μία δεξαμενή πλύσης. Οι κόκκοι εισέρχονται υπό μορφή σπόρων που χρήζουν αποφλοιώσης, την οποία διευκολύνουν με χρήση νερού. Έτσι, ένας πολτοποιητής χρησιμοποιείται για την αποφλοιώση των καρπών, όπου συμπιέζονται από έναν κοχλιομεταφορέα και ένα διάτρητο σταθερό περίβλημα. Γίνεται ρύθμιση του διάκενου μεταξύ των δύο τμημάτων του πολτοποιητή, ώστε να αποσύρονται οι ανώριμοι καρποί από τη διαδικασία, ενώ από τις οπές διέρχονται οι ώριμοι καρποί σε τμήματα (κόκκος, ενδοκάρπιο, πολτός). Οι ανώριμοι καρποί ωθούνται σε υπαίθρια ξήρανση για 8-12 ημέρες με συχνή διασπορά των κόκκων μέσα στη μέρα και ο συλλεγόμενος πολτός ωθείται για λίπασμα ή πρώτη ύλη καύσης. Για επιπλέον απομάκρυνση υγρασίας

χρησιμοποιείται ξηραντήρας και για τους αποξηραμένους κόκκους ακολουθείται μηχανική αποφλοίωση για απομάκρυνση του ενδοκάρπιου.

Στην υγρή επεξεργασία, οι καρποί μετά τη συγκομιδή αποφλοιώνονται, όπως στην ημι-υγρή διαδικασία, όμως μετά ακολουθεί ζύμωση για 12-36 ώρες σε ορθογώνιους κάδους για την απομάκρυνση του υπολειμματικού πολτού και της βλεννώδους ουσίας. Οι χρησιμοποιούμενοι μικροοργανισμοί πέπτουν το προϊόν, ωστόσο απαιτείται προσοχή, γιατί μπορεί άμεσα να επηρεαστεί αρνητικά η ποιότητα. Ο χρόνος της ζύμωσης ποικίλει ανάλογα με τις συνθήκες και το στάδιο ωρίμανσης του καρπού. Συχνά, γίνεται και προσθήκη ενζύμων, προκειμένου να επιταχυνθεί η διαδικασία. Ακολουθεί πλύση και ξήρανση σε εξωτερικό χώρο.

Επόμενο στάδιο αποτελεί η ωρίμανση, στην οποία περιλαμβάνονται οι εξής επεξεργασίες: καθαρισμός, ταξινόμηση κατά μέγεθος, πυκνότητα, χρωματομετρική διαλογή και συσκευασία σε μεγάλους σάκους. Ανάλογα με την ποιότητα των κόκκων που προκύπτει από τον διαχωρισμό, γίνεται η πώληση αυτών σε ανάλογες τιμές. Χαμηλές τιμές για μικρούς σε μέγεθος κόκκους και ακόμα χαμηλότερες σε ανώριμους, ξινούς και μαύρους κόκκους που προκύπτουν από τη χρωματομετρική διαλογή. Κατά την ταξινόμηση κατά μέγεθος ο διαχωρισμός γίνεται βαρομετρικά. Έτσι, απομακρύνονται ανεπιθύμητα τμήματα, όπως αναποφλοιώτα κεράσια, φλοιοί, ξένες ύλες, μη καλοσχηματισμένοι και σπασμένοι κόκκοι. Για την ταξινόμηση κατά μέγεθος υπάρχουν κόσκινα με δόνηση και με καθορισμένα μεγέθη διάτρησης, ενώ για το τελευταίο στάδιο, τη χρωματομετρική διαλογή, υπάρχει σύστημα καμερών όπου ανάλογα με το μήκος κύματος που καταγράφεται μπορεί να απορρίψει τον κόκκο με ρεύμα αέρα σε τμήμα με κόκκους χαμηλότερης ποιότητας.

Ως τελικά προϊόντα κατανάλωσης οι κόκκοι υφίστανται και περαιτέρω επεξεργασίες, (δευτερογενής επεξεργασία), προκειμένου να πάρουν τη μορφή του καβουρδισμένου, αλεσμένου, στιγμιαίου/διαλυτού καφέ αντίστοιχα. Το καβούρδισμα είναι η διαδικασία κατά την οποία οι κόκκοι καφέ ακολουθούν θερμική επεξεργασία με στόχο μία σειρά εσωτερικών πολύπλοκων χημικών αντιδράσεων που θα προσδώσουν το χαρακτηριστικό άρωμα και χρώμα του καφέ. Λεπτομέρειες για τη διαδικασία του καβουρδίσματος αναφέρονται σε επόμενη ενότητα. Αν ο καβουρδισμένος και αλεσμένος καφές δε διατεθεί στο εμπόριο ως έχει, μπορεί να υποστεί επιπλέον επεξεργασία για να γίνει διαλυτός/στιγμιαίος μέσω μιας διαδικασίας εκχυλίσεων, η οποία περιγράφεται αναλυτικά σε ακόλουθες ενότητες. (Louzada Pereira & Rizzo Moreira, 2021)

1.4 Ξήρανση των κόκκων καφέ

Η ξήρανση αποτελεί απαραίτητη τεχνική στην επεξεργασία του καφέ, διότι ελέγχεται καλύτερα η συγκομιδή και παρατείνεται η αποθήκευση, χωρίς να υπάρχει

κίνδυνος αλλοίωσης και άρα, υποβάθμιση της ποιότητας. Επίσης, αποτρέπει την ανάπτυξη μικροοργανισμών, την προσέλευση και παραμονή εντόμων σε αυτά. Οι απώλειες προϊόντος λόγω βροχοπτώσεων δεν υφίστανται στην περίπτωση της μηχανικής ξήρανσης, ωστόσο θα πρέπει να βρεθεί μέσω της ψυχομετρίας η περιεκτικότητα υγρασίας των κόκκων, η περιεκτικότητα σε υγρασία ισορροπίας, ο ρυθμός ροής του αέρα, η ταχύτητα ξήρανσης, η ταξινόμηση και η ποικιλία του καφέ, προκειμένου να έχουμε ένα τελειοποιημένο αποτέλεσμα. Πολλές φορές για την απομάκρυνση της βλεννώδους ουσίας απαιτείται προξήρανση συνδυάζοντας έτσι και τη μέθοδο ξήρανσης μέσω της ηλιακής ενέργειας και την ξήρανση με μηχανικό τρόπο σε ξηραντήρες με φυσικό ή θερμαινόμενο αερισμό. Η ξήρανση των κόκκων καφέ σε ξηραντήρες απαιτεί μειωμένο χρόνο ξήρανσης, διότι κάθε φορά που ο θερμός αέρας εισέρχεται στον χώρο, η σχετική υγρασία ελαττώνεται, άρα ο κόκκος αποξηραίνεται. Οι περιβαλλοντικές συνθήκες δε διαδραματίζουν κανένα ρόλο σε αυτή την περίπτωση αποτελώντας μεγάλο πλεονέκτημα της μεθόδου. (Louzada Pereira & Rizzo Moreira, 2021)

1.4.1 Τεχνικές ξήρανσης

Κατά την ξήρανση σε υπαίθριο χώρο (ταράτσα) η θέρμανση του κόκκου γίνεται μέσω ηλιακής ενέργειας και ο φυσικός αερισμός διευκολύνει την απομάκρυνση του ατμού από την επιφάνεια των κόκκων. Ευνοείται κατ' αυτόν τον τρόπο η ανάπτυξη μικροοργανισμών στην επιφάνεια των καρπών, η αναπνοή και η αύξηση της θερμοκρασίας, επιταχύνοντας τη ζύμωση. Ωστόσο, επηρεάζεται πολύ από τις περιβαλλοντικές συνθήκες και τον τρόπο χειρισμού, δηλαδή παρουσιάζεται ακατάλληλη μέθοδος σε περιόδους βροχοπτώσεων και όσο για τους χειρισμούς είναι απαραίτητο οι κόκκοι να αναδεύονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Να σημειωθεί ότι για να προκύψει ένα ομοιόμορφο αποτέλεσμα, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται κόκκοι με τα ίδια χαρακτηριστικά υγρασίας, ωρίμανσης και περιόδου συγκομιδής. Η πιθανότητα έκθεσης του προϊόντος σε δυσμενείς συνθήκες και η απαίτηση ύπαρξης αρκετών εργατών, την καθιστά ανεπαρκή και προβληματική μέθοδο, όπου ακόμα και αν αποτελεί στάδιο προξήρανσης και συμπληρώνεται με μηχανικό ξηραντήρα, πάλι δε θα δώσει το επιθυμητό αποτέλεσμα ποιότητας.

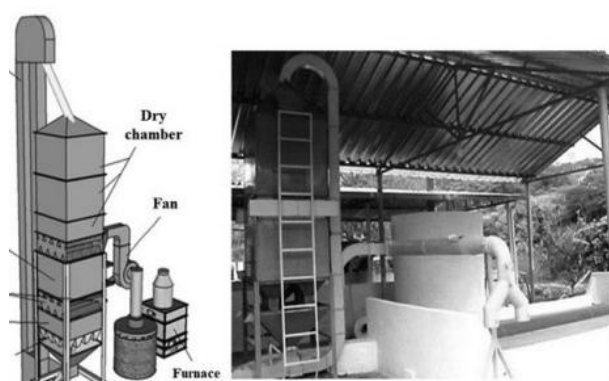
Η ποιότητα του καφέ, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, δε θα βελτιωθεί στον μηχανικό ξηραντήρα εάν από πριν έχει υποβαθμιστεί κατά τη διάρκεια παραμονής στην ταράτσα. Λύση στο πρόβλημα δίνουν οι τεχνητές προξηράνσεις. Συγκεκριμένα, ενσωματώνεται ένα σύστημα εξαερισμού με θερμό αέρα για βελτίωση της απόδοσης και μείωση του χρόνου ξήρανσης, σε σχέση με τη συμβατική ταράτσα. Με την προσθήκη πηγής ξυλάνθρακα μετατρέπεται η ταράτσα σε υψηλής θερμοκρασίας ξηραντήρα (υβριδική ταράτσα-hybrid terrace). Η διαδικασία ακολουθείται κυρίως τη

διάρκεια της νύχτας, των βροχερών ημερών ή κατά την απουσία ηλιακής ακτινοβολίας. Τα κύρια στοιχεία της υβριδικής τaráσσας είναι ο ανεμιστήρας, τα κανάλια διανομής, είσοδος αέρα και διαχωριστικοί τοίχοι μεταξύ των διαφόρων παρτίδων καφέ για ταυτόχρονη ξήρανση. (Louzada Pereira & Rizzo Moreira, 2021)

Επειδή αυτούσια η ηλιακή ενέργεια είναι ανεπαρκής, έχουν κατασκευαστεί ξηραντήρες, σαν οριζόντιο ξηραντήρα σταθερού στρώματος, με ηλιακό συλλέκτη, ανεμιστήρα, αγωγό σύνδεσης και θάλαμο ξήρανσης και ένας περιστροφικός ηλιακός ξηραντήρας με φυσικό αερισμό.

Ο ξηραντήρας σταθερού στρώματος χρησιμοποιείται ευρέως στην προξήρανση και ξήρανση των κόκκων καφέ (Εικόνα 6). Οι 50°C αποτελούν τη συνιστώμενη θερμοκρασία αέρα,

ενώ απαιτείται ανάδευση των στρωμάτων για ομογενοποιημένο αποτέλεσμα. Με τις παρούσες ελεγχόμενες συνθήκες δεν υποβαθμίζεται η τελική ποιότητα του προϊόντος, αλλά πρόκειται για ανώτερο ποιοτικά προϊόν από αυτό που θα προέκυπτε από ξήρανση σε υπαίθριο χώρο.



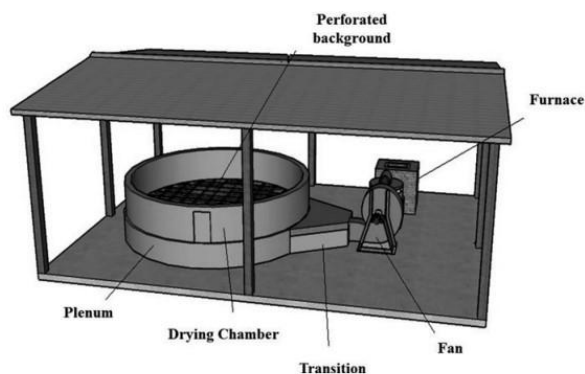
Εικόνα 6: Ξηραντήρας σταθερού στρώματος

Πηγή: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-54437-9>

Τέλος, σε μη ευνοϊκές καιρικές

συνθήκες που θα παραλειφθεί η υπαίθρια ξήρανση, ο ξηραντήρας σταθερού στρώματος λειτουργεί και ως προξηραντήρας. (Louzada Pereira & Rizzo Moreira, 2021)

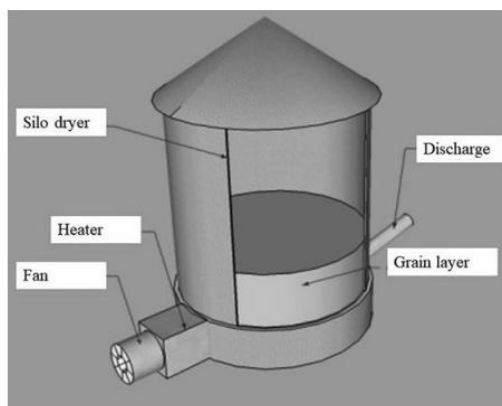
Με τον ξηραντήρα ταυτόχρονης ροής, όπου ο αέρας ξήρανσης και το προϊόν ρέουν προς την ίδια κατεύθυνση (παράλληλες ροές) (Εικόνα 7), χρησιμοποιώντας θερμοκρασίες 80, 100 και 120°C είναι δυνατόν να επιτευχθεί χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας χρησιμοποιώντας υψηλότερες θερμοκρασίες. Παρά το γεγονός ότι η συνιστώμενη θερμοκρασία είναι 80°C, διαπιστώθηκε πως είναι δυνατόν να ξηρανθεί ο καφές με τον αέρα ξήρανσης, θερμοκρασίας έως 120°C, και αυξημένη και ομοιόμορφη ταχύτητα ροής του προϊόντος, χωρίς να υποστεί βλάβη η τελική ποιότητα του ροφήματος. (Louzada Pereira & Rizzo Moreira, 2021)



Εικόνα 7: Ξηραντήρας ταυτόχρονης ροής
 Πηγή: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-54437-9>

Ο περιστροφικός ξηραντήρας αποτελείται από έναν οριζόντιο σωληνοειδή κύλινδρο που περιστρέφεται γύρω από τον διαμήκη άξονά του με γωνιακή ταχύτητα έως και 15 στροφές ανά λεπτό. Ένας πολύ συνηθισμένος τύπος που χρησιμοποιείται ως προξηραντήρας ή ξηραντήρας παρτίδων καφέ είναι ένα οριζόντιο, μη περιστρεφόμενο τύμπανο, στο οποίο ο αέρας ξήρανσης εισάγεται σε θάλαμο που βρίσκεται στο κέντρο του κυλίνδρου και διέρχεται μέσα από τη μάζα του καφέ κάθετα στον άξονα του ξηραντήρα. Ο συγκεκριμένος τρόπος παρουσιάζει σημαντική ομοιομορφία ξήρανσης, όμως υπάρχει υψηλή κατανάλωση ενέργειας, υψηλό κόστος, ενώ όταν οι στροφές ανά λεπτό είναι αυξημένες υπάρχει πιθανότητα να απωθήσει το ενδοκάρπιο του αποφλοιωμένου καφέ, με αποτέλεσμα τη μη ομοιόμορφη ξήρανση της μάζας του. (Louzada Pereira & Rizzo Moreira, 2021)

Η ξήρανση με σύστημα των επτά σιλό περιλαμβάνει επτά σιλό-ξηραντήρες, τα οποία γεμίζουν με ένα στρώμα καφέ (Εικόνα 8). Τα σιλό δέχονται, π.χ. κάθε εβδομάδα, μια ορισμένη ποσότητα προϊόντος με προκαθορισμένη αρχική περιεκτικότητα υγρασίας. Κάθε σιλό γεμίζει με κόκκους καφέ μετά τη συγκομιδή. Όταν προστεθεί και το τελευταίο στρώμα συγκομιδής και το σιλό γεμίσει, ενεργοποιείται το σύστημα εξαερισμού και ξεκινάει η ξήρανση. Η διαδικασία σταματά, όταν και η υγρασία τελευταίου στρώματος βρίσκεται σε ισορροπία με το περιβάλλον. Το έβδομο σιλό θεωρείται εφεδρικό και είναι πάντα άδειο σε περίπτωση που προκύψουν ενδεχόμενα προβλήματα κατά τη συγκομιδή. Ανά μία ημέρα συγκομιδής το προϊόν μεταφέρεται στο αντίστοιχο σιλό (1η μέρα στο σιλό No1 κλπ) μέχρι το πέρας της εβδομάδας συγκομιδής. Τη δεύτερη εβδομάδα



Εικόνα 8: Ξήρανση με σιλό
 Πηγή: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-54437-9>

συγκομιδής το σιλό Νο1 θα έχει ξηράνει το πρώτο στρώμα και θα δεχθεί το επόμενο. Αντίστοιχα, τη δεύτερη ημέρα της δεύτερης εβδομάδας το δεύτερο σιλό θα γεμίσει με προϊόν. Έτσι, μετά από μία εβδομάδα από την ημέρα συγκομιδής τα κεράσια καφέ είναι αποφλοιωμένα και στεγνά και μπορούν να παραμείνουν εκεί μέχρι να αξιοποιηθούν εμπορικά. (Louzada Pereira & Rizzo Moreira, 2021)

1.4.2 Συνδυασμοί συστημάτων ξήρανσης

Συχνό φαινόμενο αποτελεί η χρήση συνδυασμού ξηραντήρων μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας, διευκολύνοντας τη διαδικασία και αξιοποιώντας τον κάθε τύπο ξηραντήρα ανάλογα με τον καφέ που επιλέγουμε, έχοντας έτσι μεγαλύτερη απόδοση.

Στους κύριους συνδυασμούς συστημάτων ξήρανσης ανήκει η υπαίθρια ξήρανση με μηχανικούς ξηραντήρες. Η υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία καθιστά δύσκολο τον χειρισμό της ρευστότητας εντός του ξηραντήρα, γι' αυτό και αρχικά επιλέγεται προξήρανση στην ύπαιθρο.

Ως δεύτερος συνδυασμός φαίνεται να είναι η προξήρανση στην ύπαιθρο σε συνδυασμό μετά με την ολοκλήρωση ξήρανσης και αποθήκευση σε σιλό ξηραντήριο. Βασικό πρόβλημα αποτελεί η εξάρτηση της διαδικασίας από τις ευνοϊκές καιρικές συνθήκες. Σε αντίθετη περίπτωση, το προϊόν απορρίπτεται. Επίσης, δεν γίνεται να τοποθετηθούν στο ίδιο σιλό διαφορετικές παρτίδες, διότι θα διαφέρουν ποιοτικά. Η μόνη περίπτωση που μπορεί να συμβεί είναι αν ο παραγωγός είναι σίγουρος ότι πρόκειται για προϊόν ίδιας ποιότητας.

Μια τρίτη επιλογή για τη συνδυασμένη ξήρανση αποτελεί η προξήρανση υψηλής θερμοκρασίας σε υβριδική ταράτσα (hybrid terrace) και τελική ξήρανση σε μηχανικά ξηραντήρια. Η επιλογή αυτή είναι ιδανική για υψηλή παραγωγικότητα ξήρανσης και για καφέ ενδοκάρπιου. Μετά από 20 ώρες προξήρανσης στην υβριδική ταράτσα, ο καφές μπορεί να μεταφερθεί στον μηχανικό ξηραντήρα. Ο συνολικός χρόνος ξήρανσης είναι περίπου 50 ώρες και δεν υπάρχει ανάγκη χρήσης συμβατικών ταρατσών.

Τελευταίος συνδυασμός προτείνεται η υβριδική ταράτσα με σιλό ξηραντήριο, ως η πιο οικονομική επιλογή. Αποφεύγεται και μειώνεται η ανάγκη μεγάλων εκτάσεων, όπως στους συμβατικούς υπαίθριους χώρους και επίσης λόγω αυξημένης απόδοσης, δεν απαιτούνται άλλες επενδύσεις σε ξηραντήρες. Σημαντικό είναι ωστόσο, ότι το τελικό προϊόν έχει ομοιόμορφα την ίδια περιεκτικότητα υγρασίας στο τέλος της ξήρανσης. (Louzada Pereira & Rizzo Moreira, 2021)

1.5 Καβούρδισμα

Σε όλο τον κόσμο η γεύση και η αισθητηριακή ποιότητα του καφέ ποικίλλουν εξαιτίας πληθώρας εξωγενών παραγόντων, όπως η γεωγραφική θέση, οι κλιματολογικές συνθήκες, οι διάφορες πρακτικές συγκομιδής και μετασυλλεκτικής επεξεργασίας, οι οποίες καθορίζουν σημαντικά το πιο σημαντικό στοιχείο του καφέ, το άρωμα.

Με την ολοκλήρωση όλων των μετασυλλεκτικών σταδίων, όπως περιγράφηκαν σε προηγούμενη ενότητα, ο καφές καβουρδίζεται. Το καβούρδισμα αποτελεί την κύρια διαδικασία για την εκβιομηχάνιση του καφέ, που είναι υπεύθυνη για το νέο ευνοϊκό προφίλ που αποκτούν οι κόκκοι. Αποτελείται από τρεις κύριες φάσεις, την αφυδάτωση, το καβούρδισμα και την ψύξη. Η διαδικασία ξεκινά στους 120°C και καταλήγει στους 180-200°C. Η σειρά από τις φυσικοχημικές μεταβολές που λαμβάνουν χώρα, μέσω της μεταφερόμενης θερμότητας, προκαλούν την αλλαγή δομής του πράσινου κόκκου, που απελευθερώνει το πλέον χαρακτηριστικό άρωμα του καφέ. Το καβούρδισμα εξαρτάται άμεσα από τη σχέση χρόνου-θερμοκρασίας ως συνάρτηση της μεταφοράς θερμότητας, κατά την οποία παρατηρούνται επίσης, απώλεια υγρασίας, που συρρικνώνει τη μάζα του κόκκου, και απώλεια διοξειδίου του άνθρακα, καθώς και απώλεια άλλων πτητικών προϊόντων από την πυρόλυση. Στην πρώτη φάση σε θερμοκρασία κάτω από 160°C γίνεται η ξήρανση/αφυδάτωση, που προκαλεί απώλεια μάζας, έπειτα ακολουθεί το καβούρδισμα στους 160-260°C, όπου αρχίζουν πυρολυτικές, εξώθερμες αντιδράσεις, όπως οξειδωση, αναγωγή, υδρόλυση, πολυμερισμός, αποκαρβοξυλίωση και άλλες, οδηγώντας στον σχηματισμό ουσιών που καθορίζουν τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του καφέ. Η διαδικασία σταματά με την ψύξη μέσω αέρα ή νερού, προκειμένου να αποτραπεί το παρατεταμένο καβούρδισμα με ενανθρακωμένους κόκκους, που θα αλλοιώσει την ποιότητα του τελικού προϊόντος.

Ορατές είναι οι αλλαγές που παρατηρούνται στην όψη του κόκκου και ιδίως στο χρώμα, την υφή, την πυκνότητα και το μέγεθος. Είναι σημαντικός ο ακριβής προσδιορισμός και έλεγχος του χρόνου-θερμοκρασίας, ανάλογα με το προφίλ καφέ που θέλουμε να δημιουργήσουμε. Ένα υπερβολικό καβούρδισμα, σε σύγκριση με καβούρδισμα βραχέος χρόνου, έχει πολύ σημαντικές διαφορές στον σχηματισμό αρώματος. (Louzada Pereira & Rizzo Moreira, 2021)

1.5.1 Αφυδάτωση

Η θερμότητα που μεταφέρεται στους κόκκους του καφέ μέσω εξαναγκασμένης ροής θερμού αέρα, ανάλογα την ακολουθούμενη τεχνική, αρχίζει να



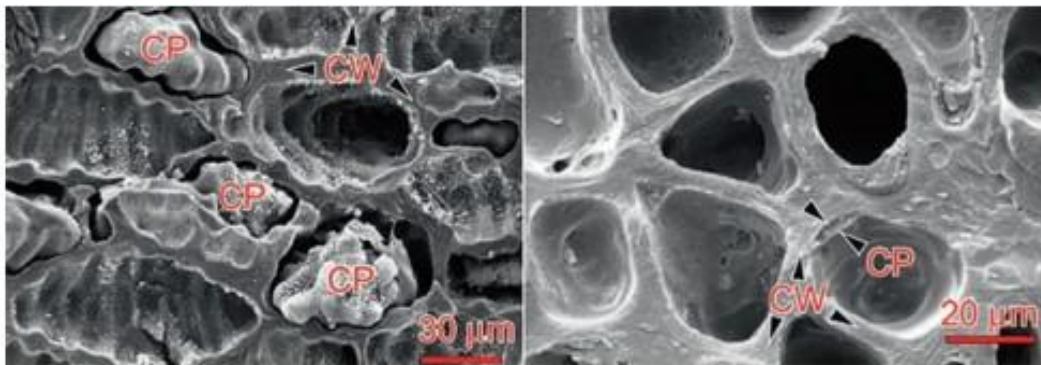
Εικόνα 9: Αφυδάτωση κόκκου καφέ

Πηγή: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-54437-9>

μάζας (Εικόνα 9). Γενικότερα, η ελάττωση μάζας του κόκκου οφείλεται στην απώλεια υγρασίας, η οποία στο 72% αφορά την αρχική περιεχόμενη υγρασία και στο 18% την παραγόμενη υγρασία από τις πυρολυτικές αντιδράσεις. Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί πως η αρχική περιεκτικότητα σε υγρασία είναι θεμελιώδης παράγοντας για την διαμόρφωση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών του καβουρδισμένου κόκκου. Αν δηλαδή, το ποσοστό υγρασίας μειωθεί σε μεγάλο ποσοστό, ορισμένες αντιδράσεις, υπεύθυνες για το χαρακτηριστικό άρωμα, αίρονται.

Στον πράσινο καφέ τα κυτταρικά τοιχώματα είναι παχιά και πυκνά, ενώ με την αφυδάτωση η δομή αυτή καταστρέφεται και τα τοιχώματα γίνονται λεπτά. Οι κοιλότητες αποκτούν μεγάλο χώρο, διότι το κυτταρόπλασμα συρρικνώνεται και κολλά στα τοιχώματα, ενώ τα σχηματιζόμενα αέρια καταλαμβάνουν τα κενά των κοιλιοτήτων. Τα τοιχώματα γίνονται ακόμα πιο λεπτά και έτσι ο όγκος των κόκκων αυξάνεται μαζί με το πορώδες, όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε και από την Εικόνα 10.

αφυδατώνει τον κόκκο. Η αρχική περιεκτικότητα υγρασίας κυμαίνεται από 8-13%, η οποία εξατμίζεται σε μεγάλο ποσοστό μέχρι τα πρώτα 5 λεπτά της διεργασίας σε θερμοκρασία κόκκου 127-150°C, ή ακόμα και στο 8^ο λεπτό στους 188°C αν αυτό είναι επιθυμητό. Ο καφές σε αυτό το σημείο έχει γίνει κίτρινος, από πράσινο, και έχει χάσει το 10% της αρχικής του



Εικόνα 10: Απεικόνιση μικροδομής καβουρδισμένου καφέ με χρήση ηλεκτρονικής κρυο-
 μικροσκοπίας σάρωσης

Πηγή: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-54437-9>

1.5.2 Καβούρδισμα

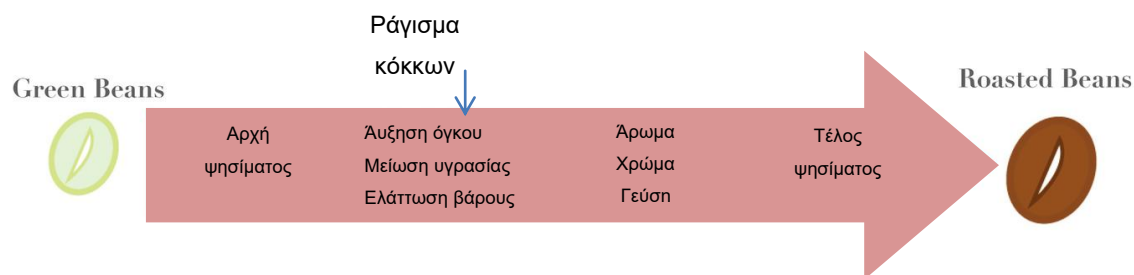
Η διαδικασία ξεκινά σε θερμοκρασία πάνω από 180°C η μεταφορά θερμότητας κορυφώνεται σε πυρολυτικές αντιδράσεις που προκαλούν οξείδωση, αναγωγή, υδρόλυση, πολυμερισμό και πολλές άλλες αντιδράσεις που μεταβάλλουν σοβαρά τη χημική δομή του κόκκου και σχηματίζουν νέες πτητικές ενώσεις. Οι ακατέργαστοι κόκκοι περιέχουν διαλυτά συστατικά όπως η καφεΐνη, η τριγονελλίνη, η νιασίνη, τα χλωρογενικά οξέα, οι υδατάνθρακες χαμηλού μοριακού βάρους, τα καρβοξυλικά οξέα και ορισμένες πρωτεΐνες και ανόργανα άλατα, αλλά και αδιάλυτα όπως οι πολυσακχαρίτες, η κυτταρίνη, η λιγνίνη, η ημικυτταρίνη, οι πρωτεΐνες, τα ανόργανα άλατα και τα λιπίδια, τα οποία συμμετέχουν στις αντιδράσεις που πραγματοποιούνται κατά το καβούρδισμα. Οι μη πτητικοί παράγοντες είναι υπεύθυνοι για το χρώμα, το άρωμα, τη γεύση, τη γλυκύτητα, την οξύτητα, το σώμα, και επομένως την τελική ποιότητα του καφέ.

Υψίστης σημασίας αποτελούν δύο μορφές αντιδράσεων, οι αντιδράσεις καραμελοποίησης Maillard και οι αντιδράσεις πυρόλυσης. Η παρατεταμένη θέρμανση οδηγεί σε αντίδραση μεταξύ αμινοξέος και αναγωγικού υδατάνθρακα που σχηματίζουν ενώσεις, όπως οι μελανοΐδινες, που είναι χαρακτηριστικές του σκούρου χρώματος του καβουρδισμένου κόκκου. Η συνεχής προσφορά θερμότητας ενεργοποιεί τις αντιδράσεις καραμελοποίησης, αφυδατώνοντας τη σακχαρόζη και συμπυκνώνοντας νέα σχηματιζόμενα σάκχαρα. Η πυρόλυση, από την άλλη, αφυδατώνει τη σακχαρόζη εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών και απελευθερώνει αέρια, κυρίως διοξείδιο του άνθρακα και υδρατμούς, αυξάνοντας την εσωτερική πίεση των κόκκων και κατά συνέπεια τον όγκο τους.

Στη βιομηχανία το καβούρδισμα σταματάει μόλις παρατηρηθεί η πρώτη ρωγμή, η δημιουργία της οποίας συνοδεύεται από χαρακτηριστικό ήχο. Αν η διαδικασία συνεχιστεί περαιτέρω, θα δημιουργηθεί και δεύτερη ρωγμή, λόγω της απελευθέρωσης του συσσωρευμένου διοξειδίου. Ο κόκκος θα γίνει σκουρότερος και

θα ενισχυθεί το άρωμά του, φτάνοντας σε σημείο πικρής γεύσης, η οποία είναι ανεπιθύμητη (Εικόνα 11). (Louzada Pereira & Rizzo Moreira, 2021)

Ψύξη



Εικόνα 11: Διάγραμμα ροής καβουρδίσματος καφέ

Πηγή: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-54437-9>

1.5.3 Ψύξη του καφέ

Η διαδικασία διακόπτεται απότομα και ο καβουρδισμένος καφές υποβάλλεται σε ταχεία ψύξη για να συμπυκνωθούν οι αρωματικές ουσίες και να διακοπούν οι πυρολυτικές αντιδράσεις. Η ψύξη πραγματοποιείται με ρεύμα αέρα ή ψεκάσμο νερού για 5 λεπτά, ή σε κάποιες περιπτώσεις διοχετεύεται νερό στον θάλαμο που μέχρι το πέρας της διαδικασίας έχει εξατμιστεί. (Louzada Pereira & Rizzo Moreira, 2021)

1.5.4 Πτητικές ενώσεις και αρώματα καφέ

Κατά την διαδικασία του καβουρδίσματος προκαλείται αύξηση της εσωτερικής πίεσης, λόγω της αλλαγής της χημικής δομής και του σχηματισμού πτητικών ενώσεων, η οποία οδηγεί σε διαστολή και ράγισμα των κόκκων.

Οι πτητικές ενώσεις του καφέ ανήκουν σε διάφορες χημικές κατηγορίες, όπως φουράνια, πυραζίνες, κετόνες, αλκοόλες, αλδεΐδες, εστέρες, πυρρόλες, θειοφένια, θειούχες ενώσεις, ενώσεις βενζολίου, ενώσεις φαινολών, φαινόλες, πυριδίνες, θειαζόλες, οξαζόλες, λακτόνες, αλκάνια, αλκένια και οξέα όπως άλλες βάσεις (π.χ. κινοξαλίνες, ινδόλες), φουρανόνες, μεταξύ άλλων. Οι πιο σημαντικές ποσοτικά ενώσεις για το άρωμα του καφέ είναι τα φουράνια και οι πυραζίνες, οι οποίες μαζί με θειούχες ενώσεις καθορίζουν τα βασικά ποιοτικά χαρακτηριστικά του. Η σακχαρόζη, η οποία αποτελεί το 7-8% του πράσινου κόκκου, κατά τη διάρκεια του καβουρδίσματος, υφίσταται αποικοδόμηση με αποτέλεσμα την παραγωγή καραμελωμένων προϊόντων που ευθύνονται για το χρώμα και τη γλυκιά γεύση, ωστόσο, η αποικοδόμηση αυτή επηρεάζεται από τον βαθμό καβουρδίσματος. Όσο πιο σκούρο είναι το χρώμα του καβουρδίσματος, τόσο περισσότερες πεντόζες, όπως η αραβινόζη και η ριβόζη, προέρχονται από τη σακχαρόζη. Οι πεντοζάνες αποσυντίθενται εν μέρει σε φουρφοουράλη νωρίς κατά τη διαδικασία του καβουρδίσματος, οπότε η ένωση αυτή είναι παρούσα σε πολύ υψηλό επίπεδο στο ελαφρύ καβούρδισμα, και θυμίζει άρωμα δημητριακών. Τα χλωρογενικά οξέα

εμφανίζονται επίσης με μεγαλύτερη ένταση στο ελαφρύ καβούρδισμα, καθώς εξελίσσεται ο βαθμός καβουρδίσματος, δημιουργώντας καφεϊκό και κινικό οξύ, τα οποία είναι πιο πικρά και στυπτικά. Το κιτρικό οξύ αποσυντίθεται επίσης γρήγορα κατά το καβούρδισμα, οπότε η συγκέντρωσή του είναι υψηλότερη στον ελαφρύ και μεσαίο βαθμό καβουρδίσματος. Το pH και η οξύτητα, τα οποία είναι εξαιρετικά σημαντικά για την ποιότητα του καφέ στο τελικό προϊόν, επιδρούν περισσότερο κατά το ελαφρύ και μεσαίο καβούρδισμα, καθώς τροποποιούνται ελάχιστα στον πρώιμες φάσεις του καβουρδίσματος και στη συνέχεια μειώνονται λόγω του σχηματισμού οξέων στις αντιδράσεις των σακχάρων. Οι πρωτεΐνες μετουσιώνονται σε θερμοκρασίες χαμηλότερες από αυτές που λαμβάνουν χώρα οι αντιδράσεις πυρόλυσης. Υδρόλυση των πεπτιδικών δεσμών απελευθερώνει καρβονύλια και αμίνες που καταλήγουν σε μια οσμή αμμωνιακή, η οποία είναι πολύ συνηθισμένη στους σκουρόχρωμους καβουρδισμένους καφέδες. (Louzada Pereira & Rizzo Moreira, 2021)

Κατά την ανάπτυξη του καβουρδίσματος λαμβάνει χώρα η διάσπαση της δομής των κυττάρων των κόκκων, η οποία απελευθερώνει τα κολλοειδή έλαια που προκαλούν τον κοκκινωπό καπνό και κινούνται μέσα στους κόκκους. Σε ένα σκούρο καβούρδισμα, τα έλαια αυτά αποδεικνύονται φυσικά με σταγονίδια στην επιφάνειά του. Το διοξείδιο του άνθρακα είναι το αποτέλεσμα της αποσύνθεσης των καρβοξυλικών οξέων που απελευθερώνονται κατά τη διαδικασία του καβουρδίσματος. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι οι πρώτες χημικές αντιδράσεις που αναπτύσσονται στο καβούρδισμα είναι ενδόθερμες, δεδομένου ότι ο κόκκος απορροφά θερμότητα, ωστόσο, σε θερμοκρασίες 190°C περίπου, οι αντιδράσεις γίνονται εξώθερμες και εκλύουν θερμότητα. Ένα άλλο γεγονός που πρέπει να επισημανθεί είναι ότι, αυτές οι χημικές αντιδράσεις δεν έχουν διευκρινιστεί πλήρως λόγω της δυσκολίας προσομοίωσής τους στο εργαστήριο, επομένως τα δεδομένα είναι τα αποτελέσματα της σύγκρισης μεταξύ των συστατικών του ακατέργαστου και του ψημένου καφέ που οδήγησαν στο συμπέρασμα αντιδράσεων όπως η αποικοδόμηση Maillard, Strecker, πυρόλυση και караμελοποίηση, οι οποίες είναι υψίστης σημασίας για το άρωμα, γεύση και το χρώμα του καβουρδισμένου καφέ. Θα πρέπει να γίνεται ελεγχόμενο καβούρδισμα, διότι υψηλή ένταση αυτού προκαλεί απώλεια ενώσεων άρρηκτα συνδεδεμένων με το αρωματικό προφίλ του καφέ και κατά συνέπεια επιδρά αρνητικά και στην ποιότητα του τελικού προϊόντος. Έτσι, εφόσον το πτητικό προφίλ μεταβάλλεται σημαντικά με τη διαδικασία του καβουρδίσματος θα πρέπει να γίνεται με απόλυτη ευθύνη και αξιοπιστία. Τα σύγχρονα τεχνολογικά μέσα μελετούν διαρκώς την επίδραση των διαφορετικών μεθόδων καβουρδίσματος και πώς αυτοί μπορούν να βελτιώσουν και να

τελειοποιήσουν την ποιότητα του τελικού προϊόντος. (Louzada Pereira & Rizzo Moreira, 2021)

1.5.5 Τεχνικές καβουρδίσματος

Το καβούρδισμα θα μπορούσε να θεωρηθεί ως μία απλή διαδικασία κατά την οποία πράσινοι κόκκοι καφέ σε μεταλλική κυλινδρική θερμαινόμενη επιφάνεια, καβουρδίζονται μέσω μιας σειράς χημικών μεταβολών, όπως αυτές αναφέρθηκαν σε προηγούμενη ενότητα. Η διαρκής εξέλιξη της τεχνολογίας έφερε πληθώρα νέων μεθόδων για το καβούρδισμα, συμπεριλαμβανομένων ειδικών μηχανημάτων που το εκτελούν. Έτσι, το καβούρδισμα πολυπλοκοποιείται και εξαρτάται από παράγοντες, όπως η σύνθεση και η θερμοκρασία πτητικών ενώσεων, η πίεση, ο χρόνος, η σχετική ταχύτητα των κόκκων και ο ρυθμός ροής των αερίων.

Οι προκληθείσες μεταβολές αφορούν τόσο τη χημική σύσταση, όσο και τη φυσική δομή και αυτό αποδεικνύεται από τις αλλαγές που παρατηρούνται στο χρώμα, την πυκνότητα, τη μάζα και την υγρασία.

Η διαδικασία αρχίζει με τον κόκκο να πηγαίνει στον προβλεπόμενο χώρο με υγρασία περίπου στο 11%. Οι περισσότερες μηχανές καβουρδίσματος περιλαμβάνουν ένα περιστρεφόμενο, εξωτερικά θερμαινόμενο, τύμπανο. Το εσωτερικό του τυμπάνου ρίχνει τη θερμοκρασία του από 150°C στους 80°C και στο πρώτο λεπτό η θερμοκρασία αυξάνεται ανάλογα με το επιθυμητό προφίλ καβουρδίσματος, αρχικοποιώντας τα πρώτα φαινόμενα της διαδικασίας. Για να καβουρδιστεί 1 kg ακατέργαστων κόκκων απαιτούνται 60-100 kcal θερμότητας. Η θερμότητα μεταδίδεται με αγωγή μέσω της επαφής με θερμαινόμενη επιφάνεια του τοιχώματος του θαλάμου, ακτινοβολία μέσω θέρμανσης της επιφάνειας των κόκκων που βρίσκονται κοντά στο θερμαινόμενο τοίχωμα, με ρευστοποιημένη κλίση, ακτινοβολία μικροκυμάτων και μεταφορά μέσω θερμού αέρα σε στρωτό τυρβώδες ρεύμα, με την τελευταία να παρουσιάζεται ως η πιο αποτελεσματική. (Louzada Pereira & Rizzo Moreira, 2021)

Οι παραδοσιακές μηχανές καβουρδίσματος κόκκων καφέ είναι τύπου περιστρεφόμενου κυλίνδρου, που διαθέτει εσωτερικά διαφράγματα για ανάδευση των κόκκων, οι οποίοι περικλείονται σε έναν ηλεκτρικό φούρνο ή φούρνο εξαναγκασμένης ροής αέρα (Εικόνα 12). Διακρίνονται σε οριζόντιο τύμπανο με διάτρητο και με συμπαγές τοίχωμα. Απαιτούν για το καβούρδισμα υψηλές θερμοκρασίες και πολύ χρόνο (HTLT), γεγονός που αποτελεί το βασικό τους μειονέκτημα. Ο παρατεταμένος χρόνος (15-18 λεπτά) και οι υψηλές θερμοκρασίες οδηγούν συχνά σε κάψιμο ορισμένων κόκκων, που επεκτείνεται σε σκουρόχρωμο καβούρδισμα και παραμονή κάρβουνου εντός της μηχανής. Ο καθαρισμός τους αποτελεί μία δύσκολη διαδικασία, προσδίδοντας κατ' αυτόν τον τρόπο μία πιο πικρή,

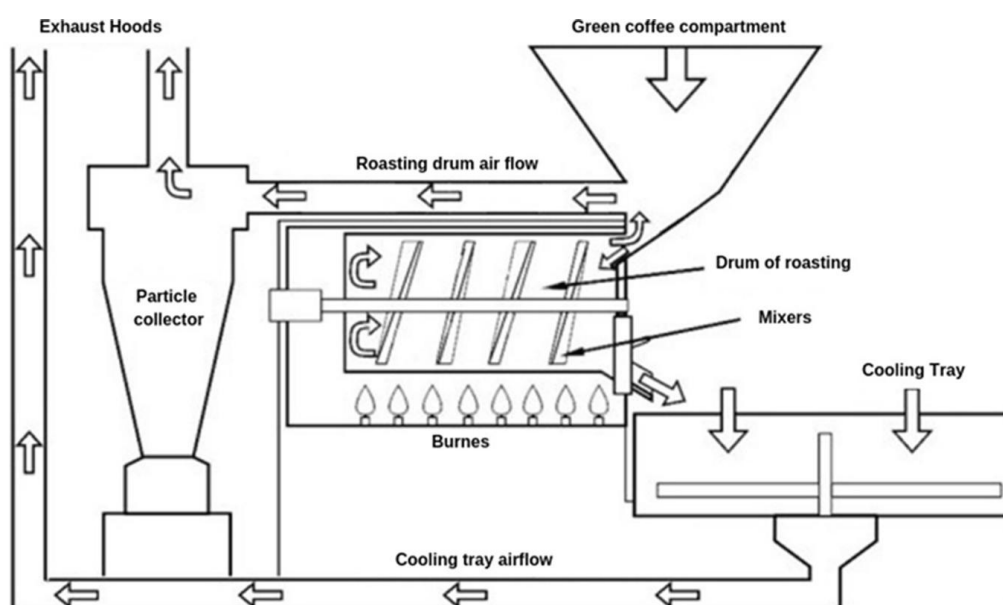
καπνιστή επίγευση στο τελικό προϊόν. Η θερμότητα μεταφέρεται κυρίως με αγωγή σε αργούς ρυθμούς, χωρίς όμως να αναβαθμίζεται η ποιότητα του καφέ, διότι χάνονται περισσότερες πτητικές ουσίες και αποικοδομούνται περισσότερα χλωρογενικά οξέα. Ωστόσο, γίνεται ομοιογενής ανάμιξη και μέσω φλόγας πραγματοποιείται ομοιόμορφο καβούρδισμα. Με το πέρας της διαδικασίας ο καφές μεταφέρεται σε διαμέρισμα ψύξης για ταχεία ελάττωση



της θερμοκρασίας, προκειμένου να διακοπεί η ροή του καβουρδίσματος. Πλέον, στη βιομηχανία καφέ οι μηχανές οριζόντιου τυμπάνου διάτρητου τοιχώματος έχουν αντικατασταθεί από πιο εξελιγμένες τεχνικές και δεν χρησιμοποιούνται τόσο συχνά.

Εικόνα 12: Περιστρεφόμενος κύλινδρος καβουρδίσματος
Πηγή: https://www.deahellas.gr/image/cache/data/1_cover-800x600.jpg

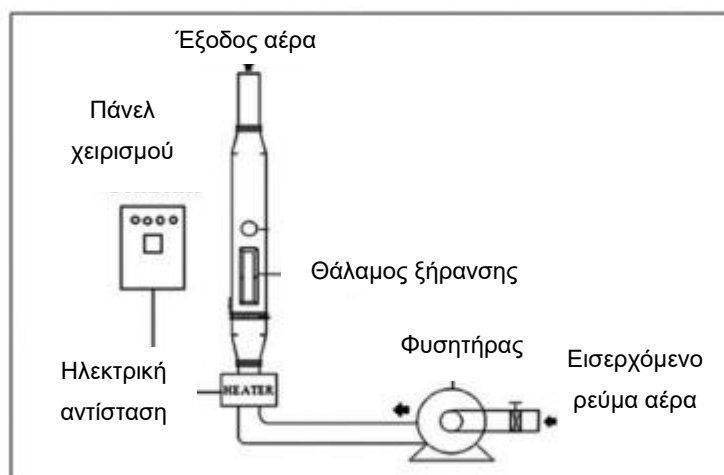
Ο παλαιότερος τρόπος καβουρδίσματος του καφέ ήταν το καβούρδισμα με αγωγή ή απευθείας επαφή με φλόγα. Η μετάδοση θερμότητας, στην περίπτωση αυτή, γίνεται από την ακτινοβολία φλόγας με το εξωτερικό τοίχωμα του τυμπάνου, που με τη σειρά του περνάει στο εσωτερικό του τυμπάνου και φτάνει στον ακατέργαστο κόκκο. Ο θερμός αέρας που εισέρχεται στο τύμπανο προκαλεί αγωγή θερμότητας που ενεργοποιεί τη διαδικασία του καβουρδίσματος. (Εικόνα 13)



Εικόνα 13: Σχηματική απεικόνιση καβουρδίσματος με απευθείας επαφή με φλόγα
Πηγή: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-54437-9>

Στις πιο συνηθισμένες μεθόδους που χρησιμοποιούνται σήμερα, ανήκει η ψύξη με προθερμασμένο αέρα. Ένας καυστήρας προθερμαίνει ρεύμα αέρα που κατευθύνεται προς το τύμπανο που περιέχει τον ακατέργαστο καφέ. Η μεταφορά θερμότητας πραγματοποιείται μέσω της συναγωγής του στρωτού ρεύματος μεταξύ του αέρα και του καφέ και της αγωγιμότητας μεταξύ των κόκκων. Κατά τη διάρκεια των πρώτων λεπτών, η θερμοκρασία πέφτει δραματικά και μετά από 2-3 λεπτά, θερμαίνονται γρήγορα οι κόκκοι.

Ο ξηραντήρας ρευστοποιημένης κλίνης ξηραίνει τα σωματίδια μέσω κάποιου ρευστού (αέριο ή υγρό) που ρέει σε ένα στερεό χύδην προϊόν (Εικόνα 14). Επιτυγχάνεται, έτσι, υψηλή μεταφορά μάζας και θερμότητας, λόγω της πολύ καλής ανάμιξης που πραγματοποιείται. Στην περίπτωση του καφέ, αφήνει τον προθερμασμένο αέρα να εισχωρήσει κάθετα, με γρήγορη ταχύτητα, στο τύμπανο που βρίσκονται οι ακατέργαστοι κόκκοι, με αποτέλεσμα οι τελευταίοι να αιωρούνται και να αποκτούν ρευστή εμφάνιση. Η θερμότητα μεταδίδεται μέσω μηχανισμού μεταφοράς, με πολύ μεγάλη εισροή ενέργειας ανά τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας των κόκκων. Έτσι, επιτυγχάνεται γρήγορο καβούρδισμα, με το τελικό προϊόν να έχει χαμηλή πυκνότητα και υψηλή απόδοση. Η βραχύχρονη διαδικασία ευνοεί τη λιγότερη αποικοδόμηση χλωρογενικών οξέων, τη μεγαλύτερη απόδοση σε διαλυτά στερεά, τη μικρότερη απώλεια πτητικών ενώσεων και την αποφυγή έντονα καμμένου αρώματος,



Εικόνα 14:Σχηματική απεικόνιση ξηραντήρα ρευστοποιημένης κλίνης

Πηγή: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-54437-9>

καθιστώντας, έτσι, τη διαδικασία ιδιαίτερα ευνοϊκή. Επίσης, στα πλεονεκτήματα της μεθόδου ανήκουν και η ευελιξία του καυσίμου, καθώς και οι χαμηλές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂). Γι' αυτό και η συγκεκριμένη τεχνική μπορεί απλά να χρησιμοποιηθεί αποδοτικά για την τροποποίηση της δομής του κόκκου. Να σημειωθεί εδώ πως, ο ξηραντήρας ρευστοποιημένης κλίνης χρησιμοποιείται ευρέως σε μεγάλη κλίμακα για την παρασκευή στιγμιαίου καφέ, προσδίδοντας ομοιομορφία και έλεγχο των παραμέτρων της διαδικασίας, όπως ο ακριβής καθορισμός της θερμοκρασίας που θα περιβάλλει τους κόκκους. Σε μικρότερες παρτίδες, ωστόσο, η διαδικασία μπορεί να παρουσιάσει δυσκολίες στον χειρισμό.

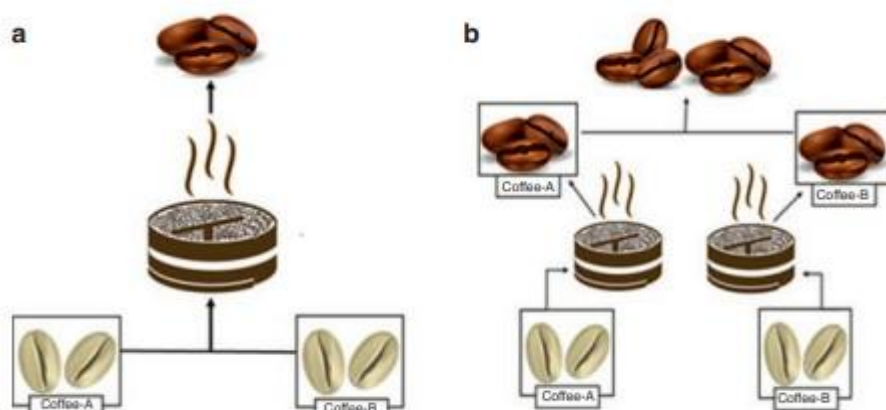
Το κύριο παραχθέν αέριο κατά το καβουρδισμό είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) σε ποσοστό 80% των συνολικών σχηματιζόμενων αερίων. Μεγάλο μέρος του χάνεται κατά το καβουρδισμό, όμως, κάποιο μέρος μένει στο εσωτερικό των κόκκων και διαχέεται αργότερα κατά την αποθήκευση. Το τι ποσοστό διοξειδίου θα παραμείνει στους κόκκους δεν εξαρτάται από τη θερμοκρασία καβουρδίσματος, αλλά από τον ρυθμό καβουρδίσματος. Ειδικότερα, παρατηρούνται ταχείς ρυθμοί απαέρωσης σε υψηλές θερμοκρασίες και χαμηλοί σε χαμηλές θερμοκρασίες αντίστοιχα. Επίσης, 26-59% του διοξειδίου του άνθρακα θα χαθεί, όταν καβουρδισμένοι κόκκοι αλέθονται από χονδρόκοκκο σε λεπτόκοκκο καφέ. Θα πρέπει, λοιπόν, ο καβουρδισμένος καφές να απαερωθεί όσο γίνεται περισσότερο πριν τη συσκευασία, προκειμένου να μη διογκωθεί και υπάρξει διάρρηξη ή διαρροή του προϊόντος. Συχνά, απαερώνονται μερικώς και τοποθετείται πάνω στη συσκευασία μία βαλβίδα εξαερισμού (ενεργό σύστημα συσκευασίας), η οποία επιτρέπει την έξοδο του CO₂ από τη συσκευασία κατά την αποθήκευση.

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι οι κόκκοι καφέ παρουσιάζουν συχνά διαφορές μεταξύ τους και απαιτούν λίγο διαφορετικό χειρισμό. Αισθητήρες και κάμερες που προλαμβάνουν αυτόν τον παράγοντα, μπορούν να οδηγήσουν στην επιλογή πιο σωστών μεθόδων καβουρδίσματος, συμπεριλαμβανομένου του χρόνου και της θερμοκρασίας που θα εφαρμοστούν, κατά περίπτωση. Ο αυτοματισμός τότε αλλάζει προφίλ και διαδραματίζεται σε πραγματικό χρόνο, 'εξετάζοντας' την κάθε περίπτωση ξεχωριστά και καταλήγοντας σε ακόμα πιο ποιοτικά τελικά προϊόντα. (Louzada Pereira & Rizzo Moreira, 2021)

1.5.6 Ανάμιξη καβουρδισμένου καφέ

Συχνά στη βιομηχανία του καφέ γίνεται μίξη από δύο χαρμάνια, κυρίως των δύο ειδών Arabica και Robusta. Το κάθε είδος έχει τη δική του φυσιολογία και χημική σύσταση, οπότε η μίξη τους σε διαφορετικές αναλογίες, φέρνει νέες δυνατότητες για διαφοροποιημένα προϊόντα. Μόλις καθοριστούν οι αναλογίες της ανάμιξης πρέπει να αποφασιστεί ποια μέθοδος θα ακολουθηθεί. Ειδικότερα, η πρώτη εκδοχή δίνει πρώτα

ανάμιξη και μετά καβούρδισμα (*blend-before-roast*), ή διαφορετικά, ανεξάρτητο καβούρδισμα και ανάμιξη αυτών μετά (*blend-after-roast*) (Εικόνα 15). Λόγω της διαφορετικής σύστασης των δύο ειδών πρέπει να ληφθεί υπόψιν ο διαφορετικός χειρισμός καβουρδίσματος και η δημιουργία ανομοιομορφίας χρώματος στο μίγμα. Ο πιο συχνά βιομηχανοποιημένος τρόπος είναι αυτός που η ανάμιξη γίνεται πριν το καβούρδισμα, γιατί υπάρχει χαμηλότερο κόστος και ας μην υπάρχει ομοιογένεια στο καβούρδισμα. Από την άλλη, η ανάμιξη των ήδη καβουρδισμένων κόκκων ακολουθεί μία πιο ολοκληρωμένη ποιοτικά διαδικασία, που καταλήγει σε συγκεκριμένα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, χρώματος και οξύτητας, που μπορεί να αποτελούν προϋπόθεση για τον παρασκευαστή. Παρ' όλα αυτά, απαιτεί παραπάνω αποθηκευτικούς χώρους και μεγαλύτερο κόστος, άρα είναι λιγότερο επιθυμητή. (Louzada Pereira & Rizzo Moreira, 2021)

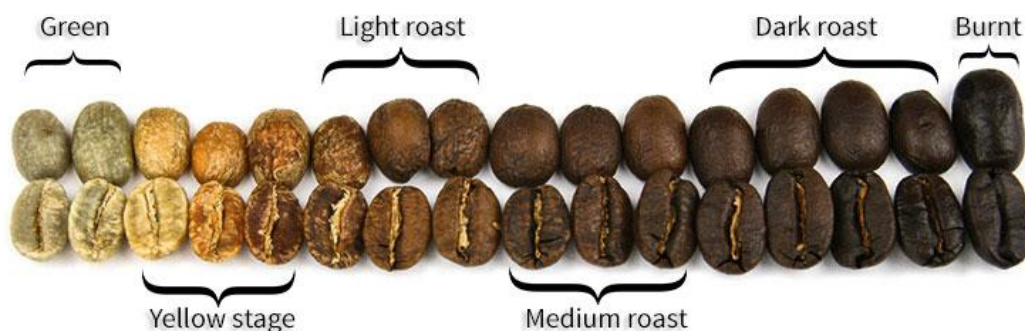


Εικόνα 15: Ανάμιξη κόκκων καφέ πριν και μετά το καβούρδισμα

Πηγή: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-54437-9>

1.5.7 Προφίλ του καφέ

Τρία είναι τα κύρια είδη καβουρδίσματος, το ελαφρύ (*light roast*), το μέτριο (*medium roast*) και το δυνατό καβούρδισμα (*dark roast*). Στο ελαφρύ καβούρδισμα ο κόκκος φτάνει τους 200°C και χάνει το 15% της μάζας του, ενώ αν παραμείνει μέχρι τους 213°C χάνει το 17% της αρχικής του μάζας, το οποίο αποτελεί το μέτριο καβούρδισμα. Το δυνατό καβούρδισμα περιλαμβάνει σκούρο καφέ χρώμα, απώλεια μάζας 20% και θερμοκρασία 232°C. (Εικόνα 16)

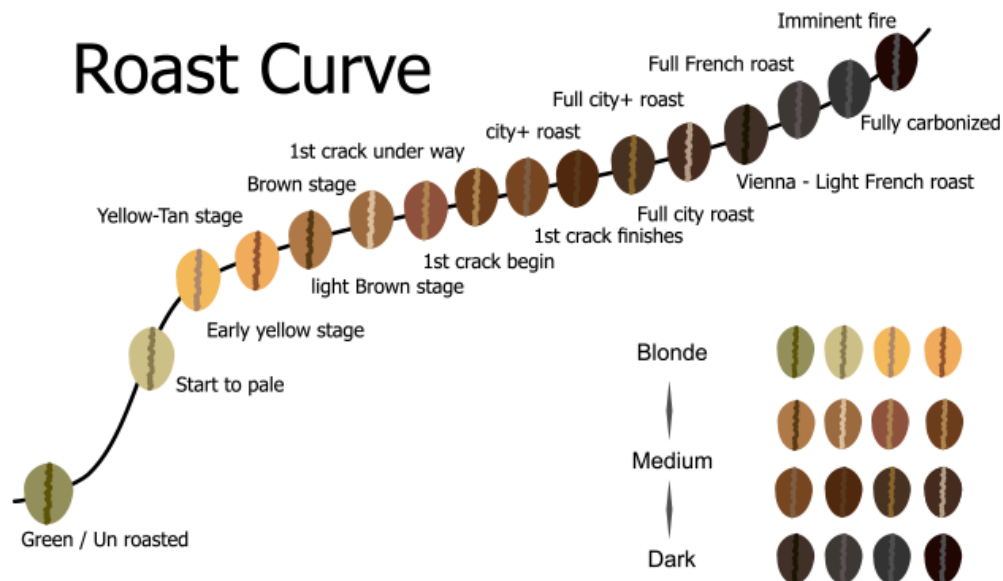


Εικόνα 16: Είδη και στάδια καβουρδίσματος
 Πηγή: <https://www.caffesociety.co.uk/coffee-roasting>

Από το ελαφρύ στο σκούρο προφίλ, ο κόκκος αυξάνεται σε μέγεθος, μειώνει την πυκνότητά του και ενισχύει τη γεύση του. Ειδικότερα, ανοιχτόχρωμο καβούρδισμα σηματοδοτεί αυξημένη οξύτητα και σκουρόχρωμο καβούρδισμα έντονη αίσθηση πικρής επίγευσης. Το μεσαίο καβούρδισμα εμφανίζει μεγαλύτερη ισορροπία γεύσεων πικρού και καραμελωμένου. Πέρα, όμως, από τα βασικά αυτά στάδια υπάρχουν και επιπλέον στάδια μεταξύ αυτών, όπως θα περιγραφούν παρακάτω (Εικόνα 17) (Louzada Pereira & Rizzo Moreira, 2021):

- ▷ Το κίτρινο στάδιο (yellow stage) που ξεκινά από τη στιγμή που ο κόκκος δέχεται θερμότητα (90-120°C) και αρχίζει να χάνει υγρασία, λαμβάνοντας ένα ελαφρύ κίτρινο χρώμα και οσμή από βρεγμένο γρασίδι.
- ▷ Το στάδιο της κανέλας (cinnamon stage) που αρχίζει η διαστολή του κόκκου, το χρώμα γίνεται καστανό και η οσμή θυμίζει ψημένο ψωμί. Η θερμοκρασία φτάνει τους 130°C.
- ▷ Το αμερικανικό στάδιο (American stage) που εμφανίζεται η πρώτη ρωγμή, ο κόκκος διογκώνεται και σπάει τα τοιχώματά του, εξαιτίας των εξώθερμων αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα.
- ▷ Το στάδιο “πόλη” (city stage) που η ρωγμή κλείνει στους 205-213°C και το 50% των σακχάρων έχει καραμελοποιηθεί και η γεύση είναι ιδιαίτερα έντονη.
- ▷ Το στάδιο “πλήρους πόλης” (full city stage) η εσωτερική θερμοκρασία του κόκκου φτάνει τους 213-230°C. Η εσωτερική πίεση είναι πολύ αυξημένη λόγω του διοξειδίου του άνθρακα που προκύπτει από τις χημικές αντιδράσεις. Προκειμένου να διαφύγει σπάει και απελευθερώνει το λάδι, δίνοντας μια λαμπερή όψη στον κόκκο.

- ▷ Το στάδιο της Βιέννης (Vienna stage) που λαμβάνει χώρα ένα επιθετικό καβούρδισμα, με θερμοκρασίες από 231- 240°C.
- ▷ Το στάδιο espresso (espresso stage) που ο κόκκος υποβάλλεται σε υψηλές θερμοκρασίες (243-265°C), το καραμελωμένο σάκχαρο αρχίζει να αποικοδομείται ταχύτατα και οι κυτταρινικές δομές των κόκκων απανθρακοποιούνται. Ο κόκκος διαστέλλεται και οι αρωματικές ενώσεις, τα έλαια και τα διαλυτά στερεά εξαλείφονται, δίνοντας θέση στο έντονο άρωμα καπνού.



Εικόνα 17: Καμπύλη καβουρδίσματος

Πηγή: https://www.shutterstock.com/el/search/coffee+roasting+process?image_type=illustration

1.5.8 Σχέση χρόνου-θερμοκρασίας καβουρδίσματος

Η σχέση χρόνου και θερμοκρασίας καβουρδίσματος διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην παρασκευή του επιθυμητού προφίλ καφέ. Διαφορετική θερμοκρασία και χρόνος παραμονής αποτυπώνονται διαφορετικά στο τελικό προϊόν και ως εμφανίζουν ίδιο χρώμα μετά το καβούρδισμα. Σε καβούρδισμα βραχέως χρόνου και υψηλής θερμοκρασίας γίνεται έντονη μεταφορά θερμότητας, ταχεία αφυδάτωση, γρήγορη εξέλιξη των χημικών αντιδράσεων και άρα έντονη απελευθέρωση παραγόμενων αερίων, συνοδευόμενη από αύξηση του όγκου. Υψηλή ένταση διακρίνει τη γεύση και μεγάλη παραγωγή διαλυτών ουσιών μπορεί να είναι επιθυμητές ανάλογα με αυτό που επιζητά η βιομηχανία. Από την άλλη, παρατεταμένο καβούρδισμα με χαμηλότερες θερμοκρασίες οδηγεί σε πιο

ισορροπημένο καφέ από άποψη γεύσης και σώματος, με καλύτερη εξέλιξη των αντιδράσεων καραμελοποίησης.

Θα πρέπει να αποσαφηνιστεί πως δεν τίθεται θέμα για το ποιο από τα δύο είδη καβουρδίσματος είναι καλύτερο. Και στα δύο αναπτύσσονται αρωματικές ουσίες, οι οποίες διαφοροποιούνται, όπως συμβαίνει και με την εμφάνιση και γεύση του κόκκου. Επομένως, η επιλογή συνίσταται στο τι προφίλ καφέ είναι επιθυμητό να παρασκευαστεί. Το παραδοσιακό καβούρδισμα περιλαμβάνει συνδυασμό των δύο, δηλαδή ξεκινά με αργό προφίλ, όπου η αφυδάτωση και οι αντιδράσεις καραμελοποίησης ξεκινούν αργά και ολοκληρώνεται με γρήγορο προφίλ, όπου έχουμε ταχύτερη μεταφορά θερμότητας και επιτάχυνση των χημικών αντιδράσεων. Σε αυτή την περίπτωση ο κόκκος παρουσιάζει μεγαλύτερο όγκο και πορώδες, υψηλότερη απόδοση εκχύλισης και εντονότερη γεύση. (Louzada Pereira & Rizzo Moreira, 2021)

Κεφάλαιο 2 Υποπροϊόντα επεξεργασίας καφέ και ανάκτηση βιοενεργών συστατικών

2.1 Κατηγορίες υποπροϊόντων και προέλευση

Ο καφές είναι το πιο συνηθισμένο ρόφημα και υπάρχουν δύο κύριες διαφορετικές μέθοδοι επεξεργασίας των κόκκων καφέ. Ο φλοιός του καφέ (coffee husk) είναι το κύριο υποπροϊόν της επεξεργασίας καφέ με την ξηρή μέθοδο και είναι διαθέσιμο σε μεγάλες ποσότητες σε όλο τον κόσμο αλλά η διαθεσιμότητα του περιορίζεται στη διατροφή των ζώων ή την παραγωγή ενέργειας. (Hoseini et al., 2021). Οι ευεργετικές ιδιότητές του, παραδοσιακά, οφείλονται στην καφεΐνη αλλά πλέον, είναι διαδεδομένο πως και άλλες ενώσεις συμβάλλουν στο υψηλό θρεπτικό φορτίο που έχει, μεμονωμένα και επί του συνόλου. Τα οφέλη που προσφέρονται καθορίζονται άμεσα από την σύνθεση των πράσινων κόκκων και τις μεταβολές που πραγματοποιούνται κατά τη διάρκεια του καβουρδίσματος. Ο καφές περιέχει συνολικά περίπου 2000 ενώσεις, εκ των οποίων είναι χημικές και πτητικές, χλωρογενικά οξέα και βιταμίνη B3. Αυτές οι ενώσεις προσφέρουν την αντικυτταριτιδική, αντιμικροβιακή, αντιοξειδωτική, αντιφλεγμονώδη, αντικαρκινική, αντιγηραντική και αντηλιακή δράση.

Συνεπώς, τα υποπροϊόντα της επεξεργασίας καφέ, μπορούν να θεωρηθούν ως πιθανά λειτουργικά συστατικά στη βιομηχανία τροφίμων και καλλυντικών. Ο φλοιός του καφέ, η πούλπα του και η φλούδα του, αποτελούν το 45% του καρπού του καφέ, είναι από τα κύρια πολύτιμα υποπροϊόντα της αγροτοβιομηχανίας όπως η εκχύλιση της καφεΐνης και των πολυφαινολών. Παρόλο που, η βλεννώδης ουσία και το ενδοκάρπιο, έχουν μελετηθεί λιγότερο συγκριτικά με τα άλλα υποπροϊόντα, αποτελούν και αυτά με τη σειρά τους πηγή πολύτιμων συστατικών. Ακόμα, το καβουρδισμένο ασημένιο δέρμα του καφέ (coffee silverskin) έχει αξιολογηθεί ως προς τις διαιτητικές ίνες καθώς και τις αντιοξειδωτικές του ιδιότητες. (Esquivel, Jiménez, 2011).

Υποπροϊόντα θεωρούνται και οι μη ώριμοι αλλά και ελαττωματικοί καρποί καθώς και ο αλεσμένος κόκκος καφέ (spent coffee ground - SCG). Παρακάτω, θα παρουσιαστούν και θα περιγραφούν όλα τα υποπροϊόντα επεξεργασίας καφέ, από που προέρχονται και η θρεπτική τους αξία.

2.1.1 Κεράσι του καφέ (Coffee cherry)

Ο καρπός του καφέ (coffee cherry), όπως φαίνεται στην Εικόνα 18, αποτελείται από ένα μαλακό και συνάμα σκληρό εξωτερικό περίβλημα, το οποίο συνήθως πριν αποκοπεί από το δέντρο είναι πράσινο ενώ, όταν αποκοπεί μετατρέπεται σε βαθύ κόκκινο ή και σε κίτρινο ή πορτοκαλί σε ορισμένες ποικιλίες.

Περιέχει τον κόκκο καφέ (coffee bean), την ασημένια επιδερμίδα καφέ (coffee silverskin), τη πούλπα (pulp), το ενδοκάρπιο (parchment), τη βλεννώδη ουσία (mucilage) και το περίβλημα του καφέ (skin). (Esquivel & Jiménez, 2012)

Κατά την παραγωγή καφέ, μόνο ο κόκκος του καφέ αξιοποιείται ενώ, τα υπόλοιπα είναι υποπροϊόντα (Πίνακας 1). Παραπάνω από το 50% των καρπών του καφέ απορρίπτονται και ακολούθως μολύνουν το περιβάλλον, παρόλο που δυνητικά θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν σε βιομηχανίες τροφίμων και καλλυντικών.



Εικόνα 18: Κεράσι καφέ (Coffee cherry)
Πηγή: <https://www.rainforest-alliance.org/>

Υποπροϊόντα και η δράση τους	
Φλοιός καφέ	Αντιοξειδωτική
Πολτός καφέ	Αντιοξειδωτική, αντιμικροβιακή, αντιφλεγμονώδης, πηκτική
Χρησιμοποιημένοι κόκκοι καφέ	Αντιοξειδωτική, αντιρυτιδική, ατηλιακή, ενυδατική, σταθερότητα γαλακτώματος, γαλακτωματοποιητική, αντιμικροβιακή, αντικυτταριτιδική
Ασημένια επιδερμίδα καφέ	Αντιοξειδωτική, αντιρυτιδική, αντιμικροβιακή, αντικυτταριτιδική

Πίνακας 1: Υποπροϊόντα του καφέ και η δράση τους

2.1.2 Χρησιμοποιημένοι κόκκοι καφέ (SCG)

Οι χρησιμοποιημένοι κόκκοι καφέ είναι αποτέλεσμα της παρασκευής καφέ από μηχανές είτε για επαγγελματική, είτε για οικιακή χρήση και αποτελεί στερεό απόβλητο των βιομηχανιών επεξεργασίας καφέ, όπου και παράγονται ετησίως 6 εκατομμύρια τόνοι. Έχουν σκούρο καφέ χρώμα, χονδροειδή υφή και υψηλή περιεκτικότητα υγρασίας. Κατά την διάρκεια επεξεργασίας καφέ, για κάθε τόνο

πράσινου καφέ, υπολογίζεται η παραγωγή 650 κιλών χρησιμοποιημένου καφέ και για κάθε κιλό σκόνης καφέ παράγονται 2 κιλά υγρού αποβλήτου (Hoseini et al., 2021). Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η αξιοποίηση τους σε βιομηχανίες τροφίμων και καλλυντικών, λόγω του ότι προέρχονται από τους κόκκους καφέ, επομένως οι ιδιότητές τους δε θα διαφέρουν από αυτές.

Επίσης, η ποσότητα της καφεΐνης στους SCG είναι ακόμα αυξημένη παρόλο που, στα απόβλητα είναι χαμηλή. Ο τύπος του κόκκου καφέ, ορίζει τη σύνθεση του SCG καθώς και, τις διαδικασίες καβουρδίσματος και εκχύλισής του. (Santos et al., 2021)

Στην Εικόνα 19 αναδεικνύεται πως η διαδικασία καβουρδίσματος του καφέ αποδίδει και αντίστοιχο SCG. Για παράδειγμα, ο ελαφρώς καβουρδισμένος καφές παράγει ελαφρώς καβουρδισμένο SCG κ.ο.κ.



Εικόνα 19: Μορφές καβουρδισμένου καφέ

Πηγή: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996920303938#f0025>

2.1.3 Φλοιός του καφέ (Coffee Husk)

Ο φλοιός του καφέ είναι το κύριο υποπροϊόν της ξηρής μεθόδου επεξεργασίας του καφέ και σχηματίζεται από όλα τα στρώματα ταυτόχρονα. Καθώς ο καρπός του καφέ αποξηραίνεται, περίπου το 12-18% του αποξηραμένου βάρους του καρπού, είναι ο φλοιός. (Santos et al., 2021) Συγκεκριμένα, από 1 τόνο καρπού του καφέ, λαμβάνονται 0,18 τόνοι φλοιός του καφέ. (Santos et al., 2021)(Aristizábal-Marulanda et al., 2017).

Η ποσότητα των συστατικών του φλοιού, είναι ανάλογες του είδους καφέ και της γεωγραφικής προέλευσης του καρπού και των επιλεγμένων συνθηκών επεξεργασίας. Είναι πλούσιος σε μακρο- και μικρο-συστατικά, όπως Κ, Ν, Ρ και άλλα. Περιέχει, επίσης, πτητικές ενώσεις (έλαια), πρωτεΐνες, φαινολικά οξέα, χλωρογενικά οξέα, τανίνες και αρωματικές ενώσεις. Η αξιοποίησή του σε εφαρμογές είναι διευρυμένη όπως ως προσροφητικό υλικό ρύπων, βιοκαύσιμο, ή για εξαγωγή

ενζύμων και διαιτητικών ινών. Λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε καφεΐνη, πολυφαινόλες και της υψηλής αντιοξειδωτικής δράσης του, αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο για μελέτη ανάπτυξης προϊόντων για τοπική εφαρμογή σε εγκαύματα και φλεγμονές. (Santos et al., 2021)

2.1.4 Ασημένια επιδερμίδα του καφέ (Coffee Silverskin- CS)

Η ασημένια επιδερμίδα του καφέ είναι ένα πολύ λεπτό στρώμα το οποίο βρίσκεται σε άμεση επαφή με τον κόκκο καφέ και αποκολλάται μόνο κατά τη διαδικασία του καβουρδίσματος, όπου και επικρατούν οι υψηλές θερμοκρασίες (Santos et al., 2021). Αντιπροσωπεύει το 4,2% της μάζας του κόκκου καφέ. (Aristizábal-Marulanda et al., 2017). Για την ακρίβεια, είναι το κύριο υποπροϊόν του καβουρδίσματος και έχει αντιοξειδωτική δράση, λόγω των μελανοϊδινών, πρεβιοτική δραστηριότητα, ενώ περιέχει επίσης διαιτητικές ίνες. Παρόλο που η χρήση του περιορίζεται σε λίπασμα ή καύσιμο, λόγω των πολύτιμων συστατικών του γίνεται συζήτηση και καταβάλλονται προσπάθειες για την αξιοποίησή του και σε άλλες βιομηχανίες τροφίμων, ποτών ακόμα και σε καλλυντικών. Συγκριτικά με τα υπόλοιπα υποπροϊόντα, φαίνεται πως το CS είναι περισσότερο σταθερό υλικό, χάρη στη χαμηλή περιεκτικότητά σε υγρασία. Αξίζει να σημειωθεί ότι, το CS συγκεντρώνεται εύκολα στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας καφέ, γεγονός που αποτελεί πλεονέκτημα για περαιτέρω επεξεργασία. (Santos et al., 2021)

Επιπρόσθετα, το CS αποτελεί ένα από τα κυριότερα υποπροϊόντα επεξεργασίας καφέ, με παραγωγή 76 εκατομμύρια κιλά ανά έτος. Η μετατροπή του υποπροϊόντος αυτού, μέσω αργής πυρόλυσης, σε προϊόν προστιθέμενης αξίας αποτελεί σημείο μελέτης και έρευνας για τους επιστήμονες, διαπιστώνοντας πως είναι εφικτό η βιομηχανία καφέ να απαλλαγεί από τα απόβλητά της, μέσω μιας κυκλικής οικονομίας, που βελτιώνει το περιβάλλον και προωθεί τη βιωσιμότητα. Η πυρόλυση πραγματοποιήθηκε σε εργαστηριακό αντιδραστήρα σε θερμοκρασίες 280°C, 400°C και 500°C, ώστε να προσδιοριστούν όλες οι πιθανές εφαρμογές κάθε προκύπτοντος κλάσματος πυρόλυσης. Η χημική σύνθεση των υγρών πυρόλυσης της ασημένιας επιδερμίδας καφέ αναλύθηκε με αέρια χρωματογραφία- φασματοσκοπία μάζας (GC-MS). Η καφεΐνη είναι η πιο μεγάλη, σε ποσότητα, ένωση σε όλα τα προς ανάλυση δείγματα, η οποία ποσοτικοποιήθηκε από το υδατικό κλάσμα μέσω υγρής χρωματογραφίας υψηλής απόδοσης με ανιχνευτή υπεριώδους-ορατού (HPLC-UV/Vis). Η υδατική φάση αποτελούνταν από αιθανόλη (60:40 κ.ο.) ως κινητή φάση, με ρυθμό ροής 0,4 mL/min σε θερμοκρασία δωματίου (25°C). Από ποσότητα δείγματος 4 μ L, προσδιορίστηκε καφεΐνη (g καφεΐνης/L υδατικής φάσης υγρού πυρόλυσης) στο μήκος κύματος με τη μέγιστη δυνατή απορρόφηση ($\lambda = 273$ nm). Η συγκέντρωση της καφεΐνης παρουσίασε την υψηλότερη τιμή στην υδατική φάση

στους 400°C και συγκεκριμένα 14,3 g καφεΐνης/ L υδατικής φάσης, ή 3,81 mg καφεΐνης υδατική φάσης/ g ασημένιας επιδερμίδας καφέ. (del Pozo et al., 2021)

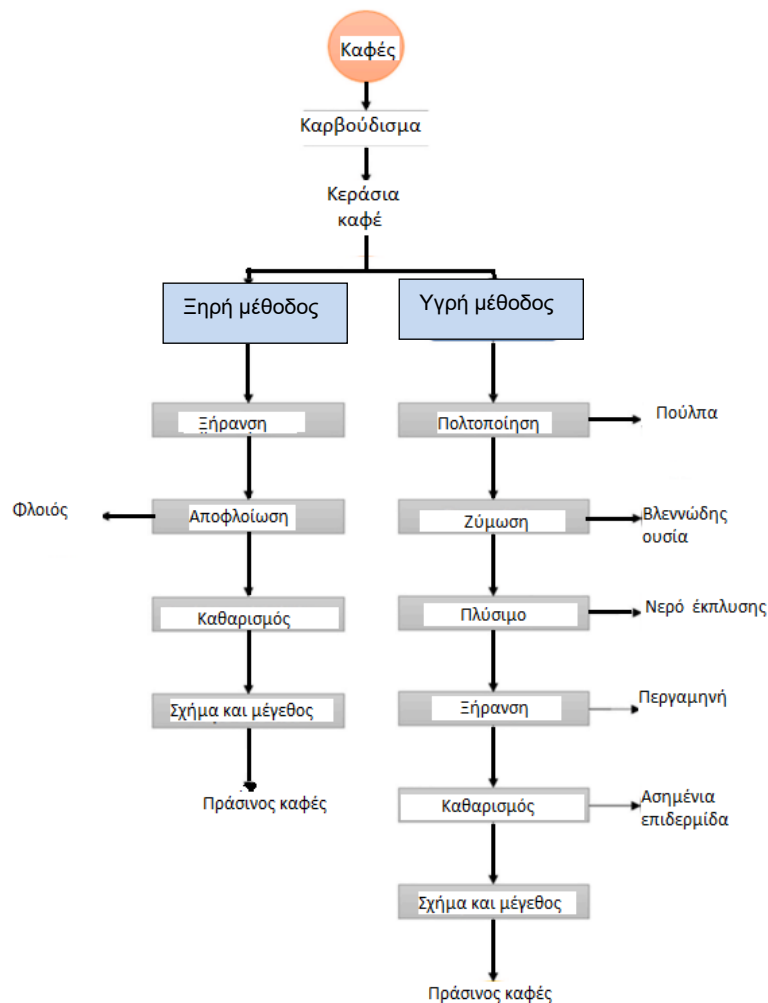
Η περιεκτικότητα σε καφεΐνη, τελικά, στην καβουρδισμένη ασημένια επιδερμίδα του καφέ κυμαίνεται μεταξύ περίπου 0,8 και 1,4 g/100 g. Σε αντίθεση με τις διαιτητικές ίνες μεταξύ των δύο ποικιλιών, η ασημένια επιδερμίδα του καφέ *Canephora* έχει πολύ υψηλότερη περιεκτικότητα σε καφεΐνη συγκριτικά με αυτή του καφέ *Arabica*. Οι Iriondo-DeHond et al. (2019) προσδιόρισαν την περιεκτικότητα σε καφεΐνη σε εκχυλίσματα από ασημένια επιδερμίδα καφέ *C. Arabica* και *C. canephora*. Τα εκχυλίσματα ασημένιας επιδερμίδας καφέ περιέχουν επίσης άλλες βιοδραστικές ενώσεις όπως το καφεϊκό οξύ, ένα χλωρογενικό οξύ, και φλαβονοειδή όπως η ρουτίνη. Έτσι, η ασημένια επιδερμίδα του καφέ έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί ως φυσικό και βιώσιμο συστατικό σε τρόφιμα. (Iriondo-DeHond et al., 2019; Klingel et al., 2020)

2.1.5 Πολτός του καφέ (pulp)

Ο πολτός του καφέ αντιπροσωπεύει περίπου το 30% της μάζας του καρπού και προέρχεται από τη διαδικασία αποφλοιώσής του με υγρή μέθοδο, εξακολουθώντας να περιέχει σε ποσοστό κ.β. 6-8% βλεννώδη ουσία. Κατά την επεξεργασία καφέ, για κάθε 2 τόνους παραγόμενου καφέ, ο 1 τόνος είναι η πούλπα καφέ. Είναι ήδη γνωστό πως, η πούλπα καφέ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παραχθούν ζωοτροφές, βιοαιθανόλη, ένζυμα, κίτρικο οξύ και άλλα καθώς και ως βοηθητικό υλικό, βάσει της αντιοξειδωτικής του δραστηριότητας. Αν και μέχρι τώρα δεν έχει αποδειχθεί, λόγω των βιοδραστικών συστατικών που περιέχει (καφεΐνη, τανίνες) και της εύκολης επιμόλυνσης από μυκοτοξίνες, αμφισβητείται η ασφάλεια του ως προς την αξιοποίησή του σε διάφορες βιομηχανίες. (Santos et al., 2021)

2.1.6 Ενδοκάρπιο (parchment) και βλεννώδης ουσία

Το ενδοκάρπιο ή αλλιώς, περγαμνή που καλύπτει και τα δύο ημισφαίρια του καφέ και τα διαχωρίζει μεταξύ τους και η βλεννώδης ουσία, μεσοκάρπιο, αποτελούν και αυτά με τη σειρά τους υποπροϊόντα αν και, δεν αξιοποιούνται ευρέως από τις διάφορες βιομηχανίες. Το ενδοκάρπιο αποσπάται κατά την αποφλοιώση με ξηρή μέθοδο, ενώ η βλεννώδης ουσία, κατά την υγρή μέθοδο, στο στάδιο της ζύμωσης. Οι κόκκοι καφέ ζυμώνονται για 12-48 ώρες, με σκοπό την απομάκρυνση της βλεννώδους ουσίας και το στάδιο αυτό ολοκληρώνεται με τη διαδικασία έκπλυσης, όπου και η βλεννώδης ουσία απομακρύνεται οριστικά. Η διάρκεια της ζύμωσης εξαρτάται από την ποικιλία του καρπού και τις κλιματικές συνθήκες. (Santos et al., 2021)



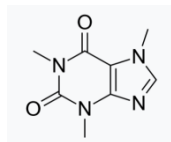
Εικόνα 20: Διάγραμμα ροής επεξεργασίας καφέ και στάδια παραγωγής υποπροϊόντων

2.2 Ανάκτηση βιοενεργών συστατικών

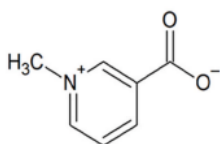
2.2.1 Βιοενεργά συστατικά

Τα βιοενεργά συστατικά είναι ένας επιπρόσθετος διατροφικός παράγοντας που υπάρχει σε μικρές ποσότητες στα τρόφιμα. Συγκεκριμένα, ο καφές περιέχει πολλές και διάφορες ενώσεις που ορίζουν τη γεύση και το άρωμα σε ένα έτοιμο προϊόν. Πρωτεΐνες, λιπίδια, καφεΐνη, οξέα, αλκαλοειδή (τριγονελλίνη), πολυμερείς πολυσακχαρίτες και υδατάνθρακες είναι κάποια από τα συστατικά που προσθέτουν την οργανοληπτική τους χροιά. Η σύνθεση των ενώσεων αυτών είναι ανάλογη του είδους του καφέ, της διαδικασίας και των συνθηκών επεξεργασίας του καφέ. Ωστόσο, η καφεΐνη, τα χλωρογενικά οξέα και η τριγονελλίνη είναι οι πιο σημαντικοί μεταβολίτες που, καθορίζουν τη γεύση και την ποιότητα στο τελικό προϊόν (Santos et al., 2021). Οι ανθοκυανίνες και οι διαιτητικές ίνες, με τη σειρά τους, αποτελούν και αυτές βιοδραστικά συστατικά και συντελούν στα οφέλη που μπορεί να έχει το εκάστοτε συστατικό στο εκάστοτε στάδιο. (Hoseini et al., 2021)

Καφεΐνη



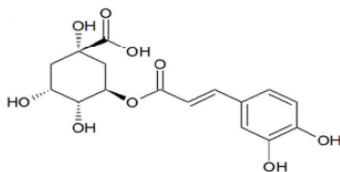
Η καφεΐνη (1,3,7-τριμεθυλοπουρίνη-2,6-διόνη) είναι ένας δευτερογενής μεταβολίτης που αναπτύσσεται μαζί με τον κόκκο καφέ. Ανήκει στην κατηγορία των μεθυλοξανθινών και η περιεκτικότητά της στον κόκκο είναι ανάλογη του γονότυπου και των περιβαλλοντικών συνθηκών. Είναι γνωστό πως, διεγείρει το κεντρικό νευρικό σύστημα (ΚΝΣ) και έχει κάποια οφέλη για την υγεία, καθώς και ότι αφήνει πικρή επίγευση στο ρόφημα καφέ. Η χημική της δομή είναι σταθερή σε υψηλές θερμοκρασίες και προσφέρει ιδιότητες αντιγήρανσης, θεραπείας ακμής, κυτταρίτιδας ενώ αποτελεί και βοηθητικό εργαλείο στα καλλυντικά ως φωτοσταθεροποιητικό και φωτοπροστατευτικό. Η καφεΐνη είναι υδρόφιλη ένωση και είναι σημαντικό να ληφθεί αυτό υπόψη ως πληροφορία, επειδή μπορεί να κατακρημνισθεί και να δημιουργήσει μη διαλυτά συσσωματώματα στο εκάστοτε σκεύασμα. (Santos et al., 2021)



Τριγονελλίνη

Η τριγονελλίνη (N-μεθυλοπυριδίνιο-3 καρβοξυλικό) είναι ετεροκυκλική υδατοδιαλυτή αλκαλοειδής ένωση που απαντάται φυσικά στα φυτικά προϊόντα. Είναι ένα από τα παράγωγα της βιταμίνης Β6, δεν έχει τόσο πικρή γεύση όσο η καφεΐνη αν και, ορίζει τη γεύση και το άρωμα του προϊόντος καφέ, όπως η καφεΐνη. Βρίσκεται στους σπόρους του καφέ και η περιεκτικότητά της ανέρχεται σε 0,6-1% κ.ο. Σε υψηλές θερμοκρασίες μετατρέπεται σε νικοτινικό οξύ, σε μεγάλες ποσότητες, το οποίο στους κόκκους καφέ παραμένει αμετάβλητο και σε περαιτέρω υψηλή θερμική επεξεργασία, λιώνει σε καθαρή κρυσταλλική μορφή και αποσυντίθεται (<http://el.winesino.com/conditions-treatments/neurological-disorders/1013044307.html>). Η τριγονελλίνη έχει πολλά οφέλη για την υγεία, προσφέροντας και αυτή με τη σειρά της, αντιοξειδωτικές, αντιγηραντικές, αντιγλυκαιμικές και αντιφλεγμονώδεις ιδιότητες.

Χλωρογενικά οξέα



Τα χλωρογενικά οξέα είναι μία ομάδα φαινολικών ενώσεων που επικρατούν κυρίως στους πράσινους κόκκους καφέ και στον φρέσκο πολτό του καφέ (Esquivel & Jiménez, 2012). Σχηματίζονται με εστεροποίηση ενός μορίου κινικού οξέος και ένα έως τρία μόρια trans-υδροξυκινναμικών οξέων, κυρίως καφεϊκού, φερουλικού και p-κουμαρικού (Belščak-Cvitanović, 2017). Στην πούλπα του καφέ έχουν αναγνωριστεί το 5-καφεοϋλοκινικό οξύ, με τη μεγαλύτερη ποσότητα και ορίζει την κακή ποιότητα ενός φλιτζανιού καφέ, το 3,4-δικαφεοϋλοκινικό οξύ, που σχετίζεται με την καλή ποιότητα ενός φλιτζανιού καφέ, το 3,5-δικαφεοϋλοκινικό οξύ και το 4,5-δικαφεοϋλοκινικό οξύ, οι οποίες είναι σε πολύ μικρότερη ποσότητα από το 5-καφεοϋλοκινικό οξύ (Esquivel & Jiménez, 2012). Οι τρεις επικρατέστερες κατηγορίες χλωρογενικών οξέων του καφέ είναι τα καφεοϋλοκινικά οξέα, τα φερουλοϋλοκινικά οξέα και τα δικαφεοϋλοκινικά οξέα, με τουλάχιστον τρία ισομερή το καθένα. Το 5-καφεοϋλοκινικό οξύ είναι το κύριο φαινολικό οξύ στα υποπροϊόντα του καφέ που παράγεται μετά τη διαδικασία καβουρδίσματος, η οποία μπορεί να αποικοδομήσει περίπου το 90% των χλωρογενικών οξέων και μετατρέπονται σε λακτόνες των χλωρογενικών οξέων (κυκλικοί εστέρες των υδροξυκαρβοξυλικών οξέων), συμβάλλοντας στην πικρή επίγευση του παραγόμενου προϊόντος. Τα χλωρογενικά οξέα, έχουν και αυτά αντιοξειδωτική και αντιφλεγμονώδη δράση. (Santos et al., 2021)

Διαιτητικές ίνες

Τα υποπροϊόντα του καφέ είναι πλούσια σε διαιτητικές ίνες και περιλαμβάνουν την κυτταρίνη, ημικυτταρίνες, λιγνίνη, κόμμεα, πηκτίνες και άλλους εξίσου θρεπτικούς πολυσακχαρίτες. Διακρίνονται σε διαλυτές και αδιάλυτες και έχουν ένα ευρύ φάσμα από οφέλη για την υγεία, αντιστοίχων με τα προαναφερθέντα βιοενεργά συστατικά, με επιπρόσθετα τη μείωση γαστρεντερικών διαταραχών και παχυσαρκίας. Το είδος του καφέ, ο τρόπος επεξεργασίας του, καθώς και το άλεσμα επηρεάζει τη δομή και περιεκτικότητα των διαιτητικών ινών. Μία μερίδα στιγμιαίου καφέ (2 g) φέρει 0,7 g διαιτητικών ινών, σύμφωνα με το Πανεπιστήμιο του Αμβούργου (Hoseini et al., 2021). Παρόλο που, υπάρχουν σε όλα τα υποπροϊόντα του καφέ, στην ασημένια επιδερμίδα του καφέ (CS), η ποσότητά τους ανέρχεται σε 60% κ.β.

Μπορούν να σχηματίσουν συσσωματώματα με πολυφαινόλες, όπως τα χλωρογενικά και καφεϊκά οξέα. Ο σχηματισμός αυτός μπορεί να είναι είτε επιβλαβής,

είτε ευεργετικός. Από τη μία, μειώνουν την βιοδραστικότητα των πολυφαινολών στο έντερο, από την άλλη προστατεύουν το στομάχι από το pH και τα ένζυμα που υπάρχουν σε αυτό, προωθώντας έτσι ένα αντιοξειδωτικό περιβάλλον και την ανάπτυξη ενός υγιούς μικροβιακού κόσμου. Όσο πιο πορώδες είναι το σύμπλεγμα διαιτητικών ινών, τόσο πιο πολλά συσσωματώματα θα σχηματιστούν. Οι διαιτητικές ίνες, αξιοποιούνται ιδιαίτερα στην βιομηχανία αρτοποιίας. (Belmiro et al., 2021)

2.2.2 Μέθοδοι ανάκτησης

Περίπου το 90% των βρώσιμων τμημάτων του κερασίου απορρίπτεται κατά τη μετατροπή του σε ρόφημα καφέ. Η δυνατότητα ανάκτησης βιοδραστικών ενώσεων από υποπροϊόντα του καφέ αποτελεί πλέον πρόκληση, όχι μόνο για τη διαφοροποίηση και την ενίσχυση της προστιθέμενης αξίας, αλλά και για τη μείωση του κόστους διαχείρισης των αποβλήτων που συνδέονται με τη διάθεση του μεγάλου όγκου υπολειμμάτων. Η παρουσία της καφεΐνης σε μεγαλύτερα από τα συνιστώμενα επίπεδα, είναι δυνατόν να προκαλέσει προβλήματα στις καλλιέργειες του φυτού του καφέ. Επιπλέον, τα μη κατάλληλα υπολείμματα του καφέ, τα οποία αποθηκεύονται, μπορεί να αυξήσουν την παραγωγή μυκοτοξινών, που σχετίζονται με την ανάπτυξη μυκήτων, όπως η ωχρατοξίνη A, η οποία ταξινομείται από τον Διεθνή Οργανισμό Έρευνας για τον Καρκίνο ως πιθανό καρκινογόνο συστατικό για τον άνθρωπο (Διεθνής Οργανισμός Έρευνας για τον Καρκίνο (IARC), 1993). (Murthy & Madhava Naidu, 2012) (del Castillo et al., 2017)

Παραδοσιακά, τα υποπροϊόντα του καφέ, (ο πολτός και ο φλοιός) χρησιμοποιούνταν ως λίπασμα, κομποστοποίηση ή/και παραγωγή ζωοτροφών. Πλέον, γίνονται προσπάθειες για την απομόνωση βιοδραστικών ενώσεων από όλα τα υποπροϊόντα για να χρησιμοποιηθούν ως αποτελεσματικό υπόστρωμα για την παραγωγή διαφόρων προϊόντων προστιθέμενης αξίας, όπως ένζυμα, οργανικά οξέα, αρωματικές ενώσεις και άλλα. (Murthy & Madhava Naidu, 2012)

Προκειμένου να ληφθεί ένα βιοδραστικό συστατικό “στόχος”, η εκχύλιση είναι το πιο σημαντικό στάδιο ανάκτησης που αρχίζει με την εκχύλιση στερεού-υγρού από αποξηραμένο και κονιοποιημένο υλικό, συνήθως με τη χρήση συμβατικών τεχνικών που βασίζονται στην εκχυλιστική ικανότητα διαφόρων διαλυτών και στην εφαρμογή θερμότητας ή/και ανάμιξης. Βέβαια, υπάρχουν και άλλες εκχυλιστικές μέθοδοι ανάκτησής τους όπως, εκχύλιση με διαλύτη, απόσταξη με ατμό και εκχύλιση με οξέα και αλκάλια. (Belščak-Cvitanović, 2017).

Όλες αυτές οι τεχνολογίες εκχύλισης διεξάγονται τις περισσότερες φορές μέσω διαφόρων τεχνικών και διαδικασιών, όπως η εκχύλιση Soxhlet, η διαβροχή και η υδροαπόσταξη. Η αποτελεσματικότητα της εκχύλισης κάθε συμβατικής μεθόδου ως επί το πλείστον εξαρτάται από την επιλογή των διαλυτών, η οποία επηρεάζεται από

την πολικότητα της ένωσης “στόχος”. Η μοριακή συγγένεια μεταξύ διαλύτη και διαλυμένης ουσίας, η μεταφορά μάζας, η χρήση του βοηθητικού διαλύτη, η περιβαλλοντική ασφάλεια, η ανθρώπινη τοξικότητα και η οικονομική δυνατότητα θα πρέπει να ληφθούν επίσης υπόψη κατά την επιλογή του διαλύτη για την εκχύλιση βιοδραστικών ενώσεων. Η εκχύλιση με διαλύτη πλεονεκτεί σε σύγκριση με άλλες μεθόδους λόγω χαμηλού κόστους επεξεργασίας και ευκολίας στη λειτουργία. Ωστόσο, η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί τοξικούς διαλύτες, απαιτεί συνήθως μεγάλες ποσότητες διαλύτη και παρατεταμένο χρόνο διεξαγωγής και απαιτεί ένα στάδιο εξάτμισης/συγκέντρωσης ενώ ταυτόχρονα ενέχει την πιθανότητα θερμικής αποικοδόμησης. Παράλληλα, οι συμβατικές μέθοδοι εκχύλισης, Soxhlet, εξακολουθούν να θεωρούνται ως μέθοδοι αναφοράς για τη σύγκριση της επιτυχίας των νέων μεθόδων εκχύλισης.

Η υπερκρίσιμη εκχύλιση με CO₂ συγκαταλέγεται μεταξύ των φιλικών προς το περιβάλλον τεχνολογιών για την επεξεργασία τροφίμων και φαρμακευτικών προϊόντων. Αυτή η τεχνική εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη διαλυτότητα των χαμηλής πτητικότητας ουσιών σε υπερκρίσιμα ρευστά, συνήθως CO₂, έναν μη πολικό διαλύτη, με χαμηλή συγγένεια για πολικές ουσίες. Έτσι, η διαλυτότητα των ουσιών στο υπερκρίσιμο CO₂ μειώνεται με την αύξηση του αριθμού των πολικών λειτουργικών ομάδων (π.χ. υδροξύλιο, καρβοξύλιο, αμινομάδα, και νιτρομάδα). Συνήθως, χρησιμοποιούνται μικρές προσθήκες πολικών συνδιαλυτών για την αύξηση της διαλυτότητας των πολικών και υψηλού μοριακού βάρους ουσιών, παρά να μειωθεί η εκλεκτικότητα. Η εκχύλιση με διαλύτη είναι μια κοινή μέθοδος εκχύλισης λιπιδίων. Τα πλεονεκτήματα της υπερκρίσιμης εκχύλισης με CO₂ σε σχέση με άλλες συμβατικές διεργασίες όπως εκχύλιση με διαλύτες και διαχωρισμός με απόσταξη είναι η μείωση των λειτουργικών βημάτων, η ασφαλής λειτουργία λόγω της χρήσης μη οργανικών διαλυτών και τη χρήση μέτριας θερμοκρασίας, αφού η θερμοκρασία λειτουργίας είναι 40-80°C, στην κρίσιμη περιοχή που ευνοεί τα ευπαθή στη θερμότητα τρόφιμα. Μεταξύ άλλων, το κύριο πλεονέκτημά της είναι η εξαιρετική ποιότητα του παραγόμενου προϊόντος. Στον πίνακα 2 φαίνεται η σύγκριση της εκχύλισης με διαλύτες και της υπερκρίσιμης εκχύλισης με CO₂. Επίσης, τα αλκαλοειδή (τριγονελλίνη) και τα φαινολικά συστατικά εκχυλίζονται με το CO₂. (Belščak-Cvitanović, 2017).

Τέλος και πιο σημαντικό από όλα, όλες οι τεχνικές ανάκτησης βιοενεργών συστατικών έχουν κοινούς στόχους, όπως: (Belščak-Cvitanović, 2017)

1. να εξάγουν στοχευμένες βιοδραστικές ενώσεις από πολύπλοκα φυτικά δείγματα
2. να αυξήσουν τη επιλεκτικότητα των αναλυτικών μεθόδων

3. να αυξήσουν την ευαισθησία της μελέτης με την αύξηση της συγκέντρωσης των στοχευμένων ενώσεων
4. να μετατρέπουν τις βιοδραστικές ενώσεις σε πιο κατάλληλη μορφή για ανίχνευση και διαχωρισμό
5. να παρέχουν μια ισχυρή και αναπαραγώγιμη μέθοδο που είναι ανεξάρτητη από τις διακυμάνσεις της μήτρας του δείγματος

Εκχύλιση με διαλύτες	Υπερκρίσιμη εκχύλιση
Παρουσία διαλύτη στο εκχύλισμα	Το εκχύλισμα είναι απαλλαγμένο από διαλύτες
Περιεκτικότητα σε βαρέα μέταλλα στο εκχύλισμα	Το εκχύλισμα είναι απαλλαγμένο από βαρέα μέταλλα
Περιεκτικότητα σε ανόργανα άλατα στο εκχύλισμα	Το εκχύλισμα είναι απαλλαγμένο από ανόργανα άλατα
Οι πολικές ουσίες διαλύονται μαζί με τις λιπόφιλες ουσίες από την πρώτη ύλη λόγω κακής εκλεκτικότητας του διαλύτη άρα και επηρεάζουν το τελικό εκχύλισμα	Το CO ₂ είναι εξαιρετικά επιλεκτικό και δεν υπάρχει καμία πιθανότητα οι πολικές ουσίες να σχηματίσουν πολυμερή
Εξάγονται τόσο πολικά όσο και μη πολικά χρώματα	Εξάγονται μόνο τα μη πολικά χρώματα
Η απομάκρυνση του διαλύτη απαιτεί πρόσθετες λειτουργίες της μονάδας με αποτέλεσμα υψηλότερο κόστος και χαμηλότερη ανάκτηση χρήσιμου υλικού	Δεν απαιτούνται πρόσθετες εργασίες και η απόδοση του χρήσιμου υλικού είναι πολύ υψηλή

Πίνακας 2: Σύγκριση εκχύλισης με διαλύτες και υπερκρίσιμης εκχύλισης

2.2.2.1 Ανάκτηση φαινολικών ενώσεων

Η ανάκτηση πολυφαινολικών αντιοξειδωτικών από υποπροϊόντα επεξεργασίας καφέ, σύμφωνα με τις επιστημονικές μελέτες που έχουν διεξαχθεί, ξεκινά με την προετοιμασία των υλικών που περιλαμβάνει ξήρανση, ειδικά στην περίπτωση του SCG και μείωση του μεγέθους των υλικών με άλεση. (Belščak-Cvitanović, 2017). Οι Brazinha et al. (2015) συνέστησαν την υποχρεωτική ξήρανση της πρώτης ύλης, στους 40°C περίπου, προκειμένου να αυξηθεί η σταθερότητα και ο χρόνος αποθήκευσης του χρησιμοποιημένου καφέ. Επίσης, αρκετές μελέτες αναφέρουν την εφαρμογή απολίπανσης με οργανικούς διαλύτες με εκχύλιση Soxhlet

(Acevedo et al., 2013), πριν από την εκχύλιση με πολικούς διαλύτες των υδρόφιλων βιοδραστικών ουσιών. Το στάδιο της απολίπανσης αποδείχθηκε ότι αυξάνει την αντιοξειδωτική ικανότητα των χρησιμοποιημένων εκχυλισμάτων καφέ, πιθανώς λόγω της αποτροπής της τάγγισης του λίπους και του σχηματισμού ριζών κατά τη μακρά αποθήκευση του εκχυλίσματος. (Acevedo et al., 2013)

Καλύτερη απόδοση εκχύλισης των ολικών πολυφαινολών επιτυγχάνεται συνήθως με τη χρήση μίγματος αιθανόλης και νερού ως διαλύτη αναλογίας όγκου 1:1. Επομένως, η χρήση μιγμάτων υδατικής αιθανόλης ως διαλύτες εκχύλισης επιτρέπει την υψηλότερη πολυφαινολική απόδοση, έως και τριπλάσια από τη χρήση π.χ. διαλυτών ισοπροπανόλης/νερού. Η αύξηση της συγκέντρωσης αιθανόλης ως διαλύτη εκχύλισης αυξάνει την πολυφαινολική απόδοση, ωστόσο, μόνο μέχρι μια κρίσιμη συγκέντρωση αιθανόλης (60%) στο υδατικό μείγμα. Περαιτέρω αύξηση της περιεκτικότητας της αιθανόλης οδηγεί σε χαμηλότερη πολυφαινολική απόδοση, ενώ η καθαρή αιθανόλη ως διαλύτης εκχύλισης παρέχει τη χαμηλότερη περιεκτικότητα σε πολυφαινόλες, αισθητά χαμηλότερη από τη χρήση καθαρού απεσταγμένου νερού ως διαλύτη εκχύλισης. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των Murthy και Naidu (2012) η μεθανόλη είναι η λιγότερο αποτελεσματική στην εκχύλιση πολυφαινολικών ενώσεων σε σύγκριση με το νερό και την αιθανόλη, αν και άλλες μελέτες που χρησιμοποιούν μεθανόλη και υδατικά μείγματά της ως διαλύτες δε διαπίστωσαν σημαντικές διαφορές στην απόδοση των ανακτώμενων πολυφαινολικών συστατικών σε σύγκριση με την αιθανόλη και τα υδατοαιθανολικά μείγματα ως διαλύτες εκχύλισης. (Murthy & Madhava Naidu, 2012)

Όμως, παρόλη την αξία των φαινολικών ενώσεων και την προσφορά τους, τα χλωρογενικά οξέα συγκεκριμένα, είναι εκείνα που απασχολούν περισσότερο την βιομηχανία καφέ, χωρίς φυσικά να υποβιβάζεται η θρεπτική αξία των υπολοίπων φαινολικών ενώσεων.

Ανάκτηση χλωρογενικών οξέων

Οι Ramirez και Martinez (1988), εκχύλισαν τον πολτό του καφέ Arabica με 80% μεθανόλη κατά διαδοχική (τριπλή) εκχύλιση, εξάτμισαν τη μεθανόλη και στη συνέχεια πραγματοποίησαν εκχύλιση του υδατικού εναιωρήματος με οξικό αιθυλεστέρα ή μείγμα μεθανόλης και οξικού αιθυλεστέρα. Με τον τρόπο αυτό, ταυτοποίησαν το 5-καφεοϋλοκινικό οξύ, το 3,4-δικαφεοϋλοκινικό οξύ, το 3,5-δικαφεοϋλοκινικό οξύ, το 4,5-δικαφεοϋλοκινικό οξύ και το φερουλικό οξύ. Αργότερα, οι Ramirez-Coronel et al. (2004) ανέπτυξαν επίσης μια διαδικασία διαδοχικής εκχύλισης με διαλύτη των διαφόρων πολυφαινολικών ενώσεων από τον πολτό του καφέ Arabica. Για το σκοπό αυτό, καταψύχθηκε αποξηραμένος πολτός καφέ, ύστερα απολιπώθηκε με εξάνιο και στη συνέχεια εκχυλίστηκε 3 φορές με μεθανόλη

οξινισμένη με οξικό οξύ και το αδιάλυτο υπόλειμμα εκχυλίστηκε εκ νέου 3 φορές με ακετόνη οξινισμένη με οξικό οξύ. Όλα τα ληφθέντα κλάσματα διαλύτη εξατμίστηκαν και αποξηράνθηκαν με κατάψυξη, διαπιστώνοντας ότι το κλάσμα μεθανόλης, δηλαδή το εκχύλισμα, διαλυτοποιεί υψηλότερη περιεκτικότητα σε υδροξυκινναμωμικά οξέα (66%) του συνολικού εκχυλίσματος ψυχρής ξήρανσης, ενώ η ακετόνη διαλυτοποιεί υψηλότερη περιεκτικότητα σε προανθοκυανιδίνες, 63,5% του συνολικού εκχυλίσματος ψυχρής ξήρανσης. (Ramirez-Coronel et al., 2004; Ramirez-Martinez, 1988)

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπροϊόντα της επεξεργασίας του καφέ, η ανάκτηση των χλωρογενικών οξέων έχει διεξαχθεί μέχρι στιγμής με τον ίδιο τρόπο όπως και στην περίπτωση της ανάκτησης των ολικών πολυφαινόλων, κυρίως με εκχύλιση με διαλύτη, με την πλειονότητα των μελετών να διεξάγονται σε SCG.

Οι Murthy και Naidu (2012) συνέκριναν τις αποδόσεις των χλωρογενικών οξέων, όλων των υποπροϊόντων επεξεργασίας καφέ, που ανακτήθηκαν με εκχύλιση με μείγμα ισοπροπανόλης και νερού αναλογίας 60:40, σε γυάλινη στήλη στους 27°C. Με τη χρήση αυτής της μεθόδου εκχύλισης, προέκυψε ότι το CS έχει τη μεγαλύτερη ποσότητα σε χλωρογενικά οξέα (15,82% κ.β.), ακολουθούμενη από τον φλοιό του καφέ (12,59% κ.β.), τους SCG (11,45% κ.β.) και τον πολτό του καφέ, ο οποίος φάνηκε να περιέχει τη λιγότερη ποσότητα χλωρογενικών οξέων. Βέβαια, στην εν λόγω έρευνα προστέθηκε ακόμη ένα στάδιο προεπεξεργασίας των υποπροϊόντων του καφέ, χρησιμοποιώντας επεξεργασία με ατμό και ενζυμική επεξεργασία για να ελέγξουν αν η ανάκτηση των χλωρογενικών οξέων μπορεί να αυξηθεί με αυτόν τον τρόπο. Πιο συγκεκριμένα, τα υποπροϊόντα καφέ προεπεξεργάστηκαν με ατμό στους 121°C για 30 λεπτά ή υποβλήθηκαν σε επεξεργασία με βισκοζύμη, ένζυμο που διασπά τους υδατάνθρακες και απελευθερώνει τις πρωτεΐνες από το φυτικό υλικό, ξηράνθηκαν στον αέρα και χρησιμοποιήθηκαν για εκχύλιση, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως. Τελικά, η επεξεργασία με το ένζυμο έδωσε υψηλότερες αποδόσεις σε σύγκριση με την επεξεργασία με ατμό, παρέχοντας ακόμη και 23,82% χλωρογενικών οξέων στην περίπτωση του CS. (Murthy & Madhava Naidu, 2012)

Οι Mussatto et al. (2011) διεξήγαγαν μια μελέτη βελτιστοποίησης της εκχύλισης των SCG με τη χρήση διαφορετικών συγκεντρώσεων μεθανόλης και έλαβαν μια ανάκτηση των χλωρογενικών οξέων μόλις 0,37-1,39 mg/g. Οι Panusa et al. (2013) έλαβαν μια ελαφρώς υψηλότερη περιεκτικότητα ολικών χλωρογενικών οξέων από SCG χρησιμοποιώντας 60% αιθανόλη ως διαλύτη από ό,τι μόνο απλό απεσταγμένο νερό, πραγματοποιώντας την εκχύλιση στους 60°C και επί 30 λεπτά. Με αυτό τον τρόπο, όλα τα δείγματα SCG είχαν περιεκτικότητες σε ολικά

χλωρογενικά οξέα που κυμαίνονταν από 1,65 έως 6,09 mg/g. (Belščak-Cvitanović, 2017; Mussatto et al., 2011)

Οι Jimenez-Zamora et al. (2015) χρησιμοποίησαν επίσης τον ίδιο διαλύτη εκχύλισης, 60% αιθανόλη και χρόνο εκχύλισης (30 λεπτά) σε θερμοκρασία δωματίου και έλαβαν μόνο 0,0118 mg ολικά χλωρογενικά οξέα ανά g ξηρής ύλης. Οι αποκλίσεις στις διάφορες τιμές, οφείλονται στις διαφορετικές συνθήκες που πραγματοποιούνται, στις διαφορετικές επεξεργασίες που υπόκεινται τα υποπροϊόντα αλλά και στον διαφορετικό τύπο καφέ. (Jiménez-Zamora et al., 2015)

Οι Bravo et al. (2012) χρησιμοποίησαν καθαρό απεσταγμένο νερό για την παρασκευή εκχυλισμάτων SCG από τέσσερις συμβατικές καφετιέρες φίλτρου, στους 92°C επί 6 λεπτά και προσδιόρισαν μια 2 φορές υψηλότερη περιεκτικότητα σε ολικά χλωρογενικά οξέα στα εκχυλίσματα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης, τα εκχυλίσματα SCG, είχαν σχετικές ποσότητες ολικών καφεοϋλοκινικών οξέων που κυμαίνονταν από 11,05 (εσπρέσο) έως 13,24 (φίλτρο) mg/g χρησιμοποιημένου καφέ Arabica και από 6,22 (φίλτρο) έως 7,49 (espresso) mg/g του χρησιμοποιημένου καφέ Robusta. (Bravo et al., 2012)

Οι Cruz et al. (2012) χρησιμοποίησαν επίσης απεσταγμένο νερό για την παρασκευή εκχυλίσματος SCG προερχόμενου από εσπρέσο, με διπλάσιο βρασμό του SCG για 5 λεπτά και έλαβαν ένα εύρος από 2,12 έως 7,65 mg ολικών χλωρογενικών οξέων/g δείγματος. Αυτό μπορεί να υποδηλώνει το γεγονός ότι, η θερμοκρασία εκχύλισης αποτελεί καθοριστική παράμετρο της εκχύλισης των χλωρογενικών οξέων από τα υποπροϊόντα επεξεργασίας καφέ, με την υψηλότερη θερμοκρασία εκχύλισης να είναι πιο επωφελής και να προτιμάται για τη μεγιστοποίηση απόδοσης εκχύλισης χλωρογενικών οξέων. Επίσης, η χρήση απεσταγμένου νερού, αντί μεθανόλης ή μίγματα οργανικών διαλυτών σε συνδυασμό με συστήματα εκχύλισης με αναδεύσεις λίγων λεπτών, διευκολύνει την επαφή των δειγμάτων και του νερού, ενός πολικού διαλύτη και ευνοεί την εκχύλιση των χλωρογενικών οξέων. (Cruz et al., 2012)

Ανάκτηση ανθοκυανινών

Κατά τη μελέτη των θρεπτικών συστατικών για την αύξηση τη προστιθέμενης αξίας, αναδείχθηκε το δυναμικό του πολτού του καφέ ως πηγή ανθοκυανινών. Κατά την υγρή επεξεργασία καφέ, ο πολτός του καφέ αφαιρείται πριν από την ξήρανση, ενώ είναι ακόμη φρέσκος και το χρώμα του αποικοδομείται γρήγορα από τη δράση ενζύμων (υπεροξειδάσες και πολυφαινολοξειδάσες) που απελευθερώνονται από τα κατεστραμμένα κύτταρα της εξωτερικής επιδερμίδας και του πολτού κατά τη διαδικασία αποξήρανσης ή από άλλους οξειδωτικούς παράγοντες, όπως το οξυγόνο. Με βάση τα αποτελέσματα από πειράματα, η κύρια ανθοκυανίνη στον πολτό του

καφέ είναι η κυανιδίνη-3-γλυκοσίδη (Hoseini et al., 2021). Έτσι, με συμβατική εκχύλιση από τον πολτό του καφέ και ανάμιξη με διαλύματα 0,01 M HCl σε μεθανόλη για 18 ώρες σε ψυχρή θερμοκρασία (4°C), η απόδοση των ανθοκυανινών που προέκυψε με αυτόν τον τρόπο ανήλθε σε 24 mg μονομερούς ανθοκυανίνης/100 g φρέσκου πολτού καφέ. (Belščak-Cvitanović, 2017)

Οι Jaisan et al. (2015) ανέκτησαν ένα εύρος από 1,08 έως 7,02 mg κυανιδίνη-3-γλυκοσίδης/100 g ακατέργαστου εκχυλίσματος με εκχύλιση σε διάφορους διαλύτες για 3 ημέρες. Σύμφωνα με τα αποτελέσματά τους, το απλό απεσταγμένο νερό και η μεθανόλη ανέκτησαν το χαμηλότερο συνολικό ποσοστό ανθοκυανινών, ενώ η αιθανόλη ήταν η πιο αποτελεσματική, παρέχοντας απόδοση ανθοκυανινών έως και 7,02 mg. (Belščak-Cvitanović, 2017)

2.2.2.2 Ανάκτηση καφεΐνης

Η εκχύλιση της καφεΐνης και ο ποσοτικός της προσδιορισμός στα υποπροϊόντα του καφέ εφαρμόζεται κυρίως με πολικούς διαλύτες, κυρίως απεσταγμένο νερό και υδατοαιθανολικά μίγματα. Η πλειονότητα των μελετών που πραγματοποιήθηκαν με σκοπό τη συγκέντρωση και τον χαρακτηρισμό πολικών, υδρόφιλων βιοδραστικών ενώσεων στα υποπροϊόντα της επεξεργασίας του καφέ, κυρίως πολυφαινολικά αντιοξειδωτικά, εμφάνισαν επίσης τις περιεκτικότητες της καφεΐνης στα εκχυλίσματα που ελήφθησαν με τον τρόπο αυτό. Με τη χρήση της ίδιας προσέγγισης εκχύλισης με στερεό-υγρό διαλύτη με τη βοήθεια νερού ή αιθανόλης και την ανάμιξη/ανάδευση κατά τη διάρκεια ορισμένης χρονικής περιόδου σε καθορισμένη θερμοκρασία, ή απλώς με την επανάληψη του σταδίου εκχύλισης για πολλές φορές, μπορεί να ανακτηθεί σημαντική ποσότητα καφεΐνης σε εκχυλίσματα που περιέχουν πολυφαινόλες. Η απόδοση της καφεΐνης που λαμβάνεται με αυτόν τον τρόπο μπορεί να φτάσει έως 12,4 mg/g ξηρού δείγματος, η οποία αποτελεί περίπου το μισό της συνολικής πολυφαινολικής απόδοσης των εκχυλισμάτων που συνήθως ανακτώνται. (Belščak-Cvitanović, 2017)

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των Bravo et al. (2012) η περιεκτικότητα σε καφεΐνη σε χρησιμοποιημένα εκχυλίσματα καφέ που λαμβάνονται με αυτόν τον τρόπο ήταν διπλάσια ή τριπλάσια από ότι σε εκείνα που προέκυψαν για τις αντίστοιχες παρασκευές καφέ. Λαμβάνοντας υπόψη ότι με μια δεύτερη διαδοχική υδατική εκχύλιση των SCG εξάγεται λιγότερο από 3% της συγκέντρωσης καφεΐνης που βρέθηκε στην πρώτη εκχύλιση, η συνολική περιεκτικότητα σε καφεΐνη που υπάρχει στον καβουρδισμένο καφέ έχει πρακτικά εκχυλιστεί με την παρασκευή του ροφήματος καφέ και της πρώτης υδατικής εκχύλισης του χρησιμοποιημένου καφέ (Belščak-Cvitanović, 2017; Bravo et al., 2012).

Οι εξαιρέσεις στις μελέτες που αφορούν την εκχύλιση και που πραγματοποιήθηκαν με σκοπό την απομόνωση της καφεΐνης είναι τα στάδια της εκχύλισης υγρού-υγρού με συγκεκριμένο οργανικό διαλύτη, όπως χλωροφόρμιο και ισοπροπανόλη με αναλογία (3:1) ή χλωροφόρμιο (Ramalakshmi et al., 2009), η οποία ανακτά την καφεΐνη και επιτρέπει πολύ υψηλότερες αποδόσεις καφεΐνης από την απλή εκχύλιση στερεού-υγρού με πολικό διαλύτη. (Belščak-Cvitanović, 2017; Ramalakshmi et al., 2009)

Συνήθως η καφεΐνη εκχυλίζεται με τη χρήση οργανικών διαλυτών, όπως η ακετόνη, η μεθανόλη, η αιθανόλη και το ακετονιτρίλιο ή τα υδατικά αιωρήματά τους ως διαλύτες εκχύλισης. Παρόλο που μπορεί να επιτευχθεί αποτελεσματική απομόνωση της καφεΐνης με τη χρήση οργανικών διαλυτών, η χρήση τους δεν ενδείκνυται, διότι τα υπολείμματα οργανικών διαλυτών έχουν δυνητικά δυσμενείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Έτσι, τα τελευταία χρόνια μελετάται η εκχύλιση της καφεΐνης με αποτελεσματικές και μη τοξικές διεργασίες όπως η υπερκρίσιμη εκχύλιση με χρήση διοξειδίου του άνθρακα ως διαλύτη. (Belščak-Cvitanović, 2017).

Παρά την υψηλή απόδοση εκχύλισης αυτών των διαδικασιών εκχύλισης, η εκλεκτικότητά τους είναι συχνά χαμηλή και ο μεταγενέστερος καθαρισμός των στοχευμένων ενώσεων μπορεί να φτάσει σε πολύ υψηλό κόστος (Reverchon et al., 2000).

2.2.2.3 Ανάκτηση λιπιδικού κλάσματος και ελαίου καφέ

Προσδιορίζοντας το λιπιδικό κλάσμα στα υποπροϊόντα του καφέ, το παλμιτικό ($C_{16:0}$) και το λινολενικό ($C_{18:2}$) οξύ, ορίζονται ως κύρια συστατικά, ενώ το στεατικό ($C_{18:0}$) και το ελαϊκό οξύ ($C_{18:1}$), ως δευτερεύοντα συστατικά (Colucci Cante et al., 2021). Το έλαιο καφέ (coffee oil) και οι λιπιδικές ενώσεις που ανακτώνται από τους SCG στην περίπτωση της εκχύλισης Soxhlet και της απλής εκχύλισης στερεού-υγρού, συμπυκνώνονται με εξάτμιση ή απόσταξη υπό κενό ή περαιτέρω ξήρανση ή ξήρανση με θερμό αέρα (Belščak-Cvitanović, 2017). Στην περίπτωση που πραγματοποιηθεί εκχύλιση με υπερκρίσιμο υγρό εκτελείται ενδεχόμενη ξήρανση σε ξηραντήρα με διοξείδιο του πυριτίου (silica gel) για την απομάκρυνση του νερού (Acevedo et al., 2013) ενώ στην περίπτωση χρήσης ενός βοηθητικού διαλύτη, όπως η αιθανόλη, τα υπολείμματά του πρέπει να απομακρύνονται από το έλαιο που ανακτάται, πάλι με εκχύλιση υπερκρίσιμου υγρού. (Barbosa et al., 2014)

Οι Colucci Cante et al (2020) διερεύνησαν την εκχύλιση λιπιδίων από SCG χρησιμοποιώντας ένα καινοτόμο σύστημα και τον υδροφθοράνθρακα νορφλουράνιο ως διαλύτη, λόγω της χαμηλής πίεσης και της απαιτούμενης θερμοκρασίας, της μη τοξικότητας και της μη αναφλεξιμότητάς του. Τα πειράματα εκχύλισης πραγματοποιήθηκαν σε μήτρες με διαφορετικά επίπεδα υγρασίας υπό

ανακυκλούμενη ροή διαλύτη σε 5-11 bar. Τα αποτελέσματα επιβεβαίωσαν την αποτελεσματικότητα της καινοτόμου διαδικασίας εκχύλισης σε υγρές, αποξηραμένες και μερικώς αποξηραμένες μήτρες, καθώς και οι αποδόσεις ελαίου και οι χρόνοι εκχύλισης (περίπου 92% σε 75, 90 και 285 λεπτά αντίστοιχα) ήταν συγκρίσιμοι με εκείνους που επιτεύχθηκαν με τη χρήση της εκχύλισης με CO₂. Χρησιμοποιήθηκε μια κινητική προσέγγιση για τη μοντελοποίηση των ρυθμών εκχύλισης των υγρών, ξηρών και μερικώς αποξηραμένων δειγμάτων. Έδειξε ότι η μερική ξήρανση του SCG φάνηκε να προωθεί τη διαλυτοποίηση του ελαίου στο νορφλουράνιο κατά το πρώτο στάδιο εκχύλισης και βελτίωσε την επαφή μεταξύ του νορφλουρανίου και της ελαιώδους διαλυμένης ουσίας. (Colucci Cante et al., 2021)

Το έλαιο πράσινου καφέ, που λαμβάνεται συνήθως με μηχανική ψυχρή συμπίεση και εκχύλιση με διαλύτη, χρησιμοποιείται βιομηχανικά στα καλλυντικά για τις ιδιότητές του που διατηρούν τη φυσική υγρασία του δέρματος και θα μπορούσε επίσης να αξιοποιηθεί ως ηλιοπροστατευτικό λόγω της ιδιότητας απορρόφησης της υπεριώδους ακτινοβολίας του κύριου λιπαρού οξέος, του λινολεϊκού οξέος (Wagemaker et al., 2011). Το σχετικά μεγάλο κλάσμα διτερπενίων υποβαθμίζει τη χρήση του ως βρώσιμο φυτικό έλαιο, ωστόσο, η κλασματοποίηση με μοριακή απόσταξη ή υπερκρίσιμη εκχύλιση με CO₂ επιτρέπει τη χρήση του σε διατροφικές, καλλυντικές και φαρμακευτικές εφαρμογές. (Belščak-Cvitanović, 2017)

Στον παρακάτω πίνακα απεικονίζονται συγκεντρωτικά οι εφαρμογές ανάκτησης βιοενεργών συστατικών (Πίνακας 3).

Υποπροϊόν	Διαλύτης	Μέθοδος	Ανακτώμενο συστατικό	Πηγή
SCG	Μείγμα αιθανόλης-νερού (1:1 έως 3:1) ή μίγμα μεθανόλης-νερού	Εκχύλιση Soxhlet	Πολυφαινολικά συστατικά	Acevedo et al., 2013 Murthy & Madhava Naidu, 2012
Πολτός του καφέ	Οξικός μεθυλεστέρας ή μείγμα μεθανόλης και οξικού μεθυλεστέρα	Διαδοχική εκχύλιση (τριπλή)	5-καφεοϋλοκινικό οξύ, 3,4-δικαφεοϋλοκινικό οξύ, 3,5-δικαφεοϋλοκινικό οξύ, 4,5-δικαφεοϋλοκινικό οξύ, φερουλικό οξύ	Ramirez -Colonel, 1988
Πολτός του καφέ	Μεθανόλη οξινισμένη με οξικό οξύ και το αδιάλυτο υπόλειμμα εκ νέου 3 φορές με ακετόνη οξινισμένη με οξικό οξύ	Διαδοχική εκχύλιση (τριπλή) & εξάτμιση και αποξήρανση με κατάψυξη	Υδροξυκινναμωμικά οξέα, Προανθοκυανιδίνες	Ramirez-Colonel, 1988 Ramirez-Martinez, 2004
CS, φλοιός του καφέ, SCG, πολτός του καφέ	Μείγμα ισοπροπανόλης-νερού (60:40)	Εκχύλιση σε γυάλινη στήλη στους 27°C	Χλωρογενικά οξέα	Murthy & Madhava Naidu, 2012
CS, φλοιός του καφέ, SCG, πολτός του καφέ	Μείγμα ισοπροπανόλης-νερού (60:40)	Προεπεξεργασία με ατμό στους 121°C για 30 λεπτά ή επεξεργασία με το ένζυμο βισκοζύμη, ξήρανση και εκχύλιση	Χλωρογενικά οξέα (υψηλότερες αποδόσεις με το ένζυμο βισκοζύμη)	Murthy & Madhava Naidu, 2013
SCG	60% μεθανόλη	Εκχύλιση στους 60°C επί 30 λεπτά	Χλωρογενικά οξέα	Panusa et al., 2013

SCG	Μεθανόλη	Εκχύλιση και ανάμιξη με διαλύματα HCl 0,01 M σε αιθανόλη για 18 ώρες σε ψυχρή θερμοκρασία	Ανθοκυανίνες	Belščak-Cvitanović, 2017
SCG (από τέσσερις συμβατικές καφετιέρες φίλτρου)	Απεσταγμένο νερό	Εκχύλιση στους 92°C επί έξι λεπτά	Χλωρογενικά οξέα	Bravo et al., 2012
SCG (espresso)	Απεσταγμένο νερό	Εκχύλιση στους περίπου 180°C επί πέντε λεπτά	Χλωρογενικά οξέα	Cruz et al., 2012
SCG	Στερεός-υγρός διαλύτης, νερό και αιθανόλη	Εκχύλιση και ανάμιξη για ορισμένο χρόνο και καθορισμένη θερμοκρασία ή επανάληψη σταδίου εκχύλισης	Καφεΐνη	Belščak-Cvitanović, 2017
SCG	Υγρός-υγρός διαλύτης, όπως χλωροφόρμιο και ισοπροπανόλη (3:1) ή χλωροφόρμιο	Εκχύλιση	Καφεΐνη	Belščak-Cvitanović, 2017
SCG	CO ₂	Υπερκρίσιμη εκχύλιση	Καφεΐνη	Reverchon et al., 2000; Belščak-Cvitanović, 2017

SCG	Πολικός στερεός-υγρός διαλύτης	Εκχύλιση Soxhlet και απλή εκχύλιση στερεού-υγρού, συμπύκνωση με εξάτμιση ή απόσταξη υπό κενό ή περαιτέρω ξήρανση ή ξήρανση με θερμό αέρα	Έλαιο καφέ και λιπιδικό κλάσμα	Belščak-Cvitanović, 2017
SCG	Υπεκρίσιμο υγρό	Υπεκρίσιμη εκχύλιση με ενδεχόμενη ξήρανση σε ξηραντήρα με διοξείδιο του πυριτίου	Έλαιο καφέ και λιπιδικό κλάσμα	Acevedo et al., 2013
SCG	Υδροφθοράνθρακας νορφλουράνιο	Εκχύλιση σε μήτρες με διαφορετικά επίπεδα υγρασίας υπό ανακυκλούμενη ροή διαλύτη σε 5-11 bar	Λιπιδικό κλάσμα	Colucci Cante et al., 2021

Πίνακας 3: Συγκεντρωτικός πίνακας των εφαρμογών ανάκτησης βιοενεργών συστατικών

2.3 Θρεπτική αξία υποπροϊόντων

Είναι γεγονός πως, τα υποπροϊόντα του καφέ, αν και δεν είναι πλήρως μελετημένη η δυνατότητα αξιοποίησής τους, είναι πλούσια σε θρεπτικά συστατικά που συνεπακόλουθα, ενδεχομένως, να θεωρούνται συστατικά υψηλής προστιθέμενης αξίας. Τα συστατικά αυτά είναι λιπίδια, πρωτεΐνες, υδατάνθρακες, κυτταρίνες, τανίνες, διαιτητικές ίνες, βιταμίνες και άλλα, είτε σε μεγάλες είτε σε μικρές αλλά καθοριστικές ποσότητες. Οι μέθοδοι επεξεργασίας και οι ακραίες μεταβολές θερμοκρασίας των επεξεργασιών, επηρεάζουν την περιεκτικότητα των ενώσεων, με αποτέλεσμα να την εξουδετερώνουν ή να την ελαχιστοποιούν.

Σήμερα και ειδικότερα λόγω της πανδημίας corona virus SARS-CoV 2, έχει αυξηθεί η ανάγκη των καταναλωτών για μία πιο υγιεινή διατροφή, στρέφοντας έτσι, το ενδιαφέρον και των βιομηχανιών τροφίμων, συγκεκριμένα του καφέ, στην αναζήτηση και να κάνουν περισσότερη έρευνα στο κομμάτι της θρεπτικής αξίας των υποπροϊόντων. Κάθε υποπροϊόν, έχει διαφορετική σύσταση και περιεκτικότητα χημικών ενώσεων και αυτό οφείλεται στην αρχική δομή του και επηρεάζεται κυρίως από την μέθοδο επεξεργασίας (υγρή ή ξηρή) στους ακατέργαστους καρπούς καφέ (Santos et al., 2021). Τα υποπροϊόντα καφέ, περιέχουν έναν μέσο όρο υδατανθράκων 35% κ.β., πρωτεΐνες 5,2% κ.β., διαιτητικές ίνες 30.8% κ.β. και ανόργανα άλατα κ.β. 10,7%. Παραπάνω από το 50% του καρπού του καφέ δε χρησιμοποιείται και αν, δεν υποστεί την κατάλληλη επεξεργασία μπορεί να αποτελέσει πηγή επιμόλυνσης του περιβάλλοντος.

Καρπός του καφέ (Coffee cherry)

Ο καρπός του καφέ εκ φύσεως, ως ακατέργαστο προϊόν, αποτελείται από αδιάλυτους πολυσακχαρίτες όπως ημικυτταρίνες και κυτταρίνες (περίπου 50% κ.β.) (Esquivel & Jiménez, 2012). Περιέχουν επίσης διαλυτούς υδατάνθρακες, όπως μονοσακχαρίτες φρουκτόζη, γλυκόζη, γαλακτόζη και αραβινόζη, ολιγοσακχαρίτες όπως σακχαρόζη (πάνω από 90% επί του συνόλου των ολιγοσακχαριτών), ραφινόζη, σταχυόζη, καθώς και πολυμερή γλυκόζης, μαννόζης, αραβινόζης και γλυκόζης. Οι διαλυτοί υδατάνθρακες, τα μη πτητικά αρωματικά οξέα όπως το κιτρικό, μηλικό και κινικό οξύ, αλλά και πτητικά οξέα όπως οξικό, προπιονικό, βουτανικό, ισοβαλερικό, εξανοϊκό και δεκανοϊκό δρουν δεσμεύοντας το άρωμα, σταθεροποιούν τον αφρό, καθιζάνουν και αυξάνουν το ιξώδες του εκχυλίσματος. Τα έλαια και οι κηροί είναι επίσης σημαντικά συστατικά, που αντιπροσωπεύουν από 8 έως 18% της ξηρής μάζας, μαζί με τις πρωτεΐνες και τα ελεύθερα αμινοξέα (9-12% κ.β.) και ανόργανα άλατα (3-5% κ.β.).

Τέλος, η σύσταση της καφεΐνης, που αποτελεί το κύριο αλκαλοειδές στον καρπό του καφέ, κυμαίνεται από 1 έως 4% κ.β (σε ξηρή βάση), με ευρεία διακύμανση μεταξύ των ποικιλιών. (Santos et al., 2021)

Φλοιός του καφέ (coffee husk)

Ο φλοιός του καφέ είναι ένα πλούσιο οργανικό προϊόν με πρωτεΐνες (8-11% κ.β), υδατάνθρακες (58-85% κ.β.), κυτταρίνη (43% κ.β.), ημικυτταρίνη (7% κ.β.), λιγνίνη (9% κ.β), λιπίδια (0,5-3% κ.β.), ανόργανα άλατα (3-7% κ.β.), ίνες (24-30,8% κ.β.), μικρές ποσότητες σε καφεΐνη (περίπου 1% κ.β.), χλωρογενικό οξύ (περίπου 2,5% κ.β.) καθώς επίσης, τανίνες (5-9% κ.β.) και κυανιδίνες (20% κ.β.). Επίσης, περιέχει σε σχετικά υψηλά επίπεδα 5-καφεοϋλοκινικό οξύ (0,2-1,9 mg/g). Η συνολική περιεκτικότητα σε φλαβονόλες (αντιοξειδωτικές ουσίες), ανέρχεται από 5 μg/g έως 261 μg/g. Επίσης, ο φλοιός του καφέ είναι πλούσιος σε μακρο- και μικροθρεπτικά συστατικά, με σημαντική ποσότητα N (1720-1830 mg/kg), P (80 mg/kg), K (20-600 mg/kg), καθώς και μικρές ποσότητες Na (Santos et al., 2021). Οι Al-Yousef and Amina (2018) κάνοντας έρευνα σε φλοιό καφέ από *Coffea Arabica* L., ανέφεραν την περιεκτικότητα ενός πτητικού ελαίου που αποτελείται από τουλάχιστον 55 μόρια. Οι κύριες χημικές συνθέσεις των πτητικών ελαίων στο αιθέριο έλαιο του φλοιού του καφέ, όπως προσδιορίζονται με αέρια χρωματογραφία-φασματοσκοπία μάζας (GC-MS), αντιπροσωπεύονται κυρίως από Βουτυλιωμένο-υδροξυ-τολουόλιο (butylatedhydroxy) (65,83%), με πολύ μικρότερη περιεκτικότητα σε 1,2-βενζενιδικοκαρβοξυλικό οξύ (1, 2-benzenedicarboxylic acid) (7,28%), φαινυλαιθυλική αλκοόλη (phenylethyl alcohol) (1.69%) και το 2,3-isopropylidene-6-deoxyhexo (1,63%). (Yousef & Amina, 2018)

Χρησιμοποιημένοι κόκκοι καφέ (SCG)

Μελέτες έδειξαν ότι, το σημαντικότερο αντιοξειδωτικό στα χρησιμοποιημένα κατακάθια καφέ είναι το 5-καφεοϋλοκινικό οξύ (περίπου 6% κ.β.) καθώς και, έχουν αναφερθεί σημαντικές ποσότητες ολικών καφεοϋλοκινικών οξέων (6-13 mg/g) και δικαφεοϋλοκινικών οξέων (3-6 mg/g). (Bravo et al., 2012; Ramalakshmi et al., 2009) Οι Monente et al. (2015) εντόπισαν επίσης καφεϊκό οξύ, φερουλικό οξύ, p-κουμαρικό οξύ, σιναπικό οξύ και 4-υδροξυβενζοϊκό οξύ. Επίσης, οι χρησιμοποιημένοι κόκκοι καφέ αποτελούν πηγή φυτοστερολών, με τις τιμές να κυμαίνονται από 343,4 έως 1146,3 mg/kg, όπως και στα δημητριακά. (Nzekoue et al., 2020)

Ασημένια επιδερμίδα του καφέ (Coffee Silverskin- CS)

Το CS είναι ιδιαίτερα πλούσιο σε διαιτητικές ίνες (περίπου 60% κ.β.), ιδιαίτερα αδιάλυτες, πρωτεΐνες, περίπου 20%, μέταλλα (8%) και αντιοξειδωτικά. Οι διαιτητικές του ίνες περιλαμβάνουν κυτταρίνη και ημικυτταρίνη, ενώ η τελευταία αποτελείται από ξυλόζη, αραβινόζη, γαλακτόζη και μαννόζη. Τα κυριότερα αντιοξειδωτικά του αργυρούχου δέρματος του καφέ είναι αναμφίβολα οι φαινολικές ενώσεις, οι οποίες έχουν βρεθεί ότι είναι κυρίως χλωρογενικά οξέα, όπως το 5-καφεοϋλοκινικό οξύ (το κυριότερο), το 4-καφεοϋλοκινικό οξύ, το 3-καφεοϋλοκινικό οξύ, 5-φερουλοϋλοκινικό οξύ, 3-φερουλοϋλοκινικό οξύ, 4-φερουλοϋλοκινικό οξύ, δικαφεοϋλοκινικά οξέα, καφεοϋλοτροπποφάνη, καφεοϋλοφερουλοκινικά οξέα και το σιναποϋλοκινικό οξύ. (Santos et al., 2021)

Γενικότερα, η περιεκτικότητα σε ολικά φαινολικά μπορεί να εκφραστεί σε ισοδύναμα χλωρογενικού οξέος και τιμές 8-32 mg/g χλωρογενικού οξέος. Επιπλέον, το CS παρουσιάζει περιεκτικότητα σε καφεΐνη που κυμαίνεται από 0,6 έως 1,1% κ.β. Η περιεκτικότητα σε ολικά λιπίδια είναι συνήθως χαμηλότερη από 3% κ.β. και το λιπιδικό προφίλ μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με τη γεωγραφική προέλευση. (Bessada et al., 2018)

Οι Toschi et al., (2014) περιέγραψαν τις τριακυλογλυκερόλες ως τα κυριότερα συστατικά του λιπιδικού κλάσματος του CS (48%), ακολουθούμενες από τα ελεύθερα λιπαρά οξέα (21%), τις εστεροποιημένες στερόλες (15%), τις ελεύθερες στερόλες (13%) και διακυλογλυκερόλες (4%) (Toschi et al., 2014). Παρόλο που το CS παρουσιάζει κυρίως κορεσμένα λιπαρά οξέα (62-86%), πολυακόρεστα (10-29%) και μονοακόρεστα (5-10%) λιπαρά οξέα, το προφίλ ήταν διαφορετικό μεταξύ των δειγμάτων από διαφορετικές προελεύσεις (Bessada et al., 2018). Ακόμη, περιέχει και βιταμίνη E, της οποίας οι τιμές εξαρτώνται από το είδος του καφέ και τη γεωργική προέλευση. Οι τιμές της ποικίλλουν από 4 έως 17 mg/100 g (Costa et al., 2018). Τέλος, μπορεί επίσης να περιέχει ακρυλαμίδιο και μυκοτοξίνες, κυρίως ωχρατοξίνη A (18,7-34,4 μg/kg). (Iriondo-DeHond et al., 2019)

Πολτός του καφέ (pulp)

Ο πολτός του καφέ περιέχει 6-8% βλεννώδη ουσία. Είναι ουσιαστικά πλούσιος σε υδατάνθρακες (21-32%), ολικές πηκτικές ουσίες (6,5%), αναγωγικά σάκχαρα (12,4%), μη αναγωγικά σάκχαρα (2%), πρωτεΐνες (5-15%), ανόργανα άλατα (9%) λίπη (2-7%) ενώ περιέχει επίσης σημαντικές ποσότητες τανινών (3%), χλωρογενικών οξέων (2,4%), καφεϊκό οξύ (1,6%) και καφεΐνη (1,5%). (Santos et al., 2021)

Οι Ramirez-Coronel et al. (2004) εντόπισαν τέσσερις κύριες κατηγορίες φαινολικών ενώσεων όπως, φλαβαν-3-όλες, υδροξυκινναμωμικά οξέα, φλαβονόλες

και ανθοκυανίνες. Επίσης, σε μελέτη τους βρέθηκαν σε χαμηλότερες ποσότητες επικατεχίνη, κατεχίνη, δικαφεοϋλοκινικά οξέα, ρητίνη, πρωτοκατεχικό οξύ, φερουλικό οξύ, 5-φερουλοϋλοκινικό οξύ, κυανιδίνη-3-ρητινοσίδη και η κυανιδίνη-3-γλυκοσίδη. (Ramirez-Coronel et al., 2004)

Μη ώριμοι και ελαττωματικοί κόκκοι καφέ

Οι μη ώριμοι και ελαττωματικοί κόκκοι καφέ, όπως αναφέρθηκε και πριν, αποτελούν και αυτοί με τη σειρά τους, υποπροϊόντα του καφέ, αντιπροσωπεύοντας μάλιστα το 20% της συνολικής παραγωγής καφέ. Σε ελαττωματικούς κόκκους καφέ, η απόδοση ελαίου κυμαίνεται από 10% έως 12% (ξηρό βάρος). (Franca & Oliveira, 2009).

Η σύνθεση του ελαίου σε λιπαρά οξέα δεν διαφέρει σημαντικά από εκείνη των ώριμων κόκκων καφέ, με το παλμιτικό οξύ και το λινελαϊκό να είναι τα κυρίαρχα, με μέσους όρους 34% και 44%, αντίστοιχα, ενώ το μυριστικό και το παλμιτολεϊκό οξύ είναι παρόντα σε ίχνη. (Prata & Oliveira, 2007)

Οι ελαττωματικοί κόκκοι καφέ έχουν περίπου 1,7% κ.β. καφεΐνη, ενώ ο καφές από ποικιλίες των Arabica και Robusta κερασιών έχουν 1,6% κ.β. και 2,4% κ.β., αντίστοιχα (Belščak-Cvitanović, 2017). Επιπλέον, ο χαμηλής ποιότητας πράσινος καφές παρουσιάζει υψηλή περιεκτικότητα σε ολικές φαινολικές ενώσεις και χλωρογενικά οξέα. (Ramalakshmi et al., 2009)

Αυτοί οι κόκκοι διαχωρίζονται και αποκλείονται από την κανονική επεξεργασία του καφέ καθώς μπορούν να προσδώσουν ανεπιθύμητη γεύση στο ρόφημα. Έτσι, η αξιοποίηση του ελαίου, στις βιομηχανίες καλλυντικών, που εξάγεται από τους ελαττωματικούς κόκκους είναι μια εναλλακτική λύση που πρέπει να μελετηθεί για να βελτιωθεί η προστιθέμενη αξία αυτού του υποπροϊόντος, όπως θα περιγραφεί περαιτέρω παρακάτω. (Prata & Oliveira, 2007)

2.4 Δυνατότητες αξιοποίησης υποπροϊόντων σε άλλους τομείς

Τα υποπροϊόντα επεξεργασίας καφέ περιέχουν συστατικά που προσφέρουν καλή βάση για αξιοποίησή τους σε καλλυντικά και τρόφιμα, ενώ είναι εξίσου χρήσιμα και σε άλλους τομείς. Ο φλοιός του καφέ είναι το κύριο υποπροϊόν του καφέ που έχει αποτελέσει αντικείμενο αρκετών μελετών για τη χρήση του σε βιομηχανικές δραστηριότητες, την παραγωγή βιοκαυσίμων, ως προσροφητικό υλικό ρύπων, διαιτητικών ινών και βιοδραστικών ενώσεων, την εξαγωγή ενζύμων, παραγωγή ζωοτροφών ή για την παραγωγή λιπάσματος, σιλό, βιοάνθρακα ή υπόστρωμα μανιταριών.

Γενικά, οι χώρες παραγωγής καφέ χρησιμοποιούν τον φλοιό του καφέ ως στερεό καύσιμο και αυτή η μέθοδος παράγει τεράστια ποσότητα τέφρας, οργανικών

αποβλήτων που έχει περιβαλλοντικές επιπτώσεις και τοξική δράση. Η τέφρα που λαμβάνεται από την καύση φλοιού καφέ είναι πλούσια σε αλκάλια, τα οποία αποτελούν υποψήφια για την αντικατάσταση των σπάνιων και ακριβών υλικών που παραδοσιακά χρησιμοποιούνται ως συστατικά ροής σε κεραμικά σκευάσματα με βάση τον άργιλο. Αποτελέσματα δείχνουν ότι η προσθήκη 25-40% τέφρας σε κοινά κεραμικά με βάση τον άργιλο είχε το καλύτερο αποτέλεσμα στην ποιότητα του κεραμικού (Santos et al., 2021)

Οι Bekalo et al. (2009) μελέτησαν τη χρήση του φλοιού του καφέ για τη μερική αντικατάσταση του ξύλου (έως και 50%) στην παραγωγή μορισανίδων (νοβοπάν). Τα αποτελέσματα για την άλεσή του δείχνουν να πέρασε τις τυποποιημένες δοκιμές μηχανικών ιδιοτήτων, ενώ ως προς τη διόγκωση και την απορρόφηση νερού δεν υπήρχε το επιθυμητό αποτέλεσμα. Η σανίδα από φλοιό του καφέ, έδειξε μεγάλη υπόσχεση για τη χρήση του σε δομικά και μη δομικά προϊόντα με βάση τις παραπάνω ιδιότητες κάμψης και εσωτερικής συγκόλλησης. (Bekalo & Reinhardt, 2010)

Προκειμένου να βρεθούν λύσεις για τη βελτίωση της ανάκτησης ενέργειας από τον φλοιό του καφέ, η αεριοποίηση αποτελεί μια δυνατότητα αύξησης της ανάκτησης ενέργειας με την παραγωγή αναφλέξιμου αερίου μέσω μερικής αποτέφρωσης σε υψηλές θερμοκρασίες και μέτριους ρυθμούς θέρμανσης. Το παραγόμενο αέριο είναι μείγμα CO, H₂, CH₄, CO₂ και N₂. Στις χώρες που παράγουν καφέ, η ενέργεια από βιομάζα έχει τη δυνατότητα να είναι η πιο άφθονη βιώσιμη ανανεώσιμη ενέργεια, αλλά, για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος, υπάρχει η ανάγκη να αναπτυχθούν και να διατηρηθούν οι σύγχρονες τεχνολογίες που αυξάνουν τη μετατροπή της βιομάζας σε ενέργεια. Ένας τρόπος μπορεί να είναι η αεριοποίηση της βιομάζας με αέρα/ατμό υψηλής θερμοκρασίας.

Οι Wilson et al. (2010) μελέτησαν την πειραματική αεριοποίηση φλοιού καφέ υπό συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας και διαπίστωσαν θετική επίδραση της υψηλής θερμοκρασίας στη βελτίωση της διαδικασίας αεριοποίησης. Τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν σε συγκέντρωση 4% O₂ έλαβαν το υψηλότερο ποσοστό αεριοποίησης (96% του φλοιού καφέ), ενώ το 82,80% και το 71,29% του φλοιού αεριοποιήθηκε με συνθήκες αεριοποίησης σε 2 και 3%, αντίστοιχα. Οι Miito και Banadda (2017) διαπίστωσαν ότι οι 46,6 εκατομμύρια τόνοι ετησίως φλοιού καφέ που παράγονται στην Ουγκάντα, με θερμογόνο δύναμη 18,34 MJ/kg, μπορούν να καλύψουν το 0,7% της συνολικής ενέργειας που καταναλώνεται στη χώρα, προστατεύοντας παράλληλα και το περιβάλλον. Η ίδια χρήση θα μπορούσε να είναι εφικτή στις χώρες όπου παράγεται και επεξεργάζεται ο καφές. (Hoseini et al., 2021; Miito & Banadda, 2017)

Επιπλέον, λόγω της μεγάλης ποσότητας φλοιού καφέ που παράγεται, της τοξικής του φύσης, του υψηλού ποσοστού ζυμώσιμου σακχάρου και της παρουσίας υψηλής συγκέντρωσης υδατανθράκων, θα μπορούσε να είναι μία καλή πηγή πρώτης ύλης για την παραγωγή βιοαλκοόλης. (Hoseini et al., 2021)

Μπορεί οι μελέτες να έχουν επικεντρωθεί στον φλοιό του καφέ, όμως τα τελευταία χρόνια και λόγω εξάντλησης των αποθεμάτων ενέργειας, οι βιομηχανίες για άντληση ενέργειας στρέφονται σε όλο και πιο πρακτικές λύσεις. Πέραν του φλοιού του καφέ, ο πολτός του καφέ, η λεπτή ασημένια επιδερμίδα και οι χρησιμοποιημένοι κόκκοι καφέ έχουν ενδιαφέρον ως προς το υψηλό ενεργειακό φορτίο που περικλείουν. Κατά τη διαδικασία του καβουρδίσματος, το CS, όπως και ο φλοιός του καφέ, διατίθεται ως βιομηχανικό απόβλητο. Έχουν γίνει διάφορες προσπάθειες για πυρόλυση, ειδικά του CS, μετατρέποντας το απόβλητο σε πόρο στο πλαίσιο μιας ολοκληρωμένης προοπτικής βιοδιύλισης. (del Pozo et al., 2020)

Έπειτα από πειράματα, αποδείχτηκε ότι, η καλύτερη θερμοκρασία πυρόλυσης που δοκιμάστηκε ήταν οι 280°C για την απόκτηση προϊόντων μεγαλύτερης προστιθέμενης αξίας. Το παραγόμενο βιοέλαιο (<20% κ.β.) έχει αποδειχθεί ότι είναι μια πιθανή πηγή χημικών ουσιών. Το κλάσμα αυτό αποτελείται από προϊόντα προστιθέμενης αξίας, όπως οξικό οξύ, αζωτούχες ενώσεις, καφεΐνη και φαινόλες. Ο βιοάνθρακας (80% κ.β.) αντιπροσωπεύει μια δυνητική πηγή ενέργειας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο καβούρδισμα του καφέ ξανά, συμβάλλοντας έτσι στην κυκλική οικονομία. Ο βιοάνθρακας παρουσιάζει σημαντικές θερμιδικές αξίες (έως και 21 MJ/kg), μαζί με χαμηλή περιεκτικότητα σε μέταλλα και θείο (0,13% κ.β.), που συνεπάγεται χαμηλές περιβαλλοντικές εκπομπές από την καύση του.

Επομένως, αυτή η διαδικασία μετατρέπει ένα απόβλητο σε υποπροϊόν και έναν πόρο, γεγονός που αυξάνει τα περιβαλλοντικά οφέλη και συμβάλλει στην κυκλική οικονομία και τη βιοοικονομία. Οι μελλοντικές προοπτικές περιλαμβάνουν περαιτέρω εργασίες για το διαχωρισμό και το καθαρισμό των ενώσεων βιοελαίου και άλλες πιθανές χρήσεις του βιοεξανθρακώματος από CS. (del Pozo et al., 2020)

2.5 Υγρά απόβλητα βιομηχανίας καφέ

Έχοντας αναφερθεί στα απόβλητα ξηρής μεθόδου επεξεργασίας του καφέ, είναι σημαντικό να σημειωθεί πως και, κατά την κατεργασία του καφέ με υγρή μέθοδο οι καρποί του καφέ παράγουν τεράστιες ποσότητες υγρών αποβλήτων δύσκολα βιοαποικοδομήσιμων που απαιτούν συστηματική επεξεργασία πριν από τη διάθεσή τους. Παρότι τα υγρά απόβλητα της επεξεργασίας καφέ έχουν υψηλές περιεκτικότητες σε ωφέλιμα συστατικά, δυστυχώς, με βάση τη βιβλιογραφία, δεν έχει γίνει δυνατή η ανάκτησή τους εξαιτίας παραγόντων που καθιστούν κάτι τέτοιο ασύμφορο, όπως περιγράφεται και παρακάτω. Πολλοί ερευνητές έχουν επιχειρήσει

να αξιολογήσουν την αποτελεσματικότητα του αερισμού παρτίδας ως μεταγενέστερη επεξεργασία των υγρών αποβλήτων επεξεργασίας καφέ από μια μονάδα ανοδικής ροής αναερόβιου υβριδικού αντιδραστήρα (UAHR), συνεχούς και διακοπτόμενου συστήματος αερισμού. Οι Selvamurugan et al. (2010) αξιολόγησαν την αποτελεσματικότητα του συστήματος UAHR και τα αποτελέσματα έδειξαν μέγιστη απόδοση απομάκρυνσης BOD, COD και ολικών στερεών συστατικών 74,5, 68,6 και 49,3% αντίστοιχα. Ωστόσο, η υγρή επεξεργασία καφέ απαιτεί υψηλό βαθμό τεχνολογίας επεξεργασίας και παράγει μεγάλες ποσότητες υγρών αποβλήτων που έχουν τη δυνατότητα να βλάψουν το περιβάλλον. Τα χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων από την επεξεργασία καφέ έχουν βιολογική απαίτηση οξυγόνου, δηλαδή ποσότητα οξυγόνου που απαιτείται βιολογικά για τη διάσπαση οργανικών αποβλήτων που αραιώνονται στο νερό, (BOD) έως 20000 mg/l και χημική ζήτηση οξυγόνου, δηλαδή η ποσότητα διαλυμένου οξυγόνου που απαιτείται για να συνδυαστεί με τα χημικά συστατικά των λυμάτων, (COD) έως 50000 mg/l καθώς και οξύτητα pH κάτω από την τιμή 4,0. (Rattan et al., 2015)

Στις περισσότερες βιομηχανίες επεξεργασίας καφέ, το νερό χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση του πολτού και η συντριπτική πλειονότητα των μύλων χρησιμοποιεί νερό για να διοχετεύσει τον πολτό απευθείας στα ποτάμια. Το οξυγόνο που απαιτείται για τη διάσπαση του πολτού είναι τόσο υψηλό που τα ποτάμια με μεγάλες ποσότητες πολτού μπορεί να εξαντληθούν σε οξυγόνο λόγω των διαδικασιών αποσύνθεσης. Το κύριο συστατικό είναι η οργανική ύλη, που προέρχεται από την απομάκρυνση του πολτού και την απομάκρυνση της βλεννώδους ουσίας. Τα υγρά απόβλητα από τον καφέ χωρίζονται σε γενικές γραμμές σε δύο μορφές: το νερό πολτοποίησης με υψηλή περιεκτικότητα σε σάκχαρα που ζυμώνουν γρήγορα και τα υγρά απόβλητα που παράγονται από τις εφαρμογές επεξεργασίας. Η κύρια ρύπανση στα υγρά απόβλητα του καφέ εμφανίζεται όταν, η οργανική ύλη που απελευθερώνεται κατά τη διάρκεια της πολτοποίησης δεν αποικοδομείται εύκολα και σχηματίζεται ένα στρώμα από την βλεννώδη ουσία, το οποίο περιβάλλει τους κόκκους καφέ.

Τα λύματα από τις μεθόδους έκπλυσης και ημι-έκπλυσης μπορούν να οδηγήσουν σε υποβάθμιση του επιπέδου του οξυγόνου στο νερό, το οποίο μπορεί να σκοτώσει σχεδόν όλη την υδρόβια ζωή. Το νερό υποβαθμίζεται όταν χρησιμοποιείται στη ζύμωση των κερασιών, όπου γίνεται ιδιαίτερα όξινο. Η ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για τη βιολογική διάσπαση του πολτού καφέ, υπερβαίνει το οξυγόνο που υπάρχει στο νερό δημιουργώντας μια αναερόβια ατμόσφαιρα η οποία αποδεικνύεται τρόπος ανάπτυξης βακτηρίων που απειλούν την υγεία, με

άσχημη οσμή και σκούρα εμφάνιση που προκαλείται από τις τανίνες. (Rattan et al., 2015)

Μία από τις παραδοσιακές μεθόδους επεξεργασίας υγρών αποβλήτων του καφέ είναι η απλή απόρριψή τους στο ποτάμι. Μία άλλη μέθοδος, περιλαμβάνει τη δημιουργία μιας μεγάλης δεξαμενής συγκράτησης των υγρών αποβλήτων του καφέ, όπου τα λύματα εναποτίθενται και υποβάλλονται σε επεξεργασία με μία ειδική πούδρα για να επιτευχθεί το επιθυμητό pH. Το σημαντικότερο πρόβλημα με αυτές τις μεθόδους είναι ότι, κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας του καφέ, η ποσότητα του νερού είναι πολύ μεγάλη για το μέγεθος των δεξαμενών και η υπερχειλίση φτάνει αμέσως στις πηγές. Η ανακύκλωση απαιτεί δεξιότητες επειδή η θερμοκρασία, το pH και το επίπεδο βακτηρίων του νερού επεξεργασίας πρέπει να παρακολουθούνται και να διατηρούνται σε βέλτιστα επίπεδα. (Rattan et al., 2015)

Το νερό που προκύπτει από την επεξεργασία του καφέ, ιδίως από εγκαταστάσεις μικρής κλίμακας που χρησιμοποιούν τις διαδικασίες υγρής ζύμωσης, έχουν αρκετά υψηλή περιεκτικότητα σε BOD και θα πρέπει να μειωθούν σε <300 mg/l. Η ηλεκτρο-Fenton και άλλες αναερόβιες μέθοδοι είναι χρήσιμες για την αποικοδόμηση των οργανικών ουσιών. Η απομάκρυνση της φυσικής οργανικής ύλης που υπάρχει στα υγρά απόβλητα επεξεργασίας καφέ μέσω χημικής πήξης, κροκίδωσης και προηγμένων διεργασιών οξειδωσης (AOP) υπό όξινες συνθήκες βρέθηκε να είναι μια αποτελεσματική επεξεργασία. Μεταξύ των συστημάτων προηγμένων διεργασιών οξειδωσης, η διεργασία UV/H₂O₂/O₃, έπειτα από διάφορες μελέτες, φάνηκε να είναι η πιο αποτελεσματική στη μείωση του COD, του χρώματος και της θολότητας των υγρών αποβλήτων καφέ, με τη μείωση του COD να είναι 84%. Το σύστημα αυτό, αφορά την φωτο-οξειδωση και την εξουδετέρωση των οργανικών ρύπων με ρίζες υδροξυλίου και περιλαμβάνει ένα μείγμα οξειδωτικών ενώσεων όπως υπεροξειδίο του υδρογόνου και όζον παρουσία υπεριώδους ακτινοβολίας. Το H₂O₂ μπορεί να ξεκινήσει τη διάσπαση του O₃ με μεταφορά ηλεκτρονίων και η αντίδραση που προκύπτει παράγει ρίζες υδροξυλίου (OH), καταναλώνοντας υπεροξειδίο του υδρογόνου (H₂O₂) και όζον (O₃). Τέλος, η επεξεργασία σε συνδυασμό με βιολογική και χημική επεξεργασία είναι η πιο αποτελεσματική επεξεργασία για τα απόβλητα καφέ που απορρίπτονται. Αυτή η συνδυαστική μέθοδος είναι μια αποτελεσματική προσέγγιση για τα βιομηχανικά απόβλητα καφέ για τη μείωση του COD και, κατά συνέπεια, τη μεγαλύτερη αποικοδόμηση του οργανικού υλικού. (Rattan et al., 2015)

Κεφάλαιο 3 Εφαρμογές στη βιομηχανία τροφίμων

Στη σύγχρονη κοινωνία που στοχεύει στην ενίσχυση της οικολογικής συνείδησης, δίνεται μεγάλη έμφαση στην ελάττωση των παραγόμενων απορριμμάτων. Τόσο η καλλιέργεια, όσο και η παραγωγή καφέ αποδίδουν μεγάλη ποικιλία υποπροϊόντων, όπως αυτά που αναπτύχθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο. Τα περισσότερα εξ αυτών, ωστόσο, προορίζονται για ζωοτροφές ή ανακυκλώνονται θερμικά. Τα υποπροϊόντα παραγωγής καφέ εντάσσονται ολόενα και περισσότερο σε μία αλυσίδα αξιοποίησης ακόμα και στον τομέα των τροφίμων, αφού πρώτα επικυρωθεί ότι είναι ασφαλή για ανθρώπινη κατανάλωση. Παρά το γεγονός ότι κάποια από τα υποπροϊόντα καφέ χρησιμοποιούνται ήδη ως παραδοσιακά εδέσματα σε χώρες εκτός της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ), παρακάτω θα αναφερθεί η νομική ταξινόμηση που έχει καθορίσει σήμερα η Ευρωπαϊκή Ένωση. Είναι σημαντικό να αναφερθεί, πως για ορισμένα προϊόντα δεν έχουν καταγραφεί δεδομένα τοξικότητας και ασφάλειας, γεγονός που επιτάσσει τη διεξαγωγή επιπλέον διερεύνησης για την εισαγωγή των νέων αυτών προϊόντων στην αγορά. (Klingel et al., 2020)

3.1 Σύγχρονες τάσεις

Οι καλλιεργητές και η βιομηχανία καφέ καλούνται να αξιοποιήσουν τα υποπροϊόντα καφέ, τα οποία συνήθως απέρριπταν. Τη συγκομιδή κερασιών του καφέ ακολουθούν η ξηρή ή υγρή επεξεργασία από τις οποίες λαμβάνεται ο πράσινος καφές που γνωρίζουμε ότι διοχετεύεται στο εμπόριο. Σημαντικές είναι οι ποσότητες του φλοιού και πολτού των κερασιών, της ασημένιας επιδερμίδας καθώς και του χρησιμοποιημένου καφέ που παράγονται μαζί με το κύριο προϊόν. Η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) πριν την απόφαση για εμπορία των υποπροϊόντων καφέ, πρέπει να τα εγκρίνει ως «νέα τρόφιμα» (novel foods).

3.1.1 Νέα τρόφιμα (novel foods)

Ο όρος "νέο τρόφιμο" σημαίνει τρόφιμα ή/και συστατικά τροφίμων που είναι συγκριτικά νέα στην ευρωπαϊκή αγορά και, ως εκ τούτου, δεν έχουν ιστορικό χρήσης ως ασφαλή τρόφιμα για ανθρώπινη κατανάλωση. Για την προστασία της ανθρώπινης υγείας και των συμφερόντων των καταναλωτών, εφαρμόζεται το ευρωπαϊκό νομικό πλαίσιο για τα νέα τρόφιμα. Ο κανονισμός ορίζει ως "νέο τρόφιμο" κάθε τρόφιμο το οποίο δεν έχει χρησιμοποιηθεί για ανθρώπινη κατανάλωση έως σημαντικό βαθμό στην Ένωση πριν από τις 15 Μαΐου 1997. Το νομικό πλαίσιο για τον ορισμό και την έγκριση των νέων τροφίμων βρίσκεται στον κανονισμό (ΕΕ) υπ' αριθ. 2015/2283 και στους δύο εκτελεστικούς κανονισμούς (ΕΕ) υπ' αριθ. 2017/2468 και 2017/2469. (Mussatto et al., 2011; Palmieri et al., 2018)

Το άρθρο 3 παράγραφος 2α του κανονισμού (ΕΕ) υπ' αριθ. 2015/2283 ορίζει τις κατηγορίες τροφίμων από τις οποίες τα νέα τρόφιμα μπορούν να προέρχονται - στην περίπτωση των υποπροϊόντων καφέ, τα φυτικά προϊόντα που αναφέρονται στο εδάφιο iv) είναι ιδιαίτερα σημαντικά. Τα νέα τρόφιμα που έχουν υποβληθεί επιτυχώς στη διαδικασία έγκρισης κατά την έννοια του άρθρου 10 του κανονισμού (ΕΕ) υπ' αριθ. 2015/2283, απαριθμούνται σε θετικό κατάλογο στο παράρτημα του εκτελεστικού κανονισμού (ΕΕ) 2017/2470 της Επιτροπής. Επιπλέον, για τα νέα τρόφιμα που ανήκουν στην κατηγορία των "φυτών", υπάρχει η δυνατότητα απλουστευμένης κοινοποίησης ενός "παραδοσιακού τροφίμου από τρίτη χώρα", εάν το νέο τρόφιμο έχει "ιστορικό ασφαλούς χρήσης τροφίμων" σε χώρα εκτός της Ευρωπαϊκής Ένωσης, σύμφωνα με τα άρθρα 14 και 15 του κανονισμού (ΕΕ) υπ' αριθ. 2015/2283.

Τόσο η κοινοποίηση όσο και η αίτηση απαιτούν περιγραφή του νέου τροφίμου και της παραγωγής του, κατάλληλη ανάλυση μεθόδων, καθώς και αναλυτικά και τοξικολογικά δεδομένα για να αποδειχθεί ότι δεν υπάρχει κίνδυνος για την ασφάλεια των για την ανθρώπινη υγεία (Palmieri et al., 2018). Την ευθύνη για την έγκριση νέων τροφίμων έχει η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, η οποία με τη σειρά της δύναται να ζητήσει από την Ευρωπαϊκή Αρχή για την Ασφάλεια των Τροφίμων (EFSA) τη διεξαγωγή επιστημονικής αξιολόγησης κινδύνου για τον καθορισμό της ασφάλειας αυτών. Ακολουθούν καταχωρήσεις στον κατάλογο νέων τροφίμων της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, οι οποίες βασίζονται σε τρέχουσες πληροφορίες των κρατών μελών της ΕΕ.

3.2 Αξιοποίηση υποπροϊόντων

Μίσχοι, κλαδιά, ξύλα

Η παρουσία τους στον καφέ σε μικρές, ανεκτές ποσότητες θεωρείται ελάττωμα και πηγή μόλυνσης του πράσινου καφέ γι' αυτό δεν είναι πιθανή η χρήση τους σε τρόφιμα. (Klingel et al., 2020)

Πολτός κερασιού

Αποτελεί παραπροϊόν όλων των μεθόδων υγρής επεξεργασίας του καφέ και αντιπροσωπεύει το 29% της ξηρής ύλης. Συνήθως συμπεριλαμβάνει και τη φλούδα του καρπού μαζί με 4%-12% κ.β. πρωτεΐνες, 1%-2% κ.β. λιπίδια, 6%-10% κ.β. ανόργανα άλατα και 45%-89% κ.β. συνολικούς υδατάνθρακες, αλλά και φαινολικές ενώσεις και καφεΐνη 1,3% κ.β.. Παρά το γεγονός ότι δεν υπάρχουν ακόμη βιβλιογραφικά δεδομένα αναφορικά με την τοξικότητά του, η αξιοποίησή του στα τρόφιμα έγκειται σε μαρμελάδες, χυμούς, συμπυκνώματα και ζελέ (Klingel et al., 2020). Συγκεκριμένα, μελέτη έδειξε πως ο πολτός κερασιού καφέ αποτελεί πηγή

πηκτίνης. Πολτός από Brazilian Coffee Arabica αποξηράνθηκε και υποβλήθηκε σε επεξεργασία με αιθανόλη. Η πηκτίνη απομονώθηκε με βρασμό σε διάλυμα Νιτρικού HNO_3 για 30 min και ήταν με υψηλό ποσοστό μεθοξυομάδων (HM πηκτίνη). Η δυνατότητα της πηκτίνης από πολτό καφέ να σχηματίζει πηκτές με υψηλή συγκέντρωση σακχαρόζης ή ξυλιτόλης και χαμηλό pH, κατέστησε το υποπροϊόν κατάλληλο για εμπορική χρήση (Reichembach & de Oliveira Petkowicz, 2020). Επίσης, αλεύρι πολτού καφέ χρησιμοποιείται για την παρασκευή ψωμιού, μπισκότων, μάφινς, μπράουνις, ζυμαρικών και σαλτσών, του οποίου η γεύση περιγράφεται ως λουλουδάτη (floral), εσπεριδοειδής (citrus) και καμμένων φρούτων (roasted fruit), παρά γεύση καφέ. (Buck et al., 2021)

Μία πρόσθετη λύση για την αξιοποίηση του πολτού καφέ είναι η παραγωγή ενός ανθεκτικού, σταθερού και αναλώσιμου προϊόντος, το οποίο είναι πουρές από πολτό καφέ Robusta. Ο επεξεργασμένος πολτός παρήχθη μέσω ζεματίσματος των κερασιών καφέ και με προσθήκη κιτρικού οξέος. Το αποτέλεσμα έδειξε έναν σταθερό πουρέ τόσο ενζυμικά, όσο και χρωματικά, με υψηλή αντιοξειδωτική ικανότητα. Η οργανοληπτική αξιολόγηση του πουρέ δίνει φρουτώδεις, λουλουδάτες, εσπεριδοειδείς και αχυρώδεις οσμές, καθώς και γλυκές, ξινές και πικρές γεύσεις. Κατά τις αναλύσεις διαλύματος αρωματικού εκχυλίσματος εντοπίστηκαν 55 αρωματικά ενεργές περιοχές, 45 εκ των οποίων ταυτοποιήθηκαν με αέρια χρωματογραφία- φασματοσκοπία μάζας (GC-MS). Οι φυσικές ιδιότητες του πουρέ είναι συγκρίσιμες με άλλους πουρέδες φρούτων, καθιστώντας τον έτσι, ένα ευέλικτο αρωματικό συστατικό για την προσθήκη του σε διάφορες εφαρμογές τροφίμων. (Buck et al., 2021)

Ο πολτός του καφέ έχει χρησιμοποιηθεί, επίσης, στην παρασκευή αφεψημάτων. Ειδικότερα, στοχευμένες ενώσεις που περιέχονται στον πολτό του καφέ εκχυλίστηκαν σε υδατικό διάλυμα β-κυκλοδεξτρίνης (β-CD). Το παραγόμενο αφέψημα έχει φρουτώδεις, βοτανικές, γλυκές και ξινές οργανοληπτικές ιδιότητες και η παρουσία της κυκλοδεξτρίνης επηρεάζει τη συνολική γεύση του αφεψηματος. Ο αλεσμένος πολτός καφέ αναμίχθηκε με υδατικό διάλυμα β-κυκλοδεξτρίνης διαφορετικών συγκεντρώσεων, σε διαφορετικές αναλογίες υγρού προς στερεό (L/S), σε διαφορετικές θερμοκρασίες. Το υλικό υποβλήθηκε σε εκχύλιση υπό ανάδευση και τα εκχυλίσματα συλλέχθηκαν μετά από 120 λεπτά. Μετά την εκχύλιση, τα δείγματα φυγοκεντρήθηκαν 9000 στροφές ανά λεπτό για 5 λεπτά και διαχωρίστηκαν με διήθηση υπό κενό. Το διαυγές υπερκείμενο αποθηκεύτηκε στο ψυγείο μέχρι να χρησιμοποιηθεί για περαιτέρω ανάλυση. Η ψυχρή παρασκευή καφέ είναι μία καινούργια τεχνική και αρκετοί ερευνητές έχουν ασχοληθεί με την οργανοληπτική της αξιολόγηση. Σε γενικές γραμμές, οι κρύες παρασκευές χαρακτηρίζονται από μια πιο

γλυκιά και ξινή γεύση σε σύγκριση με το προϊόν της κλασικής τεχνικής. Ως εκ τούτου, ο σκοπός της αισθητηριακής σκιαγράφησης ήταν να διερευνηθεί η αισθητηριακή ποιότητα μιας εναλλακτικής σύνθεσης αφειψήματος. (Loukri et al., 2020)

Ωστόσο, κίνδυνο για την ασφάλεια των τροφίμων μπορούν να αποτελέσουν οι βιοδραστικές ενώσεις, η μικροβιακή αλλοίωση και η μόλυνση μέσω μυκοτοξινών. (Klingel et al., 2020)

Ενδοκάρπιο

Πρόκειται για ένα λιγνοκυτταρινικό υλικό με μη επαρκή και αποτελεσματική μελέτη. Έχει προταθεί ως αντιμυκητιακό πρόσθετο για συντήρηση τροφίμων και τα εκχυλίσματά του για βιοσυστατικά με αντιοξειδωτική δράση (Klingel et al., 2020). Οι συμβατικές συσκευασίες μεμβρανών παράγονται κυρίως από τη βιομηχανία πετρελαίου, προκαλώντας σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, οι οποίες αποτρέπονται με τη χρήση μεμβρανών βιολογικής βάσης. Έχει αποδειχθεί πως ο συνδυασμός πολυσακχαριτών με φυσικά εκχυλίσματα, είναι κατάλληλος για τη δημιουργία ενεργών συσκευασιών τροφίμων. Η ενσωμάτωση εκχυλίσματος ενδοκαρπίου καφέ αποτελεί τη νέα πρόκληση για τη βιομηχανία τροφίμων. Παρά τη σπανιότητα αποτελεσματικής αξιοποίησης των αποβλήτων ενδοκαρπίου καφέ, έχει διεξαχθεί μελέτη που αναλύει την εφαρμογή εκχυλισμάτων ενδοκαρπίου καφέ ως αντιμυκητιακό πρόσθετο σε φιλμ με βάση το κόμμι γελάνης (Gellan gum). Πιο συγκεκριμένα, στη μελέτη αυτή εφαρμόστηκε υγρή χρωματογραφία υψηλής απόδοσης (HPLC) ταυτοποιώντας στα εκχυλίσματα του ενδοκαρπίου καφέ την ύπαρξη γαλλικού οξέος, χλωρογενικών, κουμαρικών και σιναπικών οξέων, μαζί με καφεΐνη. Οι βέλτιστες συνθήκες εκχύλισης παρατηρήθηκαν στους 75°C με διαλύτη διάλυμα αιθανόλης 70%. Με την προσθήκη μεμβράνης από κόμμι γελάνης εμπλουτισμένο με εκχύλισμα ενδοκαρπίου (*C. Arabica*) παρατηρήθηκε αναστολή των *Fusarium verticillioides*, *Fusarium sp.* και *Colletotrichum gloeosporioides*, ιδίως στην υψηλότερη συγκέντρωση εκχυλίσματος ενδοκαρπίου (8mgcm⁻²). Επίσης, εμφάνισαν, ανεξάρτητα από τη συγκέντρωση του εκχυλίσματος, παρόμοιες μηχανικές ιδιότητες με υψηλή αντοχή σε εφελκυσμό και επιμήκυνση. Αντίθετα, με την αύξηση της συγκέντρωσης του εκχυλίσματος οι φυσικοχημικές ιδιότητες του φιλμ ελαττώθηκαν. Ειδικότερα, η προσθήκη εκχυλίσματος προκαλεί μείωση της υγρασίας και της ενεργότητας νερού (a_w) του φιλμ, καθιστώντας το ιδανικό υλικό για αποφυγή ανάπτυξης ζυμών, μυκήτων και βακτηρίων. Οι μηχανικές, δομικές και φυσικοχημικές ιδιότητες του φιλμ αν και τροποποιήθηκαν με την προσθήκη του εκχυλίσματος ενδοκαρπίου, η αντιμυκητιακή δράση του φιλμ, καθώς και η καλή απόδοση, το κατέστησαν, αυτομάτως, δυνητικά χρήσιμο για τη συντήρηση των τροφίμων και

πολλά υποσχόμενο για πολλές εφαρμογές στη συσκευασία τροφίμων. (Mirón-Mérida et al., 2019)

Πρόσφατες βιβλιογραφικές αναφορές θέτουν τις δυνατότητες εφαρμογής του ενδοκαρπίου καφέ ως λειτουργικό συστατικό σε ένα καινοτόμο προϊόν χαμηλών θερμίδων, με στόχο τον εμπλουτισμό με διαιτητικές ίνες για ρύθμιση γλυκόζης αίματος και μείωση συγκέντρωσης λιπιδίων ορού (Klingel et al., 2020). Η αξιολόγηση του ενδοκαρπίου ως πηγή διαιτητικών ινών πραγματοποιήθηκε με εκχύλιση των τελευταίων ενζυμικά ή μη ενζυμικά. Τα αποτελέσματα έδειξαν υψηλά ποσοστά αδιάλυτων διαιτητικών ινών, αποτελούμενες κυρίως από ξυλάνες (35%) και λιγνίνη (32%), εκτός από κυτταρίνη (12%), η εξαγωγή των οποίων δεν απαιτεί ενζυμική επεξεργασία. Από την άλλη, η άλεση φάνηκε να βελτιώνει την περιεκτικότητα σε φαινολικές ενώσεις και την αντιοξειδωτική ικανότητα, τα οποία με τη σειρά τους αποτελούν πλούσια συστατικά σε φυτικές ίνες με ενισχυμένες υπογλυκαιμικές και υπολιπιδαιμικές ικανότητες.

Την ασφάλεια τροφίμων με ενδοκαρπιο του καφέ αξιολόγησαν οι Iriondo-DeHond et al. (2019) ανιχνεύοντας ωχρατοξίνη Α σε ποσότητα 2,7 μg/kg, το οποίο είναι κάτω από το όριο που έχει καθοριστεί από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή (5 μg/kg). Επομένως, η πρώτη ύλη θα πρέπει να σταθεροποιηθεί θερμικά για να αποφευχθεί η μικροβιακή μόλυνση και η παραγωγή μυκοτοξινών κατά την αποθήκευσή της, να αυξηθεί η διάρκεια ζωής του δείγματος και να εξασφαλιστεί η ασφαλής κατανάλωσή του για τον άνθρωπο. Διερεύνησαν επίσης την οξεία τοξικότητα του ακατέργαστου ενδοκαρπίου σε αρουραίους με εφάπαξ δόση 2000 mg/kg σωματικού βάρους και δεν παρατήρησαν εμφανή σημάδια τοξικότητας, μη φυσιολογική συμπεριφορά ή θνησιμότητα. (Iriondo-DeHond et al., 2019)

Πράσινος καφές

Έπειτα από την καθιερωμένη επεξεργασία του καρπού απομένουν οι πράσινοι κόκκοι καφέ επικαλυπτόμενοι από την ασημένια επιδερμίδα τους, η οποία αν αφαιρεθεί, προαιρετικά, μέσω στίλβωσης, δίνει ένα ήπιο χρώμα και άρωμα στον κόκκο. Κύρια συστατικά του πράσινου καφέ αποτελούν οι αδιάλυτοι πολυσακχαρίτες (~50%), όπως κυτταρίνες και ημικυτταρίνες. Εκτός από τους σύνθετους υδατάνθρακες, περιέχει μονο- και ολιγοσακχαρίτες, έλαια και κηρούς (8%-18%), πρωτεΐνες και αμινοξέα (9%-12%), μέταλλα (3%-5%), και πολυφαινολικές ενώσεις. Το πιο κοινό αλκαλοειδές στον πράσινο καφέ είναι η καφεΐνη (1%-4%), η συγκέντρωση της οποίας εξαρτάται κυρίως από την ποικιλία και τις συνθήκες καλλιέργειας, ακολουθούμενη από τη τριγονελλίνη (~0,8%), της οποίας μέρος αποικοδομείται κατά το καβούρδισμα του καφέ, σχηματίζοντας ιόντα N-

μεθυλοπυριδινίου με αποκαρβοξυλίωση και νικοτινικό οξύ με απομεθυλίωση. (Klingel et al., 2020)

Συνήθως στην αγορά καταναλώνεται ο καβουρδισμένος καφές, παρ' όλα αυτά όμως, ο πράσινος καφές, ως υποπροϊόν της επεξεργασίας καφέ, αποτελεί νέο τρόφιμο είτε με τη μορφή κόκκων, χωρίς καβούρδισμα, είτε ως έγχυμα, μέσω εκχύλισης με νερό από τεμαχισμένους κόκκους. Επιλεκτικά εκχυλίσματα ανάλογα με τις βιομηχανικές ανάγκες και απαιτήσεις χρησιμοποιούν ζεστό νερό ή αλκοόλη ή μίγματα αυτών για να παραχθούν. Τα προαναφερθέντα αποτελούν νέα τρόφιμα και χρήζουν ξεχωριστής αξιολόγησης. Πωλούνται με αναφορά σε πιθανές, ποικίλες, ευεργετικές για την υγεία επιδράσεις, που στην περίπτωση του καβουρδίσματος θα είχαν χαθεί, όπως συμβαίνει με τη συγκέντρωση των χλωρογενικών αλάτων. Κυρίως διατίθενται σε μορφή κάψουλας ως συμπληρώματα διατροφής ή προστίθενται στην παρασκευή ποτών ή τσίχλας. (Klingel et al., 2020)

Οι Bobillo et al. (2018) πραγματοποίησαν μελέτη για τον κορεσμό που δύναται να προσφέρει η κατανάλωση τσίχλας με εκχύλισμα πράσινου καφέ, και η επίδραση στην πρόσληψη σνακ και στην ρύθμιση της όρεξης. Η τσίχλα που χρησιμοποιήθηκε περιείχε ένα συνδυασμό από 200 mg G. Cambogia, τροπικού καρπού, (με μέση περιεκτικότητα 60% υδροξυκιτρικό οξύ και <2 mg καφεΐνης), 20 mg l-καρνιτίνη, 100 mg εκχύλισμα πράσινου καφέ (45 mg περιεκτικότητας σε χλωρογενικό οξύ) και βιταμίνη B6 (0,26 mg), με άρωμα μέντας. Το χλωρογενικό οξύ, κύρια ένωση του εκχυλίσματος πράσινου καφέ, έχει την ικανότητα να μειώνει την ηπατική γλυκογονόλυση μέσω της αναστολής της γλυκόζης-6-φωσφατάσης και να διεγείρει το GLP-1 (γλυκαγονόμορφο πεπτίδιο) με εντερική απελευθέρωση, γεγονός που υποδηλώνει την πιθανή επίδρασή του στον κορεσμό. Με το πέρας της έρευνας διαπιστώθηκε πως με την κατανάλωση της εμπλουτισμένης τσίχλας, μειώθηκε η συνολική θερμιδική πρόσληψη και συγκεκριμένα ελαττώθηκε η επιθυμία για γλυκά σνακ με υψηλό θερμιδικό φορτίο. Προκύπτει, έτσι, το συμπέρασμα ότι η μάσηση τσίχλας, που είναι ενισχυμένη με θρεπτικά προϊόντα, μπορεί να συντελέσει στην ελεγχόμενη πρόσληψη σνακ και τη μείωση αίσθησης της πείνας. Η τσίχλα, καθίσταται κατά αυτόν τον τρόπο οδηγός για εύκολη χορήγηση φαρμάκων και λειτουργικών συστατικών. (Bobillo et al., 2018)

Οι Watanabe et al. (2006) εξέτασαν το εκχύλισμα πράσινου καφέ σε μια ελεγχόμενη, με εικονικό φάρμακο, μελέτη παρέμβασης σε ανθρώπους με ήπια υπέρταση και δεν διαπίστωσαν σοβαρές παρενέργειες (Klingel et al., 2020). Κατά τη μελέτη αυτή τα άτομα λάμβαναν 125 mL/ημέρα χυμό φρούτων και λαχανικών εμπλουτισμένο με 0,48 g εκχυλίσματος πράσινου καφέ (GCE). Το εικονικό φάρμακο που χορηγήθηκε σε άλλη ομάδα, περιείχε μόνο τον χυμό φρούτων και λαχανικών. Τα

αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι τα χλωρογενικά οξέα (CGA), που περιέχονταν στο GCE μείωσαν σημαντικά την αρτηριακή πίεση κατά την περίοδο χορήγησης, χωρίς, ωστόσο, να παρουσιάζονται εμφανείς παρενέργειες στον δείκτη μάζας σώματος ή στον ρυθμό των καρδιακών παλμών. (Watanabe et al., 2006)

Ασημένια επιδερμίδα (CS)

Ασημένια επιδερμίδα (CS) ονομάζεται το λεπτό περίβλημα μεταξύ των δύο κόκκων του κερασιού του καφέ. Μέσω του καβουρδίσματος παράγεται μεγάλη ποσότητα ως υποπροϊόν, το οποίο αποτελείται σε μεγάλο ποσοστό από διαιτητικές ίνες (60%-80%), με κύρια συστατικά την κυτταρίνη, την ημικυτταρίνη και τη λιγνίνη, ενώ οι πρωτεΐνες ανέρχονται σε ποσοστό 18%. Μεταξύ των *C. Arabica* και *C. Canephora* δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές σε περιεκτικότητα διαιτητικών ινών, ενώ μία ποσότητα αυτών είναι διαλυτή, γεγονός που κάνει το CS αξιοποιήσιμη πρώτη ύλη για την ανάπτυξη λειτουργικών τροφίμων. (Klingel et al., 2020)

Συγκεκριμένα, το CS θα μπορούσε να αναπτυχθεί ως πηγή αντιοξειδωτικών και διαιτητικών ινών σε τρόφιμα. Για παράδειγμα, έχουν γίνει απόπειρες ενσωμάτωσης των εκχυλισμάτων αυτού σε μπισκότα, τα οποία έχουν φανεί να είναι πλούσια σε φυσικές χρωστικές ουσίες και να μπορούν να αποτελέσουν πηγή αντιοξειδωτικών συστατικών. Επίσης, θα μπορούσε να αξιοποιηθεί ως πηγή αρώματος καπνού για καπνιστά προϊόντα, λόγω των αρωμάτων που προέρχονται από το καβούρδισμα. Η αυξημένη ζήτηση σε αρτοσκευάσματα με χαμηλές θερμίδες και αυξημένα επίπεδα διαιτητικών ινών, οδήγησε σε νέες έρευνες και εφαρμογές στην αρτοποιία. Μέσω της στατιστικής μεθοδολογίας επιφάνειας απόκρισης προσδιορίζεται η βέλτιστη επεξεργασία του CS με αλκαλικό υπεροξείδιο του υδρογόνου, δηλαδή η σωστή αναλογία, ο κατάλληλος χρόνος ανάμιξης και το μέγεθος των σωματιδίων του CS. Προέκυψαν έτσι, σχέσεις για την καλύτερη ποιότητα, τη μέγιστη διάρκεια ζωής και τις καλύτερες οργανοληπτικές ιδιότητες στον άρτο. Τα αποτελέσματα δείχνουν πως το αλκαλικό υπεροξείδιο του υδρογόνου μαζί με το CS μπορούν να θεωρηθούν αξιοποιήσιμα συστατικά για τη μείωση των θερμίδων και την αύξηση περιεκτικότητας διαιτητικών ινών του ψωμιού. (Pourfarzad et al., 2013)

Ειδικότερα, στην εργασία των Pourfarzad et al. (2013), αναλύθηκε η παρακάτω μεθοδολογία, σύμφωνα με την οποία, το CS πλένεται με νερό βρύσης και ξηραίνεται πλήρως σε φούρνο στους 60°C για 24 h. Έπειτα από άλεση, διαχωρίζεται με κόσκινα ανάλογα με το μέγεθος των σωματιδίων. Δείγμα αυτού, υποβάλλεται σε ανάμιξη με αραιό αλκαλικό διάλυμα υπεροξειδίου του υδρογόνου συγκέντρωσης 1 mL/L, σε αναλογία 1:3 έως 1:5. Το μίγμα αφού αναδεύεται, εξουδετερώνεται με διάλυμα υδροχλωρίου (HCl 0,1 mol equi/L), διηθείται και ξηραίνεται σε φούρνο

εξαναγκασμένης ροής αέρα στους 60°C για 8 h. Η φυσικοχημική ανάλυση έδειξε ότι η ασημένια επιδερμίδα καφέ είναι πλούσια σε πολυσακχαρίτες, με τις διαλυτές διαιτητικές ίνες να υπερέχουν σε ποσοστό, έναντι των αδιάλυτων διαιτητικών ινών. Επομένως, με βάση τα δεδομένα της σύνθεσης της ασημένιας επιδερμίδας, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί ως πηγή διαιτητικών ινών στον εμπλουτισμό του άρτου. Επίσης, η ενεργότητα νερού των εκχυλισμένων ινών, σχεδόν με τιμή 0,61, ήταν η χαμηλότερη δυνατή, για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών. Το νερό επηρεάζει τη ζελατινοποίηση του αμύλου, την ενεργοποίηση της μαγιάς και τη μετουσίωση των πρωτεϊνών. Το αλκαλικό υπεροξείδιο του υδρογόνου που χρησιμοποιήθηκε, φάνηκε να αυξάνει την ικανότητα συγκράτησης νερού και να διογκώνει την ίνα, προσδίδοντας καλύτερα αισθητηριακά αποτελέσματα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της διαδικασίας, συγκρίνοντας τον μάρτυρα (ψωμί χωρίς προσθήκη CS) με το δείγμα στη βέλτιστη επεξεργασία του (ψωμί εμπλουτισμένο με ασημένια επιδερμίδα καφέ), διαπιστώθηκε αυξημένη περιεκτικότητα σε διαλυτές (SDF), αδιάλυτες (IDF) και συνολικές (TDF) διαιτητικές ίνες, όπως φαίνεται και από τον Πίνακα 4. (Pourfarzad et al., 2013)

	Δείγμα μάρτυρας (g/100g)	Εμπλουτισμένο ψωμί (g/100g)
SDF	0,11	0,61
IDF	0,36	2,34
TDF	0,47	2,95

Πίνακας 4: Περιεκτικότητα διαιτητικών ινών άρτου

Πηγή: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.08.001>

Να σημειωθεί πως σε αντίστοιχη έρευνα σε μπισκότα με γλυκαντικό από φυτό στέβια, μελετήθηκε η επίδραση προσθήκης εκχυλίσματος ασημένιας επιδερμίδας καφέ σε αυτά. Σε προσπάθεια μείωσης της ποσότητας ζάχαρης που προστίθεται σε μπισκότα οι Garcia-Serna et al. (2014) μελέτησαν τον συνδυασμό γλυκαντικού από φυτό στέβια και CS, με στόχο την παρασκευή ενός υγιεινού, θρεπτικού και καλής ποιότητας προϊόντος. Βασικός λόγος που χρησιμοποιήθηκε το CS στην έρευνα, ήταν για να αποτελέσει φυσική χρωστική και πηγή διαιτητικών ινών. Για τη διεκπεραίωση της διαδικασίας, CS κατεργάστηκε με ζεστό νερό και το στερεό υπόλειμμα, μέσω εκχύλισης, ανακτήθηκε με διήθηση. Πράγματι, τα αποτελέσματα έδειξαν μπισκότα με καλή θρεπτική ποιότητα και βελτιωμένη υφή και χρώμα. Επιπλέον, στα αποτελέσματα της δοκιμής αυτής διαπιστώθηκε πως το CS μαζί με την αντικατάσταση της σακχαρόζης με γλυκαντικό από φυτό στέβια, μείωσαν την περιεχόμενη υγρασία των μπισκότων, άρα βελτίωσαν τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του προϊόντος και έδωσαν παράταση στη διάρκεια ζωής του. Επίσης,

επηρεάστηκε σημαντικά το πάχος τους και συγκεκριμένα παράχθηκαν πιο λεπτά μπισκότα, γεγονός που οφείλεται στη μειωμένη ικανότητα συγκράτησης αέρα της ζύμης αυτών. Ωστόσο, το εκχύλισμα CS βελτίωσε σημαντικά το χρωματικό προφίλ τους, εμπειριστατώνοντας τη χρήση του ως φυσική χρωστική ουσία. Σημαντικό είναι να σημειωθεί και το ποσοστό των διαιτητικών ινών που περιείχονταν στα συγκεκριμένα αρτοσκευάσματα της έρευνας, το οποίο ήταν 67,12%, ενώ σε άλλα που χρησιμοποιούν υποπροϊόντα του καφέ φτάνουν το 3,1%. Τα αποτελέσματα έδειξαν με τη σειρά τους ότι το CS αποτελεί μία φυσική πηγή διαιτητικών ινών, τόσο αδιάλυτων (60,5%), όσο και διαλυτών (6,6%). (Garcia-Serna et al., 2014)

Μία ακόμα καινοτόμα εφαρμογή αποτελεί και η προσθήκη εκχυλίσματος CS σε μία νέα σύνθεση ροφημάτων από τους Martinez-Saez et al. (2014). Στόχος ήταν η συνεισφορά του CS στη μείωση του σωματικού λίπους και τον έλεγχο του σωματικού βάρους. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το χρώμα οφείλεται σε μελανοιδίνες, που προκύπτουν κατά το καβούρδισμα του κόκκου, οι οποίες προσφέρουν, εκτός του χρώματος, και άρωμα και γεύση. Επίσης, οι μελανοιδίνες έχουν να προσφέρουν πολλές ευεργετικές ιδιότητες, όπως αντιοξειδωτικές, αντιμικροβιακές, αντικαρκινογόνες, αντιφλεγμονώδεις, αντιυπερτασικές και αντιγλυκαιμικές ιδιότητες. Επιπλέον, είναι σημαντικό να αναφερθεί η απουσία γλυκόζης στα ροφήματα αυτά, γεγονός που τα καθιστά ικανά να αποτελέσουν μέρος της διατροφής ασθενών με προβλήματα μεταβολισμού, παχυσαρκίας και διαβήτη. Έτσι, το νέο αντιοξειδωτικό ρόφημα διαθέτει αποδεκτές οργανοληπτικές ιδιότητες και περιέχει δραστικές συγκεντρώσεις καφεΐνης και χλωρογενικών οξέων, συμβάλλοντας στην πρόληψη της συσσώρευσης σωματικού λίπους. (Martinez-Saez et al., 2014)

Προσοχή, ωστόσο, χρειάζεται στις ποσότητες ακρυλαμιδίου που παράγεται κατά το καβούρδισμα και περιέχεται στο CS, πέραν της καφεΐνης που ήδη αναφέρθηκε. Μόλυνση μπορεί επίσης να προκληθεί και από μυκοτοξίνες και κυρίως από την ωχρατοξίνη A (18,7-34,4 μg/kg). Οι Iriondo-DeHond et al. (2019) διερεύνησαν την οξεία τοξικότητα ενός υδατικού εκχυλίσματος από την ασημένια επιδερμίδα του καφέ σε αρουραίους με εφάπαξ δόση 2000 mg/kg σωματικού βάρους και δεν παρατήρησαν εμφανή σημάδια τοξικότητας, μη φυσιολογική συμπεριφορά ή θνησιμότητα. (Iriondo-DeHond et al., 2019)

Χρησιμοποιημένοι κόκκοι καφέ (SCG)

Η παραγωγή στιγμιαίων παρασκευασμάτων καφέ και η εκχύλιση σκόνης καφέ για παρασκευή ροφήματος καφέ αποτελούν βασικά στάδια παραγωγής SCG. Ειδικότερα, για κάθε 1 kg στιγμιαίου καφέ, παράγονται 2 kg υγρών αποβλήτων (κατακάθι καφέ), τα οποία με τη σειρά τους αντιστοιχούν σε ετήσια ποσότητα 6 εκατ. τόνων παγκοσμίως. Οι SCG μπορούν να αξιοποιηθούν στη βιομηχανία τροφίμων ως

πηγή διαιτητικών ινών, ή ακόμα στην αρτοποιία και στην παραγωγή αλκοολούχων αποσταγμάτων. Το αλεύρι καφέ, από την ξήρανση στο κατακάθι και την εκχύλιση του ελαίου καφέ με υπερκρίσιμο CO₂ και την αποστείρωση, πλούσιο σε ίνες και πρωτεΐνες, απουσία γλουτένης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως νέο συστατικό σε προϊόντα αρτοποιίας, ζαχαροπλαστικής, σνακ και έτοιμων προς κατανάλωση προϊόντων. (Klingel et al., 2020)

Τη σημερινή εποχή οι καταναλωτές ενδιαφέρονται ολοένα και περισσότερο για το θερμιδικό περιεχόμενο και τον γλυκαιμικό δείκτη (GI) των τροφίμων. Δίαιτες με χαμηλό γλυκαιμικό δείκτη προωθούν την απώλεια βάρους και επιδρούν θετικά σε ασθένειες, όπως η παχυσαρκία και ο διαβήτης τύπου 2. Η βιομηχανία τροφίμων καλείται να καλύψει τις ανάγκες των καταναλωτών εμπλουτίζοντας για παράδειγμα τα προϊόντα αρτοποιίας με νέα βιολειτουργικά συστατικά. Σε μία ερευνητική προσπάθεια, λοιπόν, που έλαβε χώρα για την αξιοποίηση SCG ως καινοτόμο λειτουργικό συστατικό σε προϊόντα αρτοποιίας με υψηλή διατροφική και αισθητηριακή ποιότητα. Πιο συγκεκριμένα, ανακτήθηκαν δεδομένα σχετικά με το φυσικοχημικό προφίλ των SCG και την αποτελεσματικότητα χρήσης τους ως πηγή διαιτητικών ινών. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι SCG είναι φυσική πηγή αντιοξειδωτικών αδιάλυτων ινών, απαραίτητων αμινοξέων, χαμηλού γλυκαιμικού δείκτη σακχάρου, ανθεκτικά στη θερμική επεξεργασία τροφίμων και στη διαδικασία πέψης και απολύτως ασφαλή για κατανάλωση. (Martinez-Saez et al., 2017)

Η παραπάνω εφαρμογή πραγματοποιήθηκε σε δείγματα μπισκότων, εξετάζοντας τη χημική και μικροβιολογική ασφάλεια και την αισθητηριακή και διατροφική ποιότητα. Τα αποτελέσματα της δοκιμής οδήγησαν στην παρασκευή καινοτόμων μπισκότων, πλήρως ανταποκρινόμενων στις απαιτήσεις των καταναλωτών για υψηλή διατροφική αξία και μειωμένο κίνδυνο χρόνιων παθήσεων, όπως η παχυσαρκία και ο διαβήτης. Δοκιμάστηκαν διάφορες μορφές των SCG, όπως αναφέρονται παρακάτω. Συγκεκριμένα, συλλέχθηκε ακατέργαστο υποπροϊόν καφέ, SCG, απευθείας από τη βιομηχανική παραγωγή διαλυτού καφέ Robusta και αποθηκεύτηκε στους 20°C. Επίσης, χρησιμοποιήθηκε σταθεροποιημένη μορφή SCG, η οποία προέκυψε από ξήρανση της ακατέργαστης μορφής, σε διάφορες θερμοκρασίες και αποθηκεύτηκε σε θερμοκρασία δωματίου επί 24 h για περαιτέρω ανάλυση ποιότητας. Ακόμη, με λυοφιλίωση του υποπροϊόντος προέκυψαν κατεψυγμένοι και αποξηραμένοι SCG, οι οποίοι αποθηκεύτηκαν σε ξηρό, δροσερό μέρος για επιπλέον φυσικοχημική και μικροβιολογική ανάλυση. Τέλος, χρησιμοποιήθηκαν υδατικά εκχυλίσματα SCG, που προέκυψαν από κατεψυγμένους, αποξηραμένους SCG σε ζεστό νερό στους 100°C για 10 min, και αποθηκεύτηκαν στους 20°C μέχρι να αξιοποιηθούν. Οι SCG συμπεριλήφθηκαν στη συνταγή των

μπισκότων ως αντιοξειδωτικές αδιάλυτες διαιτητικές ίνες, σε ποσότητα 3,5-4,4% ώστε να επιτευχθούν οι διατροφικοί ισχυρισμοί «πηγή φυτικών ινών» (>3 g ίνας/100 g μπισκότου) και «υψηλή περιεκτικότητα σε φυτικές ίνες» (>6 g ίνας/100 g μπισκότου). Η προσθήκη SCG στα σκευάσματα μπισκότων δεν έδειξε να αυξάνει την περιεκτικότητα σε μικροοργανισμούς, γεγονός που υποδηλώνει την καλή μικροβιολογική ποιότητα και σταθερότητα του συστατικού τροφίμων. (Martinez-Saez et al., 2017)

Παραμένοντας στον χώρο της αρτοποιίας, τα μάφινς ως ένα από τα πιο δημοφιλή σνακ με μεγάλη καταναλωτική απήχηση, κρίθηκε δυνητικό προϊόν βελτίωσης πρόσληψης φυτικών ινών και βιοδραστικών ενώσεων. Πρωτοπόρα έρευνα διεξήχθη από τους (Severini et al., 2020), η οποία στόχευσε στην αξιοποίηση των χρησιμοποιημένων κόκκων Espresso, ώστε να βελτιωθεί η ποιότητα των μάφινς. Μερική ποσότητα από το αλεύρι σίτου που χρησιμοποιείται στην κλασική συνταγή των μάφινς αντικαταστάθηκε κατά 15% και 30% από τους χρησιμοποιημένους κόκκους Espresso, παρατηρώντας αλλαγές στη δομή, την υφή, την περιεκτικότητα φαινολών, την αντιοξειδωτική ικανότητα, τις φυτικές ίνες και τις οργανοληπτικές ιδιότητες. Τα αποτελέσματα έδειξαν αλλαγή στη μικροδομή των μάφινς, ενώ ο όγκος παρέμεινε σχεδόν ίδιος. Σημαντικός ήταν, επίσης, ο διπλασιασμός έως τετραπλασιασμός της περιεκτικότητας των φαινολών, καθώς και η αύξηση των διαιτητικών ινών. Ειδικότερα, οι περιεχόμενες διαιτητικές ίνες μπορούσαν να καλύψουν το 12-20% της συνιστώμενης ημερήσιας πρόσληψης και η κατανάλωση ενός ολόκληρου μάφιν (40 g) επέτρεπε την ικανοποίηση του ισχυρισμού της ΕΕ για "υψηλή περιεκτικότητα σε φυτικές ίνες" (>6 g ίνας/100 g μάφιν). Η οργανοληπτική αξιολόγηση, επίσης, έλαβε αρκετά υψηλή βαθμολογία, καθιστώντας τα καινοτόμα μάφινς αποδεκτά για κατανάλωση. (Severini et al., 2020)

Άλλη έρευνα των Sampaio et al. (2013) έδειξε επίσης ότι οι SCG μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πρώτη ύλη για την παραγωγή αποσταγμάτων. Η προτεινόμενη διαδικασία αποτελείται από τρία βασικά στάδια, την υδροθερμική εκχύλιση, τη ζύμωση και την απόσταξη. Από την εκχύλιση των αρωματικών ενώσεων εντοπίστηκαν 17 πτητικές ενώσεις στη σύνθεση του αποστάγματος, σε αποδεκτές για την ανθρώπινη κατανάλωση τιμές, συμβάλλοντας θετικά στη γεύση του. Παρά την πικάντικη γεύση, λόγω του ότι πρόκειται για "νέο απόσταγμα", η αισθητηριακή ανάλυση αποκάλυψε χαρακτηριστικά ενός ευχάριστου ποτού, τα οποία θα μπορούσαν να βελτιωθούν περαιτέρω με την παλαίωση του αποστάγματος. Το απόσταγμα έχει έντονο ευχάριστο άρωμα καφέ, το οποίο είναι ιδιαίτερα ελκυστικό για την παραγωγή αλκοολούχων ποτών. (Sampaio et al., 2013)

Είναι σημαντικό να επισημανθούν και οι γαλακτωματοποιητικές ικανότητες των SCG. Η γαλακτωματοποιητική δραστηριότητα, δηλαδή η ικανότητα της ένωσης να σχηματίζει ομοιογενή διασπορά δύο μη αναμίξιμων υγρών (γαλάκτωμα), παρουσιάζεται ιδιαίτερα υψηλή, όπως συμβαίνει και με την γαλακτωματοποιητική σταθερότητα, δηλαδή την αποτελεσματικότητα μορίου να διατηρεί θερμοδυναμικά σταθερό γαλάκτωμα. Οι τιμές είναι παραπλήσιες και για την ασημένια επιδερμίδα καφέ, με ελαφρώς χαμηλότερες τιμές. Καθιστώνται έτσι, γαλακτωματοποιητές που μπορούν να αξιοποιηθούν σε τρόφιμα, ποτά, γαλακτοκομικά, προϊόντα αρτοποιίας, ζαχαροπλαστικής και ζωοτροφές. (Ballesteros et al., 2014)

Κύριος κίνδυνος για την ασφάλεια χρήσης του υποπροϊόντος αποτελεί η ωχρατοξίνη A, μια μυκοτοξίνη που απελευθερώνεται από τον *Aspergillus* και συγγενικά είδη (Codex Alimentarius). Είναι δυνητικά νεφροτοξική, καρκινογόνος και πιθανότατα γονοτοξική. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή όρισε ως ανεκτή εβδομαδιαία πρόσληψη 100 ng/kg σωματικού βάρους (Ευρωπαϊκή επιτροπή). Ωστόσο, η μόλυνση από την ωχρατοξίνη A μειώνεται σημαντικά λόγω της απουσίας μούχλας στους SCG, γεγονός που αποδεικνύει ότι πρόκειται για ένα μικροβιολογικά σταθερό προϊόν. Δύο νέες επιμολύνσεις κεντρίζουν το ενδιαφέρον, το ακρυλαμίδιο (ACR) και η υδροξυμεθυλοφουρφουράλη (HMF), όπου στους SCG βρέθηκαν σε ποσότητες $37,2 \pm 0,4$ Ig ACR/kg ξηρού βάρους και HMF, $61,3 \pm 0,4$ mg HMF/kg ξηρού βάρους. Να σημειωθεί πως οι τιμές ACR που ανιχνεύθηκαν στα δείγματα ήταν 92-96% (SCG), δηλαδή χαμηλότερες από τις ενδεικτικές τιμές που προτείνει η Ευρωπαϊκή Επιτροπή. (Klingel et al., 2020; Martinez-Saez et al., 2017)

Το υποπροϊόν SCG δεν έχει εγκριθεί ακόμα για την αξιοποίηση των συστατικών του σε νέα τρόφιμα, με τις αναλύσεις να δείχνουν τους πολυσακχαρίτες ως κύριο συστατικό και τις ημικυτταρίνες να αντιπροσωπεύουν περίπου 39 g/100 g ξηρού βάρους και τις κυτταρίνες 12 g/100 g ξηρού βάρους. Το περιεχόμενο λίπος από το κατακάθι μπορεί να εξαχθεί ως έλαιο καφέ και περιέχει τα διτερπένια καχεόλη (kahweol) και καφεστόλη (cafestol). Συγκριτικά με τον καβουρδισμένο καφέ, επικρατεί χαμηλότερη περιεκτικότητα καφεΐνης (0,007%-0,5% κ.β.) εξαιτίας της καλής υδατοδιαλυτότητας. Γενικά η περιεκτικότητα σε καφεΐνη εξαρτάται από την ποικιλία καφέ και τη διαδικασία εκχυλίσεώς του. (Klingel et al., 2020)

Ένα άλλο ζήτημα που χρήζει διερεύνησης είναι ότι κατά το καβούρδισμα του καφέ λαμβάνει μέρος η αντίδραση Maillard, κατά την οποία παράγονται μολυσματικές ουσίες, όπως οι αλκυλοπυραζίνες, η υδροξυμεθυλοφουρφουράλη και το ακρυλαμίδιο. Για τους χρησιμοποιημένους κόκκους καφέ ισχύουν σε περιεκτικότητες, $37,2 \pm 0,4$ μg/kg ακρυλαμίδιο και $61,3 \pm 0,4$ mg/kg υδροξυμεθυλοφουρφουράλης (ξηρού βάρους), αντίστοιχα. Από τις αλκυλοπυραζίνες, περίπου το 70%-80% περνάει

στο παρασκευασμένο ρόφημα καφέ. Επομένως, μπορεί να συναχθεί ότι το υπόλοιπο παραμένει στο χρησιμοποιημένο κατακάθι του καφέ. Στον άνθρωπο, μεταβολίζονται στα αντίστοιχα καρβοξυλικά οξέα και απεκκρίνονται σχεδόν πλήρως νεφρικά (Klingel et al., 2020). Ωστόσο, το υποπροϊόν αυτό είναι επιρρεπές σε μόλυνση από μυκοτοξίνες, γι' αυτό και οι Iriondo-DeHond et al. (2019) το διερεύνησαν. Δεν κατάφεραν να ανιχνεύσουν αφλατοξίνη B1 και εννιατίνη B, αλλά ανίχνευσαν ωχρατοξίνη A σε ποσότητα 2,31 µg/kg. Από την άλλη, μελέτη τοξικότητας σε αρουραίους δεν έδειξε σημάδια τοξικότητας. (Iriondo-DeHond et al., 2019)

Φλοιός κερασιού

Έπειτα από την ξηρή επεξεργασία και τη μηχανική αποφλοίωση οι εναπομείναντες κόκκοι αποτελούνται από φλοιό, πολτό και ενδοκάρπιο με τις εξής περιεκτικότητες: 8%-11% κ.β. πρωτεΐνες, 0,5%-3% κ.β. λιπίδια, 3%-7% κ.β. ανόργανα άλατα και κ.β. 58%-85% συνολικούς υδατάνθρακες. Η ποσότητα των ινών περιέχει 24,5% κ.β. κυτταρίνη, 29,7% κ.β. ημικυτταρίνη και 23,7% κ.β. λιγνίνη. Η καφεΐνη και οι τανίνες αντιπροσωπεύουν περίπου 1% και 5% του φλοιού του κερασιού, αντίστοιχα. (Klingel et al., 2020)

Όσον αφορά στον φλοιό του καρπού του καφέ έχει γίνει σχετικά περιορισμένος αριθμός προσπαθειών για αξιοποίηση των συστατικών του στα τρόφιμα. Ειδικότερα, για το τονωτικό ρόφημα με το όνομα cascara ή τσάι από κεράσι καφέ (από το ισπανικό "cáscara", που σημαίνει φλοιός), οι φλοιοί εμποτίζονται με ζεστό νερό. Αποτελεί παραδοσιακό ρόφημα στην Υεμένη (που ονομάζεται Qishr) και στην Αιθιοπία (που ονομάζεται Hashara). Περιέχει 226 mg/L καφεΐνης και 283 mg/L ισοδύναμα γαλλικού οξέος, τα οποία αντιπροσωπεύουν τη συνολική περιεκτικότητα σε πολυφαινόλες. (Klingel et al., 2020)

Η υψηλή περιεκτικότητα σε φυτικές ίνες καθιστά τους φλοιούς κερασιού ικανούς να χρησιμοποιηθούν σε καλλιέργεια μικροοργανισμών χρησιμοποιώντας τη ζύμωση και παράγοντας κιτρικό οξύ, γιββερελλικό οξύ και ένζυμα. Πρόσθετες χρήσεις στα τρόφιμα είναι στα οινοπνευματώδη ποτά και στα συμπληρώματα διαιτητικών ινών. (Klingel et al., 2020)

Τοξικολογική ανησυχία μπορούν να προκαλέσουν οι παραγόμενες μέσω της ξήρανσης κερασιών καφέ, μυκοτοξινών, γι' αυτό η αποφυγή μικροβιακής αλλοίωσης κρίνεται πολύ σημαντική για την επίτευξη χαμηλών ποσοτήτων μυκοτοξινών. Έχει περιγραφεί ότι η ωχρατοξίνη A σχηματίζεται στο περικάρπιο των κερασιών καφέ κατά την ξήρανση στον ήλιο, ενώ οι υψηλότερες μολύνσεις διαπιστώθηκαν στους φλοιούς. Οι Iriondo-DeHond et al. (2019) εντόπισαν επίσης ποσότητες ωχρατοξίνης A (4,3 µg/kg) στο αδιάλυτο κλάσμα των φλοιών. Επίσης, διερεύνησαν την οξεία τοξικότητα των ακατέργαστων φλοιών σε αρουραίους με εφάπαξ δόση 2000 mg/kg σωματικού

βάρους και δεν παρατηρήθηκαν εμφανή σημάδια τοξικότητας, μη φυσιολογική συμπεριφορά ή θνησιμότητα (Iriondo-DeHond et al., 2019). Η EFSA προσδιόρισε μια ανεκτή εβδομαδιαία πρόσληψη για την ωχρατοξίνη A 120 ng/kg σωματικού βάρους, ωστόσο, η έρευνα των μυκοτοξινών στους αποξηραμένους φλοιούς αποτελεί ουσιαστικό μέτρο για την ασφάλεια των τροφίμων. ("Opinion of the Scientific Panel on Contaminants in the Food Chain [CONTAM] Related to Ochratoxin A in Food," 2006)

Άνθη

Από κάθε ενήλικο φυτό καφέ παράγονται ετησίως 30.000-40.000 άνθη με το *C. Canephora* να παρουσιάζει μεγαλύτερο αριθμό αυτών. Μετά την αποξηράνση, τα άνθη μπορούν να παρασκευαστούν ως τσάι, δηλαδή τσάι. Εκτός από τις υψηλές τιμές του ολικού φαινολικού περιεχομένου, τα αποξηραμένα άνθη που λαμβάνονται από το *C. canephora* περιέχουν περίπου 1 g καφεΐνης/100 g ξηρού βάρους και επίσης περίπου 1g τριγονελλίνης/100 g ξηρού βάρους. Έρευνα στο πεδίο των ανθέων του καφέ είναι ελλιπής, οπότε δεν υπάρχουν διαθέσιμα τοξικολογικά δεδομένα. (Klingel et al., 2020)

Φύλλα

Τα φύλλα του καφέ αποτελούν βασικό υλικό για την παρασκευή παραδοσιακών ροφημάτων σαν το τσάι. Τα φύλλα του *C. arabica* έχουν χρησιμοποιηθεί στην Αιθιοπία, ενώ τα φύλλα του *C. canephora* έχουν χρησιμοποιηθεί στην Ινδία και τη Δυτική Σουμάτρα με την ονομασία "kahwa daun" ή "kawa". Στην Υεμένη, ονομάζεται "giser" και στην Αιθιοπία "kuti", "jeno" ή "jenuai". Η μέθοδος παρασκευής τους περιλαμβάνει επεξεργασία με ατμό, κύλισμα και ξήρανση. Συχνή είναι η χρήση προστατευτικής ατμόσφαιρας για την αποφυγή της οξειδωσης και της προστασίας των συστατικών τους, ενώ εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ζύμωση. Επίσης, για την παραγωγή του ροφήματος είναι απαραίτητη η εκχύλιση με νερό ή υδατικούς διαλύτες. (Klingel et al., 2020)

Για την εκτίμηση του κινδύνου, ένα επίπεδο 7 mg/g καφεΐνης σε αποξηραμένα φύλλα και 9,9-10,9 mg/L καφεΐνης σε ένα υδατικό ποτό που παρασκευάζεται από 20g/L αυτών των φύλλων καθορίστηκε από την EFSA στο πλαίσιο μιας κοινοποίησης νέου τροφίμου ως παραδοσιακό τρόφιμο από τρίτη χώρα (European Food Safety Authority (EFSA), 2020). Ως προδιαγραφές για ένα ασφαλές τρόφιμο, η EFSA δίνει μια αναφορά <100 mg/L για το χλωρογενικό οξύ, <80 mg/L για την καφεΐνη και <700 mg/L για τη γαλλική επιγαλλοκατεχίνη. Η ξανθίνη mangiferin βρέθηκε μόνο στα φύλλα του *C. Arabica* (5 mg/kg ξηρού βάρους) και όχι σε εκείνα του *C. canephora*. (Klingel et al., 2020)

3.3 Ανθρώπινη κατανάλωση υποπροϊόντων καφέ εντός της ΕΕ

Υπάρχει ορισμένος αριθμός τροφίμων που παρά το γεγονός ότι εκκρεμεί έγκριση από την ΕΕ για ασφαλή ανθρώπινη κατανάλωση, διατίθενται στην αγορά ήδη. Ήδη πριν από το 1997 κυκλοφορούσαν ως τρόφιμα ή συστατικά τροφίμων οι πράσινοι μη καβουρδισμένοι κόκκοι καφέ, όπως επίσης και το τσάι από φύλλα καφέ υπήρχε στην Αγγλία από τον 19^ο αιώνα. Ωστόσο, η έλλειψη αποδεικτικών στοιχείων για ασφαλή κατανάλωση οδήγησε σε επιτακτική ανάγκη έγκρισης των νέων τροφίμων από την ΕΕ. Ωστόσο, υπάρχουν ακόμα κάποια που είτε έχουν καταχωρηθεί ως παραδοσιακά προϊόντα τρίτων χωρών, είτε έχουν υποβληθεί αιτήσεις για χορήγηση της έγκρισης.

Βάσει του άρθρου 10 του κανονισμού (ΕΕ) υπ' αριθ. 2015/2283, το αλεύρι καφέ από απολιπασμένους χρησιμοποιημένους κόκκους και φλοιό καφέ, αξιοποιήθηκε σε νέες εφαρμογές τροφίμων. Ειδικότερα, το επεξεργασμένο προϊόν από κατακάθι καφέ (αποξηραμένο, απολιπασμένο, αποστειρωμένο) προορίζεται για προσθήκη σε αλμυρές και γλυκές συνταγές σε αρτοποιεία, ζαχαροπλαστική, σνακ και έτοιμα προς κατανάλωση προϊόντα. Σύμφωνα με το διαδικτυακό κατάλογο των αιτήσεων που επεξεργάζεται επί του παρόντος η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, δεν υπάρχει καμία αίτηση για το χρησιμοποιημένο κατακάθι καφέ. Ο πολτός και τα άνθη του καφέ μπορούν να ταξινομηθούν ως νέα τρόφιμα αν και εκκρεμεί ακόμα η αίτηση έγκρισης. Από την άλλη, για την ασημένια επιδερμίδα του καφέ δεν είναι σαφές αν αποτελεί νέο τρόφιμο, διότι τμήματα αυτής παραμένουν κατά το καβούρδισμα, πράγμα που σημαίνει ότι έχουν ήδη καταναλωθεί επανειλημμένως. (Klingel et al., 2020)

3.4 Μελλοντικές τάσεις

3.4.1 Καφές χωρίς καφεΐνη

Η διεγερτική δράση της καφεΐνης μπορεί να κατέστησε τον καφέ ένα από τα πιο διαδεδομένα ροφήματα παγκοσμίως, ωστόσο, τα προβλήματα υγείας που μπορεί να προκαλέσει οδήγησαν στην παραγωγή καφέ χωρίς καφεΐνη (ντεκαφεϊνέ). Η διαδικασία της αποκαφεϊνοποίησης χρησιμοποιείται για την απομόνωση της καφεΐνης, η οποία με τη σειρά της χρησιμοποιείται κυρίως σε φαρμακευτικές εταιρείες, εταιρείες αναψυκτικών τύπου cola και καλλυντικών. Η ζήτηση για ντεκαφεϊνέ στην παγκόσμια αγορά ανέρχεται στο 10%, σε αντίθεση με τη ζήτηση σε καφεΐνη που είναι πολύ μεγαλύτερη. Έτσι, οι μεγάλες ανάγκες για κάλυψη σε φυσική καφεΐνη, καθιστούν σταδιακά τον ντεκαφεϊνέ καφέ ως το υποπροϊόν της παραγωγικής διαδικασίας. Κύριες πηγές καφεΐνης είναι ο καφές (*Coffea Arabica* και *C. canephora*) και το τσάι (*Camellia sinensis*). (Mazzafera, 2012)

3.4.2 Φυτικά έλαια και πρόσθετα τροφίμων

Τα φυτικά έλαια έχουν χρησιμοποιηθεί τελευταία ως πρόσθετα τροφίμων, γι' αυτό και έχει διεξαχθεί έρευνα για εκχύλιση λιπιδίων από χρησιμοποιούμενο κατακάθι καφέ μέσω καινοτόμου συστήματος υδροφθοράνθρακα Norflurane ως διαλύτη, με διαφορετικά επίπεδα υγρασίας σε πίεση 5-11 bar. (Colucci Cante et al., 2021)

Η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη μέθοδος εκχύλισης σε φυτικά δείγματα είναι η ψυχρή έκθλιψη, η οποία όμως έχει πολύ χαμηλή απόδοση και η υδροαπόσταξη κάποιες φορές αλλοιώνει, μέσω αποδόμησης των διαλυτών ουσιών, την ποιότητα του εκχυλίσματος. Από την άλλη, τα παραδοσιακά συστήματα εκχύλισης με οργανικούς διαλύτες (όπως το n-εξάνιο, η μεθανόλη, ακετόνη, χλωροφόρμιο και διχλωρομεθάνιο) μπορεί να έχουν υψηλή απόδοση, αλλά έχουν πολύ υψηλό κόστος, είναι ιδιαίτερα τοξικά και έχουν μεγάλες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, γεγονός που συνεπάγεται ακριβά μέσα ασφαλείας. (Colucci Cante et al., 2021)

Ωστόσο, στις καινοτόμες τεχνικές εκχύλισης ανήκει και αυτή με τα υπερκρίσιμα ρευστά, η οποία καθίσταται ιδιαίτερα δημοφιλής λόγω των πλεονεκτημάτων που διαθέτει. Ειδικότερα, έχει υψηλές αποδόσεις, χαμηλές περιβαλλοντικές επιπτώσεις και μεγάλη εκλεκτικότητα, γεγονός που καθιστά πιο εύκολη τη διαδικασία ρύθμισης θερμοκρασίας και πίεσης. Ο πιο κοινός διαλύτης είναι το διοξείδιο του άνθρακα, ως μη τοξικός, με χαμηλή κρίσιμη πίεση και θερμοκρασία, ως μη αναφλέξιμος και με χαμηλό κόστος. (Colucci Cante et al., 2021)

Νέες δοκιμές έγιναν από τον Garella (2012), με χρήση διαλυτών υδροφθοράνθρακα για την εκχύλιση φυτικών ελαίων ως εναλλακτική λύση, μη τοξική με χαμηλό λειτουργικό κόστος. Ειδικότερα, το Norflurane υγροποιείται εύκολα λόγω υψηλής πτητικότητας που διαθέτει. Η μέθοδος αποδείχθηκε ιδιαίτερα αποτελεσματική σε υγρά, ξηρά και μερικώς αποξηραμένα δείγματα και η απόδοση σε έλαιο και οι χρόνοι εκχύλισης (περίπου 92% σε 75, 90 και 285 λεπτά αντίστοιχα) ήταν συγκρίσιμοι με την ακριβότερη μέθοδο του υπερκρίσιμου CO₂. Επίσης, προσδιορίστηκαν ως κύρια συστατικά το παλμιτικό (C 16:0) και λινολεϊκό (C 18:2) οξύ και ως δευτερεύοντα το στεατικό (C 18:0) και ελαϊκό (C 18:1) οξύ. (Colucci Cante et al., 2021)

3.4.3 Αντιοξειδωτικές ιδιότητες του πράσινου καφέ

Φαινολικές ενώσεις συναντώνται σε μεγάλες ποσότητες στον πράσινο καφέ, αποτελώντας φυσικά αντιοξειδωτικά, γεγονός που αποτέλεσε κίνητρο για διεξαγωγή μελέτης βιομετασχηματισμού του πράσινου καφέ με *Aspergillus oryzae*. Ο πράσινος καφές ζυμώθηκε σε στερεή κατάσταση στους 25°C για 24, 48 και 72 ώρες και οι φαινολικές ενώσεις εκχυλίστηκαν με τη χρήση υδροαιθανολικού διαλύματος. Η

βιομετατροπή από τον μύκητα για 24 ώρες ήταν αποτελεσματική στη σημαντική αύξηση της αντιοξειδωτικής δράσης κατά περίπου 115,7% σε σύγκριση με τα μη ζυμωμένα εκχυλίσματα καφέ. (Palmieri et al., 2018)

Τα αποτελέσματα της ζύμωσης από τον *A. Oryzae* ήταν καλύτερα στις 24 ώρες με αυξημένη συγκέντρωση χλωρογενικών οξέων, διότι μετά από αυτόν τον χρόνο, το εκχύλισμα παρουσίασε πιο αδύναμη αντιοξειδωτική δραστηριότητα κι από το εκχύλισμα καφέ που δεν είχε υποστεί ζύμωση. Από την άλλη, η περιεκτικότητα της καφεΐνης και του καφεϊκού οξέος δεν παρουσίασε αύξηση στις 24 ώρες, όπως συνέβη με τα χλωρογενικά οξέα. Όμως, στις 48 και 72 ώρες η περιεκτικότητά της καφεΐνης μειώθηκε σημαντικά, ενώ το καφεϊκό οξύ στις 48 ώρες αυξήθηκε κι άλλο και στις 72 ώρες μειώθηκε σε μεγάλο βαθμό. (Palmieri et al., 2018)

Ο χρησιμοποιούμενος μύκητας χρησιμοποιώντας τα θρεπτικά υποστρώματα, σακχαρόζη και γλυκόζη, αναπτύσσεται στο αλεύρι του καφέ μέσω ζύμωσης των εκχυλισμάτων του πράσινου καφέ, για 24 ώρες. Η β-γλυκοσιδάση είναι ένζυμο που προκύπτει από τις αναπτυσσόμενες αποικίες του μύκητα, το οποίο απελευθερώνει τα υδροξυκιναμωμικά οξέα που είναι δεσμευμένα στο κυτταρικό τοίχωμα, αυξάνοντας τα ελεύθερα κλάσματά τους και αποδομώντας τα ενώσεις που υπάρχουν ήδη σε ελεύθερες μορφές, όπως τα χλωρογενικά οξέα, με αποτέλεσμα το σχηματισμό καφεϊκού, κινικού, φερουλικού και ισοφερουλικού οξέος. Έτσι, εξηγείται ο μηχανισμός της αύξησης της οξειδωτικής δράσης των εκχυλισμάτων του πράσινου καφέ.

Η μελέτη τελικά απέδειξε ότι η ζύμωση σε στερεά κατάσταση του πράσινου καφέ για 24 ώρες από τον *Aspergillus oryzae* είναι δυνατό να αυξήσει την αντιοξειδωτική δραστηριότητα και την περιεκτικότητα σε φαινολικές ενώσεις. Έτσι, αυτός ο βιομετασχηματισμός είναι μία ανερχόμενη και πολλά υποσχόμενη στρατηγική για εφαρμογή εκχυλισμάτων εμπλουτισμένων σε φαινολικές ενώσεις στη βιομηχανία τροφίμων και καλλυντικών. (Palmieri et al., 2018)

Κεφάλαιο 4 Εφαρμογές στις βιομηχανίες καλλυντικών

Παρόλο που, οι περισσότερες μελέτες αφορούν στην αξιοποίηση υποπροϊόντων από βιομηχανίες του καφέ, ως πιθανές πηγές συστατικών τροφίμων, τα τελευταία χρόνια προσφέρεται δυνατότητα αξιοποίησής τους και για φαρμακευτικά προϊόντα ή προϊόντα αισθητικής/καλλωπισμού. Η βιομηχανία καλλυντικών αναζητά νέα δραστικά συστατικά, λόγω της ζήτησης των καταναλωτών για πιο φυσικά και φιλικά προς το περιβάλλον προϊόντα που προέρχονται από βιώσιμες πηγές, που βελτιώνουν την υγεία και την εμφάνιση του δέρματος. Σε πρόσφατες μελέτες, τα εκχυλίσματα, που προέρχονται από το υπόλειμμα του παρασκευασμένου καφέ, φάνηκαν να παρουσιάζουν αντιφλεγμονώδη δράση, κυρίως λόγω της παρουσίας των φαινολικών ενώσεων, όπως το χλωρογενικό οξύ, η καφεΐνη, το καφεϊκό οξύ, η τριγονελλίνη και το πρωτοκατεχικό οξύ. (Yen et al., 2005)

Το CS είναι μία δυνητική λύση για την αντικατάσταση των συνθετικών χημικών ουσιών, ως ενεργά συστατικά σε καλλυντικά σκευάσματα, λόγω του υψηλού αντιοξειδωτικού δυναμικού τους, των φαινολικών ενώσεων και της περιεκτικότητας σε μελανοΐδινες και καφεΐνη (Bessada et al., 2018). Με βάση τη χημική τους σύνθεση, αναμένεται τα υποπροϊόντα του καφέ να είναι πλούσια σε αντιοξειδωτικά συστατικά, τα οποία είναι δυνατόν να εκχυλισθούν. Κατά συνέπεια, τα εκχυλιζόμενα προϊόντα μπορούν δυνητικά να χρησιμοποιηθούν σε καινοτόμα προϊόντα καλλυντικών, όπως προϊόντα κατά της γήρανσης, κυτταρίτιδας και σύσφιξης του δέρματος. Για την ακρίβεια, ήδη αποτελούν το συνηθέστερο συστατικό σε κρέμες για την καταπολέμηση της κυτταρίτιδας. Από μελέτη που έχει γίνει, φάνηκε ότι η επίδραση της καφεΐνης φαίνεται να σχετίζεται με την αγγειοσύσπαση και την απελευθέρωση γλυκερόλης και ορισμένες κρέμες μπορεί να έχουν έως και 3% καφεΐνη (Mazzafera, 2012). Επιπλέον, ένα ποσοστό της τάξεως του 10% των χρησιμοποιημένων κόκκων καφέ (SCG) καθώς και της λεπτής επιδερμίδας του καφέ (CS) σε κρέμες προσώπου, έδειξε πως βελτιώνει τα επίπεδα σμήγματος του δέρματος συγκριτικά με τις κρέμες που δεν περιέχουν συστατικά του ελαίου καφέ. Επίσης, έρευνες απέδειξαν πως η χρήση εκχυλισμάτων του καφέ CS σε καλλυντικά, δεν ερεθίζουν το δέρμα και γαλακτώματα μείγματος ελαίου SCG ήταν αποτελεσματικά στην αναστολή της ανάπτυξης κυτάρων μελανώματος. Εξάλλου, είναι γνωστό πως η καφεΐνη μπορεί να προστατεύσει το δέρμα από τον καρκίνο του δέρματος (υπεριώδης ακτινοβολία). (Mazzafera, 2012)

Η γήρανση του δέρματος, είναι ένα σύνθετο φαινόμενο που συνδέεται με τον οξειδωτικό μεταβολισμό και την παραγωγή δραστικών μορφών οξυγόνου (ROS). Η παραγωγή ROS, αυξάνει την συγκέντρωση μεταλλοπρωτεϊνών της μήτρας, καθώς και προ-φλεγμονωδών μεσολαβητών, με αποτέλεσμα την γήρανση του δέρματος.

Επομένως, οι βιομηχανίες καλλυντικών αναζητούν ενώσεις που είναι ικανές να αναστείλουν την δράση τους. Ως πιθανά βιοδραστικά συστατικά κατά της γήρανσης του δέρματος, φαίνονται να είναι οι αναστολείς των μεταλλοπρωτεϊνών της μήτρας και της υαλουρονιδάσης. (Bessada et al., 2018)

Είναι γενικά αποδεκτό ότι η αξιολόγηση της ασφάλειας των καλλυντικών βασίζεται στην αξιολόγηση κάθε επιμέρους συστατικού. Σύμφωνα με τον κανονισμό της Ευρωπαϊκής Επιτροπής 1223/2009, ένα καλλυντικό προϊόν που διατίθεται στην αγορά πρέπει να είναι ασφαλές για τον άνθρωπο και την υγεία όταν χρησιμοποιείται κανονικά ή υπό ευλόγως προβλέψιμες συνθήκες (European Commission Regulation, 2009). Η αξιολόγηση του τοξικολογικού δυναμικού είναι το πρώτο βήμα στην αξιολόγηση της επικινδυνότητας ενός συστατικού που αποτελείται από μια σειρά διακριτών μελετών τοξικότητας, ειδικά για επιμέρους τοξικολογικά τελικά σημεία. Οι δοκιμές σε ζώα για καλλυντικά προϊόντα στην Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) απαγορεύονται από το 2004, ενώ οι δοκιμές σε ζώα για συστατικά των καλλυντικών προϊόντων από το 2009 (Οδηγία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, 2003). Από τον Μάρτιο του 2009, απαγορεύεται επίσης στην ΕΕ η εμπορία καλλυντικών προϊόντων που περιέχουν συστατικά που έχουν δοκιμαστεί σε ζώα. Για τις πιο σύνθετες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, όπως τοξικότητα επαναλαμβανόμενων δόσεων, συμπεριλαμβανομένης της ευαισθητοποίησης του δέρματος και της καρκινογένεσης, της αναπαραγωγικής τοξικότητας και της τοξικοκινητικής, η προθεσμία για την απαγόρευση της εμπορίας παρατάθηκε έως τον Μάρτιο του 2013 (οδηγία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, 2003). Η Επιστημονική Επιτροπή για την Ασφάλεια των Καταναλωτών (SCCS) της Ευρωπαϊκής Επιτροπής είναι υπεύθυνη για τη σύσταση κατευθυντήριων γραμμών προς τις βιομηχανίες καλλυντικών και πρώτων υλών για την ανάπτυξη κατάλληλων μελετών για την αξιολόγηση της ασφάλειας των καλλυντικών. (Rodrigues et al., 2017)

4.1 Σύγχρονες τάσεις

Αντιοξειδωτική δραστηριότητα

Οι αντιοξειδωτικές ενώσεις, όπως γλουταθειόνη, βιταμίνη C και E και τα αντιοξειδωτικά ένζυμα, π.χ καταλάση, μπορούν να προστατεύσουν τα λιπίδια, τις πρωτεΐνες, το DNA και άλλα μακρομόρια από προσβολή, π.χ. από ρίζες υδροξυλίου, υπεροξειδίου υδρογόνου και ρίζες νιτροξειδίων. Μολονότι το οξειγόνο και το άζωτο είναι “ασπίδα” και προστατεύουν τον ξενιστή, όταν βρίσκονται σε περίσσεια αντεπιτίθενται και διαταράσσουν την οξειδωτική ισορροπία, προκαλώντας οξειδωτικό στρες. Τέτοια φαινόμενα είναι η επιτάχυνση της γήρανσης του δέρματος, εγκαύματα, καρκίνος και άλλα σχετικά τραύματα του δέρματος. Έτσι, ολοένα και περισσότερο επιβεβαιώνεται πως, τα αντιοξειδωτικά συστατικά είναι χρήσιμα στην παρασκευή

καλλυντικών σκευασμάτων για τη πρόληψη ή/και αντιμετώπιση τέτοιων προβλημάτων. Οι καταναλωτές πλέον, είναι πιο ευαισθητοποιημένοι ως προς την χρήση προϊόντων που θα είναι φιλικά ως προς το περιβάλλον καθώς και, προϊόντα που παρασκευάζονται από νέα, φυσικά αντιοξειδωτικά και όχι συνθετικά. (Wu et al., 2015)

Τα υποπροϊόντα του καφέ είναι πλούσια σε φαινολικά συστατικά, χλωρογενικά οξέα και συγκεκριμένα, το CS και οι SCG, μέσω του καβουρδίσματος (στάδιο θερμικής επεξεργασίας Maillard), περιέχουν μελανοΐδινες. Η σημαντικότερη βιταμίνη που έχει το CS είναι η α-τοκοφερόλη, ενώ οι καβουρδισμένοι κόκκοι καφέ περιέχουν α και β-τοκοφερόλη. Οι μελέτες επισημαίνουν ότι, η χρήση τους περιορίζεται στην τοπική εφαρμογή. Συνολικά, η δράση των αντιοξειδωτικών ιδιοτήτων του καφέ, φαίνεται να οφείλεται στη πολύπλοκη χημική σύνθεση του και ορίζονται ως κύρια βιοδραστικά συστατικά τα οποία δρουν συνεργιστικά. (Bessada et al., 2018)

Γενικότερα, η α-τοκοφερόλη, η οποία λαμβάνεται, τελικά και από το CS και τους SCG, φαίνεται να έχει θετική επίδραση κατά της υπεριώδους ακτινοβολίας. Για παράδειγμα, μία μελέτη των Lopez-Torres et al., (1998) που διεξήχθη σε άτριχα ποντίκια έδειξε ότι το δέρμα μπορεί να προστατευθεί από υπεριώδη ακτινοβολία με τοπική χορήγηση α-τοκοφερόλης μέσω της ρύθμισης ενός δικτύου ενζυμικών και μη ενζυμικών αντιοξειδωτικών ενώσεων. Η επιδερμική υπεροξειδάση της γλουταθειόνης και η δισμουτάση του υπεροξειδίου προστατεύθηκαν από την ολική καταστροφή τους και η δραστηριότητα της δερματικής υπεροξειδικής δισμουτάσης αυξήθηκε κατά 30%, μειώνοντας σημαντικά το σχηματισμό επιδερμικών λιπιδίων μετά από υπεριώδη ακτινοβολία. (Lopez-Torres et al., 1998)

Οι Rodrigues et al. (2016) μελέτησαν, τη φυσική σταθερότητα και την αντιοξειδωτική δράση ενός σκευάσματος κρέμας χεριών που περιέχει 2,5% κ.β. ενός εκχυλίσματος CS και παρατήρησαν σημαντικά υψηλότερη αντιριζική δράση, χρησιμοποιώντας τη δοκιμασία αναστολής DPPH· σε σύγκριση με το βασικό σκεύασμα. Επιπλέον, οι επιδράσεις των εκχυλισμάτων στα κερατινοκύτταρα και στα ινοβλαστικά κύτταρα διερευνήθηκαν και τα εκχυλίσματα δεν επηρέασαν την *in vitro* βιωσιμότητα των κυττάρων σε οποιαδήποτε εξεταζόμενη συγκέντρωση. Συνεπώς, όλα τα εκχυλίσματα θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τοπική εφαρμογή. Γενικώς, οι ίδιοι μελετητές διαπίστωσαν πως, μεταξύ άλλων, το αιθανολικό εκχύλισμα παρουσίασε υψηλότερη αντιοξειδωτική δραστηριότητα. (Rodrigues et al., 2017)

Αντιρυτιδική (αντιγηραντική) δραστηριότητα

Το ανθρώπινο δέρμα καθώς γερνάει, γίνεται λεπτό, ξηρό, χρωματισμένο και με ρυτίδες. Η γήρανση του δέρματος σχετίζεται με τον κατακερματισμό των ινών

κολλαγόνου και την αυξημένη παραγωγή μιτοχονδριακών ROS και το οξειδωτικό στρες. Ως εκ τούτου, το μιτοχονδριακό DNA, εξαλείφεται και διαγράφεται. Το CS έχει υψηλή περιεκτικότητα σε αντιοξειδωτικά συστατικά, ιδίως σε χλωρογενικά οξέα και καφεΐνη, δύο πολλά υποσχόμενες ενώσεις για αντιρυτιδικά προϊόντα, τα οποία θα αναλυθούν περαιτέρω παρακάτω. (Furusawa et al., 2011)

Μία πρόσφατη έρευνα των Furusawa et al. (2011) αναφέρει την ανασταλτική δράση της υαλουρονιδάσης των εκχυλισμάτων CS, ενός ενζύμου που υδρολύει το υαλουρονικό οξύ. Κατά τη διάρκεια της γήρανσης του δέρματος, η περιεκτικότητα σε υαλουρονικό οξύ μειώνεται και έτσι, το δέρμα γίνεται ξηρό και με ρυτίδες. Πράγματι, με τη πάροδο του χρόνου, η υαλουρονιδάση αποδομεί το υαλουρονικό οξύ, μειώνοντας το ιξώδες, αυξάνοντας τη διαπερατότητα και οδηγώντας τις ίνες κολλαγόνου και ελαστίνη (εξωκυτταρική μήτρα) σε καταστροφή. Σύμφωνα με τους ερευνητές, οι ουσίες υψηλότερου μοριακού βάρους που υπάρχουν στα εκχυλίσματα CS, θα μπορούσαν να αναστείλουν την δράση της υαλουρονιδάσης με όξινους πολυσακχαρίτες, κυρίως που αποτελούνται από ουρονικό οξύ. Επίσης, φαίνεται πως τα εκχυλίσματα CS είναι συμβατά με το ανθρώπινο δέρμα και είναι ασφαλή ως προς αυτά, επομένως μπορούν να χρησιμοποιηθούν χωρίς να ελλοχεύει ο κίνδυνος. Ακόμα, τα εκχυλίσματα έχουν παρόμοια δράση με το υαλουρονικό οξύ και βελτιώνει την ενυδάτωση καθώς και τη σφριγηλότητα του δέρματος. (Furusawa et al., 2011)

Οι Rodrigues et al. (2016) πραγματοποίησαν in vivo ανάλυση της ανασταλτικής επίδρασης της υαλουρονιδάσης. Η δοκιμή αυτή πραγματοποιήθηκε σε 20 ανθρώπους εθελοντές, χρησιμοποιώντας μια κρέμα με βάση το CS, δύο φορές την ημέρα, επί 28 ημέρες. Μετά από αυτό το χρονικό διάστημα, αξιολογήθηκε η ενυδάτωση και η σφριγηλότητα συγκρίνοντας την κρέμα που περιέχει εκχύλισμα CS με ένα προϊόν συμπληρωμένο με 1,5% HyaCare® Filler CL, που αποτελεί διασταυρωμένο πολυσακχαρίτη που παρασκευάζεται από υαλουρονικό οξύ, προερχόμενο από ζύμωση. Το συστατικά του CS αποδείχθηκαν αποτελεσματικά, με παρόμοια αποτελέσματα με το υαλουρονικό οξύ, στη βελτίωση της ενυδάτωσης και της σφριγηλότητας του δέρματος. Εντούτοις, σε αναφορά των Toschi et al. (2014), το CS θα μπορούσε συν τοις άλλοις, να περιέχει ανεπιθύμητες ενώσεις, όπως ωχρατοξίνη A και προϊόντα οξειδωσης φυτοστερόλης, των οποίων η παρουσία θα πρέπει να αναλύεται όταν το εκχύλισμα προορίζεται να χρησιμοποιηθεί σε καλλυντικά σκευάσματα. (Rodrigues et al., 2017)

Οι Iriondo-DeHond et al. (2016), μελέτησαν την επιταχυνόμενη γήρανση σε *C. elegans* (ζωικό μοντέλο) που προκλήθηκε από υπεριώδη ακτινοβολία C (UVC) και σε κύτταρα HaCaT (μοντέλο δέρματος) χρησιμοποιώντας υδροϋπεροξειδίου του tert-βουτυλίου (t-BOOH). Οι νηματώδεις *C. elegans*, οι οποίοι υποβλήθηκαν σε θεραπεία

με εκχύλισμα CS (1 mg/ml) παρουσίασαν αρκετά αυξημένη μακροζωία σε σύγκριση με εκείνους που καλλιεργούνταν με κανονική διατροφή. Η αυξημένη μακροζωία που παρατηρήθηκε ήταν παρόμοια με εκείνη των νηματωδών που τρέφονταν με χλωρογενικό οξύ ή βιταμίνη C (0,1 mg/ml). Από την άλλη πλευρά, οι εξεταζόμενες συγκεντρώσεις των εκχυλισμάτων CS δεν ήταν κυτταροτοξικές και ένα εκχύλισμα CS 1 mg/ml έδωσε αντοχή στα κύτταρα του δέρματος όταν προκλήθηκε οξειδωτική βλάβη από t-BOOH. Σύμφωνα με τους συγγραφείς, οι αντιγηραντικές ιδιότητες του CS μπορεί να οφείλονται στο σύνθετο μείγμα των αντιοξειδωτικών που περιέχει και δρουν σε συνεργιστικό συνδυασμό. Συνοπτικά, τα εκχυλίσματα CS έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν ως συστατικά σε δερματικά καλλυντικά προϊόντα για τη μείωση της παραγωγής ενδοκυτταρικών ROS στα κερατινοκύτταρα και τη βελτίωση της υγείας του δέρματος. (Iriundo-DeHond et al., 2016)

Ακόμη, σε μελέτη των Cho et al., (2017) τα κύτταρα ινοβλαστών ποντικών που ακτινοβολήθηκαν με υπεριώδη ακτινοβολία B (UVB) χρησιμοποιήθηκαν για τη διερεύνηση των αντιρυτιδικών επιδράσεων του χλωρογενικού οξέος, της πυροκατεχόλης και του 3,4,5-τρικαφεοϋλοκινικού οξέος που απομονώνονται από τα φασόλια της *Coffea Arabica* ποικιλίας, εξετάζοντας τα επίπεδα έκφρασης των μεταλλοπρωτεϊνών της μήτρας και τη ρύθμιση του προκολλαγόνου τύπου I. Οι τρεις ενώσεις που μελετήθηκαν απομονώθηκαν και ταυτοποιήθηκαν από τους κόκκους καφέ. Η έκθεση σε UVB ρυθμίζει προς τα πάνω τις μεταλλοπρωτεϊνάσες της μήτρας και ρυθμίζει προς τα κάτω την έκφραση του κολλαγόνου τύπου I στους ινοβλάστες του δέρματος και τα επεξεργασμένα κύτταρα παρουσίασαν επίπεδο βασικής έκφρασης των μεταλλοπρωτεϊνών της μήτρας παρόμοια με τα κύτταρα ελέγχου. Τα αποτελέσματα επίσης δείχνουν ότι, το χλωρογενικό οξύ και το 3,4,5-τρικαφεοϋλο-κινικό οξύ σε 50 µg/mL συγκέντρωσης αύξησαν σημαντικά το επίπεδο του προκολλαγόνου τύπου I, ενώ για την πυροκατεχόλη δεν διαπιστώθηκε κάτι. Με βάση τα αποτελέσματα, οι συγγραφείς καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι το χλωρογενικό οξύ έχει δυνατότητες ως θεραπευτικός παράγοντας κατά της επαγόμενης φωτογήρανσης. (Cho et al., 2017)

Αντιφλεγμονώδης δραστηριότητα

Το δέρμα όταν τραυματίζεται με οποιοδήποτε τρόπο, ακολουθούν διαταραχές των φυσιολογικών λειτουργιών του, όπως πρήξιμο, πόνος, κοκκινίλα. Η αντίδραση αυτή μπορεί να χαρακτηριστεί ως φλεγμονή. Υπάρχει μία αμφίδρομη σχέση μεταξύ του οξειδωτικού στρες και των ενδιάμεσων σταδίων που οδηγούν στη φλεγμονή, αφού και τα δύο παράγουν ένζυμα που ενεργοποιούν την φλεγμονή και πυροδοτούν την εξαρτώμενη από την οξειδάση NADPH φλεγμονή. Συνάμα, τα ένζυμα αυτά αυξάνουν τη συγκέντρωση των κολλαγενασών και ελαστάσων,

μειώνοντας την αντοχή σε ελαστικότητα και εκτατότητα του δέρματος. Συμπερασματικά, όλα αυτά τα ένζυμα που εμπλέκονται στο οξειδωτικό στρες και τα ενδιάμεσα στάδια της φλεγμονής, δρουν συνεργιστικά κατά τη διάρκεια της φλεγμονώδους δερματικής διεργασίας, οδηγώντας στον τραυματισμό ή καταστροφή του (Martinez-Saez et al., 2014). Η φλεγμονώδης αντίδραση οδηγεί στην παραγωγή κυτταροκινών και ιντερλευκινών, οι οποίες ενισχύουν τη φλεγμονώδη διαδικασία, προκαλώντας πολλαπλασιασμό των κερατινοκυττάρων και συσπείρωση μονοκυττάρων στο σημείο του τραυματισμού. (Rodrigues et al., 2017)

Νεότερες μελέτες αξιολόγησαν την δράση του χλωρογενικού οξέος, μιας φαινολικής ένωσης που επικρατεί στη σύνθεση του CS και του μεταβολίτη του καφεϊκού οξέος. Στην παρούσα μελέτη, η παραγωγή ιντερλευκίνης-8 (IL-8), η οποία χρησιμεύει ως χημικό μήνυμα που προσελκύει τα ουδετερόφιλα στο σημείο της φλεγμονής, σε ανθρώπινα εντερικά κύτταρα (CaCO_2) προκλήθηκε από συνδυασμένη διέγερση με παράγοντα νέκρωσης όγκου α (TNF- α) και υπεροξείδιο του οξυγόνου (H_2O_2). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το χλωρογενικό οξύ, προερχόμενο από τον πολτό του καφέ, και το καφεϊκό οξύ αναστέλλουν την επαγόμενη παραγωγή IL-8, γεγονός που υποδηλώνει σημαντική αντιφλεγμονώδη δράση. (Shin et al., 2015)

Σε άλλη σχετική έρευνα, οι López-Barrera et al. (2016) ασχολήθηκαν με την ικανότητα των SCG να προλαμβάνουν τη φλεγμονή. Σύμφωνα με τους συγγραφείς, οι SCG ασκούν αντιφλεγμονώδη δράση, με τη μεσολάβηση λιπαρών οξέων βραχείας αλυσίδας που παράγονται από τις διαιτητικές τους ίνες, μειώνοντας την απελευθέρωση φλεγμονωδών μεσολαβητών, όπως οι κυτταροκίνες IL-10, IL-5 και άλλες συναφείς. Επίσης, η μήτρα αυτή είναι πλούσια σε χλωρογενικά οξέα και γαλλικό οξύ, τα οποία πιθανόν εξηγούν τη δραστηριότητά του. Από την αντίθετη όχθη, οι Ramalakshmi et al. (2009) διαφωνούν, καθώς ανέφεραν ότι ο SCG παρουσίασε περιορισμένη αντιφλεγμονώδη και αντιαλλεργική δράση. Για αυτόν τον λόγο, απαιτούνται περισσότερες μελέτες *in vitro*, χρησιμοποιώντας κύτταρα του δέρματος, όπως ινοβλάστες και κερατινοκύτταρα, για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τις δυνατότητες των υποπροϊόντων του καφέ ως αντιφλεγμονώδη συστατικά. (López-Barrera et al., 2016)

Επίσης, έπειτα από έρευνες των Affonso et al., (2016) έχει διαπιστωθεί η επίδραση της τοπικής εφαρμογής υδρογελών που περιέχουν χλωρογενικό οξύ ή υδατικά εκχυλίσματα του υπολείμματος κόκκων καφέ, που παράγεται μετά την εκχύλιση λαδιού, στην επούλωση πληγών του δέρματος, χρησιμοποιώντας ένα ζωικό μοντέλο. Οι εμπλουτισμένες υδρογέλες συνέβαλαν στη διαδικασία επούλωσης του

τραύματος, αποκαλύπτοντας θετικές επιδράσεις στη αναγέννηση των δερματικών ιστών. (Rodrigues et al., 2017)

Αντιμικροβιακή δραστηριότητα

Τα εκχυλίσματα CS, γενικώς, παρουσιάζουν αντιμικροβιακές δράσεις έναντι παθογόνων βακτηρίων, όπως *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Escherichia coli* και *Klebsiella pneumoniae*. Ανάλογα με την συγκέντρωση των μελανοϊδινών του καφέ μπορεί να έχουν βακτηριοκτόνο ή βακτηριοστατική δράση. Επιπρόσθετα, άλλες ουσίες του καφέ, όπως τα χλωρογενικά οξέα και η καφεΐνη που υπάρχουν ήδη στο CS, έχουν φανεί ότι, δρουν με συνέργεια κατά του μικροοργανισμού *S. mutans*, που σχετίζεται με τον σχηματισμό οδοντικής πλάκας. (Bessada et al., 2018). Οι μελανοϊδίνες, σχηματίζονται κατά την αντίδραση Maillard, η οποία, είναι μία από τις κύριες χημικές αντιδράσεις που συμβαίνουν κατά το καβούρδισμα του καφέ. Πιο συγκεκριμένα, στην αντίδραση αυτή τα αναγωγικά σάκχαρα αντιδρούν με τις αμινομάδες, οδηγώντας στον σχηματισμό τελικών ενώσεων, δηλαδή των μελανοϊδινών. (Rodrigues et al., 2017)

Οι Martinez-Saez et al. (2014) απέδειξαν ότι το CS μπορεί να αποτελέσει σημαντική πηγή μελανοϊδινών και ότι, η αξιοποίηση εκχυλισμάτων CS μπορεί να επιλεγεί αντί του ακατέργαστου CS ως πηγή μελανοϊδινών λόγω της υψηλότερης συγκέντρωσης του πρώτου. Οι μελανοϊδίνες είναι αζωτούχες ενώσεις υψηλού μοριακού βάρους, καφέ χρώματος, οι οποίες παρουσιάζουν υψηλή διαλυτότητα στο νερό. Ωστόσο, απαιτούνται περισσότερες μελέτες για τον εντοπισμό των ενώσεων που ευθύνονται για την αντιμικροβιακή δράση των υποπροϊόντων του καφέ. (Rodrigues et al., 2017)

Οι Jiménez-Zamora et al. (2015) κατέδειξαν ότι οι SCG και τα CS, απουσία των μελανοϊδινών του καφέ, δεν παρουσίασαν αντιμικροβιακή δράση έναντι του *S. aureus* και της *E. coli*, ενώ τα SCG με μελανοϊδίνες του καφέ παρουσίασαν αντιμικροβιακή δράση έναντι και των δύο μικροοργανισμών. Επιπλέον, η αντιμικροβιακή δράση των μελανοϊδινών του καφέ ήταν υψηλότερη όταν οι ενώσεις απομονώθηκαν, γεγονός που υποδηλώνει την επίδραση των SCG. Ως εκ τούτου, οι μελέτες αυτές υποδεικνύουν αφενός την αντιμικροβιακή δράση που πιθανόν σχετίζεται με τις μελανοϊδίνες που υπάρχουν στα υποπροϊόντα του καφέ και αφετέρου ότι για την επίτευξη της σχετικής αντιμικροβιακής δράσης, οι μελανοϊδίνες του καφέ πρέπει να απομακρυνθούν από τη μήτρα των υποπροϊόντων. (Jiménez-Zamora et al., 2015)

Τέλος, σε άλλη εργασία των Wagemaker et al. (2014) αναδείχθηκε η αντιμικροβιακή δράση της ασαπνωποποίησης ύλης που εξάγεται από το τυποποιημένο πράσινο έλαιο σπόρων *C. Arabica*. Στη μελέτη αυτή έγινε χρήση της μεθόδου

διάχυσης δίσκων και φάνηκε ότι, 10 mg/ml ασαπυνοποίησης ύλης ανέστειλε την ανάπτυξη όλων των εξεταζόμενων βακτηρίων (*S. aureus*, *S. epidermidis*, *E. coli* και *P. aeruginosa*) με ζώνη αναστολής που κυμαίνεται μεταξύ 9 και 19 mm, και την ανάπτυξη της *C. albicans* με ζώνη αναστολής 22 mm. (Wagemaker et al., 2015)

Προστασία του δέρματος από την υπεριώδη ακτινοβολία

Σε συνδυασμό με τα αίτια που αναφέρθηκαν προηγουμένως, η φλεγμονή του δέρματος μπορεί να προκληθεί και από την επίδραση εξωγενών παραγόντων, όπως υπερέκθεση στην ηλιακή υπεριώδη ακτινοβολία (UVB). Η UVB προκαλεί την παραγωγή δραστικών μορφών οξυγόνου, όπως το ανιόν υπεροξειδίου (O_2^-) και μονο-οξειδίου (O^-). Η παραγωγή αυτών, ευνοεί τις συνθήκες οξειδωτικού στρες και οδηγεί σε καρκίνο του δέρματος, πρόωρη γήρανση του δέρματος, υπερμελάγχρωση, ερεθίσματα και οίδημα (Bessada et al., 2018). Τα συστατικά του δέρματος, όπως η ελαστίνη και το κολλαγόνο, επηρεάζονται δυσμενώς από την έκθεση στην υπεριώδη ακτινοβολία, οδηγώντας τελικά στο σχηματισμό των ρυτίδων. (Lephart, 2016)

Λαμβάνοντας υπόψη την συνεργιστική δράση των ROS και των ουσιών που προκαλούν τη φλεγμονή, η αξιοποίηση ενώσεων με αντιφλεγμονώδεις και αντιοξειδωτικές ιδιότητες είναι μία πολλά υποσχόμενη πρόταση για την πρόληψη και αντιμετώπιση της έκθεσης στην υπεριώδη ακτινοβολία, τονίζοντας την αξία και τα πλεονεκτήματα των αντιοξειδωτικών από φυσικές πηγές, αφού είναι λιγότερο τοξικά αλλά και οικονομικά. Έτσι, αναγεννάται η ιδέα για τη χρήση τους σε αντιηλιακά. Η καφεΐνη, λόγω της χημικής της δομής, που την κάνει σταθερή στη θερμότητα, προσφέρει φωτοπροστασία. Ούσα μία υδρόφιλη ουσία, που διαπερνά το δέρμα χωρίς να είναι επιβλαβής για αυτό, χρησιμεύει και ως βοηθητικό αντηλιακό, δρώντας συνεργιστικά για φωτοσταθεροποιητικό και φωτοπροστατευτικό υλικό. (Bessada et al., 2018)

Οι Lu και οι συνεργάτες του (2002) μελέτησαν την επίδραση της τοπικής εφαρμογής καφεΐνης, προερχόμενη από τα υποπροϊόντα του καφέ επί των πλείστων, για την πρόληψη της ανάπτυξης καρκίνου του δέρματος που προκαλείται από UVB σε άτριχα ποντίκια. Τα μοντέλα ποντικών υποβλήθηκαν σε τοπική θεραπεία με καφεΐνη μία φορά την ημέρα (πέντε ημέρες/εβδομάδα) για 18 εβδομάδες και τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι τοπικές εφαρμογές καφεΐνης μείωσαν τον αριθμό των καλοήθων και κακοήθων δερματικών όγκων ανά ποντίκι, κατά 44% και 72%, αντίστοιχα. (Lu et al., 2002)

Οι Kitagawa et al. (2011) αξιολόγησαν τη δραστηριότητα του χλωρογενικού οξέος, που απομονώθηκε από τον πολτό του καφέ, στην προστασία του δέρματος κατά της βλάβης που προκαλείται από την υπεριώδη ακτινοβολία. Ένα προϊόν ελαίου/νερού που περιείχε αυτή την ένωση επωάστηκε σε ραχιαίο δέρμα ινδικών

χοιριδίων και στο δέρμα μικροχοιριδίων Yucatan. Παρατηρήθηκε αντιοξειδωτική δράση του χλωρογενικού οξέος μέσω της μείωσης των ROS, γεγονός που υποδηλώνει τη δυνατότητα αυτής της ένωσης να προστατεύει το δέρμα από οξειδωτική βλάβη, η οποία προκαλείται από την υπεριώδη ακτινοβολία. Ταυτόχρονα, υπάρχουν περισσότεροι από 25 τύποι μεταλλοπρωτεϊνών της μήτρας, εκ των οποίων κάποιες διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην διαδικασία γήρανσης του δέρματος. (Kitagawa et al., 2011)

Σε άλλη μελέτη (1988) της L'Oreal σχεδίασε ένα σκεύασμα όπου γίνεται χρήση ελαίου καφέ ως αντηλιακό φίλτρο που επιτρέπει το φυσικό μαύρισμα και ταυτόχρονα προστατεύει το δέρμα από την ηλιακή ακτινοβολία και την ανάπτυξη εγκαυμάτων. Η σύνθεση του ελαίου από κόκκους καφέ αποτελείται ουσιαστικά από περίπου 75% τριγλυκερίδια και 20% μονοεστέρες λιπαρών οξέων δύο διτερπενικών αλκοολών: καφεστόλη και καχεόλη. (Rodrigues et al., 2017)

Ακόμα, οι Choi et al. (2016) αξιολόγησαν την προστατευτική δράση του κλάσματος ελαίου που περιέχει περίπου 550,0 mg/ml καφεΐνης και 120,0 mg/ml χλωρογενικού οξέος και αιθανολικών εκχυλισμάτων, περίπου 40,0 και 50,0 mg/ml, αντίστοιχα, χρησιμοποιημένου καφέ (από στιγμιαίο καφέ). Η τοπική εφαρμογή του ελαίου ή του κλάσματος αιθανόλης μείωσε σημαντικά τον προκαλούμενο από UVB σχηματισμό ρυτίδων στο ραχιαίο δέρμα ποντικών. Επιπλέον, η συνδυασμένη εφαρμογή του ελαίου και αιθανολικού κλάσματος οδήγησε σε μείωση της περιοχής των ρυτίδων κατά πάνω από 35%, του πάχους της επιδερμίδας (40%), της διαδερμικής απώλειας νερού (27%) και του σχηματισμού ερυθρήματος (48%) που προκύπτουν από την έκθεση στην UVB, σε σύγκριση με τον έλεγχο που υποβλήθηκε σε θεραπεία με UVB. Ειδικές ιστολογικές αναλύσεις με βάση τα αντισώματα έδειξαν ότι το κλάσμα ελαίου και τα αιθανολικά εκχυλίσματα κατέστειλαν αποτελεσματικά τη μείωση της περιεκτικότητας σε κολλαγόνο που προκαλείται από την ακτινοβολία UVB. Το επίπεδο του κολλαγόνου τύπου 1 σε συνδυασμένη ομάδα ελαίου/αιθανολικού κλάσματος ενισχύθηκε κατά 40% περίπου σε σύγκριση με τον έλεγχο UVB. Ακόμα, παρατηρήθηκε μείωση της επαγόμενης από UVB ενδοκυτταρικής παραγωγής ROS και της έκφρασης κάποιων μεταλλοπρωτεϊνών της μήτρας, σε σύγκριση με τα ακτινοβολημένα κύτταρα ελέγχου. Έτσι, η καφεΐνη φαίνεται να είναι μια σημαντική δραστική ένωση για την προστασία από τη βλάβη του δέρματος από την υπεριώδη ακτινοβολία. Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης υποδηλώνουν τη δυνατότητα τοπικής εφαρμογής προϊόντων με υψηλή περιεκτικότητα σε καφεΐνη ως φωτοπροστατευτικό. (Choi et al., 2016)

Πρόσφατα, η βιολογική επίδραση του κλάσματος ελαίου των SCG αξιολογήθηκε από τους Marto et al. (2015). Οι παραγωγοί επιλέγουν μόνο κόκκους

καφέ με υψηλή ποιότητα για την παραγωγή καφέ. Μια μεγάλη ποσότητα (περίπου 15%) παρουσιάζει χαμηλή ποιότητα και δεν εισάγεται στην επεξεργασία του καφέ. Ως εκ τούτου, μπορούν να αποτελέσουν μια πλούσια πηγή πράσινου ελαίου καφέ με αρκετές εφαρμογές σε καλλυντικά προϊόντα, συγκεκριμένα ως αντηλιακά (Chiari et al., 2014). Το ελαιώδες κλάσμα των SCG που εκχυλίστηκαν με υπερκρίσιμο CO₂ και το έλαιο πράσινου καφέ, αξιολογήθηκαν και ενσωματώθηκαν σε μια νέα γενιά αντηλιακών με βελτιωμένη αντηλιακή προστασία. Τα αποτελέσματα έδειξαν την αποτελεσματικότητα του τελικού σκευάσματος όσον αφορά την προστασία UVB/A, τη βιολογική δραστηριότητα και την καλύτερη ανεκτικότητα, δείχνοντας ότι η επαναχρησιμοποίηση του λιπιδικού κλάσματος του χρησιμοποιημένου καφέ αποτελεί εξαιρετική ευκαιρία για την προσθήκη αξίας σε αυτό το υποπροϊόν του καφέ. Τα αντηλιακά προϊόντα με την μορφή γαλακτώματος νερού σε έλαιο (W/O) είναι πιο αποτελεσματικά από της μορφής γαλακτώματος ελαίου σε νερό (O/W), διότι παρέχουν υψηλότερη αντηλιακή προστασία (SPF). (Marto et al., 2016)

Άλλες εφαρμογές

Το CS λόγω της υψηλής περιεκτικότητας του σε αντιοξειδωτικές ουσίες, πολυφαινόλες, διτερπένια (καχεόλη, καφεστόλη), αποτελεί κύρια πηγή συστατικών και χρησιμοποιείται κατά κόρον για τη βελτιστοποίηση των καλλυντικών σκευασμάτων. Ερευνητές χρησιμοποίησαν CS για να παρασκευάσουν ένα νέο ρόφημα ως βοηθητικό προϊόν για την απώλεια βάρους. Επίσης, οι πράσινοι κόκκοι καφέ είναι πλούσιοι σε αντιοξειδωτικά συστατικά και φαίνεται η χρήση τους να προκαλεί μείωση του σπλαχνικού λίπους, όποτε προστίθενται σε προϊόντα για τη πρόληψη της γήρανσης. Εντούτοις, τα περισσότερα φαινολικά συστατικά είναι συζευγμένα σε σάκχαρα ως γλυκοζίτες και περιορίζεται η βιοδιαθεσιμότητά τους. (Hoseini et al., 2021)

Σε άλλες εφαρμογές, η μικροενθυλάκωση, η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος ενθυλάκωσης, επιτρέπει την ενσωμάτωση του ελαίου του πράσινου καφέ, με τη μορφή σκόνης σε προϊόντα μακιγιάζ (V. M. Silva et al., 2014). Όταν το έλαιο πράσινου καφέ είναι ενθυλακωμένο, δεν υπάρχει άμεση επαφή με το ανθρώπινο δέρμα, γεγονός που μειώνει το ενδεχόμενο αλλεργιογόνων επιδράσεων που προκαλούνται από το κινναμικό οξύ. Έχει μελετηθεί η βελτίωση της οξειδωτικής σταθερότητας και του αντιοξειδωτικού προφίλ με τη χρήση της μεθόδου μικροενθυλάκωσης. Η μικροενθυλάκωση με την τεχνική της ξήρανσης με ψεκασμό του ελαίου του πράσινου καφέ, χρησιμοποιώντας σταθεροποιητές γαλακτώματος λεκιθίνης-χιτοζάνης και λεκιθίνης, έδειξε θετικά αποτελέσματα, καταδεικνύοντας την βελτίωση της οξειδωτικής σταθερότητας και διατήρηση του SPF του ελαίου του πράσινου καφέ (Carvalho et al., 2014). Γενικώς η μικροενθυλάκωση είναι μια

αποτελεσματική λειτουργική μεθοδολογία για τη βελτίωση της προστασίας της βιοδραστικότητας των ενώσεων. Ειδικότερα, η εφαρμογή αυτής της τεχνικής σε έλαια για σκοπούς καλλυντικών σκευασμάτων συνιστά μεγάλη πρόοδο και θα πρέπει να προωθηθεί. Επιπλέον, έχουν προκύψει και άλλα πλεονεκτήματα, όπως η διατήρηση της ποιότητας και των φυσικοχημικών ιδιοτήτων των καλλυντικών προϊόντων όσον αφορά τη διάρκεια ζωής και την ελεγχόμενη απελευθέρωση των δραστικών συστατικών (Rodrigues et al., 2017)

Σε άλλες μελέτες έχει φανεί πως, όταν ο φλοιός του καφέ επεξεργάζεται με ατμό για την απομάκρυνση της καφεΐνης και των χλωρογενικών οξέων, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή αρώματος με τη βοήθεια των μυκήτων του γένους *Ceratomyces* (Hoseini et al., 2021). Οι Soares et al. (2000) δοκίμασαν φλοιό καφέ ως πρώτη ύλη για την παραγωγή γεύση φρούτων, με ζύμωση στερεάς κατάστασης και διαπίστωσαν ότι διαφορετικές δόσεις της γλυκόζης μπορεί να καθορίσει την παραγωγή διαφορετικών αρωμάτων, όπως μπανάνας και ανανά. (Murthy & Madhava Naidu, 2012)

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5) αναγράφονται, συνοπτικά, οι κύριες ουσίες που μπορούν να εξαχθούν από το CS, με σκοπό να χρησιμοποιηθούν σε βιομηχανίες καλλυντικών.

Βιοδραστική ουσία	Βιολογικές δραστηριότητες
Καφεΐνη	Αντιοξειδωτική, αντιρυτιδική, αντικυτταριδική, προστασία κατά της υπεριώδους ακτινοβολίας
Καφεοϋλκινικά οξέα	Αντιρυτιδική, προστασία κατά της υπεριώδους ακτινοβολίας, αντιμικροβιακή, αντιφλεγμονώδης
Φερουλοκινικά οξέα	
p-κουμαρικά οξέα	
Μελανοΐδίνες	Αντιρυτιδική, αντιοξειδωτική, αντιμικροβιακή, αντιφλεγμονώδης

Πίνακας 5: Βιοδραστικές ενώσεις και οι βιολογικές τους δράσεις

4.2 Μελλοντικές τάσεις και προτάσεις

Δράση κατά της κυτταρίτιδας

Το φαινόμενο της κυτταρίτιδας, μιας δερματικής διαταραχής, επηρεάζει σε πολύ υψηλό ποσοστό, περίπου 90%, τις γυναίκες. Αναπτύσσεται στους άνω εξωτερικούς μηρούς, γλουτούς και οπίσθιους μηρούς. Μια και η καφεΐνη έχει λιποδιαλυτικές ιδιότητες, θα μπορούσε να συνδράμει συνδυαστικά με τη διατροφή στην καταπολέμηση της κυτταρίτιδας, λόγω των λιπολυτικών επιδράσεών της. Ειδικότερα, έχει φανεί ότι, αναστέλλοντας τη φωσφοδιεστεράση στα λιποκύτταρα και επάγοντας τη μονοφωσφορική κυκλική αδενοσίνη (cAMP), η καφεΐνη θα μπορούσε να ασκήσει λιπολυτική δραστηριότητα. Η αύξηση των επιπέδων cAMP διεγείρει την πρωτεϊνική κινάση A να φωσφορυλιώσει και, κατά συνέπεια, ενεργοποιεί την ορμονοευαίσθητη λιπάση. Η φωσφορυλιωμένη, ορμονοευαίσθητη λιπάση υδρολύει τα τριγλυκερίδια σε δι- και μονογλυκερίδια, ελεύθερα λιπαρά οξέα και γλυκερόλη. Η καφεΐνη μπορεί να διεισδύσει στον δερματικό φραγμό και να ασκήσει τη λιπολυτική της δράση στον λιπώδη ιστό. Το CS περιέχει σημαντική ποσότητα καφεΐνης και, σε αυτό το πλαίσιο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη τοπικών αντικυτταριτιδικών προϊόντων. Πράγματι, οι Rodrigues et al. (2017) προτείνουν την αξιοποίηση της καφεΐνης που εξάγεται από το CS, ως μία πιθανή θεραπεία για τη δράση κατά της κυτταρίτιδας.

Επίσης, έχουν αναπτυχθεί προηγμένες φόρμουλες για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας της καφεΐνης στη θεραπεία της κυτταρίτιδας (Rodrigues et al., 2017). Μια τοπική φόρμουλα που χρησιμοποιεί νανοσωματίδια στερεών λιπιδίων εμπλουτισμένα με καφεΐνη μελετήθηκε σε δέρμα αρουαίου, δείχνοντας ότι τα νανοσωματίδια στερεών λιπιδίων μπορούν να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα της καφεΐνης. Συγκρίνοντας τη συσσώρευση φαρμάκου στο δέρμα με υδρογέλη νανοσωματιδίων καφεΐνης-στερεών λιπιδίων και υδρογέλη καφεΐνης, η πρώτη παρουσίασε υψηλότερη συσσώρευση φαρμάκου (Hamishehkar et al., 2015). Ωστόσο, οι Rodrigues et al. (2017) πραγματοποίησαν τη διαδικασία ενθυλάκωσης ενός εκχυλίσματος CS σε νανοδομημένους φορείς λιπιδίων (NLCs) και κατέδειξαν ότι η ενθυλάκωση δεν οδήγησε σε υψηλότερη διαπερατότητα.

Σε μια άλλη μελέτη, μεμβράνες βιοκυτταρίνης διερευνήθηκαν ως συστήματα τοπικής μεταφοράς καφεΐνης χρησιμοποιώντας ανθρώπινες επιδερμικές μεμβράνες και κύτταρα Franz. Σημειώνεται ότι, οι μελέτες διάχυσης με κύτταρα Franz έδειξαν ότι η ενσωμάτωση της καφεΐνης στις μεμβράνες βιοκυτταρίνης, παρέχουν χαμηλότερους ρυθμούς διαπερατότητας από εκείνους που ελήφθησαν με τα συμβατικά σκευάσματα (Silva et al., 2013). Η διαπερατότητα της καφεΐνης από τις μεμβράνες βιοκυτταρίνης συγκρίθηκε μεταξύ υδατικών και πηκτών σκευασμάτων, δείχνοντας πολλά

υποσχόμενα αποτελέσματα, κυρίως λαμβάνοντας υπόψη την παρατεταμένη και προβλέψιμη απελευθέρωση καφεΐνης με την πάροδο του χρόνου. Μάλιστα το σύστημα αυτό κυκλοφορεί ήδη στην αγορά σε καλλυντικές μάσκες (BioCellulose και NanoMasque), στις οποίες οι μεμβράνες βιοκυτταρίνης εμποτίζονται με δραστικές ενώσεις που έχουν ενυδατικές ιδιότητες. (Silva et al., 2014)

Πέρα από τις μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί για την διείσδυση της καφεΐνης στην επιδερμίδα, έχουν αναπτυχθεί και διάφορες μελέτες για την αύξηση της ικανότητας διείσδυσης της καφεΐνης από τους Ascencio et al., (2016). Οι ερευνητές μελέτησαν το βάθος διείσδυσης της καφεΐνης στην επιδερμίδα συγκρίνοντάς την με την προπυλενογλυκόλη. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η καφεΐνη δε διεισδύει αποτελεσματικά μέσω της κεράτινης στιβάδας, διαπερνώντας της το ανώτερο κατά 70-80%, πιθανόν λόγω μεγέθους, ενώ η προπυλενογλυκόλη διεισδύει εύκολα μέσω της κεράτινης στιβάδας φτάνοντας στη στιβάδα με τα ζωντανά κύτταρα της επιδερμίδας. (Mujica Ascencio et al., 2016)

Μια κρέμα αδυνατίσματος που περιέχει 3,5% κ.β. υδατοδιαλυτή καφεΐνη και ξανθίνες εφαρμόστηκε σε 15 εθελοντές με κυτταρίτιδα για 6 εβδομάδες, παρουσιάζοντας σημαντικές βελτιώσεις. Κατά την τρίτη εβδομάδα υπήρξε βελτίωση της κυτταρίτιδας στο 36% των εθελοντών, ενώ την τελευταία εβδομάδα υπήρξε βελτίωση στο 86%. Την τρίτη και την έκτη εβδομάδα, εμφανίστηκε παροδικό κοκκίνισμα (57%) και ελάχιστη φαγούρα (36%). Από την άλλη πλευρά, δεν αναφέρθηκαν σοβαρές ανεπιθύμητες ενέργειες και καμία ανεπιθύμητη ενέργεια δεν οδήγησε σε διακοπή της θεραπείας ή μείωση της χρήσης της κρέμας. Αυτή η θεραπεία μπορεί να θεωρηθεί ασφαλής και αποτελεσματική για την κυτταρίτιδα, όμως λόγω της μικρής συμμετοχής κυρίως, δεν πραγματοποιήθηκαν μακροχρόνιες δοκιμές. (Santos et al., 2021)

Δράση κατά της τριχόπτωσης

Η καφεΐνη φαίνεται πως, σύμφωνα με έρευνες που βρίσκονται σε εξέλιξη, δρα και κατά της τριχόπτωσης. Συγκεκριμένα, η ανασταλτική δράση του ενζύμου 5α-αναγωγάση, η οποία βρίσκεται στην καφεΐνη, μετατρέπει την τεστοστερόνη στην πιο δραστική διυδροτεστοστερόνη (DHT), η οποία προκαλεί την φαλακρότητα, λόγω της ευαισθησίας των θυλάκων της τρίχας στη δράση της DHT. Έτσι, η καφεΐνη, αναστέλλοντας τη δράση της 5α-αναγωγάσης, ανανεώνει τη διαδικασία της ανάπτυξης των μαλλιών. Ακόμα, η καφεΐνη μειώνει την ένταση των λεπτών μυών κοντά στον θύλακα της τρίχας, παρέχοντας ευκολότερα θρεπτικές ουσίες. (Bessada et al., 2018)

Οι Teichmann et al., (2007) απέδειξαν ότι η επαφή της τρίχας με ένα σαμπουάν που περιέχει καφεΐνη για τουλάχιστον δύο λεπτά, προσφέρει την επαρκή

ανάπτυξη της τρίχας και να παραμείνει εκεί έως και 48 ώρες, ακόμα και με το πλύσιμο των μαλλιών. Στην παρούσα μελέτη, η ικανότητα ενός σκευάσματος σαμπουάν που περιέχει καφεΐνη καθώς και τη φθορίζουσα χρωστική ουσία φλουορεσκεΐνη να διεισδύσει στους θύλακες της τρίχας διερευνήθηκε με *in vivo* λέιζερ μικροσκοπική ανάλυση σάρωσης. Μέσα σε δύο λεπτά από την εφαρμογή του σαμπουάν, η επαφή του σαμπουάν και της επιφάνειας του δέρματος ήταν επαρκής για να διεισδύσει το σκεύασμα βαθιά στους θύλακες της τρίχας και να παραμείνει εκεί για έως και 48 ώρες, ακόμη και μετά το πλύσιμο, πετυχαίνοντας έτσι την ανάπτυξη της τρίχας και τη καταπολέμηση της φαλακρότητας. (Teichmann et al., 2007)

Η ανδρογενετική αλωπεκία, ενός κοινού προβλήματος που ταλανίζει τους άντρες όλων των ηλικιών, μοιάζει να εξομαλύνεται με τη χρήση της καφεΐνης. Οι Otberg et al. (2008) έδειξαν ότι υπάρχει ποσοτική διάκριση μεταξύ της θυλακικής διείσδυσης και της ενδοθυλακικής διάχυσης ενός σκευάσματος που περιέχει 2,5% κ.β. καφεΐνη, 30% κ.β. αιθανόλη, και 70% κ.β. προπυλενογλυκόλη, η οποία εφαρμόστηκε στο στήθος Καυκάσιων ανδρών (εθελοντών) ηλικίας 26-39 ετών με φυσιολογικούς δείκτες μάζας σώματος. Όταν τα θυλάκια παρέμειναν ανοιχτά, η καφεΐνη ανιχνεύθηκε σε δείγματα αίματος 5 λεπτά μετά την τοπική εφαρμογή, αντίθετα προς τα θυλάκια που ήταν μπλοκαρισμένα, όπου η καφεΐνη ήταν ανιχνεύσιμη μόνο μετά από 20 λεπτά. Οι υψηλότερες τιμές (11,75 ng καφεΐνης/ml) βρέθηκαν 1 ώρα μετά την εφαρμογή, όταν τα ωοθυλάκια ήταν ανοιχτά. Έτσι, αναδεικνύεται η ικανότητα της καφεΐνης να διεισδύει στα θυλάκια της τρίχας και να διεγείρει την ανάπτυξη της, *in vitro*. Παρόλα αυτά, καμία έρευνα δεν έχει επικεντρωθεί στην χρήση του CS σε καλλυντικά κατά της τριχόπτωσης. (Otberg et al., 2008)

Γαλακτωματοποιητικές ιδιότητες

Ο δερματικός φραγμός προστατεύει τον οργανισμό από την απώλεια νερού καθώς και, από τη διείσδυση βλαβερών και αλλεργιογόνων ουσιών. Μια υγιής κεράτινη στιβάδα είναι απαραίτητη για έναν αποτελεσματικό φραγμό διαπερατότητας. Η κεράτινη στιβάδα αποτελείται από κερατινοκύτταρα που περιβάλλονται από μια συνεχή μήτρα λιπιδίων. Τα μεσοκυττάρια λιπίδια αποτελούνται από ένα μείγμα κεραμιδίων, χοληστερόλης και ελεύθερων λιπαρών οξέων, οργανωμένων σε στενά στοιβαγμένους ελασματοειδείς σχηματισμούς, τα λιπιδικά ελάσματα. (Rodrigues et al., 2017)

Τα κερατινοκύτταρα περιέχουν τον φυσικό ενυδατικό παράγοντα (NMF) που είναι υπεύθυνος για την διατήρηση των κατάλληλων επιπέδων υγρασίας στην κεράτινη στιβάδα, και τον κατάλληλο φραγμό ομοιόστασης, της απολέπισης και της πλαστικότητας. Τα απλά γαλακτώματα αφήνουν ένα λεπτό αποφρακτικό στρώμα μη φυσιολογικού λιπιδίου ή ελαίου, όπως βαζελίνη ή ορυκτέλαιο, πάνω από την

επιφάνεια του δέρματος, μειώνοντας έτσι την απώλεια νερού από την κεράτινη στιβάδα. Επίσης, μπορούν να διαμορφωθούν με πρόσθετα συστατικά, όπως ενυδατικά, φυσιολογικά λιπίδια και αντιρυτιδικά μέσα. (Moncrieff et al., 2013). Σε μια φυσιολογική κατάσταση του ενυδάτωσης συμβάλλουν στην υγιή όψη του δέρματος και στις αισθητηριακές ιδιότητες της επιφάνειας. Οι NMF ενώσεις είναι παρούσες σε αυξημένες συγκεντρώσεις εντός των κερατινοκυττάρων και αντιπροσωπεύουν έως και 20%-30% (ξηρό βάρος) της κεράτινης στιβάδας, αποτελούμενες από ένα μείγμα αμινοξέων και των παραγώγων τους (πυρρολιδονικό καρβοξυλικό οξύ και ουροκανικό οξύ), γαλακτικών και ουρία. Υπάρχουν επίσης, ανόργανα άλατα όπως χλώριο, νάτριο, κάλιο, ασβέστιο και μαγνήσιο. (Rodrigues et al., 2017)

Τα γαλακτώματα είναι ενυδατικοί παράγοντες με ιδιότητες που μαλακώνουν το δέρμα. Μπορεί να περιέχουν ποικιλία ενώσεων (π.χ. λιπίδια) που έχουν πολλαπλές δράσεις ως παράγοντες κατακράτησης νερού και βελτίωσης της λειτουργίας του δερματικού φραγμού. Τα προϊόντα αυτά μπορούν να παρουσιαστούν σε διάφορες συνθέσεις, όπως κρέμες, λοσιόν, προϊόντα μπάνιου και αλοιφές. Τα μειωμένα επίπεδα του NMF και οι μεταβολές στη σύνθεση των λιπιδίων της κεράτινης στιβάδας οδηγούν σε ξηρό δέρμα, το οποίο συνδέεται στενά με την κατάσταση του δέρματος που σχετίζεται με την ηλικία (Correa, 2012). Έτσι, η χρήση γαλακτωμάτων αποσκοπεί στη βελτίωση της ενυδάτωσης του δέρματος και των επιπέδων σμήγματος. Το έλαιο πράσινου καφέ έχει χρησιμοποιηθεί σε καλλυντικά σκευάσματα με βάση τις γαλακτωματοποιητικές του ιδιότητες που παρέχονται από τα περιεχόμενα σε αυτό λιπαρά οξέα. (Rodrigues et al., 2017)

Οι SCG μπορεί να χρησιμοποιηθεί για βιομηχανικές εφαρμογές, λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς του σε λιπίδια. Τα καλλυντικά προϊόντα θα μπορούσαν να αποτελέσουν μια κατάλληλη εφαρμογή για αυτούς τους τύπους υπολειμμάτων, επειδή οι ιδιότητες φραγμού της κεράτινης στιβάδας εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την ανέπαφη κατάσταση των λιπιδικών ελασμάτων που περιβάλλουν τα κερατινοκύτταρα. Οι Ribeiro et al. (2013) χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία εκχύλισης υπερκρίσιμου CO₂, εξήγαγαν το λιπιδικό κλάσμα των SCG για να αξιολογήσουν τη δυνατότητα χρήσης του στην ανάπτυξη καλλυντικών σκευασμάτων, σε κρέμες ελαίου σε νερό και να εκτιμήσουν την επίδραση στην ενυδάτωση του δέρματος και την ικανότητα σμήγματος. Το έλαιο πράσινου καφέ χρησιμοποιήθηκε για τη σύγκριση των δύο σκευασμάτων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι στα λιπιδικά κλάσματα SCG και πράσινου καφέ, το παλμιτικό (C_{16:0}) και το λινολεϊκό οξύ (C_{18:2}) ήταν τα κυριότερα λιπαρά οξέα που προσδιορίστηκαν ποσοτικά. Αυτά τα δύο λιπαρά οξέα αποτελούσαν σχεδόν το 80% του συνόλου των λιπαρών οξέων. Μη ιονικές κρέμες ελαίου σε νερό που περιέχουν 10% κ.β. λιπίδια καφέ παρασκευάστηκαν ως

εξής: SpentCofOil με 10% κ.β. χρησιμοποιημένου καφέ και εκχύλισμα λιπιδίων καφέ, κρέμα GreenCofOil με 10% κ.β. έλαιο πράσινου καφέ και κρέμα NoCofOil χωρίς λιπίδια καφέ. Για την παρασκευή των κρεμών, οι λιπαρές και υδατικές φάσεις που περιέχουν καθαρό νερό και προπυλενογλυκόλη, θερμάνθηκαν χωριστά μέχρι να φτάσουν τους 75°C, στη συνέχεια η λιπαρή φάση προστέθηκε στην υδατική φάση και το σύστημα υπέστη συνεχή ανάδευση έως ότου η θερμοκρασία φτάσει τους 30°C. Οι δύο κρέμες αύξησαν εξίσου, την ενυδάτωση του δέρματος και τα επίπεδα σμήγματος, γεγονός που υποδηλώνει ότι βελτιώθηκαν οι ιδιότητες φραγμού του δέρματος. (Ribeiro et al., 2013)

Επιπλέον, λιπαρά οξέα, όπως το λινολεϊκό (C_{18:2}), το λινολενικό (C_{18:3}), το μυριστικό (C_{14:0}), το ελαϊκό (C_{18:1}), το παλμιτικό (C_{16:0}) και το στεατικό (C_{18:0}) οξύ, έχουν αναφερθεί στη βιβλιογραφία ως ενισχυτές της διείσδυσης στο δέρμα για τοπικά και διαδερμικά σκευάσματα. Οι εν λόγω παράγοντες μπορούν να αυξήσουν τη διαπερατότητα του δέρματος διαταράσσοντας τη κεράτινη στιβάδα, σχηματίζοντας διαλυμένα σύμπλοκα, αυξάνοντας τη διαχυτότητα της ένωσης και βελτιώνοντας τη κατανομή μέσω του δερματικού φραγμού. (Rodrigues et al., 2017)

Η επίδραση ενίσχυσης ενός μικρογαλακτώματος ελαίου σε νερό (O/W) ήταν μεγαλύτερη από εκείνη ενός μικρογαλακτώματος νερού σε έλαιο (W/O), ενδεχομένως λόγω της μεγαλύτερης αύξησης της διαλυτότητας. Η προεπεξεργασία του ραχιαίου δέρματος ινδικών χοιριδίων με γέλη μικρογαλακτώματος που περιέχει χλωρογενικό οξύ απέτρεψε το σχηματισμό ερυθρήματος που προκλήθηκε από υπεριώδη ακτινοβολία. Τα ευρήματα αυτά υποδεικνύουν τη δυνητική χρήση του υδρόφιλου χλωρογενικού οξέος με μικρογαλάκτωμα O/W ως φορέα για τη προστασία του δέρματος από την επαγόμενη από την υπεριώδη ακτινοβολία οξειδωτική βλάβη. (Kitagawa et al., 2011)

Τα υποπροϊόντα του καφέ, όπως ο φλοιός, η φλούδα και ο πολτός του καφέ μπορούν να παρουσιάσουν περιεκτικότητα σε ανόργανα άλατα περίπου 11%. Οι SCG και το CS παρουσιάζουν μεταξύ 1% και 5%, αντίστοιχα, ανόργανα άλατα. Το κάλιο είναι το σημαντικότερο μέταλλο που υπάρχει και στα δύο υποπροϊόντα, ακολουθούμενο από το μαγνήσιο και το φώσφορο στους SCG, το ασβέστιο και το μαγνήσιο στο CS. Οι ανόργανες ενώσεις σχετίζονται με το NMF, το οποίο με τη σειρά του συσχετίζεται με την κατάσταση ενυδάτωσης, την ακαμψία και το pH της κεράτινης στιβάδας. (Rodrigues et al., 2017)

Άλλες εφαρμογές

Γενικότερα, πολλοί μύκητες και ζυμομύκητες έχουν την ικανότητα να παράγουν νέες ενώσεις σε ένα πρόσθετο υπόστρωμα ή πρόδρομη ένωση. Η χρήση των υποπροϊόντων του καφέ ως υποστρώματα σε βιοτεχνολογικές διεργασίες

φαίνεται να είναι μια πολύτιμη εναλλακτική λύση. Ειδικότερα, οι Bonilla-Hermosa et al. (2014) εξέτασαν υπολείμματα καφέ για την παραγωγή ενώσεων αρώματος/γεύσης που θα μπορούσαν να είναι ενδιαφέρουσες για τις βιομηχανίες τροφίμων και καλλυντικών. Τα επιλεγμένα στελέχη ζυμομυκήτων εμβολιάστηκαν σε ένα μέσο ζύμωσης που περιέχει πούλπα καφέ και απόβλητα καφέ. Οι πηκτικές ενώσεις αναλύθηκαν και 35 ενώσεις που αντιστοιχούν σε 6 ομάδες πηκτικών ενώσεων ταυτοποιήθηκαν ως εξής: ανώτερες αλκοόλες, οξικοί εστέρες, αιθυλεστέρες, αλδεΰδες, τερπένια και πηκτικά οξέα. Μεταξύ των ενώσεων, η 2-φαινυλαιθανόλη παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, λόγω της οσμής της που μοιάζει με τριαντάφυλλο. Οι χαρακτηριστικές ευχάριστες φρουτώδεις νότες αποδίδονται στους οξικούς εστέρες και τους αιθυλεστέρες, ενώ τα τερπένια θεωρούνται ευχάριστα αρώματα λόγω των αποδιδόμενων λουλουδένιων και φρουτωδών νοτών τους.

Όπως αναφέρθηκε πριν για την αξιοποίηση των πράσινων κόκκων καφέ σε καλλυντικά ότι δε χρησιμοποιούνται λόγω του περιορισμού της βιοδιαθεσιμότητας των συστατικών που περιέχουν, συγκεκριμένα των φαινολικών ενώσεων, μελετητές ενδιαφέρονται να ενισχύσουν το αντιοξειδωτικό δυναμικό τους μέσω διαφόρων βιοχημικών διεργασιών. Συγκεκριμένα, μέσω της ζύμωσης στερεάς κατάστασης, χρησιμοποιώντας τον κατάλληλο μικροοργανισμό, *Aspergillus oryzae* και για 24 ώρες, αυξάνεται η ποσότητα των αντιοξειδωτικών συστατικών. Έτσι, δημιουργείται ένα εκχύλισμα πλούσιο σε φαινολικές ενώσεις, κατάλληλο για πιθανή εφαρμογή στις βιομηχανίες καλλυντικών. (Palmieri et al., 2018)

Οι SCG, λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς τους σε λιπίδια, θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν επίσης σε καλλυντικά προϊόντα επειδή, οι ιδιότητες φραγμού της κεράτινης στιβάδας του δέρματος, εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την ανέπαφη κατάσταση των λιπιδικών ελασμάτων που περιβάλλουν τα κερατινοκύτταρα. Η χρήση του λιπιδικού κλάσματος του SCG που εξάγεται με υπερκρίσιμο διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) στην ανάπτυξη νέων καλλυντικώνσκευασμάτων με βελτιωμένα λιπίδια του δέρματος (σμήγμα) και ενυδάτωσης είναι μία πολλά υποσχόμενη πρόταση. Επίσης, γαλάκτωμα που περιέχει 10% του λιπιδικού κλάσματος SCG, παρουσιάζει ευοίωνα χαρακτηριστικά στη βελτίωση των επιπέδων σμήγματος του δέρματος, συγκριτικά με γαλάκτωμα που περιέχει 10% κ.β. λάδι πράσινου καφέ και ένα ψευδοφάρμακο χωρίς έλαιο καφέ. (Ribeiro et al., 2013)

Χρησιμοποιώντας ως διαλύτη συμπυκνωμένη μεθανόλη για την εκχύλιση ανθοκυανινών, από τον φλοιό του καφέ, ο φλοιός του καφέ θα μπορούσε να αποτελέσει πηγή φυσικής χρωστικής σε βιομηχανίες καλλυντικών. Η κύρια ανθοκυανίνη του φλοιού καφέ είναι η κυανιδίνη-3-ρουτινοσίδη. Συγκεκριμένα, η περιεκτικότητα των ανθοκυανινών και το προφίλ των φρέσκων φλοιών του καφέ

(εξωτερική φλούδα και πολτός) διερευνήθηκαν με υπεριώδη φασματοφωτομετρία και ανάλυση HPLC-DAD. Δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές στην περιεκτικότητα σε ανθοκυανίνες μεταξύ των πέντε ποικιλιών καφέ που μελετήθηκαν (Red Arabica). Η κυανιδίνη 3-ρουτινοσίδη ήταν η κυριότερη ανθοκυανίνη που συναντήθηκε στα εκχυλίσματα, ακολουθούμενη από μικρή ποσότητα κυανιδίνης 3-γλυκοσίδης. Και οι δύο ανθοκυανίνες διαπιστώθηκε ότι δεν είναι ακυλιωμένες με αλειφατικά οξέα. Λόγω των μεγάλων ποσοτήτων καφέ που παράγονται ετησίως στη Βραζιλία, ο φλοιός του καφέ έχει μεγάλη δυναμική ως οικονομική πηγή ανθοκυανινών. (Prata & Oliveira, 2007)

Τέλος, κάποιοι ερευνητές έδειξαν στοιχεία ότι η θερμογένεση των καφέ λιποκυττάρων, μια λειτουργία που είναι απενεργοποιημένη στους ανθρώπους, μπορεί να διεγερθεί από το χλωρογενικό οξύ, μέσω της διέγερσης της σύνθεσης των μιτοχονδρίων και της λειτουργίας και την προώθηση της πρόσληψης γλυκόζης. Το εύρημα αυτό θα μπορούσε να παρέχει μια αποτελεσματική μέθοδο για τη θεραπεία μεταβολικών ασθενειών στον άνθρωπο. (Santos et al., 2021)

Συμπεράσματα

Συνοπτικά, στην προσπάθεια αξιοποίησης υποπροϊόντων που προέρχονται από διάφορα τρόφιμα εντάσσεται και ο καφές. Όπως αναπτύχθηκε και παραπάνω, τα υποπροϊόντα που προκύπτουν από την επεξεργασία του καφέ παρουσιάζονται ιδιαίτερος αξιοποιήσιμα και ωφέλιμα τόσο με την ενσωμάτωση των συστατικών τους σε τρόφιμα όσο και σε καλλυντικά. Ειδικότερα, η επεξεργασία του καφέ ξεκινά από τη συγκομιδή του καρπού, την οποία διαδέχονται στάδια από τα οποία προκύπτουν και τα διάφορα υποπροϊόντα. Ενδεικτικά, στα στάδια αυτά ανήκουν ο καθαρισμός, η διαλογή, η ταξινόμηση με βάση τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά τους, η ξηρή ή υγρή επεξεργασία κ.ά.

Αξίζει να σημειωθεί ότι, τα υποπροϊόντα επεξεργασίας καφέ μπορούν να αποτελέσουν πηγή βιολειτουργικών αλλά και, θρεπτικών συστατικών στη βιομηχανία τροφίμων και καλλυντικών. Στα υποπροϊόντα της επεξεργασίας του καφέ ανήκουν ο καρπός του καφέ, οι χρησιμοποιημένοι κόκκοι καφέ (SCG), ο φλοιός του καφέ, η ασημένια επιδερμίδα (CS), ο πολτός του καφέ, το ενδοκάρπιο αλλά και, οι μη ώριμοι και ελαττωματικοί κόκκοι καφέ. Τα υποπροϊόντα αυτά είναι πλούσια σε βιοενεργά συστατικά, τα οποία ανακτώνται με τη μέθοδο εκχύλισης ή/και συνδυαστικών μεθόδων, όπως εκχύλιση Soxhlet, υπερκρίσιμη εκχύλιση κ.α., αλλά και σε πλήθος άλλων συστατικών που καθορίζουν τη δράση των υποπροϊόντων αυτών. Συγκεκριμένα, η δράση τους μπορεί να είναι μεταξύ άλλων αντιοξειδωτική, αντιμικροβιακή, αντιφλεγμονώδης, αντιρυτιδική, αντηλιακή, γαλακτωματοποιητική, αντικυτταριτιδική και ενυδατική. Υπεύθυνα συστατικά των υποπροϊόντων για τις προαναφερθείσες δράσεις είναι τα χλωρογενικά οξέα, οι ανθοκυανίνες, οι μελανοϊδίνες, τα οποία ανήκουν στη κατηγορία των φαινολικών ενώσεων, η καφεΐνη, η τριγονελλίνη και οι διαιτητικές ίνες. Η ποσότητα των θρεπτικών συστατικών που περιέχουν τα υποπροϊόντα του καφέ, είναι ανάλογη του είδους καφέ, της γεωγραφικής προέλευσης και της μεθόδου της οποίας υπόκεινται.

Η ανάκτηση των βιοδραστικών συστατικών, με τη σειρά της, αποσκοπεί όχι μόνο στην αύξηση της προστιθέμενης αξίας, αλλά και στη μείωση του κόστους διαχείρισης των αποβλήτων και της διάθεσης μεγάλου όγκου υπολειμμάτων. Η εκχύλιση αποτελεί το πιο σημαντικό στάδιο της ανάκτησης των βιοενεργών συστατικών, η οποία εξαρτάται, κατά κύριο λόγο, από την επιλογή των διαλυτών. Ανάλογα με το ζητούμενο ανακτώμενο συστατικό και το υποπροϊόν που διατίθεται ως υπόστρωμα, εκτελείται και η αντίστοιχη μέθοδος. Περιληπτικά, τα φαινολικά συστατικά ανακτώνται από τους SCG, το CS, τον πολτό του καφέ ή τον φλοιό του καφέ και η καφεΐνη, όπως και το έλαιο καφέ, από τους SCG. Παρόλο που, οι περισσότερες μελέτες αναφέρονται στις δυνατότητες αξιοποίησης των υποπροϊόντων

του καφέ σε τρόφιμα και καλλυντικά, ο φλοιός του καφέ, το CS, οι SCG και ο πολτός του καφέ μπορούν να αξιοποιηθούν και σε άλλους τομείς, όπως πηγή ενέργειας, παραγωγή βιοκαυσίμων, ζωοτροφών, εξαγωγή ενζύμων κ.ά.

Πλέον, ολοένα και περισσότερο, γίνεται μία προσπάθεια στις βιομηχανίες τροφίμων για δημιουργία μιας αλυσίδας αξιοποίησης υποπροϊόντων, με στόχο την παραγωγή τροφίμων ασφαλών για ανθρώπινη κατανάλωση. Έρευνες και εργαστηριακές δοκιμές έδειξαν ότι τα υποπροϊόντα του καφέ δύνανται να εμπλουτίσουν τρόφιμα από διάφορους κλάδους. Συγκεκριμένα, έχουν δοκιμαστεί σε προϊόντα ζαχαροπλαστικής και αρτοποιίας, καθώς και σε ροφήματα, αλκοολούχα ποτά, μαρμελάδες, τσίχλες, σνακ και χυμούς. Ο υψηλός αριθμός σε αντιοξειδωτικά συστατικά, σε διαιτητικές ίνες, σε χλωρογενικά οξέα, σε πηκτίνη, σε χρωστικές ουσίες, σε πτηνικές ενώσεις, σε φαινόλες, καθώς και η αντιμικροβιακή δράση τους, η μικροβιολογική σταθερότητά τους και η γαλακτωματοποιητική τους ικανότητα, αποτελούν τους λόγους που κεντρίζουν το ενδιαφέρον για ενσωμάτωση και αξιοποίηση. Επίσης, σημαντικό ρόλο διαδραματίζει και το οργανοληπτικό προφίλ που ευνοείται από τη χρήση υποπροϊόντων, δημιουργώντας προϊόντα αποδεκτά από τον καταναλωτή.

Η αξιοποίηση των υποπροϊόντων του καφέ, πέρα από τα παραπάνω, πλέον προσφέρεται και στις βιομηχανίες καλλυντικών, δημιουργώντας έτσι, προϊόντα κατά της γήρανσης και κυτταρίτιδας αλλά και σύσφιξης του δέρματος και αναγέννησης τρίχας. Κάποια προϊόντα υπάρχουν στο εμπόριο ήδη, όπως αντηλιακά προϊόντα με εκχυλίσμα ελαίου καφέ ενώ για άλλα, μελετάται η αξιοποίησή τους λόγω κάποιων περιορισμών π.χ. οι διάφοροι ερευνητές δεν συμφωνούσαν ως προς τα αποτελέσματα ή τα εκχυλίσματα του καφέ, συγκεκριμένα του CS, να φέρουν ανεπιθύμητες ενώσεις (ωχρατοξίνη A) και προϊόντα οξειδωσης (φυτοστερόλη). Τα πιο πολύτιμα βιοδραστικά συστατικά φαίνεται να είναι τα χλωρογενικά οξέα, αφού σε κάθε έρευνα δείχνουν να είναι παρόντα, προσδίδοντας στα τελικά προϊόντα τις ζητούμενες ιδιότητες. Συνοπτικά, οι εφαρμογές στη βιομηχανία των καλλυντικών αφορούν:

- την αντιοξειδωτική και αντιφλεγμονώδη δραστηριότητα με τη χρήση εκχυλισμάτων CS και SCG, χάρη στη δράση των φαινολικών συστατικών
- την αντιγηραντική δραστηριότητα λόγω της ανασταλτικής δράσης της υαλουρονιδάσης με τη χρήση εκχυλισμάτων CS
- την αντιμικροβιακή δραστηριότητα με τη χρήση εκχυλισμάτων CS και SCG και του ελαίου καφέ, χάρη στη δράση της καφεΐνης, των μελανοϊδινών και των χλωρογενικών οξέων

- την αντηλιακή δραστηριότητα με εφαρμογή τοπικής καφεΐνης, με τη χρήση ελαίου καφέ, χάρη στα στα χλωρογενικά οξέα
- τη παραγωγή βοηθητικών ροφημάτων για απώλεια βάρους με τη χρήση εκχυλισμάτων CS, ή των πράσινων κόκκων λόγω των αντιοξειδωτικών συστατικών τους
- τη παραγωγή (φρουτωδών) αρωμάτων από τον φλοιό του καφέ
- την αντικυτταριδική δράση όπως και τη δράση κατά της τριχόπτωσης με τη χρήση καφεΐνης
- τις γαλακτωματοποιητικές ιδιότητες με τη χρήση εκχυλισμάτων SCG και ελαίου πράσινου καφέ, λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς τους σε λιπίδια και
- τη χρήση ανθοκυανινών, προερχόμενες από τον φλοιό του καφέ, ως φυσική χρωστική.

Τελικά, η αξιοποίηση των υποπροϊόντων καφέ αποτελεί μία νέα, διαρκώς εξελισσόμενη πρόκληση για τους ερευνητές. Σε ορισμένες περιπτώσεις οι έρευνες έχουν ευδοκιμήσει και νέα, καινοτόμα προϊόντα έχουν εισχωρήσει στην αγορά. Εντούτοις, ακόμα εκκρεμεί η έγκριση για τη διάθεση κάποιων προϊόντων προς ασφαλή κατανάλωση. Επίσης, εξακολουθούν να πραγματοποιούνται έρευνες και δοκιμές για καινοτόμα προϊόντα ενισχυμένα με υποπροϊόντα του καφέ, τα οποία θα είναι σύμφωνα με τις καταναλωτικές ανάγκες. Τόσο ο τομέας των καλλυντικών, όσο και των τροφίμων δείχνουν πολλά υποσχόμενοι για την αξιοποίηση των υποπροϊόντων του καφέ. Ωστόσο, απαιτείται ιδιαίτερη επιμονή και προσοχή προκειμένου να απορριφθούν σενάρια τοξικότητας και παρενεργειών.

Βιβλιογραφικές αναφορές

Acevedo, F., Rubilar, M., Scheuermann, E., Cancino, B., Uquiche, E., Garcés, M., Inostroza, K., & Shene, C. (2013). Spent Coffee Grounds as a Renewable Source of Bioactive Compounds. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, 7(3), 420–428. <https://doi.org/10.1166/jbmb.2013.1369>

Affonso, R. C. L., Voytena, A. P. L., Fanan, S., Pitz, H., Coelho, D. S., Horstmann, A. L., Pereira, A., Uarrota, V. G., Hillmann, M. C., Varela, L. A. C., Ribeiro-do-Valle, R. M., & Maraschin, M. (2016). Phytochemical Composition, Antioxidant Activity, and the Effect of the Aqueous Extract of Coffee (*Coffea arabica* L.) Bean Residual Press Cake on the Skin Wound Healing. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2016, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2016/1923754>

Aristizábal, M., V., Chacón-Perez, Y., Alzate, C., A., C. (2017). Chapter 3 - The biorefinery concept for the industrial valorization of coffee processing by-products, *Charis M. Galanakis, Handbook of Coffee Processing By-Products, Academic Press*, 63-92. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811290-8.00003-7>

Ballesteros, L. F., Teixeira, J. A., & Mussatto, S. I. (2014). Chemical, Functional, and Structural Properties of Spent Coffee Grounds and Coffee Silverskin. *Food and Bioprocess Technology*, 7(12), 3493–3503. <https://doi.org/10.1007/s11947-014-1349-z>

Barbosa, H. M. A., de Melo, M. M. R., Coimbra, M. A., Passos, C. P., & Silva, C. M. (2014). Optimization of the supercritical fluid coextraction of oil and diterpenes from spent coffee grounds using experimental design and response surface methodology. *The Journal of Supercritical Fluids*, 85, 165–172. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2013.11.011>

Bekalo, S. A., & Reinhardt, H.-W. (2010). Fibers of coffee husk and hulls for the production of particleboard. *Materials and Structures*, 43(8), 1049–1060. <https://doi.org/10.1617/s11527-009-9565-0>

Belmiro, R. H., Oliveira, L. de C., Geraldi, M. V., Maróstica Junior, M. R., & Cristianini, M. (2021). Modification of coffee coproducts by-products by dynamic high pressure, acetylation and hydrolysis by cellulase: A potential functional and sustainable food ingredient. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 68. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102608>

Belščak-Cvitanović, A. (2017). Chapter 4—Extraction and formulation of bioactive compounds. *Handbook of Coffee Processing By-Products; Sustainable Applications*, 93-132.

Bessada, S., Rita C. Alves, & M. P. P. Oliveira. (2018). Coffee Silverskin: A Review on Potential Cosmetic Applications. *Cosmetics*, 5(1). <https://doi.org/10.3390/cosmetics5010005>

Bobillo, C., Finlayson, G., Martínez, A., Fischman, D., Beneitez, A., Ferrero, A. J., Fernández, B. E., & Mayer, M. A. (2018). Short-term effects of a green coffee extract-, Garcinia c ambogia- and l-carnitine-containing chewing gum on snack intake and appetite regulation. *European Journal of Nutrition*, 57(2), 607–615. <https://doi.org/10.1007/s00394-016-1347-1>

Bravo, J., Juárez, I., Monente, C., Caemmerer, B., Kroh, L. W., De Peña, M. P., & Cid, C. (2012). Evaluation of Spent Coffee Obtained from the Most Common Coffeemakers as a Source of Hydrophilic Bioactive Compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(51), 12565–12573. <https://doi.org/10.1021/jf3040594>

Buck, N., Wohlt, D., Winter, A. R., & Ortner, E. (2021). Aroma-Active Compounds in Robusta Coffee Pulp Puree—Evaluation of Physicochemical and Sensory Properties. *Molecules*, 26(13). <https://doi.org/10.3390/molecules26133925>

Carvalho, A. G. S., Silva, V. M., & Hubinger, M. D. (2014). Microencapsulation by spray drying of emulsified green coffee oil with two-layered membranes. *Food Research International*, 61, 236–245. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.08.012>

Chiari, B. G., Trovatti, E., Pecoraro, É., Corrêa, M. A., Cicarelli, R. M. B., Ribeiro, S. J. L., & Isaac, V. L. B. (2014). Synergistic effect of green coffee oil and synthetic sunscreen for health care application. *Industrial Crops and Products*, 52, 389–393. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.11.011>

Cho, Y.-H., Bahuguna, A., Kim, H.-H., Kim, D., Kim, H.-J., Yu, J.-M., Jung, H.-G., Jang, J.-Y., Kwak, J.-H., Park, G.-H., Kwon, O., Cho, Y. J., An, J. Y., Jo, C., Kang, S. C., & An, B.-J. (2017). Potential effect of compounds isolated from *Coffea arabica* against UV-B induced skin damage by protecting fibroblast cells. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 174, 323–332. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2017.08.015>

Choi, H.-S., Park, E. D., Park, Y., Han, S. H., Hong, K. B., & Suh, H. J. (2016). Topical application of spent coffee ground extracts protects skin from ultraviolet B-induced photoaging in hairless mice. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 15(6), 779–790. <https://doi.org/10.1039/C6PP00045B>

Colucci Cante, R., Garella, I., Gallo, M., & Nigro, R. (2021). Effect of moisture content on the extraction rate of coffee oil from spent coffee grounds using

Norflurane as solvent. *Chemical Engineering Research and Design*, 165, 172–179.
<https://doi.org/10.1016/j.cherd.2020.11.002>

Correa, R. (2012). Cost Inflation and Price Inflation. *South Asian Journal of Macroeconomics and Public Finance*, 1(1), 15–24.
<https://doi.org/10.1177/227797871200100103>

Costa, A. S. G., Alves, R. C., Vinha, A. F., Costa, E., Costa, C. S. G., Nunes, M. A., Almeida, A. A., Santos-Silva, A., & Oliveira, M. B. P. P. (2018). Nutritional, chemical and antioxidant/pro-oxidant profiles of silverskin, a coffee roasting by-product. *Food Chemistry*, 267, 28–35.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.106>

Cruz, R., Cardoso, M. M., Fernandes, L., Oliveira, M., Mendes, E., Baptista, P., Morais, S., & Casal, S. (2012). Espresso Coffee Residues: A Valuable Source of Unextracted Compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(32), 7777–7784. <https://doi.org/10.1021/jf3018854>

del Castillo, M., D., Iriondo-DeHond, A., Martinez-Saez, N., Fernandez-Gomez, B., Iriondo-DeHond, M., Zhou, J., R. (2017). Chapter 6 - Applications of recovered compounds in food products, *Handbook of Coffee Processing By-Products*, Charis M. Galanakis, Academic Press, 171-194.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811290-8.00006-2>.

del Pozo, C., Bartrolí, J., Alier, S., Puy, N., & Fàbregas, E. (2020). Production of antioxidants and other value-added compounds from coffee silverskin via pyrolysis under a biorefinery approach. *Waste Management*, 109, 19–27.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.04.044>

del Pozo, C., Rego, F., Yang, Y., Puy, N., Bartrolí, J., Fàbregas, E., & Bridgwater, A. V. (2021). Converting coffee silverskin to value-added products by a slow pyrolysis-based biorefinery process. *Fuel Processing Technology*, 214.
<https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2020.106708>

Esquivel, P., & Jiménez, V. M. (2012). Functional properties of coffee and coffee by-products. *Food Research International*, 46(2), 488–495.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.05.028>

European Food Safety Authority (EFSA). (2020). Technical Report on the notification of infusion from coffee leaves (*Coffea arabica* L. and/or *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner) as a traditional food from a third country pursuant to Article 14 of Regulation (EU) 2015/2283. *EFSA Supporting Publications*, 17(2).
<https://doi.org/10.2903/sp.efsa.2020.EN-1783>

Franca, A. S., & Oliveira, L. S. (2009). Chapter 8 – Coffee processing solid wastes: Current uses and future perspectives, *Agricultural wastes*, Geoffrey S. Ashworth and Pablo Azevedo, 155-189.

Franca, A. S., & Oliveira, L. S. (2019). Coffee. In *Integrated Processing Technologies for Food and Agricultural By-Products*. Zhongli Pan, Ruihong Zhang, Steven Zicari, *Integrated Processing Technologies for Food and Agricultural By-Products*, Academic Press, (pp. 413–438). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814138-0.00017-4>

Furusawa, M., Narita, Y., Iwai, K., Fukunaga, T., & Nakagiri, O. (2011). Inhibitory Effect of a Hot Water Extract of Coffee “Silverskin” on Hyaluronidase. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 75(6), 1205–1207. <https://doi.org/10.1271/bbb.110106>

Garcia-Serna, E., Martinez-Saez, N., Mesias, M., Morales, F., & Castillo, M. (2014). Use of Coffee Silverskin and Stevia to Improve the Formulation of Biscuits. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 64(4), 243–251. <https://doi.org/10.2478/pjfn-2013-0024>

Hamishehkar, H., Shokri, J., Fallahi, S., Jahangiri, A., Ghanbarzadeh, S., & Kouhsoltani, M. (2015). Histopathological evaluation of caffeine-loaded solid lipid nanoparticles in efficient treatment of cellulite. *Drug Development and Industrial Pharmacy*, 41(10), 1640–1646. <https://doi.org/10.3109/03639045.2014.980426>

Hoseini, M., Cocco, S., Casucci, C., Cardelli, V., & Corti, G. (2021). Coffee by-products derived resources. A review. *Biomass and Bioenergy*, 148. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2021.106009>

Iriondo-DeHond, A., Aparicio García, N., Fernandez-Gomez, B., Guisantes-Batan, E., Velázquez Escobar, F., Blanch, G. P., San Andres, M. I., Sanchez-Fortun, S., & del Castillo, M. D. (2019). Validation of coffee by-products as novel food ingredients. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 51, 194–204. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.06.010>

Iriondo-DeHond, A., Martorell, P., Genovés, S., Ramón, D., Stamatakis, K., Fresno, M., Molina, A., & del Castillo, M. (2016). Coffee Silverskin Extract Protects against Accelerated Aging Caused by Oxidative Agents. *Molecules*, 21(6). <https://doi.org/10.3390/molecules21060721>

Jiménez-Zamora, A., Pastoriza, S., & Rufián-Henares, J. A. (2015). Revalorization of coffee by-products. Prebiotic, antimicrobial and antioxidant properties. *LWT - Food Science and Technology*, 61(1), 12–18. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.11.031>

Kitagawa, S., Yoshii, K., Morita, S., & Teraoka, R. (2011). Efficient Topical Delivery of Chlorogenic Acid by an Oil-in-Water Microemulsion to Protect Skin against UV-Induced Damage. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, 59(6), 793–796. <https://doi.org/10.1248/cpb.59.793>

Klingel, T., Kremer, J. I., Gottstein, V., Rajcic de Rezende, T., Schwarz, S., & Lachenmeier, D. W. (2020). A Review of Coffee By-Products Including Leaf, Flower, Cherry, Husk, Silver Skin, and Spent Grounds as Novel Foods within the European Union. *Foods*, 9(5). <https://doi.org/10.3390/foods9050665>

Lephart, E. D. (2016). Skin aging and oxidative stress: Equol's anti-aging effects via biochemical and molecular mechanisms. *Ageing Research Reviews*, 31, 36–54. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2016.08.001>

López-Barrera, D. M., Vázquez-Sánchez, K., Loarca-Piña, Ma. G. F., & Campos-Vega, R. (2016). Spent coffee grounds, an innovative source of colonic fermentable compounds, inhibit inflammatory mediators in vitro. *Food Chemistry*, 212, 282–290. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.175>

Lopez-Torres, M., Thiele, J. J., Shindo, Y., Han, D., & Packer, L. (1998). Topical application of a-tocopherol modulates the antioxidant network and diminishes ultraviolet-induced oxidative damage in murine skin. *British Journal of Dermatology*, 9, 207-215.

Loukri, A., Tsitlakidou, P., Goula, A., Assimopoulou, A. N., Kontogiannopoulos, K. N., & Mourtzinou, I. (2020). Green Extracts from Coffee Pulp and Their Application in the Development of Innovative Brews. *Applied Sciences*, 10(19). <https://doi.org/10.3390/app10196982>

Louzada Pereira, L., & Rizzo Moreira, T. (Eds.). (2021). *Quality Determinants In Coffee Production*. Springer International Publishing. 1-64, 303-372 <https://doi.org/10.1007/978-3-030-54437-9>

Lu, Y.-P., Lou, Y.-R., Xie, J.-G., Peng, Q.-Y., Liao, J., Yang, C. S., Huang, M.-T., & Conney, A. H. (2002). Topical applications of caffeine or (-)-epigallocatechin gallate (EGCG) inhibit carcinogenesis and selectively increase apoptosis in UVB-induced skin tumors in mice. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(19), 12455–12460. <https://doi.org/10.1073/pnas.182429899>

Martinez-Saez, N., García, A. T., Pérez, I. D., Rebollo-Hernanz, M., Mesías, M., Morales, F. J., Martín-Cabrejas, M. A., & del Castillo, M. D. (2017). Use of spent coffee grounds as food ingredient in bakery products. *Food Chemistry*, 216, 114–122. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.173>

Martinez-Saez, N., Ullate, M., Martín-Cabrejas, M. A., Martorell, P., Genovés, S., Ramon, D., & del Castillo, M. D. (2014). A novel antioxidant beverage for body

weight control based on coffee silverskin. *Food Chemistry*, *150*, 227–234. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.10.100>

Marto, J., Gouveia, L. F., Chiari, B. G., Paiva, A., Isaac, V., Pinto, P., Simões, P., Almeida, A. J., & Ribeiro, H. M. (2016). The green generation of sunscreens: Using coffee industrial sub-products. *Industrial Crops and Products*, *80*, 93–100. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.11.033>

Mazzafera, P. (2012). Which is the by-product: Caffeine or decaf coffee? *Food and Energy Security*, *1*(1), 70–75. <https://doi.org/10.1002/fes3.4>

Miito, G. J., & Banadda, N. (2017). A short review on the potential of coffee husk gasification for sustainable energy in Uganda. *F1000Research*, *6*, 1809. <https://doi.org/10.12688/f1000research.10969.1>

Mirón-Mérida, V. A., Yáñez-Fernández, J., Montañez-Barragán, B., & Barragán Huerta, B. E. (2019). Valorization of coffee parchment waste (*Coffea arabica*) as a source of caffeine and phenolic compounds in antifungal gellan gum films. *LWT*, *101*, 167–174. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.11.013>

Mujica Ascencio, S., Choe, C., Meinke, M. C., Müller, R. H., Maksimov, G. V., Wigger-Alberti, W., Lademann, J., & Darvin, M. E. (2016). Confocal Raman microscopy and multivariate statistical analysis for determination of different penetration abilities of caffeine and propylene glycol applied simultaneously in a mixture on porcine skin ex vivo. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, *104*, 51–58. <https://doi.org/10.1016/j.ejpb.2016.04.018>

Murthy, P. S., & Madhava Naidu, M. (2012). Sustainable management of coffee industry by-products and value addition—A review. *Resources, Conservation and Recycling*, *66*, 45–58. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.06.005>

Mussatto, S. I., Machado, E. M. S., Martins, S., & Teixeira, J. A. (2011). Production, Composition, and Application of Coffee and Its Industrial Residues. *Food and Bioprocess Technology*, *4*(5), 661–672. <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0565-z>

Nzekoue, F., Kamgang, K., Khamitova, G., Angeloni, S., Sempere, A. N., Tao, J., Maggi, F., Xiao, J., Sagratini, G., Vittori, S., & Caprioli, G. (2020). Spent coffee grounds: A potential commercial source of phytosterols. *Food Chemistry*, *325*. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126836>

Opinion of the Scientific Panel on contaminants in the food chain [CONTAM] related to ochratoxin A in food. (2006). *EFSA Journal*, *EFSA Journal*. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2006.365>

Otberg, N., Patzelt, A., Rasulev, U., Hagemeister, T., Linscheid, M., Sinkgraven, R., Sterry, W., & Lademann, J. (2008). The role of hair follicles in the

percutaneous absorption of caffeine. *British Journal of Clinical Pharmacology*, 65(4), 488–492. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2125.2007.03065.x>

Palmieri, M. G. S., Cruz, L. T., Bertges, F. S., Húngaro, H. M., Batista, L. R., da Silva, S. S., Fonseca, M. J. V., Rodarte, M. P., Vilela, F. M. P., & Amaral, M. da P. H. do. (2018). Enhancement of antioxidant properties from green coffee as promising ingredient for food and cosmetic industries. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 16, 43–48. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2018.07.011>

Pourfarzad, A., Mahdavian-Mehr, H., & Sedaghat, N. (2013). Coffee silverskin as a source of dietary fiber in bread-making: Optimization of chemical treatment using response surface methodology. *LWT - Food Science and Technology*, 50(2), 599–606. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.08.001>

Prata, E. R. B. A., & Oliveira, L. S. (2007). Fresh coffee husks as potential sources of anthocyanins. *LWT - Food Science and Technology*, 40(9), 1555–1560. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2006.10.003>

Ramalakshmi, K., Rao, L. J. M., Takano-Ishikawa, Y., & Goto, M. (2009). Bioactivities of low-grade green coffee and spent coffee in different in vitro model systems. *Food Chemistry*, 115(1), 79–85. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.11.063>

Ramirez-Coronel, M. A., Marnet, N., Kolli, V. S. K., Roussos, S., Guyot, S., & Augur, C. (2004). Characterization and Estimation of Proanthocyanidins and Other Phenolics in Coffee Pulp (*Coffea arabica*) by Thiolytic–High-Performance Liquid Chromatography. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(5), 1344–1349. <https://doi.org/10.1021/jf035208t>

Ramirez-Martinez, J. R. (1988). Phenolic compounds in coffee pulp: Quantitative determination by HPLC. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 43(2), 135–144. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740430204>

Rattan, S., Parande, A. K., Nagaraju, V. D., & Ghiwari, G. K. (2015). A comprehensive review on utilization of wastewater from coffee processing. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(9), 6461–6472. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4079-5>

Reichembach, L. H., & de Oliveira Petkowicz, C. L. (2020). Extraction and characterization of a pectin from coffee (*Coffea arabica* L.) pulp with gelling properties. *Carbohydrate Polymers*, 245. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116473>

Reverchon, E., Kaziunas, A., & Marrone, C. (2000). Supercritical CO₂ extraction of hiprose seed oil: experiments and mathematical modelling. *Chemical*

Engineering Science, 55(12), 2195-2201. [https://doi.org/10.1016/S0009-2509\(99\)00519-9](https://doi.org/10.1016/S0009-2509(99)00519-9)

Ribeiro, H., Marto, J., Raposo, S., Agapito, M., Isaac, V., Chiari, B. G., Lisboa, P. F., Paiva, A., Barreiros, S., & Simões, P. (2013). From coffee industry waste materials to skin-friendly products with improved skin fat levels. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 115(3), 330–336. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201200239>

Rodrigues, F., Nunes, M. A., Alves, R. C., Oliveira, M, B, P. P. (2017) Chapter 7 - Applications of recovered bioactive compounds in cosmetics and other products, Charis M. Galanakis, *Handbook of Coffee Processing By-Products*, Academic Press, 195-220. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811290-8.00007-4>

Sampaio, A., Dragone, G., Vilanova, M., Oliveira, J. M., Teixeira, J. A., & Mussatto, S. I. (2013). Production, chemical characterization, and sensory profile of a novel spirit elaborated from spent coffee ground. *LWT - Food Science and Technology*, 54(2), 557–563. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.05.042>

Santos, É. M. dos, Macedo, L. M. de, Tundisi, L. L., Ataíde, J. A., Camargo, G. A., Alves, R. C., Oliveira, M. B. P. P., & Mazzola, P. G. (2021). Coffee by-products in topical formulations: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 111, 280–291. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.064>

Severini, C., Caporizzi, R., Fiore, A. G., Ricci, I., Onur, O. M., & Derossi, A. (2020). Reuse of spent espresso coffee as sustainable source of fibre and antioxidants. A map on functional, microstructure and sensory effects of novel enriched muffins. *LWT*, 119. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108877>

Shin, H. S., Satsu, H., Bae, M.-J., Zhao, Z., Ogiwara, H., Totsuka, M., & Shimizu, M. (2015). Anti-inflammatory effect of chlorogenic acid on the IL-8 production in Caco-2 cells and the dextran sulphate sodium-induced colitis symptoms in C57BL/6 mice. *Food Chemistry*, 168, 167–175. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.06.100>

Silva, N. H. C. S., Drumond, I., Almeida, I. F., Costa, P., Rosado, C. F., Neto, C. P., Freire, C. S. R., & Silvestre, A. J. D. (2013). Topical caffeine delivery using biocellulose membranes: A potential innovative system for cellulite treatment. *Cellulose*, 21(1), 665–674. <https://doi.org/10.1007/s10570-013-0114-1>

Silva, V. M., Vieira, G. S., & Hubinger, M. D. (2014). Influence of different combinations of wall materials and homogenisation pressure on the microencapsulation of green coffee oil by spray drying. *Food Research International*, 61, 132–143. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.01.052>

Teichmann, A., Richter, H., Knorr, F., Antoniou, C., Sterry, W., & Lademann, J. (2007). Investigation of the penetration and storage of a shampoo formulation containing caffeine into the hair follicles by *in vivo* laser scanning microscopy. *Laser Physics Letters*, 4(6), 464–468. <https://doi.org/10.1002/lapl.200710007>

Toschi, T. G., Cardenia, V., Bonaga, G., Mandrioli, M., & Rodriguez-Estrada, M. T. (2014). Coffee Silverskin: Characterization, Possible Uses, and Safety Aspects. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(44), 10836–10844. <https://doi.org/10.1021/jf503200z>

Wagemaker, T. A. L., Carvalho, C. R. L., Maia, N. B., Baggio, S. R., & Guerreiro Filho, O. (2011). Sun protection factor, content and composition of lipid fraction of green coffee beans. *Industrial Crops and Products*, 33(2), 469–473. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.10.026>

Wagemaker, T. A. L., Silva, S. A. M., Leonardi, G. R., & Maia Campos, P. M. B. G. (2015). Green *Coffea arabica* L. seed oil influences the stability and protective effects of topical formulations. *Industrial Crops and Products*, 63, 34–40. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.09.045>

Watanabe, T., Arai, Y., Mitsui, Y., Kusaura, T., Okawa, W., Kajihara, Y., & Saito, I. (2006). The Blood Pressure-Lowering Effect and Safety of Chlorogenic Acid from Green Coffee Bean Extract in Essential Hypertension. *Clinical and Experimental Hypertension*, 28(5), 439–449. <https://doi.org/10.1080/10641960600798655>

Wu, R., Wu, C., Liu, D., Yang, X., Huang, J., Zhang, J., Liao, B., He, H., & Li, H. (2015). Overview of Antioxidant Peptides Derived from Marine Resources: The Sources, Characteristic, Purification, and Evaluation Methods. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 176(7), 1815–1833. <https://doi.org/10.1007/s12010-015-1689-9>

Yen, W.-J., Wang, B.-S., Chang, L.-W., & Duh, P.-D. (2005). Antioxidant Properties of Roasted Coffee Residues. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(7), 2658–2663. <https://doi.org/10.1021/jf0402429>

Yousef, H. M. A., & Amina, M. (2018). Essential oil of *Coffea arabica* L. husks: A brilliant source of antimicrobial and antioxidant agents. *Biomedical Research*, 29(1), 174-180. <https://doi.org/10.4066/biomedicalresearch.29-17-867>

Διαδικτυακές πηγές

Brenna, C. (2014, May 20). *What is Cascara?* Fresh Cup Magazine. <https://www.freshcup.com/what-is-cascara/>

<http://el.winesino.com/conditions-treatments/neurological-disorders/1013044307.html>